

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA TECHNOLOGIÍ A MĚŘENÍ**

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Prediktivní řízení budov HVAC**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2016/2017

**ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**  
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Ondřej PORUBSKÝ**  
Osobní číslo: **E13B0139P**  
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Název tématu: **Prediktivní řízení budov HVAC.**  
Zadávací katedra: **Katedra technologií a měření**

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

1. Uveďte základní principy energetických úspor s ohledem řízení budov a technologií HVAC.
2. Diskutujte výhody a nevýhody energetických úspor s ohledem na rozsah investic.
3. Popište způsoby a rozsah řešení prediktivního řízení budov.
4. Zhodnoťte navržené řešení, uveďte možnosti dalšího rozšíření.
5. Analyzujte srovnání budovy se základní ekvitemní regulací s budovou, kde je implementován systém s prediktivním řízením.

## **Abstrakt**

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na principech energetických úspor a popisu jednotlivých částí systému HVAC, jejich rozdělení a popsání. Dále se zabývá možnostmi využití jednotlivých systémů, které lze v budovách implementovat. Cílem je zhodnotit efektivitu energetických úspor s ohledem na rozsah investic a srovnat řízení budovy s prediktivní a ekvitermní regulací.

## **Klíčová slova**

Inteligentní budovy, energetická náročnost budov, prediktivní řízení, HVAC, EN 15232, úspora energie, investice.

## **Abstract**

The proposed bachelor thesis is measured on the principles of energy savings and description of the respective parts of the HVAC system, it pays the attention to their devision and description. Then it aims at the possibilities how can be these parts installed in the buildings. The aim is to evaluate the efectivity of such energy savings considering the extent of investments and to compare predictive regulation to ekvitem regulation.

## **Keywords**

Intelligent buildings, energy performance of buildings, predictive management, HVAC, EN 15232, energy saving, investment.

## **Prohlášení**

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

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 30.6.2017

Ondřej Porubský

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat doc. Ing. Zbyňku Martínkovi, CSc. za vedení mé bakalářské práce, cenné rady a odborný dohled.

## Obsah

<b>OBSAH .....</b>	<b>7</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>8</b>
<b>ÚVOD.....</b>	<b>9</b>
<b>1 ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY.....</b>	<b>11</b>
1.1 PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY .....	11
1.1.1 Energetické skupiny .....	11
1.1.2 Energetický průkaz a energetický štítek.....	12
1.1.3 Energetický specialista a metodika určování energetické náročnosti budovy .....	12
1.1.4 Grafické znázornění energetického průkazu.....	13
<b>2 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ HVAC.....</b>	<b>15</b>
2.1 VYTÁPĚNÍ BUDOV .....	15
2.1.1 Kotle na pevná paliva .....	15
2.1.2 Tepelná čerpadla .....	19
2.1.3 Solární systém.....	22
2.2 VĚTRÁNÍ A KLIMATIZACE .....	25
2.2.1 Principy větrání .....	26
2.2.2 Princip větrání a klimatizace.....	29
2.2.3 Struktura klimatizačních a větracích zařízení .....	30
<b>3 ÚSPORA ENERGIÍ.....</b>	<b>38</b>
3.1 PROČ INVESTOVAT DO ÚSPORNÝCH OPATŘENÍ.....	38
3.1.1 Omezenost zdrojů a nárůst cen energie .....	38
3.1.2 Spotřeba energie v budovách.....	39
3.2 MODELOVÉ SITUACE ENERGETICKÝCH ÚSPOR .....	39
3.3 VYHODNOCOVÁNÍ INVESTIC DO ENERGETICKY ÚSPORNÝCH OPATŘENÍ .....	41
3.3.1 Typy investic .....	41
3.3.2 Návratnost investice ovlivňující vnější faktory .....	41
3.4 POROVNÁNÍ NÁKLADŮ NA VYTÁPĚNÍ VČ. VSTUPNÍCH INVESTIC.....	43
3.4.1 Energetické úspory vytápění s ohledem na provozní a investiční náklady.....	43
<b>4 PREDIKTIVNÍ ŘÍZENÍ .....</b>	<b>50</b>
4.1 ŘÍZENÍ VYTÁPĚNÍ.....	53
4.2 EVROPSKÁ NORMA EN 15232 .....	57
<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>59</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ .....</b>	<b>61</b>

## **Seznam symbolů a zkratk**

*HVAC* .....Heating, ventilation, air conditioning

*MPC* .....Model predictive control

*IRC* .....Individual room control



## Úvod

V dnešní době je velice důležité dívat se na budovy zejména skrze spotřebu energie a jejich řízení - regulaci. Dnešní tlak je veden na řešení, která jsou šetrná k přírodě. Cílem je zamezit zbytečnému plýtvání energií a nastavit pokud možno nejlepší řešení, kdy není narušen stávající komfort, a to při menší spotřebě energie. Především se jedná o úsporu energie s ohledem na vytápění budov, ventilaci, klimatizaci a osvětlení. Tyto systémy mají návaznost na čas, venkovní teplotu, předpověď počasí i pohyb osob v budově. Tato práce bude také posuzovat energetickou náročnost budovy a finanční zhodnocení investic. Celá práce přibližuje tuto problematiku a to je důvodem, proč si autor tuto práci vybral.

Cílem práce je popsání jednotlivých částí HVAC systému a představit konkrétní návrh s ohledem na rozsah investice a porovnání její návratnosti. Práce je také zaměřena na energetickou náročnost budov a dále představuje systém prediktivního řízení, které autor porovnává s ekvitermní regulací.

Práce je rozdělena do čtyř hlavních kapitol, které jsou dále rozepsány do podkapitol, chronologicky na sebe navazující. Hlavním bodem práce je konkrétní návrh vytápění budovy včetně vstupních i provozních nákladů.

První kapitola pojednává o energetické náročnosti budovy. Uvádí, jak se dělí do jednotlivých tříd, kdo tyto zařazení může provádět a jak se prakticky zhotovují.

Technické řešení HVAC systému ve druhé kapitole podrobně popisuje jednotlivé systémy. Ty jsou rozřazeny do samostatných podkapitol a jednotlivě popisují jednotlivé prvky, kdy je řešeno vytápění z pohledu zdrojů, jejich efektivnosti, a to zejména kvůli navazující praktické část. Ventilace a klimatizace fungují na podobných principech, proto jsou popsány v jedné podkapitole, kde se uvádí jednotlivé komponenty, jejich účel v systému i podmínky na konkrétní parametry podle platných nařízení.

Třetí kapitola řeší úsporu energie v budovách zejména z pohledu možných potencionálních úspor na konkrétních typech budov i s ohledem na řízení budovy. Dále typy investic. Za touto částí navazuje praktická část, kde je uveden konkrétní návrh investice do

vytápění čili jeden ze systému HVAC. Součástí je výpočet potřebného tepla a porovnání jednotlivých návrhů včetně konečného zhodnocení.

Prediktivní řízení, které je ve čtvrté kapitole, pojednává o jeho konkrétním využití. Také o tom, na jakém principu funguje a porovnat ho s ekvitermní regulací. Na konci této kapitoly je představena evropská norma EN 15232, která řeší vliv technického řízení budov a automatizace na úsporu energie.

# 1 Energetická náročnost budovy

Energetická náročnost budovy určuje množství celkové energie při standardizovaném provozu budovy. Jde o energii na vytápění, chlazení, přípravu teplé vody, úpravu vzduchu ventilací, klimatizací a potřebnou energii na osvětlení. Požadavky energetické náročnosti budovy jsou napsány ve vyhlášce č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budovy. [1]

## 1.1 Průkaz energetické náročnosti budovy

Průkaz energetické náročnosti budovy je v ustanovení §2 odst. 1 písm.m) zákona č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií, a metodika jeho zpracování, obsah, vzor a jeho umístění, které je upraveno ve vyhlášce č. 78/2013 Sb., o energetické náročnosti budov. Průkaz energetické náročnosti budovy se liší dle jeho účelu. Průkaz, který je zpracovaný pro nové budovy a budovy s téměř nulovou spotřebou energie, či větší změnu dokončené budovy a jinou než větší změnu dokončené budovy dokládá, plnění těchto požadavků na energetickou náročnost budovy, které by takováto budova měla plnit. Průkaz zpracovaný pro účely pronájmu nebo k prodeji budovy, pouze hodnotí budovu. [2]

V ostatních případech u stávajících budov není vyžadováno splnění těchto požadavků. U stávajících budov, kde nedochází k žádné změně, se hodnotí pouze energetická náročnost budovy a není nutné, aby tato budova plnila požadavky na energetickou náročnost. [2]

### 1.1.1 Energetické skupiny

Průkaz eviduje spotřebu energie, která je nutná pro provoz budovy po dobu jednoho roku. Na to se váže sedm skupin energetické náročnosti budovy, kterými je hodnocena budova podle energetické náročnosti. Skupiny jsou představovány písmeny A – G. [2]

Třída energetické náročnosti budovy	Slovní vyjádření energetické náročnosti budovy	Měrná spotřeba energie (kWh/m <sup>2</sup> .rok)
Veľmi úsporná <b>A</b>	Veľmi úsporná	< 51
Úsporná <b>B</b>	Úsporná	51 - 97
Vyhovující <b>C</b>	Vyhovující	98 - 142
Nevyhovující <b>D</b>	Nevyhovující	143 - 191
Nehospodárná <b>E</b>	Nehospodárná	192 - 240
Veľmi nehospodárná <b>F</b>	Veľmi nehospodárná	241 - 286
Mimořádně nehospodárná <b>G</b>	Mimořádně nehospodárná	> 292

Obr. 1-1 Jednotlivé třídy energetické náročnosti (převzato z:[3])

Ustanovením § 7a odst. 4 je stanovena platnost průkazu, který pojednává o hospodaření energií a je omezena na dobu 10 let ode dne vyhotovení nebo do provedení větší změny na dokončené budově, pro kterou byl průkaz zpracován. [2]

### 1.1.2 Energetický průkaz a energetický štítek

V praxi je často zaměňován energetický štítek s průkazem energetické náročnosti budovy. Energetický štítek slouží pouze k označení spotřebičů a informuje nás o tom, jak je spotřebič úsporný, ale nemá nic společného s průkazem energetické náročnosti budovy. [2]

### 1.1.3 Energetický specialista a metodika určování energetické náročnosti budovy

Průkaz energetické náročnosti budov podle ustanovení § 10 odst. 1 písm. b) zákona o hospodaření energií zpracovává energetický specialista, který musí složit odbornou zkoušku. Ministerstvo průmyslu a obchodu vydá zvláštní oprávnění, kterým následně energetický specialista disponuje. Zařadí se rovněž do seznamu těchto specialistů vedený Ministerstvem průmyslu a obchodu. Seznam těchto expertů je volně přístupný na webových stránkách: <http://www.mpoenec.cz/experti/> [2]

Cílem při zpracování energetického průkazu je posoudit budovu a správně ji zařadit do jednotlivých energetických tříd. Nová vyhláška, která vešla v platnost, stanoví, že pro každou budovu musí být stanovena tzv. referenční budova. Pod referenční budovou si můžeme představit budovu téhož druhu, stejné velikosti, geometrického tvaru, prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění k okolní zástavbě i přírodními překážkami. Dále stejným vnitřním uspořádáním a se stejným typem užívání budovy včetně uvažovaných klimatických údajů jako hodnocená budova, ovšem s referenčními hodnotami vlastní budovy. Při zpracování energetického průkazu je pro energetického specialistu výchozím dokumentem projektová dokumentace. Cena za zpracování průkazu energetické náročnosti budovy se liší na základě konkrétních parametrů. [2]

#### **1.1.4 Grafické znázornění energetického průkazu**

V průkazu energetické náročnosti budovy se vyplňuje: ulice, číslo popisné, poštovní směrovací číslo, typ budovy, plocha obálky budovy, objemový faktor tvaru  $A/V$ , celková energeticky vztažná plocha. Dále zařazení do energetické třídy a hodnoty pro celou budovu v MWh/rok. Následně se zaškrťávají doporučená opatření pro snížení energetické náročnosti budovy. Porovnávají se také jednotlivé ukazatele energetické náročnosti budovy viz Obr. 1-3 - obálka budovy, vytápění, chlazení, větrání, úprava vlhkosti, teplá voda a osvětlení. Na konci je prostor pro vyplnění zpracovatele, kontakt, číslo osvědčení, datum vyhotovení a podpis. [2]

### PRŮKAZ ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

vydaný podle zákona č. 406/2000 Sb., o hospodáření energií, a vyhlášky č. xxx/2012 Sb., o energetické náročnosti budov

Ulice, číslo: \_\_\_\_\_  
 PSČ, místo: \_\_\_\_\_  
 Typ budovy: \_\_\_\_\_  
 Plocha obálky budovy: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>  
 Objemový faktor tvaru A/V: \_\_\_\_\_ m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>  
 Celková energeticky vztažná plocha: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

FOTO

---

### ENERGETICKÁ NÁROČNOST BUDOVY

Celková dodaná energie (Energie na vstupu do budovy)      Neobnovitelná primární energie (Vliv provozu budovy na životní prostředí)

Měrné hodnoty kWh/(m<sup>2</sup>·rok)

	Dop.	Dop.
<b>A</b> Mimořádně úsporná	XXX	XXX
<b>B</b> Velmi úsporná	XXX	XXX
<b>C</b> Úsporná	XXX	XXX
<b>D</b> Mírně úsporná	XXX	XXX
<b>E</b> Nehospodárná	XXX	XXX
<b>F</b> Velmi nehospodárná	XXX	XXX
<b>G</b> Mimořádně nehospodárná	XXX	XXX
<b>Hodnoty pro celou budovu</b> MWh/rok	XX,X	XX,X

Obr. 1-2 Grafické znázornění energetického průkazu budovy (převzato z:[2])

#### DOPORUČENÁ OPATŘENÍ

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

Popis opatření je v průběhu průkazu a vyhodnocení jejich dopadu na energetickou náročnost je zkráceně šplouch doporučení

#### PODÍL ENERGOONOSITELŮ NA DODANÉ ENERGI

Hodnoty pro celou budovu MWh/rok

Elektřina ze sítě - XX,X  
 Slunce a en. prostředí - XX,X  
 Zemní plyn - XX,X

---

#### UKAZATELE ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI BUDOVY

	Obálka budovy	Vytápění	Chlazení	Větrání	Úprava vlhkosti	Teplá voda	Osvětlení
	U <sub>g</sub> (W/m <sup>2</sup> ·K)	Díličí dodané energie					
	Měrné hodnoty kWh/(m <sup>2</sup> ·rok)						
<b>A</b> Mimořádně úsporná	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.
<b>B</b>	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
<b>C</b>	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.
<b>D</b>	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
<b>E</b>	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.
<b>F</b>	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
<b>G</b>	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.	Dop.
<b>Hodnoty pro celou budovu</b> MWh/rok	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X	XX,X

Zpracovatel: \_\_\_\_\_      Osvědčení č.: \_\_\_\_\_  
 Kontakt: \_\_\_\_\_      Vyhотовeno dne: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_      Podpis: \_\_\_\_\_

Obr. 1-3 Ukazatele energetické náročnosti budovy (převzato z:[2])

## 2 Technické řešení HVAC

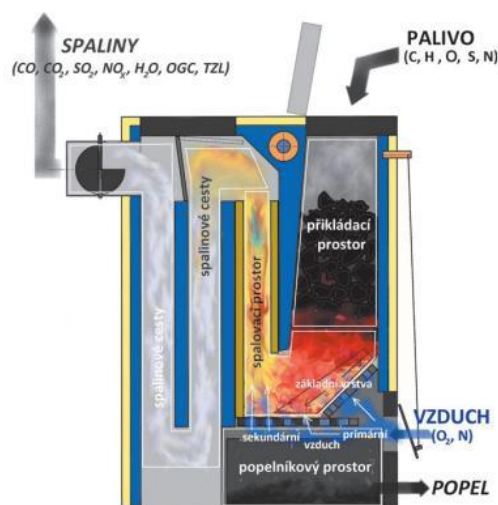
V této kapitole budou přiblíženy jednotlivé technické řešení zdrojů HVAC systému s ohledem na jejich činnost, efektivitu a účinnost.

### 2.1 Vytápění budov

V posledních letech se stále zvyšují nároky na snížení nákladů za vytápění a zároveň zvýšení komfortu uživatelů. Dnes je možné rozhodovat se mezi spousty druhů vytápění. Je zapotřebí zohledňovat účinnost, vstupní investici, provozní náklady, uskladnění paliva, dopravu paliva od dodavatele, obslužnost zařízení. Dále se zohledňuje zvolení správného druhu paliva pro optimální řešení v daném objektu vzhledem k velikosti, únikům tepla, zateplení a možnosti umístění v daném objektu. Je třeba se také rozhodnout, zda budeme využívat pouze hlavní zdroj vytápění, nebo ho budeme kombinovat s podpůrným systémem. [4]

#### 2.1.1 Kotle na pevná paliva

Proces spalování bychom mohli zjednodušeně vyjádřit tak, že: palivo + spalovací vzduch + zápalná teplota = teplo + spaliny + tuhé zbytky. Jde o oxidační proces, při kterém se uvolňuje chemicky vázaná energie v palivu. Uhlík (C), vodík (H<sub>2</sub>) a síra (S) jsou u pevných paliv hořlavými složkami a jsou součástí tzv. hořlaviny. Kyslík (O<sub>2</sub>) je okysličovadlem, který se vhání do prostoru ohniště spalovacím vzduchem a výsledkem tohoto procesu je uvolněné teplo a produkty spalování. [5]



Obr. 2-1 Kotel na tuhá paliva (převzato z:[5])

**Základní přehled paliv a jejich energetické vlastnosti**

Tab. 2-1 (převzato z:[6])

Druh paliva	Výhřevnost $H_u$ (MJ*kg <sup>-1</sup> )	Spálené teplo $H_o$ (MJ*kg <sup>-1</sup> )
Dřevo	17	19-20
Koks	26-28	30-34
Brikety	23-26	29-32
Hnědé uhlí	15-17	22-24
Černé uhlí	32	31-34
Topný olej	36-41	38-43
Propan	92,8 (MJ*m <sup>-3</sup> )	100,08
Zemní plyn	34 (MJ*m <sup>-3</sup> )	37,78

**Odhořivací kotel**

Je kotel, v kterém probíhá postupné spalování paliva ve vrstvě, která je plynule doplňována a spaliny procházejí přes vrstvu paliva. Tento kotel má minimální možnosti řízení spalování. Jeho výkon ovlivňuje množství a kvalita paliva a velikostí komínového tahu, který ovlivňuje přísávání spalovacího vzduchu. Přibývá zde také nutnost pravidelného odstraňování popela z roštu, jelikož palivo odhořívá ve spodní části násypky, jinak hrozí riziko utlumení výkonu. [5]

Tab. 2-2 Účinnost odhořovacího kotle (převzato z:[5])

Technologie spalování	Palivo-výhřevnost (MJ*kg <sup>-1</sup> )	Provozní účinnost (%)
Odhořivací	Hnědé uhlí (17,2)	60





Obr. 2-2 Kotel odhořivací (převzato z:[5])

### Prohořivací kotel

Je kotel, v kterém probíhá postupné spalování, a spaliny procházejí přes vrstvu spalin. U prohořovacího kotle dochází k rychlému nahoření celého paliva vloženého do kotle, čímž je značně omezena možnost regulace výkonu. [5]

Tab. 2-3 Účinnost prohořivacího kotle (převzato z:[5])

Technologie spalování	Palivo-výhřevnost (MJ*kg <sup>-1</sup> )	Provozní účinnost (%)
Prohořovací	Dřevo (14,6)	55
	Černé uhlí (23,1)	60



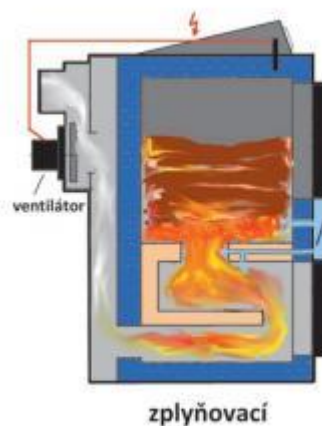
Obr. 2-3 Kotel prohořivací (převzato z:[5])

### Zplyňovací kotel

Je kotel, který funguje na základě odhořovacího kotle s ručním přikládáním. Vyšší účinnosti je docíleno použitím ventilátoru, který řízeně vhání spalovací vzduch do ohniště, čímž je značně potlačen vliv komínového tahu na kvalitu spalování. Regulátor tak může podle nastavených parametrů lépe regulovat průběh spalování a jeho výkon. [5]

Tab. 2-4 Účinnost zplyňovacího kotle (převzato z:[5])

Technologie spalování	Palivo-výhřevnost (MJ*kg <sup>-1</sup> )	Provozní účinnost (%)
Zplyňovací	Dřevo (14,6)	80



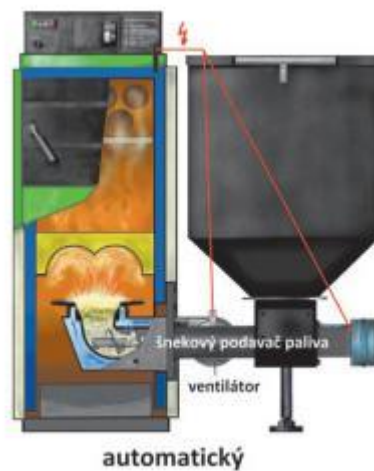
Obr. 2-4 Zplyňovací kotel (převzato z:[5])

### Automatický kotel

Tento kotel, který si samočinně dodává palivo a ventilátorem, řídí přísun spalovacího vzduchu zcela automaticky podle zadaného programu bez nutnosti vnějšího zásahu. [5]

Tab. 2-5 Účinnost automatického kotle (převzato z:[5])

Technologie spalování	Palivo-výhřevnost (MJ*kg <sup>-1</sup> )	Provozní účinnost (%)
Automatický	Hnědé uhlí (17,2)	80
	Peleta smrk (17,2)	85



Obr. 2-5 Automatický kotel (převzato z: [5])

### Plynový kondenzační kotel

Spalováním zemního plynu či propanu vzniká určité množství vody, které se hořením ohřívá. Následně v plynné podobě společně oxidem uhličitým tvoří spaliny. Právě ty nesou ukryté tzv. latentní teplo. Tyto spaliny jsou ochlazeny pod teplotu jejich rosného bodu a dojde ke kondenzaci páry a uvolnění tepla. V kondenzačním kotli se toto teplo využívá k předehřevu vratné vody. Reálná účinnost kondenzačního tepla je maximálně 97,5 %. Klasický plynový kotel neumí využívat latentní teplo, které nevyužité odchází do komína. [7]

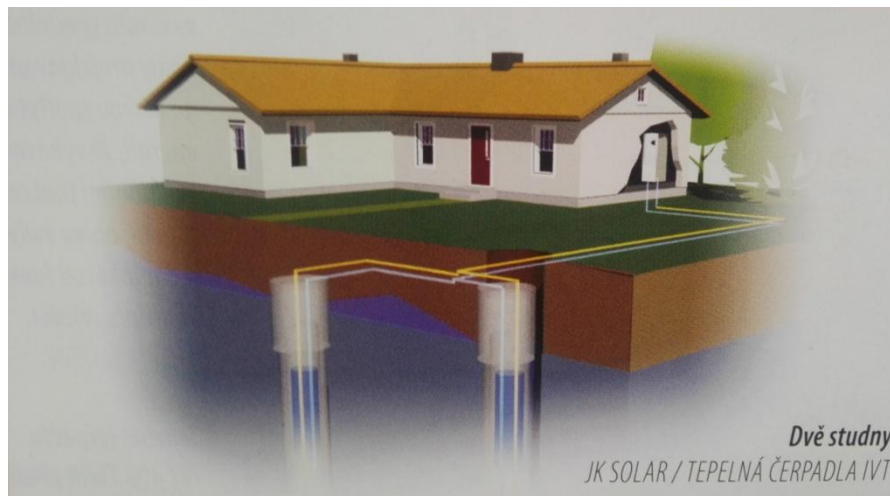
#### 2.1.2 Tepelná čerpadla

V našem okolí je přítomno značné množství tepla, které lze využít. Nevýhodou je, že toto teplo je velmi naředěné a my ho musíme zhustit, abychom získali teplo jako např. z uhlí. Lze toho docílit právě díky tepelnému čerpadlu, které dokáže efektivně čerpat energii z okolí i při nízkých venkovních teplotách. Funkci si můžeme představit tak, že stlačené kapalné teplotnosné médium se rozpíná v expanzním ventilu a ve výparníku mění své skupenství v plynné. Takto se zchladí na nízkou teplotu a může tak snáze přejímat teplo ze svého prostředí (vody, země, vzduchu), a tím se ohřívá. Plynné teplotnosné médium prochází systémem trubek vedoucích do vody, země, nebo si odebere teplo ze vzduchu. Poté je nasáváno zpět a stlačeno kompresorem. Způsobenou kompresí plynu dochází ke zvýšení teploty plynu, který v kondenzátoru zkapalní a zvýší svou teplotu (obvykle přes 50 %). Kondenzátor plní funkci výměníku, kdy se získaná energie předává do vody, která se dále využívá k ohřívání radiátorů, boilerů nebo také bazénů. Topný faktor je uváděn obvykle kolem čísla 3. To znamená, že pokud chceme získat 12 kW tepelné energie, tepelné čerpadlo

spotřebuje pouze 4 kW. Tepelné čerpadlo je výhodné zkombinovat s podlahovým vytápěním, kdy můžeme ušetřit až 15 % energie. [4]

### **System voda-voda**

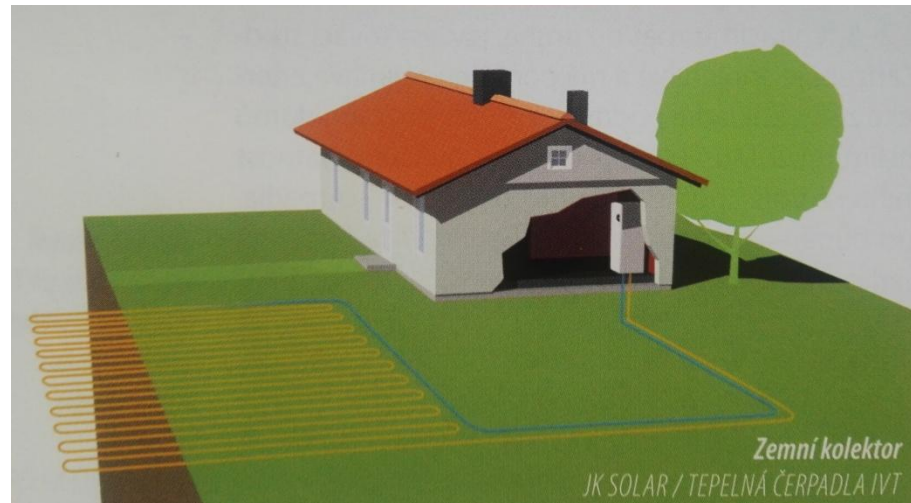
Spodní voda je jedním ze zásobníků slunečního tepla. Funguje na principu dvou vrtů nebo studní vzdálených od sebe cca 20 m. Ze sací studny se přijímá teplota kolem 6-10 °C. Odebíráme část tepla a ochlazenou vodu z výparníku vracíme do druhé studny tzv. vsakovací studny. Tento systém má zajímavé energetické zisky, přičemž důležité je, aby byla zajištěna dostatečná vydatnost vodního zdroje. [4]



Obr. 2-6 Dvě studny (převzato z:[4])

### **System země-voda**

Další možností odkud brát teplo je země. Toto řešení lze provést několika technologiemi, které se dnes používají. Jedním z nich je hlubinný vrt, kdy jeho hloubka je od 50m hlouběji kvůli ziskům i fixním nákladům. Zemní sondy naplněné nemrznoucí teplotnosnou směsí pak získávají energii sdílením a předávají ji tepelnému čerpadlo, které ji přemění na teplo využitelné pro budovu. Další variantou je nahrazení zemní sondy plošným výměníkem nebo zemním kolektorem, který se ukládá 1,2 až 1,5 m. Jejich použití ovlivňují vhodnost terénu, geologické podmínky i okolní vegetace. Tyto systému vyžadují na primárním okruhu instalaci výkonové čerpadla, které zvyšuje energetickou náročnost systému. [4]



Obr. 2-7 Zemní kolektor (převzato z:[4])

### System vzduch-voda, vzduch-vzduch

Tento systém využívá nízkopotenciální teplo z okolního vzduchu, kdy přes výparník a kondenzátor teplo převádí do teplovodního okruhu. V případě systému vzduch-vzduch teplo převádějí vzduchovými potrubími do objektu. Toto řešení je sice finančně nejméně náročné, ale na druhou stranu také méně efektivní, jelikož s klesající teplotou vzduchu klesá i tepelný faktor. Je proto vhodné toto řešení doplnit např. o kotel na dřevěné pelety, elektřinu, plyn apod., který budeme využívat při nízkých teplotách. [4]



Obr. 2-8 Čerpadlo se systémem vzduch-voda (převzato z:[4])

Tab. 2-6 Srovnání provozního tlaku čerpadel (převzato z:[8])

Tepelné čerpadlo	Zdroj tepla	Roční provozní faktor u podlahového vytápění	Roční provozní faktor u vytápění radiátorovými tělesy
Země-voda	Země	3,6	3,2
Voda-voda	Spodní voda	3,4	3
Vzduch-voda	Vzduch	3,0	2,3

### 2.1.3 Solární systém

Solární systém patří mezi obnovitelné zdroje energie. Na území České republiky dopadá cca 950-1100 kWh/m<sup>2</sup>. Energeticky dostačujícím zdrojem je v období od dubna do září. V ostatních měsících sluneční energie klesá na zhruba 60 % požadované energie. Propracované solární systémy dokáží v domácnosti ušetřit až 60 % energie na přípravu teplé vody a 30 % energie na vytápění. Možnosti použití solárního systému závisí hlavně na geografických podmínkách a orientace domu vůči světovým stranám. [4]

#### Solární systém pasivní

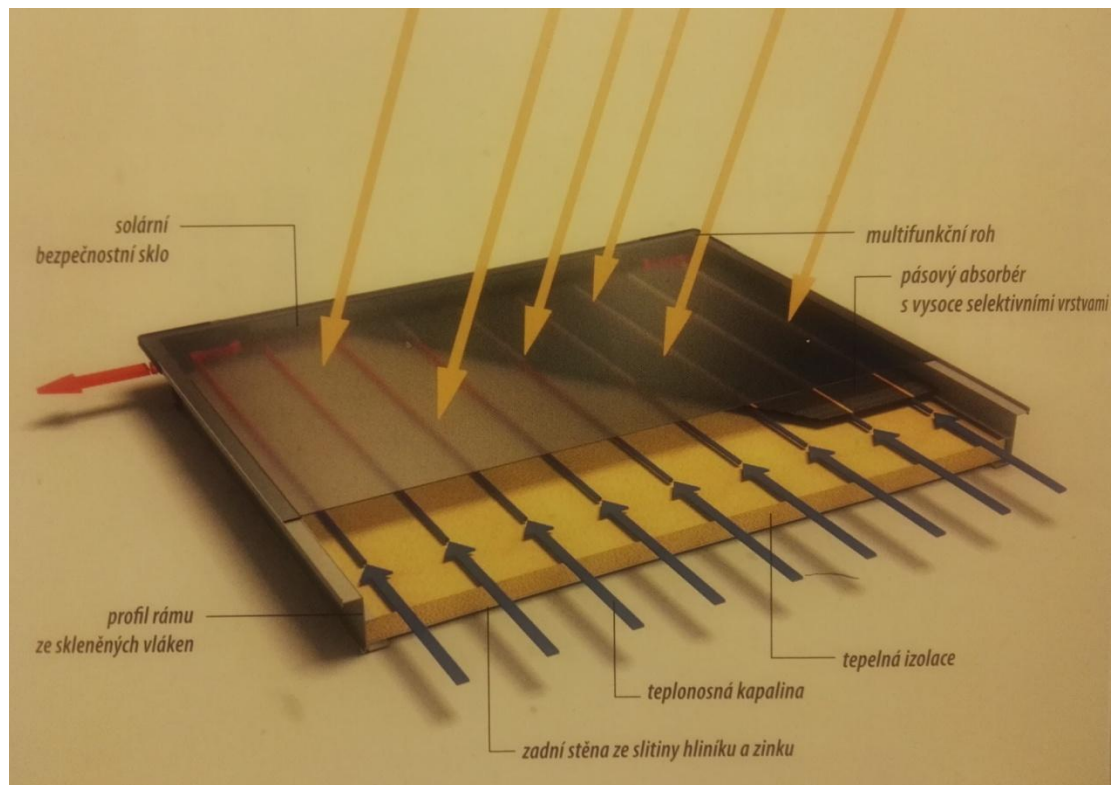
Tento systém není vybaven žádným aktivním zařízením, které by přenášelo teplo. Využívá se obvykle jen přirozené konvence. Řešení je spolehlivé a technicky jednoduché, na druhou stranu je nutné umístit zásobník nad kolektory. Tyto systémy se využívají v zemích kolem Středozevního moře. [4]

#### Solární systém aktivní

Aktivní systém se využívá v našich zeměpisných šířkách, kdy se využívá nucený oběh teplotnosného média pomocí oběhového čerpadla. Zásobník se obvykle umísťuje do technické místnosti nebo sklepních prostor. Objem zásobníku by měl odpovídat počtu osob v budově použitých kolektorech. [4]



## Solární kolektor



Obr. 2-9 Solární kolektor (převzato z:[4])

Účinnost solárních kolektorů se pohybuje mezi 75-85 %. Nevýhodou solárních panelů je, že největší energetická výtěžnost je v létě, ale energetická spotřeba nejnižší. Dochází k přehřívání celého topného systému, což může vést až ke snížení životnosti systému. Jedna z možností řešení je přes léto vytápět bazén, což zamezí přehřívání systému. V zimě je stav opačný, energetická výtěžnost je nejmenší, ale energetická spotřeba nejvyšší. [4]

## Kogenerační jednotky

*„Kogenerace je sdružená výroba elektřiny a tepla. Proces přeměny energie z paliva je proveden tak, že nejprve se využije vysokopotenciální tepelná energie (pracovní látka má vysokou teplotu) k vykonání práce a teprve potom se pracovní látka o nižší teplotě využije pro pokrytí potřeb tepla.“ [9]*

Jde o efektivní využití spalovaných paliv, např. uhlovodíkových v motoru, kdy se 30-35 % využije na mechanickou práci či výrobu elektřiny. Vzniká velké množství nízkopotenciálního tepla, které je dále využíváno k ohřevu teplé vody a vytápění. Tímto způsobem lze dosáhnout až 80% tepelné účinnosti. [10]

## Srovnání vytápění

Na základě získaných informací o druzhů vytápění předkládám srovnávací tabulku v podobě jejich výhod a nevýhod:

Tab. 2-7 Srovnání druhů vytápění

Zdroj vytápění	Výhody	Nevýhody
Kotle na tuhá paliva (zplyňovací, automatický)	Nízké pořizovací náklady	Nutnost uložení paliva
	Nízké provozní náklady	Odpad
Plynový kondenzační kotel	Vysoká účinnost	Vysoké pořizovací náklady
	Skladování paliva	
	Nízké emise	
Elektrokotel	Vysoká účinnost	Vysoké provozní náklady
	Nízké pořizovací náklady	
Tepelné čerpadlo	Výhodné použití při vyšší spotřebě energie v budově díky tepelnému faktoru 3	Vysoké pořizovací náklady
	Nevyčerpateľná energie (země, vzduch, voda)	Technicky náročnější instalace
	Nízké provozní náklady a dlouhá životnost	U systému vzduch-voda hluk tepelného čerpadla
Solární systém	Dlouhá životnost	Nestabilní výkon
	Nízké provozní náklady	Vyšší pořizovací náklady
		Nutnost doplnění o další zdroj energie
Kogenerační jednotka	Stabilní zdroj energie a tepla	Vysoké pořizovací náklady
	Využití odpadového tepla	Velká prostorová náročnost
	Vysoké energetické využití paliva	



## 2.2 Větrání a klimatizace

Úkolem větrání a klimatizace je zabezpečit požadovaný stav vzduchu v interiéru a udržovat jej nezávisle na vnějším prostředí v dané lokalitě jako jsou vnější teplota, oslunění, vítr, vlhkost apod. Větrání a klimatizace je dnes často i nutností pro splnění hygienických podmínek. Tyto podmínky jsou různé podle zaměření budovy. Může jít o kancelář, IT místnost, kuchyň, výrobní halu, sklad, knihovnu, obytný dům. Jsou kladeny stále vyšší požadavky na teplotu, vlhkost vzduchu, koncentraci škodlivin, a to vše by se zřídka kdy obešlo bez použití klimatizační techniky. [11]

Základní funkcí je upravit vzduch tak, aby v dané místnosti bylo dosaženo potřebného stavu vzduchu. Proto se přivádí čerstvý vzduch (vnější), dále se musí se zvýšit, nebo snížit teplota a vlhkost vzduchu. Také se redukuje obsah škodlivin ve vzduchu. Ve spolupráci s měřicí a regulační technikou lze splnit přesně požadované kritéria, a to i s ohledem na optimální investici a provozní náklady. Je nutné vytvořit tzv. tepelnou pohodu, která představuje rovnováhu tepelného režimu člověka a udržení stálé teploty těla, která je 36,5-37 °C. Tepelná pohoda pomáhá dosáhnout a udržet optimální pracovní podmínky ve správních a administrativních budovách, dále ve zdravotnictví, kde přispívá i rychlejšímu uzdravování pacientů. V neposlední řadě můžeme hovořit o koncertních halách, divadlech, kinosálech apod. Vnitřní klima je také důležité pro činnost různých přístrojů a procesů. Udržování konstantní teploty a vlhkosti vzduchu hraje roli např. v textilním, papírenském, tabákovém a potravinářském průmyslu. Dále se jedná o skladování produktů citlivých na teplotu. [11]

Atmosférický vzduch z hlediska větrání a klimatizace je směsí suchého vzduchu a vlhkosti, která se vyskytuje ve vzduchu v podobě přehřáté nebo syté páry, vody, nebo ledu. Této směsi říkáme vlhký vzduch. Suchý vzduch je jednofázová směs přehřátých plynů s relativně malou hustotou molekul při tlacích, které se vyskytují ve vzduchotechnice, které v běžných atmosférických podmínkách vzájemně chemicky reagují. [11]

Tab. 2-8 Složení atmosférického vzduchu (převzato z:[11])

Prvek	Chemická značka	Molekulová hmotnost	Obsah v %	
			Objemových	Hmotnostních
Dusík	N <sub>2</sub>	28,016	78,090	75,500
Kyslík	O <sub>2</sub>	32,000	20,950	23,200
Argon	Ar	39,944	0,930	1,286
Oxid uhličitý	CO <sub>2</sub>	44,010	0,030	0,046
Neon	Ne	20,183	0,002	0,001
Helium	He	4,003	0,001	0,000
Krypton	Kr	83,800	0,000	0,000
Xenon	Xe	131,300	0,000	0,000
Vodík	H <sub>2</sub>	2,022	0,010	0,001
Ozon	O <sub>3</sub>	48,000	0,000	-

### 2.2.1 Principy větrání

#### Přirozené větrání

U tohoto větrání je průtok vzduchu vyvolán přirozeným rozdílem tlaků uvnitř a vně budovy, který vzniká rozdílem hustoty uvnitř a vně větraného prostoru, nebo tlakovým účinkem větru na budovu. Díky této změně tlaku dochází k proudění vzduchu otvory v budově. Přirozené větrání může být trvalé díky stálému zdroji tepla umístěnému ve větraném prostoru, nebo může být časově omezené, které závisí na vnějších a vnitřních klimatických podmínkách a tlakovém účinku větru, který rovněž není trvalý. Nedostatkem tohoto typu větrání je nemožnost filtrace vzduchu a tepelné úpravy jsou značně omezené. Na druhou stranu nevyžaduje energii pro dopravu vzduchu, zejména proto je přirozené větrání využíváno např. v průmyslu. [12]

## Nucené větrání

Toto větrání zajišťuje rovnoměrné provětrávání pásma pobytu a pohybu osob čerstvým venkovním vzduchem. V obytných domech, a to zejména u pasivních domů, se stále více prosazuje právě tento typ větrání - nucený přívod v zimě ohříváného vzduchu s využitím zpětného získávání tepla. Přívod čerstvého vzduchu je nedílnou součástí každého komfortního klimatizačního systému. [12]

## Průtok venkovního vzduchu dle množství osob

Závazné požadavky pro pracovní prostředí jsou uvedeny v nařízení vlády č. 93/2012 Sb.

Tab. 2-9 Množství vzduchu na osobu v závislosti na prostředí (převzato z:[12])

Průtok vzduchu na osobu	Charakteristika prostředí
25m <sup>3</sup> /h os.	Zaměstnanec vykonávající práci převážně vsedě na pracovišti bez přítomnosti chemických látek, prachů nebo jiného zdroje znečištění
50m <sup>3</sup> /h os.	Zaměstnanec vykonávající práci převážně vsedě a při chůzi na pracovišti s přítomností chemických látek, prachů nebo jiných zdrojů znečištění
70m <sup>3</sup> /h os.	Zaměstnanec vykonávající práci převážně vstoje
90m <sup>3</sup> /h os.	Zaměstnanec vykonávající těžkou fyzickou práci

Tento předpis také uvádí, že minimální množství venkovního vzduchu musí být zvýšen o 10m<sup>3</sup>/h při další zátěži větraného pracoviště, například pachy nebo teplem. Reálné množství přiváděného vzduchu pro osoby pracující v kancelářích se pohybuje okolo 35m<sup>3</sup>/h na osobu. [12]

### Průtok venkovního vzduchu dle produkce škodlivin

V prostorách kde se uvolňují škodliviny (např. průmyslové procesy) závisí průtok venkovního vzduchu na toku uvolňované škodliviny a přípustných koncentracích v návaznosti na hygienické podmínky, technologii, ochranu proti výbuchu apod. [12]

### Průtok venkovního vzduchu dle intenzity větrání

Nejsou-li známy údaje o produkci škodlivin, je možné průtok venkovního vzduchu stanovit orientačně podle intenzity větrání  $I$  (1/h).

$$I = \frac{V_e}{O} \text{ (1/h)}, \quad (1)$$

kde  $V_e$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) je průtok venkovního vzduchu a  $O$  ( $\text{m}^3$ ) je vnitřní objem místnosti. Stanovení průtoku venkovního vzduchu touto metodou se využívá zejména při návrhu obytných budov (rodinné a bytové domy). Vzhledem k tomu, že obsazenost obytných místností je proměnná a současně je nutné zajistit jejich trvalé větrání, je intenzita větrání nejvhodnějším navrhovaným parametrem. Průtok venkovního vzduchu se na základě intenzity větrání určí [12]

$$V_e = I \times O \text{ (m}^3/\text{h)}. \quad (2)$$

Tab. 2-10 Intenzita větrání v závislosti na druhu místnosti (převzato z:[12])

Druh místnosti, provozu	Intenzita větrání I (1/h)	Druh místnosti, provozu	Intenzita větrání I (1/h)
Obytné prostory	0,3 až 0,7	Restaurace	5 až 10
Bazény	4 až 6	Shromažďovací místnosti	5 až 10
Kanceláře	3 až 6	Šatny	3 až 6
Kina, divadla	4 až 6	Umývárny, koupelny	4 až 6
Knihovny	3 až 5	Záchody – byty	2 až 3
Montážní haly	3 až 6	Záchody – kanceláře	4 až 6
Posluchárny	8 až 10	Záchody – veřejné	10 až 15

## 2.2.2 Princip větrání a klimatizace

Větráním a klimatizací se upravuje kvalita (čistota) ovzduší, tepelný a vlhkostní stav ovzduší v obytných, společenských, průmyslových budovách, dopravních prostředcích, technologických prostorech i zemědělských objektech. Prostory jsou zatěžovány produkcí škodlivin (par, plyných, kapalných a pevných částic), vlhkosti a tepelné energie z vnitřních zdrojů (osoby, osvětlení, technické zařízení, technologická zařízení, pece, procesy apod.) i ze zdrojů venkovních (venkovní ovzduší, sluneční radiace). [11]

Větrací zařízení slouží k přívodu čerstvého vzduchu do interiérů budov a k odvodu vzduchu znehodnoceného přimíšenými škodlivinami nebo produkovaným teplem. Přívod čerstvého vzduchu představuje intenzita větrání I. [12]

### **Klimatizační zařízení**

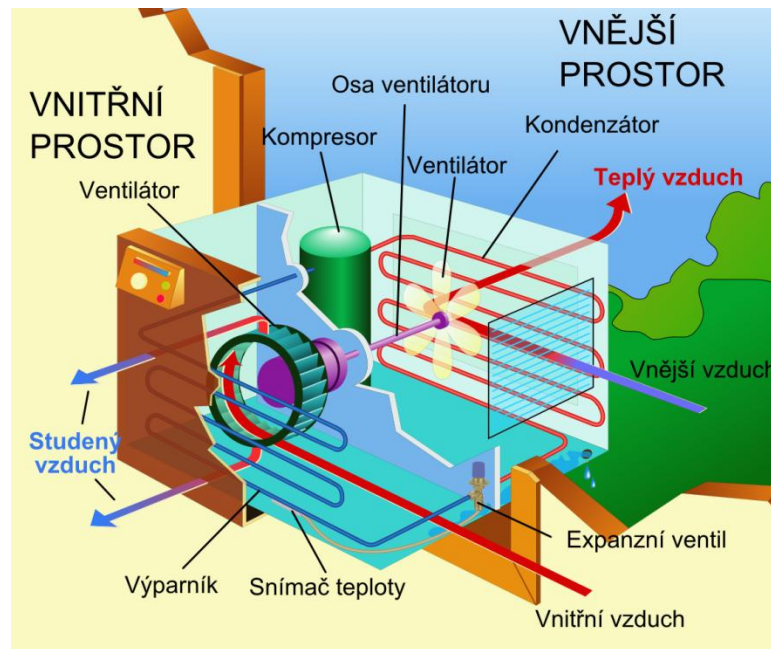
Upravují teplotu, vlhkost a čistotu vzduchu uvnitř budovy, a to zpravidla po celoroční období s automatickou regulací. Klimatizace s chladíci plochami, jako jsou stropy a stěny, upravuje teplotu povrchu stěn místností. [12]

### **Komfortní klimatizace**

Upravuje prostředí pro dodržení hygienických podmínek, tj. pro osoby. Vždy je spojena s přívodem čerstvého vzduchu do interiéru. [12]

### **Úplná klimatizace**

Zahrnuje veškeré úpravy teploty, vlhkosti a čistoty vzduchu celoročně na požadované parametry. Dílčí klimatizace slouží pouze k částečné úpravě. Může se jednat např. o úpravu teploty celoročně a úpravu vlhkosti jen v zimě. [12]



Obr. 2-10 Princip funkce klimatizace (převzato z:[13])

Dle účelu lze rozlišit požadavky na úpravu ovzduší:

- Hygienické – ochrana lidského organismu
- Technologické – pro správnou funkci výrobních a pracovních procesů, strojů
- Biologické – v zemědělství pro ustájení zvířat, uskladnění zemědělských produktů
- Bezpečnostní – pro ochranu před výbuchem hořlavých látek
- Požární – ochrana vzduchotechnických zařízení před šířením požáru, zařízení pro odvod tepla a kouře [12]

### 2.2.3 Struktura klimatizačních a větracích zařízení

Větrací a klimatizační jednotky ústřední i místní obsahují:

- Ventilátory
- Filtry
- Ohřívače
- Chladiče

- Zvlhčovače
- Výměníky zpětného získávání tepla
- Rozvody vzduchu a vyústky
- Zdroje chladu a tepla
- Rozvody chladiva, vody
- Systém řízení a regulace [11]

### **Ventilátory**

Většina vzduchotechnických zařízení musí mít nainstalovaný ventilátor, jehož úlohou je při dopravě vzduchu překonávat tlakové ztráty potrubního systému. Tato vlastnost se uvádí jako hodnota celkového dopravního tlaku ventilátorem. Ventilátory můžeme řadit mezi lopatkové stroje sloužící k dopravě a stlačování tekutin. U ventilátorů je tento poměr stlačení nízký (1,0 – 1,1), takže se jedná spíše o dopravu vzduchu než o jeho stlačování. Lopatkové stroje mají nasávací a výtlačné potrubí stále spojené. Ventilátor vlivem dynamického působení lopatek oběžného kola nasává vzduch. [11]

### **Radiální ventilátory**

Ventilátor se skládá z oběžného kola s lopatkami, které zabezpečují nasávání vzduchu v axiálním směru a jejich výtlač v kolmém směru na směr rotace. Dále se ventilátor skládá ze spirálové skříně, která zachycuje vzduch z rotoru a odvádí ho do hrdla ventilátoru, kde se přemění kinetická energie dopravované látky na tlakovou energii, což je funkce difuzoru. Podle směru zahnutí lopatek dělíme radiální ventilátory na stroje s lopatkami zahnutými dopředu, radiálně nebo dozadu. [11]

### **Axiální ventilátory**

U axiálních ventilátorů proudí vzduch ve směru osy rotace oběžného kola. Základem tohoto ventilátoru je rotor s oběžnými lopatkami a stator zajišťuje řízený vtok do oběžného kola, nebo přiřazení statoru za oběžné kolo sloužící k usměrňování proudu vzduchu na straně výtoku. Tento typ ventilátoru se dělí na přetlakové a rovnotlaké. Součástí rovnotlakých

ventilátorů, které mají vyšší výkony, je difuzor. Ten je řešen buď jako vnitřní nebo vnější. [11]

### **Diagonální ventilátory**

Diagonální ventilátor je přechodem mezi radiálním a vertikálním ventilátorem. Vzduch do něj proudí v axiálním směru – ve směru osy rotace oběžného kola, ale vzduch, který prochází rotorem, nezmění směr proudění oproti této ose o 90°, tak jak je tomu u radiálního ventilátoru. [12]

### **Dopravní tlak**

- Nízkotlaké do 1000 Pa.
- Středotlaké 1000 až 3000 Pa.
- Vysokotlaké nad 3000 Pa. [12]

### **Počet stupňů**

Vícestupňový ventilátor je tvořen několika sériově řazenými ventilátory pracujícími na společné ose. Jejich použití ve vzduchotechnice je neobvyklé. [12]

### **Přenos energie**

Zdrojem energie je vždy motor, který otáčí oběžným kolem. Podle spojení motoru s rotorem ventilátoru je můžeme rozdělit:

- Na přímo – hřídel oběžného kola ventilátoru je společná s motorem.
- Na spojku – točivý moment motoru přenáší na hřídel ventilátoru spojka, umožňující určitou nespojnost.
- S převodem – nejčastěji řemenovým převodem. [12]

### **Pohon**

K pohonu se nejčastěji využívají asynchronní elektromotory. V dolech se uplatňují pneumatické motory a u dopravních prostředků to bývají motory spalovací. [12]



## Filtry

Ve větrání a klimatizaci je filtrace atmosférického vzduchu nedílnou součástí k dodržení požadované čistoty interiérů. Chrání jej před tuhými a kapalnými znečišťujícími látkami. Filtrace slouží také k ochraně komponent větracího a klimatizačního zařízení. Vícetupňová filtrace se používá tam, kde je nutné zabezpečit vysokou čistotu prostředí. Základní parametry filtrů jsou účinnost filtrace a tlaková ztráta filtru. [14]

Účinnost filtrace se vypočítá ze vztahu

$$O_c = \frac{c_p - c_v}{c_p} * 100 (\%), \quad (3)$$

kde  $C_p$  je koncentrace příměsí před filtrem a  $C_v$  je koncentrace příměsí na výstupu z filtru. Koncentrace příměsí se uvádí obvykle v ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) nebo ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). [14]

Tlaková ztráta filtru zahrnuje ztráty na vstupu i výstupu a ztráty třením při průchodu vzduchu filtrem. Filtr má zachytáváním nečistot tendenci k zanášení, a proto je nutné provádět pravidelnou výměnu filtrů a jejich servis, v opačném případě při zanedbání této povinnosti by docházelo k výrazné ztrátě tlaku. [14]

## Třídění filtrů

### Hrubé filtry

Tab. 2-11 Rozdělení hrubých filtrů (převzato z:[11])

G1-G2	Všeobecně	Typické příklady použití
	Účinné pro vláknitý prach	První stupeň filtrace u vícetupňových zařízení
	Poměrně účinné pro částice větší než 10 $\mu\text{m}$	Filtry pro klimatizaci a větrání v textilních provozech
	Systémy s nejnižšími požadavky na filtraci	Ochrana výměníků, zvlhčovačů a větracích systémů
	Předfiltry pro vyšší koncentraci prachu	Systémy větrání v těžkých provozech
G3-G4	Všeobecně	Typické příklady použití
	Účinné proti pylu a zvířenému prachu	Ochrana výměníků, zvlhčovačů a větracího systému
		Vytápěcí a větrací systémy průmyslových objektů
		Filtrace v dopravních prostředcích, garážích, obchodní domy

### **Střední filtry (doporučuje se použít předfiltry G1-G4)**

Tab. 2-12 Rozdělení středních filtrů (převzato z:[11])

<b>M5-M6</b>	<b>Všeobecně</b>	<b>Typické příklady použití</b>
Málo účinné proti sazím, olejové mlze a tabákovému kouři		Větrání a klimatizační systémy pro školy, shromažďovací místnosti, restaurace, sportovní haly, kanceláře
Částečně účinné proti výtrusům a bakteriím		V průmyslu pro větrání s vyššími nároky na čistotu (chemický, papírenský, výroba mechaniky, optiky)

### **Jemné filtry (doporučuje se použít předfiltry G1-G4)**

Tab. 2-13 Rozdělení jemných filtrů (převzato z:[11])

<b>F7</b>	<b>Všeobecně</b>	<b>Typické příklady použití</b>
Účinné proti bakteriím a výtrusům		Větrací a klimatizační zařízení pro laboratoře, nemocniční pokoje, kanceláře, divadla, kuchyně
Částečně účinné proti sazím, olejové mlze a tabákovému kouři		V průmyslu pro telefonní ústředny, výrobu potravin, dílny přesné mechaniky, televizní studia
<b>F8-F9</b>	<b>Všeobecně</b>	<b>Typické příklady použití</b>
Účinné proti sazím, olejové mlze a tabákovému kouři, bakteriím		Operační sály, laboratoře, chemické a farmaceutické výroby
		2. stupeň filtrace pro vysoce účinnou filtraci

### **Vysoceúčinné filtry**

Tab. 2-14 Rozdělení vysoce účinných filtrů (převzato z:[11])

<b>H10</b>	<b>Všeobecně</b>	<b>Typické příklady použití</b>
Účinné proti všem druhům prachů a aerosolů		Metrologické laboratoře pro kalibraci, laboratoře pro optiku, elektroniku, biologii a operační sály
		Dodávka vzduchu pro čisté prostory v jaderných elektrárnách
<b>H11</b>	<b>Všeobecně</b>	<b>Typické příklady použití</b>
Velmi účinné proti všem druhům prachů a aerosolů, včetně virů		Shodné jako pro použití filtrů H10, pouze pro náročnější aplikace
<b>H12-H13</b>	<b>Všeobecně</b>	<b>Typické příklady použití</b>
Vysoceúčinné pro všechny druhy prachů aerosolů, včetně virů		Odsávací systémy pracující s nebezpečnými aerosoly (jaderná energetika, zdravotnictví)

H14 a vyšší	Všeobecně	Typické příklady použití
	Vysoce účinné pro všechny druhy prachů a aerosolů včetně virů	Filtrace čistých prostorů
		Dodávka vzduchu pro biotechnologie

### Ohříváče

Ohříváče patří v našich klimatických podmínkách mezi základní komponenty větracích a klimatizačních systému. Venkovní vzduch se ohřívá nejen v zimním období, ale i v přechodném období. Podle teplotní látky dělíme ohříváče na vodní, parní, elektrické a chladičové (kondenzátory). Dále dle jejich konstrukce na výměníky z hladkých trubek a výměníky žebrované. Lze je rozlišovat i podle zapojení trubek (sériové, paralelní). [11]

### Chladiče

Chladič slouží k ochlazení vzduchu a je základním komponentem pro klimatizační systémy a podle teplotní látky může být vodní či chladičový (přímý výparník). Chladiče stejně jako ohříváče jsou rekuperační výměníky tepla, přičemž rozdíl mezi chladičem a ohříváčem spočívá v nižším teplotním rozdílu mezi teplotní látkou a vzduchem. Při chlazení dochází ke kondenzaci vodních par ze vzduchu. Chladič také potřebuje větší teplotní plochu a musí být ošetřeno zachytávání vodních kapek a odvod kondenzátu. [14]

### Vlhčení vzduchu

Vlhčení vzduchu se používá jak v komfortní klimatizaci, tak pro zajištění požadované vlhkosti. [14]

### Parní zvlhčovače

Vlhčení vzduchu párou se směšuje se sytou nebo mírně přehřátou párou. V případě, že není k dispozici pára v objektu, musí být součástí zvlhčovače vyvíječ pár, které jsou elektrodové nebo varné. [14]

### Zvlhčování vodou

Vzduch se může zvlhčovat také vodou, která se odpařuje z vodní hladiny, nebo povrchu kapek. Při zvlhčování vodou se teplo potřebné pro odpaření voda odebírá z okolního vzduchu a jeho teplota klesá. [14]

## **Distribuce páry**

Důležitým aspektem je důkladné promíchání vzduchu a páry, aby nedocházelo k nežádoucí kondenzaci na stěnách potrubí, či jiných prvcích klimatizačního systému. Distributory páry se umisťují do samostatných komor, klimatizačních jednotek, do rovných úseků potrubí nebo přímo do klimatizovaných prostor. [14]

## **Zpětné získávání tepla**

Zpětné získávání tepla tzv. rekuperace by měla být součástí každého větracího a klimatizačního systému, které fungují celoročně. Smyslem zpětného získávání tepla je odebírat teplo vzduchu opouštějícího budovu a předat ho vzduchu venkovnímu, který je přiváděn do budovy. [12]

## **Výměníky zpětného získávání tepla jsou**

- Rekuperační, kdy výměna tepla probíhá přes teponosnou plochu (deskové nebo trubkové výměníky). Výměna tepla také může probíhat přes pomocnou tekutinu. [12]
- Regenerační, kdy akumulární hmota mění polohu a směr vzduchu zůstává stálý (rotační výměníky). Akumulární hmota může být také ve stálé poloze a mění se pouze směr proudění vzduchu (přepínací výměníky). [12]

## **Zdroje chladu pro klimatizační zařízení**

Základní funkcí klimatizačních systémů v letním období je chlazení. [11]

## **Chladivový oběh a chladiva**

Kompresor nasává páry chladiva z výparníku a stlačí je na kondenzační tlak, tím dojde i ke zvýšení teploty par, které jsou pak přivedeny do kondenzátoru. Tam jim chladicí tekutina odebere teplo a páry tak kondenzují při konstantním tlaku a teplotě. Z kondenzátoru pokračuje kapalně chladivo k expanznímu ventilu, kde dojde ke snížení tlaku a teploty. Ve výparníku se chladivo odpařuje při nízké teplotě a tlaku a odebírá teplo chlazené tekutině. V základním režimu chlazení výparník odebírá teplo teponosné látky. To se děje buďto přímo (přímý výparník) nebo pomocí kapaliny (většinou vody). Ta potom slouží k ochlazení vzduchu pro klimatizaci a z kondenzátoru je teplo odváděno ven. [14]

**Chladiva**

Chladivem je pracovní látka chladivového oběhu, která mění své skupenství z kapalného na plynné a obráceně. Chladiva jsou přírodní (voda, oxid uhličitý, čpavek) a syntetické (halogenové uhlovodíky). Dále je můžeme dělit na jednosložková a směsi. [14]

**Kompresory**

Kompresor zajišťuje v chladivovém oběhu dostatečný tlak par chladiva z vypařovacího na kondenzační tlak. Kompresory se dělí principálně na zmenšení pracovního objemu (pístové, spirálové, šroubové) nebo kompresory rychlostní, které využívají dynamického účinku (turbokompresory). [14]

## 3 Úspora energií

Spotřeba energie u bytových objektů je největší složkou provozních nákladů, u komerčních objektů je také podstatná. Cílem je minimalizovat náklady budovy ve stanoveném časovém období. [15]

### 3.1 Proč investovat do úsporných opatření

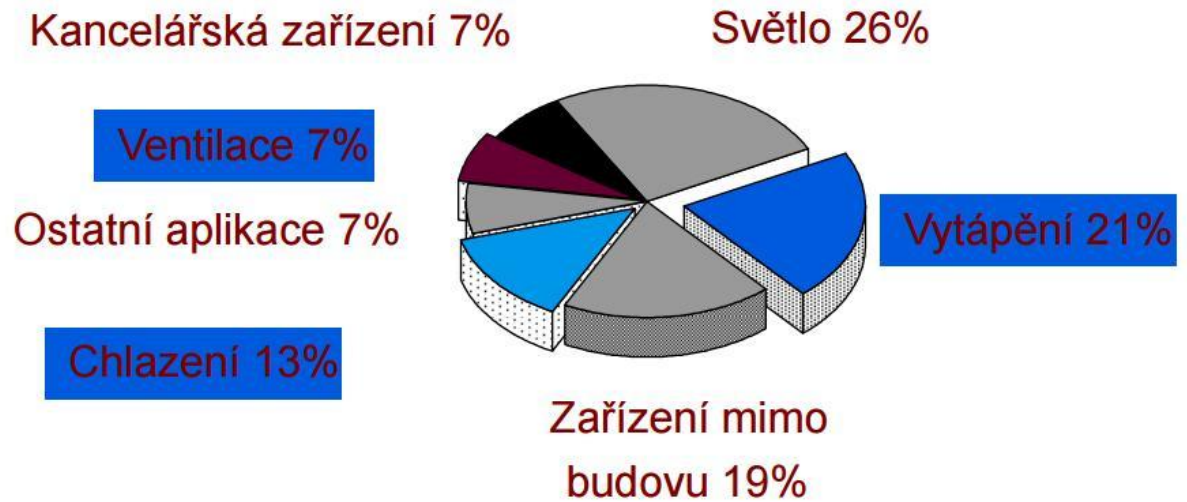
Vysoké náklady na energie jsou trnem v oku každého vlastníka domu, to jej vede k přemýšlení nad současným stavem budovy. Největší položkou obvykle bývá pořízení bytu, rodinného domu nebo jejich modernizace či rekonstrukce. Dnes zajímá majitele či uživatele budovy stav nejen z hlediska technického, ale především ekonomického. Pokud proběhnou správná opatření v rámci energetických úspor, lze očekávat významné snížení energetických nákladů provozu budovy. [15]

Topení, chlazení a osvětlení obytných a nebytových budov spotřebuje v technologicky vyspělých státech přibližně 40 % veškeré energie, což je podíl, který vyžaduje velkou pozornost. [16]

#### 3.1.1 Omezenost zdrojů a nárůst cen energie

Omezenost zdrojů, ze kterých čerpáme většinu energie, nás nutí přemýšlet nad zvýšením energetické účinnosti. Se zdroji je třeba nakládat hospodárně. Jsou známy analýzy o zmenšujících se zásobách ropy, zemního plynu i uhlí. Tato skutečnost působí na cenu energií, která stále roste. Nárůst podílu výdajů na spotřebu energie se v porovnání s celkovým příjmem obyvatelstva neustále zvyšuje. [15]

### 3.1.2 Spotřeba energie v budovách

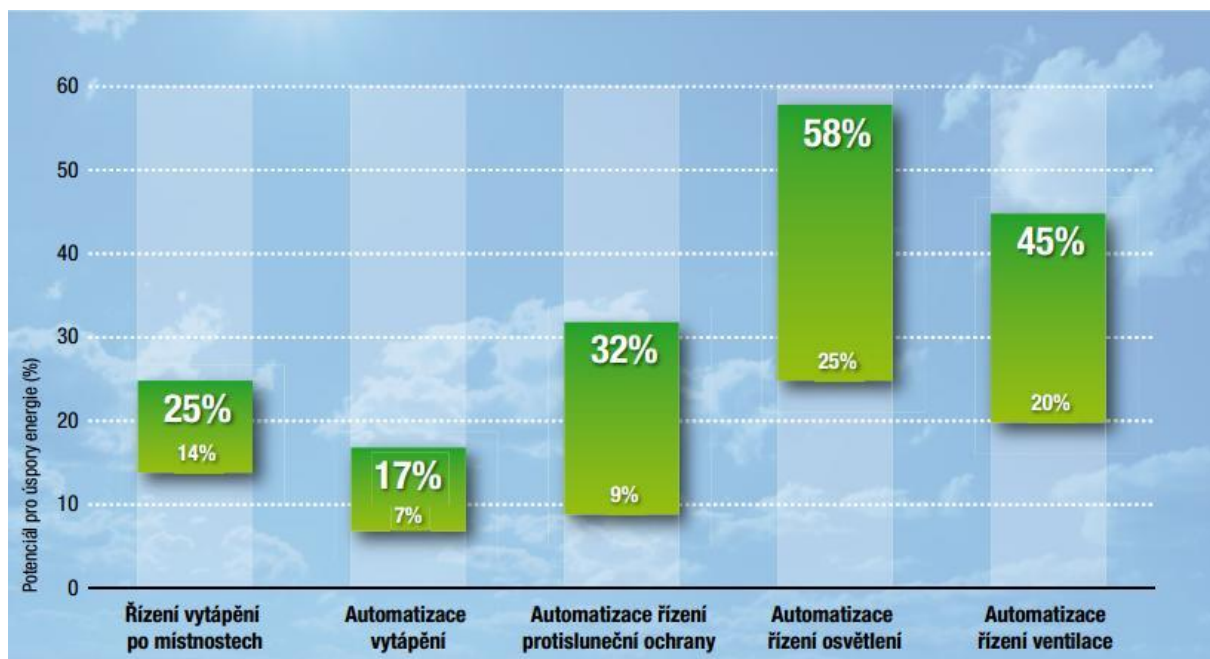


Obr. 3-1 Spotřeba energie v komerčních budovách (převzato z:[16])

Z grafu je patrné, že ventilace, chlazení a vytápění spotřebovává téměř polovinu celkové energie potřebné k provozu komerční budovy. Je proto důležité, zabývat se úspornými řešeními právě v těchto odvětvích. V domácnostech je správné dimenzování celého topného systému také velice důležité, jelikož vytápění spotřebovává přes polovinu celkové potřebné energie.

### 3.2 Modelové situace energetických úspor

Investice se obvykle týká adaptace systému MaR (komunikace s řídicím systémem, případné úpravy řídicího systému, instalace senzorů v budově). Tato částka se pohybuje od 10 tis. do 800 tis. Kč. Dále samotné implementaci MPC, který obnáší model, komunikaci, adaptaci proměnných tarifů, obsazenosti budovy, počasí ...) Tato částka se pohybuje okolo 300-500 tis. Kč. [17]



Obr. 3-2 Potenciál úspor (převzato z:[16])

Celková úspora dle typu budovy

- Potenciál úspor v lehkých budovách je 5-20 %.
- Potenciál úspor v těžkých budovách je 15-30 % . [17]

### Konkrétní příklady úspor energií po implementaci prediktivního řízení

Tab. 3-1 Potenciál úspor (převzato z:[17])

Druh budovy	Typ budovy	Podlahová plocha	Roční náklady na vytápění	Cena implementace MPC	Odhad úspor	Návratnost
Kancelářská budova	Těžká budova	20 000 m <sup>2</sup>	1 mil. Kč	500 tis. Kč	20%	2,5 roku
Panelový dům z 80.let	Lehká budova	7 000 m <sup>2</sup>	1,2 mil. Kč	800 tis. Kč	20%	Pod 4 roky



### 3.3 Vyhodnocování investic do energeticky úsporných opatření

Z finančního hlediska jsou investice do energetických opatření dlouhodobou poměrně stabilní investicí. Tuto investici je nutné chápat jako investici, ve které nepočítáme s klasickými výnosy, náklady a výsledným ziskem, ale s rozdílem nákladů provozu před a po investici. [15]

#### 3.3.1 Typy investic

Energetická opatření se liší zejména jejím rozsahem, finanční investicí a dobou životnosti. Podle velikosti je dělíme na:

- Nízkonákladové.
- Středněnákladové.
- Vysokonákladové.

V případě nízkonákladové úspory energií nemá význam řešit cash flow, ale správnou funkci systému. Nízkonákladové opatření jako jsou např. opravy, mají obvykle vysoký efekt. [15]

#### 3.3.2 Návratnost investice ovlivňující vnější faktory

Při posuzování návratnosti investice musíme zohlednit spoustu faktorů. Provedením citlivostní analýzy bychom zjistili, jak velký dopad má nárůst cen energie na výslednou dobu návratnosti. Další faktory uvedené níže souvisí s inflací, která je důležitou veličinou pro zjišťování hodnoty peněz v čase. Na druhou stranu je narovnávána v důsledku nárůstu cen na straně energie, stavebního materiálu apod. [15]

Tab. 3-2 Vnější ovlivnění návratnosti investic (převzato z:[15])

Faktor	Způsob vlivu na investice	Ovlivnění výsledku	Kalkulování
Nárůst cen energie	Nejvýznamnější faktor, který ovlivňuje návratnost investice. Přímě ovlivňuje, zda se naše investice vůbec vrátí.	Velmi vysoké	Složité
Nárůst cen provedených opatření	Navýšení pořizovací ceny investice, nebo její části v čase. Projevuje se hlavně v cyklech obnovy provedených opatření, kdy nějaká část nedosahuje životnosti celku	Střední	Možné
Zlepšení technických vlastností výrobků	Vlivem výzkumu a dokonalejší technologii výrobců se zlepšují technické vlastnosti výrobků v čase	V krátkodobém horizontu nízké	Možné
Úroková míra úvěru	Významná veličina, která charakterizuje dostupnost peněz na trhu a aktuální procento úrokových sazeb	Významné	Možné
Diskontní sazba	Srovnávací číslo uvedené v procentech, užívané v metodě NPV – čisté současné hodnoty, k hodnocení efektivity investic. Určit by ji měl investor sám podle své schopnosti zhodnocovat prostředky	Zásadní	Nutné
Státní podpora investice	Podle státních podmínek je možné zažádat o státní podporu za energeticky úsporné opatření. Má vliv na významné snížení doby návratnosti	Významné	Možné
Chování uživatele	Uživatel zcela zásadně může ovlivnit realizaci a celkové provozování investice. Vytváří rozdíly mezi plánem a skutečností	Velmi důležité	Nemožné

### 3.4 Porovnání nákladů na vytápění vč. vstupních investic

#### 3.4.1 Energetické úspory vytápění s ohledem na provozní a investiční náklady

##### Údaje o objektu

Uvažujme situaci nového domu na okraji Plzně. Plzeň se považuje za teplou klimatickou oblast. Celková tepelná ztráta je  $Q_c = 7$  kW. Velikost tepelné ztráty představuje kvalitu obálky budovy, čím lépe je provedena izolace budovy, tím je tepelná ztráta nižší.

Tab. 3-3 Údaje potřebné k výpočtu potřebného tepla

Lokalita	Plzeň	
Celková tepelná ztráta	$Q_c$	7 kW
Venkovní výpočtová hodnota	$t_e$	12°C
Průměrná venkovní teplota	$t_{es}$	3,6°C
Střední denní venkovní teplota	$t_{em}$	12°C
Délka otopného období	$d$	242 dní
Průměrná vnitřní teplota	$t_{is}$	19°C
Vytápěcí denostupně	$D$	3 727K.dny
Ztráty infiltrační a tepelné ztráty prostupem	$e_i$	0,84
Snížení teploty v místnosti během dne	$e_t$	0,9
Zkrácení doby vytápění	$e_d$	1
Opravný součinitel	$e$	0,756

Regulace soustavy	No	1
Účinnost rozvodu vytápění	Nr	0,96

### **Střední denní venkovní teplota**

Počítá se jako součet naměřených teplot ve stínu v 7:00, 14:00 a 21:00. Vzorec je následující:

$$t_{em} = \frac{t_{e7} + t_{e14} + (t_{e21*2})}{4} \quad (4)$$

### **Vnitřní průměrná teplota**

Pro obytné budovy se vnitřní průměrná teplota pohybuje od 18,2 °C – 19,1°C.

### **Vytápěcí denostupně**

Vytápěcí denostupně jsem vypočetl z následujícího vzorce:

$$D = d * (t_{is} - t_{es}) = 3\,727 \text{ K. dny} \quad (5)$$

### **Ztráty infilrací a tepelné ztráty prostupem**

Tyto ztráty v běžných případech tvoří 10-20% celkové tepelné ztráty, proto se volí v rozmezí 0,8 – 0,9.

### **Snížení teploty v místnosti během dne**

Jde o snížení teploty během dne respektive v noci. V některých budovách lze vlivem regulace možno snížit teplotu. Např. školy, kde je polodenní vyučování má součinitel 0,8. Nemocnice mají 1, jelikož vyžadujeme 100% výkon otopné soustavy po celou dobu provozu.

### **Zkrácení doby vytápění**

Podle využití budovy v průběhu týdne se volí tento součinitel následovně: 1 – sedmidenní provoz. 0,9 – šestidenní provoz a 0,8 s pětidenním provozem.

**Regulace soustavy**

Možnost regulace soustavy se volí v rozmezí od 0,9 po 1, kdy 1 se volí pro otopnou soustavu rozdělenou do sekcí.

**Účinnost rozvodu vytápění**

Dle kvality rozvodů vytápění se volí v rozmezí 0,95 – 0,98.

**Opravný součinitel e**

$$e = e_i * e_t * e_d = 0,84 * 0,9 * 1 = 0,756 \quad (6)$$

**Výsledné potřebné teplo pro vytápění dle zadaných parametrů**

$$Q_{vyt} = \frac{e}{n_o * n_r} * \frac{24 * Q_c * D}{(t_{is} - t_e)} * 3,6 * 10^{-3} = \frac{0,756}{1 * 0,96} * \frac{24 * 7 * 3727}{(19 - (-12))} = 15\,905 \text{ kWh/rok} \quad (7)$$

**Převedení na kJ**

$$Q_{vyt} = \frac{15\,905}{0,277} = 57\,419 \text{ kJ/rok} \quad (8)$$

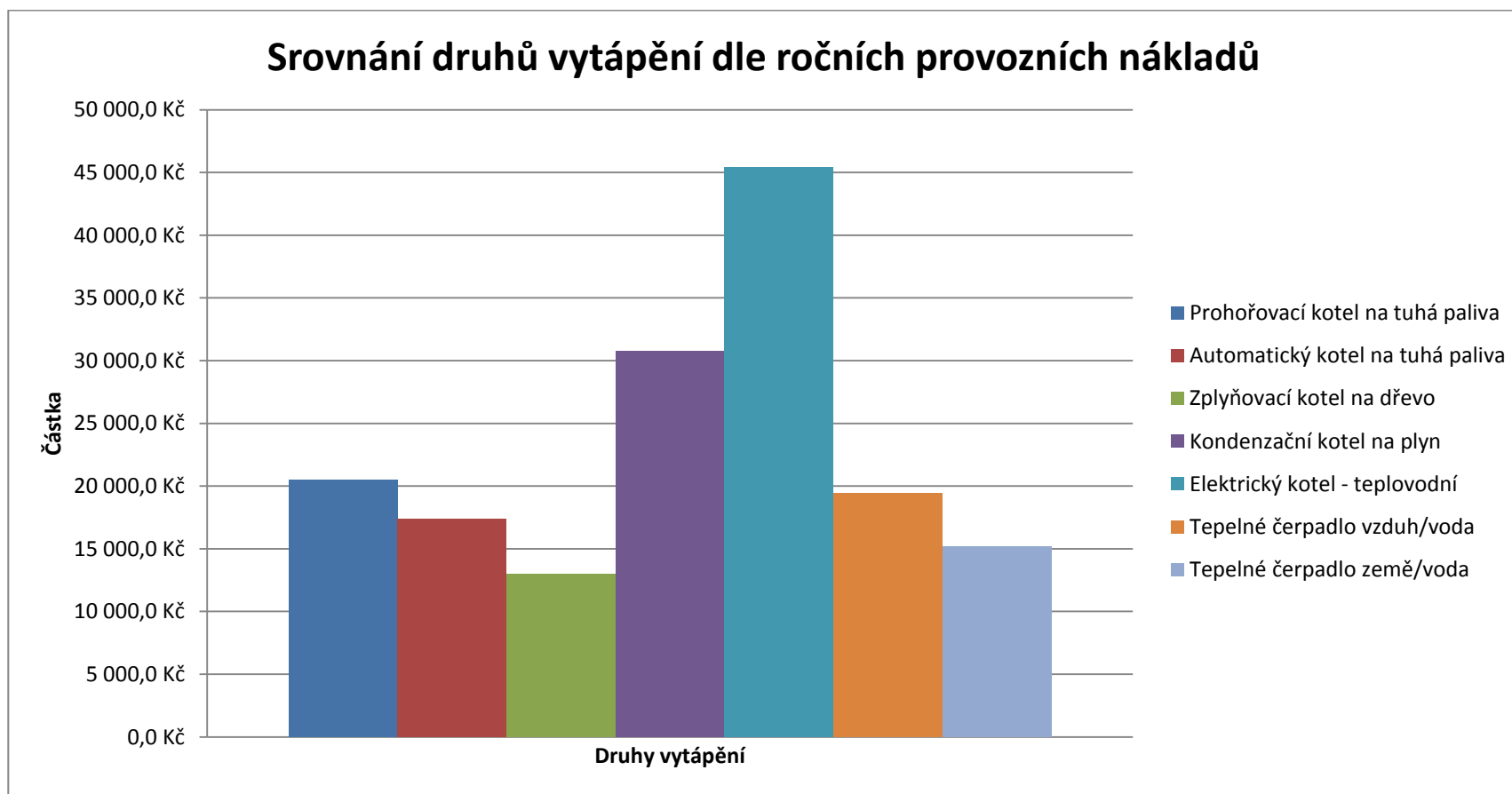
Tab. 3-4 Druhy vytápění a jejich celkové porovnání

Druh vytápění	Roční potřeba energie na vytápění (kWh/rok)	Vstupní investice (Kč)	Roční údržba (Kč)	Účinnost zdroje, topný faktor	Druh paliva	Výhřevnost paliva (Mj/kg)	Náklady paliva (Kč/kg)	Spotřeba paliva (kg)	Roční provozní náklady (Kč)
Kotel na tuhá paliva - prohořovací	15905	124000	1500	60%	Č. Uhlí	28	6,6	2871	20 448
Kotel na tuhá paliva - automatický	15905	169000	1800	85%	Č. Uhlí	28	6,6	2358	17 365
Kotel na dřevo zplyňovací	15905	99000	1500	80%	Dřevo	15	2,5	4594	12 984
Kotel plynový - kondenzační	15905	151000	1800	97%	Zemní plyn	34 (Mj/m <sup>3</sup> )	1,5 (Kč/m <sup>3</sup> )	1793 (m <sup>3</sup> )	30 733
Kotel elektrický - teplovodní	15905	18000	700	95%	Elektřina	-	2,35 (Kč/kWh)	16700 (kWh)	45 406
Tepelné čerpadlo - vzduch/voda	15905	200000	1500	3	Elektřina	-	2,35 (Kč/kWh)	5302 (kWh)	19 419
Tepelné čerpadlo - země/voda	15905	300000	1000	4,3	Elektřina	-	2,35 (Kč/kWh)	3699 (kWh)	15 152

V tabulce jsem spočítal, viz výše roční spotřebu energie, kterou potřebuji k celoročnímu vytápění budovy. Do vstupní investice jsem započítal pořizovací cenu zdroje vytápění a jeho montáž. U kotlů na tuhá paliva je připočtena cena za realizaci skladu na příslušné palivo a stavbu komína. U plynového kondenzačního kotle také kalkuluji s výstavbou komína. Roční údržba zahrnuje poplatky za servis a revizi daného zdroje vytápění a u příslušných zdrojů vytápění prohlídku komínu. Účinnost zdroje je jmenovitá účinnost stanovená výrobcem a představuje schopnost přeměňovat dodanou energii v energii tepelnou. Topný faktor se uvádí u tepelných čerpadel. Výhřevnost paliva nám uvádí, kolik energie je dané palivo schopno uvolnit. Náklady paliva jsem zjišťoval v aktuálních cenících dodavatelů energií. V případě, že se jedná o hmotné palivo typu

černé uhlí a dřevo, je v ceně započítána i jeho doprava. U elektricky napájených zdrojů vytápění jsem přičetl do provozních nákladů dle platné sazby D 45d pro elektrický kotel (nízký tarif po dobu 20hod) a D 56d pro tepelná čerpadla (nízký tarif po dobu 22hod) měsíční poplatek za jistič nad 3x20A do 3x25A včetně. Spotřeba paliva je reálné množství paliva, které je potřeba k vytápění dané budovy po celou otopnou sezonu. Roční provozní náklady jsou celkové roční náklady za palivo sečtené s cenou roční údržby. Z grafu 3-3 je vidět, že tepelné čerpadla a zplyňovací kotel na dřevo mají velice nízké provozní náklady. U tepelného čerpadla je to však vykoupeno jeho vysokou pořizovací cenou. V jejich blízkosti se nachází automatický kotel na tuhá paliva a prohořovací kotel. Všechny tyto druhy vytápění se v provozních nákladech vešly do limitu cca 20 000 Kč. Kondenzační kotel se dostane na hodnotu kolem 30 000 Kč a elektrický přesáhne hodnotu 45 000 Kč, což je oproti tepelnému čerpadlu země/voda trojnásobek.

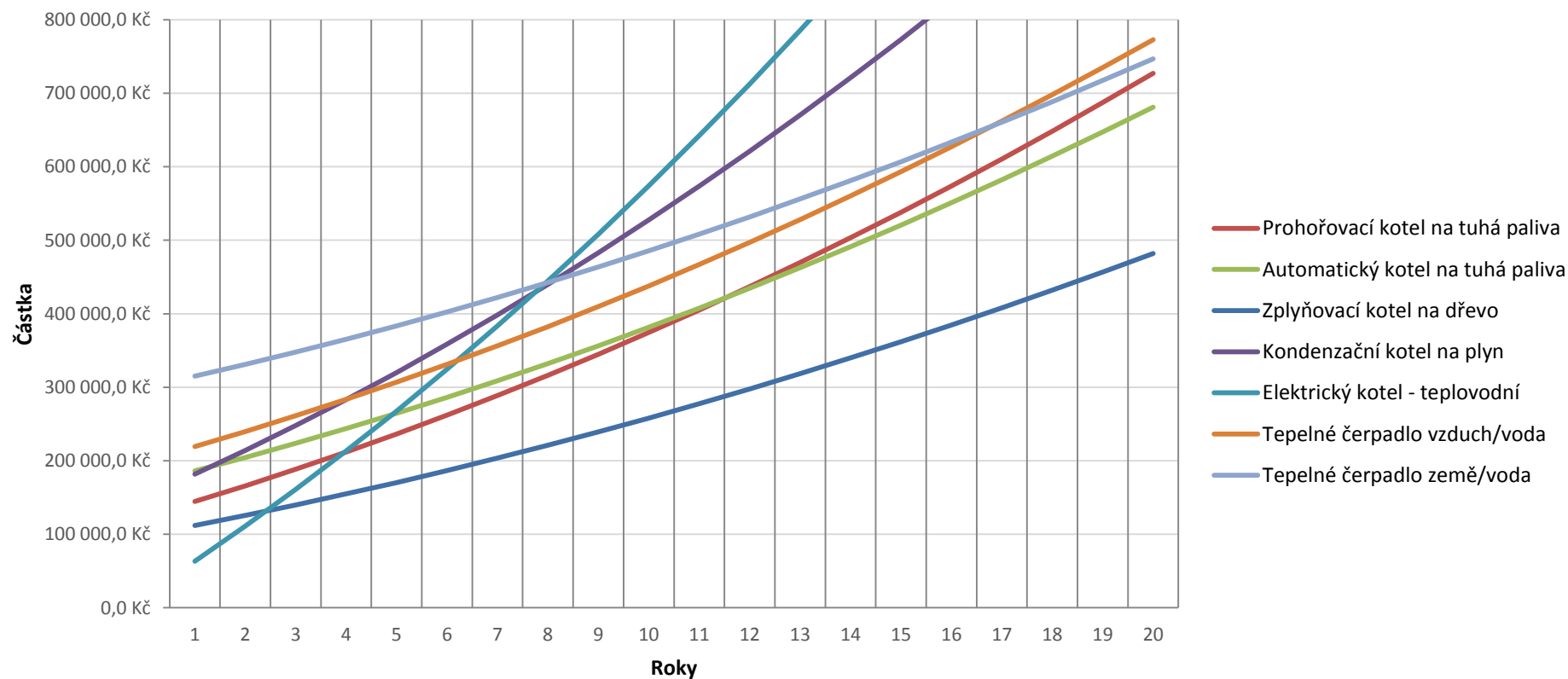
V grafu 3-4 je zobrazeno srovnání jednotlivých zdrojů vytápění v průběhu 20 let včetně investičních nákladů. Z grafu je vidět, že nejlépe vychází zplyňovací kotel na dřevo, který má nízké jak pořizovací náklady, tak náklady provozní. Velice strmou charakteristiku má kotel elektrický, který má nejnižší pořizovací náklady, ale již za sedm a půl roku se jeho celkové náklady vyšplhají nad nejdražší investici, kterou bychom měli u tepelného čerpadla země/voda. Podíváme-li se na kotle na tuhá paliva, tak se automatický kotel stane výhodnějším oproti klasickému prohořovacímu zhruba po dvanácti letech. Automatický kotel na tuhá paliva má podobné pořizovací náklady jako kotel plynový – kondenzační. Nicméně tím, že je plyn dražší má kondenzační kotel mnohem vyšší provozní náklady a tím se stává již po osmi letech druhým nejdražším zdrojem na vytápění. Zajímavou investicí se stávají tepelná čerpadla. Jejich vysoká pořizovací cena způsobuje fakt, že se nikdy nevyplatí oproti kotlům na tuhá paliva. Nicméně zde je to spíše otázka komfortu. Člověk nemusí řešit, kde palivo uskladní, nemusí stále palivo doplňovat a řešit jeho odpad. Navíc má skutečně velice nízké provozní náklady a to z něj dělá dobrou volbu do nového domu. Otázkou zůstává, jak dlouho je schopno čerpadlo reálně běžet bez větších nákladů na opravy, aby jeho úspornost byla skutečně využita. Jelikož předpokládám, že ceny energií nebudou v následujících dvaceti letech stagnovat. Každý rok jsem provozní náklady násobil koeficientem 1,05. Uvažuji tedy každý rok 5% nárůst cen energií. Ve skutečnosti samozřejmě neočekávám lineární růst cen energií, které se nebudou zvyšovat lineárně a jednotlivé energie a paliva budou růst jinou rychlostí, ale pro orientační představu je 5% nárůst dostačující.



Obr. 3-3 Graf srovnání vytápění z pohledu provozních nákladů



## Srovnání druhů vytápění s investičními a provozními náklady po dobu 20 let



Obr. 3-4 Graf srovnání druhů vytápění po dobu 20 let

## 4 Prediktivní řízení

Prediktivní řízení MPC (Model predictive control) zastřešuje celý systém HVAC. Prediktivní řízení se soustředí na tyto body:

- Spotřeba energie pouze v momentě potřeby.
- Spotřeba pouze nezbytně nutné energie.
- Spotřebovat s nejvyšší možnou účinností.
- Předvídat a reagovat.
- Uživatelský komfort.

MPC celkově přispívá k efektivnějšímu využívání energie. Počátky MPC sahají do sedmdesátých let 20. století, kdy byl tento systém firmou *Shell Oil* využit pro optimalizaci provozu, nutná zejména kvůli ropné krizi v 70. letech minulého století. U nás se skutečného provozu MPC dočkal až v roce 2009-10 zejména projektem na budově ČVUT v Praze. MPC regulátor je koncipován tak, aby mohl pracovat s větším počtem akčních členů a regulovaných veličin. Všechna omezení, rozsahy hodnot, rychlosti změn musí být zahrnuty již při výpočtu akčních zásahů. [18]

Kvalitní regulace vytápění, chlazení a ventilace je pro zachování komfortního prostředí a ekonomického provozu klíčová. Stále převažují systémy s termostatem či ekvitermní regulací. Na začátku se MPC potýkalo s problémem vysokých nároků na výpočetní náročnost. Tyto problémy se časem podařilo odstranit a dnes MPC regulátor můžeme najít v energetice, chemickém průmyslu i ve stabilizačním systému automobilů. [19]

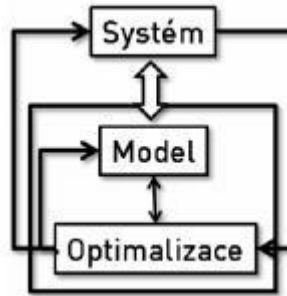
### Funkční principy MPC

V každém okamžiku vzorkování musí být k dispozici:

- Dynamický model řízené soustavy včetně omezujících podmínek.
- Současné i minulé hodnoty regulovaných veličin.

- Předpokládané nebo známé průběhy požadovaných hodnot regulovaných veličin v rámci uvažovaného horizontu predikce. [18]

V každém okamžiku vzorkování je řešena optimalizační úloha a je prováděn výpočet akční veličiny v rámci uvažovaného horizontu řízení. [18]



Obr. 4-1 Princip regulace (převzato z:[19])

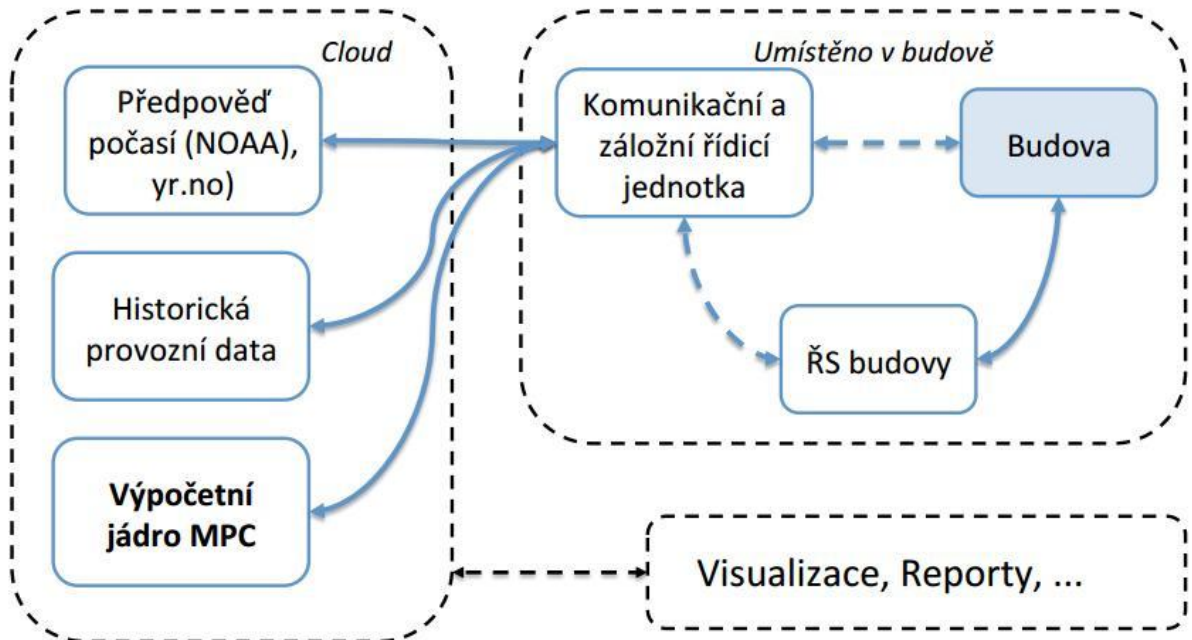
Základním principem prediktivní regulace lze představit na obr. 4-1. Na základě systému, v tomto případě měření na budově odvodíme jeho model. Ten je přednostně lineární, časově invariantní – pro složitější struktury modelů je obtížné vypočítat příslušné optimalizace, a to i s moderní výpočetní technikou. Tento model se následně použije jako omezení pro optimalizaci. Do optimalizace při tom vstupují další omezení jako maximální teplota topné vody, maximální změnu polohu ventilů apod., dále měřené výstupy systému jako je předpověď počasí. Optimalizačním kritériem je minimalizace energie, minimalizace odchylky požadované a reálné vnitřní teploty. MPC je vícerozměrná regulace, řeší celou budovu jako celek, nikoliv pro každý okruh zvlášť, jak je tomu u ekvitermní regulace. Výstupem MPC je nastavení vstupních veličin systému, jako je teplota topné vody, konkrétní poloha ventilů. MPC se počítá pro určitý časový horizont predikce např. den dopředu. Nevychází se tedy pouze z aktuálních hodnot, ale regulátor predikuje chování systému. [19]

### Algoritmus regulace

1. Matematický model se použije pro odhad chování systému v blízké budoucnosti (u budov to může být den, dva dopředu). [19]
2. Pomocí optimalizačních metod se vypočte nastavení systému (např. míra otevření ventilů). [19]
3. Vypočtené nastavení se provede. [19]

4. Změří se skutečný efekt provedeného zásahu a v případě zjištěné odchylky se model aktualizuje. [19]

### Zapojení MPC do řídicího systému



Obr. 4-2 Zapojení MPC do systému (převzato z:[17])

## 4.1 Řízení vytápění

Různé typy regulací mají nestejně nároky na instalaci, obsluhu, nastavení a provoz. Správný typ regulace závisí na konkrétním typu budovy. Zvolená strategie řízení má celkově velký dopad na potenciál energetických úspor. [20]

### Regulace podle teploty výstupní vody ze zdroje

Jedná se o jednoduchý systém, kdy je čidlo obvykle i s regulátorem instalován v přívodní trubce topné vody. Podle této teploty se reguluje zdroj tepla. Tato regulace se používá tam, kde kotel dodává vodu do jednoho rozdělovače. [20]

### Regulace podle vnitřní teploty

V tomto případě se snímá teplota vytápěné místnosti. Snímač se umístí do referenční místnosti, podle které jsou ovládány i místnosti ostatní. Teplota vzduchu jako řídicí veličina je předávána regulátoru. Vzniklou regulační odchylkou v referenční místnosti zapříčiní změnu teplotní vody a tím i změnu teploty v ostatních místnostech. Tato vlastnost se negativně projevuje zejména u velkých rozlehlých objektů. [20]

### Zónová regulace podle vnitřní teploty

Také nazývána jako IRC, jejímž hlavním předpokladem je možnost řízení teploty v jednotlivých zónách, respektive místnostech. Každá zóna tak představuje jednotlivou regulační smyčku. Hlavní výhodou je možnost nastavení odlišných teplot v jednotlivých zónách. [20]

### Regulace podle venkovní teploty – ekvitermní regulace

Čistě ekvitermní regulace

Potřeba tepla je přímo úměrná venkovní teplotě, kdy je umístěné čidlo na fasádě budovy, které předává informace regulátoru. Ten pracuje podle zadané charakteristiky – ekvitermní křivky. Tvar této křivky je závislý na topné soustavě a povaze budovy. Správné nastavení je z hlediska účinnosti velice důležité. Jedná se o dlouhodobý a pracný proces. [20]



Obr. 4-3 Ekvitermní křivka (převzato z:[20])

Jedna ekvitermní křivka odpovídá jedné teplotě v místnosti. Regulátor reguluje pouze teplotu topné vody, a to v závislosti na venkovní teplotě vzduchu. Teplota vratné vody je proměnná v závislosti na celé otopné soustavě. Regulace je rychlá, s malým dopravním zpožděním. [20]

#### **Ekvitermní regulace na střední hodnotu otopné vody**

Regulátor reguluje na průměr teplot mezi topnou a vratnou vodou otopné soustavy podle ekvitermní křivky. Výsledná teplota topné vody respektuje okamžité nároky otopné soustavy. Docílí se tím zkrácené doby náběhu otopu a zamezení neekonomického plýtvání energií do systému, když není potřeba. Podle teploty vratné vody regulátor vyhodnocuje energetické potřeby budovy. [20]

#### **Ekvitermní regulace se zpětnou vazbou**

Zde se nejedná o čistě ekvitermní regulaci, ale o ekvitermní regulaci se zpětnou vazbou na vnitřní teplotu. Regulátor měří aktuální teplotu v referenční místnosti, a na jejím základě koriguje celý regulovaný otopný systém. [20]

**Podle vlivu teploty v prostoru můžeme dále dělit na:**

- Dlouhodobý – regulace na základě zpětné vazby z prostoru dokáže odhadem přizpůsobit zadanou otopnou křivku vlastnostem dané budovy. Přizpůsobení se týká změny strmosti a paralelního posunu. [20]
- Krátkodobý – Při zjištění teplotní odchylky v prostoru se pomocí regulátoru účelově koriguje na požadovanou prostorovou teplotu. [20]

Ekvitermní regulace má poměrně dobrou dlouhodobou rovnováhu mezi výrobou a spotřebou tepla, která je zajištěna vyladěnou ekvitermní křivkou. [20]

**Prediktivní řízení**

Jádrem algoritmu je řešení optimalizační úlohy s danými kritérii optimality a modelem procesu. Kritéria optimality jsou dána podle konkrétního úkolu. U vytápění budov je to požadavek na udržení požadované teploty v místnostech a minimalizace energie potřebné k vytápění. Strategii prediktivního řízení není pouze hledání akčního zásahu pro následující periodu vzorkování jako u jiných metod, ale hledá se celá optimální posloupnost zásahů pro daný horizont predikce, na základě modelu procesu. Právě nalezená optimální posloupnost akčních zásahů může být postupně použita v časovém intervalu, který je dán horizontem predikce. Po zavedení všech vypočtených akčních zásahů pro daný časový interval se nalezne nová posloupnost. Toto řízení v otevřené smyčce není příliš praktické, jelikož nemohou být brány v úvahu poruchové veličiny, a tím i jejich eliminace v jednotlivých periodách vzorkování. Tento nedostatek je odstraněn využitím zpětné vazby prostřednictvím klouzavého horizontu. V případě použití klouzavého horizontu se z celé vypočítané optimální posloupnosti použije jen první akční zásah a následující periody vzorkování se na základě nového měření vypočítá nová posloupnost. [20]

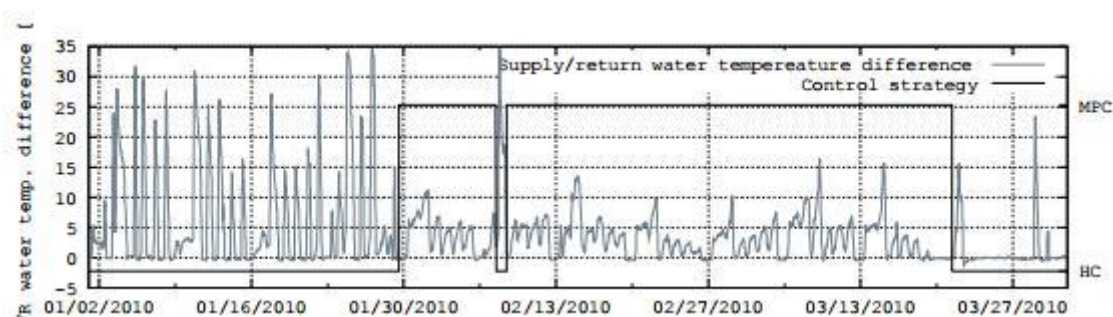
Chování budovy je významně ovlivněno povětrnostními podmínkami. Aby bylo možné určit vývoj teploty uvnitř budovy, je nutné zajistit informace o tom, jakým povětrnostním podmínkám bude budova v následujícím horizontu predikce vystavena. Ovlivňujícími faktory se stávají venkovní teplota, intenzita slunečního záření, rychlost větru. Předpovědi počasí jsou dnes pro celou populaci naprostá samozřejmost. Ovšem v tomto technickém nastavení je potřeba znát mnohem přesnější předpověď počasí, která se

váže ke konkrétnímu místu (budově). Tyto předpovědi bývají obvykle placené a jsou velice důležitým aspektem pro správnou funkci prediktivního řízení. [20]

### Matematický model budovy

Při generování předpovědi hraje klíčovou roli matematický model budovy, který popisuje chování dané budovy, nebo její části, která je pro účel předpovědi podstatná. Matematický model lze získat buď pomocí matematického modelování, nebo identifikací z měřených dat. Předpokladem matematického modelování je znalost fyzikálních jevů, které se v dané budově odehrávají. Na jejich základě je vytvořen matematický model. Tato varianta vyžaduje výborné znalosti v oblasti termodynamiky budov, stavebních detailů i vlivu stárnutí materiálů. Díky plošnému zavedení automatizace do budov je dnes běžné, že každá taková budova má k dispozici archivovaná data z měření na jejích budovách. Jedná se o ideální stav pro nasazení metod, které model dané technologie identifikují z historicky naměřených dat. Tím pádem není nutná znalost diferenciálních rovnic popisujících termodynamické procesy, které v budově probíhají. Znalost základních principů statistických metod nutná je. Volba konkrétní metody identifikace se odvíjí od popisu modelu, který chceme využít. Vnější popis je použitím diferenční rovnice vyjádřen vztah mezi měřenými vstupy a výstupy. Vnitřní popis je vyjádřen stavovým modelem, kdy v modelu hraje svou roli i vnitřní stav systému. [20]

Na obr. 4-1 je zobrazen příklad toho, jak se v praxi liší průběh teploty topné vody při ekvitermní regulaci, a jak při prediktivním řízení. Ekvitermní regulace má tendenci budovu regulovat energetickými špičkami. Průběh teploty topné vody při prediktivní regulaci je mnohem plynulejší a lépe využívá dynamiky budovy. [19]



Obr. 4-4 Průběh teploty topné vody pro ekvitermní regulaci a MPC (převzato z:[19])



## 4.2 Evropská norma EN 15232

Tato norma představuje současný trend podpory energeticky účinných technologií. Norma uvádí metody pro vyhodnocování vlivu technického řízení budov a automatizace na energetickou spotřebu budov. [21]

Byly vytvořeny 4 energetické třídy A-D. V případě, že je budova vybavena systémy automatizace, je přiřazena do energetické třídy. Potenciální úspory tepelné a elektrické energie je možné vypočítat pro jednotlivé energetické třídy dle typu budovy a jejího účelu. Hodnoty energetické třídy C je využívána jako referenční hodnota pro porovnání účinnosti. [21]

Tab. 4-1 Tříd energetických účinnosti (převzato z:[21])

Automatizace a řízení budov - třídy účinnosti podle EN 15232	Činitel účinnosti pro tepelnou energii			Činitel účinnosti pro elektrickou energii		
	Kancelář	Škola	Hotel	Kancelář	Škola	Hotel
<b>A</b> Systém automatizace a řízení budovy (BACS) s vysokou energetickou účinností a vysoce výkonným systémem technické správy budovy (TBM)	0,70	0,80	0,68	0,87	0,86	0,90
<b>B</b> Pokročilý BACS a TBM	0,80	0,88	0,85	0,93	0,93	0,95
<b>C</b> Standartní BACS	1	1	1	1	1	1
<b>D</b> BACS bez funkce energetické účinnosti	1,51	1,20	1,31	1,10	1,07	1,07

Následující tabulka ukazuje rozdíly ve spotřebě energie pro tři typy budov rozdělených do tříd energetické účinnosti A, B a D a jejich porovnání se základními hodnotami třídy C (př. v budově, která je v energetické třídě A je v kancelářích možno dosáhnout 30% úspory tepelné energie oproti třídě C). [21]

Tab. 4-2 Tříd energetických účinnosti (převzato z:[21])

	Řízení topení/chlazení	Ventilace/řízení klimatizace	Osvětlení	Ochrana proti slunečnímu záření
<b>A</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Individuální řízení jednotlivých místností s komunikací mezi kontroléry</li> <li>- Vnitřní měření teploty pro řízení teploty ve vodovodní distribuční síti</li> <li>- Úplné vzájemné blokování mezi řídicím systémem vytápění a chlazení</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Řízení proudění vzduchu v místnostech v závislosti na požadavcích nebo přítomnosti osob</li> <li>- Nastavení teploty s kompenzací teploty dodávaného vzduchu</li> <li>- Řízení vlhkosti vstupujícího a vystupujícího vzduchu v místnosti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Automatické řízení denního světla</li> <li>- Automatická detekce přítomnosti osob, manuální zap./automatické vyp.</li> <li>- Automatická detekce přítomnosti, manuální zap./stmívání</li> <li>- Automatická detekce přítomnosti, automat. zap./automatické vyp.</li> <li>- Automatická detekce přítomnosti, automatické zap./stmívání</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kombinované řízení osvětlení/žaluzií/topení/větrání/klimatizace (HVAC)</li> </ul>
<b>B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Individuální řízení jednotlivých místností s komunikací mezi kontroléry</li> <li>- Vnitřní měření teploty pro řízení teploty ve vodovodní distribuční síti</li> <li>- Částečné vzájemné blokování mezi řídicím systémem vytápění a chlazení (nezávisle na systému HVAC= topení, větrání, klimatizace)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Časově závislé řízení proudění vzduchu v jednotlivých místnostech</li> <li>- Nastavení teploty s kompenzací teploty dodávaného vzduchu</li> <li>- Řízení vlhkosti vstupujícího a vystupujícího vzduchu v místnosti</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manuální řízení denního světla</li> <li>- Automatická detekce přítomnosti osob, manuální zap./automatické vyp.</li> <li>- Automatická detekce přítomnosti, manuální zap./stmívání</li> <li>- Automatická detekce přítomnosti, automat. zap./automatické vyp.</li> <li>- Automatická detekce přítomnosti, automatické zap./stmívání</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Motorické ovládání s automatickým řízením žaluzií</li> </ul>
<b>C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Individuální automatické řízení jednotlivých místností termostatickými - ventily nebo elektronickým řídicím systémem</li> <li>- Kompenzované řízení teploty ve vodovodní distribuční síti podle venkovní teploty</li> <li>- Částečné vzájemné blokování mezi systémy řízení topení/chlazení (závislé na systému HVAC)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Časově závislé řízení proudění vzduchu v jednotlivých místnostech</li> <li>- Konstantní nastavení teploty vzduchu</li> <li>- Omezení vlhkosti vstupujícího vzduchu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manuální řízení denního světla</li> <li>- Manuální spínač zap./vyp. + přidavný signál pro rychlé zhasnutí</li> <li>- Manuální spínač pro zapnutí/vypnutí</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Motorické ovládání s manuálním ovládaním žaluzií</li> </ul>
<b>D</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Žádné automatické řízení. Žádné řízení teploty vody v distribuční síti</li> <li>- Žádné vzájemné blokování mezi systémem řízení vytápění/chlazení</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Žádné řízení proudění vzduchu v jednotlivých místnostech</li> <li>- Žádné řízení teploty vstupujícího vzduchu</li> <li>- Žádné řízení vlhkosti vzduchu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manuální řízení denního světla</li> <li>- Manuální spínač pro zapnutí/vypnutí + přidavný signál pro rychlé zhasnutí</li> <li>- Manuální spínač pro zapnutí/vypnutí</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manuální ovládání žaluzií</li> </ul>

## Závěr

Cílem práce bylo přiblížit HVAC systém s návazností na prediktivní řízení budov a energetické úspory.

Zpočátku se autor zaměřil na energetickou náročnost budov. Uvedl jednotlivé kategorie a popsal, jak se daná budova posuzuje a kdo k tomu má oprávnění včetně grafického znázornění energetického průkazu budovy.

Technické řešení HVAC systému autor podrobně popsal. V podkapitole vytápění uvedl jednotlivé typy, jejich principy funkce, účinnosti a na závěr shrnul v tabulce jejich výhody a nevýhody, které bádáním v této problematice získal. Větrání a klimatizace je rozsáhlý systém, který se v mnoha věcech shoduje. Jeho cílem je zajistit dostatek vzduchu o požadované teplotě v místnosti, a tím zajistit potřebný komfort ať už v domácím prostředí nebo v komerčních prostorách. Autor uvedl i náležité hodnoty vzduchu na osobu při konkrétních činnostech a prostorách. V práci také rozepsal jednotlivé komponenty větracích a klimatizačních systémů včetně jejich úlohy v systému.

Úspora energií byla dalším tématem, kde autor řešil proč investovat do energetických úspor, kdy došel k závěru, že z hlediska dlouhodobému růstu cen energií je důležité se touto formou investic zajímat. Dále přiblížil možné potencionální úspory, které řeší zejména úsporu po implementaci MPC. V další části autor představuje konkrétní návrh vytápění, kdy spočítal potřebné teplo pro celé otopné období. Tuto hodnotu bral jako referenční pro výpočet jednotlivých druhů vytápění. Musel zde zohlednit nejen jednotlivé účinnosti, ale také výhřevnost paliva či tepelný faktor. Dále kalkuloval s roční údržbou zařízení, které zahrnují servis a revizi. Největší položkou je samozřejmě samotný zdroj vytápění. Zde autor kalkuloval i s jeho montáží a přidruženými požadavky u konkrétních typů jako např. to, že u kotlů na tuhá paliva je nutná výstavba komína, nebo že u tepelného čerpadla je nutné natáhnout zemní kolektor. Všechny tyto věci byly důležité, aby výpočet a následné porovnání korespondovalo se skutečnými náklady. V této části autor zjistil, že kotle na tuhá paliva budou vždy levnější než tepelná čerpadla. Na druhou stranu musel zohlednit i komfort při využívání těchto zařízení, které by ho vedlo k nákupu tepelného čerpadla země/voda, kdy se oproti systému vduch/voda nemusel bát vyššího rizika kolísání tepelného faktoru a vyhnul by se tak pravděpodobně tomu, že by musel řešit podpurný zdroj vytápění. Rozdíl po dvaceti letech používání klasického prohořovacího kotle oproti tepelnému čerpadlu země/voda

dostane na pouhých 20 000 Kč ve prospěch prohořovacího kotle. Proto autor kladl důraz i na komfort při používání, kdy při vhodné regulaci bude možné tepelné čerpadlo ovládat i na dálku. Kdežto u klasického prohořovacího kotle se takového komfortu nikdy nedočkáme. Další možnost rozšíření autor vidí v návrhu konkrétní regulace a otopných prvků (radiátory, podlahové vytápění apod.) a zahrnutí do celkové investice.

V poslední kapitole autor popsal prediktivní řízení, srovnal ho s ekvitermní regulací, kde vyšlo najevo, že ekvitermní regulace vytápí s ohledem na venkovní teplotu, kdežto prediktivní regulace řídí celý systém mnohem sofistikovaněji. Prediktivní řízení se vyplatí skutečně pouze u rozsáhlých objektů, jelikož cena za jeho implementaci je velice vysoká. Proto toto řízení budovy využívají zejména komerční budovy, kdy je úspora energie značná a dle teoretických předpokladů se vstupní investice relativně brzo vrátí.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] *Průkaz energetické náročnosti*, 2015 [online]. Státní energetická inspekce. [cit. 15.3.2017]. Dostupné z: <http://www.cr-sei.cz/?portofolio=kontrolujeme-penb>.
- [2] BERNARDIOVÁ, Anna, MAREŠ, Miroslav. *Zpracování průkazu energetické náročnosti: Praktická příručka*. Praha: Linde, 2013. ISBN 978-80-7201-914-4.
- [3] *Třídy energetické náročnosti* [online]. [cit. 16.3.2017]. Dostupné z: <http://www.debrafabrik.cz/images/photo/29.jpg>.
- [4] VELFEL, Petr. *Energie pro rodinný dům*. Hradec Králové: Paradise Studio, 2010. ISBN 978-80-254-7679-6.
- [5] LYČKA, Zdeněk. *Malé teplovodní kotle na pevná paliva: spalování pevných paliv po roce 2013*. Krnov: LING Vydavatelství, 2012. ISBN 978-80-904914-2-7.
- [6] LULKOVIČOVÁ, Otília. *Zdroje tepla a domovní kotelny*. Bratislava: Jaga, 2004. Vytápění. ISBN 80-8076-002-0.
- [7] *Kondenzační plynové kotle*, 2004 [online]. Tzbinfo. [cit. 31.3.2017]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kondenzace/1912-strucna-teorie-kondenzace-u-kondenzacnich-plynovych-kotlu>.
- [8] BERANOVSKÝ, Truxa. *Alternativní energie pro Váš dům*, Brno, 2004, 125 stran. ISBN 80- 86517-89-6.
- [9] KRBEK, Jaroslav, POLESNÝ, Bohumil. *Kogenerační jednotky - zřizování a provoz*. Praha: GAS, 2007. GAS. ISBN 978-80-7328-151-9.
- [10] *Kogenerace*, 2016 [online]. Wikipedia. [cit. 20.4.2017]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kogenerace>.
- [11] SZÉKYOVÁ, Marta. *Větrání a klimatizace*. Bratislava: Jaga, 2006. ISBN 80-8076-037-3.

- [12] DRKAL, František, ZMRHAL, Vladimír. *Větrání*. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05181-8.
- [13] *Klimatizace*, [online]. Wikipedia. [cit. 24.4.2017]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Kogenerace>.<https://cs.wikipedia.org/wiki/Klimatizace>.
- [14] DRKAL, František, LAIN Miloš, ZMRHAL, Vladimír. *Klimatizace*. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05652-3.
- [15] KUDA, František, BERÁNKOVÁ, Eva. *Facility management v technické správě a údržbě budov*. Praha: Professional Publishing, 2012. ISBN 978-80-7431-114-7.
- [16] PAVELKOVÁ, Naděžda. *Regulované pohony HVAC v inteligentních budovách*, Praha ABB s.r.o, [on line] [cit. 1.5.2017]. Dostupné z: [http://www.stech.cz/Portals/0/Konference/2012/04\\_iBudovy/03\\_Pavelkova.pdf](http://www.stech.cz/Portals/0/Konference/2012/04_iBudovy/03_Pavelkova.pdf).
- [17] CIGLER, Jiří. *Prediktivní řízení vytápění budov*. Feramat Cybernetics s.r.o. [on line] [cit. 5.5.2017]. Dostupné z: Interní komunikace s firmou.
- [18] HLAVA, Jaroslav. *Prediktivní řízení založené na modelu – hlavní principy*, [on line]. Technická univerzita v Liberci. [cit. 10.5.2017]. Dostupné z: [www.fm.tul.cz/esf0247/index.php?download=670](http://www.fm.tul.cz/esf0247/index.php?download=670).
- [19] FERKL, Lukáš. *Prediktivní regulace pro budovy*. Praha: ČVUT, [on line] [cit. 12.5.2017]. [www.stpcr.cz/?download=/\\_sborinhob2013/29\\_ferkl.pdf](http://www.stpcr.cz/?download=/_sborinhob2013/29_ferkl.pdf).
- [20] ŠIROKÝ, Jan. *Prediktivní řízení soustav vytápění budov*. Praha: ČVUT, [on line] [cit. 13.5.2017]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/mereni-a-regulace/7541-prediktivni-rizeni-soustav-vytapani-budov>.
- [21] ABB s.r.o, *Inteligentní řízení budov, energetická efektivnost v budovách s využitím sběrníkové technologie ABB I-BUS KNX*, Brno, [on line] [cit. 15.5.2017]. Dostupné z : <http://www.abb.cz/search.aspx?q=inteligentn%C3%AD%20C5%99%C3%ADzen%C3%AD%20budov>.

## **Přílohy**