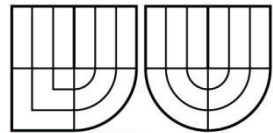




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ



FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL  
ENGINEERING

## OPTIMALIZACE DODÁVKY ELEKTŘINY, TEPLA A CHLADU PRO SERVISNÍ BUDOVU

OPTIMIZATION OF ELECTRICITY, HEAT AND COLD SUPPLY  
FOR A SERVICE BUILDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

LUBOŠ KOMÁREK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

ING. MARTIN PAVLAS

BRNO 2008

## Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá otázkou optimalizace dodávky elektřiny, tepla a chladu pro danou servisní budovu a obsahuje profily konzumace elektřiny, tepla a chladu zkoumaného objektu. Hlavní záměr je přitom kladen na posouzení potenciálu začlenění technologií produkce a konverze energie pro tento objekt, zejména kogeneračních a trigeneračních systémů.

## Klíčová slova

Tepelné potřeby budovy, Klimatizační systémy, Kogenerace, Trigenerace

## Abstract

This thesis is aimed at the optimization of electricity, heat and cold supply for a service building. The profiles of electricity, heat and cold consumptions for a specific building are incorporated in the case study. The main aim is focused on the qualification of the potential of the incorporation of technologies for energy production and conversion for the building namely the cogeneration and trigeneration technologies.

## Keywords

Thermal needs, Air conditioning system, Cogeneration, Trigeneration

## Bibliografická citace

KOMÁREK, L. *Optimalizace dodávky elektřiny, tepla a chladu pro servisní budovu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 75 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Pavlas, Ph.D.

## Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma **Optimalizace dodávky elektřiny, tepla a chladu pro servisní budovu** jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny uvedeny v seznamu literatury.

V Brně dne .....

.....

podpis

## Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce panu Ing. Martinovi Pavlasovi za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce. Dále děkuji prof. Ing. Petrovi Stehlíkovi, CSc. a doc. Ing. Zdeňkovi Jeglovi, Ph.D. za jejich pomoc při vyřizování studia v zahraničí a za podporu v průběhu studia v Portugalsku. Závěrečné díky patří všem z ústavu Techniky prostředí za jejich vstřícnost a přátelský přístup při získávání potřebných informací.

## Obsah

1. Úvod .....	7
2. Systémy klimatizace .....	8
2.1 Jednotkové systémy .....	8
2.2 Centrální systémy .....	17
2.3 Vybraný systém .....	19
2.4 Moduly klimatizačního systému.....	24
3. Kogenerace .....	32
3.1 Kogenerační jednotky s pístovými motory.....	34
3.2 Kogenerační jednotky s mikroturbínami .....	37
4. Paliva pro kogenerační jednotky .....	40
5. Emise škodlivin .....	40
6. Použití kogeneračních jednotek.....	41
7. Trigenerace .....	44
7.1 Apsorpce pro výrobu chladu .....	44
8. Případová studie .....	47
8.1. Úvod, budova a její geometrie.....	47
8.2. Tepelné potřeby budovy .....	48
8.3. Diagram roční konzumace elektrické energie .....	53
8.4. Konzumace elektrické a tepelné energie ventilačního systému .....	55
8.5. Posouzení systémů dodávky elektrické energie, tepla a chladu .....	58
8.5.1 Kotel + Klimatizační jednotka.....	58
8.5.2 Kogenerace .....	60
8.5.3 Trigenerace .....	61
9. Závěr .....	68
Použitá literatura.....	69
Příloha 1 – Srovnání klimatických podmínek České republiky a Portugalska .....	70
Příloha 2 – Vybrané tarify elektřiny a plynu .....	73
Příloha 3 – Obsah příloženého CD .....	75

## 1. Úvod

V dnešní době roste v celosvětovém měřítku potřeba snížit negativní dopady na životní prostředí a hladiny plynů skleníkového efektu související s lidskou činností. Hlavním důvodem je zrychlování klimatických změn spojených se skleníkovým efektem. Výroba energie přispívá značnou mírou k produkci tzv. "skleníkových plynů". Tento projekt je vypracován na základě spolupráce mezi VÚT Brno a IST Lisabon (Portugalsko) v rámci programu mobility studentů Ministerstva školství České republiky. V Portugalsku je revidován výrazný vzestup konzumace elektrické energie. Více než 60% celkové spotřeby elektrické energie zahrnuje sektor budov. Tato práce je proto zaměřená na optimalizaci dodávky energie (elektrické, tepla a chladu) na úrovni budov a návrh zdroje, který zajišťuje soběstačnost a ekonomickou výhodnost projektu.

### **Cíle, kterých má být dosaženo:**

1. Vyvinout databázi profilů konzumace energie na úrovni budov s ohledem na aktuální prostředí.
2. Vyvinout databázi technologií produkce a konverze energie na úrovni budov s ohledem na otázky životního prostředí a energetiky.
3. V rozsahu aktuální legislativy zhodnotit potenciál začlenění jednotlivých technologií.

## 2. Systémy klimatizace

Systémy klimatizace slouží pro udržení dané teploty v místnostech klimatizované budovy, popřípadě k udržení normami definovaného teplotního a vlhkostního rozmezí (zóna komfortu). Nařízení o energetických systémech klimatizace pro budovy [4] bere v úvahu pouze existenci dvou velkých skupin systémů, systémy jednotkové a systémy centrální. V případě jednotkových systémů je teplo nebo chlad vyráběno přímo v zóně. V případě centrálních systémů jsou teplo nebo chlad pro více zón vyráběny na jiném místě (střecha budovy, oddělená sekce) a jsou dopravovány do jednotlivých zón pomocí distribuční sítě (potrubí), toto je základní rozdíl mezi jednotkovými a centrálními systémy.

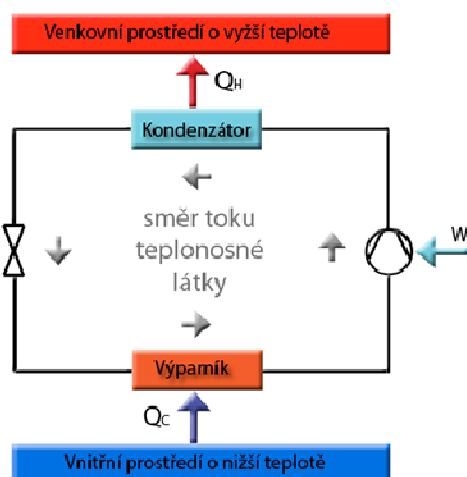
### 2.1 Jednotkové systémy

Jak je uvedeno výše, jednotkové klimatizační systémy jsou systémy, které se vyznačují úpravou vzduchu probíhající přímo v klimatizovaném prostoru. Jedná se o zařízení, které vzduch nevyměňuje, ale důkladně ho upravuje - chladí a zbavuje vlhkosti nebo ohřívá a filtruje, popřípadě ničí bakterie ionizací. Pro přesné udržení vlhkosti vnitřního vzduchu klimatizované místnosti a dodržení norem o ventilaci musí ale být použity centrální systémy. Standardními jednotkovými systémy pro ochlazování a ohřev klimatizovaných místností jsou zařízení pracující podle oběhu umožňujícího čerpání tepelné energie, které se označují jako tepelná čerpadla. Toto zařízení může díky změně směru toku teplotnosné látky pracovat ve dvou režimech a to v režimu chlazení a v topném režimu.

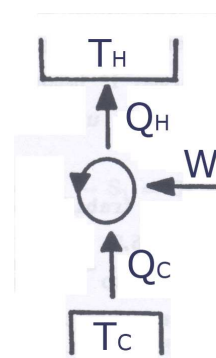
#### Tepelné čerpadlo - režim chlazení

Tepelné čerpadlo v tomto režimu pracuje na stejném principu jako chladicí zařízení na principu výměny a přesunu energií (viz obrázek 2.1). To znamená, že pokud v místnosti chladíme, odčerpáváme z ní teplo ( $Q_C$ ). Dopravu a cirkulaci teplotnosné látky zajišťuje vysoce účinný kompresor, který dodává potřebné tlaky nutné k funkci chladicího okruhu. Ve vnitřní jednotce (výparník) se chladivo odpařuje (tím se chladí klimatizovaný prostor). Ve venkovní jednotce (kondenzátor) dojde ke zkondenzování chladiva a předání tepelné energie do venkovního prostředí ( $Q_H$ ), venkovní jednotka topí, proto nemůže být umístěna v uzavřených a nevětraných prostorech. Od vnitřní jednotky je nutné zajistit odvod zkondenzované vody, protože vzduch proudící přes výparník vnitřní jednotky obsahuje určité procento vlhkosti, která při ochlazení vzduchu zkondenzuje (protože dochází k poklesu teploty vlhkého vzduchu pod teplotu rosného bodu).

Obrázek 2.2 znázorňuje funkci chladicího cyklu, ze schématu je zřejmé, že do cyklu vstupuje energie v podobě elektrické práce  $W$ , je odebráno teplo  $Q_C$  klimatizované místnosti o nižší teplotě  $T_C$ , dále je předáváno teplo  $Q_H$  venkovnímu prostředí o vyšší teplotě  $T_H$ .



Obrázek 2.1 – Blokové schéma chladicího cyklu [3]



Obrázek 2.2 – Funkční schéma chladicího cyklu [3]

## Účinnost chlazení

Pro chlazení je nejdůležitější, kolik lze odebrat energie z klimatizované místnosti o nižší teplotě a to, kolik elektrické energie vstupuje do procesu. Účinnost chlazení (dále jen  $COP_{COOLING}$  – Coefficient of Performance) je potom vyjádřena jako jejich podíl :

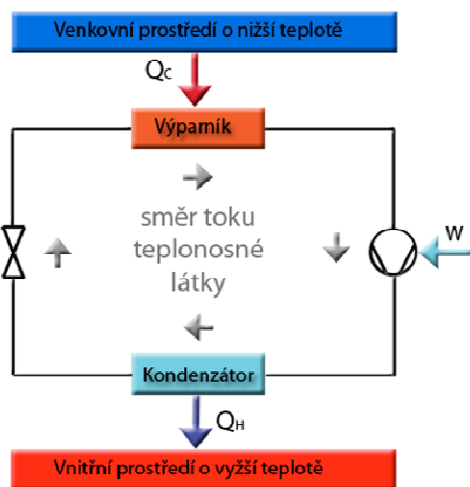
$$COP_{COOLING} = \frac{Q_C}{W} \quad (2.1)$$

U reálných systémů se účinnosti chlazení pohybují okolo hodnoty 3, to znamená, že při výrobě 1kW chladu je potřeba dodávat 333W elektrické energie. Účinnost klesá s velikostí jednotky.

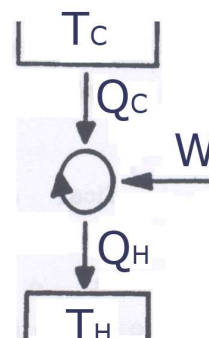
## Tepelné čerpadlo – topný režim

Na to, aby se tepelné čerpadlo dostalo do režimu ohřevu, je třeba otočit směr toku teplotnosné látky, proto je venkovní jednotka vybavena reverzačním ventilem (čtyřcestný ventil), který podle nastavení obrátí chod chladicího okruhu, takže vnitřní jednotka začne topit a venkovní chladit. Jedná se tedy o stejný cyklus, pouze s opačným tokem teplotnosné látky (viz obrázek 2.3). Venkovní jednotka (v tomto případě výparník) odebírá teplo z vnějšího prostředí ( $Q_C$ ) a vnitřní jednotka (v tomto případě kondenzátor) předává teplo klimatizovanému prostoru ( $Q_H$ ). Dopravu a cirkulaci teplotnosné látky opět zajišťuje kompresor, který dodává potřebné tlaky nutné k funkci topného okruhu.

Obrázek 2.4 znázorňuje funkci topného cyklu, ze schématu je zřejmé, že do cyklu vstupuje energie v podobě elektrické práce  $W$ , je odebíráno teplo  $Q_C$  venkovnímu prostředí o nižší teplotě  $T_C$ , dále je předáváno teplo  $Q_H$  klimatizované místnosti o vyšší teplotě  $T_H$ .



Obrázek 2.3 – Blokové schéma topného cyklu [3]



Obrázek 2.4 – Funkční schéma topného cyklu [3]

## Účinnost vytápění

Podobně jako pro chlazení je pro vytápění směrodatné, kolik je dodáváno tepla do klimatizovaného prostoru o vyšší teplotě, než je teplota venkovního vzduchu a kolik je potřeba investovat (zavést do cyklu) elektrické energie. Účinnost tepelného čerpadla v režimu vytápění dále jen  $COP_{HEATING}$  – Coefficient of Performance) je stanovena jako:

$$COP_{HEATING} = \frac{Q_H}{W} \quad (2.2)$$

U reálných systémů, které jsou běžně k dostání se pohybuje hodnota účinnosti vytápění tepelných čerpadel okolo 4, to znamená, že při výrobě 1 kW tepla je spotřebováno 250 W elektrické energie. Tato účinnost opět klesá s velikostí jednotky.

## Rozdělení systémů s tepelnými čerpadly

### System split

Jedná se o anglický výraz dělené klimatizační jednotky. Ta se skládá z vnitřní a venkovní klimatizační jednotky, které jsou mezi sebou spojeny technologickým vedením (vnější a vnitřní jednotka jsou propojeny potrubím chladiva včetně kaučukové izolace a komunikačním kabelem).

Pro tento systém existují tyto základní konfigurace :

- kazetová
- mobilní
- parapetní
- nástěnné

Kazetová tepelná čerpadla (viz obrázek 2.5) se nejvíce používají v bankách, hotelech, obchodních a administrativních střediscích, nemocnicích, kancelářích apod. Jejich umístění vizuálně neruší a neomezují prostor (jsou instalovány horizontálně do stropu). Vyznačují se vysokými chladicími a ohřívacími výkony.

Mobilní tepelná čerpadla (viz obrázek 2.6) se používají převážně v domácnostech a jejich výhodou je především jejich mobilita (je částečně limitována délkou přívodního potrubí). Jsou položené na zemi a díky kolečkům je lze přemístit.

Parapetní tepelná čerpadla (viz obrázek 2.7) se používají nejvíce v nemocnicích. Instalují se na zeď. S tímto typem tepelných čerpadel se lze setkat spíše v malých místnostech.

Nástěnná tepelná čerpadla (viz obrázek 2.8) se instalují do domácností a jejich výhodou je, že mohou nahradit přímotopy. Dále je zřejmé, že se vyznačují krátkým přívodním potrubím.



Obrázek 2.5 –  
Kazetové  
tepelné  
čerpadlo  
(režim chlazení)  
[11]



Obrázek 2.6 –  
Mobilní tepelné  
čerpadlo  
(režim chlazení)  
[11]



Obrázek 2.7 –  
Parapetní  
tepelné  
čerpadlo  
(režim  
chlazení)  
[11]

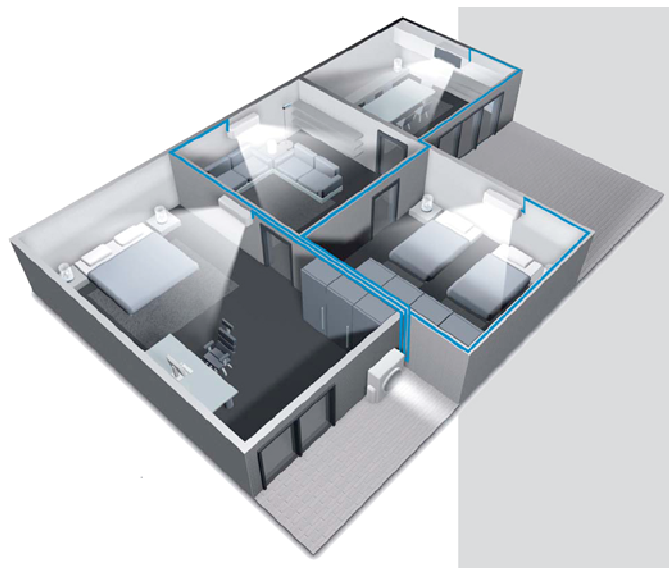


Obrázek 2.8 –  
Nástěnné  
tepelné  
čerpadlo  
(režim  
chlazení)  
[11]

### System multi-split

Jednotky řady multi-split (viz obrázek 2.9) umožňují použít jednu společnou venkovní jednotku pro více vnitřních jednotek (vnitřní jednotky jsou shodné jako pro systémy split, obrázek 2.5 až 2.8). Řadí se k technicky nejlepším klimatizačním systémům a jsou ideální pro klimatizaci vícepokojových bytů a kancelářů. Hlavní výhody těchto systémů spočívají v úspoře

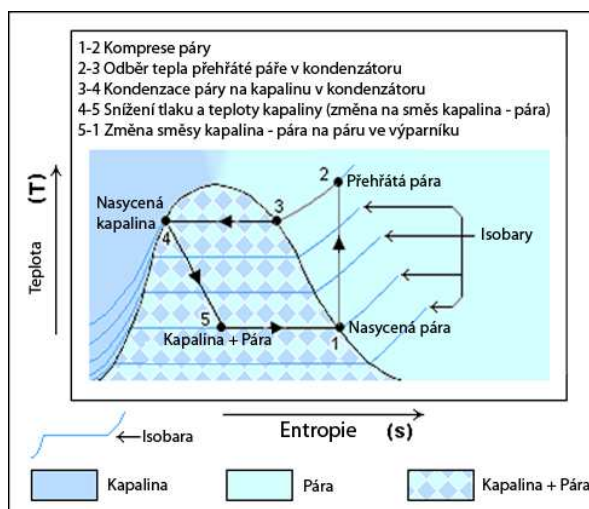
prostoru potřebného pro venkovní jednotky a snazší instalaci. Samozřejmostí je nižší spotřeba elektrické energie a úspora pořizovacích nákladů. Lze též kombinovat více typů vnitřních jednotek (různé nástěnné, mezistropní nebo kazetové).



Obrázek 2.9 – Použití systému multi-split pro klimatizaci domácnosti [I1]

### Teplonosná média

Teplonosné médium je definováno jako pracovní látka, která je navržena tak, aby při průtoku tepelným čerpadlem odčerpávala teplo z místa o nižší teplotě do místa z vyšší teploty. Drtivá většina zařízení s tímto médiem fungují na principu parního kompresního cyklu (viz obrázek 2.10). Tato látka musí splňovat všechna kritéria zajišťující stabilní, bezpečný, účinný a ekonomicky rentabilní chod zařízení.



Obrázek 2.10 – Kompresní cyklus [6]

Poznámka: Teplonosná média se v praxi označují jako chladiva, protože tepelná čerpadla fungují na stejném principu, vždy odebírají teplo chladnějším prostředí a dodávají jej teplejšímu prostředí, proto i kompresní cyklus (obrázek 2.10) zůstane beze změn.

## Rozdělení chladiv

**Chladiva jsou rozdělena do čtyř základních skupin:**

- Freony (chlorofluorocarbon – CFC)
- Hydrochlorofluorouhlovodíky (HCFC)
- Fluorované uhlovodíky (HFC)
- Přírodní chladiva (Propan, Amoniak, Oxid uhličitý, ...)

### CFC (Freony)

Molekuly těchto uhlovodíkových sloučenin obsahují jeden nebo více uhlíků, přičemž všechny vodíky jsou nahrazeny atomy chloru nebo fluoru. Převážně díky tomu, že jsou tyto sloučeniny pevně stabilní, představují největší hrozbu pro ozónovou vrstvu.

### HCFC (Hydrochlorofluorouhlovodíky)

Molekuly těchto uhlovodíkových sloučenin obsahují jeden nebo více uhlíků, ale oproti freonům pouze některé atomy vodíků jsou nahrazeny atomy chloru nebo fluoru. Tyto sloučeniny jsou dostatečně stabilní pro strojní účely, ale zůstávají velmi krátkou dobu v atmosféře, proto hrají minimální roli při tvorbě ozonové díry. Jejich dopad na ozonovou vrstvu je v porovnání s freony dvouprocentní [7].

### HFC (Fluorované uhlovodíky)

Molekuly těchto uhlovodíkových sloučenin jsou složeny z jednoho nebo více atomů uhlíku, přičemž jsou některé z atomů vodíku nahrazeny atomy fluoru. Fluorované uhlovodíky mají zanedbatelný dopad na ozonovou vrstvu, ale představují vysoké riziko pro globální oteplování. V Evropě jsou však velmi rozšířeny.

### Přírodní chladiva

Přírodní chladiva mají zanedbatelný nebo nulový vliv na tvorbu ozonové vrstvy a globální oteplování a používají se jako chladiva pro mnoho aplikací. Jejich použitelnost představuje mnohá omezení. V Evropě je snaha tyto chladiva prosadit v co největší možné míře.

### **CO<sub>2</sub> (Oxid uhličitý)**

V současnosti se používá jako chladivo v automobilovém průmyslu, ale je neefektivní pro klimatizaci budov. Navíc je používán při tlaku, který překračuje bezpečnostní kritéria (100 atmosfér). Jako plyn, který je standardem pro srovnávání, je jeho riziko pro globální oteplování rovno jedné.

### **H<sub>2</sub>O (Voda)**

Voda je používána pro výrobu ledu v některých limitovaných průmyslových aplikacích. Díky svému velice nízkému tlaku, při kterém je voda v plynném skupenství, dosahuje velikost zařízení vztažená na jednotku kapacity vysokých hodnot. Ačkoliv je vodní pára hlavním plynem zodpovědným za absorpci infračervených paprsků v atmosféře, jeho nízká životnost v atmosféře (9 dní [8]) je velice příznivá.

### **NH<sub>3</sub> (Amoniak)**

Amoniak neboli čpavek je široce používán v průmyslových aplikacích. Vyznačuje se totiž vysokou termickou účinností. Jedná se ale o potenciálně nebezpečnou hořlavinu a proto existují jistá bezpečnostní omezení pro jeho použití.

### **HC (Uhlovodíky)**

Propan, butan, etan, isobuten a isopentan jsou kvalitními chladivy z termodynamického hlediska, ale jejich zápalnost limituje použití pouze na malá chladicí zařízení. Uhlovodíky se někdy také používají jako příměsi do chladiv proto, aby se nemusela používat mazadla při přechodu na HCF chladiva.

### **Vzduch (78% N<sub>2</sub>, 21% O<sub>2</sub>, 1% H<sub>2</sub>O, + další plyny)**

Použití vzduchu jako chladiva je nejméně efektivní, avšak vzduch si může najít své uplatnění například jako chladivo ve vlakové dopravě.

### ***Dopad chladiv na životní prostředí***

Z hlediska životního prostředí, je jako teplotonosných médií považováno za velmi příznivé použití uhlovodíků a to především díky faktu, že tyto látky se běžně nacházejí v přírodě a že jsou ve své základní formě téměř neškodné.

Co se týče dopadu na životní prostředí a společnost, je žádoucí používat teponosná média, která nemají žádný dopad na ozonovou vrstvu a nepřispívají ke zvyšování skleníkového efektu. Nicméně měla by zaručovat dosažení přijatelných tepelných účinností systémů a minimalizovat tak nepřímé emise spojené s výrobou energie, které přispívají ke skleníkovému efektu. Dále by měla být neškodná a nezápalná. Díky stále většímu zájmu o minimalizaci dopadů na životní prostředí se stává stále zajímavější použití přírodních teponosných médií.

V tabulce 2.1 je zhodnocen dopad nejvýznamnějších syntetických a přírodních chladiv na životní prostředí. Potenciál k poškození ozonové vrstvy Země vyjadřuje hodnota koeficientu ODP (ozone-depletion-potencial) a potenciál ke globálnímu oteplování Země hodnota koeficientu GWP (global-warming-potencial). V tabulce 2.1 je dále uvedena jejich životnost v atmosféře.

Tabulka 2.1 Porovnání chladiv [8]

Označení Chladiva	Chemické označení	ODP	GWP (100 let)	Životnost v atmosféře (roky)
R22	Chlourofluorometan	0,055	1500	12,1
R134a	1,1,1,2 - Tetrafluoroetan	0	1300	14,4
R1270	Propen	0	~ 20	b
R290	Propan	0	~ 8	< 1
R404a	R -125/143a/134a (44/52/4)	0	4540	a
R407C	R-32/125/134a (23/25/52)	0	1980	a
R410A	R-32/125/134a (50/50)	0	1730	a
R600a	Isobutan	0	~ 8	< 1
R600	Butan	0	~ 20	b
R717	Amoniak	0	0	b
R718	Voda	0*	< 1	b
R744	Oxid uhličitý	0	1	> 50

a ... Životnost v atmosféře není pro sloučeniny udána jelikož se jednotlivé složky v atmosféře rozloží  
b ... Ještě neměřeno

### Životnost v atmosféře

Sloučeniny s nižší životností v atmosféře mají všeobecně nižší dopad na ozonovou vrstvu a skleníkový efekt. Uhlovodíky jsou přírodní sloučeniny, které se zdržují v atmosféře velmi krátkou dobu, jedná se o týdny maximálně měsíce v porovnání s HCFC (Hydrochlorofluorovodíky) a HFC (Fluorované uhlovodíky). Při uvolnění uhlovodíků do atmosféry se uhlovodíky jednoduše rozloží na oxid uhličitý a vodu (viz hodnoty životnosti v atmosféře v tabulce 2.1).

### **Potenciál k poškození ozonové vrstvy Země (ODP)**

Díky obsahu atomů fluoru a chloru mají freony (CFC) vysokou hodnotu ODP, proto se řadí na seznam vysoce škodlivých sloučenin pro životní prostředí. Montrealský protokol navrhl zastavení jejich užívání do roku 1996 ve všech vývojevých zemích. HCFC (Hydrochlorofluorohlodíky) vykazují poměrně nízké hodnoty, ale některé (například R22 - Chlorofluormetan) stále představují nebezpečí, proto je také v Montrealském protokolu časově rozvrženo jejich postupné stahování. HCFC (Hydrochlorofluorohlodíky) mají o mnoho nižší hodnoty životnosti v atmosféře a ODP než freony (CFC), a proto nepředstavují reálnou hrozbu pro životní prostředí. Index ODP je u všech uhlovodíků téměř nulový.

### **Potenciál ke globálnímu oteplování Země (GWP)**

Chladicí zařízení a tepelná čerpadla mohou přispívat ke globálnímu oteplování dvěma způsoby: přímo, skrze emise chladiv a nepřímo skrze použité energie vyráběné spalováním fosilních paliv, které způsobují emise oxidu uhličitého.

HCFC (Hydrochlorofluorohlodíky) jsou známy pro své vysoké hodnoty potenciálu ke globálnímu oteplování Země (viz tabulka 2.1) a tudíž představují závažnou hrozbu pro životní prostředí. V Kjótském protokolu jsou vedeny jako plyny skleníkového efektu a tak jsou potenciálně škodlivé pro životní prostředí.

Oproti tomu hodnota GWP u uhlovodíků je velmi nízká. Příímý efekt na globální oteplování je v tomto případě spojen pouze s emisemi oxidu uhličitého, který vzniká při rozpadu jejich vazeb v atmosféře, přičemž jejich potenciál ke globálnímu oteplování Země je nejnižší mezi konvenčními chladivy.

### **Toxicita**

Syntetická chladiva se stala stoprocentně bezpečnými po mnoho let, protože byla nezápalná, netoxická a bez zápachu. Nicméně většina z nich je těžší než vzduch, což představuje potenciální nebezpečí ze zadušení v případě úniku v podzemních nebo nevětraných místnostech. Dále může docházet k jejich rozkladu na toxické prvky a sloučeniny při vysokých teplotách a pokud by došlo k požáru při vysoké koncentraci těchto látek, fakt, že se jedná o látky bez zápachu, by společně s nebezpečím ze zadušení a rozkladu na toxické látky zvyšoval jejich nebezpečnost na lidský organismus.

Na rozdíl od syntetických chladiv se uhlovodíky nerozkládají na toxické látky, a dokonce ani neznečišťují vodu.

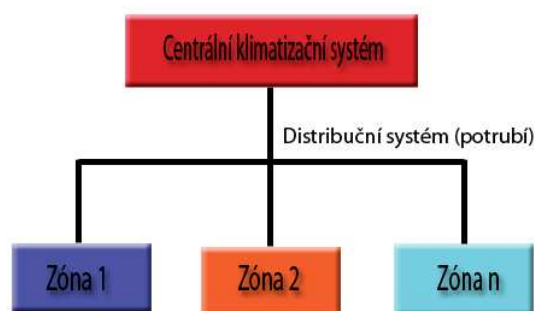
Obecně nejsou koncentrace nižší než prahové hodnoty uvedené v tabulce 2.2 nebezpečné, protože nemohou způsobit ani smrt ani poranění. V mnohem vyšších koncentracích uhlovodíky ovlivňují centrální nervový systém a dochází k udušení.

Tabulka 2.2 Prahové hodnoty toxicity uhlovodíků a R22 [8]

Sloučenina	TLV	MAK4
Propen	A4 (ACGIH 2004)	Zatím neurčeno
Propan	2500 ppm (ACGIH 2003)	1000 ppm, 1800 mg/m <sup>3</sup>
Butan	800 ppm - TWA (ACGIH 2003)	1000 ppm, 2400 mg/m <sup>3</sup>
Isobutan	800 ppm - TWA (ACGIH 2003)	1000 ppm, 2400 mg/m <sup>3</sup>
R22	1000 ppm - TWA (ACGIH 2003)	3540 mg/m <sup>3</sup>

## 2.2 Centrální systémy

Tyto systémy jsou vhodné pro větší komplexy, například pro administrativní budovy, banky, servisní budovy. Jejich hlavním rysem je výroba tepla nebo chladu na jiném místě a jeho distribuce do zón (viz obrázek 2.11). Výhodou je, že se dá spojit ventilace s klimatizací a centrálním systémem zajistit výměnu vzduchu potřebnou pro udržení normovaných hygienických podmínek.



Obrázek 2.11 – Obecné schéma centrálního klimatizačního systému [1]

### Rozdělení centrálních klimatizačních systémů

Existují tři základní konfigurace centrálních klimatizačních systémů a to:

- centrální klimatizační systémy vzduch – vzduch
- centrální klimatizační systémy voda – voda
- centrální klimatizační systémy voda – vzduch

### *Centrální klimatizační systémy vzduch – vzduch*

V případě systému vzduch-vzduch jsou chlad nebo teplo dopravovány na klimatizované místo vzduchem (předem ochlazeným nebo ohřátým v jednotce zpracování vzduchu). Existují dva základní koncepty, systémy s jednoduchým potrubím a systémy s dvojitým potrubím.

V případě jednoduchého potrubí je nasátý vzduch dopravován skrze hlavní potrubí a je rozváděn na různá místa. Tento systém je nejvíce používaný a nabízí pouze ohřev nebo ochlazování, nemůže být použit tam, kde je třeba ochlazovat a ohřívat současně v různých zónách.

Systém s dvojitým potrubím je složen z potrubí pro teplý vzduch a potrubí pro chladný vzduch a potřebná teplota je zajištěna mícháním obou kanálů v směšovací komoře. Tyto systémy jsou značně komplikované a pro nepřítomnost zařízení na trhu a vysokých nároků na místo jsou zřídka použity.

Mezi nejběžnější systémy s jednoduchým potrubím patří systémy s konstantním objemem a s proměnlivým objemem přiváděného vzduchu. V prvním případě je hmotnostní tok vzduchu zaváděného do zóny konstantní a systém dovoluje měnit vlastnosti (teplotu a vlhkost) nasátého vzduchu tak, aby bylo zajištěno odstranění nebo dodání tepla zóně. V druhém případě se udržuje teplota vzduchu zaváděného do zóny konstantní, přičemž se mění tok tohoto vzduchu tak, aby byl zajištěn dostatečný odběr nebo dodání tepla zóně.

Nevýhodu systémů s konstantním objemem představuje zvýšená spotřeba energie spojená s ventilací. Další problémy nastávají při nutnosti dodání nebo odběru malého množství tepla. Tyto problémy mohou být výrazně sníženy například použitím ventilátorů s proměnnými otáčkami.

### *Centrální klimatizační systémy voda – voda*

U systémů voda-voda jsou chlad nebo teplo přivedeny do klimatizované zóny vodou (studenou nebo teplou). Podobně jako u systémů vzduch – vzduch jsou základní koncepcí systémy obsahující dvě nebo čtyři potrubí. V prvním případě se jedná pouze o cirkulaci teplé nebo studené vody to znamená buď vytápění, nebo ochlazování (pouze jeden okruh). V druhém případě existují dva nezávislé okruhy, díky kterým mohou být ochlazována nebo ohřívána různá místa budovy. U převážné většiny případů je klimatizace provedena cirkulací vzduchu, kde je pro jeho distribuci v zóně použit ventilátor nebo koncové jednotky. Při použití systémů voda-voda není vyhověno hygienickým nárokům daných normami (nedochází k výměně vzduchu v místnostech).

## Centrální klimatizační systémy vzduch – voda

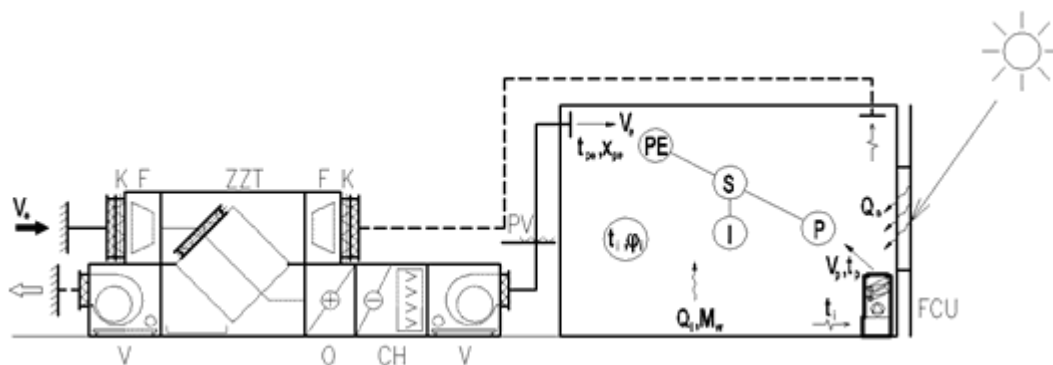
U systémů vzduch-voda jsou použity jako teplotnosné médium současně vzduch i voda. Nejběžnější řešení představuje cirkulace upraveného venkovního vzduchu v klimatizované místnosti tak, aby byly dodrženy hygienické normy a odvod nebo přívod tepla vodním okruhem.

Toto spojení představuje značnou výhodu, protože dochází k potřebné výměně vzduchu v klimatizované místnosti za současného uspokojení tepelných potřeb budovy. Pro mnohé výhody je tento systém značně rozšířen.

### 2.3 Vybraný systém

Vybraným centrálním systémem se stal systém s ventilokonvektory zobrazený na obrázku 2.12. Jedná se o kombinaci vodního a nezávisle pracujícího vzduchového systému. Pro přívod minimální dávky čerstvého vzduchu pro osoby slouží klimatizační jednotka pracující s konstantním průtokem vzduchu. Mezi jeho hlavní výhody patří vysoká spolehlivost jednotek, jednoduchá údržba a instalace, dostupnost jednotek na trhu a snadné začlenění kogeneračních či trigeneračních systémů. Také se tento systém řadí mezi nejrozšířenější.

Pro konečnou úpravu vzduchu v místnosti, resp. pro odvod tepelné zátěže z prostoru slouží ventilátorový konvektor fan-coil (FCU), který je vybaven ventilátorem, ohřevačem a chladičem vzduchu (u čtyřtrubkového provedení). Ventilátorový konvektor nasává z prostoru cirkulační vzduch, který upravuje na požadovanou teplotu a vrací ho zpět do místnosti.

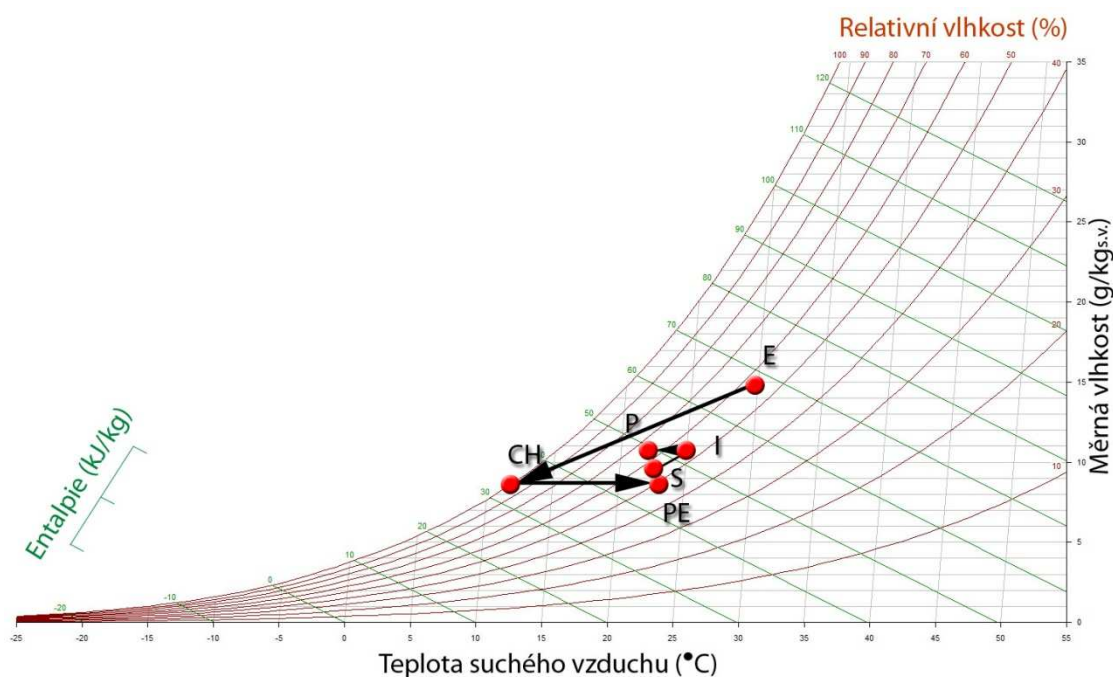


Obrázek 2.12 - Schéma systému s ventilátorovými konvektory fan-coil  
 (obrázek platí pro letní provoz - tepelné zisky) [I1]

### Letní provoz

Obrázek 2.13 znázorňuje úpravu vzduchu pro letní provoz v h-x diagramu. Venkovní vzduch o stavu **E** je nasáván do klimatizační jednotky, kde je ochlazován na stav vzduchu přiváděného do místnosti **PE**. Změna stavu vzduchu je dána povrchovou teplotou chladiče  $t_{ch}$  resp. bodem **CH**.

Ventilátorový konvektor (FCU) nasává z vnitřního prostoru vzduch o stavu **I**, který upravuje (chladí) na požadovanou teplotu přiváděného vzduchu **P** a vrací ho zpět. V místnosti dojde ke smísení proudu vzduchu přiváděného z klimatizační jednotky **PE** se vzduchem z ventilátorového konvektoru **P** na stav **S**. Vlivem tepelné a vlhkostní zátěže dojde ke změně stavu vzduchu v místnosti na stav **I**. Úsečka **SI** udává změnu stavu vnitřního vzduchu.



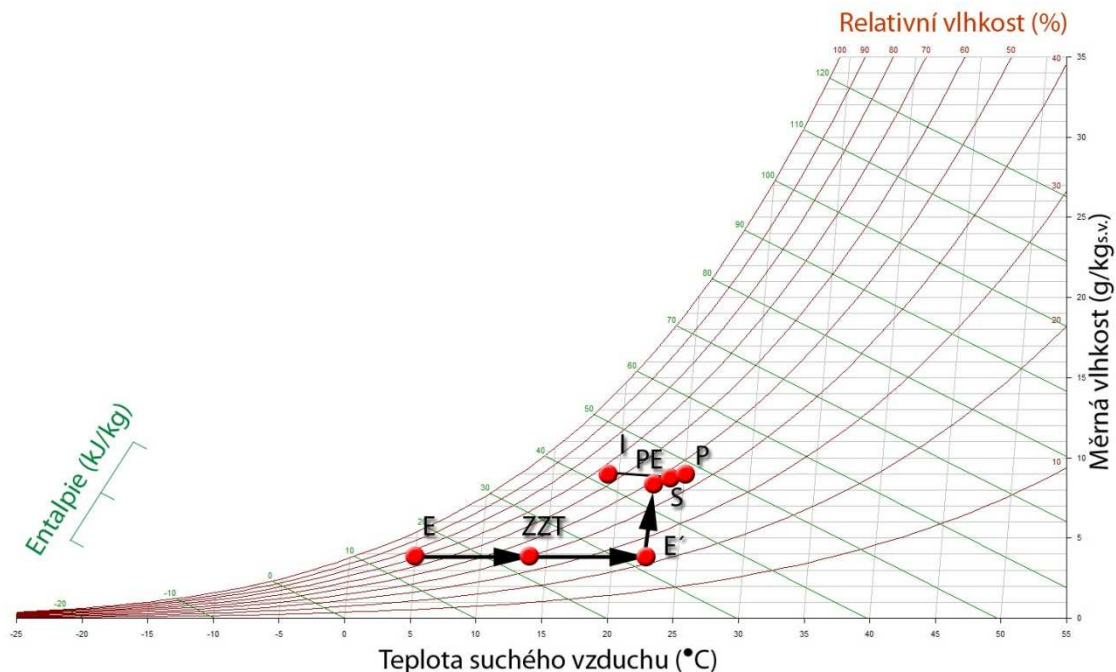
Obrázek 2.13 – Úprava vzduchu v h-x diagramu pro systém s ventilokonvektory při letním provozu [11]

### Zimní provoz

Obrázek 2.14 znázorňuje úpravu vzduchu pro zimní provoz. Venkovní vzduch **E** je nasáván do jednotky a v rekuperačním výměníku se předehřívá na stav **ZT**. Odtud vzduch proudí do ohřívače, kde se dohřívá na teplotu  $t_{pe}$ , a v parním zvlhčovači dojde k jeho navlhčení na požadovaný stav vzduchu přiváděného do místnosti **PE**.

Ventilátorový konvektor (FCU) nasává z vnitřního prostoru vzduch o stavu **I**, který ohřívá na požadovanou teplotu přiváděného vzduchu **P** a vrací ho zpět. V místnosti dojde ke smísení

proudu vzduchu přiváděného z klimatizační jednotky PE se vzduchem z ventilátorového konvektoru P na stav S. Vlivem tepelné a vlhkoštní zátěže dojde ke změně stavu vzduchu v místnosti na stav I.



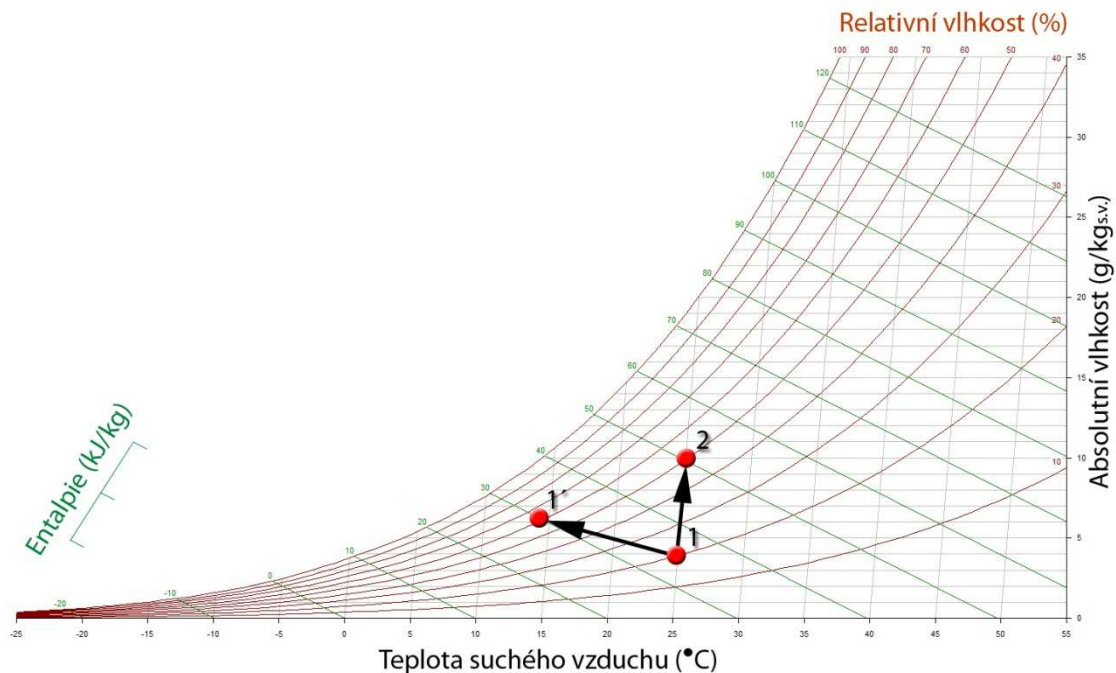
Obrázek 2.14 – Úprava vzduchu v h-x diagramu pro systém s ventilokonvektory při zimním provozu [11]

## Změna vlhkosti v klimatizované místnosti

Portugalské normy [5,6] předepisují pro klimatizované místnosti, ve kterých jsou přítomni lidé, takzvanou zónu komfortu. Tato zóna je shora a zespodu ohraničena hodnotami relativních vlhkostí (shora 60% a zespodu 40%) a po stranách teplotami suchého vzduchu (zleva 20°C a zprava 25°C). Stav vzduchu v místnosti by nikdy neměl být v h-x diagramu určen bodem, který leží mimo tuto zónu. Pro udržení teplotních limitů je třeba přivádět nebo odvádět teplo z klimatizované místnosti a pro udržení podmínek vlhkosti je potřeba buď snižovat, nebo naopak zvyšovat vlhkost.

## Zvlhčování vzduchu

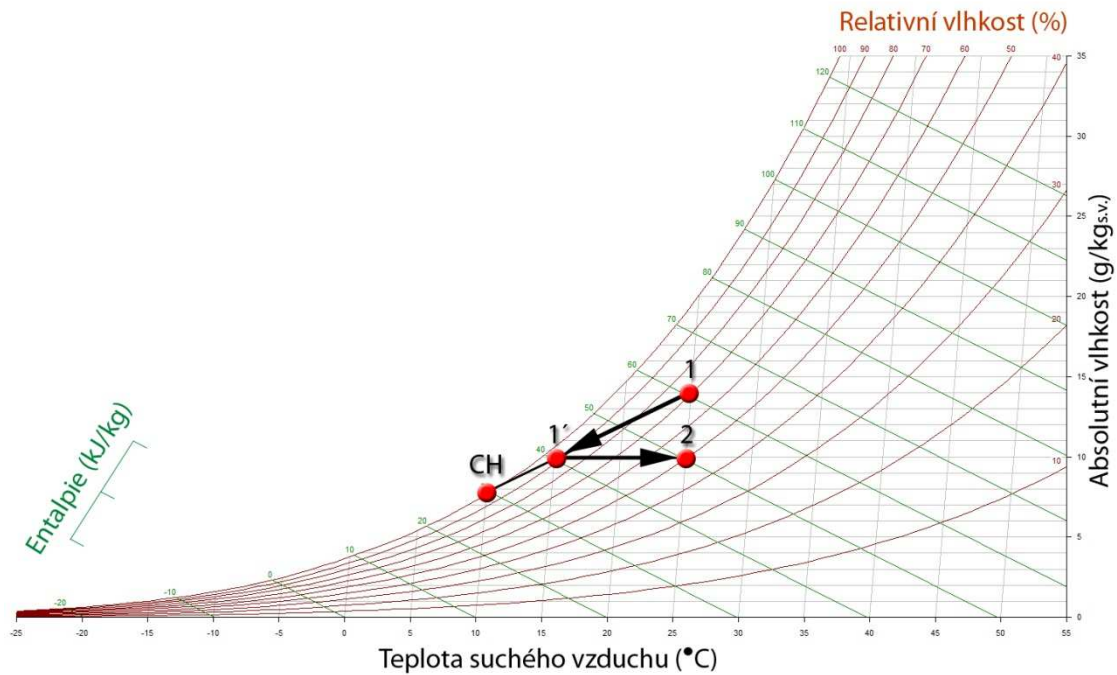
V některých aplikacích je potřeba upravit vlhký vzduch tak, aby došlo ke zvýšení jeho vlhkosti, tohoto je docíleno v zařízeních, které se nazývají zvlhčovače. V praxi jsou dostupné dva druhy zvlhčovačů a to sice vodní zvlhčovač a parní zvlhčovač. Na obrázku 2.15 jsou zobrazeny v h-x diagramu dva způsoby zvlhčování a to s kontrolou výstupní teploty a bez kontroly.



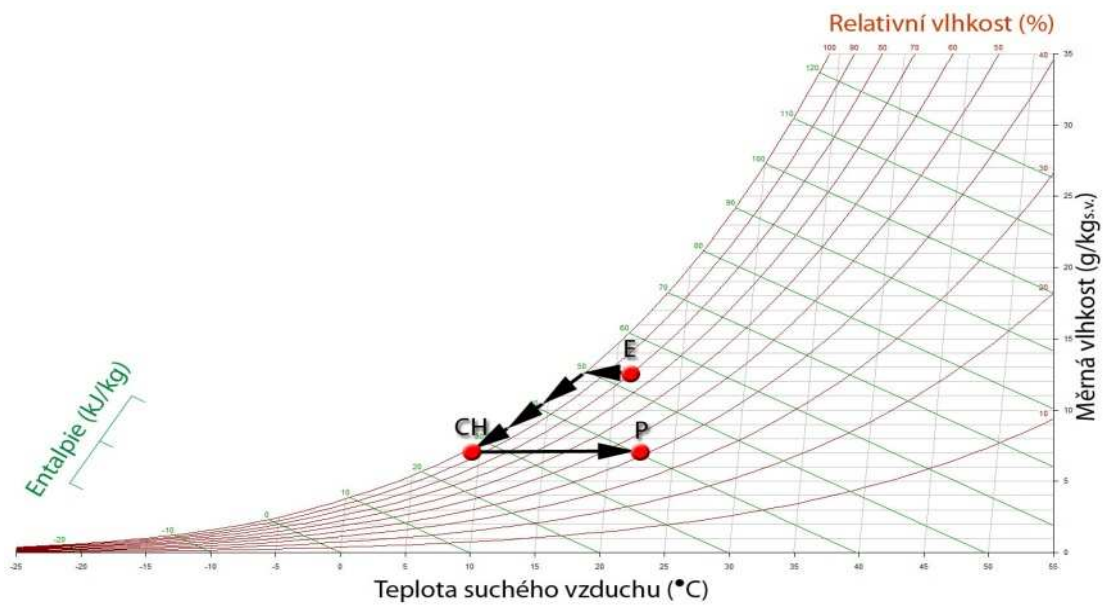
Obrázek 2.15 – Vlhčení vzduchu v h-x diagramu  
(s kontrolovanou teplotou 1 – 2, bez kontroly teploty 1 – 1') [1]

## Odvlhčování vzduchu

Odvlhčování je zobrazeno v h-x diagramu na obrázku 2.16A, 2.16B. Tento proces se skládá ze dvou dílčích kroků, nejprve je potřeba zchladit vlhký vzduch pod rosný bod a poté je potřeba tento vzduch ohřát na požadovanou teplotu. S tím, že se požadované vlhkosti dosahuje buď přímo chlazením vstupního vzduchu až na bod CH (viz. obrázek 2.16B), nebo zchlazením pouze části vstupního vzduchu a smíšením s venkovním vzduchem (viz. obrázek 2.16A). Druhý způsob úpravy vzduchu sebou přináší úsporu energie. Ohřev probíhá ihned po ochlazení (a smísení), a tudíž za kondenzátorem (a mísíací jednotkou) následuje ohřívací modul.



Obrázek 2.16A – Odvlhčování vzduchu se směřováním v h-x diagramu  
(1 – 1' ochlazování s kondenzací a smíšením, 1' - 2 ohřev) [1]



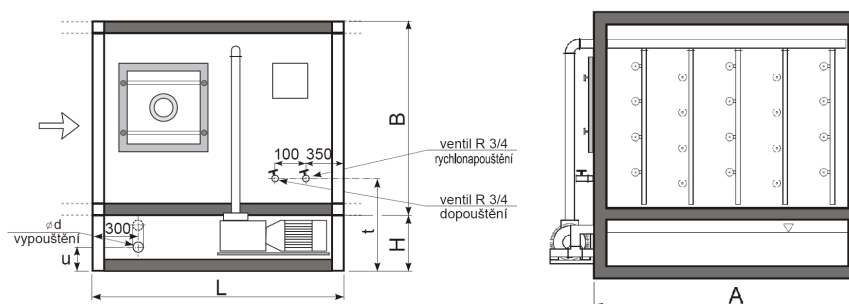
Obrázek 2.16B – Odvlhčování vzduchu bez směšování v h-x diagramu  
(1 – CH ochlazování s kondenzací, CH - 2 ohřev) [1]

## 2.4 Moduly klimatizačního systému

### Moduly ventilační jednotky

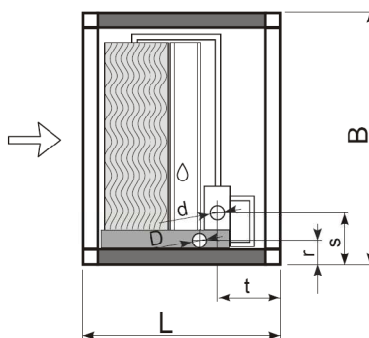
#### Moduly pro změnu vlhkosti (zvlhčovače)

Vodní vlhčení probíhá v tzv. komoře vodního vlhčení, která se též nazývá sprchová pračka vzduchu (viz. obrázek 2.17). Toto zařízení slouží k vlhčení a adiabatickému chlazení (využívá přeměny citelného tepla na teplo latentní při vypařování vody) upravovaného vzduchu rozstříkovanou vodou. Voda je nasávána čerpadlem a vháněna rozvodnými trubkami do trysek, které vytvářejí v prostoru jednotky vodní mlhu. Vzduch prochází na vstupu do komory usměrňovači proudu vzduchu, dále prochází vodní mlhou, kde je zvlhčován a adiabaticky ochlazován a na konci komory prochází přes eliminátor vodních kapek, který zabrání postupu nevstřebané vody do dalších komor jednotky.



Obrázek 2.17 – Schéma sprchové pračky [I11]

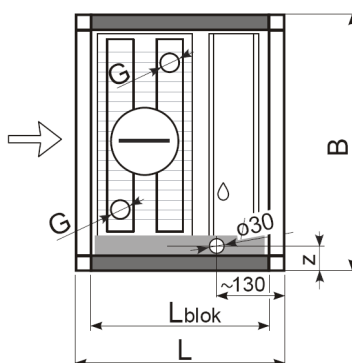
Parní vlhčení probíhá v zařízení nesoucím název odpařovací pračka (viz. obrázek 2.18). Tato komora slouží k vlhčení a adiabatickému chlazení upravovaného vzduchu. Při tomto způsobu zvlhčování se dostává do vzduchu vlhkost výhradně odparem (ne rozprašováním). Pračka pracuje bez oběhového čerpadla s přímým průtokem vody. Základem jsou zvlhčovací kazety ze speciálního porézního hliníku, který umožňuje optimální vypařování vlhkosti do proudícího vzduchu. Vana společně se základovým rámem je zhotovena z nerezového plechu a má dva výtoky. Komora je vybavena eliminátorem kapek.



Obrázek 2.18 – Schéma odpařovací pračky [I11]

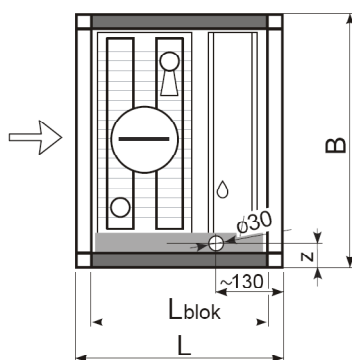
## Chladicí moduly

Jednou z možností, jak ochladit vzduch, představuje tzv. vodní chladič (viz. obrázek 2.19). V tomto případě se jako chladicí médium používá například voda, nebo nemrznoucí směs. Konstrukčně není vodní chladič nic jiného, než výměník tepla s hliníkovými lamelami a měděnými trubkami. Standardně je pro každou velikost výměníku k dispozici řada se dvěma až osmi řadami trubek a s optimalizovanou roztečí lamel a počtem vodních cest. Pro běžný provoz není minimální teplota média omezena, ale nesmí dojít k jeho zamrznutí ve výměníku. Omezen ale bývá provozní tlak média.



Obrázek 2.19 – Schéma vodního chladiče [I11]

Další způsob chlazení vlhkého vzduchu nabízí chladič s přímým výparníkem (viz. obrázek 2.20), který slouží k chlazení vzduchu za pomoci přímého vypařování chladiva. Konstrukčně se opět jedná o výměník, který je ale zapojen do samostatného chladivového okruhu s kondenzační jednotkou. Běžně bývají k dispozici jednookruhové nebo dvouokruhové výměníky pro chladiva R407C, R410A, R134a, R404a, R502 a R22. Výměníky mají hliníkové lamely a měděné trubky. Maximální provozní tlak média je omezen.

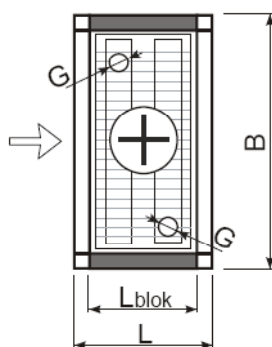


Obrázek 2.20 – Schéma chladiče s přímým výparníkem [I11]

## Ohřívací moduly

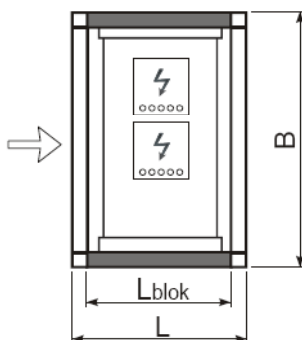
Ohřev vzduchu je v praxi řešen čtyřmi způsoby a to použitím takzvaného vodního ohříváče, parního ohříváče, elektrického ohříváče nebo plynového ohříváče.

V případě vodního ohříváče (viz. obrázek 2.21) je topným médiem teplá voda, přičemž se konstrukčně opět jedná o tepelný výměník s hliníkovými lamelami a měděnými trubkami. Podle velikosti jednotky je k dispozici řada výměníků s jednou až čtyřmi řadami trubek a s optimalizovanou roztečí lamel a počtem vodních cest. Standardně bývá omezena maximální teplota topného média na 110 °C. Dalším omezením je provozní tlak média.



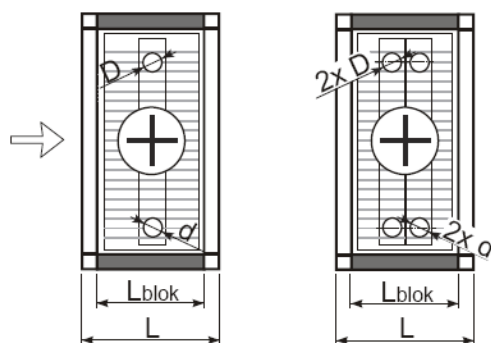
Obrázek 2.21 – Schéma vodního ohříváče [I11]

V případě elektrického ohříváče (viz. obrázek 2.22) dochází k ohřevu pomocí elektrických topných tyčí. Topné tyče jsou uvnitř komory propojeny do několika sekcí. Topný výkon ohříváče se reguluje spínáním jednotlivých sekcí, popřípadě tyristorovou spojitou regulací výkonu. Každá sekce je tvořena jednou, nebo více trojicemi topných tyčí připojených vzájemně do hvězdy. Napájení jednotlivých sekcí ohříváče je společně se svorkami bezpečnostního a havarijního termostatu vyvedeno ve svorkovnici uvnitř komory.



Obrázek 2.22 – Schéma elektrického ohříváče [I11]

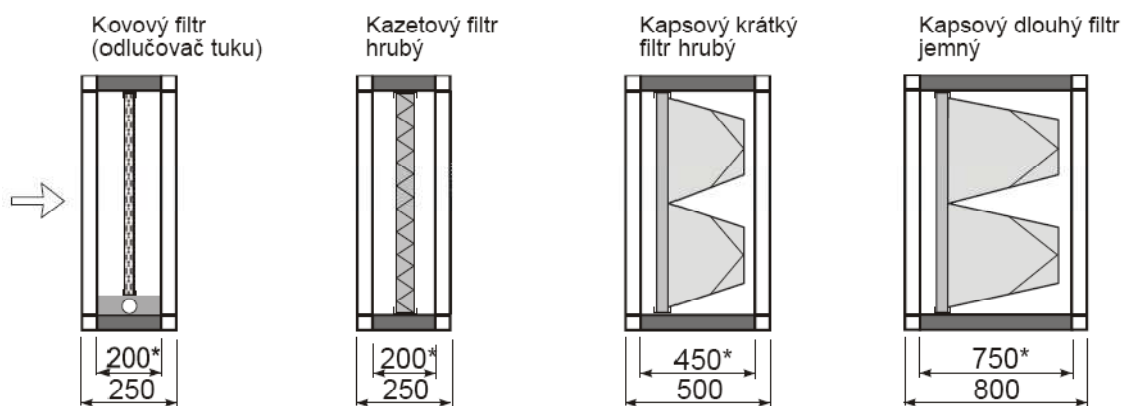
Parní ohřívač (viz. obrázek 2.23) používá pro ohřev vzduchu sytou páru do tlaku 1,7 MPa (absolutní) s teplotou do 200 °C. Použité výměníky mají ocelové pozinkované lamely a trubky. Pro každou velikost jednotky je k dispozici jednořadý a dvouřadý výměník. Hrdla výměníků jsou připravena k navaření přívodního a kondenzačního potrubí a nejsou opatřena přírubami ani závitem. Ohřívače mohou mít uvnitř jeden nebo více výměníků tepla. Standardně jsou vybaveny kondenzačním potrubím.



Obrázek 2.23 – Schéma parního ohřívače s jedním a dvěma výměníky [I11]

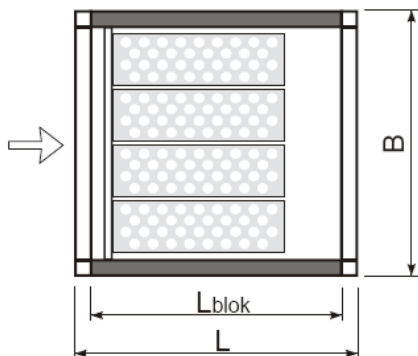
### Filtrace vzduchu a filtrační moduly

Pro to, aby klimatizovaná místnost vyhovovala hygienickým požadavkům a normám, je potřeba zavést na vstup klimatizačního nebo ventilačního systému filtry, které zachytávají pachy, prach a další škodliviny ze vzduchu. Tato zařízení se jmenují filtry vzduchu. Filtrace se provádí buď jednostupňově, nebo dvoustupňově. U dvoustupňové filtrace se první stupeň umístí před a druhý za ventilátorovou komoru. U jednostupňové je filtr umístěn před ventilátorovou komorou. Základní provedení filtrů je zobrazeno na obrázku 2.24.



Obrázek 2.24 – Schémata filtračních komor [I11]

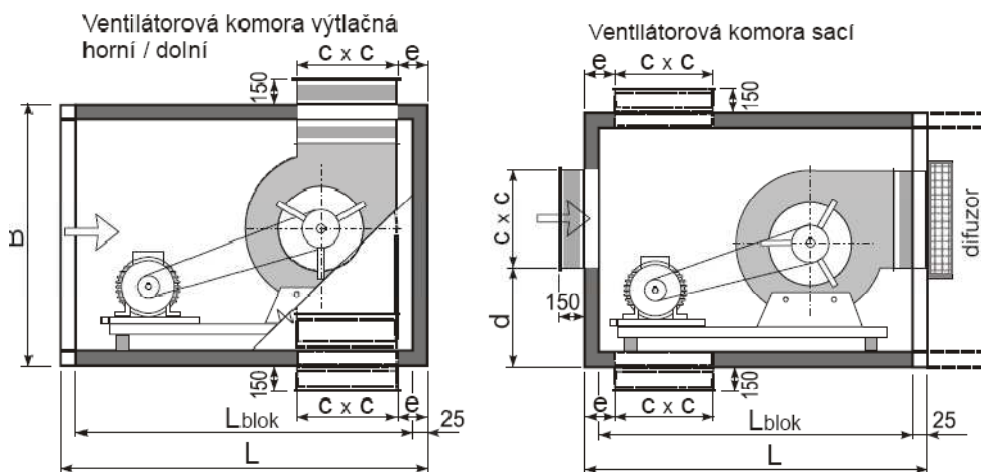
Pro specifitější účely se používá filtrační komora s uhlíkovým filtrem (viz. obrázek 2.25). Tato komora se používá u dvoustupňové filtrace a měla by následovat za ventilátorem. Je k dispozici s náplní granulovaného aktivního uhlí, které je schopno zachycovat látky jako například toluen, xylen, benzín, benzen, chloroform, perchloretylén, syren, acetáty, kerosin, terpentýn a zápachy z procesů jako, je pájení a svařování, nebo kouření cigaret.

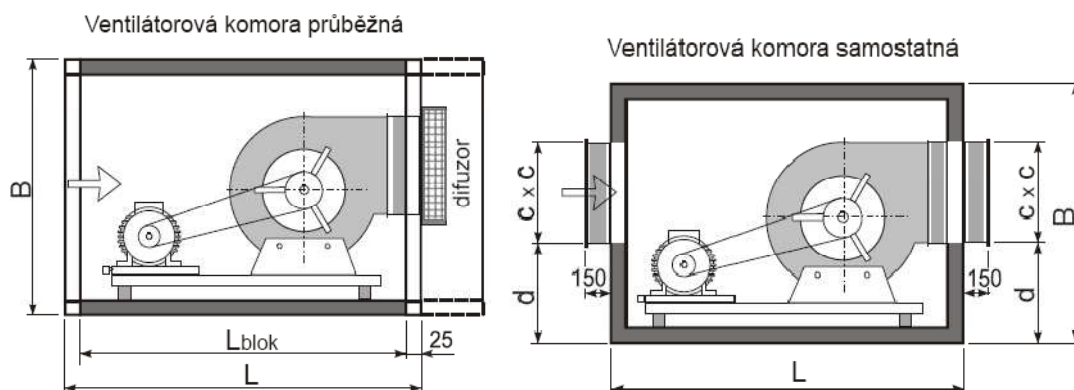


Obrázek 2.25 – Schéma filtrační komory s uhlíkovým filtrem [I11]

### Ventilátorové a směšovací moduly

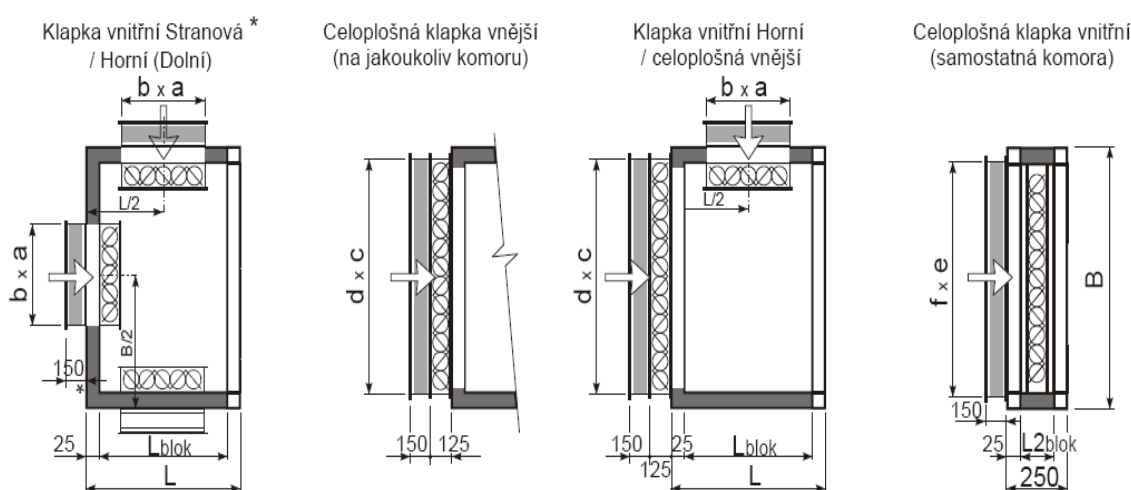
Ventilátorové komory (viz. obrázek 2.26) slouží k dopravě vzduchu. Uvnitř ventilátorové komory jsou standardně umístěny oboustranné nízkotlaké nebo středotlaké ventilátory ve třech variantách otočení spirální skříňe do strany, nahoru a dolů. Ventilátory jsou poháněny třífázovými elektromotory 400V/50 Hz prostřednictvím převodu s ozubenými koly a klínovými hřebeny. Na motor je napojena elektronika pro regulaci otáček a tím i objemového toku přiváděného vzduchu.





Obrázek 2.26 – Schéma ventilátorových komor [I11]

Jako směšovací moduly jsou použity takzvané klapkové komory (viz. obrázek 2.27), které slouží nejen k regulování proudu vzduchu, ale i k jeho směšování a k uzavírání jednotky pomocí regulačních klapek. Regulační klapky jsou standardně tvořeny hliníkovým rámem a hliníkovými profilovanými listy s pryžovým těsněním na dosedacích plochách. Komora může být osazena jednou nebo dvěma regulačními klapkami, které je možné umístit ze strany, zespodu a z boku komory. Klapková komora je osazena tlumicími vložkami pro připojení vzduchotechnického potrubí.



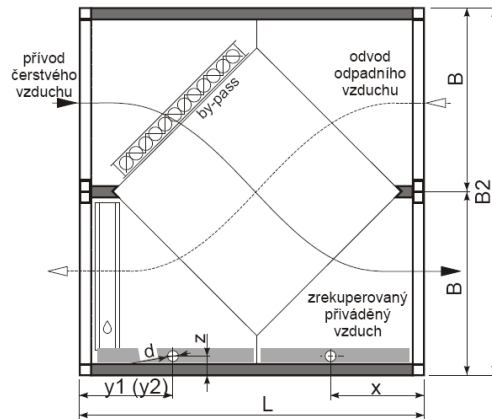
Obrázek 2.27 – Schéma klapkových komor [I11]

## Rekuperační výměníky

### Deskový rekuperátor

Komora deskového rekuperátoru (viz. obrázek 2.28) slouží ke zpětnému získávání tepla z odváděného vzduchu, přičemž přírodní a odvodní proud vzduchu jsou od sebe zcela odděleny (převádí se pouze citelná složka tepla). Vlastní kostka rekuperátoru je tvořena soustavou hliníkových desek (lamel) spojených vzájemně tak, že umožňují střídavý průchod

odváděného a přiváděného vzduchu mezi deskami. Odváděný vzduch předává teplo hliníkovým deskám a ty předávají teplo vzduchu přiváděnému. Účinnost takto získávaného tepla se pohybuje v rozmezí 50-55%.



Obrázek 2.28 – Schéma deskového rekuperátoru [I11]

### Ventilokonvektory (Fan coils)

Ventilokonvektory neboli takzvané Fan coils nejsou nic jiného, než výměníky tepla voda vzduch s ventilátory uvnitř pro zvětšení přenosu tepla. Na obrázku 2.29 je zobrazena podstropní fancoilová jednotka, která se montuje do falešného stropu a je v praxi velmi často používaná. Výrobce této jednotky je firma Lennox. S tím, že na trhu existuje dvoutrubkové (ohřev nebo chlazení) nebo čtyřtrubkové (ohřev i chlazení) provedení.



Obrázek 2.29 – Schéma podstropní fancoilové jednotky Lennox [I11]

## Chladicí věže

Chladicí věž (viz obrázek 2.30), jak už sám název vypovídá, slouží k chlazení vody. Jedná se v podstatě o tepelné čerpadlo, které odebere teplo vodě (předá jej chladicímu médiu) a dále toto teplo předá vzduchu (chladicí médium zvýší svůj tlak a předá teplo okolí) (funkce viz obrázek 2.10). Pro zvýšení přenosu tepla jsou zde namontovány výkonné ventilátory.



Obrázek 2.30 – Chladicí věž Daikin [I9]

## Plynové kotle

Plynové kotle (viz obrázek 2.31) slouží k ohřevu užitkové vody nebo v kombinaci se zásobníky tepla k ohřevu vody k vytápění budov. V Portugalsku je jejich zařazení velmi časté a to nejen v domácnostech, ale i ve firemním prostředí.



Obrázek 2.31 – Plynový kotel Junkers [I8]

## Nepřímo ohřívané zásobníky tepla

Zásobníky tepla slouží k vytvoření zásoby vody o určité teplotě a její uchování. Používají se hlavně tam, kde dochází k většímu odběru užitkové vody. Díky nepřímo ohřívaným zásobníkům (viz obrázek 2.32) lze získat velké množství teplé vody bez jakéhokoliv čekání. Tento typ ohřevu je použit pro přípravu teplé vody společně s plynovým kotlem, který zde slouží jako topný přístroj.



Obrázek 2.32 – Zásobníky tepla Junkers [18]

## 3. Kogenerace

Pojem kogenerace znamená kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla. Oproti klasickým elektrárnám, ve kterých je teplo vzniklé při výrobě elektrické energie vypouštěno do okolí, využívá kogenerační jednotka teplo k vytápění a šetří tak palivo i finanční prostředky potřebné na jeho nákup. Přičemž lze vytvořit dva rozdílné energetické produkty rozdělením výstupu jednoduchého parního ohříváče na větev napojenou na parní turbínu a větev, která je použita pro ohřev. V tomto případě se ale nejedná o kogeneraci. Rozlišujícím faktorem kogenerace od ostatních procesů je operativní koncept „sekvenčního využití“ a produkce jak elektřiny, tak i využitelné tepelné energie. Kogenerace může být použita jak pro jednoduché, tak pro kombinované cykly. V kogenerační jednotce vzniká elektrická energie stejným způsobem jako v jiných elektrárnách - roztočením elektrického generátoru, a to pomocí pístového spalovacího motoru nebo například mikroturbíny. Motory v kogeneračních jednotkách jsou standardně konstruovány na zemní plyn, mohou však spalovat i jiná kapalná či plynná paliva. Teplo, které se ve spalovacím motoru uvolňuje, je prostřednictvím chlazení motoru, oleje a spalin efektivně využíváno a díky tomu se účinnost kogeneračních jednotek pohybuje v rozmezí 80 - 90 %.

Důležitou roli zde tedy hraje proces využití odpadního tepla (rekuperace tepla). Tento proces mění relativně neúčinnou jednocyklovou výrobu energie na o mnoho účinnější kogenerační proces nebo proces s kombinovaným cyklem. Využití odpadního tepla znamená efektivní zachycení a využití tepla odcházejícího z cyklů pro výrobu energie. Odchází teplo představuje formu energie spojenou s proudy vzduchu, výfukovými plyny a tekutinami odcházejícími ze systému a vstupujícími do prostředí jako odpadní produkty.

V Portugalsku je vyrobeno ročně 12% zkonsumované energie kogenerací, což odpovídá konzumaci energie asi jednomu a půl milionu domácností. Instalovaný výkon ke konci roku je

okolo 1300 megawattů a je srovnatelný s výkonem čtyř blokových běžných uhelných elektráren. Největší část instalovaného výkonu v Portugalsku zahrnuje sektor papírnictví (34%), dále chemický sektor (26%), následuje textilní průmysl (18%), potom potravinářský sektor (7%), v neposlední řadě sektor zpracování dřeva (4%) a sektor zpracování keramiky (4%).

Poznámka: Informace o kogeneraci v Portugalsku jsou ze stránek asociace pro kogeneraci (COGEN – [www.cogenportugal.com](http://www.cogenportugal.com)) a článek, ze kterého se čerpalo je uveřejněn na <http://www.tvnet.pt/noticias/detalhes.php?id=23279>.

## Hlavní výhody kogenerace v kostce:

### 1. Úspora paliva

Použití kogeneračního způsobu výroby tepla a elektrické energie představuje zhruba 40% úsporu paliva. Převáděno na peníze to znamená, že za stejné množství energie zaplatí uživatel pouze 60% finančních prostředků. [15]

### 2. Úspora nákladů na nákup energie

Ze stejného množství paliva získá přibližně dvojnásobné množství energie, z níž část může prodávat a tím opět snižovat vlastní náklady.

### 3. Minimalizace nákladů na rozvod energie

Teplo i elektrická energie navíc vznikají v místě své spotřeby, čímž odpadají náklady na rozvod energie i ztráty tímto dálkovým rozvodem způsobené. Teplo vznikající v kogenerační jednotce je využito k vytápění budov, přípravě teplé užitkové vody nebo k přípravě technologického tepla

### 4. Ekologický způsob výroby

Protože se při použití kogeneračního způsobu výroby elektřiny a tepla ušetří asi 40% paliva, zatěžuje kogenerace z ekologického hlediska přibližně o totéž procento méně životní prostředí.

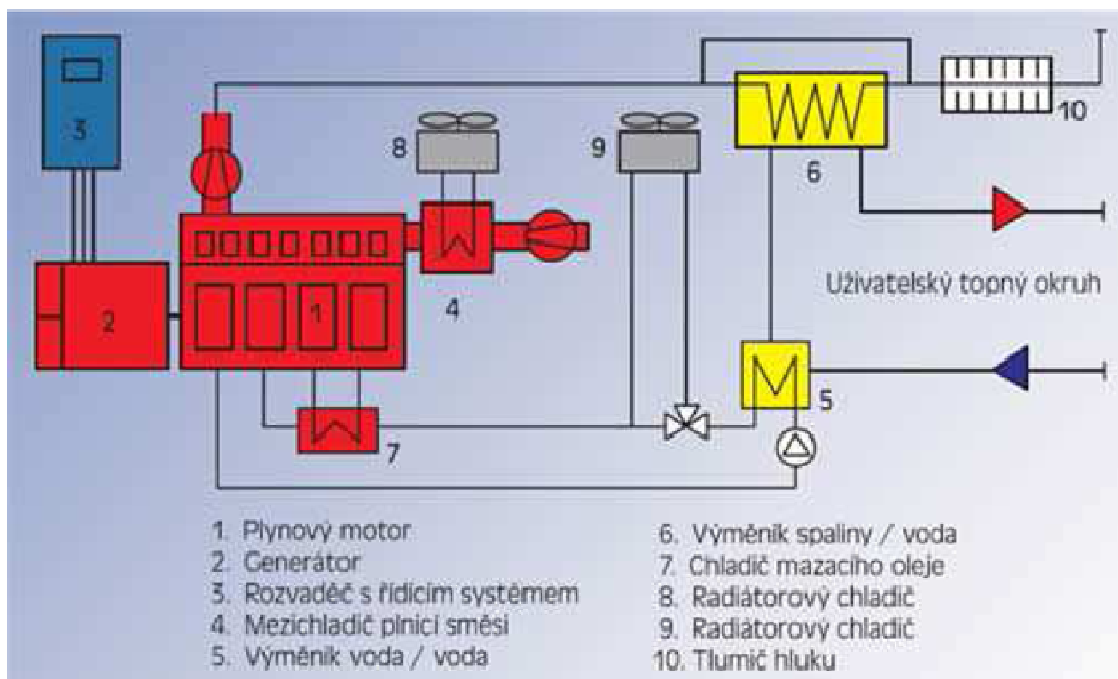
### 5. Energie pro případ nouze

Kogenerační jednotky slouží často též jako nouzové zdroje elektrické energie v místech její nepřetržitě potřeby.

### 3.1 Kogenerační jednotky s pístovými motory

Na světovém trhu jsou již dlouhou dobu rozšířené kogenerační jednotky, které používají pro pohon generátoru právě zážehové nebo vznětové motory (v ČR. například Tedom, Motorgas). Tyto jednotky se s výhodou využívají ve výtopenách, hotelích, bazénech, na skládkách odpadů, v nemocnicích, v čistírnách odpadních vod, v průmyslových podnicích a v zemědělství.

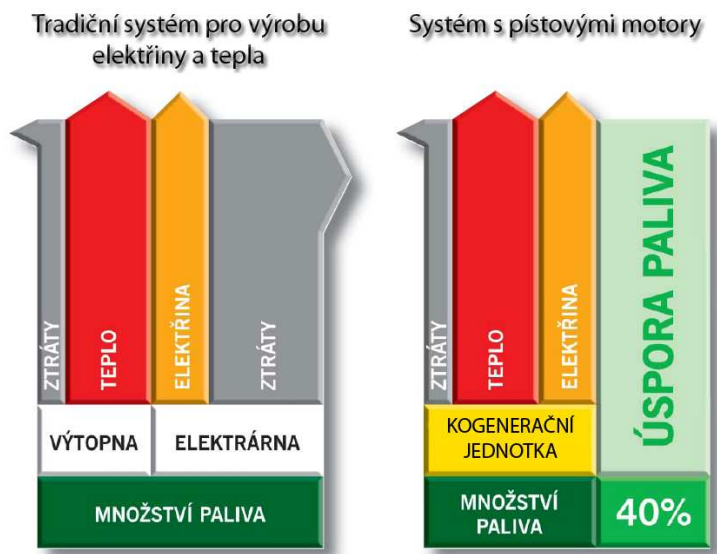
Kogenerační jednotka se spalovacím motorem se skládá ze zážehového spalovacího motoru pohánějícího přímo alternátor vyrábějící elektřinu a výměníků pro využití odpadního tepla z motoru (viz obrázek 3.2).



Obrázek 3.2 – Blokové schéma kogenerační jednotky s pístovým motorem [I3]

Odpadní teplo z motoru je odváděno pomocí dvou výměníků na dvou teplotních úrovních. První výměník odvádí teplo z bloku motoru a z oleje na úrovni cca 80 – 90 °C [I3]. Druhý výměník odvádí teplo z odcházejících výfukových spalin o teplotě cca 400 – 500 °C [I3]. Výměníky jsou z hlediska průtoku teplotního média zapojeny do série. Obvykle jsou kogenerační jednotky koncipovány pro dodávku tepla do teplovodního systému 90/70 °C [I3], méně již do systému 110/85 °C [I3] resp. 130/90 °C [I3]. Kogenerační jednotky se zážehovými spalovacími motory se dodávají o el. výkonech v rozsahu od cca 20 kW do 5 000 kW [I3]. Na trhu bohužel chybí nejmenší zařízení pro rodinné domky s tepelným výkonem 5 – 10 kW [I3].

Obrázek 3.3 nabízí porovnání tradiční oddělené výroby tepla a elektřiny s kogenerací s pístovými motory. Kogenerační jednotky s (automobilovými) zážehovými nebo vznětovými motory upravené pro spalování plynu využívají palivo asi z 80 % až 85 % [I4]. Z toho připadá 30 % až 35 % na elektrickou energii a zbytek na teplo tj. 65 % až 70 % [I4], při společné výrobě tepla a elektřiny dochází ke 40% úspoře paliva [I4].



Obrázek 3.3 – Porovnání tradiční výroby tepla a chladu s kogenerací s pístovými motory [I4]

Kogenerační jednotky (menších výkonů do 100 kW) bývají většinou vybaveny asynchronními generátory pro paralelní provoz se sítí. Asynchronní generátory nemají synchronizační zařízení, jsou jednodušší a levnější. Je možné je doplnit mikroprocesorovým řídicím systémem, který umožňuje dálkové sledování provozu. Kogenerační jednotky (větších výkonů) se synchronními generátory mají vyšší účinnost. Mohou pracovat nejen paralelně se sítí, ale i nezávisle na ní. Jejich využití je širší, používají se jako nouzové zdroje elektrické energie, které zabezpečují dodávku i při výpadku dodávky elektrické energie ze sítě.

Každá jednotka je vybavena samočinnou regulací provozu, jejíž funkce a rozsah závisí na velikosti výkonu motoru. U malých zařízení se jedná jen o automatický start, odstavení a nejčastěji dvoustupňové zatěžování. Velká zařízení mají monitorovací systém, který řídí provoz podle potřeby tepla i elektrické energie odběratele. Jestliže úkolem kogenerační jednotky je dodávka tepla a elektrická energie je vedlejším produktem, pak se řídí činnost všech jednotek podle venkovní teploty, teploty vratné vody, teplotního rozdílu topné a vratné vody, atd. Kogenerační jednotka, která se podílí výraznějším způsobem na dodávce elektrické energie do sítě při pokrývání špičkových zatížení elektrizačního systému dané lokality, je řízena podle požadavku dispečinku rozvodné soustavy. Pokud se kogenerační jednotka používá jako zdroj tepla pro topení a ohřev vody, musí být vybavena sekundárním okruhem, který zajišťuje vývod tepla do topného systému. Pokud není možné odvést plný tepelný výkon kogenerační jednotky, je vhodné doplnit systém chladicí jednotkou pro nouzové chlazení.

**Existují tyto základní provedení:**

- kompaktní blokové provedení s protihlukovou kapotou
- kontejnerové provedení
- modulové uspořádání
- zdrojové soustrojí

Obrázek 3.4 znázorňuje kapotové provedení, které je určeno především k instalaci do budov. Jeho hlavními výhodami jsou jednoduchost, rychlost instalace a nízká hlučnost. Na obrázku 3.5 je takzvané kontejnerové provedení, které je určeno především k venkovním instalacím mimo obytné či průmyslové budovy, mezi jeho výhody patří mimo jiné snadná instalace a odolnost proti povětrnostním vlivům.



Obrázek 3.4 – Kapotové provedení [I4]



Obrázek 3.5 – Kontejnerové provedení [I4]

Modulové uspořádání (viz obrázek 3.6) se používá u kogeneračních zařízení větších výkonů. Tepelný modul je oddělen od modulu mikrogenerátoru, hlavní výhodou této varianty je variabilita provedení a možnost přizpůsobení individuálním potřebám zákazníka. Na obrázku 3.7 je zobrazeno zdrojové soukolí, což je sestava motoru a generátoru na společném ocelovém rámu tvořící základní celek pro stavbu kogenerační jednotky. Výhodou tohoto provedení je jednoduchá koncepce s možností doplnění dalších technologických prvků kogenerace.



Obrázek 3.6 – Modulové uspořádání [I4]



Obrázek 3.7 – Zdrojové soukolí [I4]

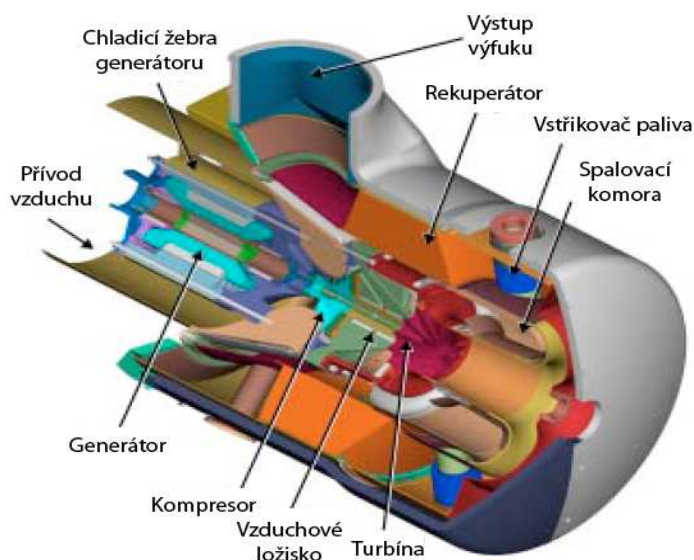
## 3.2 Kogenerační jednotky s mikroturbínami

Mikroturbíny představují výborný zdroj pro výrobu elektrické energie při kombinované výrobě elektrické energie a tepla (popřípadě elektrické energie, tepla a chladu). Jejich obrovskou výhodou jsou nízké nároky na údržbu a nízké emise. Zařazení rekuperace tepla k mikroturbínám se ukázalo jako velice cenově příznivé v řadě komerčních instalací.

### Přehled technologie mikroturbín

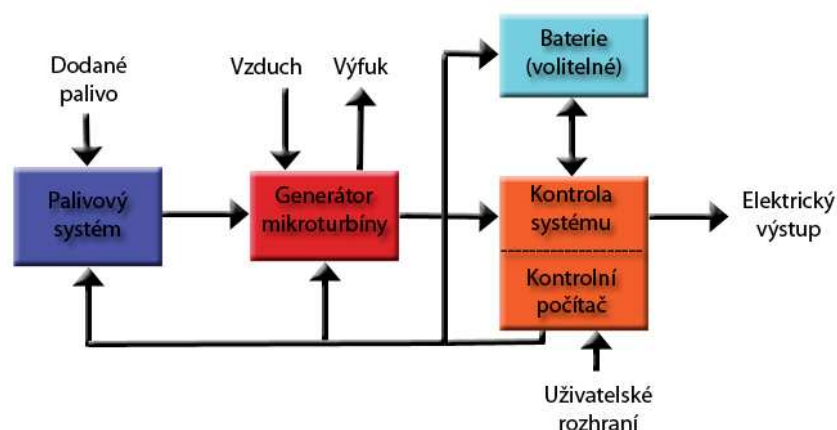
Charakteristickými znaky dnešních mikroturbín jsou radiální kompresor, radiální turbína a rekuperátor tepla pro zvýšení účinnosti systému. Většina mikroturbín má jednu hřídel se kterou je spojen radiální kompresor, radiální turbína a generátor, toto spojení nese komerční název “turbo generátor”. Na obrázku 3.8 je zobrazeno schéma turbogenerátoru s rekuperátorem tepla. Turbogenerátory dosahují extrémních rychlostí otáčení hřídele v rozsahu od 45 000 do 100 000 otáček za minutu. Výstupem generátoru je proto vysoce frekvenčně proměnný proud.

Před pokračováním proudu do sítě je usměrněn řadou elektrických obvodů a transformován na třífázový s frekvencí 50Hz nebo 60Hz [9]. Integrovaná kontrola převodu energie a běhu turbogenerátorů přes počítač představuje spolehlivou, jednoduchou a účinnou formu, jak je možné snadno zjistit a předejít závadám. Do systému kontroly jsou dále začleněny ochranné funkce, které extrémně usnadňují připojení turbogenerátorů k elektrické síti a zlepšují jeho bezpečnost. Turbogenerátor se k síti připojuje paralelně.



Obrázek 3.8 – Turbogenerátor s rekuperací tepla [9]

Obrázek 3.9 znázorňuje základní části elektronicky kontrolovaného systému. Někteří výrobci používají převodovku pro změnu rychlosti a tím přizpůsobení k připojení systému ke standardním typům generátorů. V tomto případě je synchronizace a kontrola provedena standardním systémem odděleně od mikroturbíny.



Obrázek 3.9 – Typický systém s mikroturbínou [9]

Turbogenerátory od mnoha výrobců jsou schopné pracovat s širokou škálou paliv: zemní plyn, bioplyn, nafta nebo propan. Jedna z charakteristik mikroturbín je, že dochází k vstřikování paliva do spalovací komory o relativně vysokém tlaku - třech až čtyřech atmosférách. Při použití plyných paliv je pro změnu tlaku spotřebováno mnoho elektrické energie, se kterou se musí při návrhu a hodnocení systému počítat.

Na trhu jsou v dnešní době běžně dostupné mikroturbíny o výkonech od 28 kW do 250 kW [9]. Elektrická účinnost je spojená s výhřevností dostupného paliva a pohybuje se v rozmezí 30 až 40 [9] procent, přičemž záleží na druhu použitého paliva a parazitických ztrátách kondenzátoru. Stejně jako u všech zařízení fungujících na základě Braytonova cyklu, získaná elektrická energie a účinnost klesají s rostoucí venkovní teplotou. Závislost účinnosti na venkovní teplotě je dodávána spolu s mikroturbínami výrobcem.

Některé mikroturbíny používají vzduchová ložiska a jsou chlazeny také vzduchem, tímto eliminují výměnu a potřebu odstraňování a zpracování nebezpečných tekutých lubrikantů a chladiv. Další výhodou mikroturbín je, že jsou schopné fungovat v prodloužených časových periodách na svůj plný chod a potřebují méně údržby než například kogenerační jednotky se spalovacími motory.

Spalování v mikroturbínách je plynulý a čistý proces, podobný spalování v moderních elektrárnách s plynovou turbínou. Výrobci mikroturbín zavedly nejmodernější spalovací technologii za účelem kontroly emisí bez potřeby začlenění vybavení pro snížení emisí, nebo chemického zpracování výfukových plynů. Vedoucí výrobci dokonce dosáhli 9 ppm Nox (parts per million), což odpovídá 0,214 kilogramům za megawatt-hodinu [9]. Co se týče emisí CO za plného výkonu, jsou také na velice nízké úrovni. Právě díky nízkým emisím lze mikroturbíny začlenit prakticky kamkoliv.

## Integrované kogenerační systémy s mikroturbínou

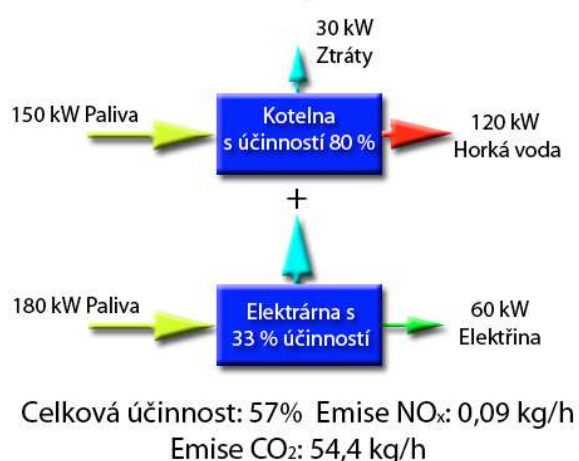
Výhody kombinace výroby elektrické energie s produkcí tepla jsou široce známy. Extrakce a využití energie spalín, která by se jinak přeměnila v odpadní, zvyšuje celkovou účinnost systému a dostává tak kogenerační systémy hodně před elektrárny na fosilní paliva. Toto s sebou nese více využitelné práce z limitovaných přírodních zdrojů a méně emisí skleníkových plynů než při použití konvenčních technologií pro výrobu energie. Právě díky pokročilé technologii spalování dochází ke snížení všech emisí ve srovnání s ostatními systémy. Na trhu se objevují jednoduchá a kompaktní řešení těchto systémů (viz obrázek 3.10).



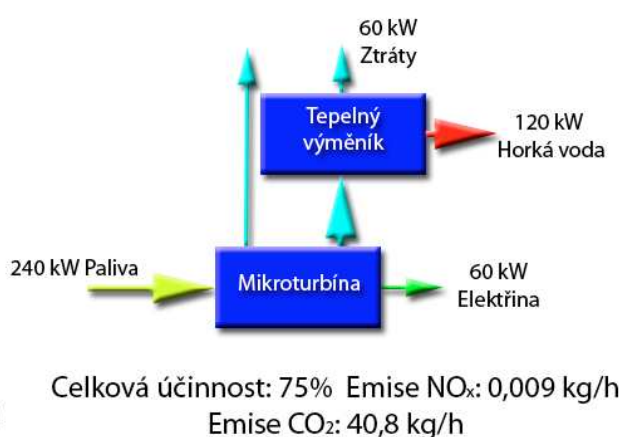
Obrázek 3.10 – Kompaktní provedení kogenerační jednotky s mikroturbínou značky Capstone [9]

Obrázek 3.11 představuje srovnání účinnosti a emisí tradičního systému (oddělená výroba tepla v kotelně a elektřiny v elektrárně) a kogeneračního systému, který poskytuje 60 kW elektřiny a 120 kW tepelné energie. Celková účinnost je o mnoho vyšší, emise CO<sub>2</sub> jsou o 25% nižší a emise NO<sub>x</sub> jsou sníženy dokonce na desetinu oproti tradičnímu systému. [9].

### Tradiční systém pro výrobu elektřiny a tepla



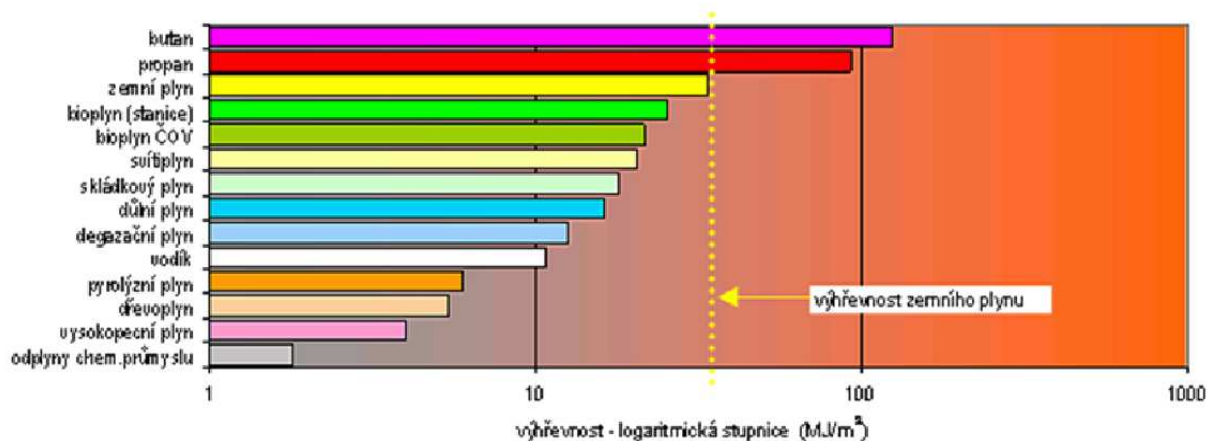
### Systém s mikroturbínou



Obrázek 3.11 – Tradiční systém vs systém s mikroturbínou [9]

## 4. Paliva pro kogenerační jednotky

Jako paliva pro kogenerační jednotky lze použít pevná paliva jako například motorovou naftu nebo topné oleje. Ekologicky výhodnější jsou však plynná paliva. Kromě zemního plynu je použito rozličné spektrum hořlavých plynů. Zdroje plynů se nacházejí jak v přírodě, tak v mnoha oblastech lidské činnosti. Jedním z kritérií při posuzování vhodnosti plynného paliva pro kogeneraci je výhřevnost. Výhřevnost je definovaná jako teplo, které se uvolní dokonalým spálením paliva, ochladí-li se spaliny na původní teplotu paliva, přičemž voda je u hoření uvažována v plynné fázi (tak jak tomu při hoření skutečně je). Základní jednotkou výhřevnosti jsou  $\text{J/m}^3$ . Obecně platí u plynů obsahujících uhlík, že čím více atomů uhlíku obsahuje molekula, tím větší je výhřevnost. Pro ilustraci lze uvést rozsah použitelných výhřevností (viz obrázek 4.1). Začíná od plynů z chemické výroby, přes vysokopecní plyn, dřevoplyny a celý sortiment plynů pyrolýzních. Následuje vodík, který má kvůli absenci uhlíkových atomů v molekule výhřevnost značně nízkou. Jednotlivé zdroje se většinou pohybují ve značném rozsahu, podle technologie přípravy plynu a chemického složení. S vyšším počtem uhlíkových atomů v molekule se však výhřevnost prudce zvyšuje. Za standard se považuje výhřevnost metanu - tedy zemního plynu s výhřevností okolo  $34 \text{ MJ/m}^3$  (při  $15^\circ\text{C}$  a  $101,3 \text{ kPa}$ ) anebo přibližně  $10 \text{ kWh/m}^3$  ( $m_N$  normální metr krychlový – při standardních podmínkách tlaku a teploty) [11]. Zemní plyn se používá jako palivo při výrobě tepla a elektrické energie pro budovy kogeneračními jednotkami. Používání



Obrázek 4.1 – Výhřevnost jednotlivých plynů používaných jako palivo v kogeneračních jednotkách [11]

kapalných plynů propanu a butanu není pro kogeneraci příliš typické.

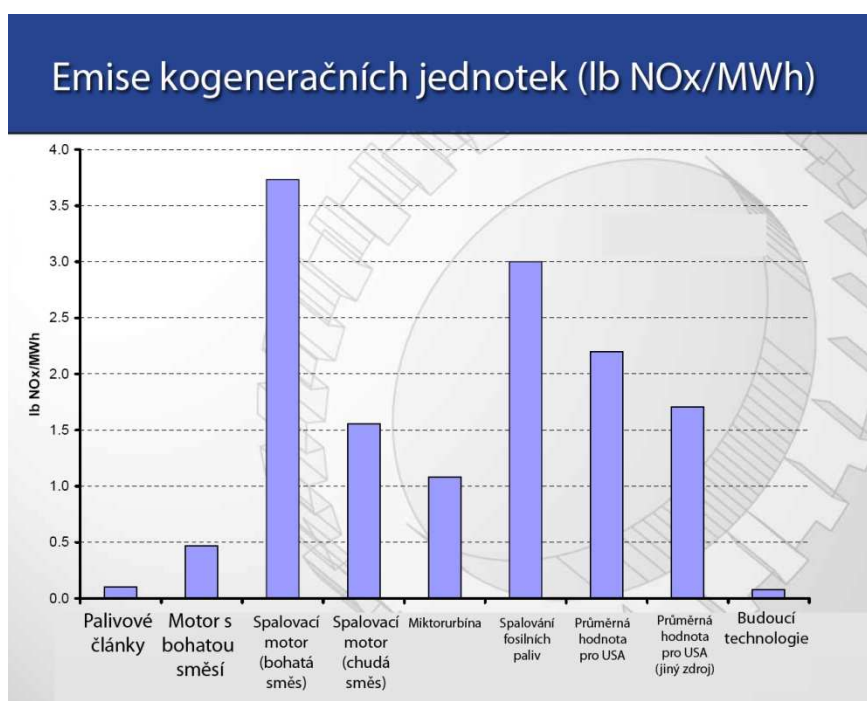
## 5. Emise škodlivin

Při spalování plynu v motorech vzniká vodní pára, oxid uhličitý, oxid uhelnatý, oxidy dusíku a nespálené uhlovodíky. Z lokálního pohledu kogenerační jednotky životní

prostředí zatěžují, avšak ve srovnání s uhlím jsou množství škodlivých látek výrazně nižší SO<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, prach.

Někteří výrobci poskytují informace o emisích, jiní ne. K omezení emisí se používají konstrukční úpravy motorů, katalyzátory i provozní opatření (např. snížení zatížení motoru, optimální nastavení zážehu, zvýšení přebytku vzduchu). Na ochranu proti hluku – protihlukové kryty, zvuková izolace strojovny, pružné uložení jednotek na základ, tlumiče hluku ve výfukovém potrubí před vstupem do komína, odhlučnění přívodu a odvodu ventilačního vzduchu, atd.

Nejdůležitější roly zde hraje přebytek vzduchu, přičemž směs paliva se vzduchem může být buď bohatá (malý přebytek vzduchu) nebo chudá (velký přebytek vzduchu). V případě chudé směsi má palivo menší energetickou hodnotu, ale logicky nižší emise (viz obrázek 5.1). V případě bohaté směsi je tomu naopak. Výrobci uvádějí emise vztažené k přebytku kyslíku.



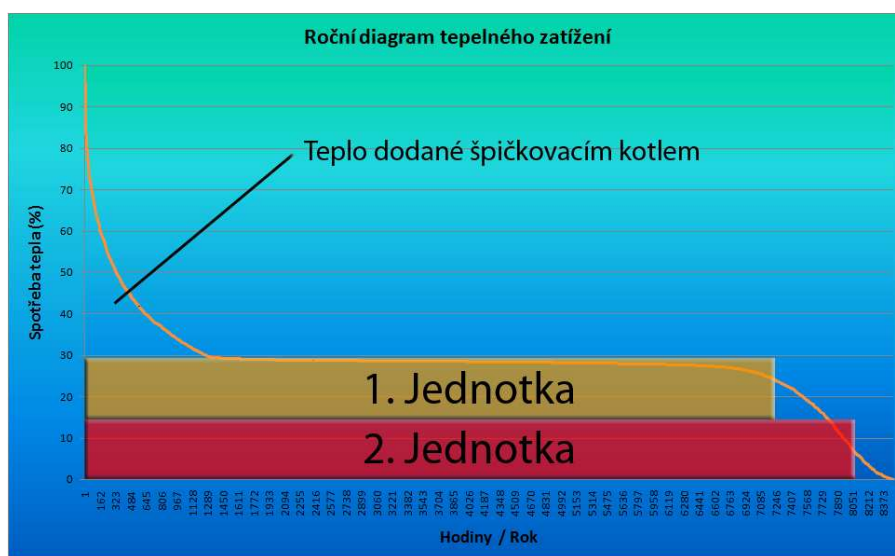
Obrázek 5.1 – Srovnání emisí NO<sub>x</sub> pro jednotlivé systémy [114]

## 6. Použití kogeneračních jednotek

Kogenerační jednotky se běžně používají jako náhrada tepelného zdroje o srovnatelném výkonu. Tímto zdrojem může být například kotel na tuhá paliva, nebo na plyn. Popřípadě se tyto jednotky použijí pro výrobu tepla tam, kde je teplo dodávané z vnějšího zdroje a dopravováno rozvodnou sítí. Pro to, aby byla kogenerační jednotka ekonomicky co nejvýhodnější, je potřeba zajistit takový provoz, aby kogenerační jednotka pracovala co nejvíce hodin v roce. Její nasazení je nejvýhodnější tam, kde existuje celoroční odběr tepla, jako

například v ubytovacích zařízeních, bazénech, nemocnicích, školách, obecních a městských výtocnách, sídlištních blokových kotelnách a různých průmyslových podnicích.

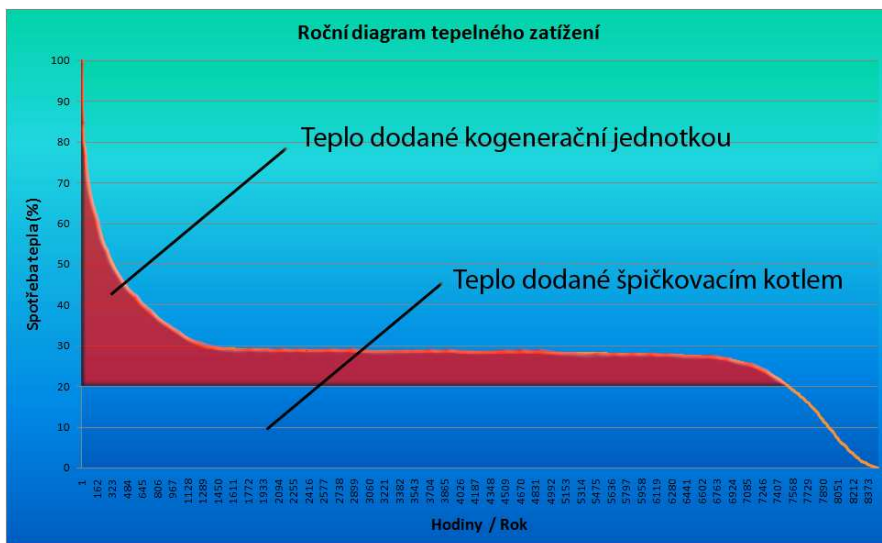
Ve větších zařízeních (instalacích s větším odběrem tepla) může být zařazeno více kogeneračních jednotek (viz obrázek 6.1) pro pokrytí části tepelných nároků a zbytek tepla lze dodávat běžným kotlem. Počet zařazených kogeneračních jednotek, jejich velikost a výkon je odvozen od ročního diagramu spotřeby tepla daného objektu. Jinou možností je volba výkonnější jednotky v kombinaci s akumulací tepla. Pak se kogenerační jednotka uvádí do provozu tak, aby dodávala proud v době, kdy je nejvýhodnější tarif výkupních cen elektřiny.



Obrázek 6.1 Zařazení více kogeneračních jednotek [I6]

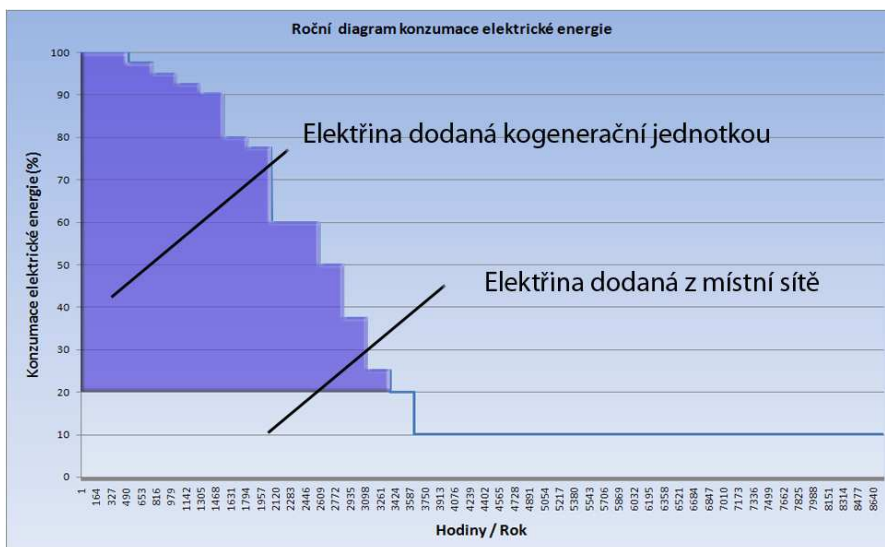
Na obrázku 6.1 je zobrazeno využití dvou kogeneračních jednotek pro pokrytí části ročního tepelného zatížení objektu, zbylé teplo je dodáváno špičkovacím kotlem. Vyrobenou elektrickou energií je možné spotřebovat přímo v objektu, nebo ji prodat do místní sítě, výhodnost těchto řešení záleží na prodejní ceně elektrické energie.

Kogenerační jednotka může také hradit potřeby tepla tak, jak je uvedeno na obrázku 6.2. V tomto případě je limitujícím faktorem její regulační rozsah. Regulační rozsah udává kolik procent z maximálního výkonu může jednotka dodávat. Minimální rozsah roven 1/5, tedy jednotka dodává od 20% výš (za předpokladu, že 100% spotřeby tepla představuje také maximální výkon jednotky).



Obrázek 6.2 Kogenerační jednotka s plynulou regulací (hrazení spotřeby tepla)

Další možností je, že kogenerační jednotka hradí část konzumace elektrické energie tak, jak je uvedeno na obrázku 6.3. Zde je opět limitujícím faktorem její regulační rozsah, jak tomu bylo v případě hrazení spotřeby tepla.



Obrázek 6.3 Kogenerační jednotka s plynulou regulací (hrazení spotřeby elektřiny)

### Pro návrh kogenerační jednotky je potřeba znát:

- denní a roční harmonogram spotřeby tepla a elektřiny
- druh požadovaného teplonosného média
- dostupnost jednotlivých paliv

## 7. Trigenerace

Trigenerace znamená kombinovanou výrobu elektřiny, tepla a chladu, technologicky se pak jedná o spojení kogenerační jednotky s apsorpční chladicí jednotkou. To je výhodné zejména z pohledu provozu kogenerační jednotky, protože umožňuje využít teplo i v létě, mimo topnou sezónu, a tím dosáhnout prodloužení ročního chodu jednotky, což hraje pro klimatické podmínky Portugalska klíčovou roli.

Právě snížené možnosti využití tepla z kogenerační jednotky v letních měsících vedou často k nasazení menších jednotek, než by bylo jinak vhodné. Pokud tedy lze přeměnit teplo na chlad, nic nestojí v cestě tomu, aby kogenerační jednotka mohla naplno pracovat i přes léto. Vyrobený chlad může být využit všude tam, kde je zapotřebí klimatizace - v bankách, hotelech, obchodních a administrativních střediscích, nemocnicích, sportovních halách apod.

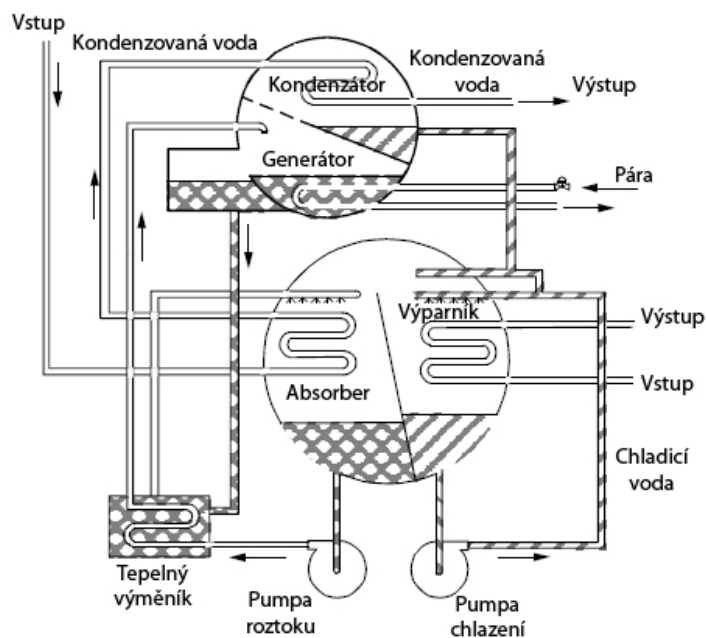
### 7.1 Apsorpce pro výrobu chladu

Z výše uvedeného plyne, že jedinou odlišností trigeneračního cyklu od kogeneračního je zařazení apsorpční jednotky pro výrobu chladu. Apsorpce je proces, při kterém je dosaženo chladicího efektu díky použití dvou kapalin a určitého množství vstupního tepla oproti elektrické energii, jako je tomu například u parních kompresních cyklů. Cykly s kompresí páry, stejně tak jako cykly apsorpčního chlazení, dosahují odvodu tepla vypařením chladicího média při nízkém tlaku a odvodu tepla kondenzací chladicího média při vysokém tlaku. Způsob vytvoření tlakového rozdílu a cirkulace chladicího média tvoří pilotní rozdíl mezi těmito dvěma cykly. Parní cykly zaměstnávají mechanický kompresor pro vytvoření tlakového rozdílu potřebného pro cirkulaci chladicího média. U apsorpčních systémů je do cyklu zařazeno sekundární médium (apsorvent) za účelem cirkulace chladicího média. Protože teploty potřebné pro cyklus klesnou na nízkou až střední úroveň a existuje zde podstatný potenciál pro úspory energie, apsorpční cyklus má dobré vyhlídky pro geotermální aplikace.

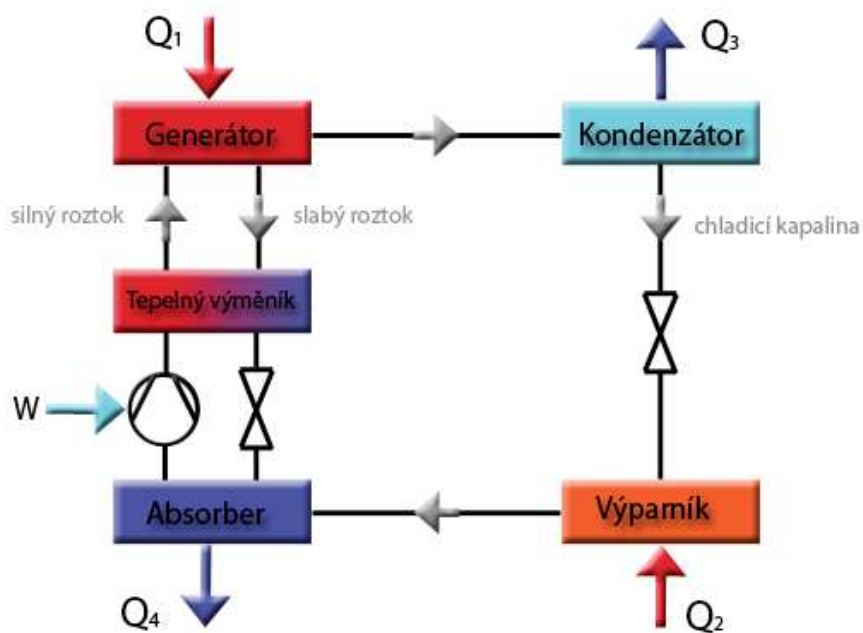
Pro aplikace pod 0°C je v cyklu čpavek/voda použit čpavek jako chladicí kapalina a voda jako apsorvent. U apsorpčních zařízení, která pracují pro aplikace nad 0°C (klimatizace), je jako apsorvent použit lithium-brom a jako chladicí kapalina je použita voda (viz obrázek 7.1, 7.2). Proces klimatizace probíhá ve dvou oddělených pláštích. Horní plášť je složen z generátoru a kondenzátoru a spodní z výparníku a absorberu.

Dodávané teplo do sekce generátoru je předáváno roztoku LiBr s H<sub>2</sub>O. Toto teplo způsobí vypaření chladicího média z roztoku (v tomto případě vody) destilačním procesem. Vodní pára z výstupu generátoru prochází sekci kondenzátoru, kde je použito chladicí médium za účelem kondenzace vody zpět na kapalinu. Voda poté pokračuje dolů do sekce výparníku, kde prochází přes potrubí, kterým protéká chladicí kapalina. Při dodržování velmi nízkého tlaku v plášti s výparníkem a absorberem se voda začne vypařovat při velmi nízké teplotě. Toto vypařování způsobuje, že voda odebírá teplo kapalině, která má být chlazená, a tím snižuje její teplotu. Vypařená voda pokračuje do sekce absorberu kde dochází k jejímu smíšení s roztokem LiBr s H<sub>2</sub>O, který obsahuje nízké procento vody. Tento silný roztok (silný na LiBr) má tendenci absorbovat páru ze sekce výparníku za účelem vytvoření slabšího roztoku (proto apsorpční

cyklus). Slabší roztok je dále pumpován do sekce generátoru a proces se opakuje. Do cyklu je dále zahrnut výměník tepla za účelem využití tepla ze silnějšího roztoku který se dostává z generátoru (klesá) do absorpčního aparátu pro předehřev slabšího roztoku proudícího do generátoru.



Obrázek 7.1 –Dvouplášťový apsorpční cyklus s lithi-  
 um-bromem [10]



Obrázek 7.2 – Blokové schéma apsorpčního cyklu [10]

## Energetický popis apsorpčního cyklu

Z blokového schématu apsorpčního cyklu (viz obrázek 7.2) je zřejmé, že dochází k odběru tepla ve výparníku z chladicího média (tepelný tok  $Q_2$ ). Dále dochází k vypařování chladicího média a jeho apsorpci, kde je vodní pára absorbována slabým roztokem LiBr s  $H_2O$ , při tomto procesu je z apsorberu odebíráno teplo (tok  $Q_4$ ). Nasycená kapalina (silný roztok) je transportována do generátoru pumpou. Při transportu dochází ke zvýšení tlaku a dále k přenosu tepla mezi slabým roztokem a silným roztokem. Tento přenos tepla je zajištěn zařazením tepelného výměníku do cyklu. Do generátoru je přiváděno teplo horkou vodou z kogenerační jednotky (tepelný tok  $Q_1$ ). Dochází k vypařování chladicího média a jeho uvolňování z roztoku při zvyšující se teplotě roztoku. Slabý roztok se vrací do apsorberu (po cestě předává teplo) skrz škrticí ventil. Uvolněné chladicí médium pokračuje dále do kondenzátoru, kde je chlazeno a mění své skupenství na kapalné za uvolňování tepla (tepelný tok  $Q_3$ ). Poté kapalné chladicí médium prochází přes další škrticí ventil a dostává se opět do výparníku.

## Účinnost apsorpčního cyklu

Pro výpočet účinnosti apsorpčního cyklu není započtena elektrická energie, která vstupuje do procesu, je to převážně z toho důvodu, že díky tomu, že je chladicí médium absorbováno a změna tlaku je dosažena pumpou, není potřeba, aby do procesu vstupovalo velké množství elektrické energie (kapalina je téměř nestlačitelná). U jednoduchých cyklů s plynným chladicím médiem je situace úplně jiná, protože je zde pro dosažení tlakového rozdílu využít kompresor a tudíž je potřeba vynaložit mnohem více práce (tím i elektrické energie) pro stlačení chladicího média (plynu). Právě nízká spotřeba elektrické energie apsorpčního cyklu je jeho hlavní předností. Účinnost apsorpčního cyklu (dále pouze COP – Coeficient of Performance) je stanovena na základě tepelných toků a to jako podíl tepla odebraného ve výparníku ku teplu dodaného generátoru jako:

$$COP = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (7.1)$$

Účinnost apsorpčního cyklu je přibližně konstantní při vhodných teplotních variacích. Teplota vody opouštějící kogenerační jednotku potřebná pro správnou funkci kogeneračního cyklu řízeného horkou vodou je  $95^\circ\text{C}$  [10]. Teoretická hodnota účinnosti je 0,82, reálná hodnota pro jednostupňové apsorpční cykly se pohybuje kolem 0,7 [10]. Na trhu existuje řada dvoustupňových apsorpčních jednotek s vysokou účinností, jejich problémem ale je, že teplota opouštějící kogenerační jednotku musí dosahovat minimálně  $177^\circ\text{C}$  ( $350^\circ\text{F}$ ) [10], proto je použití těchto jednotek značně omezeno.

Dalším důležitým faktorem je tzv. chladicí kapacita apsorpčního cyklu, která udává informaci o tom, kolik je možné dodat tepla systému (odebrat ze zóny nebo klimatizačních systémů), při známé účinnosti a přivedeném teple z kogenerační jednotky a je stanovena jako:

$$Q_2 = Q_1 * COP \quad (7.2)$$

### Pro návrh trigenerační jednotky je potřeba znát:

- denní a roční harmonogram spotřeby tepla, chladu a elektřiny
- druh požadovaného teponosného média
- dostupnost jednotlivých paliv

## 8. Případová studie

### Cíle případové studie :

1. Vyvinout databázi profilů konzumace energie budovy s ohledem na aktuální prostředí.
2. Navrhnout centrální systém klimatizace, který by zajišťoval dodržení norem.
3. Zhodnotit potenciál začlenění jednotlivých kogeneračních a trigeneračních technologií.

### Postup provedení případové studie :

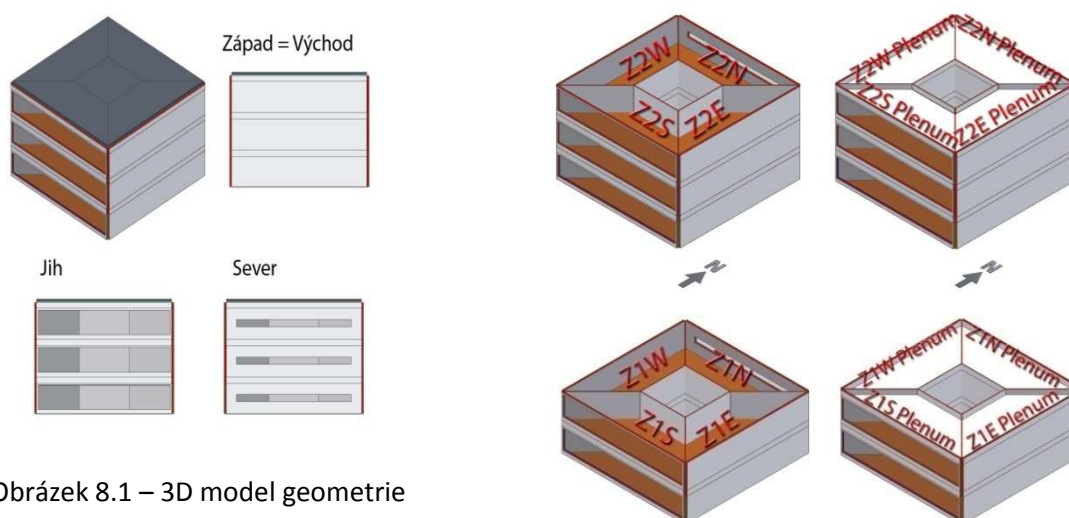
1. Úvod, popis geometrie budovy
2. Určení tepelných potřeb budovy
3. Konzumace elektrické energie budovy
4. Konzumace elektrické a tepelné energie ventilačního systému
5. Posouzení systémů dodávky elektrické energie, tepla a chladu

### 8.1. Úvod, budova a její geometrie

Jako případová studie je vybrána servisní budova, která se bude nalézat v Portugalsku v Lisabonu. Pro simulaci tepelných potřeb a klimatizačních systémů je použit program Energy Plus, který představuje seskupení různých programových modulů, které spolupracují s cílem vypočítat energii potřebnou pro ohřev nebo chlazení dané budovy při použití nepřeborného množství energetických zdrojů. Toto je dáno simulací budovy a energetických systémů s ní spojených při různých pracovních a klimatických podmínkách. Jádrem simulace je modelování budovy založené na základních principech přestupu tepla a hmoty. Potřebné výstupy simulace jsou uvedeny v [11] v kapitole "Input Output Reference".

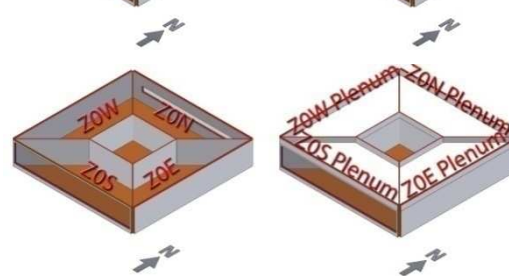
Vstupní soubor s klimatologickými daty pro simulaci obsahuje informace o globální iradiaci (energie vysílaná sluncem na zemský povrch), teplotě suchého vzduchu a měrné vlhkosti, všechny ostatní parametry se z těchto odvozují. Dále jsou používány korekční součinitelé pro jednotlivé oblasti země, protože je logické, že například ve vnitrozemí je mnohem tepleji a u pobřeží je teplota nižší, zato vlhkost vzduchu dosahuje vyšších hodnot.

Z výstupů programu Energy Plus byly v programu Excel zhodnoceny dva druhy centrálních systémů klimatizace a stanovena jejich spotřeba energie. Základní geometrii (viz obrázek 8.1) předala agentura pro energii. Celá budova byla rozdělena do několika zón (viz obrázek 8.2). Simulace je provedena pro celou budovu, ale výsledky jsou prezentovány pouze pro zóny ZOS až Z2W, což jsou zóny, ve kterých se budou nacházet kanceláře typu „Open space“, zóny plenum nejsou klimatizované stejně jako zóna v centru budovy.



Obrázek 8.1 – 3D model geometrie

Obrázek 8.2 – Zóny budovy ----->



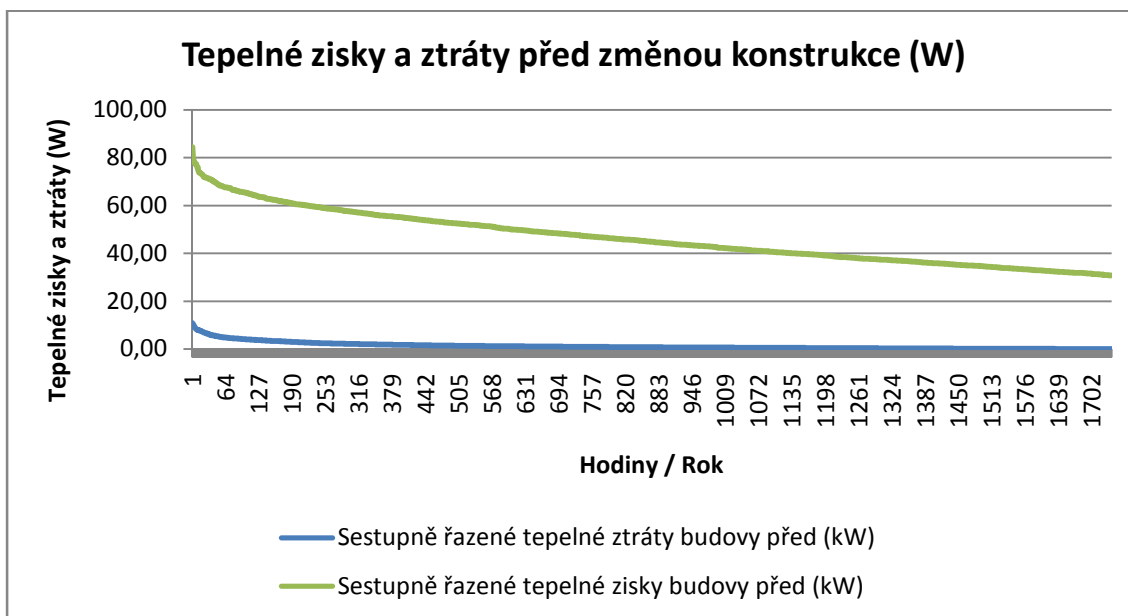
## 8.2. Tepelné potřeby budovy

Poznámka: Vyhodnocení tepelných potřeb budovy a jejich porovnání před a po změně konstrukce se nachází na příloženém CD v adresáři Excel/ Zisky ztráty, výsledky simulace programu Energy Plus jsou v adresáři Simulace.

Tepelné potřeby budovy jsou vyjádřeny tepelnými zisky a ztrátami, přičemž v budově existují kromě tepelných zisků skrze zdivo a slunečních paprsků, které projdou do místnosti, zisky díky použití elektrických zařízení, dále díky pohybu lidí v místnostech a také díky osvětlení. Tyto zisky se mění každý pracovní den a víkend. V programu Energy Plus jsou proto zadány rozvrhy pro každý z těchto zisků. Tepelné ztráty jsou v programu reprezentovány ztrátami zdivem.

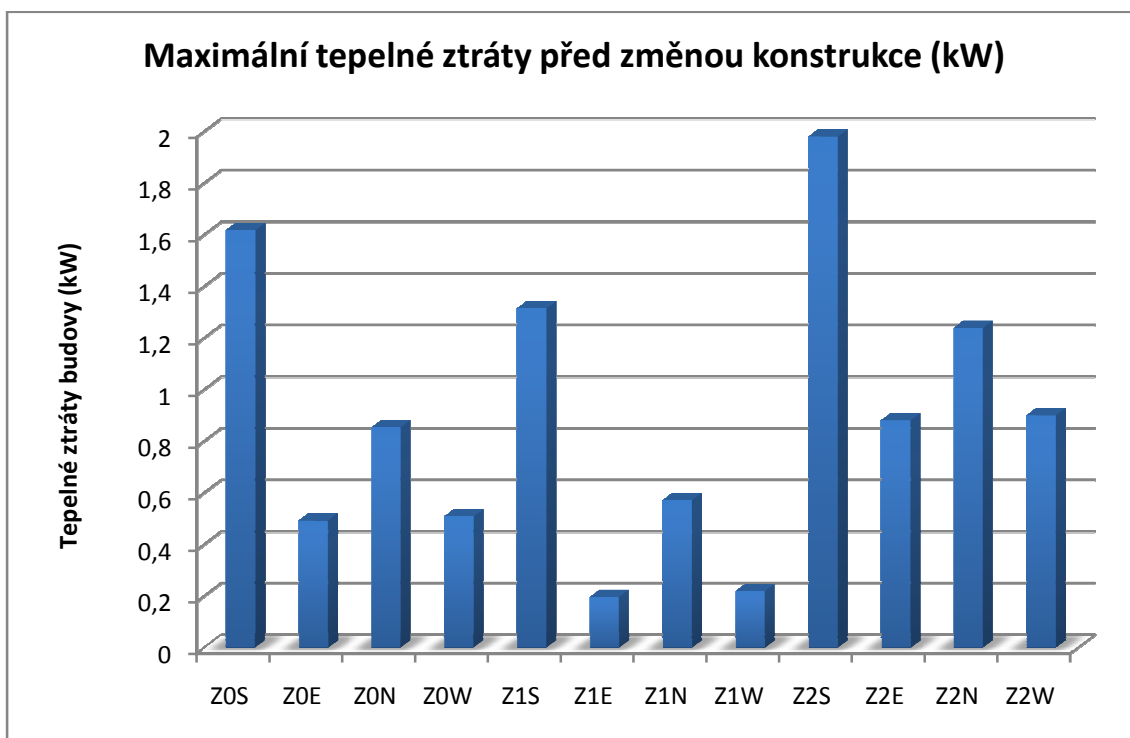
Tepelné potřeby budovy (zisky a ztráty) jsou určovány simulací v programu Energy Plus s tím, že jako výstupy simulace jsou použity 'Zone/Sys Sensible Heating Rate a Zone/Sys Sensible Cooling Rate'. Tyto výstupy reprezentují citelnou složku energie, kterou předává systém klimatizace místnosti. Je stanovena jako součin vstupního hmotnostního toku a rozdílu entalpií vstupního pracovního vzduchu a požadovaného stavu vzduchu v místnosti. Tyto výstupy nepočítají se změnou vlhkosti v zóně. Vlhkost v zóně je v tomto případě generována lidmi a její vliv na změnu výsledků je zanedbatelný. Ovšem pro opravdu přesné hodnoty by bylo nutno přičíst energii spojenou se změnou vlhkosti v zóně, v praxi se ale pouze zavádí do zóny vzduch o daných podmínkách a odvod vlhkosti je zajištěn dostatečným větráním.

Z výsledných tepelných potřeb (tepelných zisků a ztrát) (viz obrázek 8.3) je zřejmé, že tepelné zisky značně převažují nad tepelnými ztrátami. Toto je způsobeno klimatologickými podmínkami, protože se jedná o Portugalsko (pro porovnání základních klimatických parametrů a pro grafické zpracování tohoto porovnání viz příloha 1), dále zde hraje roli dobrá vnější izolace budovy, a fakt, že je v budově generováno teplo díky pohybu lidí v zóně, elektrickému zařízení a osvětlení. Z celoročních hodnot venkovní teploty a vlhkosti dodaných Portugalským meteorologickým ústavem plyne, že nejnižší teplota pro simulaci je 5°C a nejvyšší je 35°C. Budova je navržena tak, aby byly tepelné ztráty co nejmenší, například pro srovnání maximální tepelná ztráta rodinného domu v České republice je cca 10 kW a v tomto případě pod 11 kW. Na druhou stranu tato konstrukce vykazuje vysoké tepelné zisky.

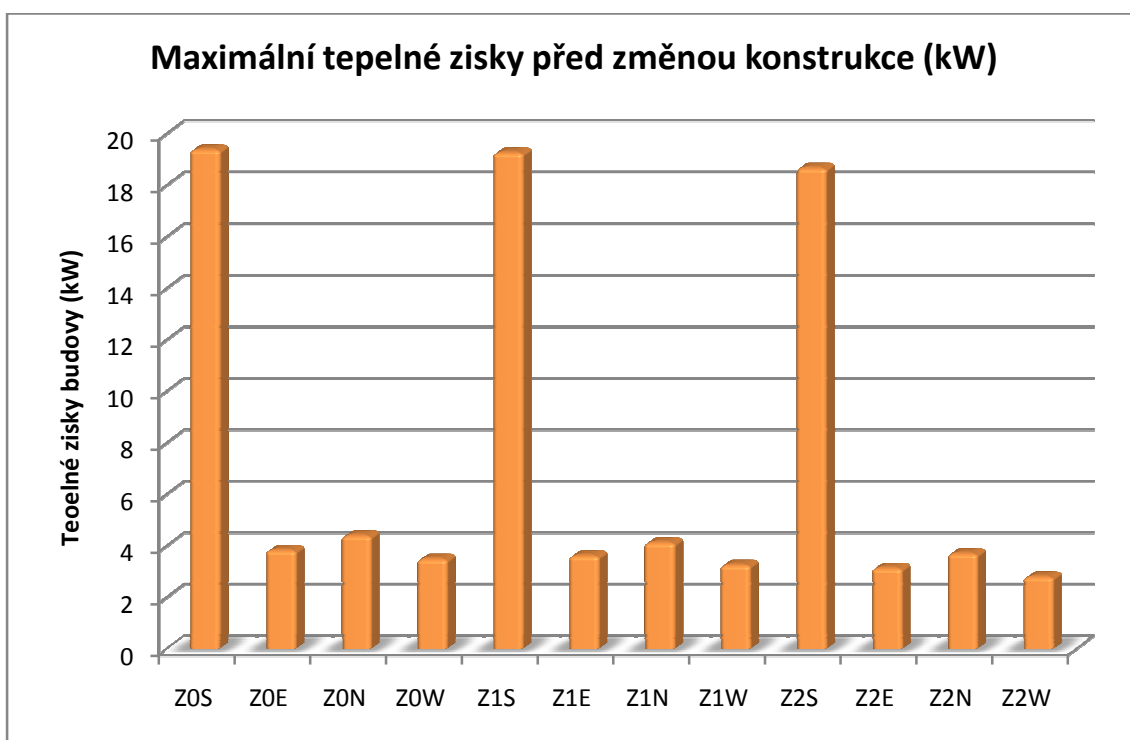


Obrázek 8.3 – Roční diagram tepelných zisků a ztrát

Nejvyšší tepelné zisky i ztráty vykazují zóny na jižní straně (Z0S, Z1S, Z2S) (viz obrázek 8.4, 8.5) a to převážně díky vysoké prosklené ploše jižní zdi. Pro optimální funkci klimatizačního systému je ale důležité, aby byly tepelné zisky a ztráty v budově rozloženy co nejstejněji, což pro danou geometrii budovy představuje problém, proto došlo ke změně geometrie budovy (viz obrázek 8.6).



Obrázek 8.4 – Maximální hodnoty tepelných ztrát budovy před změnou konstrukce

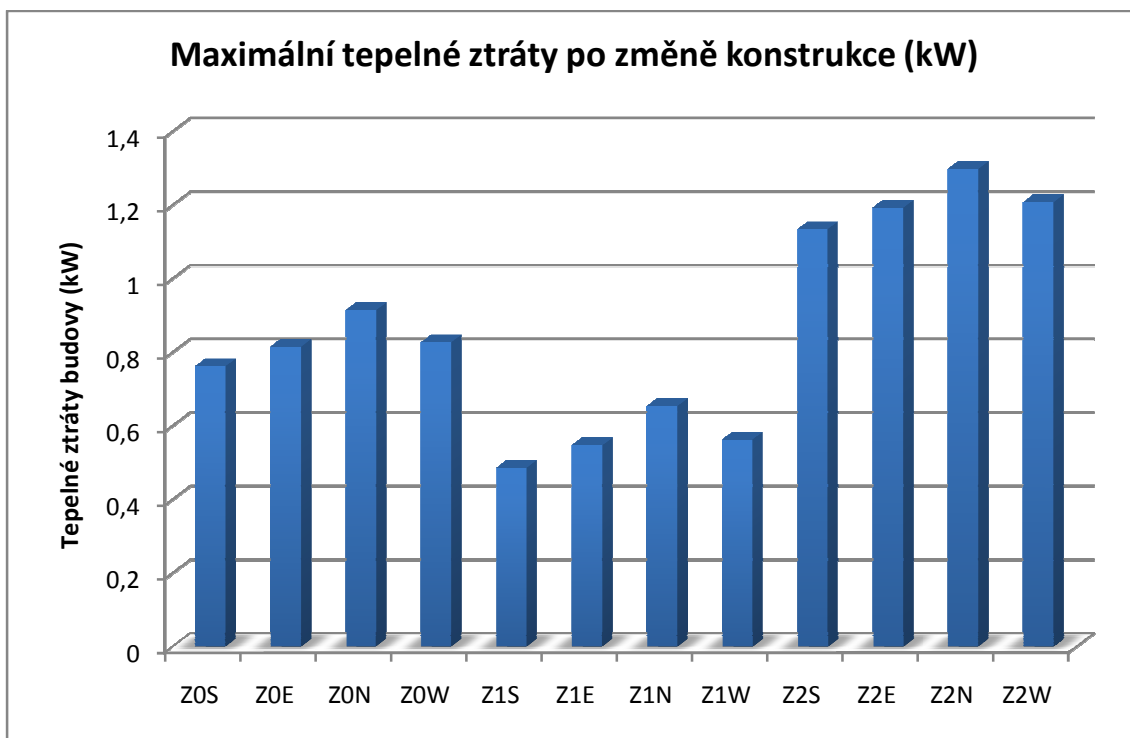


Obrázek 8.5 – Maximální hodnoty tepelných zisků budovy před změnou konstrukce

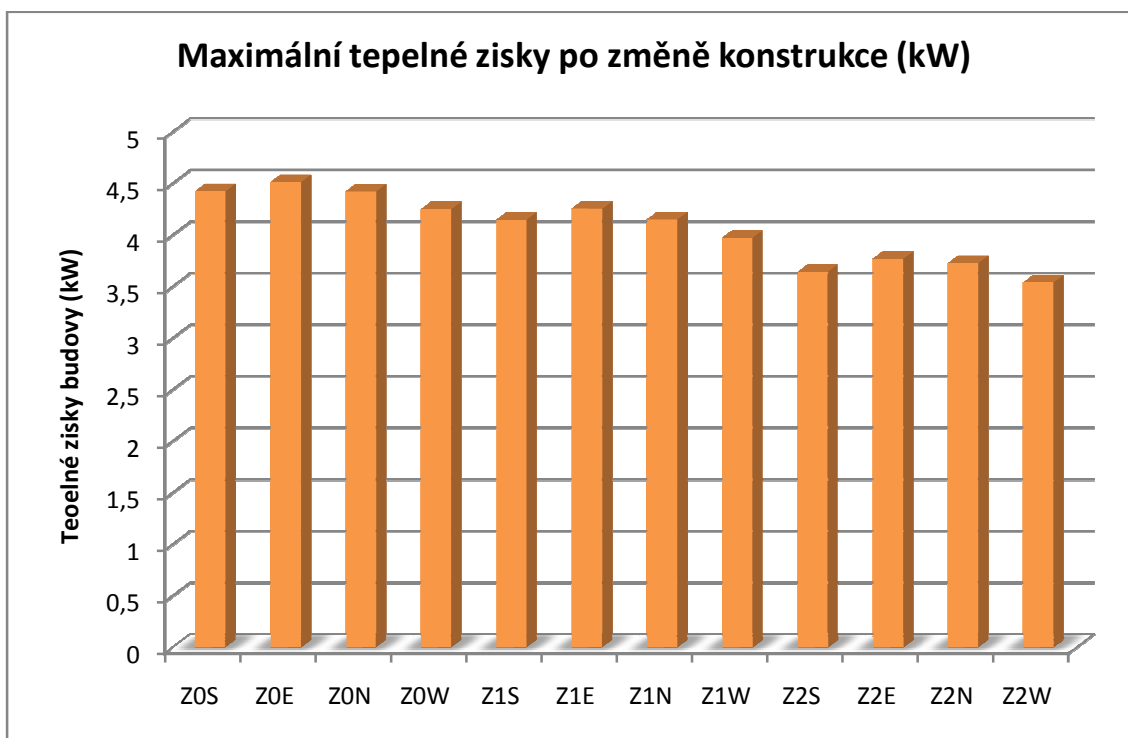


Obrázek 8.6 – Geometrie budovy po konstrukční změně

Změna geometrie spočívala ve změně prosklené plochy na všech stranách fasády budovy, skladba zdiva a ostatní parametry důležité pro simulaci zůstaly zachovány. Po zavedení změny konstrukce (viz obrázek 8.6) do programu Energy plus a opětné simulaci došlo k velice příznivým výsledkům. Došlo k snížení maximálních tepelných ztrát a jejich vyrovnaní v každém patře (viz obrázek 8.7), dále došlo k rapidnímu snížení tepelných zisků a k jejich vyrovnaní (viz obrázek 8.8). K největšímu snížení maximálních tepelných zisků a ztrát došlo na jižní straně budovy.

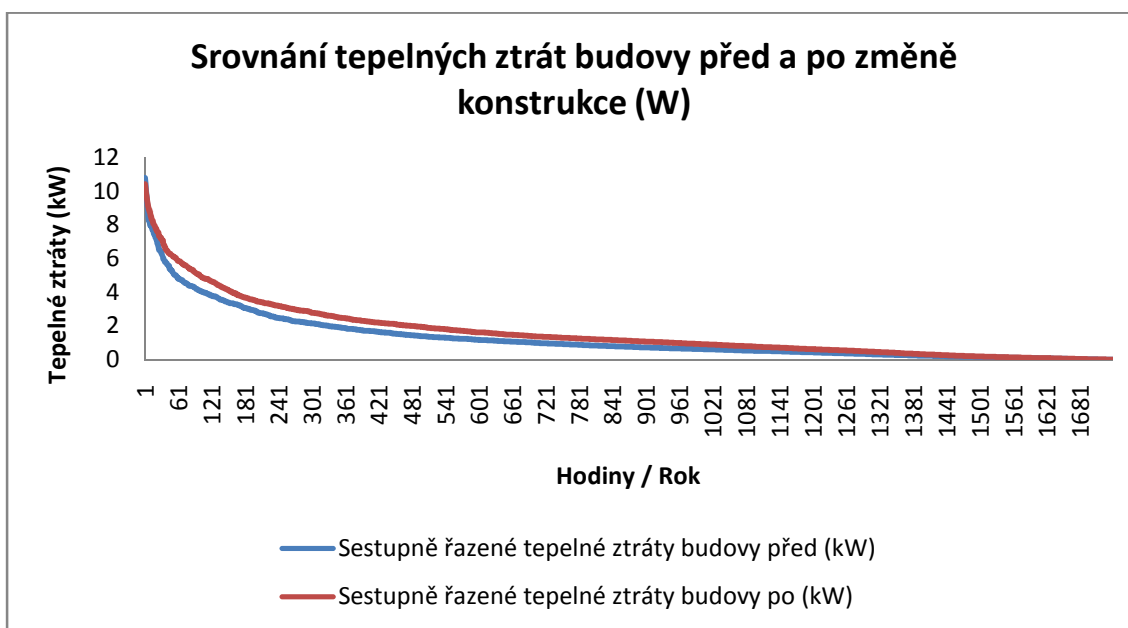


Obrázek 8.7 – Maximální hodnoty tepelných ztrát budovy po změně konstrukce



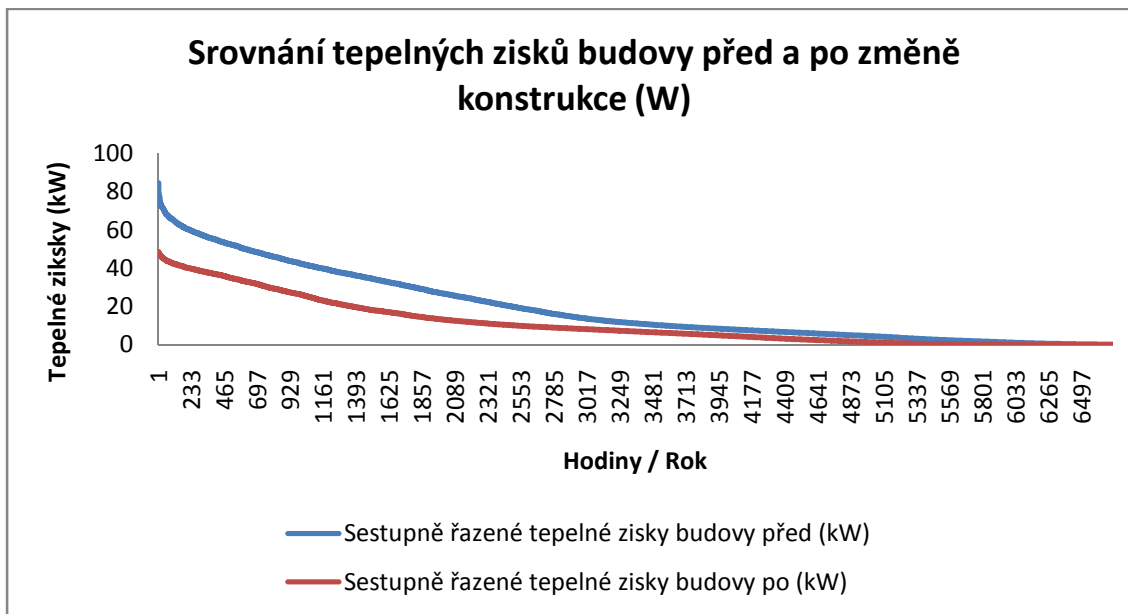
Obrázek 8.8 – Maximální hodnoty tepelných zisků budovy po změně konstrukce

Při porovnání celkových ročních tepelných ztrát (viz **obrázek 8.9**) je zřejmé, že změnou konstrukce dojde k jejich mírnému zvýšení (po integraci průběhů je rozdíl 29%). Ke zvýšení dojde tím, že díky zvýšení prosklené plochy se sníží plocha fasády a tím se zvýší přestup tepla z budovy do okolí. Toto zvýšení není ale tak markantní.



8.9 – Srovnání ročních diagramů tepelných ztrát před a po změně konstrukce

Z porovnání celkových ročních tepelných zisků (viz obrázek 8.10) je zřejmé, že dojde k jejich rapidnímu poklesu (po integraci průběhů je rozdíl 42%). Toto je způsobeno převážně snížením povrchu prosklené plochy jižní strany, tím i snížení energie, která se do budovy dostává díky slunečnímu záření na jižních stranách. Dalším faktorem, který přispívá k vyrovnání tepelných zisků je fakt, že se zvýšily tepelné ztráty v každé místnosti budovy (kromě jižní strany) a tím došlo k homogennějšímu rozložení tepla v budově.



8.10 – Srovnání ročních diagramů tepelných zisků před a po změně konstrukce

Konstrukční úprava tedy nejen zjednodušuje začlenění klimatizačního a ventilačního systému do budovy, ale také představuje snížení tepelných potřeb a tím zvýšení energetické účinnosti budovy. Přitom nedojde k vysokému zvýšení rozpočtu stavby, proto se tato úprava vyplatí a klimatizační a ventilační systém je navržen s ohledem na tepelné chování budovy po konstrukční změně.

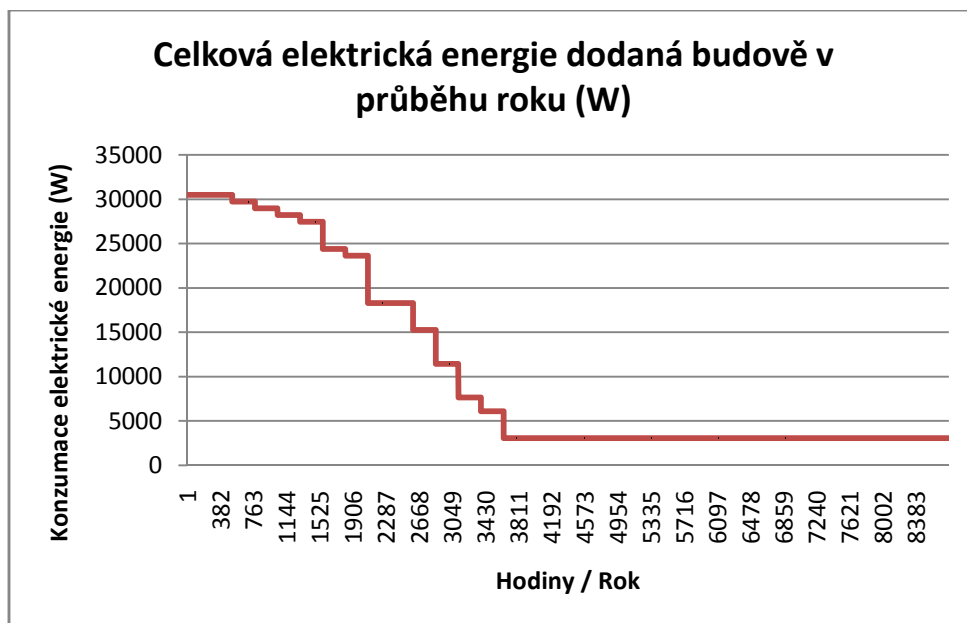
### 8.3. Diagram roční konzumace elektrické energie

Poznámka: Vyhodnocení roční konzumace elektrické energie budovy (svícení + spotřebiče) v programu Excel se nachází na přiloženém CD v adresáři Excel/Elektro.

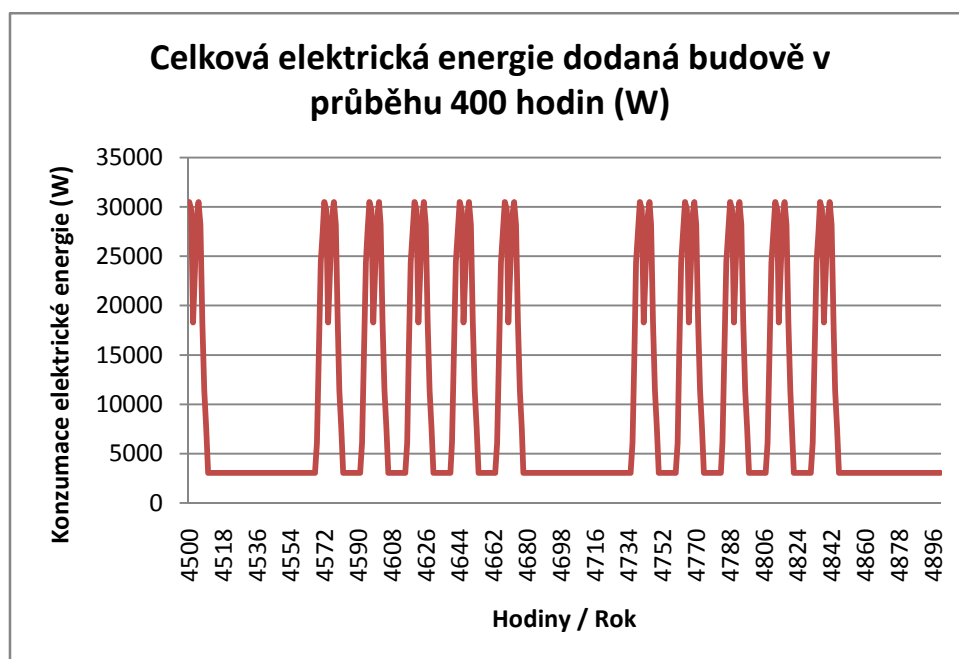
Konzumace elektrické energie je dána normami [5,6]. Pro konstrukci křivky roční konzumace elektrické energie je potřeba si pevně stanovit, jaké zdroje energie jsou v každé zóně. Z norem [5,6] plyne, že pro servisní budovu je potřeba uvažovat dva zdroje a to sice osvětlení a elektrická zařízení, jejichž konzumace je dána na m<sup>2</sup> obytné plochy. Křivka konzumace je zhotovená z výstupu programu Energy Plus, je totiž logické, že se v budově nesvítí stejně 24 hodin denně a také konzumace elektřiny elektrickými spotřebiči se mění, proto existuje denní časový plán pro pracovní dny a víkend, který popisuje tyto změny, a je potřeba jej zadat do

programu. Z charakteristiky roční konzumace elektrické energie (viz obrázek 8.11) vyplývá, že nejnižší konzumace je něco přes 3 kW a nejvyšší málo přes 30 kW, tedy desetkrát více.

Z obrázku 8.11A je názorně zobrazeno, že se konzumace elektrické energie v budově periodicky opakuje a je stejná pro každý den v pracovním týdnu a liší se pouze ve dnech víkendu. Na rozdíl od ročních průběhů tepelných ztrát a zisků nezávisí tedy na klimatických podmínkách, ale periodicky se opakuje s tím, že v noci a o víkendu je konzumace elektrické energie nejnižší.



8.11 – Elektrická energie dodávaná v průběhu roku



Obrázek 8.11A - Průběh konzumace elektrické energie budovy pro 400 hodin roku.

## 8.4. Konzumace elektrické a tepelné energie ventilačního systému

Poznámka: Zhodnocení ventilačního systému je na příloženém CD v adresáři Excel/Ventilace.

V portugalských normách [4,5] je uvedeno, že centrální klimatizační systémy musí mimo dodávky tepla a chladu zajišťovat i hygienické podmínky v klimatizovaných místnostech. Tyto podmínky jsou:

- 1) musí být vždy dodržena relativní vlhkosti v rozsahu 40% až 60%
- 2) musí docházet k výměně vzduchu odpovídající minimálně 0,6 změn objemu místnosti za hodinu a maximálně 6 změn (odpovídá mírnému stupni ventilace)
- 3) musí být přivedeno nejméně 35 m<sup>3</sup> nového vzduchu za hodinu na osobu

Pro to, aby bylo vyhověno první podmínce, je potřeba upravit venkovní vzduch tak, aby tato podmínka byla splněna a poté jej rozvést do jednotlivých místností. Pro splnění podmínky 2) a 3) je potřeba dosáhnout určitého hmotnostního toku na vstupu. Proto je do každé zóny zaváděn vzduch o vlhkosti 50% s objemovým tokem 1m<sup>3</sup>/s, protože dodává upravený vzduch pro všechny klimatizované místnosti najednou a o stejném objemovém toku je tento tok 12 m<sup>3</sup>/s. Ventilační jednotka se skládá ze šesti modulů, tak jak je uvedeno v tabulce 8.1. Pro podrobnější popis jednotek viz kapitola 2.

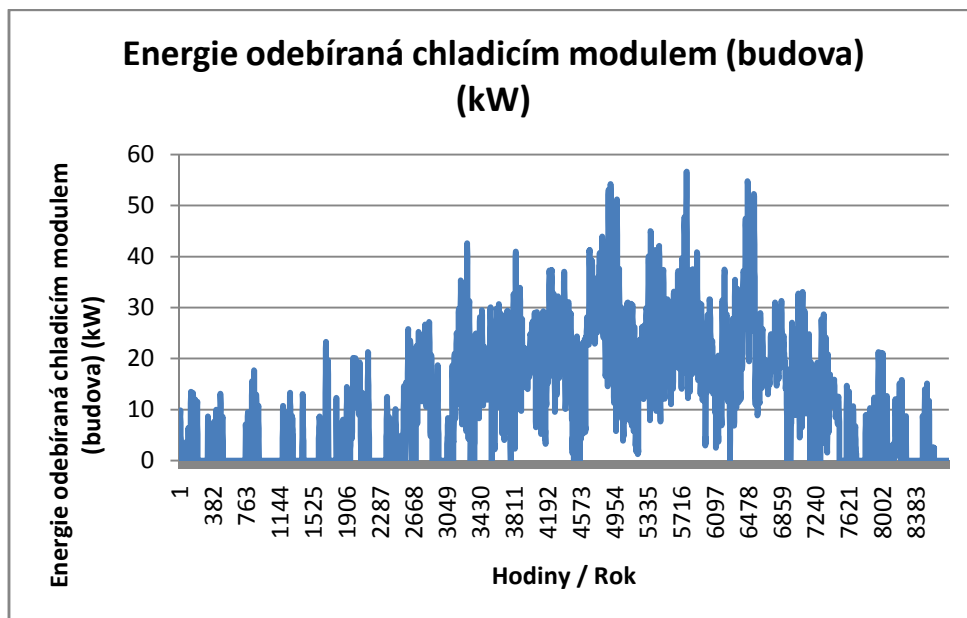
Tabulka 8.1 Moduly ventilační jednotky

Počet	Výrobce	Typ
2	Lennox	Ventilátorová komora
2	Lennox	Filtrační komora
1	Lennox	Vodní chladič
1	Lennox	Rekuperační výměník tepla
1	Lennox	Vodní ohřívač
1	Lennox	Vodní vlhčení - sprchová pračka

Ventilační jednotka nasává okolní vzduch a upravuje jej na danou vlhkost (50%) a na danou teplotu (23°C). Tato úprava probíhá buď odvlhčením, nebo zvlhčením, nebo pouze ohřevem či ochlazením. To jaká jednotka bude aktivní, záleží na vlastnostech venkovního vzduchu. U diagramů uvedených níže se počítá čistě s energiemi, které jsou zapotřebí upravit vzduch na dané podmínky, nejsou zde započteny účinnosti výměníků tepla ohřívací a chladič jednotky ani není energie potřebná pro odvlhčení převedena na elektrickou energii výparníku.

### Roční diagram energie potřebné odebrat chladicím modulem

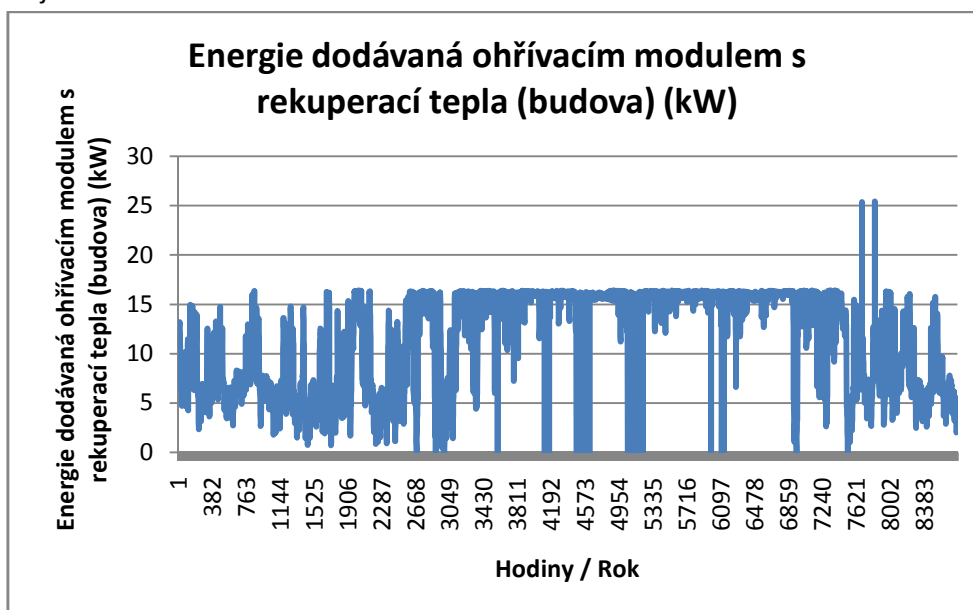
Chladicí modul musí následovat před ohřívacím modulem a to protože je třeba v některých hodinách roku odvlhčovat. Obrázek 8.12 znázorňuje energii potřebnou odebrat vzduchu v průběhu roku chladicím modulem klimatizační jednotky.



Obrázek 8.12 - Roční průběh energie odebrané chladicím modulem ventilační jednotky

### Roční diagram energie potřebné dodat ohřívacím modulem s rekuperací tepla

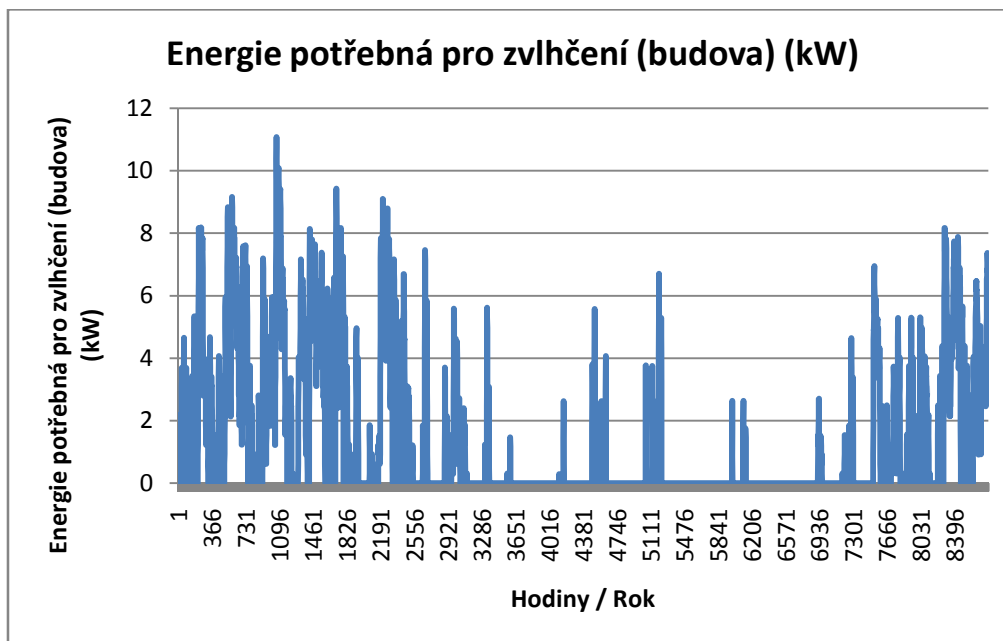
Obrázek 8.13 znázorňuje energii, kterou je potřeba dodávat ohřívacím modulem přes něj procházejícímu vzduchu.



Obrázek 8.13 - Roční průběh energie dodávané ohřívacím modulem ventilační jednotky

### Roční diagram energie potřebné pro zvlhčení ve zvlhčovacím modulu

Obrázek 8.14 zobrazuje, jak se mění energie, která je potřebná pro zvlhčení ve zvlhčovacím modulu v průběhu roku.



Obrázek 8.14 - Roční průběh energie dodávané zvlhčujícím modulu ventilační jednotky

### Maximální hodnoty energií modulů ventilační jednotky

Tabulka 8.2 obsahuje maximální hodnoty energií potřebných odebrat a dodat vzduchu a také energii potřebné dodat zvlhčovači. Jak z průběhů 8.12 až 8.14 tak i z tabulky 8.2 je zřejmé, že je úprava vzduchu ve ventilační jednotce velmi energeticky náročná.

Tabulka 8.2 Maxima energií ventilační jednotky

Maximální energie dodávaná ohřívacím modulem (budova) (kW)	Maximální energie odebíraná chladicím modulem (budova) (kW)	Maximální energie potřebná pro zvlhčení (budova) (kW)
23,86772026	58,08670143	10,12809031

## 8.5. Posouzení systémů dodávky elektrické energie, tepla a chladu

Poznámka: Zhodnocení systémů včetně všech potřebných informací se nachází na příloženém CD v adresáři Excel/ Vyhodnocení systémů. Jsou zde také pokyny.

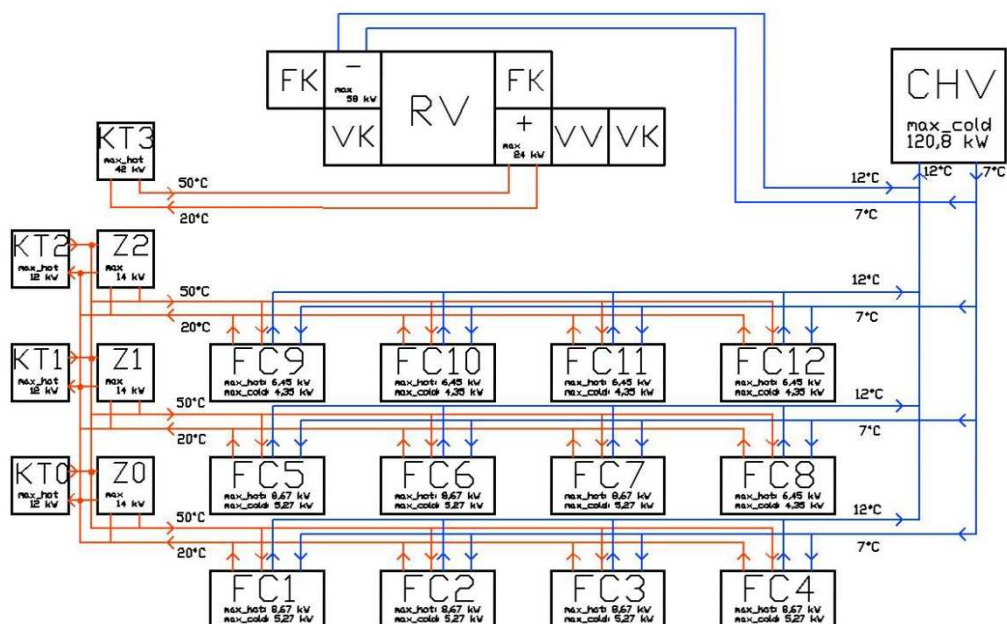
### 8.5.1 Kotel + Klimatizační jednotka

Obrázek 8.15 zobrazuje základní schéma systému pro dodávku tepla a chladu budově a ventilační jednotce.

Teplo je vyráběno ohřevem vody v kotlích (KT0 až KT3) s tím, že je v každém patře budovy nainstalován kotel se zásobníkem horké vody. Zásobník slouží pro místní odběr užitkové vody (Z0 až Z2). Teplá voda (50°C) je vedena do koncových jednotek (FC0 až FC12 – Fan Coil), ve kterých prochází výměníky tepla. Takto přivedené teplo je předáno každé místnosti výměníkem tepla s ventilátorem. Tepelné potřeby ohřívací jednotky ventilace hradí kotel KT3. Na schématu jsou zobrazeny i větve bypassu, které představují náhradní cesty pro horkou vodu z kotlů (nevedou přes zásobníky).

Chlad je vyráběn v chladičí věži (CHV) a je distribuován ve formě studené vody (7°C) do každé místnosti. Studená voda prochází Fan coil (ventilokonvektory). Teplo z každé místnosti je předáváno ve výměníku tepla studené vodě.

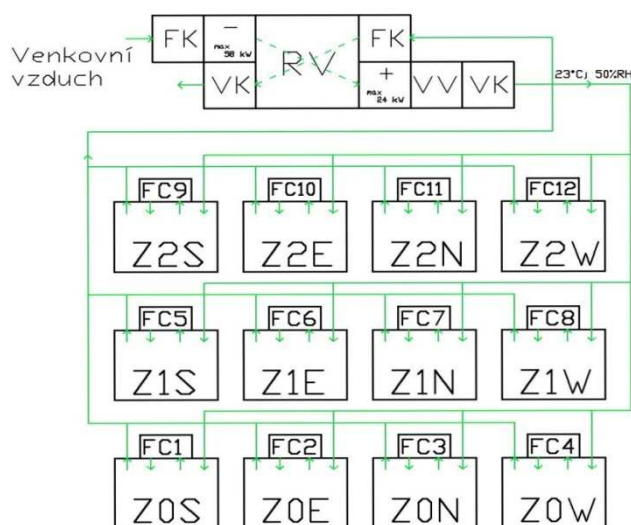
Regulační a ovládací členy jako jsou ventily a kompresory a čerpadla nejsou na schématu zakreslena, ale v reálném systému nesmí chybět, jejich spotřeba není v porovnání systémů uvažována (pro její určení by bylo zapotřebí více informací).



Obrázek 8.15 – Schéma standardního systému (pro teplou a studenou vodu)

Rozvod vzduchu v budově je zobrazen na obrázku 8.16. Hygienické podmínky zajišťuje přívod vzduchu. Venkovní vzduch o hmotnostním toku 720 m<sup>3</sup>/h je nasáván do ventilační jednotky a upravován na teplotu 23°C a relativní vlhkosti 50%.

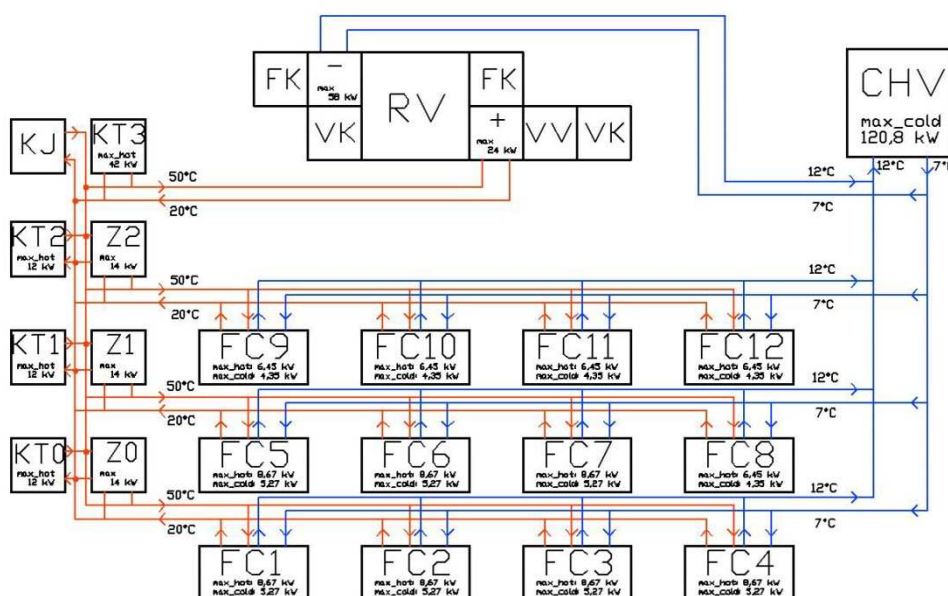
Na schématu chybí ventilátor pro rozvod vzduchu, tento stejně jako například členy pro tlumení hluku a řídicí jednotky nejsou ve zhodnocení systémů zahrnuty.



Obrázek 8.16 – Schéma rozvodu vzduchu v budově

## 8.5.2 Kogenerace

Na schématu pod textem (viz obrázek 8.17) je zobrazen standartní systém s připojenou kogenerační jednotkou. Kogenerační jednotka (KJ) je připojena za jednotlivé kotle před zásobníky tepla. Systém se jinak nemění. Rozvod vzduchu do klimatizovaných místností zůstává beze změny (viz. obrázek 8.16).



Obrázek 8.17 – Schéma systému při použití kogenerační jednotky (pro teplou a studenou vodu)

**Kogenerační jednotky jsou testovány ve dvou režimech :**

1. Kogenerační jednotka dodává elektrickou energii ve svém regulačním rozsahu podle potřeb systému.
2. Kogenerační jednotka dodává teplo ve svém regulačním rozsahu podle potřeb systému.

### Režim pokrytí elektrické energie

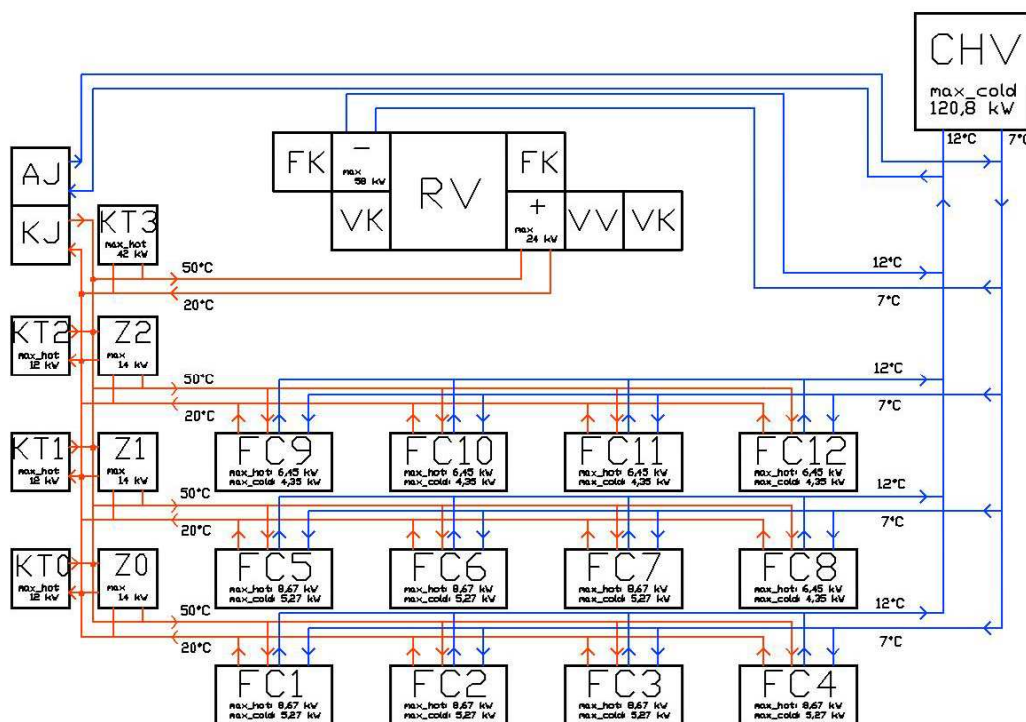
Při tomto režimu kogenerační jednotka funguje podle obrázku 6.3, přičemž minimální hodnota elektrické energie, kterou je schopna dodat do systému, je omezena regulačním rozsahem. U zkoumaných jednotek je regulační rozsah 1/5, to znamená, že minimálně může jednotka dodávat 20% svého maximálního výkonu. V tomto režimu kogenerační jednotka hradí část celkového odběru elektrické energie celého systému. Zisky za prodanou elektřinu jsou v tomto případě nulové. V tomto případě systém nevytváří přebytek elektrické energie.

**Režim pokrytí tepelných potřeb systému (pouze tepla)**

V tomto případě kryje jednotka část tepla, které je potřeba dodat systému (potřeby budovy + ventilační jednotky). Opět je omezujícím faktorem regulační rozsah (viz obrázek 6.2). Přebytková elektrická energie je prodávána do sítě.

**8.5.3 Trigenerace**

Na obrázku 8.18 je znázorněno schéma odpovídající trigeneraci. Je vidět, že kromě kogenerační jednotky je zde zařazena apsorpční jednotka pro výrobu chladu (AJ). Rozvod vzduchu opět zůstává beze změny (viz. obrázek 8.16).



Obrázek 8.18 – Schéma systému při použití kogenerační jednotky a apsorpční jednotky (trigenerace) (pro teplou a studenou vodu)

**Trigenerační jednotky jsou testovány ve dvou režimech :**

1. Trigenerační jednotka dodává elektrickou energii ve svém regulačním rozsahu podle potřeb systému.
2. Trigenerační jednotka dodává teplo a chlad ve svém regulačním rozsahu podle potřeb systému.

**Režim pokrytí elektrické energie**

V tomto režimu systém pokrývá část elektrické energie (dáno regulačním rozsahem) bez potřeb chladicí věže. Oproti kogenerační jednotce ale vyrábí teplo nebo chlad, záleží na tom, jestli v daný okamžik je potřeba dodávat více tepla nebo chladu. V tomto případě neexistuje přebytek elektrické energie.

**Režim pokrytí tepelných potřeb systému (tepla nebo chladu)**

Pro tento případ je směřodátné právě kolik chladu, nebo tepla je potřeba systému dodávat, jednotka potom vyrábí teplo popřípadě chlad a dodává jej systému. Elektřina je použita pro místní spotřebu a přebytek je prodáván.

***Ekonomické zhodnocení systémů***

**Pro ekonomické zhodnocení hrají roli zejména tyto náklady:**

- pořizovací náklady jednotek systémů
- náklady na provoz a údržbu systémů
- náklady za zkonsumovaný plyn a elektřinu
- zisky z prodané elektřiny

Co se týče pořizovacích nákladů (viz. tabulka 8.3), pořizovací náklady byly stanoveny na základě přímého kontaktu firem Lennox a Daikine a také na základě informací dostupných z internetu (ceník firmy Junkers).

Z nákladů na provoz systému a jeho údržbu (viz. tabulka 8.3) byly brány v potaz náklady na údržbu ventilační jednotky a to na náklady na roční údržbu filtru a na výměnu řemene v jejich modulech.

Náklady za zkonsumovanou elektřinu a plyn jsou stanoveny v souladu s roční konzumací elektřiny a plynu při nepřetržitém provozu systému a informacemi uvedenými v příloze 2.

Tabulka 8.3 Pořizovací náklady a roční náklady na údržbu systému

Pořizovací náklady a roční náklady na údržbu	
Položka	Standardní systém
Pořizovací cena kotků pro vytápění budovy (kč)	66000
Pořizovací cena zásobníků pro vytápění budovy (kč)	57000
Pořizovací cena kotle pro ventilační jednotku (kč)	64000
Pořizovací cena ventilační jednotky (kč)	300000
Náklady na údržbu ventilační jednotky (kč)	330

Pro porovnání kogeneračního a trigeneračního systému se standardním byly vybrány tři jednotky od českého výrobce Tedom (pístové motory) a jedna jednotka od celosvětového výrobce Capstone Microturbines (mikroturbíny). Pro jejich základní parametry a pořizovací ceny viz tabulka 8.4. V případě trigenerace musíme počítat dále s pořizovací cenou absorpční jednotky (viz tabulka 8.5).

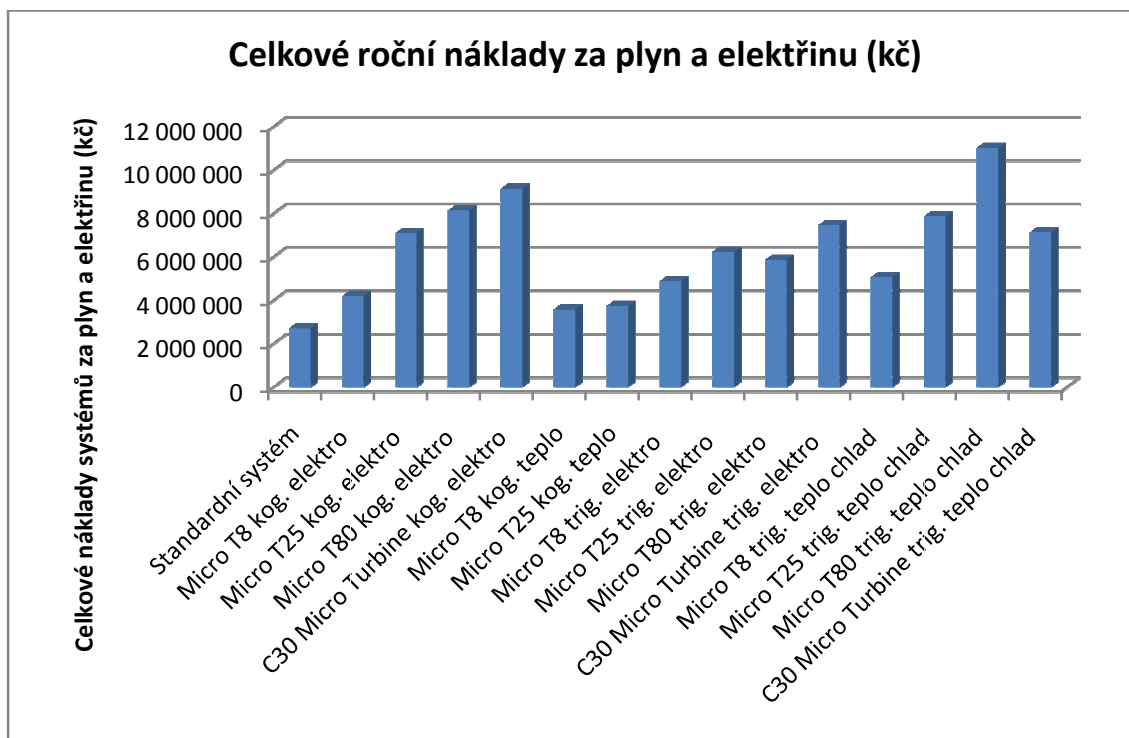
Tabulka 8.4 Základní parametry kogeneračních jednotek

Výrobce	Typ	Kogenerační systémy				Emise/Elektřinu (mg NO <sub>x</sub> /kWh)	Odhad pořizovací ceny jednotky (kč)	Náklady na provoz a údržbu (kč/kWh)
		Elektrický výkon (kW)	Tepelný výkon (kW)	Spotřeba plynu (m <sup>3</sup> /h)				
Tedom	Micro T8	8	19	3,15	Výrobce neuvádí	30 000	0,1	
Tedom	Micro T25	25	47	8,4	Výrobce neuvádí	600 000	0,1	
Tedom	Micro T80	81	121	25,2	Výrobce neuvádí	2 000 000	0,1	
Capstone microturbines	C30 Micro Turbine	30	107,5	12,2	0,25	483 000	0,1	

Tabulka 8.5 Základní parametry absorpční jednotky

Absorpční jednotka pro výrobu chladu			
Výrobce	Typ	Účinnost	Odhad ceny (kč)
York Internacional	WFC 10	0,7	50000

Nejdůležitější roli ale představují celkové náklady za plyn a elektřinu. U kogeneračních a trigeneračních systémů jsou celkové náklady sniženy o zisky z prodané elektřiny. Z porovnání (viz obrázek 8.19) je zřejmé, že nejnižší náklady představuje standardní systém. Ekonomicky nejvýhodnější je tedy dodávat teplo do místností pomocí kotlů a vyrábět chlad v chladicí věži.



Obrázek 8.19 – Celkové roční náklady za plyn a elektřinu systémů v daných režimech

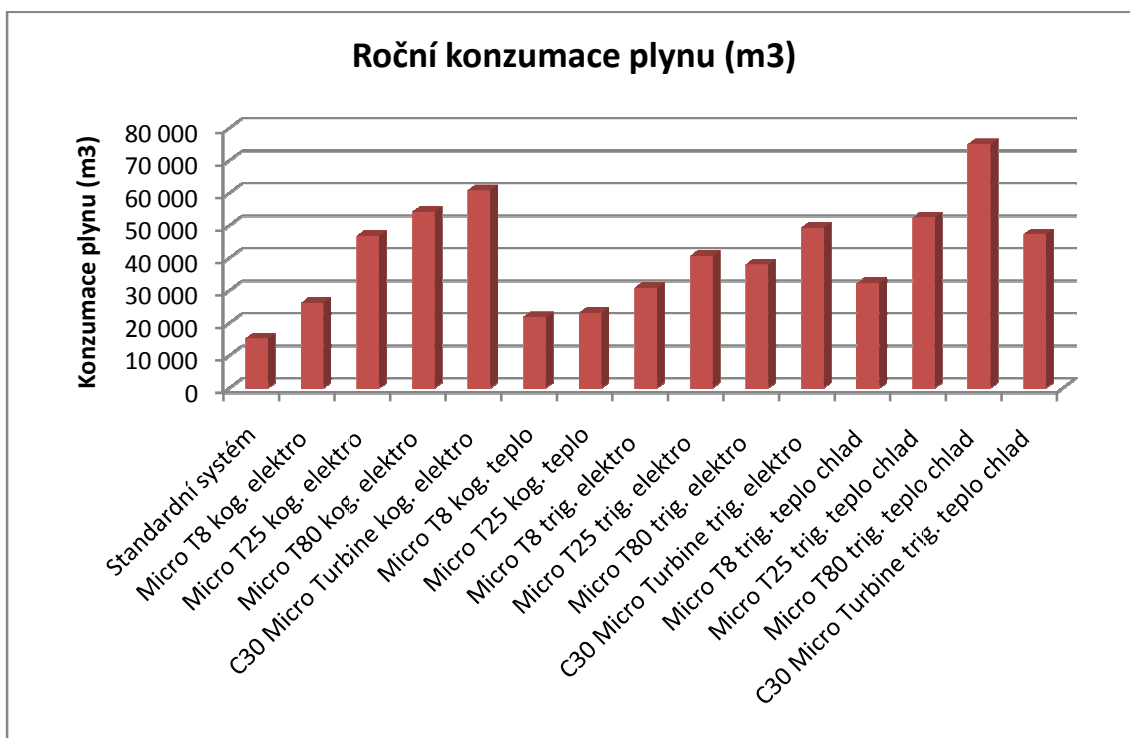
### *Energetické zhodnocení systémů*

**Pro energetické zhodnocení jsou směrodatné tyto faktory:**

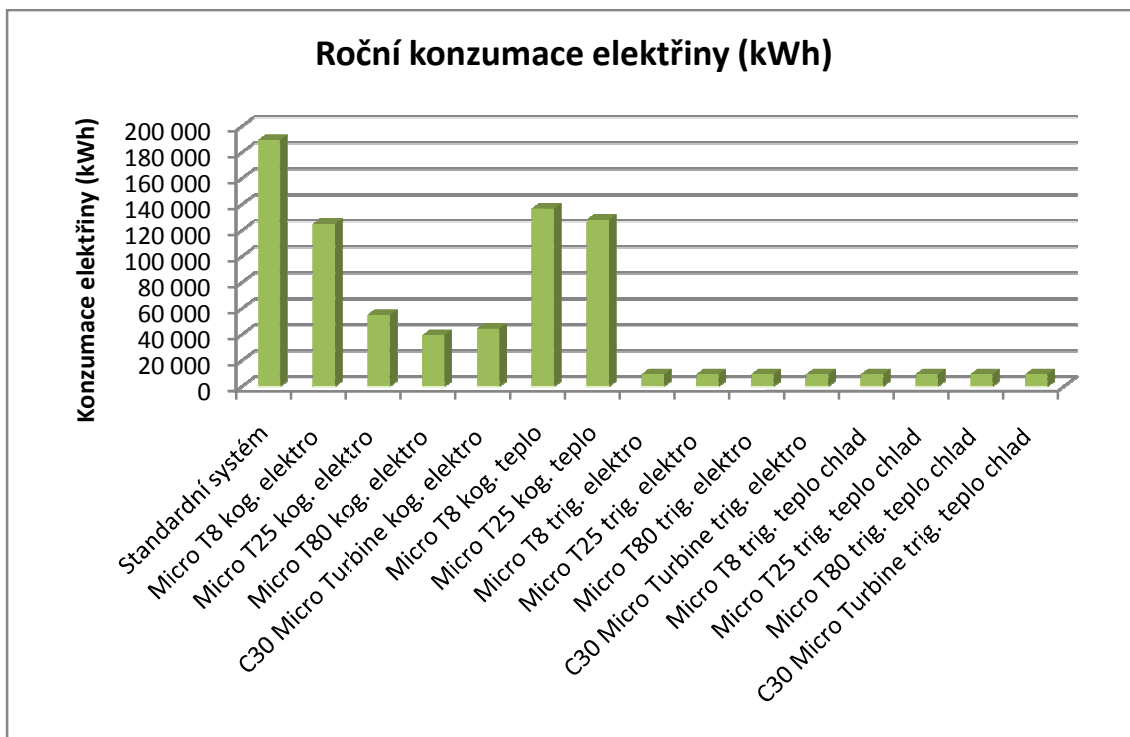
- roční konzumace plynu
- roční spotřeba elektrické energie

Roční konzumace plynu je dána nejen tepelnými potřebami systému (budova + ventilační jednotka), ale také i konzumací plynu kogeneračních jednotek při kogeneraci a trigeneraci. Z porovnání (viz obrázek 8.20) je zřejmé, že nejnižší spotřebu vykazuje standardní řešení systému.

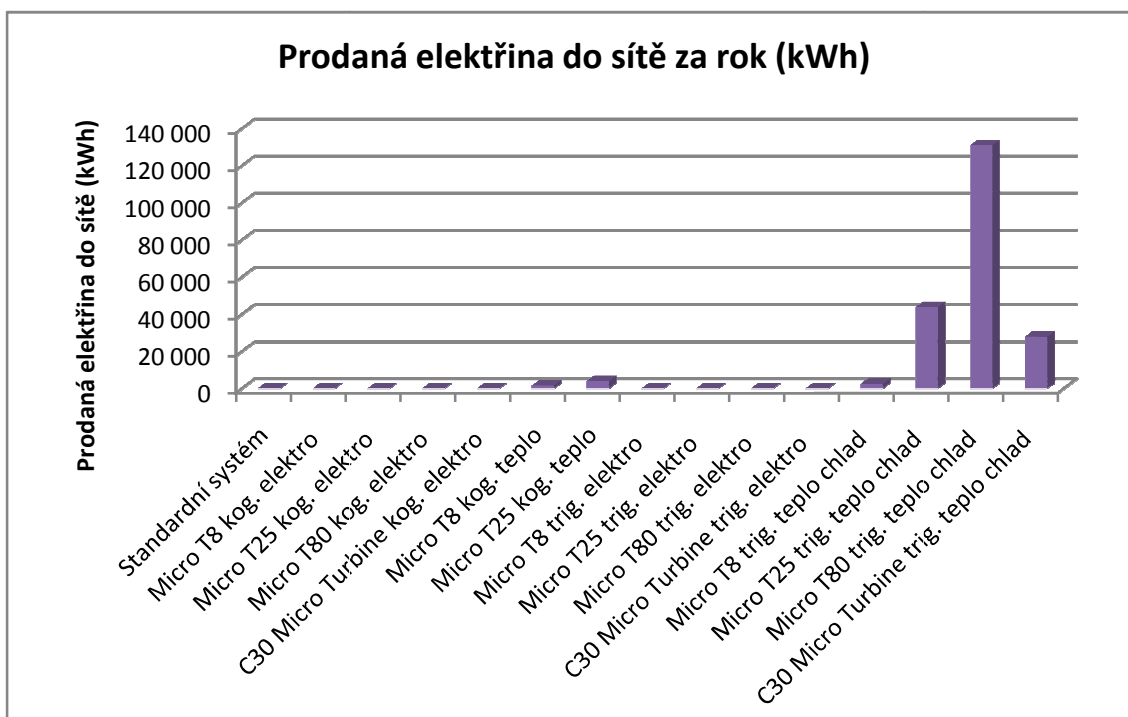
Roční spotřeba elektrické energie (viz. obrázek 8.21) je dána jednak spotřebou elektrické energie potřebné pro svícení v budově, dále elektrickou energií potřebnou pro provoz zařízení v budově, dále elektrickou energií spotřebovanou ventilátory ventilokonvektorů a elektrickou energií potřebnou pro výrobu chladu chladicí věží. V případě kogenerace a trigenerace je nutno odečíst elektrickou energii vyráběnou kogeneračními jednotkami (viz obrázek 8.22). V případě kogenerace hradí systémy značnou část celkové spotřeby elektrické energie a přebytečná elektřina je prodávána do sítě. V případě trigenerace kogenerační jednotky hradí pouze elektřinu potřebnou pro svícení, běh elektrických zařízení v budově a zvlhčení vzduchu. Toto je z toho důvodu, že pokud je kogenerační jednotka aktivní a dochází k výrobě chladu, je tím ovlivněna spotřeba elektrické energie chladicí věže a proto se elektřina pro běh této jednotky plně dokupuje ze sítě.



Obrázek 8.20 – Roční konzumace plynu systémů v daných režimech



Obrázek 8.21 – Roční konzumace elektřiny systémů v daných režimech



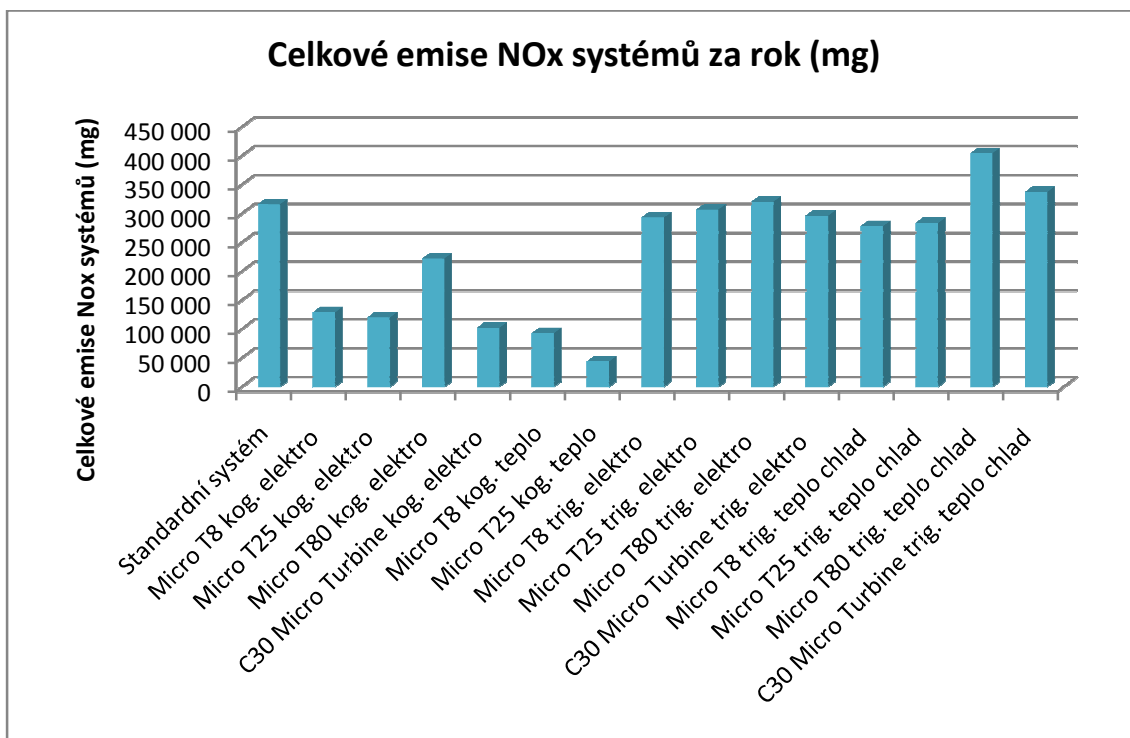
Obrázek 8.22 – Prodaná elektřina do sítě pro jednotlivé režimy systémů

### Ekologické zhodnocení systémů

Ekologické zhodnocení je stanoveno na základě emisí NO<sub>x</sub> vypuštěných do atmosféry za 1 rok (viz. tabulka 8.6). Emise dalších plynů skleníkového efektu se z důvodu nedostatku informací nehodnotí. Výrobce udává většinou emise NO<sub>x</sub> při jmenovitém výkonu vztahované na dodanou tepelnou energii, tato hodnota ale závisí na bohatosti směsi (přítomnosti kyslíku) při spalování. Pro srovnání emisí se vycházelo z hodnot uvedených v grafu 5.1, protože chyběly informace o kogeneračních jednotkách s pístovými motory Tedom a výrobce mikroturbín Capstone uvádí emise při devítiprocentním přebytku kyslíku. Pro srovnání je potřeba uvažovat stejný přebytek kyslíku ve spalované směsi.

Kromě emisí je v systému zařazena chladicí věž s chladicím médiem R470C, které má neblahý dopad na ozonovou vrstvu, protože se toto chladivo vyznačuje vysokou hodnotou potenciálu ke globálnímu oteplování.

Z vyhodnocení (viz obrázek 8.23) je zřejmé, že zařazení kogeneračních jednotek má pozitivní dopad na kvalitu ovzduší pouze zařazení kogeneračních systémů. V případě trigenerace je situace jiná, při výrobě chladu jsou emise srovnatelné popřípadě vyšší, než při standardním řešení, toto je dáno zejména tím, že pro standardní systém nejsou kotle aktivní pokud je potřeba chladit.



Obrázek 8.23 – Emise NOx systémů v daných režimech

## 9. Závěr

Tato práce obsahuje základní seznámení s klimatizačními systémy a jejich hledisky a také teorii ke kogeneračním a trigeneračním systémům. Z kogeneračních systémů jsou zde zastoupeny pístové motory a mikroturbína, trigenerační systém je tvořen pouze kombinací kogeneračního s absorpční jednotkou pro výrobu chladu.

Případová studie představuje srovnání standardního systému dodávky tepla a chladu v Portugalsku a zařazení kogeneračních a trigeneračních jednotek. Pro porovnání pracují kogenerační jednotky ve dvou režimech, dodávají značnou část tepla nebo značnou část elektřiny podle požadavků systému. Trigenerační systémy také pracují ve dvou režimech, tentokrát ale hradí pouze elektřinu konzumovanou v budově (osvětlení + spotřebiče) a přitom vyrábějí teplo nebo chlad, podle toho, jestli je potřeba více topit, nebo chladit. Je logické, že při dodání chladu je odlehčeno chladicí věži a tím se mění i její spotřeba elektrické energie, toto také vysvětluje, proč jsou hrazeny pouze elektrické potřeby budovy. Druhý režim představuje výroba tepla a chladu, podle potřeb systému, s tím, že omezujícím faktorem je regulační rozsah.

Z průběhu roční konzumace plynu je zřejmé, že systém s trigeneračními a kogeneračními jednotkami zkonsumuje více, než standardní. Konzumace trigeneračního a kogeneračního systému je dána konzumací kogeneračních jednotek i plynových kotlů, které hradí deficity tepla, konzumace standardního systému je dána pouze konzumací plynu plynovými kotly. Konzumace elektrické energie kogeneračních a trigeneračních systémů je nižší, než standardní řešení. U kogeneračních a trigeneračních systémů v režimu hrazení tepelných potřeb systémů existuje přebytek elektřiny, který se prodává do místní sítě. Co se týče nákladů za elektřinu a plyn, je z výsledků případové studie zřejmé, že zařazení kogeneračních a trigeneračních systémů nepřináší žádnou úsporu. Toto je dáno vyšší konzumací plynu, než pro standardní systém. Je nutné brát v potaz fakt, že pro zhodnocení systémů je předpokládán jejich kontinuální provoz v průběhu roku, proto se roční náklady pohybují opravdu vysoko.

Jedinou výhodou kogeneračních a trigeneračních systémů tak zůstává nižší produkce emisí oxidů dusíku. U trigeneračních systémů je produkce srovnatelná se standardním systémem a to z toho důvodu, že při trigeneraci je tepelná energie uvolněná spálením použita pro výrobu chladu, kdežto standardní systém užívá pro výrobu chladu chladicí věž.

Ze závěru této práce plyne, že nejvhodnějším systémem zůstává standardní řešení, tedy vyrábět teplo v plynových kotlích, chlad v chladicí věži a elektřinu dokupovat z místní sítě. V České republice se začlenění kogeneračních jednotek vyplatí oproti standardní dodávce tepla a elektřiny z místních energetických sítí, ale v Portugalsku ne. Kogenerace a trigenerace tak zůstává využitelná například v průmyslu, pro spalování bioplynu na skládkách, v čistíčkách odpadních vod, při zpracování odpadu v zemědělství atd.

## Použitá literatura

### Knihy a reporty

1. Luís Roriz: "Climatização – Conceção, Instalação e Condução de Sistemas", Edições Orion (2007), ISBN: 9789728620097
2. Carlos A. Pina dos Santos, José A. Vasconcelos de Paiva: "Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios", LNEEC (2006), ISBN: 9724913740
3. Doc. Ing. Milan Pavelek, CSc. a kolektiv: "Termodynamika", Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno (2003), ISBN: 8021424095
4. Decreto-Lei n.º79/2006: Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (norma o energetických systémech klimatizace)
5. Decreto-Lei n.º80/2006: Aprova o Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) (norma o charakteru termického chování budov)
6. Chih Wu: "Thermodynamic cycles computer-aided design and optimization", New York Marcel Dekker, Inc (2004)
7. Reva Rubenstein, PH.D., Chair, David Didion, D.ENG., P.E., Jeff Dozier, PH.D. : "The Treatment by LEED® of the Environmental Impact of HVAC Refrigerants", TSAC Report (2004)
8. SHERHPA Organisation: " Sustainable Heat and Energy Research for Heat Pumps Applications - Deliverable D9", project number: COLL-CT2004-500229
9. Stephen F. Gillete: "CHP Case Studies – Saving Money and Increasing Security", Capstone Turbine Corporation (2007)
10. J.Pospíšil, J. Fiedler, Z. Skála, M. Baksa: "Comparison of Cogeneration and Trigeneration technology for Energy Supply of Tertiary Buildings", Energy Institute, Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology (2006)
11. EnergyPlus Documentation Main Menu (dokumentace k programu Energy plus)

### Internet

- I 1. [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz)
- I 2. <http://www.capstoneturbine.com/>
- I 3. <http://www.energ.cz/index.phtml?polozka=17>
- I 4. [www.tedom.cz](http://www.tedom.cz)
- I 5. <http://www.i-ekis.cz/?page=kogenerace>
- I 6. [http://www.meteo.pt/pt/clima/info\\_clima/clim\\_relatorios.jsp](http://www.meteo.pt/pt/clima/info_clima/clim_relatorios.jsp)
- I 7. <http://www.chmi.cz/meteo/ok/infklim.html>
- I 8. [www.junkers.com](http://www.junkers.com)
- I 9. [www.daikin.com](http://www.daikin.com)
- I 10. [http://ec.europa.eu/portugal/temas/energy/cidadaos\\_fornecedor\\_electricidade\\_gas\\_pt.htm](http://ec.europa.eu/portugal/temas/energy/cidadaos_fornecedor_electricidade_gas_pt.htm)
- I 11. <http://www.lennox europe.com>
- I 12. <http://www.edpgas.pt/main.php?id=163&sub=23&sub2=29&sub3=54>
- I 13. [http://www.edp.pt/EDPI/Internet/PT/Group/Clients/Regulated\\_market/Tariffs/BTN\\_tariffs/BTN\\_tariffs\\_upto\\_2.3.htm](http://www.edp.pt/EDPI/Internet/PT/Group/Clients/Regulated_market/Tariffs/BTN_tariffs/BTN_tariffs_upto_2.3.htm)
- I 14. <http://www.epa.gov>

## Příloha 1 – Srovnání klimatických podmínek České republiky a Portugalska

Klimatické podmínky hrají klíčovou roli při simulaci tepelných potřeb budovy. Díky tomu, že se budova bude nacházet v Portugalsku, budou jiné jak tepelné zisky, tak i tepelné ztráty, než kdyby se budova nacházela v České republice.

Díky horší dostupnosti přesných dat jsou pro srovnání v ČR použity hodnoty měřené v Praze na Karlově a pro Portugalsko je použit průměr celého státu v roce 2006, v případě trvání slunečního svitu se jedná o vyjímku, protože pro Portugalsko jsou použity hodnoty vyjadřující průměrnou dobu slunečního svitu mezi roky 1961-1990 v Lisabonu. Díky výše uvedenému má srovnání klimatických podmínek pouze informativní charakter, nicméně ale vystihuje základní klimatické rozdíly mezi Českou republikou a Portugalskem. Základní meteorologické parametry jsou uvedeny v **tabulce 1** a jejich grafické zpracování je zobrazeno v grafu **1 až 3**.

Tabulka 1 Srovnání základních klimatických parametrů pro Čechy a Portugalsko [I6], [I7]

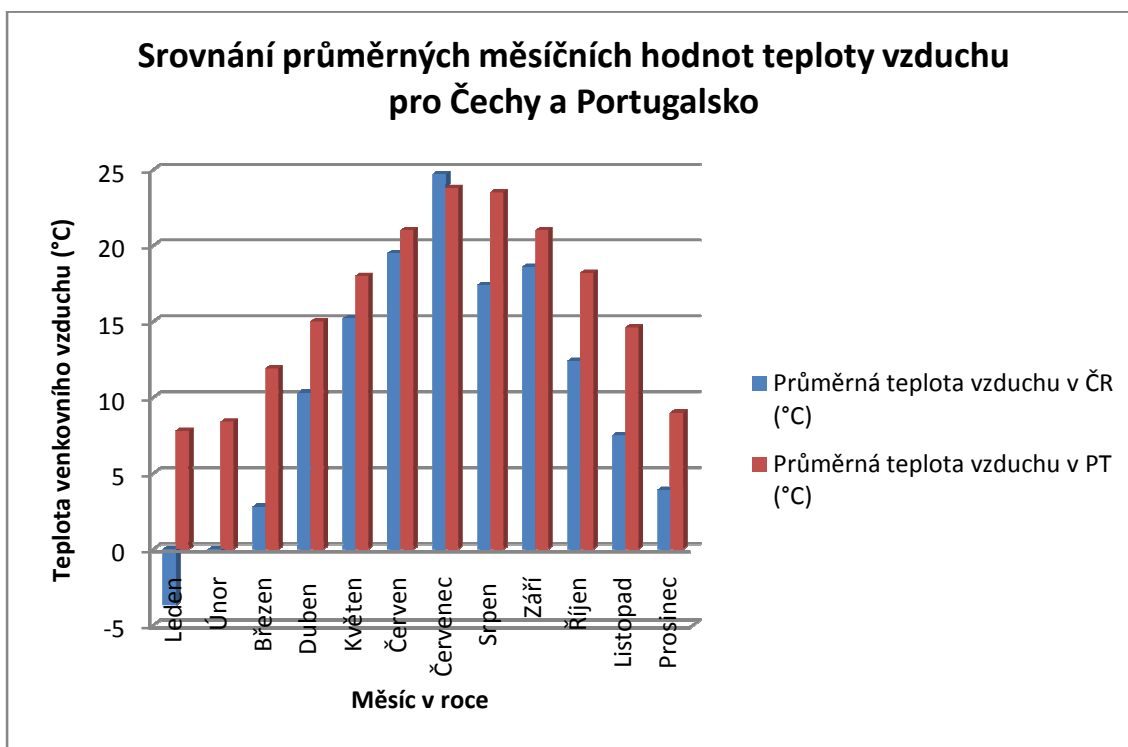
Měsíc	Česká republika			Portugalsko		
	Průměrná teplota vzduchu v ČR (°C)	Úhrn srážek v ČR (mm)	Trvání slunečního svitu v ČR (h)	Průměrná teplota vzduchu v PT (°C)	Úhrn srážek v PT (mm)	Trvání slunečního svitu v PT (h)
Leden	-3,7	8,7	80,7	7,8	42,2	142
Únor	-0,2	21,1	87,8	8,4	70,3	151
Březen	2,8	37,8	116,2	11,9	124,6	207
Duben	10,3	58,3	167,6	15	59	235
Květen	15,2	97	237	18	10	280
Červen	19,5	58,9	276	21	40	305
Červenec	24,7	28,7	345	23,8	15	351
Srpen	17,4	92,4	148,4	23,5	22	342
Září	18,6	10,7	245,1	21	61	263
Říjen	12,4	28,5	151,4	18,2	220	230
Listopad	7,5	7,3	52,7	14,6	220	161
Prosinec	3,9	14,2	65,9	9	74	138
Roční	10,7	463,6	1973,8	16,01666667	958,1	2805

### Grafické srovnání

#### Průměrná teplota vzduchu

Průměrná teplota vzduchu společně s jeho vlhkostí hraje klíčovou roli při simulaci tepelných potřeb budovy. Z **grafu 1** je vidět, že nejmarkantnější rozdíly mezi teplotami jsou na začátku roku (v měsících leden 11,5°C, únor 8,6°C a březen 9,1°C), samozřejmě je v Portugalsku o mnoho tepleji i v ostatních měsících. Jedinou vyjímku tvoří ale měsíc červenec, kde je průměrná hodnota za rok 2006 o 0,9°C vyšší, než v Portugalsku. Právě celoročně větší teploty jsou jeden z důvodů, proč není potřeba servisní budovy v Portugalsku vytápět, ale klimatizovat.

Graf 1. Srovnání průměrných měsíčních hodnot teploty vzduchu

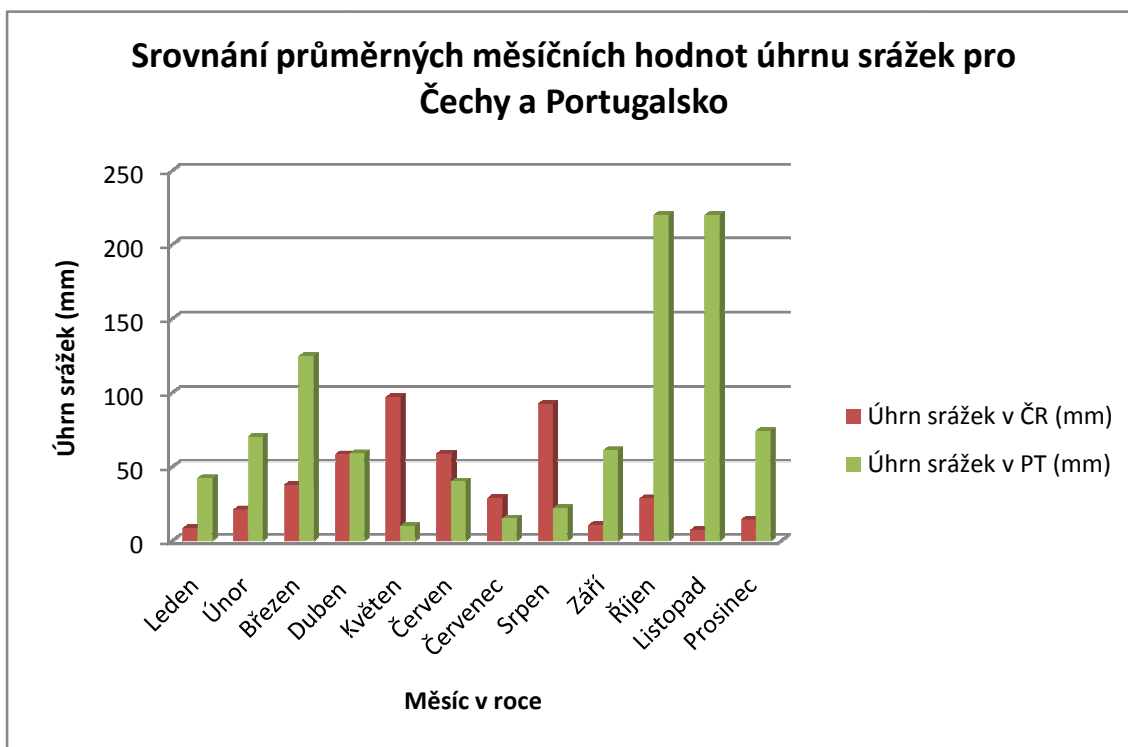


### Úhrn srážek

Úhrn srážek neboli množství srážek vyjadřuje kolik litrů vody dopadne na 1m<sup>2</sup> zemského povrchu za určitou časovou jednotku (h, min, s atd.). Udává se v milimetrech kapalné vody spadlé na zemský povrch (1 mm = 1 l/m<sup>2</sup>). Úhrn srážek je nepřímým ukazatelem vlhkosti v ovzduší. Z h-x diagramu plyne, že čím větší je vlhkost vzduchu, tím více energie v sobě tento nese.

Ze srovnání průměrných měsíčních množství srážek v Portugalsku a České republice je zřejmé, že na podzim a v zimě spadne o hodně více srážek, což je pro přímořské státy běžné. Proto je také v tomto období vlhkost a tím i množství energie ve formě entalpie ve vzduchu větší, než v České republice.

Graf 2. Srovnání průměrných měsíčních hodnot úhrnu srážek

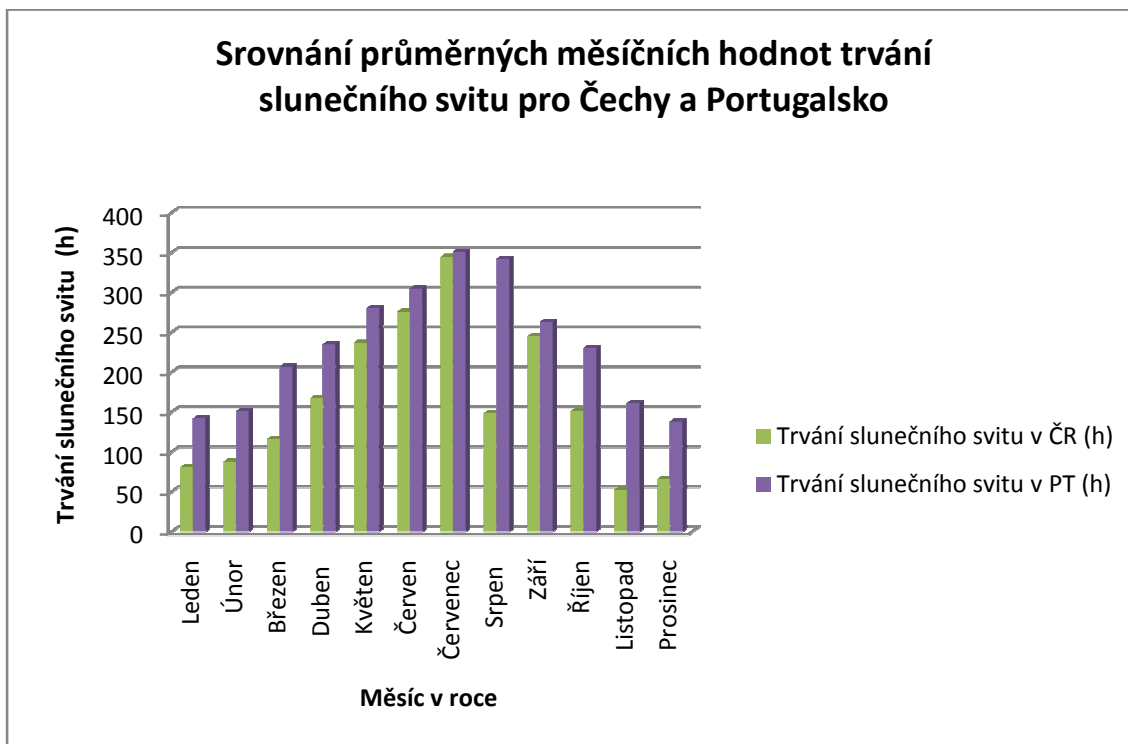


### Trvání slunečního svitu

Trvání slunečního svitu udává počet hodin za den, měsíc nebo rok, po které přímé záření dosahuje zemského povrchu, tj. po které terénní předměty vrhají zřetelné stíny. S výjimkou rovníku a pólů jsou dny a noci všude na Zemi stejně dlouhé jen ve dnech jarní a podzimní rovnodennosti. Jindy jsou buď delší (od jarní do podzimní rovnodennosti příslušné polokoule), nebo kratší (po druhou část roku). Trvání nocí je zkracováno soumrakovými jevy.

Z grafu 3 plyne, že k největším rozdílům mezi měsíčními hodnotami trvání slunečního svitu dochází v měsících srpnu (194 hod), listopadu (108 hod) a březnu (91 hod). Nejmenší rozdíl pak nastává v červenci (6 hod). Dá se ale konstatovat, že po celý rok svítí slunce v Portugalsku každý měsíc o hodně hodin více, než v Čechách. Toto má značný vliv při simulaci tepelných potřeb, protože se část slunečního záření dostává skrz okna do budovy a zvyšuje vnitřní teplotu. Sluneční paprsky také ohřívají zdivo a tepelná energie se dostává skrze zeď do vnitřku vedením. Výše uvedené jevy potom zvyšují tepelné zisky budovy a s tímto zvýšením je třeba počítat.

Graf 3. Srovnání průměrných měsíčních hodnot trvání slunečního svitu



## Příloha 2 – Vybrané tarify elektřiny a plynu

### Tarify elektřiny 2008

Prvního června 2007 vstoupilo v platnost nařízení Evropské unie [I10] které opravňuje velké odběratele elektrické energie v Portugalsku k tomu, aby si volili své dodavatele. Pro menší společnosti ale dodává elektřinu společnost EDP (Energia de Portugal [www.edp.pt](http://www.edp.pt)). Tato společnost dodává elektrickou energii většině domácností a kanceláří po celé zemi, proto se pro ekonomickou analýzu vycházelo z tarifů a cen právě této společnosti.

Tarif elektřiny je rozdělen podle instalovaného výkonu a dále pak podle toho, v jakém čase je elektrická energie odebírána. Výběr skupiny tarifů podle instalovaného výkonu je pevně dán, uživatel si může zvolit tarif podle toho, v jakém čase odebírá kolik energie.

**Cena za elektřinu je složená z:**

- fixního poplatku
- poplatku za instalovaný výkon
- poplatku za dodanou elektrickou energii

Pro stanovení nákladů na elektrickou energii je potřeba vytvořit matici s časovým plánem a stanovit konzumaci v každé hodině a její cenu. Elektřina podléhá v Portugalsku dani 15%. Potřebné informace pro stanovení nákladů za elektřinu jsou uvedeny v **tabulce 1**. Tarify elektřiny byly ztaženy z internetu [I13].

Tabulka 1. Informace o cenách tarifu elektřiny a časový plán

Fixní poplatek (EUR/Měsíc)	26,72
----------------------------	-------

Ceny za instalovaný výkon (EUR/kW za Měsíc) Tarif dlouhodobého využití (Tarif II)	
Ve špičce	Na kontrakt
14,237	1,078

Ceny za aktivní energii (EUR/kWh) Tarif dlouhodobého využití (Tarif II)		
Ve špičce	V plných hodinách	V době klidu
0,1188	0,0819	0,0501

Zimní perioda Pondělí až pátek			Letní perioda Pondělí až pátek		
Špička	9:30:00	12:00:00	Špička	9:15:00	12:15:00
	18:30:00	21:00:00			
Plné hodiny	7:00:00	9:30:00	Plné hodiny	7:00:00	9:15:00
	12:00:00	18:30:00		12:15:00	24:00:00
	21:00:00	24:00:00			
Doba klidu	0:00:00	7:00:00	Doba klidu	0:00:00	7:00:00
Sobota			Sobota		
Plné hodiny	9:30:00	13:00:00	Plné hodiny	9:00:00	14:00:00
	18:30:00	22:00:00		20:00:00	22:00:00
Doba klidu	0:00:00	9:30:00	Doba klidu	0:00:00	9:00:00
	13:00:00	18:30:00		14:00:00	20:00:00
	22:00:00	24:00:00		22:00:00	24:00:00
Neděle			Neděle		
Doba klidu	0:00:00	24:00:00	Doba klidu	0:00:00	24:00:00

## Tarify plynu 2008

Stejně tak, jako v případě elektřiny i pro plyn existuje na portugalském trhu řada dodavatelů. Mezi hlavní patří sekce EDP, EDPgas. Právě díky lehké dostupnosti tarifů o plynu [I12] byla tato společnost zvolena jako dodavatel plynu pro tento projekt.

To, do jakého tarifu zákazník spadá záleží pouze na výši konzumace plynu za rok ( $m^3$ ). Pro tento projekt je aktuální tarif "Natural 6". Veškeré informace nutné pro stanovení nákladů za zkonsumovaný plyn jsou uvedeny v tabulce 2.

Cena za plyn je složená z :

- fixního poplatku
- poplatku za zkonsumovaný plyn

Tabulka 2. Informace o tarifu plynu

Roční konzumace ( $m^3$ )	Název tarifu	Fixní měsíční poplatek (EUR/Měsíc)	Cena za konzumaci (EUR/ $m^3$ )
> 10 000	Natural 6	47,93	0,4785

## Příloha 3 – Obsah přiloženého CD

Přiložené cd obsahuje tři adresáře:

1. Excel – tento adresář obsahuje vyhodnocení systémů, ventilační jednotky a tepelných potřeb budovy, tepelných zisků, ztrát a konzumace elektřiny
2. Energy plus – program pro simulaci tepelných potřeb a klimatická data
3. Simulace – výsledky simulace z programu Energy Plus