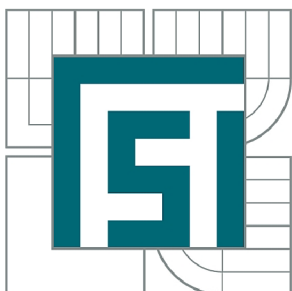




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

# VYUŽITÍ KOGENERACE A TRIGENERACE PRO ENERGETICKÉ ZÁSOBOVÁNÍ ODLEHLÝCH OBJEKTŮ

APPLICATION OF COGENERATION AND TRIGENERATION FOR OUTLYING BUILDINGS  
SUPPLYING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. LUKÁŠ FOJTÍK

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ POSPÍŠIL, Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2009/2010

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Lukáš Fojtík

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Energetické inženýrství (2301T035)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Využití kogenerace a trigenerace pro energetické zásobování odlehlých objektů**

v anglickém jazyce:

### **Application of cogeneration and trigeneration for outlying buildings supplying**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní práce je problematika uplatnění kogenerační a trigenerační technologie při řešení energetické soběstačnosti odlehlých objektů, mimo dosah připojení k distribučním sítím elektřiny a zemního plynu.

Cíle diplomové práce:

1. Popište kogenerační a trigenerační technologii a způsoby nejčastějších realizací.
2. Pro zvolený odlehlý objekt uveďte možné způsoby krytí energetických potřeb, včetně varianty využívající KJ.
3. Proved'te bilanční výpočty absorpčního oběhu zapojeného v rámci uplatnění trigenerační technologie. A proved'te návrh zařízení pro odvod nízkopotenciálního tepla z abs. oběhu.
4. Proved'te technicko-ekonomické zhodnocení navržených variant krytí energetických potřeb.

Seznam odborné literatury:

Emil Dvorský: Kombinovaná výroba energií, BEN, Praha 2005

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 30.10.2009

L.S.

---

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## **Anotace**

Diplomová práce se zabývá využitím kogenerace a trigenerace pro energetické zásobování odlehých objektů. První část obsahuje popis technologií a způsoby realizace. Je v ní také popsán absorpční oběh. Druhá část je zaměřena na řešení energetické soběstačnosti budovy s definovanými energetickými nároky včetně ekonomického vyhodnocení.

## **Annotation**

This diploma work deals with the topic application of cogeneration and trigeneration for outlying buildings supplying. The first part this work contains description of technology and methods of realization. In this part there is also described absorption circulation. The second part this work targets concepts energy independence the building, that has concrete energy consumption, including economic analysis.

### **Klíčová slova:**

kogenerace  
trigenerace  
absorpce

### **Key words:**

cogeneration  
trigeneration  
absorption



## **Bibliografická citace**

Fojtík, L. *Využití kogenerace a trigenerace pro energetické zásobování odlehých objektů*.  
Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 60 s.  
Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tuto diplomovou práci jsem vypracoval samostatně bez cizí pomoci. Vycházel jsem přitom ze svých znalostí, odborných konzultací a literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 20. května 2010

.....  
Podpis

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu mé diplomové práce Doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za odborné rady, připomínky a věnovaný čas, které mi během vypracování této práce poskytl.

## Obsah

<b>Anotace</b>	<b>7</b>
<b>Bibliografická citace</b>	<b>8</b>
<b>Čestné prohlášení</b>	<b>9</b>
<b>Poděkování</b>	<b>10</b>
<b>Obsah</b>	<b>11</b>
<b>1. Úvod</b>	<b>13</b>
<b>2. Kogenerační a trigenerační technologie</b>	<b>14</b>
<b>2.1 Kogenerace</b>	<b>14</b>
2.1.1 KJ se spalovacími motory	15
2.1.2 KJ se spalovacími plynovými turbínami	16
2.1.3 KJ s parními turbínami	16
2.1.4 KJ se Stirlingovými motory	16
<b>2.2 Trigenerace</b>	<b>17</b>
<b>3. Návrh způsobů krytí energetických potřeb</b>	<b>20</b>
3.1 Volba parametrů odlehlého objektu	20
3.2 Volba paliva pro spalovací motor	22
3.3 Jednotlivé možnosti zajištění energetické soběstačnosti	22
3.3.1 Varianta č.1	24
3.3.1.1 Popis varianty č.1	24
3.3.1.2 Energetická bilance varianty č.1	25
3.3.2 Varianta č.2	30
3.3.1.1 Popis varianty č.2	30
3.3.1.2 Energetická bilance varianty č.2	32
3.3.3 Varianta č.3	34
3.3.1.1 Popis varianty č.3	34
3.3.1.2 Energetická bilance varianty č.3	36
3.3.4 Varianta č.4	37
3.3.1.1 Popis varianty č.4	37
3.3.1.2 Energetická bilance varianty č.4	38
3.3.5 Oddělená výroba elektřiny a tepla	39

---

<b>4. Absorpční chlazení</b>	<b>40</b>
<b>4.1 Výpočet absorpčního okruhu</b>	<b>40</b>
4.1.1 Výpočet absorpčního okruhu varianty č.2	41
4.1.2 Výpočet absorpčního okruhu varianty č.4	43
<b>4.2 Odvod odpadního tepla z absorpčního okruhu</b>	<b>46</b>
<b>5. Technicko – ekonomické zhodnocení navržených variant krytí energetických potřeb</b>	<b>51</b>
5.1 Investiční a provozní náklady	51
5.2 Výběr ekonomicky nejvýhodnější varianty zajištění energetické soběstačnosti budovy	52
<b>6. Závěr</b>	<b>58</b>
Seznam použité literatury	59
Seznam použitých symbolů	60

## 1. Úvod

Žijeme v technicky vyspělé společnosti obklopeni hustou energetickou infrastrukturou a inženýrskými sítěmi. Ale v některých případech nelze uspokojit energetické potřeby budov a zařízení z této infrastruktury, musí být soběstačné. Jedná se o objekty příliš vzdálené od elektrizační soustavy ( velmi drahé připojení ), nebo brání připojení jiné okolnosti (například legislativa). Příkladem těchto budov a zařízení jsou například rekreační objekty, astronomické observatoře, meteorologické stanice atd.

V této práci se zabývám řešením energetického zásobování odlehlých objektů za využití kogenerace a trigenerace. Předpokládám nutnost zajištění:

- elektrické energie
- tepla ( vytápění, TUV )
- chladu ( klimatizace )

Popisuji kogenerační a trigenerační technologie a porovnávám různé varianty jejich užití k řešení daného problému. Detailněji se zaměřuji na absorpční okruh využitý v rámci trigenerační jednotky. U jednotlivých variant se zabývám nejen jejich energetickými bilancemi a technickým řešením, ale také příkládám velký význam ekonomické stránce problému. Hledám optimální variantu z hlediska technického i ekonomického.

## 2. Kogenerační a trigenerační technologie

### 2.1 Kogenerace

Pojmem *kogenerace* rozumíme kombinovanou výrobu elektřiny a tepla ( KJET ). Při výrobě elektřiny je využito odpadní teplo ze spalovacího procesu k vytápění, ohřevu TUV nebo v technologických procesech. Kogenerace je v energetice využívána v široké škále výkonů od stovek MW v teplárnách až po mikrokogenerační jednotky o výkonech v jednotkách kW. KJ se dělí:

#### Podle pohonu generátoru:

- KJ se spalovacími motory
- KJ se spalovacími plynovými turbínami
- KJ s parními turbínami
- KJ se Stirlingovými motory

#### Podle použitého paliva:

- KJ na zemní plyn
- KJ na bioplyn
- KJ na kapalná paliva
- KJ na pevná paliva

#### Podle použitého generátoru:

- KJ se synchronním generátorem
- KJ s asynchronním generátorem

Při použití kogenerace dochází k efektivnějšímu využití paliva, sníží se jeho měrná spotřeba a tím i palivové náklady na jednotku vyrobené energie. Vyrobená elektřina je buď dodávána do sítě, nebo využívána pro vlastní spotřebu budovy. Pro vlastní spotřebu ve smyslu zálohy při výpadku elektrizační soustavy, nebo při tzv. ostrovním provozu, kdy je KJ jediným zdrojem elektřiny.

Nasazení kogeneračních jednotek sebou přináší řadu výhod, ale také komplikací. Mezi výhody patří efektivní využití paliva a energetická soběstačnost ( nezávislost na síti ). Hlavní nevýhodou jsou vysoké investiční náklady a komplikovaná regulace, protože množství vyrobené elektřiny a tepla jsou spolu provázány.

Využití kogeneračních jednotek má smysl v budovách, které mají relativně rovnoměrnou spotřebu elektřiny a tepla. Také je možné je efektivně využít v místech se zdrojem paliva, které by jinak nebylo využito ( odpadní plyny ze skládek komunálního odpadu nebo čistíren odpadních vod ).

V našem případě je uvažována kogenerační jednotka se spalovacím motorem, pracující v ostrovním provozu. Při výrobě elektřiny je využito odpadní teplo ze spalovacího procesu k vytápění a ohřevu TUV.

### 2.1.1 KJ se spalovacími motory

Pro pohon generátoru se nejčastěji používají motory vznětové, které využívají Dieselův tepelný oběh. Podle rychlosti otáčení hřídele motoru se dělí na:

- pomaloběžné ( 55 – 275 min<sup>-1</sup> )
- středněběžné ( 276 – 1000 min<sup>-1</sup> )
- rychloběžné ( 1001 – 3600 min<sup>-1</sup> )

Výkony KJ se pohybují v rozmezí 10 kW až 5 MW a mají modul teplárenské výroby okolo 1. U těchto KJ lze teplo odebírat z výfukových spalin, chladicí vody motoru, mazacího oleje motoru nebo chlazení kompresoru spalovacího vzduchu. Jsou vysoce spolehlivé. U rychloběžných motorů jsou nutné častější opravy.



Obr.1 Blokovaná KJ s protihlukovým krytem [5]



Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vysoká účinnost v širokém rozmezí výkonu</li> <li>- Možnost použití v ostrovním provozu</li> <li>- Rychlý start</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutnost chlazení i mimo topnou sezónu</li> <li>- Hluk</li> <li>- Vysoké provozní náklady</li> </ul>

### 2.1.2 KJ se spalovacími plynovými turbínami

Generátor je poháněn plynovou turbínou využívající Braytonův oběh. Spalovací vzduch je stlačován v kompresoru a ve spalovací komoře je smíchán s palivem. V turbíně dochází k expanzi spalin. Část vyrobené mechanické energie pohání kompresor a zbytek pohání generátor. Výkony těchto jednotek se pohybují v rozmezí 30 kW až 250 MW. Jejich teplotní účinnost je rovna přibližně 1. Jsou vhodné pro výrobu vysokopotenciálního tepla.

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Spolehlivost</li> <li>- Výroba vysokopotenciálního tepla</li> <li>- Vysoká frekvence otáčení</li> <li>- Relativně nízké investiční náklady</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nižší mechanická účinnost</li> <li>- Hluk</li> <li>- Malá účinnost při nízkém zatížení</li> <li>- Pomalý start</li> </ul>

### 2.1.3 KJ s parními turbínami

Generátor je poháněn parní turbínou, která využívá Rankin – Claudiův oběh. Teplo se uvolňuje v kotli, nebo se přivádí z jiného zdroje. Pára pohání turbogenerátor. Turbíny se používají kondenzační, nebo protitlaké. U protitlaké turbíny je teplo odebíráno na výstupu, u kondenzační je odebíráno regulovaným odběrem páry. Jejich výkony se pohybují v rozmezí 100 kW až 250 MW.

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vysoká celková účinnost</li> <li>- Velké rozpětí výkonu</li> <li>- Možnost změny teplotního modulu během provozu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vysoké investiční náklady</li> <li>- Pomalý start</li> </ul>

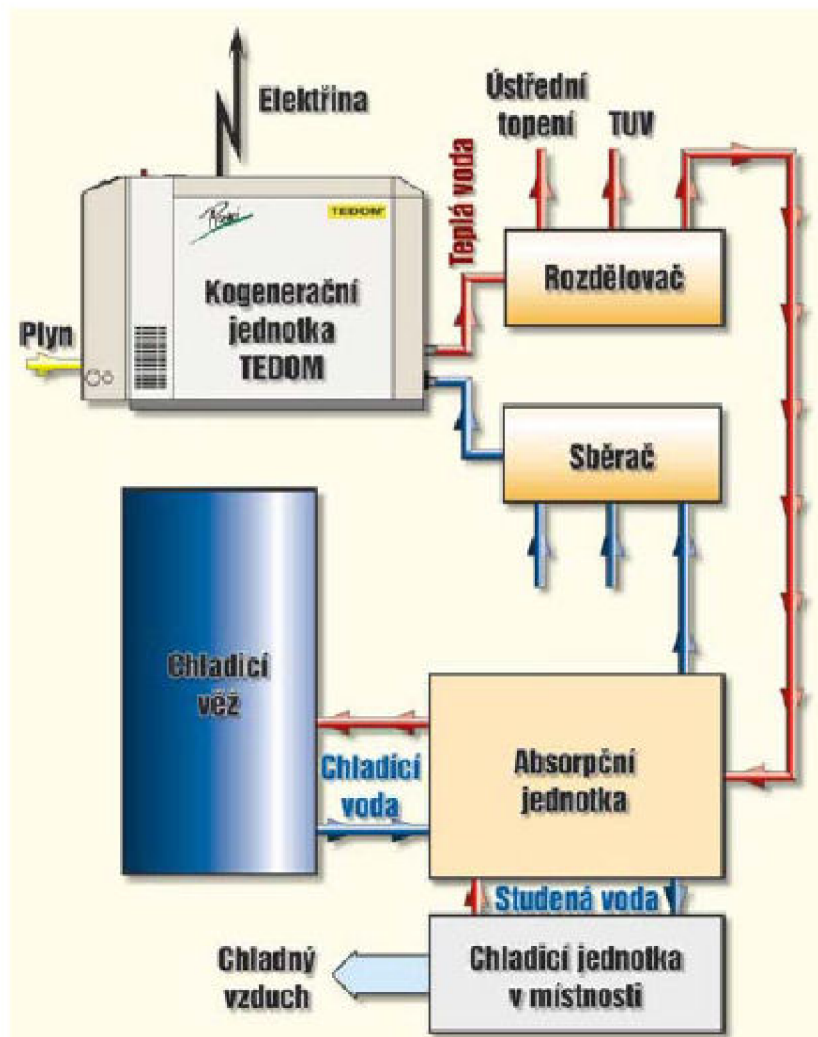
### 2.1.4 KJ se Stirlingovými motory

Pro pohon generátoru se používá Stirlingův motor. Jedná se o pístový motor s vnějším spalováním. Teplo je předáváno pracovní látce. Jako pracovní látka se používá vzduch, dusík, oxid uhličitý nebo hélium. Pracovní látka je během chodu střídavě stlačována v kompresním prostoru a expanduje v expanzním prostoru. Teplo je do motoru přiváděno přes výměník tepla a odváděno chladičem. Výkony těchto jednotek se pohybují v rozmezí 10 kW – 1 MW a mají teplotní účinnost kolem 0,1.

Výhody	Nevýhody
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Výroba elektřiny nezávislá na výrobě tepla</li> <li>- Spolehlivost</li> <li>- Vhodné pro mikrokogeneraci</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Malá účinnost při nízkém instalovaném výkonu</li> <li>- Vysoké investiční náklady</li> </ul>

## 2.2 Trigenerace

Pojmem *trigenerace* rozumíme kombinovanou výrobu elektřiny, tepla a chladu. Trigenerační jednotka se vytvoří připojením absorpčního okruhu ke kogenerační jednotce. V letních měsících, kdy není potřeba vytápění, ale naopak klimatizace, je využito odpadní teplo ze spalovacího procesu v absorpčním okruhu ke chlazení. Tím se zvýší celková doba ročního chodu jednotky.



Obr.2 Schéma zapojení trigenerační jednotky [5]

Absorpční chlazení je založeno na schopnosti vzájemné absorpce par chladiva a absorbentu. Chladivo odpařené za nízkého tlaku ve výparníku přívodem tepla  $Q_2$  je pohlcováno roztokem absorbentu v absorbéru za vývinu absorpčního tepla  $Q_4$ . Absorbent s rozpuštěnými parami chladiva je čerpán do desorbéru, kde jsou přívodem tepla  $Q_1$  vypuzeny páry chladiva z roztoku absorbentu. Chudý roztok se vrací zpět do absorbéru. Páry chladiva kondenzují v kondenzátoru za vývinu kondenzačního tepla  $Q_3$ . Vzniklý kondenzát putuje zpět do výparníku. Teplonosné médium vstupující do výparníku je chlazené.

Dvojice látek chladivo/absorbent musí mít vhodnou závislost stavových parametrů  $p$ - $t$ , dobrou mísitelnost v širokém rozsahu koncentrací a velký rozdíl teplot varu. V praxi se používají tyto dvojice chladivo/absorbent:

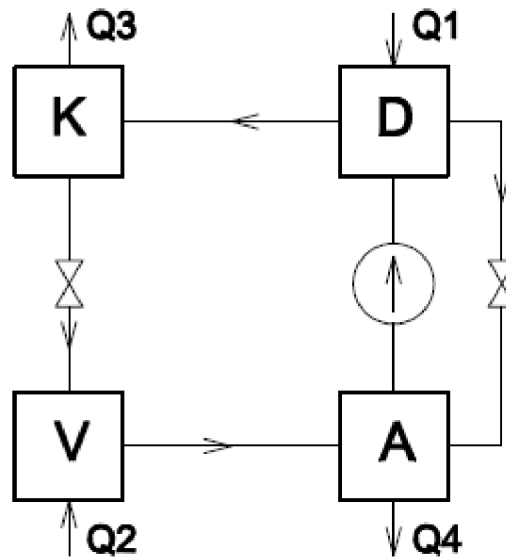
- $H_2O$ / roztok  $H_2O + LiBr$
- $NH_3$ /  $H_2O$

Absorpční chladicí jednotka využívající dvojice čpavek/voda může pracovat při teplotách až  $-60^\circ C$ . Jednotky pracující s dvojicí voda/voda + bromid litný jsou limitovány teplotou  $0^\circ C$ . Dle teploty média přivádějícího teplo do desorbéru lze použít jednostupňové nebo víceúrovňové uspořádání chladicího oběhu. Účinnost absorpčních oběhů charakterizuje výkonové číslo COP. Jedná se o poměr tepla odebraného chlazenému médiu a tepla přivedeného do desorbéru:

$$COP = Q_2/Q_1$$

Jednostupňový oběh má COP cca 0,7. Tzn. pro chladicí výkon 700 W je zapotřebí 1 kW tepelného výkonu dodaného do desorbéru. Absorpční výkon je závislý na ploše fázového rozhraní plyn – kapalina, tlaku a teplotě. Z absorpčního oběhu je nutné odvádět odpadní teplo, které je možné dále využít.

<b>Výhody</b>	<b>Nevýhody</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>- Nízká spotřeba elektřiny pro chod absorpční jednotky</li><li>- Spolehlivost</li><li>- Tichý chod</li><li>- Nízké provozní náklady</li><li>- Dlouhá životnost</li><li>- Velké rozpětí výkonu</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Velikost zařízení</li><li>- Vysoké investiční náklady</li></ul>



Obr.3 Schéma absorpčního oběhu

K – Kondenzátor  
V – Výparník  
A – Absorbér  
D – Desorbér

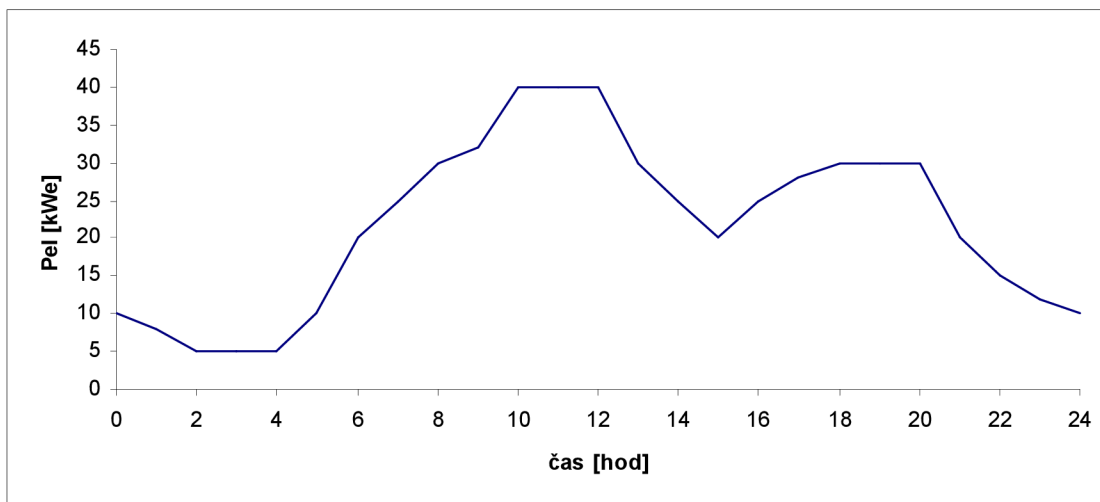
Q1 – Teplo přivedené do desorbéru ( teplo pohánějící absorpční oběh )  
Q2 – Teplo přivedené do výparníku z chlazené látky  
Q3 – Kondenzační teplo odvedené z kondenzátoru  
Q4 – Směšovací teplo odvedené z absorbéru

### 3. Návrh způsobů krytí energetických potřeb

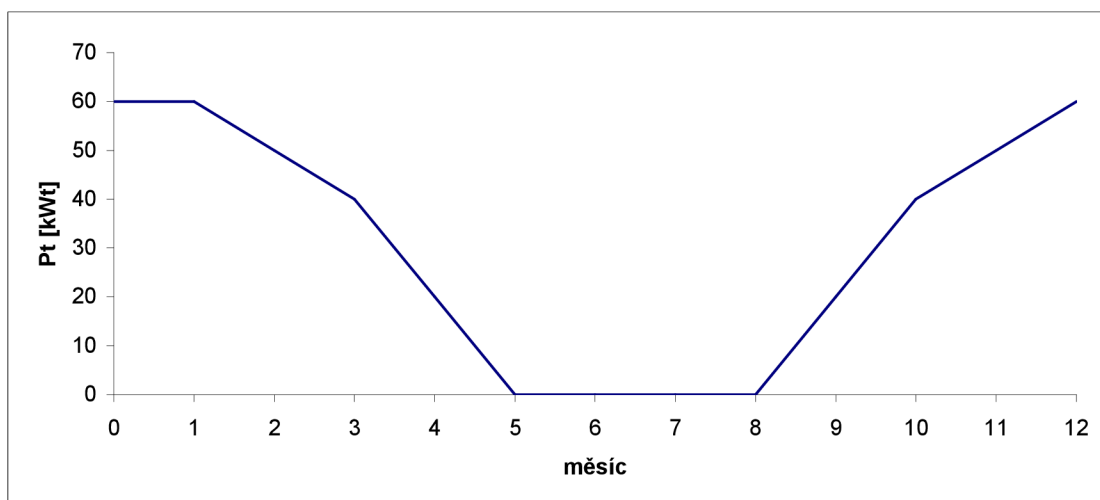
#### 3.1 Volba parametrů odlehlého objektu

Pro posouzení jednotlivých variant energetického zásobování odlehlých objektů bylo třeba zvolit jednotnou spotřebu, kterou je nutné pokrýt každou z navržených variant. Poté je možné tyto varianty mezi sebou porovnat. Zadané parametry pro srovnání:

- Potřebný elektrický příkon: 5 - 40 kWe
- Potřebný tepelný výkon k vytápění: 0 - 60 kWt
- Spotřeba TUV: 2 m<sup>3</sup>/den ( t = 60°C )
- Tepelný výkon odvedený chlazením: 0 - 20 kWt



Graf 1. Zvolený denní diagram průměrné spotřeby elektrického výkonu



Graf 2. Zvolený roční diagram průměrné spotřeby tepelného výkonu pro vytápění

V průběhu roku předpokládám přibližně konstantní denní spotřebu elektřiny. Denně vyrobená elektrická energie je rovna ploše pod denním diagramem spotřeby elektrického výkonu:

$$E = 535 \text{ kWh/den} = 195 \text{ MWh/rok}$$

V průběhu roku kolísá výroba tepla pro vytápění. Ročně vyrobená tepelná energie pro vytápění je rovna ploše pod ročním diagramem spotřeby tepelného výkonu pro vytápění:

$$Q_t = 248 \text{ MWh/rok} = 893 \text{ GJ/rok}$$

Spotřebu tepla pro ohřev TUV předpokládám v průběhu roku konstantní. Hodnota tepelného výkonu pro ohřev TUV je navýšena o výkon potřebný k přehřívání TUV v zásobníku.

### Výpočet tepelného výkonu pro ohřev TUV:

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Spotřeba TUV:	$M = 2000 \text{ kg/den}$
	Požadovaná teplota TUV:	$t_{out} = 60^\circ\text{C}$
	Vstupní teplota vody:	$t_{in} = 10^\circ\text{C}$
	Měrná tepelná kapacita vody:	$c_p = 4,18 \text{ kJ/kgK}$
	Tepelný výkon pro ohřev:	$P_v = ?$
	Ročně vyrobená tepelná energie pro ohřev:	$Q_v = ?$

### Výpočet:

$$P_v = \frac{M \times c_p \times (t_{out} - t_{in})}{86400} = \frac{2000 \times 4,18 \times (60 - 10)}{86400} = 4,8 \text{ kWt}$$

Při zahrnutí ztrát  $P_v = 5 \text{ kWt}$

$$Q_v = P_v \times 24 \times 365 = 5 \times 24 \times 365 = 43800 \text{ kWh} = 158 \text{ GJ / rok}$$

Tepelný výkon pro ohřev TUV činí 5 kW a ročně vyrobená tepelná energie pro ohřev TUV je 43,8 MWh.

Předpokládá se chod klimatizace pouze v letních měsících, kdy není v provozu vytápění. Klimatizace bude v provozu pouze v denní době korespondující s vysokým zatížením v denním diagramu spotřeby elektřiny, pokud bude potřebná.

### 3.2 Volba paliva pro spalovací motor

Volba vhodného paliva pro pohon jednotky vyrábějící elektřinu je klíčová pro řešení energetické bilance a pro ekonomické vyhodnocení navrhnutého řešení energetické soběstačnosti. Jako paliva pro motor přicházejí v našem případě v úvahu:

- Stlačený zemní plyn
- Propan-butan
- Motorová nafta
- Lehký topný olej

U odlehleho objektu je potřeba uvažovat s dopravou paliva a jeho uskladněním v místě spotřeby. Z tohoto pohledu není vhodné využití plyných paliv. Jejich doprava, uskladnění a čerpání je mnohem technicky a ekonomicky náročnější, než u kapalných paliv.

Nejvhodnějším palivem je lehký topný olej, a to jeho forma TOLEX nebo TOEL ( extra lehký topný olej ). Má prakticky identické složení jako motorová nafta. Pouze je obarven a značkován, což neovlivňuje spalovací proces v motoru. Jeho hlavní výhodou je mnohem nižší cena oproti motorové naftě, jelikož je méně daňově zatížen. Také z právního hlediska je jeho využití v pořádku, protože neslouží k pohonu motorového vozidla, kde je jeho využití nezákonné. U jednotlivých variant je dále uvažován jako palivo.

Výhřevnost	42 MJ/kg
Hustota	860 kg/m <sup>3</sup>
Bod tuhnutí	- 10°C
Obsah síry	0,2 %

Tab.1 Vlastnosti paliva TOLEX [6]

### 3.3 Jednotlivé možnosti zajištění energetické soběstačnosti

Jednotlivé varianty jsou navrženy s ohledem na dosažení maximální účinnosti kombinované výroby energií při únosných finančních nákladech. Jednotlivá zařízení jsou dostatečně dimenzována pro pokrytí špičkových energetických potřeb budovy.

Varianta	Elektřina	Teplo	Chlad
č.1	Elektrocentrála	Kotel + odpadní teplo z elektrocentrál	Kompresorové chlazení
č.2	Elektrocentrála	Kotel + odpadní teplo z elektrocentrál	Absorpční chlazení
č.3	Kogenerační jednotka	Kogenerační jednotka + kotel	Kompresorové chlazení
č.4	Trigenerační jednotka	Trigenerační jednotka + kotel	Trigenerační jednotka

Tab.2 Tabulka jednotlivých variant řešení

### **Elektrocentrála:**

V první a druhé variantě je použit 3-fázový dieselagregát typu BCJD 65 – 50 firmy BROADCROWN, určený pro nepřetržitý provoz. Je možné ho přetížit až o 10 % po dobu 1 hodiny během 12-ti hodinového cyklu.

<b>Parametry [7]:</b>	Výstupní výkon:	2 – 48 kW
	Jmenovité napětí:	400/230 V
	Jmenovitá frekvence:	50 Hz
	Cos $\Phi$ :	0,8
	Spotřeba paliva při 100 % výkonu:	14,9 l/h
	Spotřeba paliva při 75 % výkonu:	12,2 l/h
	Spotřeba paliva při 50 % výkonu:	8,3 l/h
	Množství spalin při 100 % výkonu:	0,185 m <sup>3</sup> /s
	Teplota spalin:	566°C
Spotřeba oleje:	0,04 l/h	

### **Kotel:**

Ve všech variantách je použit kotel typu PREXAL P 120 od firmy DAKON. Jedná se o ocelový stacionární teplovodní kotel pro nízkotlaké teplovodní soustavy s maximální teplotou teplonosné látky do 100°C.

<b>Parametry [8]:</b>	Jmenovitý tepelný výkon:	85 – 120 kW
	Spotřeba paliva při jmen. výkonu:	11,5 kg/h
	Účinnost:	0,9

### **Kompresorový chladicí okruh:**

V první a třetí variantě je použita kompresorová chladicí jednotka TAEevo 051 firmy VESKOM. Jedná se o kompaktní vzduchem chlazenou chladicí jednotku.

<b>Parametry [9]:</b>	Chladicí výkon:	20,4 kW
	Elektrický příkon:	5 kW

### **Kogenerační jednotka:**

Ve třetí variantě je použita kogenerační jednotka zakázkové výroby vycházející z modelu CENTO Z48 SP firmy TEDOM. V této KJ je použit dieselův motor a synchronní 3-fázový generátor 400/230 V. KJ je určena pro nepřetržitý provoz.

<b>Parametry:</b>	Elektrický výkon:	0 – 50 kW
	Maximální tepelný výkon:	75 kW
	Minimální tepelný výkon:	10 kW
	Teplota vody na výstupu:	90°C
	Elektrická účinnost ( 50 kW ):	34 %
	Tepelná účinnost ( 75 kW ):	51 %
	Cos $\Phi$ :	0,8
	Spotřeba oleje:	0,05 l/h



### Trigenerační jednotka:

Trigenerační jednotka ve čtvrté variantě vznikne připojením absorpčního okruhu ke kogenerační jednotce použité ve třetí variantě.

### Absorpční chladicí okruh:

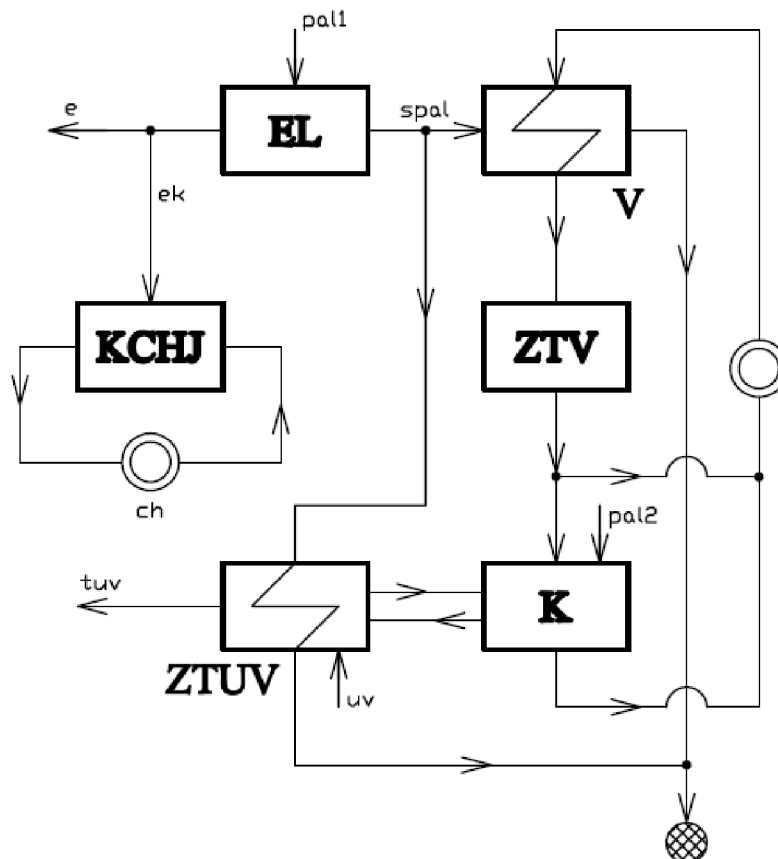
Absorpční okruh využitý ve druhé a čtvrté variantě je řešen v kapitole č.4.

## 3.3.1 Varianta č.1

### 3.3.1.1 Popis varianty č.1

Elektřina je vyráběna v elektrocentrále, která využívá jako palivo topný olej. Část spalin z elektrocentrály ohřívá ve výměníku vodu pro otopnou soustavu, která proudí do zásobníku teplé vody, odkud napájí otopnou soustavu. V případě potřeby je voda dohřívána v kotli, která využívá rovněž topný olej.

Zbytek spalin ohřívá v zásobníku TUV, kterou také v případě potřeby přehřívá kotel. Klimatizace je v případě její potřeby napájena elektrickým proudem z elektrocentrály.



Obr.4 Schéma uspořádání varianty č.1

EL – Elektrocentrála  
 V – Výměník spaliny/voda  
 ZTV – Zásobník teplé vody  
 K – Kotel  
 ZTUV – Zásobník TUV  
 KCHJ – Kompresorová chladicí jednotka

pal1 – Přívod paliva do elektrocentrály  
 pal2 – Přívod paliva do kotle  
 e – Elektrická energie pro napájení budovy  
 ek – Elektrická energie pro napájení kompresorové chladicí jednotky  
 spal – Spaliny z elektrocentrály  
 uv – Užitková voda určená k ohřevu  
 tuv – Teplá užitková voda

### 3.3.1.2 Energetická bilance varianty č.1

Při řešení energetických bilancí u této a ostatních variant je cílem určit jejich průměrnou elektrickou a tepelnou účinnost a celkovou roční spotřebu paliva pro zajištění energetických potřeb budovy. Tyto hodnoty jsou využity v ekonomickém zhodnocení. Výroba elektřiny a tepla jsou na sobě závislé a jejich účinnosti se mění společně se změnou odebíraného výkonu. To značně komplikuje výpočet spotřeby paliva. Proto jsou výpočty zjednodušeny tak, aby byla získána spotřeba paliva s dostačující přesností.

Pokud pracuje dieselův motor na volnoběh, je jeho spotřeba paliva přibližně 15 % oproti spotřebě při nominálním výkonu. Z tohoto předpokladu a hodnot spotřeby paliva při různém zatížení elektrocentrály uvedených výrobcem vyplývá, že spotřeba paliva roste s elektrickým výkonem přibližně přímo úměrně. S touto přímou úměrou je ve výpočtech dále uvažováno. Velikost spotřeby paliva v závislosti na elektrickém výkonu je určena pomocí interpolací a uvedena v tabulce:

Elektrický výkon [ kW ]	Spotřeba paliva [ l/h ]
2	2,7
6	3,7
12	5,3
18	6,8
24	8,3
30	10,3
36	12,2
42	13,6
48	14,9

Tab.3 Závislost spotřeby paliva na elektrickém výkonu

### Výpočet průměrné elektrické účinnosti a roční spotřeby paliva elektrocentrály:

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Denní výroba elektřiny:	$E = 535 \text{ kWh/den}$
	Spotřeba paliva ( 18 kW ):	$MP_{18} = 6,8 \text{ l/h}$
	Spotřeba paliva ( 24 kW ):	$MP_{24} = 8,3 \text{ l/h}$
	Výhřevnost paliva:	$Q_i^r = 42 \text{ MJ/kg}$
	Hustota paliva:	$\rho = 0,86 \text{ kg/l}$
	Průměrný elektrický výkon:	$P_{stř} = ?$
	Průměrná spotřeba paliva:	$MP_{stř} = ?$
	Průměrná elektrická účinnost:	$\eta_e = ?$
	Roční spotřeba paliva:	$MPe = ?$

#### Výpočet:

$$P_{stř} = \frac{E \times 3600}{86400} = \frac{535 \times 3600}{86400} = 22,3 \text{ kWe}$$

$$MP_{stř} = \frac{MP_{24} - MP_{18}}{24 - 18} \times (P_{stř} - 18) + MP_{18} =$$
$$= \frac{8,3 - 6,8}{6} \times (22,3 - 18) + 6,8 = 7,9 \text{ l/h}$$

$$\eta_e = \frac{E \times 3,6}{MP_{stř} \times \rho \times Q_i^r \times 24} = \frac{535 \times 3,6}{7,9 \times 0,86 \times 42 \times 24} = 0,28$$

$$MPe = MP_{stř} \times 24 \times 365 = 69000 \text{ l / rok}$$

Elektrocentrála spotřebuje průměrně 7,9 litrů paliva za hodinu provozu při průměrném elektrickém výkonu 22,3 kWe. Elektřinu vyrábí s průměrnou účinností 28 %. Ročně potřebuje pro svůj provoz 69 000 litrů paliva.

K vytápění a ohřevu TUV je využito odpadní teplo ze spalin elektrocentrály. Na základě ročního diagramu spotřeby tepelného výkonu pro vytápění je tento tepelný výkon využit k vytápění po dobu devíti měsíců v roce. Tepelný výkon pro ohřev TUV je využitý celoročně. Teplota spalin se mění z důvodu změny přebytku spalovacího vzduchu v závislosti na výkonu a pro průměrný výkon bude nižší než pro výkon nominální. Výpočet spalování je zjednodušen, protože jeho cílem je určit teplo ve spalinách s dostatečnou přesností, nikoliv emise. Předpokládá se ideální spalování s přebytkem vzduchu pro průměrnou spotřebu paliva 7,9 l/h (6,8 kg/h) při výkonu elektrocentrály 22,3 kWe.

**Výpočet množství spalin při výkonu 22,3 kWe:**

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Množství uhlíku v palivu:	C = 87 % hm.
	Množství vodíku v palivu:	H = 13 % hm.
	Množství kyslíku ve spalovacím vzduchu:	O = 23 % hm.
	Množství dusíku ve spalovacím vzduchu:	N = 77 % hm.
	Množství spalovacího vzduchu:	V = 0,062 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /s
	Průměrná spotřeba paliva:	MPstř = 6,8 kg/h
	Hustota vzduchu:	ρ <sub>v</sub> = 1,276 kg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>
	Molární hmotnost C:	M <sub>C</sub> = 12 kg/kmol
	Molární hmotnost H <sub>2</sub> :	M <sub>H<sub>2</sub></sub> = 2 kg/kmol
	Molární hmotnost O <sub>2</sub> :	M <sub>O<sub>2</sub></sub> = 32 kg/kmol
	Molární hmotnost N <sub>2</sub> :	M <sub>N<sub>2</sub></sub> = 28 kg/kmol
	Molární hmotnost CO <sub>2</sub> :	M <sub>CO<sub>2</sub></sub> = 44 kg/kmol
	Molární hmotnost H <sub>2</sub> O:	M <sub>H<sub>2</sub>O</sub> = 18 kg/kmol
	Molární hmotnost O <sub>2</sub> :	M <sub>O<sub>2</sub></sub> = 32 kg/kmol
	Molární hmotnost N <sub>2</sub> :	M <sub>N<sub>2</sub></sub> = 28 kg/kmol
	Molární objem CO <sub>2</sub> :	V <sub>mCO<sub>2</sub></sub> = 22,26 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /kmol
	Molární objem H <sub>2</sub> O:	V <sub>mH<sub>2</sub>O</sub> = 22,4 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /kmol
	Molární objem O <sub>2</sub> :	V <sub>mO<sub>2</sub></sub> = 22,39 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /kmol
	Molární objem N <sub>2</sub> :	V <sub>mN<sub>2</sub></sub> = 22,4 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /kmol
	Objemový tok CO <sub>2</sub> ve spalinách:	CO <sub>2SP</sub> = ?
	Objemový tok H <sub>2</sub> O ve spalinách:	W <sub>SP</sub> = ?
	Objemový tok O <sub>2</sub> ve spalinách:	O <sub>SP</sub> = ?
	Objemový tok N <sub>2</sub> ve spalinách:	N <sub>SP</sub> = ?
	Střední objemový tok spalin:	SPstř = ?

**Výpočet:**

$$CO_{2SP} = \frac{MPstř}{3600} \times \frac{C}{100} \times \frac{M_{CO_2}}{M_C} \times \frac{Vm_{CO_2}}{M_{CO_2}} =$$

$$= \frac{6,8}{3600} \times \frac{87}{100} \times \frac{44}{12} \times \frac{22,26}{44} = 0,003 m^3_N / s$$

$$W_{SP} = \frac{MPstř}{3600} \times \frac{H}{100} \times \frac{M_{H_2O}}{M_{H_2}} \times \frac{Vm_{H_2O}}{M_{H_2O}} =$$

$$= \frac{6,8}{3600} \times \frac{13}{100} \times \frac{18}{2} \times \frac{22,4}{18} = 0,0027 m^3_N / s$$

$$O_{SP} = V \times \rho_V \times \frac{O}{100} \times \frac{Vm_{O_2}}{M_{O_2}} - CO_{2SP} - W_{SP} =$$

$$= 0,062 \times 1,276 \times \frac{23}{100} \times \frac{22,39}{32} - 0,003 - 0,0027 = 0,007 m^3_N / s$$

$$N_{SP} = V \times \rho_V \times \frac{N}{100} \times \frac{Vm_{N_2}}{M_{N_2}} = 0,062 \times 1,276 \times \frac{77}{100} \times \frac{22,4}{28} = 0,0487 m^3_N / s$$

$$SPstř = CO_{2SP} + W_{SP} + O_{SP} + N_{SP} = 0,003 + 0,0027 + 0,0125 + 0,0487 = 0,0615 m^3_N / s$$

Elektrocentrála produkuje při průměrném výkonu 22,3 kWe 0,0615 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/s spalin.

### Výpočet užitečného tepelného výkonu elektrocentrály:

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Průměrný tepelný výkon k ohřevu TUV:	P <sub>V</sub> = 5 kWt
	Teplota spalin na výstupu z elektrocentrály:	t <sub>SP1</sub> = 520 °C
	Teplota spalin na výstupu z výměníku:	t <sub>SP2</sub> = 150 °C
	Střední množství spalin:	SPstř = 0,0615 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /s
	Výhřevnost paliva:	Q <sub>i</sub> <sup>r</sup> = 42 MJ/kg
	Průměrná spotřeba paliva:	MPstř = 7,9 l/h
	Hustota paliva:	ρ = 0,86 kg/m <sup>3</sup>
	Objemový tok CO <sub>2</sub> ve spalinách:	CO <sub>2SP</sub> = 0,003 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /s
	Objemový tok H <sub>2</sub> O ve spalinách:	W <sub>SP</sub> = 0,0027 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /s
	Objemový tok O <sub>2</sub> ve spalinách:	O <sub>SP</sub> = 0,007 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /s
	Objemový tok N <sub>2</sub> ve spalinách:	N <sub>SP</sub> = 0,0487 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /s
	Entalpie spalin na výstupu z elektrocentrály:	I <sub>SP1</sub> = ?
	Entalpie spalin na výstupu z výměníku:	I <sub>SP2</sub> = ?
	Průměrný užitečný tepelný výkon elektrocentrály:	P = ?
	Průměrný tepelný výkon využitý k vytápění:	P <sub>te</sub> = ?
	Průměrná tepelná účinnost elektrocentrály:	η <sub>te</sub> = ?
	Průměrná celková účinnost elektrocentrály:	η <sub>ce</sub> = ?

t [°C]	I <sub>O2</sub>	I <sub>N2</sub>	I <sub>H2O</sub>	I <sub>CO2</sub>
100	131,7	129,5	150,6	170
200	267	259,9	304,5	357,5
300	406,7	392,1	462,8	558,8
400	550,9	526,7	625,9	771,9
500	698,7	664	794,5	994,4
600	849,9	804,3	968,8	1225

Tab.4 Entalpie složek spalin vztažené k normálním podmínkám [kJ/m<sup>3</sup><sub>N</sub>]

### Výpočet:

Entalpie jednotlivých složek spalín při teplotě  $t_{SP1} = 520 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$I_{CO_2} = (1225 - 994,4) \times 0,2 + 994,4 = 1041 \text{ kJ} / \text{m}_N^3$$

$$I_{H_2O} = (968,8 - 794,5) \times 0,2 + 794,5 = 830 \text{ kJ} / \text{m}_N^3$$

$$I_{O_2} = (849,9 - 698,7) \times 0,2 + 698,7 = 729 \text{ kJ} / \text{m}_N^3$$

$$I_{N_2} = (804,3 - 664) \times 0,2 + 664 = 692 \text{ kJ} / \text{m}_N^3$$

$$\begin{aligned} I_{SP1} &= I_{CO_2} \times \frac{CO_{2SP}}{SPstř} + I_{H_2O} \times \frac{W_{SP}}{SPstř} + I_{O_2} \times \frac{O_{2SP}}{SPstř} + I_{N_2} \times \frac{N_{2SP}}{SPstř} = \\ &= 1041 \times \frac{0,003}{0,0615} + 830 \times \frac{0,0027}{0,0615} + 729 \times \frac{0,007}{0,0615} + 692 \times \frac{0,0487}{0,0615} = 719 \text{ kJ} / \text{m}_N^3 \end{aligned}$$

Entalpie jednotlivých složek spalín při teplotě  $t_{SP2} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$I_{CO_2} = (357,5 - 170) \times 0,5 + 170 = 264 \text{ kJ} / \text{m}_N^3$$

$$I_{H_2O} = (304,5 - 150,6) \times 0,5 + 150,6 = 228 \text{ kJ} / \text{m}_N^3$$

$$I_{O_2} = (267 - 131,7) \times 0,5 + 131,7 = 199 \text{ kJ} / \text{m}_N^3$$

$$I_{N_2} = (259,9 - 129,5) \times 0,5 + 129,5 = 195 \text{ kJ} / \text{m}_N^3$$

$$\begin{aligned} I_{SP2} &= I_{CO_2} \times \frac{CO_{2SP}}{SPstř} + I_{H_2O} \times \frac{W_{SP}}{SPstř} + I_{O_2} \times \frac{O_{2SP}}{SPstř} + I_{N_2} \times \frac{N_{2SP}}{SPstř} = \\ &= 264 \times \frac{0,003}{0,0615} + 228 \times \frac{0,0027}{0,0615} + 199 \times \frac{0,007}{0,0615} + 195 \times \frac{0,0487}{0,0615} = 200 \text{ kJ} / \text{m}_N^3 \end{aligned}$$

$$P = (I_{SP1} - I_{SP2}) \times SPstř = (719 - 200) \times 0,0615 = 32 \text{ kWt}$$

$$P_{te} = P - P_v = 32 - 5 = 27 \text{ kWt}$$

$$\eta_{te} = \frac{P \times 3,6}{MPstř \times \rho \times Q_i'} = \frac{32 \times 3,6}{7,9 \times 0,86 \times 42} = 0,40$$

$$\eta_{ce} = \eta_e + \eta_{te} = 0,28 + 0,40 = 0,68$$

Elektrocentrála dodá průměrný tepelný výkon 32 kWt, ze kterého se využije 5 kWt pro ohřev TUV a 27 kWt k vytápění. Průměrná tepelná účinnost elektrocentrály je 40 % a průměrná celková účinnost je 62 %.

Z diagramu spotřeby tepelného výkonu pro vytápění budovy plyne, že během zimních měsíců je zapotřebí vyrobit 350 GJ tepla v kotli.

### Výpočet roční spotřeby paliva pro kotel:

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Teplo vyrobené v kotli:	$Q_k = 350 \text{ GJ}$
	Výhřevnost paliva:	$Q_i^r = 42 \text{ MJ/kg}$
	Hustota paliva:	$\rho = 0,86 \text{ kg/m}^3$
	Účinnost kotle:	$\eta_k = 0,9$
	Roční spotřeba paliva:	$MP_k = ?$

#### Výpočet:

$$MP_k = \frac{Q_k}{Q_i^r \times \rho \times \eta_k} = \frac{350000}{42 \times 0,86 \times 0,9} = 10700 \text{ l / rok}$$

Kotel spotřebuje ročně 11000 litrů paliva.

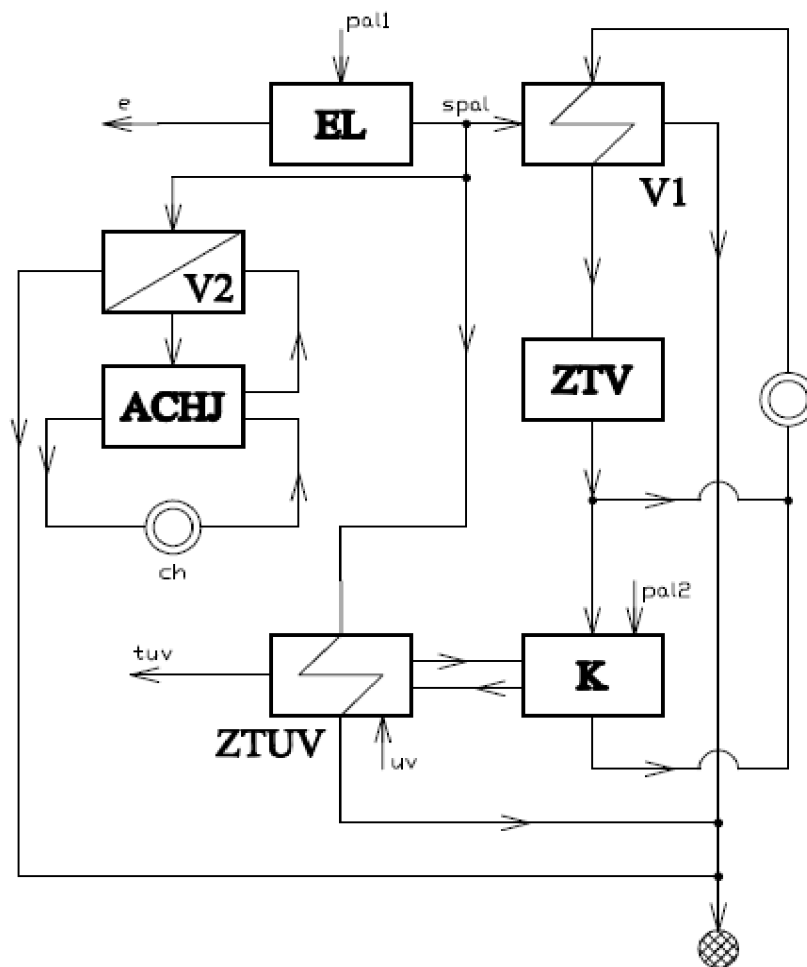
Při realizaci varianty č.1 je zapotřebí k zajištění energetických potřeb budovy přibližně 80 000 litrů paliva ročně. Potřebný tepelný výkon je z části zajištěn odpadním teplem ve spalínách z elektrocentrály. Kotel slouží k pokrytí vysokých tepelných nároků v zimním období, případně také jako záložní zdroj tepla. Ve výše uvedených bilancích není započítán elektrický příkon potřebný pro chod kompresorové chladicí jednotky, jelikož je její podíl v bilanci zanedbatelný. Předpokládá se její chod pro zvýšení komfortu v budově po dobu, která je závislá na klimatických podmínkách.

## 3.3.2 Varianta č.2

### 3.3.2.1 Popis varianty č.2

Elektřina je vyráběna v elektrocentrále, která využívá jako palivo topný olej. Část spalín z elektrocentrály ohřívá ve výměníku vodu pro otopnou soustavu, která proudí do zásobníku teplé vody, odkud napájí otopnou soustavu. V případě potřeby je voda dohřívána v kotli, který využívá rovněž topný olej.

Část spalín ohřívá v zásobníku TUV, kterou také v případě potřeby přehřívá kotel. Zbytek spalín ohřívá v dalším výměníku vodu pro absorpční chladicí jednotku, a to v případě potřeby klimatizace.



Obr.5 Schéma uspořádání varianty č.2

- EL – Elektrocentrála
  - V1 – Výměník spaliny/voda pro topný okruh
  - V2 – Výměník spaliny/voda pro absorpční chladicí jednotku
  - ZTV – Zásobník teplé vody
  - K – Kotel
  - ZTUV – Zásobník TUV
  - ACHJ – Absorpční chladicí jednotka
- 
- pal1 – Přívod paliva do elektrocentrály
  - pal2 – Přívod paliva do kotle
  - e – Elektrická energie pro napájení budovy
  - spal – Spaliny z elektrocentrály
  - uv – Užitková voda určená k ohřevu
  - tuv – Teplá užitková voda



### 3.3.2.2 Energetická bilance varianty č.2

Energetická bilance varianty č.2 je shodná s energetickou bilancí varianty č.1. Teplo využitě k absorpčnímu chlazení v letních měsících neovlivňuje celkovou spotřebu paliva. Je zapotřebí určit hodnotu tepelného výkonu při nominálním elektrickém výkonu, který je použit při návrhu absorpčního oběhu v kapitole č.4.

#### Výpočet množství spalin při nominálním výkonu:

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Množství uhlíku v palivu:	C = 87 % hm.
	Množství vodíku v palivu:	H = 13 % hm.
	Množství kyslíku ve spalovacím vzduchu:	O = 23 % hm.
	Množství dusíku ve spalovacím vzduchu:	N = 77 % hm.
	Množství spalovacího vzduchu:	V = 0,062 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /s
	Spotřeba paliva:	MP = 12,8 kg/h
	Hustota vzduchu:	ρ <sub>v</sub> = 1,276 kg/m <sup>3</sup> <sub>N</sub>
	Molární hmotnost C:	M <sub>C</sub> = 12 kg/kmol
	Molární hmotnost H <sub>2</sub> :	M <sub>H2</sub> = 2 kg/kmol
	Molární hmotnost O <sub>2</sub> :	M <sub>O2</sub> = 32 kg/kmol
	Molární hmotnost N <sub>2</sub> :	M <sub>N2</sub> = 28 kg/kmol
	Molární hmotnost CO <sub>2</sub> :	M <sub>CO2</sub> = 44 kg/kmol
	Molární hmotnost H <sub>2</sub> O:	M <sub>H2O</sub> = 18 kg/kmol
	Molární hmotnost O <sub>2</sub> :	M <sub>O2</sub> = 32 kg/kmol
	Molární hmotnost N <sub>2</sub> :	M <sub>N2</sub> = 28 kg/kmol
	Molární objem CO <sub>2</sub> :	V <sub>mCO2</sub> = 22,26 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /kmol
	Molární objem H <sub>2</sub> O:	V <sub>mH2O</sub> = 22,4 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /kmol
	Molární objem O <sub>2</sub> :	V <sub>mO2</sub> = 22,39 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /kmol
	Molární objem N <sub>2</sub> :	V <sub>mN2</sub> = 22,4 m <sup>3</sup> <sub>N</sub> /kmol
	Objemový tok CO <sub>2</sub> ve spalinách:	CO <sub>2SP</sub> = ?
	Objemový tok H <sub>2</sub> O ve spalinách:	W <sub>SP</sub> = ?
	Objemový tok O <sub>2</sub> ve spalinách:	O <sub>SP</sub> = ?
	Objemový tok N <sub>2</sub> ve spalinách:	N <sub>SP</sub> = ?
	Objemový tok spalin:	SP = ?

#### Výpočet:

$$CO_{2,SP} = \frac{MP}{3600} \times \frac{C}{100} \times \frac{M_{CO2}}{M_C} \times \frac{Vm_{CO2}}{M_{CO2}} =$$

$$= \frac{12,8}{3600} \times \frac{87}{100} \times \frac{44}{12} \times \frac{22,26}{44} = 0,0056 m^3_N / s$$

$$W_{SP} = \frac{MP}{3600} \times \frac{H}{100} \times \frac{M_{H_2O}}{M_{H_2}} \times \frac{Vm_{H_2O}}{M_{H_2O}} =$$

$$= \frac{12,8}{3600} \times \frac{13}{100} \times \frac{18}{2} \times \frac{22,4}{18} = 0,0051 m^3_N / s$$

$$O_{SP} = V \times \rho_V \times \frac{O}{100} \times \frac{Vm_{O_2}}{M_{O_2}} - CO_{2SP} - W_{SP} =$$

$$= 0,062 \times 1,276 \times \frac{23}{100} \times \frac{22,39}{32} - 0,0056 - 0,0051 = 0,002 m^3_N / s$$

$$N_{SP} = V \times \rho_V \times \frac{N}{100} \times \frac{Vm_{N_2}}{M_{N_2}} = 0,062 \times 1,276 \times \frac{77}{100} \times \frac{22,4}{28} = 0,0487 m^3_N / s$$

$$SP = CO_{2SP} + W_{SP} + O_{SP} + N_{SP} = 0,0056 + 0,0051 + 0,002 + 0,0487 = 0,0614 m^3_N / s$$

Elektrocentrála produkuje při nominálním výkonu 48 kWe 0,0614 m<sup>3</sup><sub>N</sub>/s spalin.

### Výpočet užitečného tepelného výkonu elektrocentrály pro absorpční okruh:

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Teplota spalin na výstupu z elektrocentrály:	$t_{SP1} = 566 \text{ } ^\circ\text{C}$
	Teplota spalin na výstupu z výměníku pro absorpční okruh:	$t_{SP2} = 150 \text{ } ^\circ\text{C}$
	Střední množství spalin:	$SP_{stř} = 0,0614 \text{ m}^3_N/s$
	Výhřevnost paliva:	$Q_i^r = 42 \text{ MJ/kg}$
	Průměrná spotřeba paliva:	$MP_{stř} = 14,9 \text{ l/h}$
	Hustota paliva:	$\rho = 0,86 \text{ kg/m}^3$
	Objemový tok CO <sub>2</sub> ve spalinách:	$CO_{2SP} = 0,0056 \text{ m}^3_N/s$
	Objemový tok H <sub>2</sub> O ve spalinách:	$W_{SP} = 0,0051 \text{ m}^3_N/s$
	Objemový tok O <sub>2</sub> ve spalinách:	$O_{SP} = 0,002 \text{ m}^3_N/s$
	Objemový tok N <sub>2</sub> ve spalinách:	$N_{SP} = 0,0487 \text{ m}^3_N/s$
	Entalpie spalin na výstupu z elektrocentrály:	$I_{SP1} = ?$
	Entalpie spalin na výstupu z výměníku pro absorpční okruh:	$I_{SP2} = ?$
	Nominální tepelný výkon využitý pro absorpci:	$P_{ta} = ?$

### Výpočet:

Entalpie jednotlivých složek spalin při teplotě  $t_{SP1} = 566 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$I_{CO_2} = (1225 - 994,4) \times 0,66 + 994,4 = 1147 \text{ kJ} / \text{m}_N^3$$

$$I_{H_2O} = (968,8 - 794,5) \times 0,66 + 794,5 = 910 \text{ kJ} / \text{m}_N^3$$

$$I_{O_2} = (849,9 - 698,7) \times 0,66 + 698,7 = 798 \text{ kJ} / \text{m}_N^3$$

$$I_{N_2} = (804,3 - 664) \times 0,66 + 664 = 757 \text{ kJ} / \text{m}_N^3$$

$$\begin{aligned} I_{SP1} &= I_{CO_2} \times \frac{CO_{2SP}}{SP} + I_{H_2O} \times \frac{W_{SP}}{SP} + I_{O_2} \times \frac{O_{2SP}}{SP} + I_{N_2} \times \frac{N_{2SP}}{SP} = \\ &= 1147 \times \frac{0,0056}{0,0614} + 910 \times \frac{0,0051}{0,0614} + 798 \times \frac{0,002}{0,0614} + 757 \times \frac{0,0487}{0,0614} = 807 \text{ kJ} / \text{m}_N^3 \end{aligned}$$

Entalpie jednotlivých složek spalin při teplotě  $t_{SP2} = 150 \text{ }^\circ\text{C}$ :

$$I_{CO_2} = (357,5 - 170) \times 0,5 + 170 = 264 \text{ kJ} / \text{m}_N^3$$

$$I_{H_2O} = (304,5 - 150,6) \times 0,5 + 150,6 = 228 \text{ kJ} / \text{m}_N^3$$

$$I_{O_2} = (267 - 131,7) \times 0,5 + 131,7 = 199 \text{ kJ} / \text{m}_N^3$$

$$I_{N_2} = (259,9 - 129,5) \times 0,5 + 129,5 = 195 \text{ kJ} / \text{m}_N^3$$

$$\begin{aligned} I_{SP2} &= I_{CO_2} \times \frac{CO_{2SP}}{SP} + I_{H_2O} \times \frac{W_{SP}}{SP} + I_{O_2} \times \frac{O_{2SP}}{SP} + I_{N_2} \times \frac{N_{2SP}}{SP} = \\ &= 264 \times \frac{0,0056}{0,0614} + 228 \times \frac{0,0051}{0,0614} + 199 \times \frac{0,002}{0,0614} + 195 \times \frac{0,0487}{0,0614} = 204 \text{ kJ} / \text{m}_N^3 \end{aligned}$$

$$P_{ta} = (I_{SP1} - I_{SP2}) \times SP = (807 - 204) \times 0,0614 = 37 \text{ kWt}$$

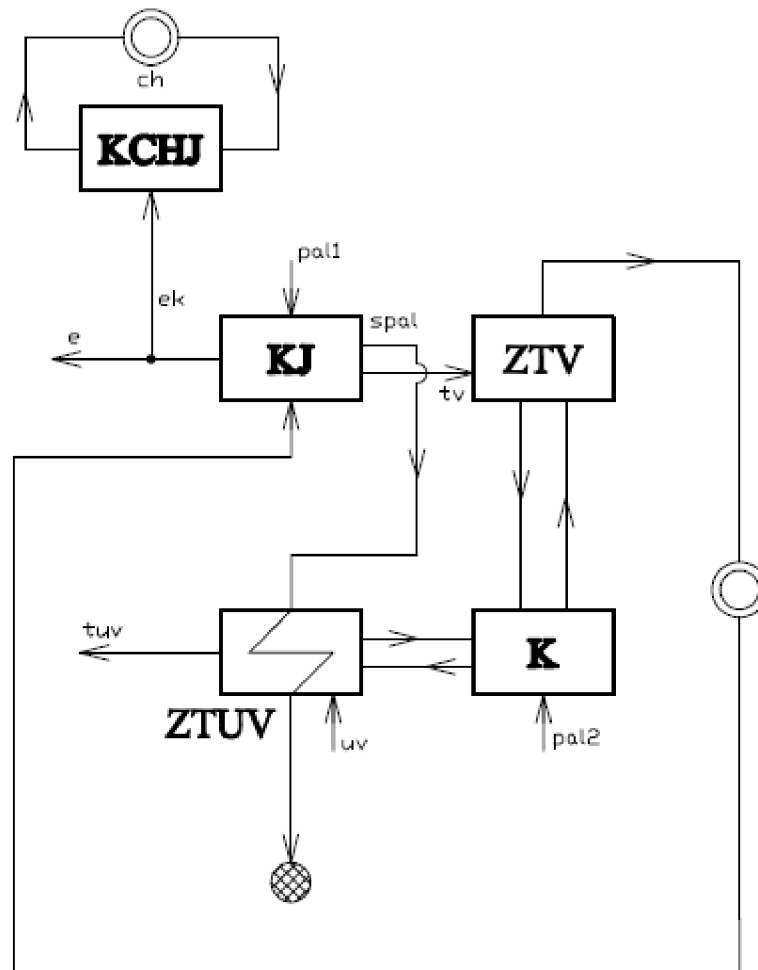
Pro návrh absorpčního okruhu bude zvolena hodnota vstupního tepelného výkonu 40 kWt s ohledem na možnost krátkodobého přetížení elektrocentrály.

### 3.3.3 Varianta č.3

#### 3.3.3.1 Popis varianty č.3

Elektrina a teplo jsou vyráběny v kogenerační jednotce, která využívá jako palivo topný olej. Voda ohřátá v KJ proudí do zásobníku teplé vody, odkud napájí otopnou soustavu. V případě potřeby je voda dohřívána v kotli. Z otopné soustavy se voda vrací k ohřevu zpět do KJ.

Spaliny z KJ ohřívají v zásobníku TUV, která je v případě potřeby dohřívána v kotli. Klimatizace je v případě její potřeby napájena elektrickým proudem z KJ.



Obr.6. Schéma uspořádání varianty č.3

KJ – Kogenerační jednotka  
ZTV – Zásobník teplé vody  
K – Kotel  
ZTUV – Zásobník TUV  
KCHJ – Kompresorová chladicí jednotka

pal1 – Přívod paliva do elektrocentrály  
pal2 – Přívod paliva do kotle  
e – Elektrická energie pro napájení budovy  
ek – Elektrická energie pro napájení kompresorové chladicí jednotky  
spal – Spaliny z kogenerační jednotky  
uv – Užitková voda určená k ohřevu  
tuv – Teplá užitková voda  
tv – Teplá voda pro vytápění

### 3.3.3.2 Energetická bilance varianty č.3

U KJ je předpokládána závislost spotřeby paliva na elektrickém výkonu podobná, jako u elektrocentrály v předchozích variantách. Při průměrné výrobě elektřiny 22,3 kWe je spotřeba paliva pro KJ cca 7,9 l/h s ohledem na podobnost dieselových motorů. Tzn. roční spotřeba paliva je 69 000 l. KJ umožňuje efektivnější využití tepla ze spalovacího procesu pro vytápění.

#### Výpočet užitečného tepelného výkonu KJ:

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Výhřevnost paliva:	$Q_i^r = 42 \text{ MJ/kg}$
	Průměrná spotřeba paliva:	$MPstř = 7,9 \text{ l/h}$
	Hustota paliva:	$\rho = 0,86 \text{ kg/m}^3$
	Účinnost využití tepla ze spalovacího procesu:	$\eta_r = 70 \%$
	Průměrná elektrická účinnost:	$\eta_k = 28 \%$
	Průměrný tepelný výkon k ohřevu TUV:	$P_v = 5 \text{ kWt}$
	Průměrný elektrický výkon:	$P_{stř} = 22,3 \text{ kWe}$
	Průměrný tepelný výkon využitý k vytápění:	$P_{tk} = ?$
	Průměrný užitečný tepelný výkon KJ:	$P = ?$
	Průměrná tepelná účinnost KJ:	$\eta_{tk} = ?$
	Průměrná celková účinnost KJ:	$\eta_{ck} = ?$

#### Výpočet:

$$P_{tk} = \left( \frac{Q_i^r \times MPstř \times \rho}{3,6} - P_{stř} \right) \times \eta_r =$$

$$= \left( \frac{42 \times 7,9 \times 0,86}{3,6} - 22,3 \right) \times 0,75 = 39,9 \text{ kWt}$$

$$P = P_{tk} + P_v = 39,9 + 5 = 44,9 \text{ kWt}$$

$$\eta_{tk} = \frac{P \times 3,6}{MPstř \times \rho \times Q_i^r} = \frac{44,9 \times 3,6}{7,9 \times 0,86 \times 42} = 0,57$$

$$\eta_{ck} = \eta_k + \eta_{tk} = 0,28 + 0,57 = 0,85$$

KJ dodá průměrný tepelný výkon 44,9 kWt, ze kterého se využije 5 kWt pro ohřev TUV a 39,9 kWt k vytápění. Průměrná tepelná účinnost KJ je 57 % a průměrná celková účinnost je 85 %.

Z diagramu spotřeby tepelného výkonu pro vytápění budovy plyne, že během zimních měsíců je zapotřebí vyrobit 150 GJ tepla v kotli.

### Výpočet roční spotřeby paliva pro kotel:

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Teplo vyrobené v kotli:	$Q_k = 150 \text{ GJ}$
	Výhřevnost paliva:	$Q_i^r = 42 \text{ MJ/kg}$
	Hustota paliva:	$\rho = 0,86 \text{ kg/m}^3$
	Účinnost kotle:	$\eta_k = 0,9$
	Roční spotřeba paliva:	$MP_k = ?$

#### Výpočet:

$$MP_k = \frac{Q_k}{Q_i^r \times \rho \times \eta_k} = \frac{150000}{42 \times 0,86 \times 0,9} = 4600 \text{ l / rok}$$

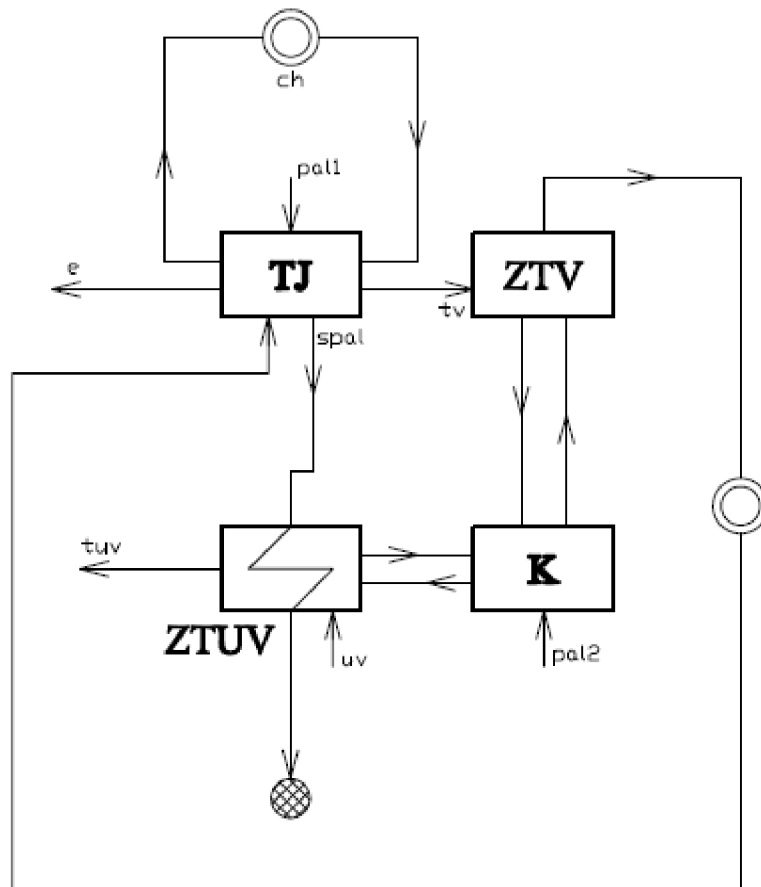
Kotel spotřebuje ročně přibližně 5000 litrů paliva.

Při realizaci varianty č.3 je zapotřebí k zajištění energetických potřeb budovy přibližně 74 000 litrů paliva ročně. Potřebný tepelný výkon je z velké části zajištěn teplem z KJ. Kotel slouží k pokrytí vysokých tepelných nároků v zimním období, případně také jako záložní zdroj tepla. Ve výše uvedených bilancích není započítán elektrický příkon potřebný pro chod kompresorové chladicí jednotky, jelikož je její podíl v bilanci zanedbatelný.

### 3.3.4 Varianta č.4

#### 3.3.4.1 Popis varianty č.4

Elektřina, teplo a chlad pro klimatizaci jsou vyráběny v trigenerační jednotce, která využívá jako palivo topný olej. Voda ohřátá v TJ proudí do zásobníku teplé vody, odkud napájí otopnou soustavu. V případě potřeby je voda dohřívána v kotli. Z otopné soustavy se voda vrací k ohřevu zpět do TJ. Spaliny z KJ ohřívají v zásobníku TUV, která je v případě potřeby dohřívána v kotli.



Obr.7 Schéma uspořádání varianty č.4

TJ – Trigenerační jednotka

ZTV – Zásobník teplé vody

K – Kotel

ZTUV – Zásobník TUV

pal1 – Přívod paliva do elektrocentrály

pal2 – Přívod paliva do kotle

e – Elektrická energie pro napájení budovy

spal – Spaliny z trigenerační jednotky

uv – Užitková voda určená k ohřevu

tuv – Teplá užitková voda

tv – Teplá voda pro vytápění

### 3.3.4.2 Energetická bilance varianty č.4

Energetická bilance varianty č.4 je shodná s energetickou bilancí varianty č.3. Teplo využití k absorpčnímu chlazení v letních měsících neovlivňuje celkovou spotřebu paliva. Absorpční oběh připojený ke KJ je řešen v kapitole č.4.

### 3.3.5 Oddělená výroba elektřiny a tepla

Pro ekonomické vyhodnocení jednotlivých variant řešení energetické soběstačnosti je nutné určit spotřebu paliva při oddělené výrobě energií. Potom je možné provést objektivní vyhodnocení úspor, které jednotlivé varianty přinášejí. Předpokládá se vytápění a ohřev TUV pomocí kotle, výroba elektřiny pomocí elektrocentrály. Teplo ze spalovacího procesu v elektrocentrále není dále využito.

#### Výpočet roční spotřeby paliva při oddělené výrobě energií:

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Teplo pro vytápění:	$Q_t = 893 \text{ GJ/rok}$
	Teplo pro ohřev TUV:	$Q_v = 158 \text{ GJ/rok}$
	Hustota paliva:	$\rho = 0,86 \text{ kg/m}^3$
	Účinnost kotle:	$\eta_k = 0,9$
	Roční spotřeba paliva elektrocentrály:	$MP_e = 69\,000 \text{ l/rok}$
	Celková roční spotřeba paliva:	$MP = ?$

#### Výpočet:

$$MP = \frac{Q_t + Q_v}{Q_i^r \times \rho \times \eta_k} + MP_e = \frac{893000 + 158000}{42 \times 0,86 \times 0,9} + 69000 = 101300 \text{ l/rok}$$

Pro oddělenou výrobu elektřiny a tepla v budově je zapotřebí přibližně 101000 litrů paliva ročně.

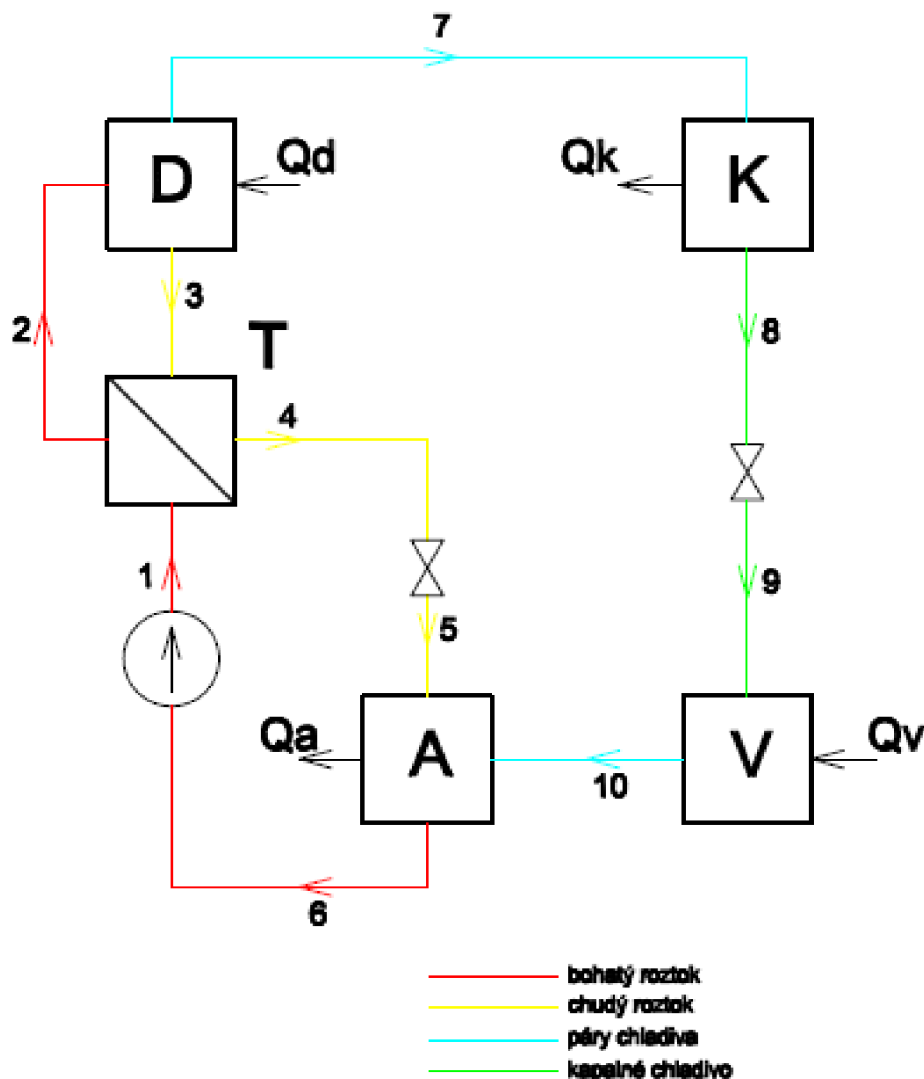


## 4. Absorpční chlazení

Základní popis absorpčního chladičského okruhu obsahuje kapitola 2. Zde jsou řešeny základní materiálové a tepelné bilance absorpčních oběhů využitých u 2. a 4. varianty krytí energetických potřeb odlehle budovy. Také jsou zde navrženy možnosti odvodu nízkopotenciálního odpadního tepla z absorpčního oběhu.

### 4.1 Výpočet absorpčního okruhu

Výpočet je proveden podle schématu jednostupňového absorpčního oběhu se zařazeným tepelným výměníkem, který zvyšuje účinnost cyklu (chladičský faktor COP). Cílem výpočtu je určit COP a hmotnostní toky médií v oběhu. Pro výpočet jsou voleny a určeny základní parametry jednotlivých částí oběhu. Jednotlivé stavy pracovních médií jsou odečteny z parních tabulek,  $p - t$  diagramu a  $i - \xi$  diagramu pro roztok  $H_2O + LiBr$  [4].  $\xi$  značí koncentraci chladiva. Výpočet je proveden pomocí poměrných tepel vztahovaných k 1 kg chladiva.



Obr.8 Schéma jednostupňového absorpčního oběhu

K	– Kondenzátor
V	– Výparník
A	– Absorbér
D	– Desorbér
T	– Tepelný výměník

#### 4.1.1 Výpočet absorpčního okruhu varianty č.2

Teplu pro pohon oběhu je získáno chlazením spalin z elektrocentrály. Vzhledem k teplotě spalin je možné využití dvoustupňového absorpčního oběhu. S ohledem na definované energetické požadavky budovy a ekonomické hledisko je volen oběh jednostupňový.

#### Výpočet COP a hmotnostních toků:

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Tepelný výkon vstupující do D:	$Q_d = 40 \text{ kWt}$
	Teplota topné vody vstupující do D:	$t_{d,in} = 95^\circ\text{C}$
	Teplota topné vody vystupující z D:	$t_{d,out} = 75^\circ\text{C}$
	Teplota chladicí vody vstupující do K:	$t_{k,in} = 30^\circ\text{C}$
	Teplota chladicí vody vystupující z K:	$t_{k,out} = 38^\circ\text{C}$
	Teplota chlazené vody vstupující do V:	$t_{v,in} = 12^\circ\text{C}$
	Teplota chlazené vody vystupující z V:	$t_{v,out} = 6^\circ\text{C}$
	Teplota kondenzace vodní páry v K:	$t_k = 45^\circ\text{C}$
	Teplota vypařování vody ve V:	$t_v = 3^\circ\text{C}$
	Teplota chudého roztoku vycházejícího z D:	$t_3 = 90^\circ\text{C}$
	Teplota bohatého roztoku vycházejícího z A:	$t_6 = 35^\circ\text{C}$
	Tabulková hodnota kondenzačního tlaku v K:	$p_k = 9594 \text{ Pa}$
	Tabulková hodnota výparného tlaku ve V:	$p_v = 758 \text{ Pa}$
	Koncentrace páry chladiva:	$\xi_c = 1$
	Koncentrace chladiva v bohatém roztoku:	$\xi_b = ?$
	Koncentrace chladiva v chudém roztoku:	$\xi_{ch} = ?$
	Poměrné obíhající množství bohatého roztoku:	$f = ?$
	Poměrné obíhající množství chudého roztoku:	$f - 1 = ?$
	Pomocná hodnota $i_B$ :	$i_B = ?$
	Poměrné teplo T:	$q_t = ?$
	Poměrné teplo V:	$q_v = ?$
	Poměrné teplo A:	$q_a = ?$
	Poměrné teplo K:	$q_k = ?$
	Poměrné teplo D:	$q_d = ?$
	Chladicí faktor:	$\text{COP} = ?$
	Obíhající množství chladiva:	$m_c = ?$
	Obíhající množství bohatého roztoku:	$m_b = ?$
	Obíhající množství chudého roztoku:	$m_{ch} = ?$
	Tepelný výkon vstupující do V:	$P_v = ?$
	Tepelný výkon vystupující z K:	$P_k = ?$
	Tepelný výkon vystupující z A:	$P_a = ?$

**Výpočet:**

- Bod 3: dáno  $p_k$  a  $t_3 \Rightarrow \xi_{ch} = 0,39 \text{ kg H}_2\text{O/kg}$   
 $i_3 = -65 \text{ kJ/kg}$

- Bod 1 a 6: dáno  $p_v$  a  $t_6 \Rightarrow \xi_b = 0,42 \text{ kg H}_2\text{O/kg}$   
 $i_1 = i_6 = -170 \text{ kJ/kg}$

$$f = \frac{m_b}{m_c} = \frac{\xi_c - \xi_{ch}}{\xi_b - \xi_{ch}} = \frac{1 - 0,39}{0,42 - 0,39} = 20,3$$

$$f - 1 = 19,3$$

- Bod 4 a 5: dáno  $\xi_{ch} \Rightarrow t_4 = t_5 = t_6 + 5^\circ\text{C} = 35 + 5 = 40^\circ\text{C}$   
 $i_4 = i_5 = -160 \text{ kJ/kg}$

$$i_B = i_4 - f \times (i_4 - i_6) = -160 - 20,3 \times (-160 - (-170)) = -363 \text{ kJ/kg}$$

$$q_t = (f - 1) \times (i_3 - i_4) = 19,3 \times (-65 - (-160)) = 1833 \text{ kJ/kg}$$

- Bod 2: dáno  $\xi_b \Rightarrow i_2 = i_1 + \frac{q_t}{f} = -170 + \frac{1833}{20,3} = -80 \text{ kJ/kg}$   
 $t_2 = 81^\circ\text{C}$

- Bod 10: dáno  $p_v$  pro sytou páru  $\Rightarrow i_{10} = 2506 \text{ kJ/kg}$

- Bod 7: dáno  $p_k$  pro sytou páru  $\Rightarrow i_7 = 2582 \text{ kJ/kg}$

- Bod 8 a 9: dáno  $p_k$  pro sytou vodu  $\Rightarrow i_8 = i_9 = 188 \text{ kJ/kg}$

- Poměrná tepla:  $q_v = i_{10} - i_9 = 2506 - 188 = 2318 \text{ kJ/kg}$

$$q_k = i_7 - i_8 = 2582 - 188 = 2394 \text{ kJ/kg}$$

$$q_a = i_{10} - i_B = 2506 - (-363) = 2869 \text{ kJ/kg}$$

$$q_d = i_7 - i_B = 2582 - (-363) = 2945 \text{ kJ/kg}$$

- Kontrola energetické bilance:  $q_v + q_d = q_k + q_a$   
 $2318 + 2945 = 2394 + 2869$   
 $5263 = 5263$

- Chladicí faktor:  $COP = \frac{q_v}{q_d} = \frac{2318}{2945} = 0,78$

- Obíhající množství chladiva:

$$m_c = \frac{Q_d}{q_d} = \frac{40}{2945} = 0,0136 \text{ kg/s}$$

- Obíhající množství bohatého roztoku:

$$m_b = m_c \times f = 0,0136 \times 20,3 = 0,276 \text{ kg/s}$$

- Obíhající množství chudého roztoku:

$$m_{ch} = m_c \times (f - 1) = 0,0136 \times 19,3 = 0,263 \text{ kg/s}$$

- Tepelný výkon vstupující do V:

$$P_v = m_c \times q_v = 0,0136 \times 2318 = 31,5 \text{ kWt}$$

- Tepelný výkon vystupující z K:

$$P_k = m_c \times q_k = 0,0136 \times 2394 = 32,5 \text{ kWt}$$

- Tepelný výkon vystupující z A:

$$P_a = m_c \times q_a = 0,0136 \times 2869 = 39 \text{ kWt}$$

Teoretický chladicí faktor absorpčního chladicího oběhu pro variantu č.2. COP = 0,78 a cirkuluje v něm 0,0136 kg/s chladiva. Do výparníku vstupuje tepelný výkon 31,5 kWt, který je chladícím výkonem celého oběhu.

#### 4.1.2 Výpočet absorpčního okruhu varianty č.4

Teplo pro pohon oběhu je získáváno z KJ. Vzhledem k teplotě vody ohřívané KJ je volen jednostupňový absorpční chladicí oběh.

### Výpočet COP a hmotnostních toků:

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Tepelný výkon vstupující do D:	$Q_d = 75 \text{ kWt}$
	Teplota topné vody vstupující do D:	$t_{d,in} = 90^\circ\text{C}$
	Teplota topné vody vystupující z D:	$t_{d,out} = 70^\circ\text{C}$
	Teplota chladicí vody vstupující do K:	$t_{k,in} = 30^\circ\text{C}$
	Teplota chladicí vody vystupující z K:	$t_{k,out} = 38^\circ\text{C}$
	Teplota chlazené vody vstupující do V:	$t_{v,in} = 12^\circ\text{C}$
	Teplota chlazené vody vystupující z V:	$t_{v,out} = 6^\circ\text{C}$
	Teplota kondenzace vodní páry v K:	$t_k = 45^\circ\text{C}$
	Teplota vypařování vody ve V:	$t_v = 3^\circ\text{C}$
	Teplota chudého roztoku vycházejícího z D:	$t_3 = 85^\circ\text{C}$
	Teplota bohatého roztoku vycházejícího z A:	$t_6 = 35^\circ\text{C}$
	Tabulková hodnota kondenzačního tlaku v K:	$p_k = 9594 \text{ Pa}$
	Tabulková hodnota výparného tlaku ve V:	$p_v = 758 \text{ Pa}$
	Koncentrace páry chladiva:	$\xi_c = 1$
	Koncentrace chladiva v bohatém roztoku:	$\xi_b = ?$
	Koncentrace chladiva v chudém roztoku:	$\xi_{ch} = ?$
	Poměrné obíhající množství bohatého roztoku:	$f = ?$
	Poměrné obíhající množství chudého roztoku:	$f - 1 = ?$
	Pomocná hodnota $i_B$ :	$i_B = ?$
	Poměrné teplo T:	$q_t = ?$
	Poměrné teplo V:	$q_v = ?$
	Poměrné teplo A:	$q_a = ?$
	Poměrné teplo K:	$q_k = ?$
	Poměrné teplo D:	$q_d = ?$
	Chladicí faktor:	$\text{COP} = ?$
	Obíhající množství chladiva:	$m_c = ?$
	Obíhající množství bohatého roztoku:	$m_b = ?$
	Obíhající množství chudého roztoku:	$m_{ch} = ?$
	Tepelný výkon vstupující do V:	$P_v = ?$
	Tepelný výkon vystupující z K:	$P_k = ?$
	Tepelný výkon vystupující z A:	$P_a = ?$

### Výpočet:

- Bod 3: dáno  $p_k$  a  $t_3 \Rightarrow \xi_{ch} = 0,40 \text{ kg H}_2\text{O/kg}$   
 $i_3 = -75 \text{ kJ/kg}$

- Bod 1 a 6: dáno  $p_v$  a  $t_6 \Rightarrow \xi_b = 0,42 \text{ kg H}_2\text{O/kg}$   
 $i_1 = i_6 = -170 \text{ kJ/kg}$

$$f = \frac{m_b}{m_c} = \frac{\xi_c - \xi_{ch}}{\xi_b - \xi_{ch}} = \frac{1 - 0,40}{0,42 - 0,40} = 30$$

$$f - 1 = 29$$

- Bod 4 a 5: dáno  $\xi_{ch}$   $\Rightarrow$   $t_4 = t_5 = t_6 + 5^\circ\text{C} = 35 + 5 = 40^\circ\text{C}$   
 $i_4 = i_5 = -160 \text{ kJ/kg}$

$$i_B = i_4 - f \times (i_4 - i_6) = -160 - 30 \times (-160 - (-170)) = -460 \text{ kJ/kg}$$

$$q_t = (f - 1) \times (i_3 - i_4) = 29 \times (-75 - (-160)) = 2465 \text{ kJ/kg}$$

- Bod 2: dáno  $\xi_b$   $\Rightarrow$   $i_2 = i_1 + \frac{q_t}{f} = -170 + \frac{2465}{30} = -88 \text{ kJ/kg}$   
 $t_2 = 78^\circ\text{C}$

- Bod 10: dáno  $p_v$  pro sytou páru  $\Rightarrow$   $i_{10} = 2506 \text{ kJ/kg}$

- Bod 7: dáno  $p_k$  pro sytou páru  $\Rightarrow$   $i_7 = 2582 \text{ kJ/kg}$

- Bod 8 a 9: dáno  $p_k$  pro sytou vodu  $\Rightarrow$   $i_8 = i_9 = 188 \text{ kJ/kg}$

- Poměrná tepla:  $q_v = i_{10} - i_9 = 2506 - 188 = 2318 \text{ kJ/kg}$

$$q_k = i_7 - i_8 = 2582 - 188 = 2394 \text{ kJ/kg}$$

$$q_a = i_{10} - i_B = 2506 - (-460) = 2966 \text{ kJ/kg}$$

$$q_d = i_7 - i_B = 2582 - (-460) = 3042 \text{ kJ/kg}$$

- Kontrola energetické bilance:  $q_v + q_d = q_k + q_a$   
 $2318 + 3042 = 2394 + 2966$   
 $5360 = 5360$

- Chladicí faktor:  $COP = \frac{q_v}{q_d} = \frac{2318}{3042} = 0,76$

- Obíhající množství chladiva:

$$m_c = \frac{Q_d}{q_d} = \frac{75}{3042} = 0,0247 \text{ kg/s}$$

- Obíhající množství bohatého roztoku:

$$m_b = m_c \times f = 0,0247 \times 30 = 0,741 \text{ kg/s}$$

- Obíhající množství chudého roztoku:

$$m_{ch} = m_c \times (f - 1) = 0,0247 \times 29 = 0,716 \text{ kg/s}$$

- Tepelný výkon vstupující do V:

$$P_v = m_c \times q_v = 0,0247 \times 2318 = 57,3 \text{ kWt}$$

- Tepelný výkon vystupující z K:

$$P_k = m_c \times q_k = 0,0247 \times 2394 = 59,1 \text{ kWt}$$

- Tepelný výkon vystupující z A:

$$P_a = m_c \times q_a = 0,0247 \times 2966 = 73,2 \text{ kWt}$$

Teoretický chladicí faktor absorpčního chladicího oběhu pro variantu č.4  $COP = 0,76$  a cirkuluje v něm  $0,0247 \text{ kg/s}$  chladiva. Do výparníku vstupuje tepelný výkon  $57,3 \text{ kWt}$ , který je chladicím výkonem celého oběhu.

## 4.2 Odvod odpadního tepla z absorpčního okruhu

Pro zajištění chodu absorpční chladicí jednotky je nezbytně nutné zajistit odvod nízkopotenciálního tepla z kondenzátoru a absorberu. Toho lze dosáhnout více způsoby, záleží však na možnostech v dané lokalitě, ve které se budova nachází a na charakteru budovy. Možné způsoby odvodu tepla jsou tyto:

- Průtočné chlazení
- Užitečné využití odpadního tepla
- Chladicí věž

Průtočné chlazení je možné zajistit, pokud se v blízkosti objektu nachází vodní tok nebo vodní plocha. Teplo je odváděno přes tepelný výměník, který však musí mít vzhledem k nízkým teplotním rozdílům relativně velké teplosměnné plochy.

Pokud je soběstačný odlehlý objekt určen k rekreaci, je možné nízkopotenciální teplo využít například k ohřevu vody v bazénu. Dle charakteru budovy je možné využít odpadní teplo k různým účelům, musí však být odváděno vždy.

Univerzální možností odvodu tepla je použití chladicí věže. V našem případě je zvolena výparová chladicí věž. V ní je chlazená voda rozprášena na výplň, která takto zajistí velké fázové rozhraní voda/vzduch. Vzduch je do věže vháněn pomocí ventilátoru. Elektrický příkon elektromotoru ventilátoru je vzhledem k chladicímu výkonu zanedbatelný. Chladicího efektu je dosaženo hlavně odpařením malé části chlazené vody a také přestupem tepla z vody do vzduchu. Ochlazená voda se vrací ze dna věže zpět k chlazení absorpčního chladicího okruhu. Ve výparové věži je možné vodu ochladit na teplotu nižší, než je teplota vzduchu, záleží však na jeho relativní vlhkosti.

Ve výpočtu parametrů chladicích věží pro naše konkrétní dva absorpční oběhy je řešen průtok chladicí věží a odpar, který je zapotřebí v průběhu chlazení doplňovat. Návrh je proveden pro extrémní podmínky při teplotě vzduchu  $30 \text{ °C}$  a relativní vlhkosti vzduchu  $80\%$ . Rozměry chladicí věže jsou dostatečně předdimenzovány, aby byl zajištěn potřebný chladicí výkon i za velmi nepříznivých klimatických podmínek.

### Výpočet parametrů výparové chladicí věže pro variantu č.2:

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Teplota vody na vstupu:	$t_{in} = 38^{\circ}\text{C}$
	Teplota vody na výstupu:	$t_{out} = 30^{\circ}\text{C}$
	Měrná tepelná kapacita vody:	$c_p = 4,2 \text{ kJ/kgK}$
	Měrné výparné teplo vody:	$l_v = 2300 \text{ kJ/kg}$
	Chladicí výkon:	$P_c = 71,5 \text{ kWt}$
	Hustota vzduchu ( $30^{\circ}\text{C}$ ):	$\rho = 1,1 \text{ kg/m}^3$
	Měrná vlhkost vzduchu ( $\varphi = 80\%$ ):	$x_1 = 21,5 \text{ g/kg}_{sv}$
	Měrná vlhkost nasyceného vzduchu:	$x_2 = 27 \text{ g/kg}_{sv}$
	Průtok chlazené vody:	$M = ?$
	Odpar chlazené vody:	$Modp = ?$
	Poměrná ztráta odparem:	$ztr = ?$
	Průtok vzduchu věží:	$Mv = ?$

### Výpočet:

$$M = \frac{P_c}{c_p \times (t_{in} - t_{out})} = \frac{71,5}{4,2 \times (38 - 30)} = 2,13 \text{ kg/s}$$

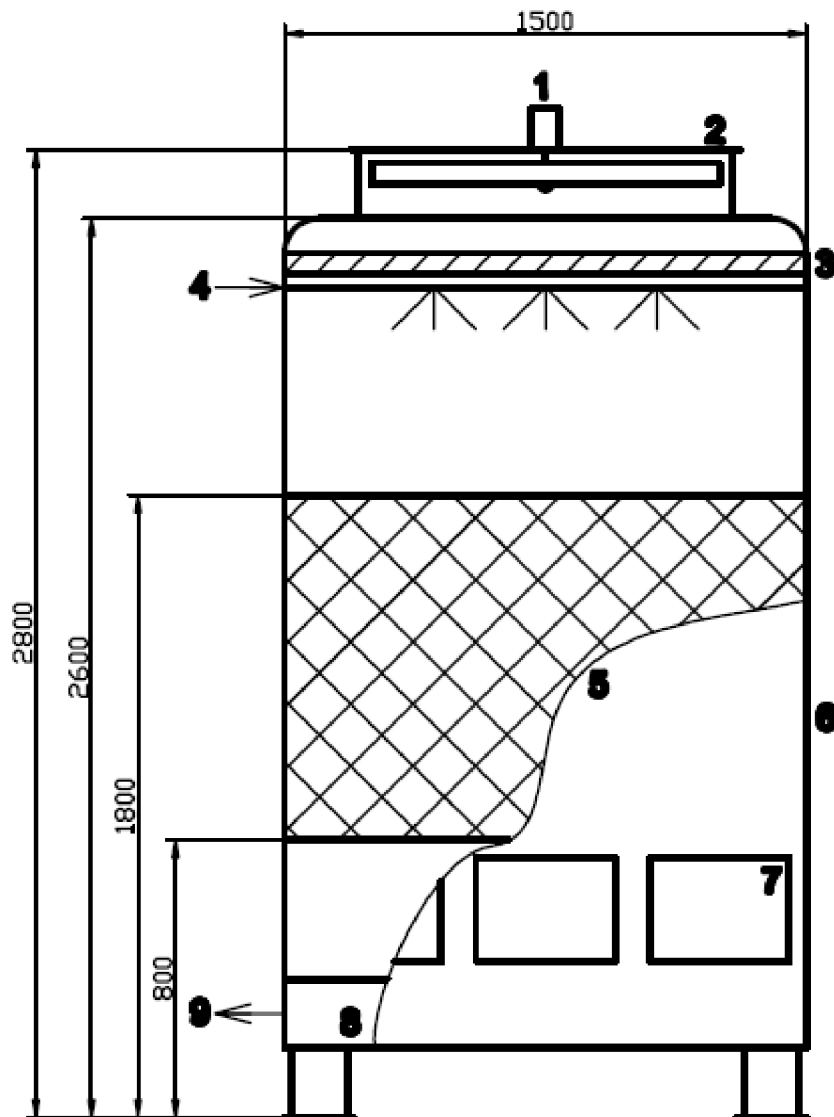
$$Modp = \frac{P_c}{l_v} = \frac{71,5}{2300} = 0,031 \text{ kg/s} = 111 \text{ kg/h}$$

$$ztr = \frac{Modp}{M} \times 100 = \frac{0,031}{2,13} \times 100 = 1,5\%$$

$$Mv = \frac{Modp}{x_2 - x_1} \times \frac{1}{\rho} = \frac{31}{27 - 21,5} \times \frac{1}{1,1} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Chladicí věž vychladí každou sekundu 2,13 kg vody. Při chlazení vzniká ztráta odparem přibližně 1,5 %. Podobnou hodnotu má ztráta únosem kapek chladicím vzduchem. Proto je zapotřebí dodávat do okruhu přibližně 200 kg vody každou hodinu provozu při nominálním výkonu. Chlazení je zajištěno i při vysoké teplotě a vlhkosti vzduchu. Při těchto podmínkách je průtok vzduchu přes chladicí věž až  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ .





Obr.9. Schéma chladicí věže pro variantu č.2

- 1 – Axiální ventilátor s elektromotorem  $P = 0,5 \text{ kW}$
- 2 – Ochranná mříž
- 3 – Odlučovač vlhkosti
- 4 – Vstup chlazené vody
- 5 – Výplň chladicí věže
- 6 – Nádoba chladicí věže
- 7 – Vstupní otvory pro vzduch
- 8 – Zásobní nádrž na vodu
- 9 – Výstup chlazené vody

**Výpočet parametrů výparové chladicí věže pro variantu č.4:**

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Teplota vody na vstupu:	$t_{in} = 38^{\circ}\text{C}$
	Teplota vody na výstupu:	$t_{out} = 30^{\circ}\text{C}$
	Měrná tepelná kapacita vody:	$c_p = 4,2 \text{ kJ/kgK}$
	Měrné výparné teplo vody:	$l_v = 2300 \text{ kJ/kg}$
	Chladicí výkon:	$P_c = 132,3 \text{ kWt}$
	Hustota vzduchu ( $30^{\circ}\text{C}$ ):	$\rho = 1,1 \text{ kg/m}^3$
	Měrná vlhkost vzduchu ( $\varphi = 80\%$ ):	$x_1 = 21,5 \text{ g/kg}_{sv}$
	Měrná vlhkost nasyceného vzduchu:	$x_2 = 27 \text{ g/kg}_{sv}$
	Průtok chlazené vody:	$M = ?$
	Odpar chlazené vody:	$Modp = ?$
Poměrná ztráta odparem:	$ztr = ?$	
Průtok vzduchu věží:	$Mv = ?$	

**Výpočet:**

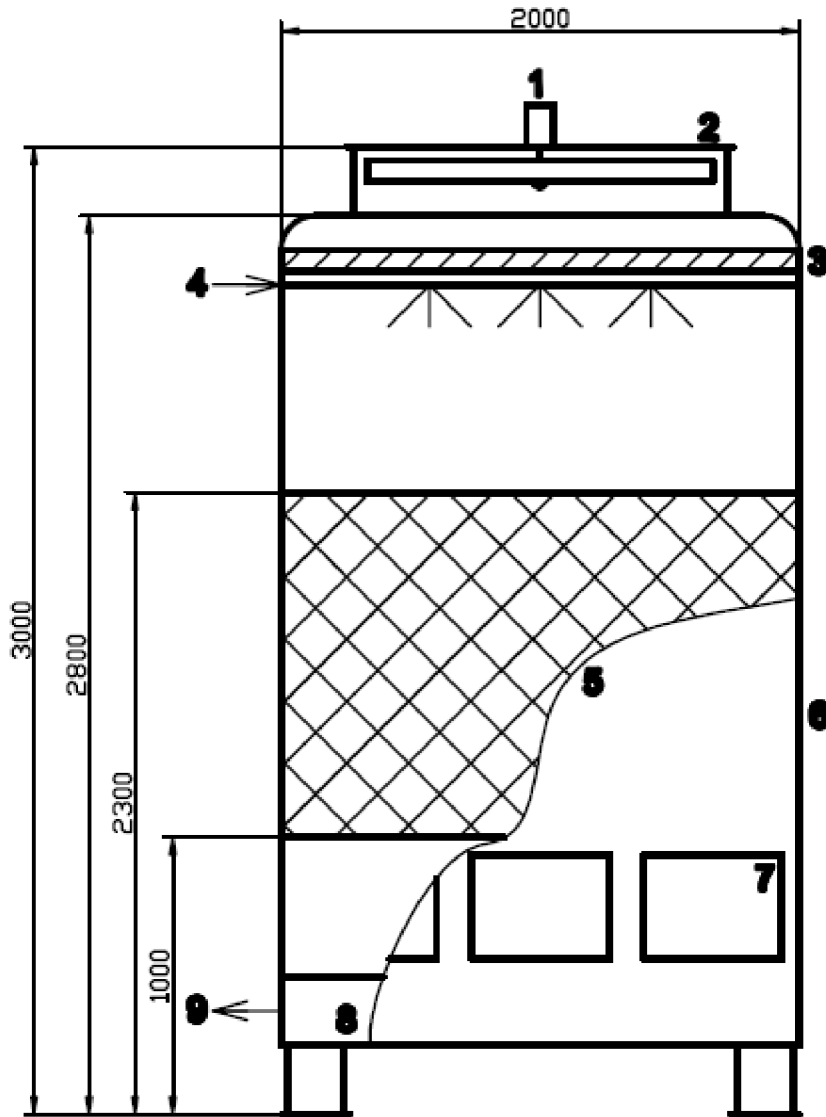
$$M = \frac{P_c}{c_p \times (t_{in} - t_{out})} = \frac{132,3}{4,2 \times (38 - 30)} = 3,94 \text{ kg/s}$$

$$Modp = \frac{P_c}{l_v} = \frac{132,3}{2300} = 0,057 \text{ kg/s} = 206 \text{ kg/h}$$

$$ztr = \frac{Modp}{M} \times 100 = \frac{0,057}{3,94} \times 100 = 1,5\%$$

$$Mv = \frac{Modp}{x_2 - x_1} \times \frac{1}{\rho} = \frac{57}{27 - 21,5} \times \frac{1}{1,1} = 9,5 \text{ m}^3/\text{s}$$

Chladicí věž vychladí každou sekundu 3,94 kg vody. Při chlazení vzniká ztráta odparem přibližně 1,5 %. Podobnou hodnotu má ztráta únosem kapek chladicím vzduchem. Proto je zapotřebí dodávat do okruhu přibližně 400 kg vody každou hodinu provozu při nominálním výkonu. Chlazení je zajištěno i při vysoké teplotě a vlhkosti vzduchu. Při těchto podmínkách je průtok vzduchu přes chladicí věž až 9,5 m<sup>3</sup>/s.



Obr.10. Schéma chladicí věže pro variantu č.4

- 1 – Axiální ventilátor s elektromotorem  $P = 1 \text{ kW}$
- 2 – Ochranná mříž
- 3 – Odlučovač vlhkosti
- 4 – Vstup chlazené vody
- 5 – Výplň chladicí věže
- 6 – Nádoba chladicí věže
- 7 – Vstupní otvory pro vzduch
- 8 – Zásobní nádrž na vodu
- 9 – Výstup chlazené vody

## **5. Technicko – ekonomické zhodnocení navržených variant krytí energetických potřeb**

Pro výběr nejvhodnější varianty je nutné provést vyhodnocení finančních toků při pořízení a provozu jednotlivých variant krytí energetických potřeb budovy. Zařízení pracují v ostrovním provozu pro vlastní spotřebu, proto není definována doba návratnosti. Jelikož je množství vyrobené energie dáno, je nejvhodnější varianta zvolena podle nejnižších ročních nákladů.

### **5.1 Investiční a provozní náklady**

Náklady pro zajištění energetických potřeb jsou rozděleny na náklady investiční a provozní. Náklady investiční  $N_i$  v sobě zahrnují náklady:

#### **Projektové náklady $N_{i,prj}$ :**

- Náklady na vypracování projektu a analýz
- Náklady na zaškolení obsluhy
- Další náklady

#### **Pořizovací náklady $N_{i,po}$ :**

- Náklady na palivové hospodářství
- Náklady na pořízení hlavních a pomocných zařízení
- Náklady na řídicí a regulační zařízení

#### **Instalační náklady $N_{i,zap}$ :**

- Náklady na instalaci a zprovoznění

Náklady provozní  $N_p$  jsou vzhledem k ostrovnímu provozu a k proměnnému zatížení zařízení vztaženy na rok provozu. Lze uvažovat tyto provozní náklady  $N_p$ :

#### **Palivové náklady $N_{p,al}$ :**

- Náklady na koupi paliva
- Náklady na dopravu paliva

#### **Náklady na opravy a údržbu $N_{u,o}$ :**

- Náklady na pravidelnou údržbu včetně generálních oprav
- Náklady na mimořádné opravy

### **Materiálové náklady Nmat:**

- Náklady na maziva a látky nutné pro provoz

### **Další náklady Nost:**

- Administrativní náklady, pojištění apod.

## **5.2 Výběr ekonomicky nejvýhodnější varianty zajištění energetické soběstačnosti budovy**

Ekonomicky nejvýhodnější je varianta, při jejíž instalaci a provozu jsou nejnižší celkové roční náklady  $N_{c,r}$ . Předpokládá se, že veškeré investiční náklady jsou uhrazeny jednorázově. Předpokládaná životnost je 30 let. Podíl jednotlivých investičních a provozních nákladů na výrobu elektřiny a tepla je obtížně určitelný, jejich výroba je provázána.

Zvlášť jsou srovnány náklady na výrobu chladu kompresorovým a absorpčním chlazením. Předpokládá se, že chlazení je v provozu 200 hodin ročně.

### **Výpočet celkových ročních nákladů při oddělené výrobě energií:**

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Náklady na pořízení elektrocentrál:	$N_{i,el} = 300\ 000\ \text{Kč}$
	Náklady na pořízení kotle:	$N_{i,k} = 60\ 000\ \text{Kč}$
	Náklady na pořízení KCHJ:	$N_{i,kch} = 100\ 000\ \text{Kč}$
	Náklady na vybudování palivového hospodářství:	$N_{i,ph} = 1\ 000\ 000\ \text{Kč}$
	Náklady na pořízení pomocných zařízení:	$N_{i,pom} = 50\ 000\ \text{Kč}$
	Náklady projektové:	$N_{i,prj} = 150\ 000\ \text{Kč}$
	Náklady na regulaci:	$N_{i,reg} = 100\ 000\ \text{Kč}$
	Náklady na instalaci a zprovoznění:	$N_{i,zap} = 100\ 000\ \text{Kč}$
	Cena paliva:	$n_{pal} = 15\ \text{Kč/l}$
	Roční spotřeba paliva:	$MP = 101\ 000\ \text{l/rok}$
	Roční náklady na údržbu a opravy:	$N_{u,o} = 150\ 000\ \text{Kč/rok}$
	Roční materiálové náklady:	$N_{mat} = 40\ 000\ \text{Kč/rok}$
	Roční provozní náklady KCHJ:	$N_{kch} = 10\ 000\ \text{Kč}$
	Další roční náklady:	$N_{ost} = 50\ 000\ \text{Kč/rok}$
	Doba životnosti:	$\tau = 30\ \text{let}$
	Investiční náklady:	$N_i = ?$
	Roční palivové náklady:	$N_{pal} = ?$
	Roční provozní náklady:	$N_p = ?$
	Celkové roční náklady:	$N_{c,r} = ?$
	Celkové roční náklady pro zajištění chlazení:	$N_{ch,r} = ?$

**Výpočet:**

$$\begin{aligned} Ni &= Ni,el + Ni,k + Ni,kch + Ni,ph + Ni,pom + Ni,prj + Ni,reg + Ni,zap = \\ &= 300000 + 60000 + 100000 + 1000000 + 50000 + 150000 + 100000 + 100000 = \\ &= 1860000 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$N_{pal} = MP \times n_{pal} = 101000 \times 15 = 1515000 \text{ Kč / rok}$$

$$\begin{aligned} N_p &= N_{pal} + N_{u,o} + N_{mat} + N_{ost} = \\ &= 1515000 + 150000 + 40000 + 50000 = 1755000 \text{ Kč / rok} \end{aligned}$$

$$N_{c,r} = \frac{Ni}{\tau} + N_p = \frac{1860000}{30} + 1755000 = 1817000 \text{ Kč / rok}$$

$$N_{ch,r} = \frac{Ni,kch}{\tau} + N_{kch} = \frac{100000}{30} + 10000 = 13300 \text{ Kč / rok}$$

Při oddělené výrobě energií činí celkové roční náklady 1 817 000 Kč/rok. Roční náklady na kompresorové chlazení jsou 13 300 Kč/rok. Celkové investiční náklady pro variantu oddělené výroby činí 1 860 000 Kč.

**Výpočet celkových ročních nákladů při realizaci varianty č.1:**

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Náklady na pořízení elektrocentrál:	$Ni,el = 300\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na pořízení kotle:	$Ni,k = 60\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na pořízení KCHJ:	$Ni,kch = 100\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na vybudování palivového hospodářství:	$Ni,ph = 1\,000\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na pořízení pomocných zařízení:	$Ni,pom = 250\,000 \text{ Kč}$
	Náklady projektové:	$Ni,prj = 200\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na regulaci:	$Ni,reg = 200\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na instalaci a zprovoznění:	$Ni,zap = 200\,000 \text{ Kč}$
	Cena paliva:	$n_{pal} = 15 \text{ Kč/l}$
	Roční spotřeba paliva:	$MP = 80\,000 \text{ l/rok}$
	Roční náklady na údržbu a opravy:	$N_{u,o} = 200\,000 \text{ Kč/rok}$
	Roční materiálové náklady:	$N_{mat} = 50\,000 \text{ Kč/rok}$
	Roční provozní náklady KCHJ:	$N_{kch} = 10\,000 \text{ Kč}$
	Další roční náklady:	$N_{ost} = 80\,000 \text{ Kč/rok}$
	Doba životnosti:	$\tau = 30 \text{ let}$

Investiční náklady:	$N_i = ?$
Roční palivové náklady:	$N_{pal} = ?$
Roční provozní náklady:	$N_p = ?$
Celkové roční náklady:	$N_{c,r} = ?$
Celkové roční náklady pro zajištění chlazení:	$N_{ch,r} = ?$

### Výpočet:

$$\begin{aligned} N_i &= N_{i,el} + N_{i,k} + N_{i,kch} + N_{i,ph} + N_{i,pom} + N_{i,prj} + N_{i,reg} + N_{i,zap} = \\ &= 300000 + 60000 + 100000 + 1000000 + 250000 + 200000 + 200000 + 200000 = \\ &= 2310000 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$N_{pal} = MP \times n_{pal} = 80000 \times 15 = 1200000 \text{ Kč / rok}$$

$$\begin{aligned} N_p &= N_{pal} + N_{u,o} + N_{mat} + N_{ost} = \\ &= 1200000 + 200000 + 50000 + 80000 = 1530000 \text{ Kč / rok} \end{aligned}$$

$$N_{c,r} = \frac{N_i}{\tau} + N_p = \frac{2310000}{30} + 1530000 = 1607000 \text{ Kč / rok}$$

$$N_{ch,r} = \frac{N_{i,kch}}{\tau} + N_{kch} = \frac{100000}{30} + 10000 = 13300 \text{ Kč / rok}$$

Při realizaci varianty č.1 činí celkové roční náklady 1 607 000 Kč/rok. Roční náklady na kompresorové chlazení jsou 13 300 Kč/rok. Celkové investiční náklady pro variantu č.1 činí 2 310 000 Kč.

### Výpočet celkových ročních nákladů při realizaci varianty č.2:

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Náklady na pořízení elektrocentrál:	$N_{i,el} = 300\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na pořízení kotle:	$N_{i,k} = 60\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na pořízení ACHJ:	$N_{i,ach} = 400\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na pořízení chladicí věže:	$N_{i,cv} = 50\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na vybudování palivového hospodářství:	$N_{i,ph} = 1\,000\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na pořízení pomocných zařízení:	$N_{i,pom} = 300\,000 \text{ Kč}$
	Náklady projektové:	$N_{i,prj} = 200\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na regulaci:	$N_{i,reg} = 250\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na instalaci a zprovoznění:	$N_{i,zap} = 250\,000 \text{ Kč}$
	Cena paliva:	$n_{pal} = 15 \text{ Kč/l}$
	Roční spotřeba paliva:	$MP = 80\,000 \text{ l/rok}$
	Roční náklady na údržbu a opravy:	$N_{u,o} = 220\,000 \text{ Kč/rok}$
	Roční materiálové náklady:	$N_{mat} = 50\,000 \text{ Kč/rok}$

Roční provozní náklady ACHJ:	Nach = 8 000 Kč
Další roční náklady:	Nost = 80 000 Kč/rok
Doba životnosti:	$\tau = 30$ let
Investiční náklady:	$N_i = ?$
Roční palivové náklady:	$N_{pal} = ?$
Roční provozní náklady:	$N_p = ?$
Celkové roční náklady:	$N_{c,r} = ?$
Celkové roční náklady pro zajištění chlazení:	$N_{ch,r} = ?$

### Výpočet:

$$N_i = N_{i,el} + N_{i,k} + N_{i,ach} + N_{i,cv} + N_{i,ph} + N_{i,pom} + N_{i,prj} + N_{i,reg} + N_{i,zap} = 300000 + 60000 + 400000 + 50000 + 1000000 + 300000 + 200000 + 250000 + 250000 = 2810000 \text{ Kč}$$

$$N_{pal} = MP \times n_{pal} = 80000 \times 15 = 1200000 \text{ Kč / rok}$$

$$N_p = N_{pal} + N_{u,o} + N_{mat} + N_{ost} = 1200000 + 220000 + 50000 + 80000 = 1550000 \text{ Kč / rok}$$

$$N_{c,r} = \frac{N_i}{\tau} + N_p = \frac{2810000}{30} + 1550000 = 1644000 \text{ Kč / rok}$$

$$N_{ch,r} = \frac{N_{i,ach} + N_{i,cv}}{\tau} + N_{ach} = \frac{400000 + 50000}{30} + 8000 = 23000 \text{ Kč / rok}$$

Při realizaci varianty č.2 činí celkové roční náklady 1 644 000 Kč/rok. Roční náklady na absorpční chlazení jsou 23 000 Kč/rok. Celkové investiční náklady pro variantu č.2 činí 2 810 000 Kč.

### Výpočet celkových ročních nákladů při realizaci varianty č.3:

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Náklady na pořízení KJ:	$N_{i,kj} = 2\,000\,000$ Kč
	Náklady na pořízení kotle:	$N_{i,k} = 60\,000$ Kč
	Náklady na pořízení KCHJ:	$N_{i,kch} = 100\,000$ Kč
	Náklady na vybudování palivového hospodářství:	$N_{i,ph} = 1\,000\,000$ Kč
	Náklady na pořízení pomocných zařízení:	$N_{i,pom} = 200\,000$ Kč
	Náklady projektové:	$N_{i,prj} = 150\,000$ Kč
	Náklady na regulaci:	$N_{i,reg} = 200\,000$ Kč
	Náklady na instalaci a zprovoznění:	$N_{i,zap} = 200\,000$ Kč
	Cena paliva:	$n_{pal} = 15$ Kč/l
	Roční spotřeba paliva:	$MP = 74\,000$ l/rok
	Roční náklady na údržbu a opravy:	$N_{u,o} = 250\,000$ Kč/rok



Roční materiálové náklady:	$N_{mat} = 50\,000 \text{ Kč/rok}$
Roční provozní náklady KCHJ:	$N_{kch} = 10\,000 \text{ Kč}$
Další roční náklady:	$N_{ost} = 80\,000 \text{ Kč/rok}$
Doba životnosti:	$\tau = 30 \text{ let}$
Investiční náklady:	$N_i = ?$
Roční palivové náklady:	$N_{pal} = ?$
Roční provozní náklady:	$N_p = ?$
Celkové roční náklady:	$N_{c,r} = ?$
Celkové roční náklady pro zajištění chlazení:	$N_{ch,r} = ?$

### Výpočet:

$$\begin{aligned}
 N_i &= N_{i,kj} + N_{i,k} + N_{i,kch} + N_{i,ph} + N_{i,pom} + N_{i,prj} + N_{i,reg} + N_{i,zap} = \\
 &= 2000000 + 60000 + 100000 + 1000000 + 200000 + 150000 + 200000 + 200000 = \\
 &= 3910000 \text{ Kč}
 \end{aligned}$$

$$N_{pal} = MP \times n_{pal} = 74000 \times 15 = 1110000 \text{ Kč / rok}$$

$$\begin{aligned}
 N_p &= N_{pal} + N_{u,o} + N_{mat} + N_{ost} = \\
 &= 1110000 + 250000 + 50000 + 80000 = 1490000 \text{ Kč / rok}
 \end{aligned}$$

$$N_{c,r} = \frac{N_i}{\tau} + N_p = \frac{3910000}{30} + 1490000 = 1620000 \text{ Kč / rok}$$

$$N_{ch,r} = \frac{N_{i,kch}}{\tau} + N_{kch} = \frac{100000}{30} + 10000 = 13300 \text{ Kč / rok}$$

Při realizaci varianty č.3 činí celkové roční náklady 1 620 000 Kč/rok. Roční náklady na kompresorové chlazení jsou 13 300 Kč/rok. Celkové investiční náklady pro variantu č.3 činí 3 910 000 Kč.

### Výpočet celkových ročních nákladů při realizaci varianty č.4:

<b>Zvolené hodnoty:</b>	Náklady na pořízení KJ:	$N_{i,kj} = 300\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na pořízení kotle:	$N_{i,k} = 60\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na pořízení ACHJ:	$N_{i,ach} = 600\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na pořízení chladicí věže:	$N_{i,cv} = 80\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na vybudování palivového hospodářství:	$N_{i,ph} = 1\,000\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na pořízení pomocných zařízení:	$N_{i,pom} = 200\,000 \text{ Kč}$
	Náklady projektové:	$N_{i,prj} = 200\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na regulaci:	$N_{i,reg} = 250\,000 \text{ Kč}$
	Náklady na instalaci a zprovoznění:	$N_{i,zap} = 250\,000 \text{ Kč}$

Cena paliva:	$n_{pal} = 15 \text{ Kč/l}$
Roční spotřeba paliva:	$MP = 74\,000 \text{ l/rok}$
Roční náklady na údržbu a opravy:	$Nu,o = 250\,000 \text{ Kč/rok}$
Roční materiálové náklady:	$Nmat = 50\,000 \text{ Kč/rok}$
Roční provozní náklady ACHJ:	$Nach = 10\,000 \text{ Kč}$
Další roční náklady:	$Nost = 80\,000 \text{ Kč/rok}$
Doba životnosti:	$\tau = 30 \text{ let}$
Investiční náklady:	$Ni = ?$
Roční palivové náklady:	$Npal = ?$
Roční provozní náklady:	$Np = ?$
Celkové roční náklady:	$Nc,r = ?$
Celkové roční náklady pro zajištění chlazení:	$Nch,r = ?$

### Výpočet:

$$Ni = Ni,kj + Ni,k + Ni,ach + Ni,cv + Ni,ph + Ni,pom + Ni,prj + Ni,reg + Ni,zap = 2000000 + 60000 + 600000 + 80000 + 1000000 + 200000 + 200000 + 250000 + 250000 = 4640000 \text{ Kč}$$

$$Npal = MP \times n_{pal} = 74000 \times 15 = 1110000 \text{ Kč / rok}$$

$$Np = Npal + Nu,o + Nmat + Nost = 1110000 + 250000 + 50000 + 80000 = 1490000 \text{ Kč / rok}$$

$$Nc,r = \frac{Ni}{\tau} + Np = \frac{4640000}{30} + 1490000 = 1645000 \text{ Kč / rok}$$

$$Nch,r = \frac{Ni,ach + Ni,cv}{\tau} + Nach = \frac{600000 + 80000}{30} + 10000 = 32700 \text{ Kč / rok}$$

Při realizaci varianty č.4 činí celkové roční náklady 1 645 000 Kč/rok. Roční náklady na absorpční chlazení jsou 32 700 Kč/rok. Celkové investiční náklady pro variantu č.4 činí 4 640 000 Kč.

Z ekonomického hlediska je nejvýhodnější realizace varianty č.1. Z investičního hlediska má tato varianta nejvýhodnější poměr mezi investičními a provozními náklady. Při nízké roční době provozu je ekonomicky nevýhodné nasazení absorpčního chlazení pro účely klimatizace.

Náklady se budou výrazně lišit v závislosti na vzdálenosti budovy od civilizace a inženýrských sítí. S rostoucí vzdáleností se budou více promítat do investičních a provozních nákladů náklady na dopravu zařízení a paliva.

## 6. Závěr

V této diplomové práci jsou řešeny možnosti energetického zásobování odlehých budov, které není možné připojit k elektrizační soustavě a inženýrským sítím. První část práce popisuje způsoby kombinované výroby energií. V energetice je KVET realizována mnoha způsoby, z nichž každý má své výhody a nevýhody. Z ekonomického a ekologického hlediska je obecně KVET společensky přínosná při jakýchkoliv instalovaných výkonech za předpokladu, že se jedná o výrobu energií konkurenceschopnou bez dotací a nařízených minimálních výkupních cen.

Dále je řešen ostrovní provoz energetických zdrojů pro budovu s definovanou spotřebou energií. Byly pro ni vypracovány čtyři varianty krytí energetických potřeb za využití kombinované výroby energií. Tyto varianty jsou srovnány s oddělenou výrobou energií. Pro zvolenou budovu je nejvhodnější varianta č.1, u které je výroba elektřiny zajištěna elektrocentrálou. Výroba tepla je zajištěna chlazením spalín z této elektrocentrály v kombinaci s kotlem. Potřebný chlad pro klimatizaci produkuje kompresorová chladicí jednotka.

Ostrovní výroba energií je velmi finančně náročná z hlediska zřízení i provozu. Také regulace je komplikovaná z důvodu nerovnoměrné spotřeby elektřiny a tepla. Proto má smysl zřízení ostrovního provozu energetických zdrojů pouze v případě, pokud nelze potřeby budovy zajistit z vnější infrastruktury, nebo pokud by bylo toto připojení výrazně nákladnější.

Absorpční chlazení je perspektivním způsobem výroby chladu, zvláště při dlouhodobě rostoucích cenách energií. Pro jeho rentabilitu je však nutná dostatečně dlouhá roční doba provozu chladicí jednotky. Použití tohoto způsobu chlazení pro klimatizaci, která je v provozu pouze v letních měsících, je nevhodné.

Ekonomická analýza vychází z aktuálních cen a předpokládaných nákladů. V budoucnu se bude v dané problematice promítat změna cen paliv a zařízení, které jsou momentálně nižší z důvodů světové hospodářské recese. Lze předpokládat zvýšení cen paliv a stagnaci, či mírné zvýšení cen zařízení.

## Seznam použité literatury

- [1] J. Kadmožka, L. Ochrana; Teplárenství; 2001
- [2] E. Dvorský, P. Hejtmánková; Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie; 2005
- [3] Zdeněk Dvořák; Chladicí technika; 1971
- [4] Robert H. Perry; Perry's Chemical Engineers' Handbook; seventh edition; 1997
  
- [5] <http://www.tedom.cz>
- [6] <http://www.csgold.cz/extra-lehky-topny-olej.htm>
- [7] <http://www.silektro.cz>
- [8] <http://www.dakon.cz>
- [9] <http://www.veskom.cz>
- [10] <http://www.tenergobrnno.cz>
- [11] <http://www.cappo.cz/>
- [12] <http://www.sultrade.cz>

## Seznam použitých symbolů

ACHJ	- absorpční chladicí jednotka
COP	- chladicí faktor
KCHJ	- kompresorová chladicí jednotka
KJ	- kogenerační jednotka
KVET	- kombinovaná výroba elektřiny a tepla
TJ	- trigenerační jednotka
TOEL	- extra lehký topný olej
TUV	- teplá užitková voda