



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

# PRINCIPY KOGENERACE A JEJÍ UPLATNĚNÍ V BRNĚ

FUNDAMENTALS OF COGENERATION AND ITS APPLICATION IN BRNO

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

ZDENĚK KUBIŠ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ MARTINEC, Ph.D.

BRNO 2011



Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Zdeněk Kubiš

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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 bakalářské práce:

### **Principy kogenerace a její uplatnění v Brně**

v anglickém jazyce:

### **Fundamentals of cogeneration and its application in Brno**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Princip kogenerace jako způsobu kombinované výroby elektrické a tepelné energie je obecně známý, provozně aplikovaný a dlouhodobě využívaný. Formy kogenerace se mohou v konkrétních případech lišit především ve způsobu distribuce a užití vyrobené elektřiny i tepla. Město Brno jako vhodný příklad na pozadí dlouhodobých změn představuje typickou ukázkou rozvoje a používání kogenerace. V konečném důsledku používání kogenerace zároveň jako zdroje elektřiny a tepla je však ovlivněno skutečnou poptávkou a odběrem.

Cíle bakalářské práce:

Popis hlavních principů a uplatnění kogenerace.

Vyjádření způsobů aplikace kogenerace s ohledem na energetickou koncepci ČR.

Popis historického vývoje kogenerace ve městě Brně.

Charakteristika současného stavu kogenerace ve městě Brně.

Seznam odborné literatury:

Jaroslav Krbek, Zásobování teplem a kogenerace, ISBN 80-214-1347-6

Emil Dvorský, Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie, ISBN 80-7300-118-7

Jaroslav Krbek, Kogenerační jednotky - zřizování a provoz, ISBN 978-80-7328-151-9

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Martinec, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/11.

V Brně, dne 16.11.2010

L.S.



doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu



prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce pojednává o kogeneraci - kombinované výrobě elektrické a tepelné energie. Popisuje její hlavní principy a výhody. Představuje nejdůležitější druhy kogeneračních technologií s důrazem na zařízení velkého výkonu a shrnuje hlavní oblasti, ve kterých je možné kogeneraci uplatnit. Dále je uvedena Státní energetická koncepce České republiky v oblasti teplárenství. V poslední části se práce zabývá historií a současným stavem teplárenství v Brně a dává přehled o teplárenských zdrojích ve městě.

## **ABSTRACT**

The bachelor's thesis deals with the cogeneration – Combined Heat and Power. It describes its main principles and advantages. It presents the most important types of cogeneration technologies with an emphasis on high-power units and summarizes the main areas where the cogeneration can be applied. Further, the State Energy Policy of the Czech Republic in the heat production is introduced. In the last part, the thesis is concerned with the history and the current state of heat production in Brno and gives an overview of the heating stations in the city.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

kogenerace  
kogenerační jednotka  
Státní energetická koncepce  
historie teplárenství  
Brno

## **KEYWORDS**

cogeneration  
cogeneration unit  
State Energy Policy  
history of the heat production  
Brno



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KUBIŠ, Z. *Principy kogenerace a její uplatnění v Brně*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Martinec, Ph.D.





## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Principy kogenerace a její uplatnění v Brně* vypracoval samostatně, s využitím odborné literatury a zdrojů uvedených v poznámkách pod čarou a v seznamu na konci práce.

25. května 2011

---

Zdeněk Kubiš



## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce Ing. Jiřímu Martincovi, Ph.D. za jeho ochotu a cenné rady, které mi pomohly při vypracování.



# Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	<b>15</b>
<b>1 KOGENERACE</b> .....	<b>16</b>
1.1 Princip kogenerace .....	16
1.2 Důležité parametry pro hodnocení KVET .....	16
1.3 Výhody kogenerace .....	17
1.4 Porovnání odděleného způsobu výroby elektřiny a tepla s KVET .....	18
<b>2 DRUHY KOGENERAČNÍCH TECHNOLOGIÍ</b> .....	<b>19</b>
2.1 Zařízení kogenerační jednotky .....	19
2.2 Kogenerační jednotky velkého výkonu .....	20
2.2.1 KOGENERAČNÍ JEDNOTKY S PARNÍMI TURBÍNAMI .....	20
2.2.2 KOGENERAČNÍ JEDNOTKY SE SPALOVACÍMI TURBÍNAMI .....	21
2.2.3 PAROPLYNOVÁ ZAŘÍZENÍ.....	22
2.3 Vybraná kogenerační zařízení menšího výkonu.....	23
2.3.1 KOGENERAČNÍ JEDNOTKY SE SPALOVACÍMI MOTORY .....	23
2.3.2 SPECIÁLNÍ KOGENERAČNÍ ZAŘÍZENÍ .....	24
<b>3 HLAVNÍ OBLASTI UPLATNĚNÍ KOGENERACE</b> .....	<b>25</b>
3.1 Tepelné zdroje centralizovaného zásobování teplem .....	25
3.2 Kondenzační elektrárny s možností dodávky tepla .....	25
3.3 Objekty občanské vybavenosti .....	26
3.4 Průmyslové podniky .....	26
3.5 Čistírny odpadních vod.....	27
<b>4 STÁTNÍ ENERGETICKÁ KONCEPCE ČESKÉ REPUBLIKY</b> .....	<b>28</b>
4.1 Koncepce rozvoje teplárenství.....	28
4.2 Nástroje k zajištění cílů definovaných pro oblast teplárenství .....	30
4.3 Referenční energetický scénář.....	31
<b>5 POHLED NA CELKOVÝ VÝVOJ TEPLÁRENSTVÍ V ČESKÉ REPUBLICĚ ...</b>	<b>33</b>
<b>6 POČÁTKY TEPLÁRENSTVÍ VE MĚSTĚ BRNĚ</b> .....	<b>34</b>
<b>7 SOUČASNÝ STAV TEPLÁRENSTVÍ VE MĚSTĚ BRNĚ</b> .....	<b>36</b>
7.1 Teplárny Brno.....	36
7.2 Teplárenské zdroje ve městě.....	36
<b>ZÁVĚR</b> .....	<b>39</b>
<b>Seznam použitých zdrojů</b> .....	<b>41</b>
<b>Seznam použitých zkratk a symbolů</b> .....	<b>43</b>



## ÚVOD

Nacházíme se v době, kdy je nutné řešit mnoho problémů celosvětového rázu. Jedná se zejména o globální oteplování, stále se tenčící zásoby nerostných surovin a exponenciální růst počtu obyvatel spojený se zvyšující se spotřební náročností. Těmito faktory by se měla dnešní moderní a technicky vyspělá společnost, především Evropská unie, USA a v současnosti také rychle se rozvíjející Asie, intenzivně zabývat. Právě tyto země jsou největšími producenty skleníkových plynů, které vznikají spalováním fosilních paliv. Tyto energetické zdroje jsou však neobnovitelné a je jasné, že se dříve či později vyčerpají. Postupně ale mohou být nahrazovány ekologickou jadernou energií nebo obnovitelnými zdroji energie. Tento přechod je však časově velmi náročný a v současnosti je důležité zajistit alespoň co největší úspory při výrobě energií z fosilních paliv.

Úspora paliva při současném snížení zatížení životního prostředí se dá dosáhnout pomocí kogenerace. Jedná se o kombinovanou výrobu elektrické energie a užitečného tepla v jednom zařízení. Tento způsob výroby energie patří mezi nejúčinnější, je proto nezbytná jeho dostatečná podpora. Kogenerace by podle mého názoru měla být podporována na úkor v poslední době tolik proklamované solární energie a fotovoltaických panelů, které jsou jen „továrnami na peníze“, jež hyzdí naši přírodu. I z tohoto důvodu jsem téma kogenerace zpracoval v mé práci a věřím, že se v budoucnosti dostane i do povědomí laické veřejnosti.

Podpora kogenerace je v České republice vyjádřena ve Státní energetické koncepci, kterou vydalo MPO ČR. Dále je zakotvena v zákoně č. 458/2000 Sb. (energetický zákon), podle něhož má výrobce elektřiny využívající kombinovanou výrobu elektřiny a tepla právo k přednostnímu zajištění dopravy elektřiny přenosovou soustavou a nárok na příspěvek k ceně elektřiny takto vyrobené.<sup>1</sup>

Kogenerace je podporována i v Evropské unii a to v podobě Směrnice Evropského parlamentu a Rady EU 2004/8/ES. Mezi státy, které nejvíce využívají kombinovanou výrobu, patří Dánsko, s celkovým podílem vyrobené elektřiny kombinovaným způsobem asi 45 %, následuje Finsko s 35 %. Česká republika a naše sousední státy se pohybují okolo 15 %, což stále patří k evropskému nadprůměru.<sup>2</sup>

---

<sup>1</sup> Česko. Úplné znění zákona č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), jak vyplývá z pozdějších změn. In *Sbírka zákonů České republiky*. 2000, částka 95, s. 4470-4548. Dostupný také z WWW: <<http://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/ViewFile.aspx?type=c&id=5550>>. ISSN 1211-1244.

<sup>2</sup> Eurostat [online]. 2011 [cit. 2011-05-21]. Combined heat and power generation. Dostupné z WWW: <<http://epp.eurostat.ec.europa.eu/tgm/mapToolClosed.do?tab=map&init=1&plugin=1&language=en&pcode=tsi-en030&toolbox=types>>.

# 1 KOGENERACE

Elektrická energie a teplo jsou dva různé druhy energie, jejichž potřeba je v moderní společnosti neoddiskutovatelná. Elektrická energie je považována za nejkvalitnější druh energie. Při její výrobě ale dochází ke značným ztrátám, tedy k neefektivnímu využívání primárních energetických zdrojů (PEZ). Tepelná energie je energií méně hodnotnou, protože její použití je omezené a lze ji jen těžko přeměňovat na kvalitnější druh energie. Na druhou stranu je její získávání z PEZ relativně jednoduché a levné, mnohdy se ale takto zbytečně ztrácí schopnost konat pomocí uvolněné energie práci a vyrábět tak všestranně využitelnou elektrickou energii. Oproti oddělenému způsobu výroby elektřiny a tepla se daleko většího využití PEZ dosáhne pomocí kogenerace, která umožňuje vyrábět elektrickou energii a teplo současně. [1]

## 1.1 Princip kogenerace

Kogenerace, též známá jako teplárenská výroba, je kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie (zkratka KVET). Hlavním cílem je maximalizace zisku energie obsažené v palivu a dosažení co největší účinnosti při výrobě elektřiny. Proces této přeměny probíhá v kogenerační jednotce (KJ); nejprve se využije tepelná energie uvolněná z paliva pro pohon elektrického generátoru, a vzniklé odpadní teplo je potom využito pro další účely. [1]

Každá kogenerační jednotka je součástí kogeneračního systému, který zajišťuje výrobu energií a jejich následnou dopravu ke spotřebitelům. Podle rozlehlosti a vzdálenosti mezi výrobou a spotřebou energií se tyto systémy dělí na centralizované (dálkové) a decentralizované (lokální).

V centralizovaných kogeneračních systémech se elektrická energie a teplo vyrábí ve velkých energetických zdrojích (teplárnách). Doprava energií probíhá na velké vzdálenosti a zvláště u rozsáhlé tepelné sítě výrazně zvyšuje celkové náklady.

Decentralizované kogenerační systémy využívají pro výrobu elektrické energie a tepla menších kogeneračních jednotek. Ty jsou umístovány přímo v místě spotřeby a nevyžadují tak nákladnou tepelnou síť. [2]

## 1.2 Důležité parametry pro hodnocení KVET

*Modul teplárenské výroby elektrické energie (teplárenský modul)  $e$*

Teplárenský modul představuje jeden z nejdůležitějších parametrů pro hodnocení kogeneračních zařízení. Jedná se o poměr elektrického a tepelného výkonu, neboli podíl elektrické a tepelné energie vyrobené v KJ. Lze ho vyjádřit rovnicí:

$$e = \frac{E}{Q} \quad [-].$$

*Celková tepelná účinnost  $\eta_{tc}$*

Celková tepelná účinnost je poměr elektrické a tepelné energie vyrobené v KJ ku energii přivedené v palivu. Je dána vztahem:

$$\eta_{tc} = \frac{E + Q}{Q_{pal}} \quad [-],$$



kde:

$E$  [GJ] – elektrická energie vyrobená v KJ,

$Q$  [GJ] – tepelná energie vyrobená v KJ,

$Q_{\text{pal}}$  [GJ] – energie přivedená v palivu. [1]

Druhy kogeneračních zařízení	Teplárenský modul	Celková účinnost
Parní turbíny	0,1 – 0,4	75 – 88 %
Spalovací turbíny	0,4 – 1,2	75 – 90 %
Paroplynová zařízení	0,8 – 2,0	85 – 90 %
Spalovací motory	0,5 – 1,1	75 – 92 %

**Tab. 1.1** Teplárenský modul a celková účinnost u různých druhů kogeneračních zařízení [1]

### *Kvalita tepelné energie*

Rozhodujícím kritériem pro kvalitu tepelné energie vystupující z KJ je teplota, podle níž lze získané teplo rozdělit na vysokopotenciální a nízkopotenciální (má nižší teplotu). Vysokopotenciální teplo lze využít pro průmyslové účely (např. vysoušecí procesy, tepelné zpracování, výroba páry apod.). Nízkopotenciální teplo je vhodné převážně pro ohřev vody pro teplárenské účely.

Nejběžnějšími teplonosnými médii jsou:

- nízkoteplotní voda o teplotě do 100 °C,
- vysokoteplotní voda o teplotě 150-200 °C,
- vodní pára,
- teplý vzduch. [2]

## 1.3 Výhody kogenerace

- Společná produkce elektrické a tepelné energie, která výrazným způsobem zvyšuje účinnost využití primárních energetických zdrojů (paliva),
- možnost umístění výroby blízko místa energetického využití, čímž se snižují ztráty vzniklé rozvodem energií a také náklady s tímto spojené,
- omezení znečištění životního prostředí,
- kogenerační jednotky mohou také sloužit jako nouzové zdroje elektrické energie v místech její nepřetržité spotřeby,
- použitím absorpčního chladiče lze vyrobené teplo použít i k výrobě chladu pro technologické účely nebo klimatizaci; potom se jedná o tzv. trigeneraci – společnou výrobu elektřiny, tepla a chladu. [2, 3]

## 1.4 Porovnání odděleného způsobu výroby elektřiny a tepla s KVET

Kombinovanou výrobou elektrické a tepelné energie, oproti oddělenému způsobu výroby, lze dosáhnout výrazně vyššího využití primárních energetických zdrojů. Tuto skutečnost je možné ukázat porovnáním obou způsobů výroby energií na následujícím příkladu.

V obou případech uvažujeme dodávku 1 GJ tepla spotřebiteli a současně také 0,22 MWh elektrické energie.

$$Q = 1 \text{ GJ}, E = 0,22 \text{ MWh} = 0,792 \text{ GJ}$$

Při odděleném způsobu výroby předpokládáme, že se elektřina vyrábí v kondenzační elektrárně spalující hnědé energetické uhlí a teplo v plynové výtopně. Účinnost výroby elektřiny je 33 % ( $\eta_{el} = 0,33$ ), účinnost výtopy 90 % ( $\eta_{výt} = 0,9$ ).

*Spotřeba tepla z paliva v elektrárně:*

$$Q_{el} = \frac{E}{\eta_{el}} = \frac{0,792}{0,33} = 2,4 \text{ GJ}$$

*Spotřeba tepla z paliva ve výtopně:*

$$Q_{výt} = \frac{Q}{\eta_{výt}} = \frac{1}{0,9} = 1,1 \text{ GJ}$$

Při kogeneračním způsobu výroby předpokládáme jako kogenerační zařízení spalovací turbínu s kotlem na odpadní teplo, které při celkové účinnosti 90 % ( $\eta_{kj} = 0,9$ ) vyrobí 1 GJ tepla a právě 0,22 MWh elektrické energie.

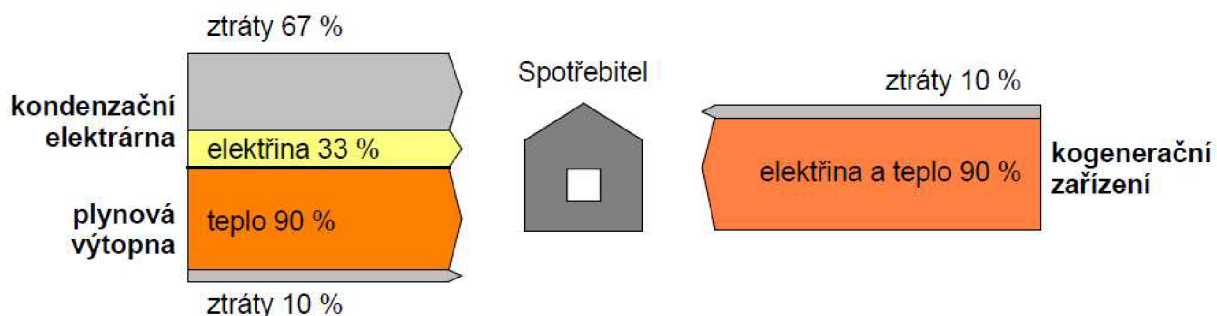
*Množství tepla spotřebované z paliva v kogeneračním zařízení:*

$$Q_{kj} = \frac{E + Q}{\eta_{kj}} = \frac{0,792 + 1}{0,9} = 2 \text{ GJ}$$

*Úspora tepla z paliva při kombinované výrobě elektřiny a tepla:*

$$Q_u = Q_{el} + Q_{výt} - Q_{kj} = 2,4 + 1,1 - 2 = 1,5 \text{ GJ}$$

Při odděleném způsobu výroby se k dané dodávce elektřiny a tepla spotřebuje celkem 3,5 GJ tepla z paliva (z PEZ). Použitím kogeneračního zařízení se ke stejné dodávce energií spotřebuje jen 2 GJ tepla. Úspora paliva z PEZ je tedy 1,5 GJ, což představuje asi 43 % celkové spotřeby při odděleném způsobu výroby. [1]



**Obr. 1.1** Porovnání odděleného způsobu výroby elektřiny a tepla s KVET

## 2 DRUHY KOGENERAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

Během posledních dvou desetiletí došlo k intenzivnímu vývoji v oblasti kogeneračních technologií. Také legislativní opatření jsou ve srovnání s minulostí daleko příznivější. Stát v současné době významně podporuje toto relativně nové a stále se rozvíjející odvětví energetiky. Tyto faktory vedly k vytvoření široké škály kogeneračních zařízení (jednotek), která jsou instalována přesně podle požadavků zákazníků, odběratelů energií. [1]

### 2.1 Zařízení kogenerační jednotky

Kogenerační jednotka se principiálně skládá z těchto základních částí:

- zařízení pro úpravu primárního zdroje energie (paliva),
- primární jednotky (motoru),
- zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie (elektrický generátor),
- zařízení pro rekuperaci tepelné energie (kotel nebo výměník tepla),
- kontrolního a řídicího systému.

*Zařízení pro úpravu primárního zdroje energie* upravuje parametry vstupní formy energie na hodnoty, se kterými pracuje primární jednotka. Úprava paliva může být založena na následujících požadavcích:

- zušlechtnění paliva,
- úpravy prvkového složení paliva,
- úpravy podmínek pro použití.

Zušlechtněním paliva se dosáhne zvýšení energie obsažené v jednotce paliva, případně zvýšení homogenizace paliva. Jelikož ale taková úprava paliva před vstupem do KJ představuje dodatečné náklady, je možné takto upravené palivo nakupovat přímo na trhu.

Úpravou prvkového složení se nejčastěji odstraňují nežádoucí příměsi v palivu (voda, CO<sub>2</sub>, pevné částice, síra) a zvyšuje se koncentrace reagujících prvků.

Úpravou podmínek pro použití se dosáhne optimálních podmínek pro dopravu paliva do KJ, případně se upravuje tlak a teplota paliva.

*Primární jednotka* je nejdůležitější částí kogenerační jednotky, má tedy největší vliv na celkové parametry KJ. Probíhá v ní transformace primární energie obsažené v palivu na energii elektrickou. Uvolněné nebo zbytkové teplo po transformaci lze dále efektivně využívat. Primární jednotkou může být tepelný motor (parní nebo plynová turbína, spalovací motor, Stirlingův motor, mikroturbína) nebo palivový článek (jednotka s přímou transformací).

*Elektrický generátor* přeměňuje mechanickou energii vyrobenou tepelným motorem na elektrickou. Generátory mohou být stejnosměrné nebo střídavé. Stejnosměrné generátory pracují samostatně do elektrické zátěže spotřebitele. Generátory střídavé mohou spolupracovat s distribuční sítí elektrické energie. V případě, kdy je nutné upravit parametry elektrické energie, se používá elektrický měnič.

*Zařízení pro rekuperaci tepelné energie* transformuje odváděný tepelný výkon z KJ na požadované parametry a formu pro další využití. [1, 2]

## 2.2 Kogenerační jednotky velkého výkonu

### 2.2.1 KOGENERAČNÍ JEDNOTKY S PARNÍMI TURBÍNAMI

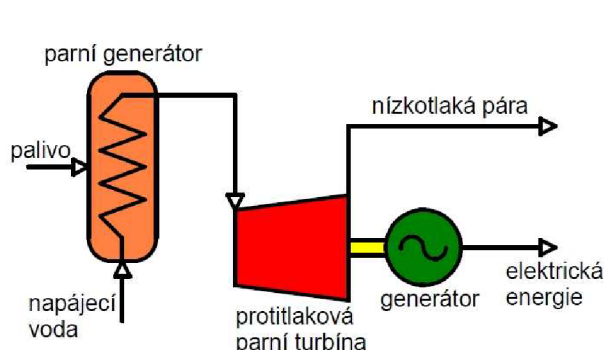
Parní turbíny se v kombinované výrobě elektřiny a tepla používají již dlouhou dobu. Podle způsobu odběru páry se dělí na turbíny protitlakové a kondenzační. Používané výkony se pohybují v rozmezí od 100 kW<sub>e</sub> do 250 MW<sub>e</sub>, celková účinnost dosahuje až 85 % (u protitlakových turbín). [1, 2]

#### Protitlakové turbíny

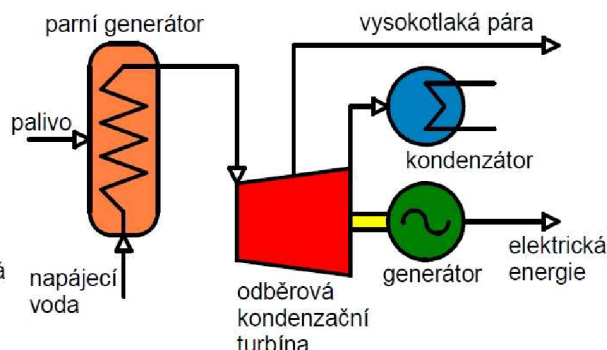
Tepelná energie se uvolňuje v kotli, kde se voda o vysokém tlaku přeměňuje na páru, nebo se přivádí z jiného zdroje (např. spalovací turbína v paroplynovém zapojení). Vyrobená pára expanduje v parní turbíně, která pohání elektrický generátor. Veškerá výstupní pára z turbíny se využívá pro dodávku tepla spotřebiteli. Pára je pro tyto účely odebírána na výstupu z turbíny, nebo v případě požadavku na vyšší teploty je nutné použít kombinaci s odběrovou turbínou. U parních protitlakových turbín nelze provádět výrobu elektrické energie bez dodávky tepla. [1, 2]

#### Kondenzační turbíny

U kondenzačních turbín se upřednostňuje výroba elektrické energie. Výstupní pára z turbíny je odváděna do kondenzátoru a nelze ji pro kogenerační účely dále použít. Tím se dosáhne maximalizace zisku elektrické energie, její výroba tedy není závislá na dodávce tepla. To však může být dodáváno odběrem páry v průběhu její expanze v turbíně, případně přímo na výstupu. [1, 2]



**Obr. 2.1** Schéma KJ s protitlakovou parní turbínou [2]



**Obr. 2.2** Schéma KJ s kondenzační parní turbínou [2]

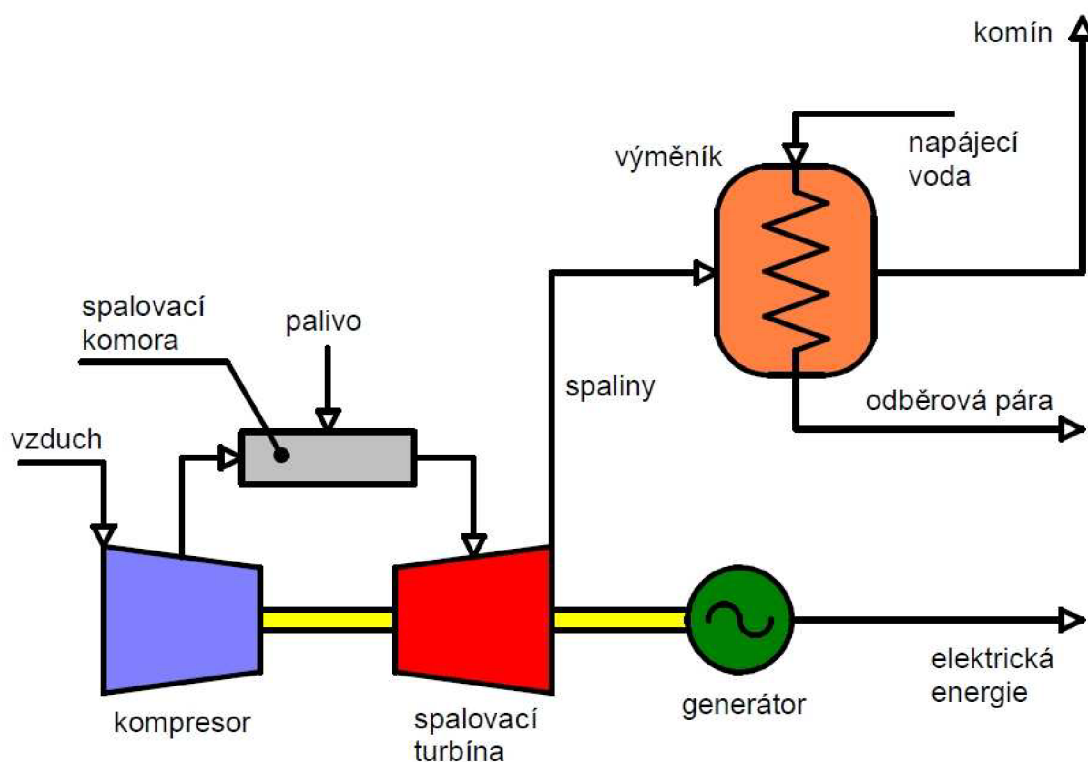
Výhody	Nevýhody
použitelné libovolné palivo	nízký poměr elektrického a tepelného výkonu
široké rozmezí výkonů	pomalé najíždění a změna výkonu
vysoká celková účinnost	vysoké investiční náklady
dlouhá životnost	složitost celého zařízení s velkými požadavky na zastavěnou plochu

**Tab. 2.1** Výhody a nevýhody parních turbín v kogeneraci [1]

## 2.2.2 KOGENERAČNÍ JEDNOTKY SE SPALOVACÍMI TURBÍNAMI

Spalovací (plynové) turbíny jsou vývojově mladší než turbíny parní, dnes jsou však nejrozšířenějším typem primárních jednotek kogeneračních zařízení. Výkony se pohybují v rozmezí od 500 kW<sub>e</sub> do 250 MW<sub>e</sub>, celková účinnost dosahuje 60-80 %.

Pracovní látkou je vzduch, který je kompresorem stlačován na požadovaný tlak a poté nasáván do spalovací komory. Zde získává svoji tepelnou energii smícháním se spaliny, které vznikají hořením přiváděného paliva. Následuje tlaková expanze v plynové turbíně, která přímo pohání kompresor. Zbytek výkonu je použit pro pohon elektrického generátoru. Vzniklé spaliny na výstupu z turbíny jsou vedeny do tepelného výměníku a následně dodávce tepla ke spotřebiteli, nebo mohou být využity v procesech umožňujících přímý kontakt se spaliny. Pro pokrytí špičkové potřeby elektrické energie bez současné dodávky tepla je vhodné instalovat za spalovací turbínu by-passový komín, který veškeré teplo odvádí do ovzduší. [1, 2]



Obr. 2.3 Schéma KJ se spalovací turbínou [2]

Výhody	Nevýhody
vysoká spolehlivost	požadavek na kvalitní a čisté palivo
výroba vysokopotenciálního tepla	horší účinnost při nízkém zatížení
rychlé najíždění a změna výkonu	hluk
nízké měrné investiční náklady	
malé požadavky na zastavěnou plochu	

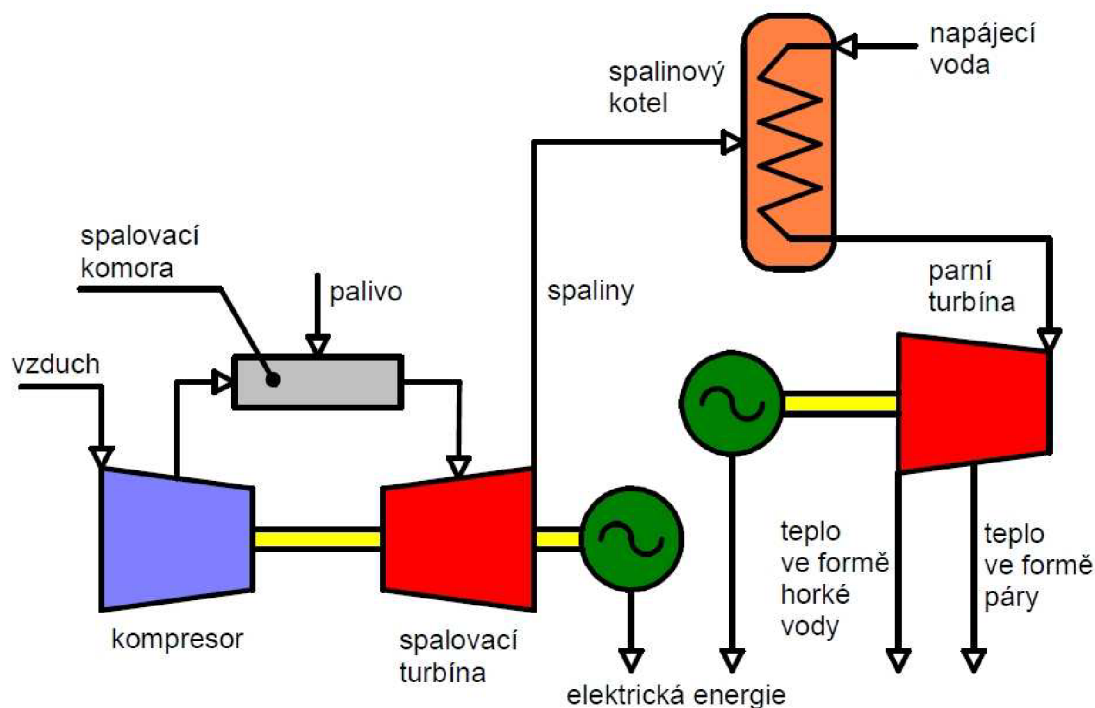
Tab. 2.2 Výhody a nevýhody spalovacích turbín v kogeneraci [1]

### 2.2.3 PAROPLYNOVÁ ZAŘÍZENÍ

Paroplynová kogenerační zařízení představují moderní zdroje elektrické energie a tepla, které maximálním způsobem využívají energii obsaženou v palivu. Jedná se o složitý komplex zahrnující pracovní okruhy spalovací a parní turbíny, který spojuje výhody obou dílčích prvků. Teplárny vybavené touto technologií patří k nejvýkonnějším, s celkovou účinností téměř 90 %.

Pracovní látkou jsou opět spaliny, které po expanzi ve spalovací turbíně vedou do spalínového kotle. Pára vyrobená v tomto kotli je použita k pohonu parní turbíny. Elektrická energie je tak vyráběna jak spalovací, tak i parní turbínou. Výstupní pára z parní turbíny je navíc dále využívána pro dodávky tepla ve formě páry nebo horké vody ke spotřebiteli.

Důležitou vlastností paroplynových zařízení je jejich vysoká flexibilita. Paroplynové teplárny jsou schopny rychle reagovat na potřebu elektrické energie a tím stabilizovat elektrizační soustavu. [1, 4]



**Obr. 2.4** Schéma paroplynového kogeneračního zdroje se spalovací turbínou [1]

Výhody ve srovnání se zdroji s parními turbínami	Výhody ve srovnání se zdroji se spalovacími turbínami
výrazně zvýšená výroba elektrické energie	vyšší výroba elektrické energie
větší provozní pružnost	snadnější optimalizace provozu
menší požadavky na zastavěnou plochu	
nižší měrné investiční náklady	

**Tab. 2.3** Výhody paroplynových kogeneračních zdrojů [1]

## 2.3 Vybraná kogenerační zařízení menšího výkonu

### 2.3.1 KOGENERAČNÍ JEDNOTKY SE SPALOVACÍMI MOTORY

Spalovací motory používané v kogeneraci pracují na základě klasických spalovacích motorů (zážehových, vznětových), převážně na plynná paliva (zemní plyn). Mechanická práce motoru je využita prostřednictvím generátoru k výrobě elektrické energie a odpadní teplo je využíváno pro topné účely. Toto teplo lze odebírat z výfukových spalin, chladicí vody motoru, mazacího oleje motoru a chlazení kompresoru spalovacího vzduchu, a nejčastěji je dodáváno ve formě teplé nebo horké vody.

Výkony se pohybují v rozmezí od 10 kW do 5 MW. Jednotky větších výkonů se většinou neinstalují, protože jsou umístovány v místě spotřeby tepla, které se využívá pouze pro vlastní potřebu. Největším dodavatelem kogeneračních jednotek v ČR je firma TEDOM a.s., která byla založena počátkem 90. let minulého století v Třebíči. [1, 2]

Výhody	Nevýhody
možnost rychlého najíždění a odstávky	požadavek na kvalitní a čisté palivo
vysoká účinnost i u menších jednotek	vysoké provozní náklady
kompaktnost, modulové uspořádání, malé prostorové nároky	hluk

**Tab. 2.4** Výhody a nevýhody spalovacích motorů v kogeneraci [4]



**Obr. 2.5** Kogenerační jednotka řady Cento s motorem TEDOM [5]

## 2.3.2 SPECIÁLNÍ KOGENERAČNÍ ZAŘÍZENÍ

### **Stirlingův motor**

Jedná se o pístový motor s vnějším spalováním. Od klasického spalovacího motoru se liší tím, že má dva vzájemně propojené zdvihové prostory s rozdílnou teplotou. Pracovní látka (obvykle inertní plyn) je střídavě přemísťována mezi horkým válcem (komprese) a studeným válcem (expanze). Tepelná energie je do okruhu přiváděna z vnějšího zdroje přes tepelný výměník. Teplo, které není využito pro pohon elektrického generátoru, je odváděno chladicí vodou ve studeném tepelném výměníku (chladiči).

Výkony se pohybují v rozmezí 10 kW až 1 MW. Díky vnějšímu přívodu tepla lze využít prakticky libovolné palivo, případně i odpadní teplo z technologických procesů. Nevýhodou je vyšší cena. V budoucnu lze Stirlingovy motory použít jako alternativu k hlučným jednotkám se spalovacími motory (např. v domácnostech). [2, 4]

### **Mikroturbíny**

Mikroturbíny jsou vysokootáčkové spalovací turbíny malého výkonu (25 – 250 kW). Nejčastější uspořádání je jednohřídelové – s kompresorem, turbínou a elektrickým generátorem. Protože mikroturbíny pracují s otáčkami až  $100\,000\text{ min}^{-1}$ , je nutné použití frekvenčního měniče, který upravuje parametry elektrické energie. Výfukové spaliny jsou využívány pro předehřev spalovacího vzduchu a k dodávce tepla ke spotřebiteli. [1, 2]

Mezi výhody kogeneračních jednotek s mikroturbínami patří jejich nízká hmotnost a vysoká provozní flexibilita. Nevýhodou je opět vysoká cena. [4]

### **Palivové články**

Kogenerační jednotky s palivovými články jsou schopny, na rozdíl od předchozích zařízení, přímo přeměňovat energii obsaženou v palivu na energii elektrickou. Jedná se o galvanické články, k jejichž elektrodám je přiváděno palivo (převážně vodík získaný ze zemního plynu) a okysličovadlo (kyslík ze vzduchu), a prostřednictvím exotermní reakce v elektrolytu vyrábí elektrickou energii za současného vzniku vody nebo vodní páry. [1]

Provoz palivových článků je relativně tichý, spolehlivý, s vysokou účinností pohybující se mezi 80-85 % a s minimálním vlivem na životní prostředí. V současnosti nejsou díky vysokým pořizovacím nákladům výrazně rozšířeny, s intenzivním výzkumem v této oblasti se však dá předpokládat, že si v budoucnu najdou široké uplatnění. [4]



### 3 HLAVNÍ OBLASTI UPLATNĚNÍ KOGENERACE

Oblast použití kogeneračních technologií je velmi široká. Kogenerační jednotkou lze v podstatě nahradit jakýkoliv zdroj tepla srovnatelného výkonu. Z ekonomického hlediska je však nejvýhodnější kogenerační jednotky instalovat do objektů s celoroční potřebou tepla.

Největší uplatnění naleznou v tepelných zdrojích centralizovaného zásobování teplem, především teplárnách, dále pak kondenzačních elektrárnách. V těchto zařízeních jsou instalovány kogenerační jednotky s největšími výkony (převážně parní a spalovací turbíny, paroplynová zařízení).

Další místa, kam lze s výhodou instalovat kogenerační jednotky, jsou průmyslové závody, čistírny odpadních vod, komunální výtopny, hotely a penziony, nemocnice, administrativní budovy, bazény, sportovní centra, ale také rodinné domky atd. V těchto objektech většinou postačují jednotky menšího výkonu – převážně se spalovacími motory. [1]

#### 3.1 Tepelné zdroje centralizovaného zásobování teplem

„Tento typ tepelných zdrojů je určen k dodávce tepla pro vytápění a přípravu TUV pro obyvatelstvo. Výkonový rozsah je velmi široký – od několika MW při zásobování menších sídlišť po mnoho desítek MW ve velkých městských aglomeracích. Vytápění trvá po dobu otopné sezóny, tj. 220 – 250 dnů v roce.“ [1, str. 60]

V České republice je v provozu relativně mnoho tepelných zdrojů centrálního zásobování teplem (CZT), jak ve výtopenském (produktem je pouze teplo), tak v teplárenském provedení. Většina z nich jako palivo používá hnědé, případně černé uhlí, roste podíl zemního plynu. V teplárenských zdrojích jsou jako kogenerační zařízení použity parní turbíny protitlakové i kondenzační s odběrem páry. U plynofikovaných zdrojů CZT je vhodné, podle velikosti maximální potřeby tepla, použít spalovací motory, spalovací turbíny nebo paroplynová zařízení (u největších soustav).

V současnosti se v ČR nové zdroje CZT téměř nebudují. Velký potenciál je pouze v oblasti komunálních plynových výtopen, které jsou vhodné pro instalaci nových kogeneračních jednotek, především se spalovacími motory. [1]

#### 3.2 Kondenzační elektrárny s možností dodávky tepla

Kogenerační způsob výroby elektřiny lze s výhodou použít také v kondenzačních elektrárnách, je však nutné, aby se v jejich dostupné vzdálenosti nacházel větší spotřebitel tepla. V současné době je již takto upravena většina kondenzačních elektráren v ČR. Nejstarší elektrárny tohoto typu byly rekonstruovány na teplárenskou výrobu výměnou kondenzačních turbín za parní turbíny protitlakové a odběrové. Mezi ně patří např. elektrárna Hodonín s dodávkou tepla do města, elektrárna Opatovice, která zásobuje dálkovými horkovody Pardubice a Hradec Králové, nebo elektrárna Mělník s dopravou tepla největším dálkovým horkovodem do Prahy. Do jiných starších kondenzačních elektráren byly instalovány výměňkové stanice vytápěných parou z odběrů stávajících kondenzačních turbín (elektrárny Tisová, Dětmorovice, Chvaletice atd.).

Vlastní náklady na samotnou rekonstrukci původních elektráren nejsou příliš vysoké, investičně náročná je však výstavba dálkových horkovodů, které významným způsobem

omezují tento způsob zásobování teplem. Celkový tepelný výkon při tomto způsobu kogenerační výroby přesahuje 3000 MW. [1]

### 3.3 Objekty občanské vybavenosti

#### Rodinné domy a menší komplexy obytných budov

Tyto objekty potřebují teplo pouze pro vytápění a přípravu TUV. Roční doba vytápění je poměrně malá a potřeba elektřiny vůči potřebě tepla je rovněž velmi malá. V souvislosti s těmito okolnostmi je instalace kogenerační jednotky vhodná pouze tehdy, je-li dlouhodobě garantován výhodný prodej elektřiny. Jako kogenerační zařízení mohou být použity především spalovací motory o malém výkonu, v budoucnu případně nové technologie jako jsou Stirlingovy motory, mikroturbíny a palivové články. [1]

#### Nemocnice

Potřeba elektrické energie a tepla je v nemocnicích relativně vysoká a rovnoměrná během dne i celého roku, a to i v letním období, kdy je využívána nejen pro výrobu TUV, ale i pro klimatizaci a chlazení. Lze tedy s výhodou použít i trigenerační technologii. Veškerá vyrobená elektrická energie zpravidla pokryje vlastní spotřebu nemocnice. Jednotky se spalovacími motory se synchronními generátory mohou navíc sloužit i jako zdroj elektřiny v případě nouze. [1]

#### Hotely a penziony

Hotely či penziony s kapacitou alespoň 50 lůžek mají dostatečně velkou potřebu tepla pro vytápění a klimatizaci a celoroční potřebu TUV. Vlastní potřeba elektřiny pro různé služby (sauna, bazén, atd.) je rovněž vysoká. Pro tyto účely je nejvhodnější instalace menších kogeneračních jednotek se spalovacími motory. [1]

#### Administrativní a obchodní centra

Tyto objekty mají velkou potřebu tepla pro vytápění a klimatizaci. Potřeba elektřiny je 10 až 12 hodin denně, a to převážně pro osvětlení, pohon ventilátorů větrání a klimatizace. Instalace kogeneračních jednotek je proto velmi vhodná. [1]

### 3.4 Průmyslové podniky

Podmínky pro využití kogenerace v průmyslové oblasti jsou značně různorodé. Záleží na konkrétním odvětví průmyslu, ve kterém budou kogenerační zařízení instalována, nejvhodnější jsou však v těch podnicích, ve kterých se pracuje ve vícesměnném provozu a které mají větší potřebu tepla pro technologické účely.

V minulosti byly zdrojem tepla v průmyslových podnicích nejčastěji závodní výtopny nebo teplárny, které spalovaly převážně uhlí. V současnosti se postupně zvětšuje podíl ekologičtějšího zemního plynu. Kogenerační jednotky jsou v závodních teplárnách většinou v provedení s turbínami protitlakovými a kondenzačními s regulovanými odběry páry, roste i počet závodních tepláren se spalovacími motory a se spalovacími turbínami. Při návrhu kogenerační jednotky by se mělo dbát na to, aby elektrická energie byla v závodě z co největší části spotřebována, a zároveň musí být zcela využit její tepelný výkon.

Podmínky pro použití kogeneračních technologií jsou splněny například v chemickém průmyslu, jehož podniky jsou charakterizovány velkou a v podstatě nepřetržitou potřebou technologického tepla ve formě páry. Kogenerační zařízení jsou vhodná také v keramickém a cementářském průmyslu, ve kterém je typická potřeba tepla ve formě přímého působení spalin, což je příznivé pro instalaci spalovacích turbín.

Naopak v podnicích, které se vyznačují krátkou dobou ročního provozu, nebo ve kterých převažuje potřeba elektřiny nad potřebou tepla (např. strojírenský průmysl), není nasazení kogeneračních zařízení z ekonomických hledisek vždy výhodné. V těchto podnicích je ale téměř vždy možné použít alespoň kogenerační jednotky se spalovacími motory, např. pro ohřev TUV. [1]

### **3.5 Čistírny odpadních vod**

V oblasti čistíren odpadních vod (ČOV) jsou u nás kogenerační technologie již dlouhodobě využívány. V kogenerační jednotce se spaluje kalový plyn, teplo z motorů se využívá pro vyhřívání čistírenského kalu a vyrobená elektřina se spotřebuje pro pohon technologických agregátů čistírny. Tyto jednotky (dnes převážně se spalovacími motory) jsou tak součástí celého technologického procesu čištění odpadních vod a výrazným způsobem přispívají k šetření elektřiny, která by musela být odebírána ze sítě. V současnosti téměř všechny velkokapacitní ČOV v ČR disponují touto technologií. [1]

## 4 STÁTNÍ ENERGETICKÁ KONCEPCE ČESKÉ REPUBLIKY

„Dostupná, bezpečná a cenově přijatelná energie je jednou ze základních podmínek pro samu existenci demokratické společnosti. Fungující energetický sektor je proto základní podmínkou bezpečnosti státu. Státní energetická koncepce České republiky je výrazem odpovědnosti státu za vytváření podmínek pro spolehlivé a dlouhodobě bezpečné dodávky energií a pro jejich efektivní využívání za ekonomicky oprávněné a přitom přijatelné ceny způsobem, který je v souladu se zásadami udržitelného rozvoje.“ [6, str. 3]

Státní energetická koncepce (SEK) patří k základním součástem hospodářské politiky České republiky. Je to dokument, který v souladu se zákonem o hospodaření s energií stanovuje strategické cíle státu v energetickém hospodářství. Předchozí SEK byla schválena v roce 2004. Od té doby však došlo k řadě podstatných změn v rámci energetického hospodářství nejen v ČR, ale i v Evropské unii, na které bylo třeba reagovat. V únoru 2010 tak došlo k návrhu na aktualizaci Státní energetické koncepce. Klíčovou součástí této nové koncepce je scénář předpokládaných základních trendů vývoje energetiky do roku 2050. [6]

Jelikož stále platí SEK z roku 2004, lze současnou verzi z roku 2010 považovat za „scénář A“, který uvažuje s využitím domácích zdrojů primárních paliv. Současně se připravuje „scénář B“, který počítá s možností nahradit domácí zásoby jinými zdroji. Očekává se projednání ve vládě do konce roku 2011.<sup>1</sup>

### 4.1 Koncepce rozvoje teplárenství

#### Vize

„Teplárenství jako spolehlivý a konkurenceschopný dodavatel tepla pro domácnosti, průmysl, podnikatelské subjekty a veřejný sektor a současně významný a energeticky efektivní dodavatel elektřiny a regulačních služeb pro elektrizační soustavu.“ [6, str. 37]

#### Hlavní cíle

- „Podporovat další rozvoj centrálního zásobování teplem (CZT) jako základního způsobu vytápění především velkých aglomeračních celků.
- Zajistit dlouhodobou dostupnost uhlí pro teplárenské systémy a legislativní cestou preferovat dodávky uhlí do systémů CZT na úkor samostatné výroby elektřiny.
- Podporovat využití biomasy, především dendromasy a rychle rostoucích dřevin, a dalších vhodných druhotných obnovitelných zdrojů a odpadů v kombinaci s ostatními palivy pro centrální zásobování teplem, zejména u středních a menších zdrojů.
- Podporovat rozvoj vícepalivových systémů se zásobníky hlavně u zdrojů využívajících zemní plyn, které umožní krátkodobý přechod na alternativní paliva v případě stavů nouze. Podporovat využívání zemního plynu, biomasy a dalších obnovitelných zdrojů jako náhradu topení uhlím v domácnostech.

---

<sup>1</sup> PORTUŽÁK, Roman. *Státní energetická koncepce ČR* [online]. 22. 3. 2011 23:11; [cit. 2011-04-23]. Osobní komunikace.

- Podporovat rozvoj vysoce účinné kombinované výroby elektřiny a tepla a to ve velkých, středních i malých zdrojích tepla.
- Podporovat restrukturalizaci energeticky a ekonomicky neefektivních systémů dodávek tepla všude tam, kde je předpoklad dosažení vyšší energetické účinnosti, vyšší flexibility v užití paliv a lepších parametrů z hlediska udržitelného rozvoje.
- Podporovat možné využití tepla z provozu jaderných elektráren. V souvislosti s rozšiřováním kapacit jaderných elektráren Temelín a Dukovany podporovat možnost případného využití tepla k vytápění větších aglomeračních celků v blízkosti těchto zdrojů. V úvahu tak připadají lokality Brna, Jihlavy, Dukovan, Českých Budějovic, resp. Strakonice, v horizontu do r. 2030. Realizací tohoto záměru by mohlo dojít ke snížení spotřeby především fosilních paliv pro výrobu tepla.
- V dlouhodobé perspektivě (po r. 2030) sledovat možnost náhrady uhelných zdrojů systémů CZT malými podzemními jadernými zdroji s vysokou mírou bezpečnosti, standardizace a prefabrikace.“ [6, str. 37-38]

### **Dílčí cíle a jejich specifikace v jednotlivých oblastech**

#### 1. Palivová základna pro systémy CZT

- „Využít kvalitní hnědé uhlí z lokalit dosud částečně blokových územními ekologickými limity, především na lomu Československá armáda (ČSA) s cílem předejít závažným problémům se zajištěním náhradního dostupného a kvalitního paliva. Vytvořit legislativní a administrativní prostředí, včetně institutu veřejného zájmu, a ekonomických nástrojů směřující k přednostnímu využití tohoto uhlí zejména ve větších a středních systémech CZT.
- Podporovat přechod větších a středních systémů KVET na vícepalivové nízkoemisní systémy s vysokou účinností, kde kvalitní hnědé uhlí bude základním palivem.
- Podporovat přechod, zejména středních a menších systémů zásobování teplem, na vícepalivové systémy využívající lokálně dostupnou biomasu, zemní plyn, případně další palivo, kdy zejména zemní plyn bude plnit roli stabilizačního a doplňkového paliva. Přístup k biomase by měl být rovný a nediskriminující pro všechny odběratele.
- Eliminovat sociální dopady pro obyvatelstvo, resp. ztrátu konkurenceschopnosti mnoha průmyslových podniků z důvodu zvýšených cen tepla, vyvolaných nucenou náhradou hnědého uhlí v krátkodobém horizontu.
- Orientovat využívání kvalitního černého uhlí zejména na střední a velké teplárenské zdroje s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla.
- Orientovat využívání zemního plynu jako nízkoemisního energetického zdroje především na malé a střední teplárenské systémy, na domácnosti a na decentralizované zdroje tepla.“ [6, str. 38]

#### 2. Elektrizáční soustava a teplárenství

- „Podporovat využití zejména větších tepláren pro dodávku regulačních služeb pro přenosovou soustavu.

- Vytvořit podmínky pro účast tepláren při vytváření krajských územních koncepcí a zabezpečení jejich úlohy v ostrovních provozech jednotlivých oblastí v havarijních situacích.
- Podporovat v rozumné míře integraci menších teplárenských zdrojů do systémů inteligentních sítí a decentralního řízení.
- Podporovat výstavbu a využívání malých zdrojů pro výrobu elektřiny, zvláště pak malé vodní elektrárny.“ [6, str. 38-39]

## 4.2 Nástroje k zajištění cílů definovaných pro oblast teplárenství

- „S cílem podpory kombinované výroby elektřiny a tepla a dosažení vyšší účinnosti při zhodnocení domácího uhlí zajistit zvýšení zákonných standardů pro spalování fosilních paliv ve významných energetických zařízeních.
- Pokračovat v legislativní, daňové a dotační podpoře přechodu, zejména středních a menších systémů zásobování teplem a domácností, na využití lokálně dostupné biomasy, zejména dendromasy a rychle rostoucích dřevin a zemního plynu, jejich kombinaci a případně dalších perspektivních zdrojů energie k výrobě tepla.
- Vytvářet právní i ekonomické podmínky pro účast tepláren při zajišťování jejich role v ostrovních provozech jednotlivých oblastí v případě havarijních stavů a pro začleňování menších teplárenských zdrojů do systémů inteligentních sítí a decentralizovaného řízení, a to zejména definováním podpůrných služeb pro ostrovní provozy na úrovni distribučních soustav a zohledněním nákladů v distribučních tarifech. Pokračovat v rámci regulovaných tarifů v přiměřené podpoře decentralní výroby elektřiny.
- Podporovat vyšší využití kombinované výroby elektřiny a tepla s principem uplatnění vyrobené elektřiny na trhu s elektřinou s právem na příspěvek k ceně elektřiny uplatněné na trhu. Podle výsledků provedených analýz a pokud dojde v EU ke sjednocení přístupu v podpoře KVET, přizpůsobit systém podpory v ČR tomuto jednotnému systému.
- Podporovat výstavbu nových zdrojů v rámci CZT a zejména u zdrojů plynových podporovat ty, které vyrábějí v kombinovaném procesu zároveň elektřinu a teplo.
- Podporovat úspory tepelné energie na straně odběratelů i dodavatelů.
- Vyžadovat při budoucí autorizaci nových teplárenských zdrojů nebo jejich modernizaci zajištění schopnosti přechodu na alternativní palivo ve stavech nouze.
- Územní ochrana koridorů a ploch technické infrastruktury v teplárenství včetně souvisejících rozvojových záměrů je zajišťována příslušnými nástroji územního plánování, zejména pak Politikou územního rozvoje ČR a územně plánovací dokumentací krajů a obcí.

- Vytvořit legislativní nástroje, které budou zajišťovat přednostní využití centrálního zásobování teplem a zamezí odpojování od centrálního zásobování teplem a na druhou stranu posílí regulačně kontrolní mechanismy při stanovení ceny za teplo z centrálního zásobování teplem. Dále zamezí zneužití dominantního postavení výrobce tepla ze sítě centrálního zásobování teplem na trhu a současně ochrání spotřebitele.
- Respektovat požadavky na kvalitu ovzduší (imisní limity) při obnovách a náhradách dožívajících výroben tepla.“ [6, str. 61-62]

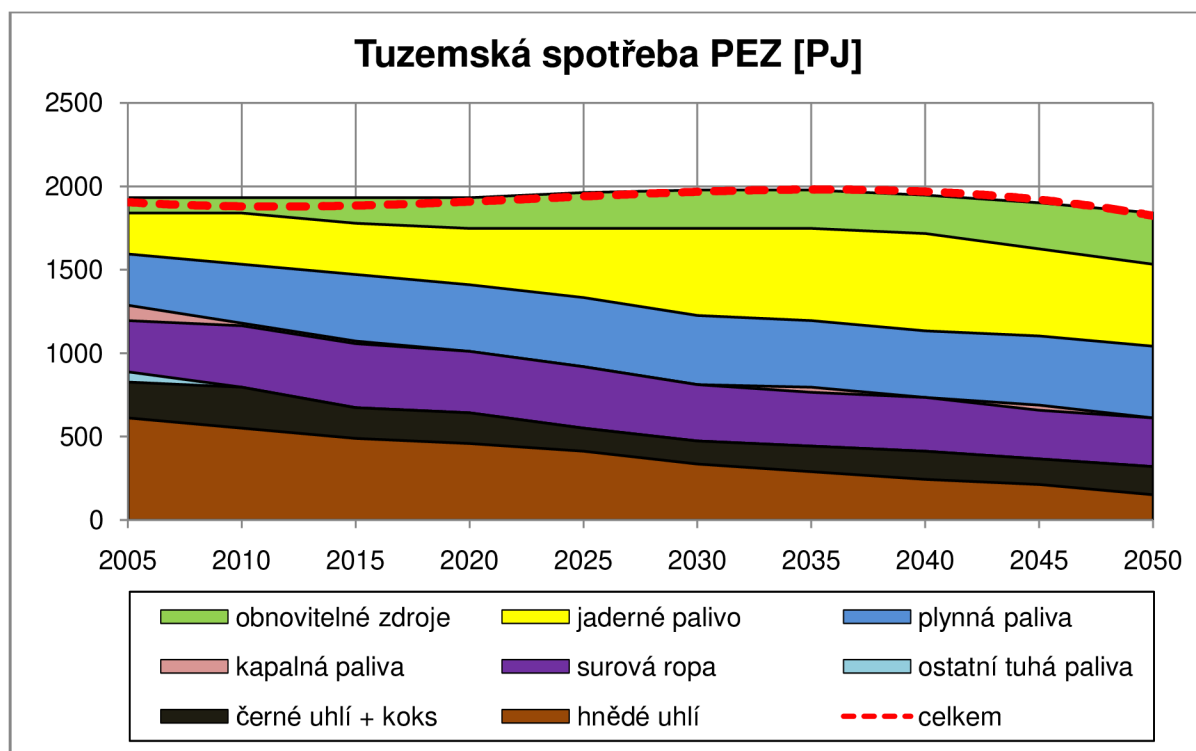
### 4.3 Referenční energetický scénář

Referenční energetický scénář představuje nejpravděpodobnější vývoj energetiky ČR, pokud budou ze strany státu realizovány kroky popsané v jednotlivých částech energetické koncepce a pokud nebude narušen předpokládaný vývoj světové ekonomiky a také energetiky v Evropské unii.

Vychází z modelových situací z podzimu 2008, tedy ještě před globální ekonomickou krizí. Odhaduje se však, že vývoj v tuzemské energetice by se během tohoto desetiletí mohl vrátit k původním trendům, tedy postupnému a trvalému růstu. Po skončení krize se rovněž předpokládá zpřesnění navrhovaného referenčního scénáře. [6]

#### Tuzemská spotřeba primárních energetických zdrojů (PEZ)

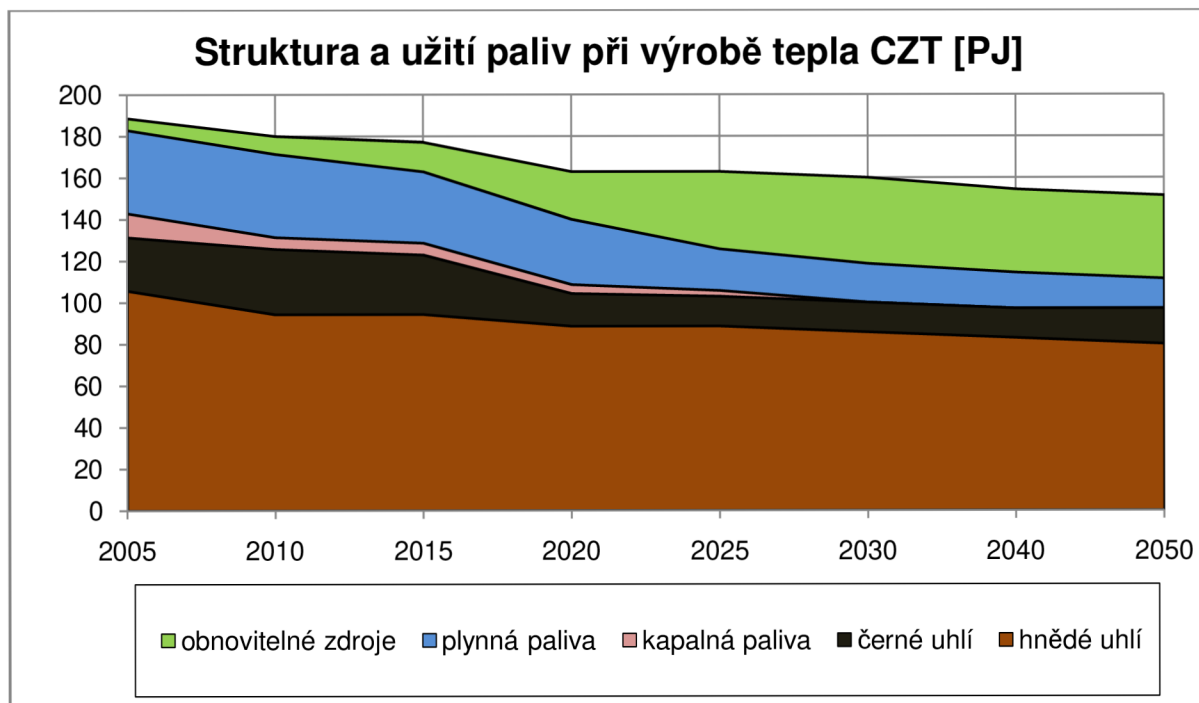
Do roku 2050 se předpokládá prakticky stagnace celkové tuzemské spotřeby PEZ. Dochází pouze k postupnému snižování spotřeby hnědého uhlí a mírnému růstu spotřeby jaderného paliva a obnovitelných zdrojů. [6]



**Graf 4.1** Tuzemská spotřeba PEZ [6]

### Struktura a užití paliv při výrobě tepla CZT

Předpokládá se stejný, či mírný nárůst počtu odběratelů CZT, klesající energetická náročnost budov a snížení ztrát v tepelných rozvodech. To povede k celkovému poklesu dodávek, avšak při zachování rozhodujícího podílu tuzemského hnědého uhlí a současnému navýšení spotřeby biomasy na úkor ostatních paliv. [6]



**Graf 4.2** Struktura a užití paliv při výrobě tepla CZT [6]



## 5 POHLED NA CELKOVÝ VÝVOJ TEPLÁRENSTVÍ V ČESKÉ REPUBLICĚ

Teplárenství, tedy centralizované zásobování teplem, se u nás začalo rozvíjet počátkem dvacátých let dvacátého století. Důvodů, které vedly k budování prvních teplárenských soustav, bylo několik. Začal se rozvíjet průmysl ve městech; ten si žádal uspokojit nejen potřebu velkého množství tepla pro technologické účely, ale i pro vytápění nových městských čtvrtí. S rozvojem energetiky byla potřeba nových a větších energetických zdrojů a důležité byly i ekologické aspekty. Ve 30. letech tak vznikly moderní soustavy s kogeneračními zdroji, které jsou základem dálkového vytápění dodnes (např. parní soustavy v Ústí nad Labem, Brně, nebo v Praze).

V poválečné době nastal největší rozvoj velkých teplárenských soustav. Ten byl způsoben rozvojem těžkého průmyslu náročného na energetickou spotřebu, ale také shromažďováním obyvatel do průmyslových aglomerací. Vznikaly tak velmi rozsáhlé soustavy dálkového zásobování teplem, především v průmyslových oblastech (Ostravsko, Praha, Pardubice a Hradec Králové, Plzeň a další krajská města). Jejich zdroji byly nově budované elektrárny a teplárny situované mimo městská centra, kam se teplo dopravovalo horkovodními napáječi.

V 70. a 80. letech minulého století došlo v teplárenství ke značnému útlumu. Hlavními příčinami bylo budování satelitních panelových sídlišť s blokovými zdroji tepla (kotelny na zemní plyn) a nedostatek investičních prostředků. Toto období přineslo celkové technické zaostávání celého oboru.

Změnou společenského klimatu po roce 1989 došlo i k technickému oživení teplárenství. Utváření konkurenčního prostředí a příchod zahraničních investorů spolu se snazší dostupností teplárenských technologií otevřely celému odvětví nové možnosti. Nezakládaly se sice nové soustavy centrálního zásobování teplem (kromě soustav se zdroji na biomasu), ale došlo k intenzifikaci a ekologizaci celého procesu výroby a spotřeby tepla, a k dalšímu rozvoji kombinované výroby elektřiny a tepla. [7]

OBDOBÍ CHARAKTERISTIKA	20. až 40. léta 20. století	50. a 60. léta 20. století	70. a 80. léta 20. století	přelom tisíciletí	20. a 30. léta 21. století
Charakteristika vývoje teplárenství v ČR	počátek teplárenství	extenzivní rozvoj	technické zaostávání	ekologizace racionalizace	intenzifikace kvalita
Typické zdroje nově budovaných SCZT	teplárny (výtopny)	elektrárny (teplárny)	výtopny (elektrárny)	malé teplárny	všechny typy
Typické druhy používaných paliv	uhlí	uhlí	topné oleje (uhlí)	zemní plyn (uhlí)	všechny druhy (biomasa)
Typicky používaná teplonosná látka	pára	horká voda (pára)	horká voda	teplá voda (horká voda)	teplá voda
Charakteristika zásobované oblasti	průmysl (sídliště)	města (průmysl)	sídliště (průmysl)	sídliště	části měst
Používaný způsob uložení tepelných sítí	nadzemní (kanálové)	kanálové (nadzemní)	kanálové	bezkanálové podzemní	bezkanálové podzemní
Běžně používané typy odběrných zařízení	přímé odběry (objektové PS)	okrskové PS	okrskové PS	objektové PS (přímé odběry)	objektové PS (přímý odběr)

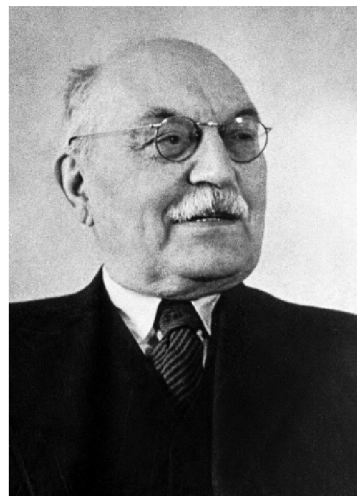
PS – předávací stanice

**Tab. 5.1** Charakteristické prvky teplárenství v historii a projekce do budoucna [7]

## 6 POČÁTKY TEPLÁRENSTVÍ VE MĚSTĚ BRNĚ

“Historii brněnského teplárenství začal psát bývalý šéfkonstruktor Křižíkova podniku Ing. Vladimír List, který působil jako profesor elektrotechnické fakulty na Vysokém učení technickém v Brně a který jako první stál u zrodu myšlenky zbudovat v Brně kombinovanou výrobu tepla a elektřiny.“ [8]

Na tu ho přivedla studijní cesta do USA, kterou podnikl na podzim roku 1923. „Při prohlídce New Yorku jsem si všiml, že z chodníku na jednom místě vystupuje pára. Dozvěděl jsem se, že je to pára z district heating, tj. z okrskového topení, a sice z Helgate.“ [9, str. 4] Na základě toho si profesor List získal informace od elektrárenské společnosti zásobující New York elektřinou a párou a po návratu se začal zabývat tím, jak získané zkušenosti uplatnit v Brně. [9]



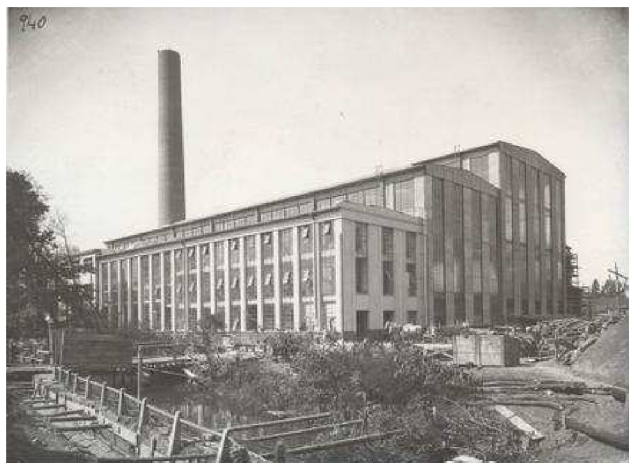
**Obr. 6.1** Vladimír List (1877-1971) [10]

Na počátku 20. let byla brněnská metropole významným střediskem textilního průmyslu. Na území města vznikala řada textilních továren, které ke své výrobě potřebovaly elektřinu a teplo ve formě páry.

Se stále se zvyšující potřebou energií se tyto podniky přikláněly k úvahám o výstavbě vlastních závodních elektráren. To však bylo, oproti návrhu profesora Lista na vybudování jednoho zdroje s kombinovanou výrobou tepla a elektřiny, méně efektivní řešení. Jeho návrh byl správně radou tehdejších Západoslováckých elektráren přijat a práce na nové teplárně mohly být zahájeny.

Po prostudování poměrů doma i v zahraničí byla vypsána mezinárodní soutěž. Z 9 alternativních řešení bylo vybráno takové, které splňovalo nejen požadavky na zařízení teplárny, ale i na bezpečnost a spolehlivost budoucího zařízení. Vítězné řešení se později dokonce stalo základem pro výstavbu dalších československých tepláren.

Generálním projektantem celé výstavby byly Škodovy závody. Výkopové práce byly zahájeny 1. dubna 1929 na ulici Špitálka, a za 20 měsíců, dne 4. prosince 1930, již teplárna zahájila dodávky páry do 8 textilních továren. Investiční náklady na realizaci této etapy činily 70 milionů Kčs. [8]



**Obr. 6.2** Celkový pohled na teplárnu (1930) [11]

V Brně tak vznikla první teplárna svého druhu v tehdejší Československu, která byla schopna využít až 80 % energie při spalování vstupního paliva. Díky výstavbě teplárny mohlo být z centra města odstraněno 68 továrních komínů, což vedlo k výraznému zvýšení kvality brněnského ovzduší.

Na nově vzniklou síť se připojovali další odběratelé, budovy, úřady a nemocnice. To vedlo k neustálému budování nových zdrojů a rozšiřování tepelné sítě do městských částí, o jejichž zásobování se Teplárny Brno starají dodnes. [8]

Významné mezníky brněnské soustavy CZT ve 20. století

- 1928-1930** Výstavba teplárny Špitálka o celkovém výkonu parního zdroje 135 MW<sub>t</sub>.  
Výstavba parovodů Jih a Sever. Celková délka parovodů činí 5,6 km.
- 1930-1934** Výstavba parovodu Město.
- 1939** Teplárna na Špitálce zásobuje 110 odběratelů a dodávky tepla dosahují přibližně 12 % současných dodávek.
- 1941-1945** Rozvoj teplárenství v Brně se díky okupaci a válečným létům zastavil.
- 1948-1953** Výstavba parovodu Tábor a zřízení akumulární stanice na jeho konci, umožňující zásobovat bytovou výstavbu v oblasti Chládkova.
- 1953-1955** Výstavba horkovodu Juliánov zásobující oblast Židenic a sídliště Juliánov. Celková tepelná rozvodná síť je rozšířena na 45 km. Celkový počet odběratelů vzrostl na 350.
- 1962-1963** Výstavba výtopny Staré Brno o celkovém výkonu parního zdroje 38,4 MW<sub>t</sub>.
- 1964-1965** Výstavba horkovodu Staré Brno zásobující oblast Štýřice.
- 1965-1969** Výstavba výtopny Červený mlýn. Celkový výkon horkovodních kotlů 139,4 MW<sub>t</sub>.
- 1966-1968** Výstavba horkovodu Lesná z provozu Červený mlýn pro sídliště Lesná.
- 1968-1969** Výstavba parovodu Červený mlýn. Propojení zdrojů Červený mlýn a Špitálka.
- 1969** Teplárenské provozy zásobují celkem 680 odběratelů a dodávky tepla dosahují přibližně 75 % současných dodávek.
- 1968-1976** Postupná výstavba rozsáhlé horkovodní soustavy zahrnující oblasti Králova Pole, Žabovřesk a okrajové části oblasti Veveří.
- 1972-1977** Výstavba výtopny Brno-sever. Celkový výkon 5 parních kotlů činil 325 MW<sub>t</sub>.
- 1972-1973** Výstavba parovodu Maloměřice, zajišťujícího propojení zdrojů Špitálka a Brno-sever.
- 1973** Zahájena výstavba primárních kolektorů.
- 1979-1981** Výstavba horkovodů pro sídliště Líšeň a Vinohrady a druhé větve pro Lesnou z provozu Brno-sever.
- 1986-1987** Výstavba parovodu propojujícího spalovnu komunálního odpadu na soustavu CZT.
- 1989** Výstavba teplárenského zdroje Kamenný Vrch pro plánovaný horkovod z jaderné elektrárny Dukovany.
- 1990-1991** Výstavba plynové výtopny Bystřec.
- 1996** Ukončení provozu posledního uhelného zdroje Červený mlýn.
- 1997-1998** Výstavba paroplynové teplárny na provozu Červený mlýn. Celkový tepelný výkon je 140 MW<sub>t</sub> a elektrický min. 95 MW. [12, 13]

## 7 SOUČASNÝ STAV TEPLÁRENSTVÍ VE MĚSTĚ BRNĚ

Teplárství má v Brně dlouholetou tradici, která sahá až do počátku třicátých let minulého století. Od této doby prošla celá teplárenská výroba a systém centrálního zásobování teplem (CZT) města Brna značným vývojem. V současné době jsou ve městě tři vyspělé teplárny, které používají kogenerační technologie k výrobě tepla a elektřiny. Tyto zdroje, spolu s dalšími, a s nimi spojená teplárenská síť jsou pod správou Tepláren Brno, a.s.

### 7.1 Teplárny Brno

Tato společnost byla založena na začátku 90. let. Za dobu své existence několikrát změnila svého majitele a prošla složitou restrukturalizací. Až 1. října 2009 se jediným akcionářem společnosti Teplárny Brno, a.s., stává statutární město Brno, které je 100 % vlastníkem společnosti. Řízení a plná kontrola tak městu umožňuje prosadit své dlouhodobé cíle v oblasti centrálního zásobování teplem. Mezi ně patří stabilizace a zabezpečení přijatelné ceny tepla, podpora dalšího rozvoje celého systému a minimalizace ekologické zátěže prostředí. [14]

Mezi hlavní činnosti, kterými se společnost zabývá, patří: výroba a rozvod tepelné energie a výroba a obchod s elektřinou. Teplo i elektřina jsou vyráběny převážně kogeneračním způsobem, což umožňuje maximální využití energie obsažené v palivu. Vyrobené teplo je distribuováno vlastní tepelnou rozvodnou sítí majitelům nebo správcům objektů, či jiným distributorům a elektrická energie je předávána ke svému dalšímu využití do distribuční soustavy. [14]

„Dnes Teplárny Brno, a. s., pokrývají asi jednu třetinu potřeby tepla ve městě. Systém CZT je využíván především pro vytápění a ohřev teplé a užitkové vody (TUV).

Teplárny Brno, a.s., mají čtyři navzájem propojené zdroje: Špitálka, Červený mlýn, Brno-sever a Staré Brno. Dále je do soustavy zapojena Spalovna komunálních odpadů v Brně, která dodává teplo do parní sítě Tepláren Brno, a.s.“ [15, str. 83]

Nezanedbatelná část tepla je také vyráběna v lokálních zdrojích – plynových kotelnách, a to zejména v těch lokalitách, kde není zbudována centrální rozvodná síť.

Délka parovodů činí téměř 96 km, horkovodů asi 94,2 km. Brněnská teplárenská soustava se tak svým rozsahem řadí mezi největší v České republice. [14]

### 7.2 Teplárenské zdroje ve městě

**Špitálka** (tepelný výkon 411 MW<sub>t</sub>, dosažitelný elektrický výkon 70 MW<sub>e</sub>)

Svůj provoz zahájil roku 1930, je tedy nejstarším teplárenským zdrojem ve městě. Vyrábí teplo a elektřinu kombinovaným způsobem. Je rozdělen na dvě části: první část – provoz se třemi kotli o instalovaném výkonu 356 MW<sub>t</sub> a třemi protitlakými turbogenerátory o výkonech 2 x 30 MW<sub>e</sub> a 1 x 5 MW<sub>e</sub>, a druhá část – provoz s 1 kotlem o výkonu 55 MW<sub>t</sub> a 2 protitlakými turbogenerátory o výkonech 10 MW<sub>e</sub> a 6,6 MW<sub>e</sub>. Kotle spalují zemní plyn s max. špičkovým odběrem 50 000 m<sup>3</sup>/h. Zásobuje sídliště Juliánov.

Je přirozeným provozním a řídicím centrem spojujícím všechny hlavní parovody systému centrálního zásobování teplem (CZT) a monitoruje hlavní parametry všech zdrojů a tepelných sítí CZT na pracovišti centrálního teplárenského dispečinku. [16]

**Brno-sever** (tepelný výkon 225 MW<sub>t</sub>, dosažitelný elektrický výkon 3,5 MW<sub>e</sub>)



Zahájení provozu v roce 1978. Vyrábí teplo a elektřinu kombinovaným způsobem. V provozu jsou instalovány 3 parní kotle s výkonem 3 x 75 MW<sub>t</sub> a dvoustupňová rychloběžná parní turbína o výkonu 3,5 MW<sub>e</sub>. Uvedené parní kotle jsou dvoupalivové s možností spalování zemního plynu nebo těžkých topných olejů (od roku 1998 se ke spalování používá výhradně nízkosíratý mazut s obsahem síry do cca 1 %). Zásobuje sídliště Lesná, Líšeň a Vinohrady, případně Žabovřesky a Královo Pole. [16]

**Obr. 7.1** Provoz Brno-sever [11]

**Červený mlýn** (tepelný výkon 140 MW<sub>t</sub>, dosažitelný elektrický výkon 95 MW<sub>e</sub>)

Jedná se o moderní kogenerační zdroj zajišťující výrobu tepla a elektřiny ze zemního plynu. Tento zdroj, pracující v paroplynovém cyklu, nahradil původní zastaralou uhelnou výtopnu, která již nesplňovala předepsané emisní limity, a do provozu byl uveden v listopadu 1999. Zásobuje především sídliště Žabovřesky a Královo Pole, v přechodných obdobích sídliště Lesná, Líšeň a Vinohrady.

V provozu je umístěna spalovací turbína s instalovaným elektrickým výkonem 71 MW<sub>e</sub>. Pára z připojeného spalínového kotle je využívána k výrobě elektřiny v protitlaké parní turbíně o výkonu 24 MW<sub>e</sub> a dále k ohřevu vody pro napojené horkovody. K vyrovnání rozdílu mezi okamžitou dodávkou tepla a plánovaným výkonem je využíván instalovaný akumulátor horké vody o objemu 5 tis. m<sup>3</sup>. Od ledna 2003 se teplárna také zařadila mezi poskytovatele podpůrných služeb pro českou přenosovou soustavu. V provozu jsou dále instalovány dva plynové horkovodní kotle o výkonu 2 x 27 MW<sub>t</sub>. [16]



**Obr. 7.2** Provoz Červený mlýn [11]



**Obr. 7.3** Parní turbína na provozu Červený mlýn [11]

**Staré Brno** (tepelný výkon 34 MW<sub>t</sub>)

Zahájení provozu v roce 1964. Původně byl tento zdroj vybudován jako uhelná výtopna propojená na parní soustavu, až v roce 1993 byly uhelné kotle nahrazeny plynovými a provoz celkově zmodernizován.

Dnes vyrábí teplo ve dvou parních středotlakých kotlích o tepelném výkonu 2 x 17 MW<sub>t</sub>. Zásobuje lokality Staré Brno a oblast ulic Vídeňská a Heršpická. Využívá se především jako špičkový zdroj pro udržení smluvních parametrů v odběrově exponovaném místě Mendlova náměstí. [16]

**Kamenný Vrch** (tepelný výkon 23 MW<sub>t</sub>)

Provoz Kamenný Vrch byl vystavěn v roce 1989. Bylo zde instalováno 6 kotlů spalujících zemní plyn s celkovým výkonem 48 MW<sub>t</sub>. V současnosti se však původní výkon stal nadbytečným a v roce 2008 tak byla zahájena komplexní rekonstrukce celého teplárenského zdroje, při které byly instalovány 3 nové kotle s vyšší účinností a jedna kogenerační jednotka. Zásobuje sídliště Kamenný Vrch a Nový Lískovec.

Tento zdroj byl původně plánovaný pro horkovod z jaderné elektrárny Dukovany. Teplárny dlouhodobě prověřují všechny možnosti, jak zajistit dostatečné množství tepelné energie pro všechny své odběratele a za co nejnižší cenu. Propojení s elektrárnou by bylo vhodné řešení - nevyužití odpadní teplo by tak nahradilo relativně drahý zemní plyn. Dokud však nebude schválena nová energetická koncepce města Brna, hovořit o výstavbě horkovodu z jaderné elektrárny by bylo předčasné. [16]

**Bystrc** (tepelný výkon 21,2 MW<sub>t</sub>)

Provoz zahájen v letech 1990-1991 jako zdroj na plynná paliva. V letech 2003-2005 prošel rozsáhlou rekonstrukcí (instalace BIO kotlů). Dnes jsou v provozu instalovány 2 kotle na dřevní štěpku (1,1 MW<sub>t</sub> a 1,5 MW<sub>t</sub>) a 4 plynové kotle (18,6 MW<sub>t</sub>). Provoz kotlů na biomasu je sice náročnější než u plynových kotlů, jejich výhoda ale spočívá ve spalování místního paliva – dřevo z lesní těžby a piliny ze zpracovávání dřeva, které dodávají Lesy města Brna, a.s. Zásobuje část sídliště Bystrc a postupně se připojují nově budované objekty v sídlišti Kamechy. [16]

## ZÁVĚR

Jedním z cílů této práce bylo popsat hlavní principy kogenerace a oblasti, v nichž je výhodné kogenerační technologie využít. Touto problematikou se zabývají první tři kapitoly. Nejprve je vysvětlena samotná výroba elektřiny a tepla kombinovaným způsobem, dále jsou uvedeny některé parametry pro hodnocení KVET, z nichž jeden z nejdůležitějších je teplárenský modul, který říká, v jakém poměru se vyrábí elektrická a tepelná energie v kogeneračním zařízení, a výhody kogenerace, mezi které patří výrazná úspora paliva oproti oddělené výrobě (demonstrována na příkladu v kap. 1.4) a snížení ekologické zátěže životního prostředí. Další kapitola dává ucelený přehled nejvýznamnějších kogeneračních technologií. Nejprve jsou popsány kogenerační jednotky největšího výkonu používaných především v teplárnách. Do této skupiny jsou zařazeny parní a spalovací turbíny a paroplynová zařízení, která spojují výhody jednotek jak s parními, tak i se spalovacími turbínami, a patří mezi nejvýkonnější teplárenské zdroje, jsou také schopny velice rychle reagovat na potřeby elektrické energie a tím stabilizovat elektrizační soustavu. Dále jsou popsány kogenerační jednotky menšího výkonu – jednotky se spalovacími motory a speciální zařízení. Tyto se uplatňují v menších zdrojích, jsou tedy vhodné pro decentralizovanou výrobu, např. v nemocnicích nebo domácnostech. Možností uplatnění kogenerace je celá řada; kogeneračními jednotkami je v podstatě možné nahradit jakýkoliv tepelný zdroj srovnatelného výkonu. Nejdůležitější oblasti využití kogenerační technologie jsou shrnuty v kap. 3.

V další části se práce zaměřuje na podporu kogenerace ze strany státu, tedy vlády České republiky. Tato je vyjádřena ve Státní energetické koncepci pro oblast teplárenství, jejíž součástí je i referenční energetický scénář s výhledem do roku 2050, který předpokládá přednostní využití domácích energetických zásob. Jako hlavní cíle je třeba vyzdvihnout podporu dalšího rozvoje centrálního zásobování teplem (CZT) velkých aglomeračních celků a především zajištění dlouhodobé dodávky uhlí pro teplárenské systémy. Právě nezajištění dostatečných dodávek hnědého uhlí může v budoucnu vyvolat velké problémy v celé oblasti teplárenství. Jako důležitý krok, který by měl být ze strany vlády proveden, je prolomení těžebních limitů v podkrušnohorské uhelné pánvi. V případě, že se tak nestane, kvalitní a levné domácí uhlí se bude muset nahradit zemním plynem a zvýšit tak závislost ČR na importu ze zahraničí. To by vedlo ke zdražení tepla z CZT a přesunu výroby k individuálním zdrojům přímo v místě spotřeby. Došlo by tak k zániku velkých tepláren, které jsou také nedílným producentem elektřiny a poskytovatelem regulačních služeb celé elektrizační soustavy.

Posledním cílem práce bylo popsat historický vývoj a charakterizovat současný stav kogenerace, resp. teplárenství v Brně. Teplárenství se ve městě začalo rozvíjet na přelomu 20. a 30. let minulého století. První teplárna byla otevřena koncem roku 1930 a od té doby, s výjimkou válečného období, byla kombinovaná výroba intenzivně rozvíjena. Postupně se budovaly nové zdroje a stále se rozšiřovala síť parovodů a horkovodů, která se dnes řadí mezi největší v České republice. Systém CZT města spravují Teplárny Brno, a.s., které pokrývají asi jednu třetinu celkové potřeby tepla ve městě. Mají čtyři navzájem propojené zdroje, z nichž tři vyrábí elektřinu a teplo kombinovaným způsobem. V městských částích Bystrc a Kamenný vrch se teplo vyrábí v samostatných výtopnách.

V současnosti se většina dodávaného tepla do města vyrábí z ekologického zemního plynu. S rostoucí cenou této komodity a stálé závislosti na jejím dovozu vyvstává ale otázka, jak ji nahradit a tím zajistit co nejlevnější dodávky tepla pro spotřebitele. Jako možná alternativa se

nabízí použití levného tuzemského hnědého uhlí, které by ale pravděpodobně vedlo ke zhoršení kvality ovzduší ve městě. Další možností je vybudování horkovodu z jaderné elektrárny Dukovany, která produkuje obrovské množství tepla, jež nemá využití. Nejprve se však musí schválit nová energetická koncepce města, která určí, jakým směrem se bude teplárenství v Brně ubírat. Potom teprve bude možné začít plně realizovat plány na diverzifikaci budoucích dodávek a zajistit tak levnější teplo pro obyvatele této metropole.



## Seznam použitých zdrojů

- [1] KRBEK, Jaroslav; POLESNÝ, Bohumil. *Kogenerační jednotky - zřizování a provoz*. 1. vydání. Praha : GAS, s.r.o., 2007. 202 s. Dostupné z WWW: <[http://mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Kogeneracni\\_jednotky\\_zrizovani\\_provoz\\_2220047233.pdf](http://mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Kogeneracni_jednotky_zrizovani_provoz_2220047233.pdf)>. ISBN 978-80-7328-151-9.
- [2] DVORSKÝ, Emil; HEJTMÁNKOVÁ, Pavla. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. 1. vydání. Praha : BEN - technická literatura, 2005. 288 s. ISBN 80-7300-118-7.
- [3] *Sdružení pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla COGEN czech* [online]. 2011 [cit. 2011-04-23]. O kogeneraci. Dostupné z WWW: <<http://www.cogen.cz/o-kogeneraci.html>>.
- [4] KARAFIÁT, Josef, et al. *Sborník technických řešení zdrojů s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla* [online]. Praha : ORTEP, s.r.o., 2006 [cit. 2011-04-23]. Dostupné z WWW: <<http://mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf>>.
- [5] *TEDOM* [online]. 2011 [cit. 2011-04-23]. Press centrum. Dostupné z WWW: <<http://www.tedom.cz/download.html>>.
- [6] *Aktualizace státní energetické koncepce České republiky* [online]. Praha : Ministerstvo průmyslu a obchodu, únor 2010 [cit. 2011-04-23]. Dostupné z WWW: <<http://download.mpo.cz/get/26650/46323/556505/priloha001.pdf>>.
- [7] KAUFMANN, Pavel. Vývoj teplárenství v České republice. *PRO-ENERGY magazín* [online]. 2007, 4/2007, [cit. 2011-04-23]. Dostupný z WWW: <<http://www.pro-energy.cz/clanky4/2.pdf>>.
- [8] *Teplárny Brno* [online]. 2011 [cit. 2011-04-23]. Historie společnosti. Dostupné z WWW: <<http://www.teplarny.cz/?page=historie>>.
- [9] GEISSELREITEROVÁ, Liliana. Historii Tepláren Brno začal psát Vladimír List. In *Zpravodaj – podzim 2010* [online]. Brno : Teplárny Brno, a.s., 2010 [cit. 2011-04-24]. Dostupné z WWW: <[http://www.teplarny.cz/?download=/\\_zpravodaj/zpravodaj\\_tepl\\_podzim\\_2010\\_v3.pdf](http://www.teplarny.cz/?download=/_zpravodaj/zpravodaj_tepl_podzim_2010_v3.pdf)>.
- [10] *Encyklopedie dějin města Brna* [online]. 3. 6. 2010 [cit. 2011-04-23]. Vladimír List. Dostupné z WWW: <[http://encyklopedie.brna.cz/home-mmb/?acc=profil\\_osobnosti&load=2093](http://encyklopedie.brna.cz/home-mmb/?acc=profil_osobnosti&load=2093)>.
- [11] *Teplárny Brno* [online]. 2011 [cit. 2011-04-23]. Fotobanka. Dostupné z WWW: <<http://www.teplarny.cz/?page=fotobanka>>.
- [12] *Teplárny Brno* [online]. 2011 [cit. 2011-04-23]. Přehled historických milníků. Dostupné z WWW: <<http://www.teplarny.cz/?page=milniky>>.
- [13] KLÍČNÍK, Václav. Počátky a následný vývoj centrálního zásobování teplem (CZT) v Brně. In *Zpravodaj – léto 2007* [online]. Brno : Teplárny Brno, a.s., 2007 [cit. 2011-04-23]. Dostupné z WWW: <[http://www.teplarny.cz/?download=/\\_zpravodaj/Zpravodaj\\_2007\\_leto.pdf](http://www.teplarny.cz/?download=/_zpravodaj/Zpravodaj_2007_leto.pdf)>.

- [14] *Teplárny Brno* [online]. 2011 [cit. 2011-04-23]. Dostupné z WWW: <<http://www.teplarny.cz/>>.
- [15] *Strategie pro Brno* [online]. Brno : Statutární město Brno, 26. 6. 2007 [cit. 2011-04-23]. Dostupné z WWW: <[http://www.brno.cz/fileadmin/user\\_upload/sprava\\_mesta/Strategie\\_pro\\_Brno/strategie2009.pdf](http://www.brno.cz/fileadmin/user_upload/sprava_mesta/Strategie_pro_Brno/strategie2009.pdf)>.
- [16] *Teplárny Brno* [online]. 2011 [cit. 2011-04-23]. Provozy společnosti. Dostupné z WWW: <<http://www.teplarny.cz/?page=provozy>>.

## Seznam použitých zkratk a symbolů

CZT		centrální zásobování teplem
ČOV		čistírny odpadních vod
KJ		kogenerační jednotka
KVET		kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie
MPO		Ministerstvo průmyslu a obchodu
PEZ		primární energetické zdroje
PS		předávací stanice
SCZT		soustava centralizovaného zásobování teplem
SEK		Státní energetická koncepce
TUV		teplá užitková voda
$e$	[-]	modul teplárenské výroby elektrické energie
$E$	[GJ]	elektrická energie
$Q$	[GJ]	tepelná energie
$Q_{el}$	[GJ]	spotřeba tepla z paliva v elektrárně
$Q_{kj}$	[GJ]	množství tepla spotřebované z paliva v kogeneračním zařízení
$Q_{pal}$	[GJ]	energie přivedená v palivu
$Q_u$	[GJ]	úspora tepla z paliva při kombinované výrobě elektřiny a tepla
$Q_{výt}$	[GJ]	spotřeba tepla z paliva ve výtopně
$\eta_{el}$	[-]	účinnost výroby elektřiny
$\eta_{kj}$	[-]	účinnost kogenerační jednotky
$\eta_{tc}$	[-]	celková tepelná účinnost
$\eta_{výt}$	[-]	účinnost výtopny