



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

KOGENERACE

COGENERATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JAN MARTINEK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ZDENĚK FORTELNÝ

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Martinek

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:

Kogenerace

v anglickém jazyce:

Cogeneration

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Náplní práce je problematika kombinované výroby elektřiny a tepla.

Cíle bakalářské práce:

1. Představte princip kogenerace
2. Porovnejte různé druhy výroby elektřiny a tepla
3. Uveďte používané druhy akumulace vyrobených energií
4. Zhodnoťte vliv kogenerace na životní prostředí
5. Kogenerační výroba a centrální rozvod tepla v Brně

Seznam odborné literatury:

HOLOUBEK, Dušan.:Kombinovaná výroba elektriny a tepla, trigeneracia a tepelná sieť, TU Košice , ISBN: 978-80-8073-775

KRBK, Jaroslav.:Zásobování teplem a kogenerace,1. vyd. Brno, 1999, 143 s. ISBN 80-214-1347-6

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Zdeněk Fortelný

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 15.12.2011

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce má za úkol zpracovat problematiku kogenerace. Je zde představen princip kogenerace a její výhody. Dále je srovnána kombinovaná výroba s oddělenou výrobou elektřiny tepla. Práce se také zabývá uchováváním elektrické a tepelné energie a používanými akumulátory. Další kapitola pojednává a vlivu kogenerace na životní prostředí a v závěru jsou stručně zmíněny hlavní provozy s brněnskými kogeneračními jednotkami a rozebrán centrální rozvod tepla v Brně.

ABSTRACT

This bachelor thesis is intended to handle the issue of cogeneration. There is presented the principle of cogeneration and its benefits. Cogeneration is compared to the separate production of power and heat. This work deals with the storage of electric energy and heat and also deals with used batteries. The next chapter discusses the impact of cogeneration to environment and at the end there are mentioned the main Brno's cogeneration units and central heat distribution in Brno.

KLÍČOVÁ SLOVA

kogenerace, akumulátor, kogenerační jednotka, teplárenství

KEYWORDS

cogeneration, battery, cogeneration unit, heating plant

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MARTINEK, J. *Kogenerace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 41 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Zdeněk Fortelný.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Kogenerace vypracoval samostatně a že jsem uvedl všechny prameny a literaturu, ze kterých jsem čerpal.

V Brně dne 25.5.2012

.....

Jan Martinek

PODĚKOVÁNÍ

Tímto chci poděkovat svému vedoucímu ing. Zdeňku Fortelnému za jeho rady, ochotu a hlavně vstřícnost.

OBSAH

ÚVOD	10
1. KOGENERACE	11
1.1 Princip kogenerace.....	11
1.2 Hlavní ukazatele zdrojů kogenerace	12
1.2.1 Modul teplárenské výroby elektřiny	12
1.2.2 Účinnost výroby elektrické energie.....	13
1.2.3 Účinnost výroby užitečného tepla.....	13
1.2.4 Celková účinnost zdroje	13
1.3 Nejpoužívanější kogenerační jednotky	14
1.3.1 Kogenerační jednotky s parní turbínou	14
1.3.2 Kogenerační jednotky se spalovací turbínou	15
1.3.3 Kogenerační jednotky se spalovacím motorem	16
1.3.4 Kogenerační jednotky se Stirlingovým motorem	17
1.3.5 Kogenerační jednotky s mikroturbínou.....	18
1.3.6 Kogenerační jednotky s palivovými články.....	18
2. RŮZNÉ DRUHY VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE A TEPLA.....	20
3. POUŽÍVANÉ DRUHY AKUMULACE	22
3.1 Akumulace elektrické energie.....	22
3.1.1 Olověné akumulátory	23
3.1.3 Superkondenzátory	23
3.1.4 Průtokové baterie	23
3.1.5 Setrvačníky	24
3.1.6 Akumulace energie založená na stlačeném vzduchu (CAES)	24
3.1.7 Přečerpávací vodní elektrárny	24
3.2 Akumulace tepelné energie	25
3.2.1 Krátkodobé akumulátory	25
4. KOGENERACE A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	28
4.1 Hluk a vibrace.....	28
4.2 Emise spalin	28
4.2.1 Emise CO ₂	28

4.2.2 Emise CO	28
4.2.3 Emise NO _x	29
4.2.4 Emise SO _x	29
4.2.5 Emise pevných látek	29
5. VÝROBA KOGENERACNÍ ENERGIE V BRNĚ	30
5.1 Nejvýznamnější kogenerační provozy v Brně.....	30
5.1.1 Teplárna Brno – sever.....	30
5.1.2 Teplárna Špitálka	31
5.1.3 Teplárna Červený mlýn	32
6. CENTRÁLNÍ ROZVOD TEPLA V BRNĚ	34
6.1 Paliva	34
6.2 Výtopy v Brně	34
6.2.1 Teplárna Bystřec	35
6.2.2 Teplárna Staré Brno	35
6.2.3 Teplárna Kamenný vrch	35
6.3 Tepelné sítě.....	35
ZÁVĚR	37
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	38
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	41

ÚVOD

Dnešní společnost se musí potýkat s mnoha problémy. K jedněm z největších globálních problémů patří oteplování planety, ke kterému dochází díky nešetrnému a nehospodárnému nakládání s přírodními zdroji. Hlavně pak kvůli obrovskému vypouštění skleníkových plynů do atmosféry. Evropa si tuto situaci uvědomuje a snaží se, více či méně dobrými prostředky, proti tomu bojovat. Bohužel ostatní vyspělé státy světa, včetně USA a vyspělých ekonomik Asie, tuto snahu nepodporují.

Energetika má na vypouštění skleníkových plynů svůj nezanedbatelný podíl. Potřeba energie bude i v budoucnu čím dál větší. Je proto dobře, že se stále vyvíjejí nové a nové technologie, které se emisím skleníkových plynů snaží zabránit nebo je aspoň redukovat. Jenom na ekologii a ochranu životního prostředí, ale pozitivně reaguje málokdo. Je potřeba, aby nové technologie byly i ekonomicky výhodné.

Řešením do budoucna jsou asi takzvané čisté technologie, čili technologie, které jako zdroj nepotřebují fosilní paliva, ale používají obnovitelné zdroje energie. Jsou to například vodní, sluneční a větrné elektrárny. Jejich problémem je ale to, že ne na každém místě nejsou vhodné podmínky pro jejich efektivní fungování. Navíc jsou v současné době poměrně drahé a bez dotací nejsou konkurenceschopné. Dalším ekologickým zdrojem jsou jaderné elektrárny. Zde je situace ještě komplikovanější. Současná společenská a politická situace není nakloněna dalšímu velkému rozvoji, případně stavbě nových jaderných elektráren.

Technologie kogenerace je částečným řešením této situace. Díky kombinované výrobě elektřiny a tepla se dá výrazně zvýšit podíl využitelné energie paliva. Kogenerační zdroje sice také často využívají ke svému pohonu fosilní zdroje, ale dají se použít i obnovitelné zdroje, například bioplyn. Navíc palivo využívají daleko efektivněji než například konvenční elektrárny a výtopny.

V České republice se kogenerace prosazuje stále víc. Stále víc velkých i menších podniků, i různých zařízení občanské vybavenosti (nemocnice, sportoviště, obchodní domy) se uchyluje k tomuto způsobu výroby energie.

1. KOGENERACE

Kogenerace (kombinovaná výroba elektřiny a tepla) je jedna z moderních technologií k efektivnější výrobě elektřiny a tepla. Kvůli stále rostoucím cenám paliva i samotné elektrické energie je kogenerace jednou z možností jak zajistit dostatek energie, která vzniká efektivním využíváním zdrojů a snižuje vliv na životní prostředí.

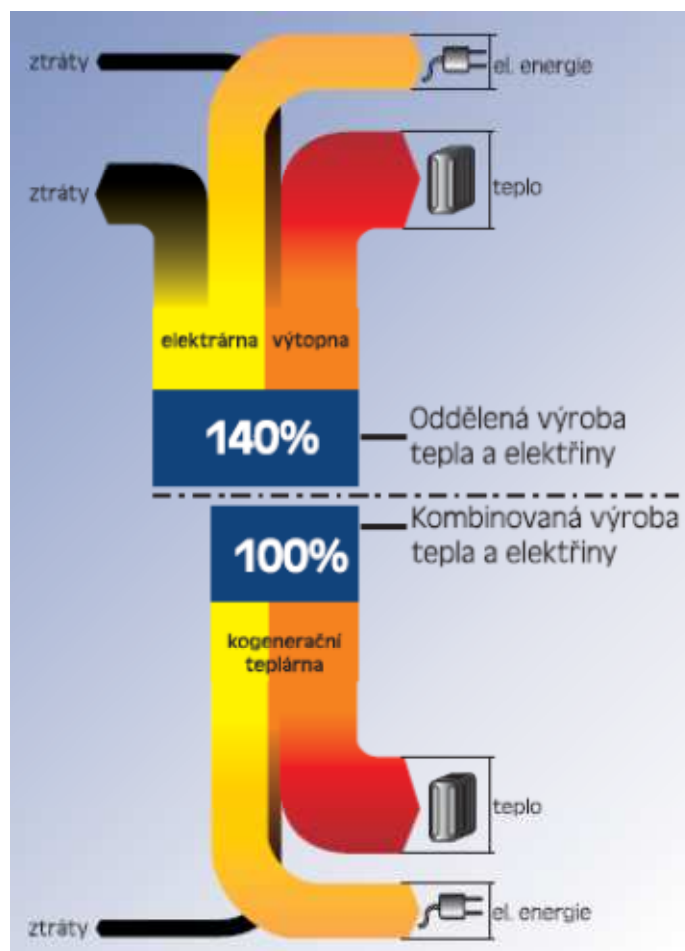
1.1 Princip kogenerace

Obvykle se elektřina nakupuje a odebírá z lokální sítě a teplo se vyrábí spalováním paliva v peci. Pokud však chceme ušetřit palivo a tím i náklady je výhodné použít kombinovanou výrobu elektřiny a tepla (KVET). Kombinovaná výroba elektřiny a tepla produkuje elektřinu a teplo z jediného palivového zdroje. Při kogeneraci se využívá odpadní teplo, které by jinak odcházelo bez užitku, a mění se na užitečný zdroj energie, čímž se zvyšuje účinnost energetické přeměny a snižuje se špatný vliv na životní prostředí, zejména produkce oxidu uhličitého. [1] [3]

Kogenerace se využívá hlavně v teplárnách, které jsou napojeny na teplárenské sítě centrálního zásobování tepla. Kogeneraci mohou využívat i větší průmyslové a komerční objekty, které potřebují teplo (případně chlad) ke svému provozu (např. železárny, ropné rafinerie, zemědělské podniky, nemocnice, hotely, kancelářské budovy, školy, zimní stadiony, obchodní domy). [1] [2] Kogenerace naopak zatím není, kvůli vysokým nákladům, tolik výhodná pro malé spotřeby energie (např. rodinné domy, byty). I když i v tomto směru šel za poslední roky vývoj hodně dopředu.

Z termodynamického hlediska je kogenerace současná výroba dvou (nebo více) různých druhů energie z jednoho primárního zdroje. Nejčastější formy této vyráběné energie jsou tepelná a mechanická, která se obvykle používá k pohonu elektrického generátoru, proto se o kogeneraci většinou mluví jako o kombinované výrobě elektřiny a tepla. [1]

Hlavním důvodem pro vývoj kogeneračních technologií byla snaha o snížení spotřeby primárních energetických zdrojů. To má příznivý vliv na životní prostředí, a tím pádem i na společnost obecně. [1] Dalším důvodem jsou zmenšující se zásoby fosilních paliv a s tím spojené jejich zdražování. Tím, že kogenerace šetří fosilní paliva má nepřímo pozitivní vliv i na ekonomiku.



Obr. 1.1 - Porovnání účinnosti výroby energie monovýrobou a kogenerací [3]

1.2 Hlavní ukazatele zdrojů kogenerace

1.2.1 Modul teplotérenské výroby elektřiny

Teplotérenský modul σ je podíl elektrického výkonu k výkonu užitečného tepla v zařízení. To znamená, že čím větší je modul teplotérenské výroby pro danou kogenerační technologii, tím se vyrobí více elektřiny při výrobě daného množství tepla. [5]

$$\sigma = E/Q \quad [-] \quad (1.1)$$

σ - teplotérenský modul [-]

E - elektřina vyrobená v procesu KVET [GJ, MWh]

Q - teplo vyrobené v procesu KVET [GJ, MWh]

1.2.2 Účinnost výroby elektrické energie

Účinnost výroby elektrické energie η^{el} ve zdroji KVET je podíl elektřiny vyráběné kogenerací ku celkové spotřebě tepla v palivu ve zdroji KVET. [4]

$$\eta^{el} = \left(\frac{E}{Q_{pal}} \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.2)$$

E - elektřina vyráběná ve zdroji KVET [GJ, MWh]

Q_{pal} - spotřeba tepla v palivu ve zdroji KVET [GJ, MWh]

1.2.3 Účinnost výroby užitečného tepla

Účinnost výroby užitečného tepla η^q ve zdroji KVET je podíl užitečného tepla vyráběného formou KVET ku celkové spotřebě tepla v palivu ve zdroji KVET. [4]

$$\eta^q = \left(\frac{Q_{už}}{Q_{pal}} \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.3)$$

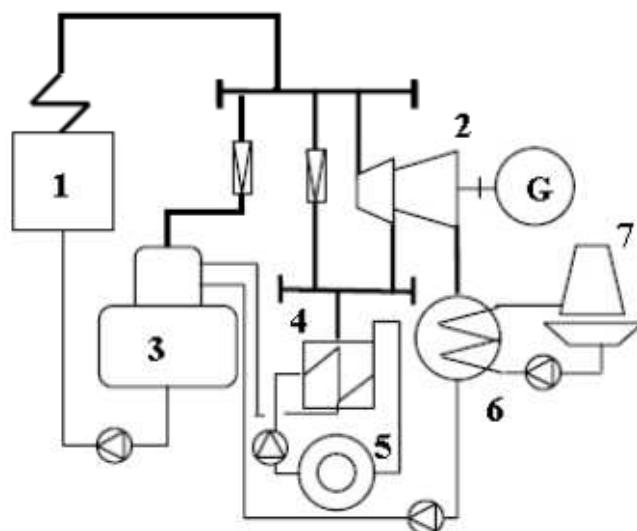
$Q_{už}$ - užitečné teplo vyráběné ve zdroji KVET [GJ, MWh]

Q_{pal} - spotřeba tepla v palivu ve zdroji KVET [GJ, MWh]

1.2.4 Celková účinnost zdroje

Celková účinnost zdroje KVET η^{celk} je podíl celkové elektřiny a užitečného tepla vyráběného formou KVET ku celkové spotřebě tepla v palivu ve zdroji KVET. [4]

$$\eta^{celk} = \left(\frac{Q_{už} + E}{Q_{pal}} \right) \cdot 100 \quad [\%] \quad (1.4)$$



Obr. 1.3 – Schéma zapojení kondenzační parní turbíny. 1. parní kotel, 2. parní turbína
3. napájecí nádrž, 4. ohřívač topné vody, 5. spotřebič tepla, 6. kondenzátor, 7. chladičí věž
[18]

Parní protitlaková turbína představuje typické kogenerační zapojení používané v minulosti nejčastěji. Vysokotlaká pára z kotlů expanduje v turbíně a produkuje mechanickou energii, která se používá k pohonu elektrického alternátoru. Výkon turbíny závisí na množství expandující páry a také na požadované kvalitě dodávaného tepla, která je dána tlakem páry vystupující z turbíny. Pracovní pára vstupující do turbíny musí mít vysoké parametry tj. tlak i teplotu. [18] Protitlakové turbíny vyrábí primárně teplo a elektřina je až na druhém místě.

U kondenzačních turbín se pára z výstupu turbíny vede do kondenzátoru. Tuto páru nelze pro kogenerační účely použít. Avšak pára může být u tohoto typu turbín ve vhodném místě expanze odebírána pro průmyslové nebo topné účely. [18] Kondenzační turbíny se přednostně využívají k výrobě elektřiny, teplo je vedlejší.

Hlavní výhody parních turbín jsou: velký rozsah výkonů (od 100 kW do 250 MW elektrického výkonu), vysoká celková účinnost (85 – 90%), dlouhá životnost a to, že můžeme použít libovolné palivo.

Nevýhodami naopak jsou vysoké investiční náklady, pomalé najíždění a pomalá změna výkonu, malý poměr elektrického a tepelného výkonu, celková složitost zařízení a velké rozměry. [18]

Velikostí svého výkonu se parní turbíny hodí spíše do velkých centralizovaných zdrojů KVET.

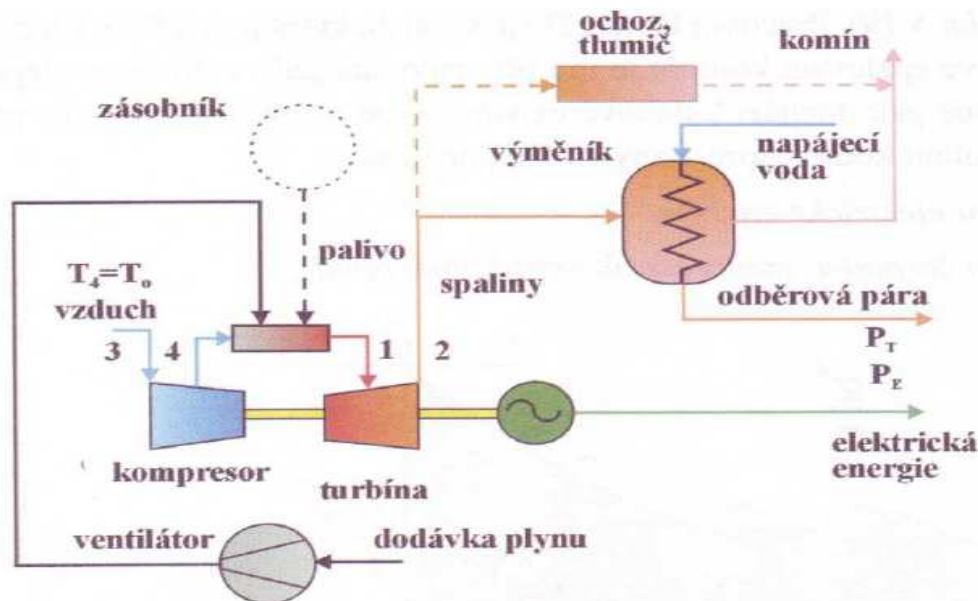
1.3.2 Kogenerační jednotky se spalovací turbínou

Další primární jednotkou využitelnou ve velkých teplárenských provozech je spalovací turbína. Spalovací (plynová) turbína se skládá z kompresoru, spalovací komory, plynové turbíny, elektrického generátoru a pomocných zařízení. Schéma zapojení těchto komponent je nakresleno na obr. 1.4. Kompressor nasává vzduch z atmosféry a stlačuje jej na požadovaný

tlak. Stlačený vzduch je veden do spalovací komory, kde se v jeho proudu při stálém tlaku spaluje palivo. Tím vzniknou spaliny o vysoké teplotě a tlaku, které pak expandují v plynové turbíně. Po průchodu turbínou, již s nízkou teplotou, jsou odváděny do atmosféry. [1] [18] Jako palivo se používá plyn případně lehké oleje. Rozmezí elektrického výkonu je od 1 do 250 MW. Celková účinnost se pohybuje kolem 75%.

Výhody spalovacích turbín jsou následující: rychlá změna výkonu, malé investiční náklady, malá spotřeba vody a malé rozměry.

Mezi hlavní nevýhody patří náročnost na čistotu a kvalitu paliva, vysoká hlučnost zařízení a také musí být použit kvalitní materiál na výrobu lopatek. [18]



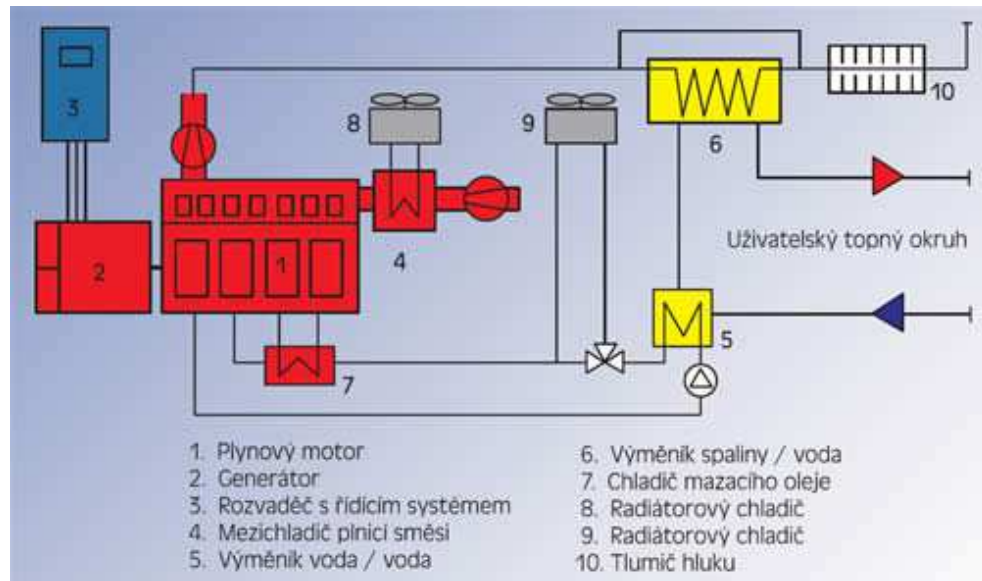
Obr. 1.4 – Schéma zapojení spalovací turbíny. [32]

1.3.3 Kogenerační jednotky se spalovacím motorem

Pístové spalovací motory používané při kogeneraci se dělí podle používaného termodynamického cyklu na 2 druhy. Zážehové motory, které využívají Ottův cyklus a vznětové, které využívají Dieslův cyklus. Pro zážehový motor se používá jako palivo buď benzín, zemní plyn nebo třeba bioplyn. Vznětový motor pracuje s vyššími tlaky a teplotou a z toho důvodu se používá většinou motorová nafta nebo zemní plyn.

Výkon závisí na velikosti motoru, pohybují se od 15 kW do 6 MW. Kogenerační jednotka se spalovacím motorem se skládá ze spalovacího motoru pohánějícího přímo alternátor vyrábějící elektřinu a výměníků pro využití odpadního tepla z motoru. Dlouhé zkušenosti s provozem i výrobou, poměrně nízká cena a velký rozptyl výkonů předurčují spalovací motory k masovému rozšíření. Nejvýznamějším dodavatelem kogeneračních jednotek se spalovacími motory u nás je firma Tedom.

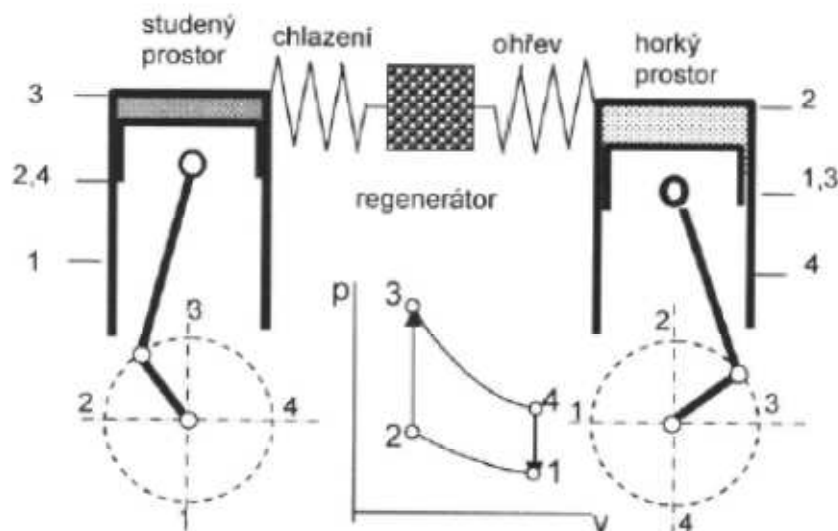
Spalovací motory mají celkovou účinnost kogenerace 75 – 85%. Teplárenský modul se pohybuje od 0,8 do 2,4 což je jedna z nejvyšších hodnot u kogeneračních technologií. [1] [3] [18]



Obr. 1.5 – Blokové schéma kogenerační jednotky se spalovacím motorem [3]

1.3.4 Kogenerační jednotky se Stirlingovým motorem

Stirlingův motor patří mezi teplovzdušné motory s externím spalováním. Stirlingův motor pracuje na principu roztažnosti plynu. Když se plyn ohřívá, roztahuje se, když se ochlazuje, svůj objem zmenšuje. Skládá ze dvou pístů a jednoho nebo dvou válců, podle toho o jakou modifikaci se jedná. Pracovní látkou je většinou vzduch (nebo jiný plyn např. helium). Vzduch je stlačován ve studeném válci a expanduje v horkém válci. Tepelná energie potřebná k ohřívání horkého válce je přiváděna z vnějšího zdroje. Teplo, které není přeměněno na práci se odvádí pomocí chladiče ve studeném válci. Mezi oběma válci je regenerátor, který umožňuje přesun plynu z horkého do studeného válce. [18] [27]



Obr. 1.6 - Princip Stirlingova motoru [18]

Výhodou Stirlingova motoru je, že dokáže využívat jakýkoli zdroj tepla. Třeba odpadní teplo z procesů, sluneční energii, nebo energii z fosilních paliv. Má jednoduchou konstrukci, nízkou hlučnost, vysokou účinnost, malé emise a velkou životnost.

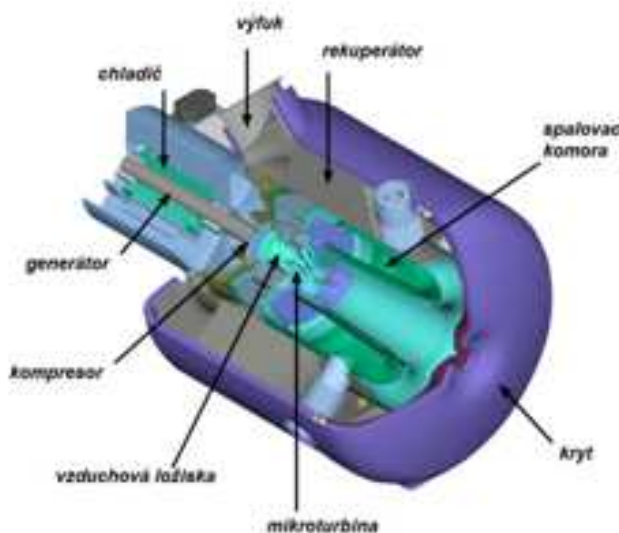
Nevýhodou jsou vysoké výrobní náklady a vyšší měrná hmotnost na jednotku výkonu.

1.3.5 Kogenerační jednotky s mikroturbínou

Mikroturbíny jsou vlastně spalovací turbíny. Rozdíl je v menším výkonu (20 – 300 kW) a v provozních otáčkách. Mikroturbíny mají otáčky kolem $100000 \text{ ot/min}^{-1}$, proto je potřeba používat vysokofrekvenční generátor a elektrickou energii upravovat na požadované parametry. Stejně jako spalovací turbíny pracují i mikroturbíny na principu Braytonova cyklu. Oproti velkým spalovacím turbínám má mikroturbína jediný pohyblivý díl, odpadá převodovka mezi elektrickým generátorem a hřídelí turbíny.

Výhodné jsou zejména kvůli malé provozní péči, kvůli tomu, že emise turbín jsou podstatně menší než u motorů a kvůli nízké hlučnosti. Mikroturbíny mají také malé rozměry a hmotnost.

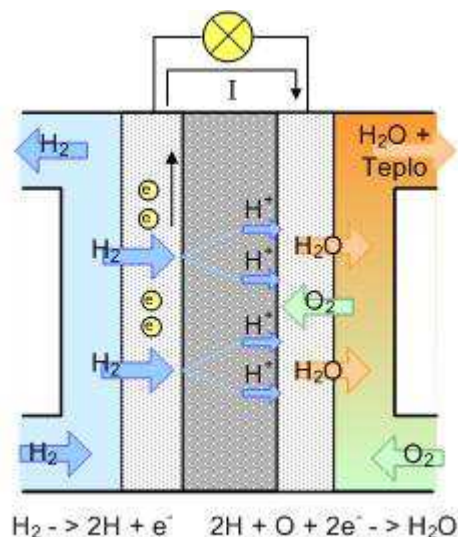
Bohužel jejich pořízení je stále drahé.



Obr. 1.7 – Řez mikroturbínou [28]

1.3.6 Kogenerační jednotky s palivovými články

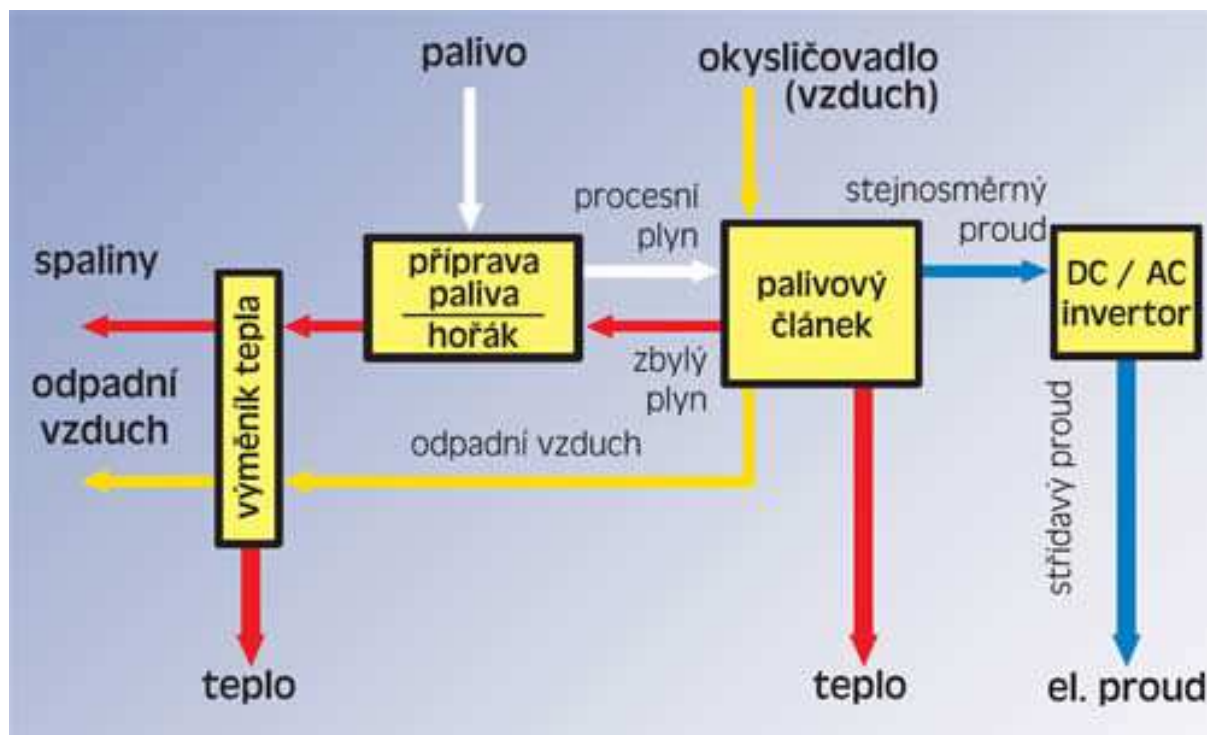
Palivové články nevyužívají ke svému fungování tepelné oběhy, ale chemickou energii svých materiálů převádějí přímo na el. energii. Palivových článků je více typů, liší se od sebe typem elektrolytu a druhem spalovaného paliva. Základním typem je vodíko-kyslíkový palivový článek na němž si vysvětlíme princip palivových článků. Podstatou je slučování vodíku a kyslíku za přítomnosti katalyzátoru (např. hydroxid draselný) za vzniku elektrické a tepelné energie, kde odpadem je čistá vodní pára. Princip přeměny chemické energie na energii elektrickou je znázorněn na obrázku 1.8. [30] [32]



Obr. 1.8 – Princip palivového článku [31]

K výhodám palivových článků patří vysoká životnost a tichý chod.

Palivové články jsou stále příliš drahé pro komerční využití. Navíc se musí udržovat optimální podmínky aktivních médií a také se musí průběžně odstraňovat produkty chemických reakcí (např. odčerpávat vodu).



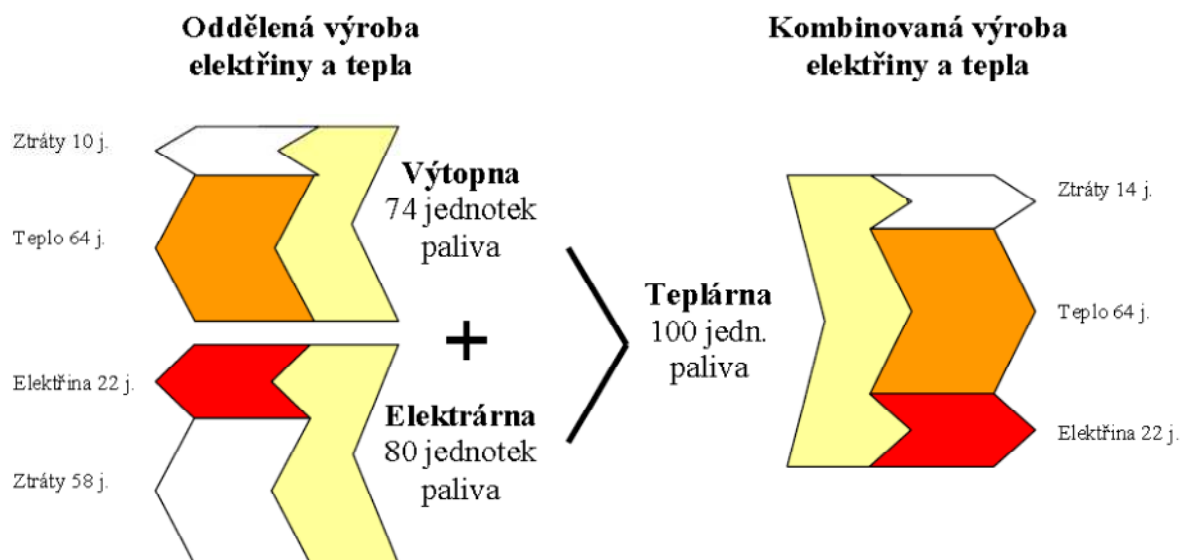
Obr 1.9 – Zapojení palivového článku v KJ [3]

2. RŮZNÉ DRUHY VÝROBY ELEKTRICKÉ ENERGIE A TEPLA

Běžné tepelné elektrárny mají účinnost max. 45%, zbytek energie v palivu se odvede jako odpadní teplo. Naproti tomu výtopny mají sice účinnost kolem 90%, ale ty vyrábí pouze teplo a ne elektřinu, která je považována za nejušlechtlejší formu energie. Při KVET dosahujeme běžně celkové účinnosti 80 až 90 %. Účinnost je vyšší právě o to teplo, které se v konvenčních elektrárnách odvádí jako odpadní. U kogenerace se ale užitečně využívá.

Teplo má ve vzájemné transformovatelnosti jednu zvláštnost: většinu forem energie (včetně té elektrické) lze zcela přeměnit na teplo. Obrácený proces ale není možný. Teplo se nikdy zcela nepřemění na jiný typ energie.

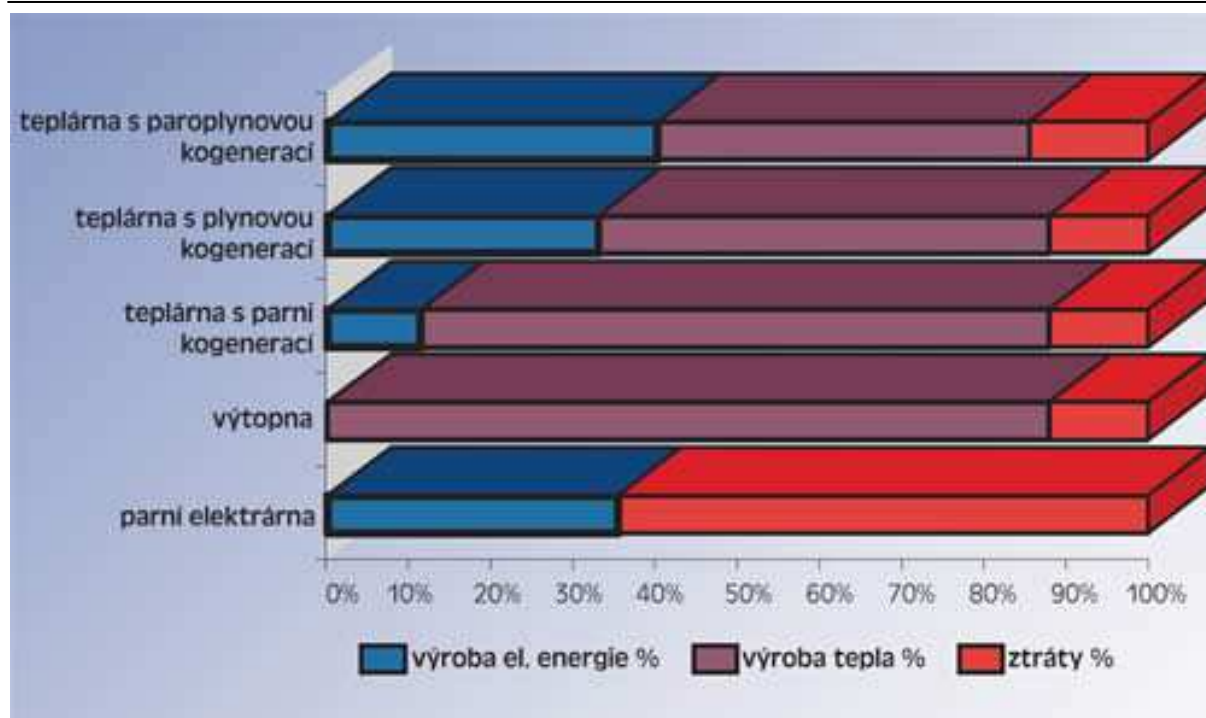
Při srovnání oddělené výroby elektrické energie v tepelné elektrárně a výrobou tepla v teplárně s KVET budeme předpokládat, že v obou systémech vyrobíme stejné množství elektřiny i tepla. Úspora je patrná na obrázku 2.1.



Obr. 2.1 - Znázornění efektu kombinované výroby elektřiny a tepla [4]

Z našeho příkladu je patrné, že pro výrobu stejného množství elektřiny (22 jednotek) a tepla (64 jednotek) je v kogeneračním systému potřeba 100 jednotek paliva, zatímco při monovýrobě je to 154 jednotek paliva. Úspora paliva v případě kogenerace je tedy 35%.

Další příklad srovnání různých druhů výroby elektřiny a tepla vidíme na obrázku 2.2.



Obr. 2.2 - Rozdělení tepla přivedeného v palivu (na výrobu elektřiny, tepla a tepelné ztráty) v jednotlivých typech kombinované výroby elektřiny a tepla a porovnání s oddělenou výrobou tepla ve výtopně a oddělenou výrobou el. energie v parní elektrárně [3]

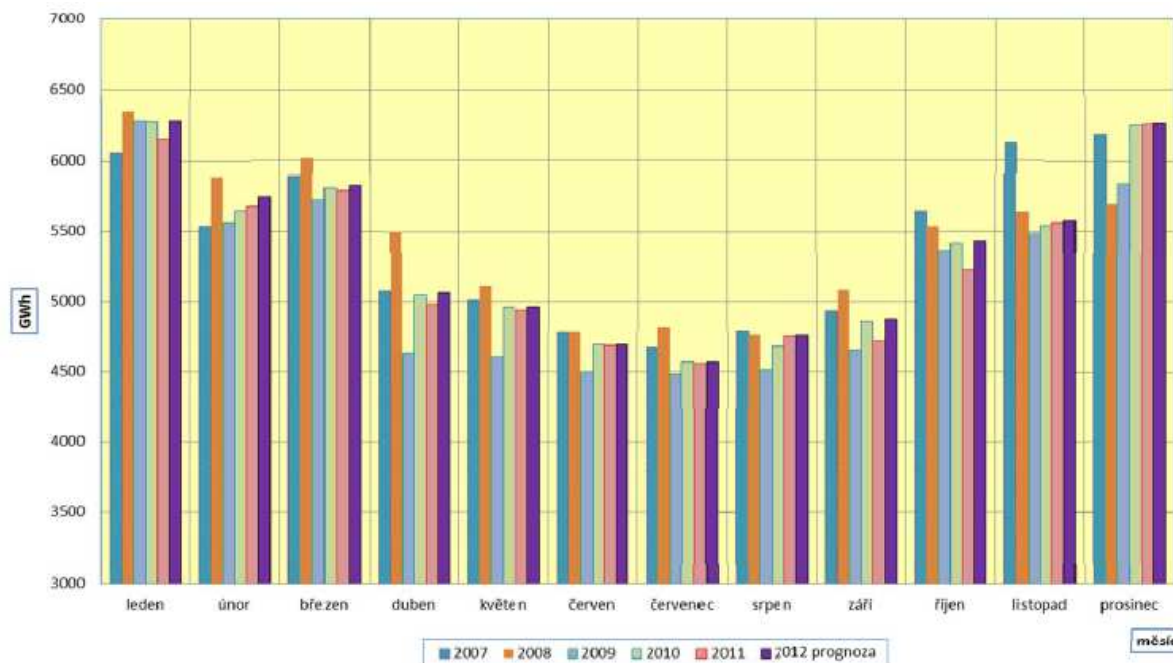
Různé druhy výroby elektřiny se dají hodnotit i podle teplotního modulu, který udává poměr vyrobené el. energie ku tepelné energii vyrobené ve zdroji. Srovnání vidíme v tab. 2.1.

Druh centrály	Obvyklá hodnota teplotního modulu
Výtopna	0
Paroplynový cyklus	0,6 – 1,5
Kondenzační turbína	0,4 – 0,6
Protitlaká parní turbína	0,3 – 0,55
Spalovací turbína	0,3 – 0,7
Spalovací motor	0,7 - 1
Elektrárna	∞

Tab. 2.1 – Běžný teplotní modul u různých technologií [1]

3. POUŽÍVANÉ DRUHY AKUMULACE

Energie (ať už tepelná, elektrická nebo jiná) se v průběhu času nespotřebovává rovnoměrně. Je to způsobeno denní dobou, ročním obdobím či různými mimořádnými událostmi.



Obr. 3.1 - Diagram zatížení elektrizační soustavy [6]

3.1 Akumulace elektrické energie

Elektrická energie se v současné době nedá skladovat přímo. Skladuje se nepřímo, transformovaná na jiný typ energie. Bohužel většina způsobů akumulace elektrické energie není vhodná k přenášení elektrizační soustavou. Podle principu rozlišujeme 2 skupiny uchování elektrické energie. [7]

1) Chemický princip akumulace

- olověné akumulátory
- moderní akumulátory pracující na principu Lithium-Ion
- superkondenzátory
- průtokové baterie

2) Fyzikální princip akumulace

- setrvačníky
- přečerpávací vodní elektrárny
- akumulace energie založená na stlačeném vzduchu

První skupina využívá přeměnu elektrické energie na energii chemickou, kterou je možno kdykoliv transformovat zpět na elektrickou energii. Druhá skupina využívá přeměn kinetické a potenciální energie.

3.1.1 Olověné akumulátory

Elektrody olověných baterií tvoří Pb a PbO, které při vybíjení reagují s elektrolytem. Používají se hlavně v automobilech.

3.1.2 Li-ion akumulátory

Katodu Li-ion akumulátorů tvoří oxid kovu (LiCoO_2), anoda je z uhlíku, elektrolyt tvoří lithná sůl (LiPF_6) rozpuštěná v organickém karbonátu. Li-ion akumulátory mají velkou hustotu energie i účinnost.

3.1.3 Superkondenzátory

Superkondenzátory vynikají svojí schopností přijmout velké množství náboje v průběhu několika málo sekund. Principem uchovávání náboje jsou na hranici mezi bateriemi a klasickými kondenzátory. Elektrický náboj totiž není uchováván chemicky, tak jak tomu je v bateriích, ale fyzikálně - elektrostatickou silou na povrchu elektrod.

3.1.4 Průtokové baterie

Průtokové baterie se v podstatě skládají ze dvou rezervoárů naplněných elektrolytem proudícím elektrochemickým článkem. Účinnost těchto baterií je od 75 % do 85 % a díky vysoké kapacitě jsou vhodně na dlouhodobější skladování.

druh akumulátoru	výhody	nevýhody
Pb	Cena, hustota energie a výkonu	účinnost
Li-ion	Velká hustota energie a výkonu, účinnost	Cena, životnost
Superkondenzátory	Výkon, účinnost, životnost	Nízká hustota energie, samovybíjení
Průtokové baterie	Velká kapacita, cena	Nízká hustota energie

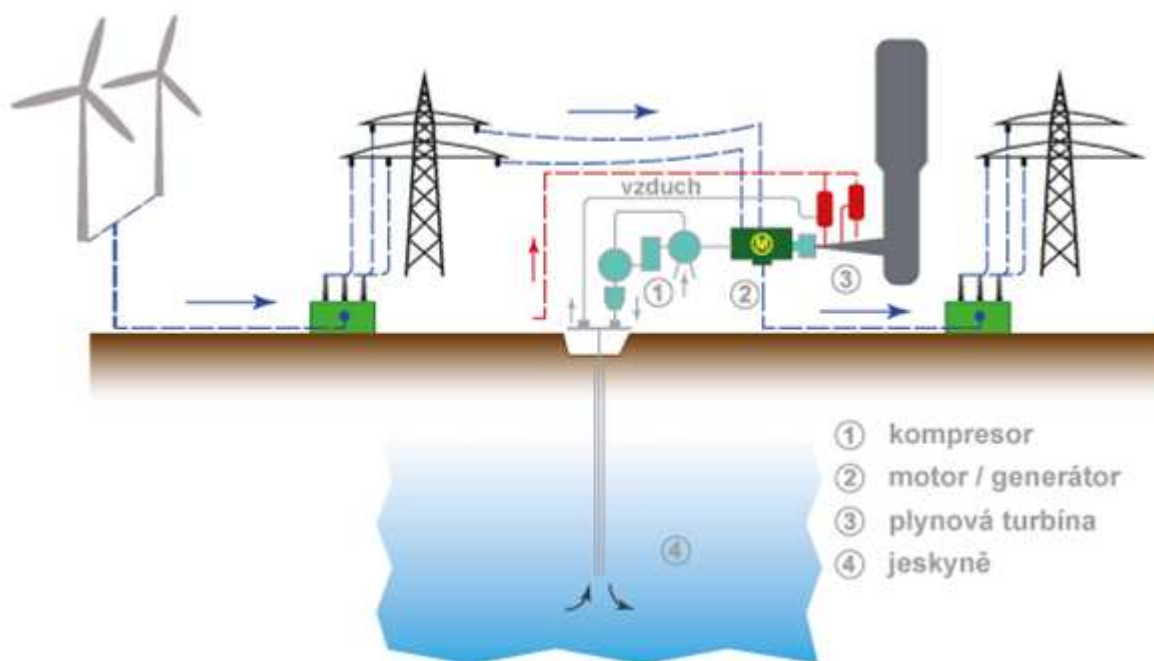
Tab. 3.1 - Vybrané technologie pro uložení energie a jejich vlastnosti [7]

3.1.5 Setrvačníky

Setrvačníky ukládají energii do kinetické energie otáčejícího se rotoru. Setrvačníky se vyznačují vysokým výkonem, i když jen po krátkou dobu, nízkou energií a oproti například bateriím dokážou energii velmi rychle vydávat a přijímat.

3.1.6 Akumulace energie založená na stlačeném vzduchu (CAES)

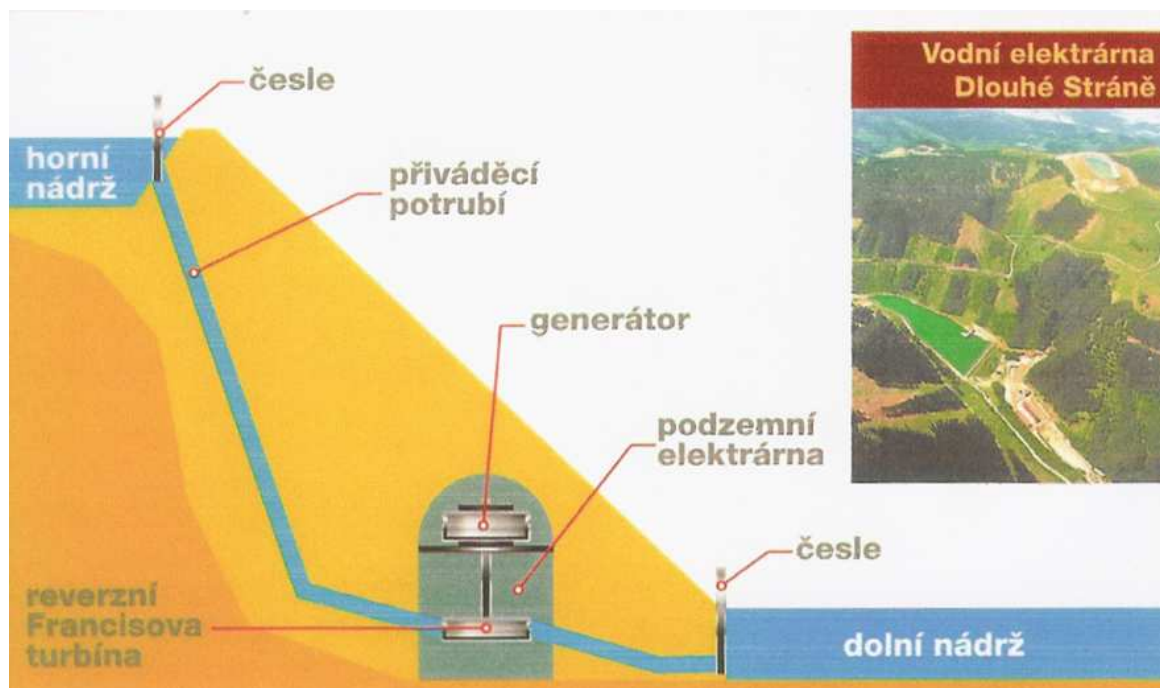
Spolu s přečerpávacími elektrárnami jsou tyto 2 systémy jediné vhodné pro elektrizační soustavu, protože dokážou uložit a poté dodávat velké množství energie. Náběhový čas činí desítky sekund až minut. [7]



Obr. 3.2 - Schematické znázornění systému CAES [7]

3.1.7 Přečerpávací vodní elektrárny

Přečerpávací elektrárny díky reverzní turbíně využívají přebytkovou energii (většinou v noci) a zdolní nádrže čerpají vodu do horní nádrže. Ve špičce se nechá voda „padat“ zpátky dolů a tím se pokryje energie, která zrovna chybí. Tyto elektrárny jsou schopny dodávat velké množství energie po relativně dlouhou dobu (řádově v hodinách).



Obr. 3.3 - Schéma přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé Stráně [9]

3.2 Akumulace tepelné energie

Lidé spotřebovávají asi 80% energie ve formě tepla. Potřebujeme ho ke svému pohodlí i k životu vůbec. Proto se lidé vždy snažili přijít na způsob jak si teplo uchovat. Tak vznikly tepelné akumulátory, které mají za cíl teplo ve chvílích přebytku přijmout, uchovat a ve chvílích nedostatku (ve špičce) ho zase vrátit. Základními požadavky kladenými na zásobníky tepelné energie jsou: dlouhá životnost, minimální údržba, hospodárnost, stálá kapacita, ekologická bezpečnost a neomezený počet cyklů nabití a vybití. Existuje mnoho typů akumulátorů, které se liší konstrukcí nebo třeba látkou používanou k akumulaci. Nejběžnější je voda (protože má vysokou tepelnou kapacitu), ale také například štěrk, písek nebo PCM (phase change material). PCM jsou látky, které nevyužívají jen měrné tepelné kapacity, ale i změny skupenství, což má výhodu v tom, že při zachování stejných rozměrů se akumuluje více energie. [8] [10]

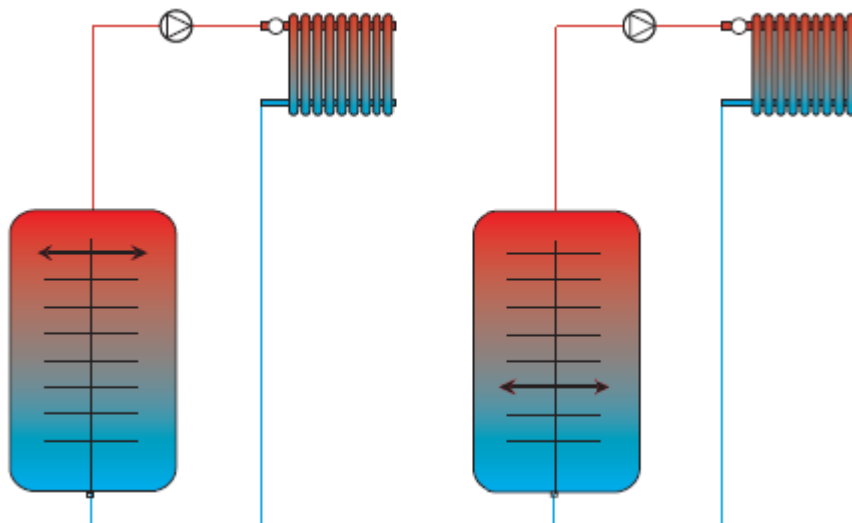
Akumulátory se také dají rozdělit podle délky uchování energie na krátkodobé a dlouhodobé.

3.2.1 Krátkodobé akumulátory

Krátkodobé akumulátory jsou charakteristické tím, že dokáží teplo uchovat v řádu hodin, maximálně několik dní. Jsou poměrně malé (v řádu jednotek až desítek m^3). Teploty se pohybují do 100°C .

Krátkodobé akumulátory se dají rozdělit na:

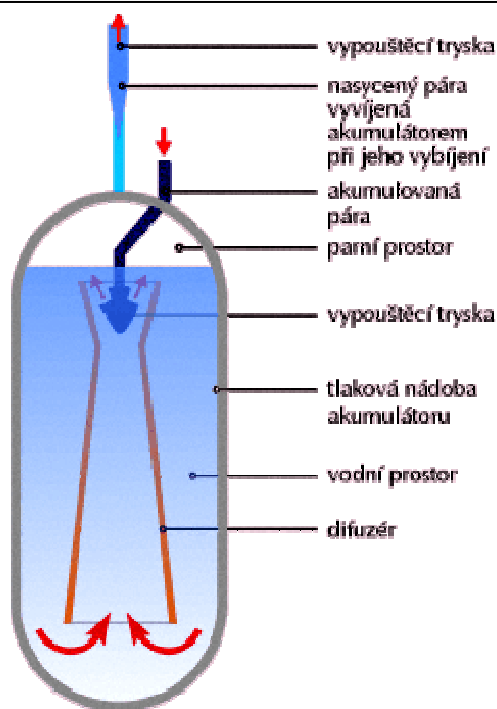
- **Beztlaké nádoby** (zásobníky) mají výhodu v tom, že jsou levné a náklady na jejich provoz jsou docela nízké. Probíhá zde nejméně energetických přeměn v důsledku čehož mají nejvyšší účinnost.
- **Promíchávací nádoby** jsou vhodné tam, kde jsou vysoké průtoky média.
- **Vrstvené nádoby** (stratifikační) jsou zásobníky, ve kterých se voda ukládá rozvrstveně podle teploty. Mají o něco vyšší účinnost (47% u třívrstvého) než promíchávací zásobníky (43%).



Obr. 3.4 – Stratifikační zásobník. Přicházející voda se uloží do vrstvy se stejnou teplotou jakou má sama. [19]

Mezi nejznámější krátkodobé zásobníky patří **bojlery**, ve kterých se teplo akumuluje ve formě ohřáté pitné vody. Pracují vždy v otevřeném okruhu, což znamená že se voda neustále doplňuje a dochází k usazování vodního kamene.

Ruthsův parovodní akumulátor je známé zařízení používané hlavně v minulosti. Z kotelný putuje pára do tlakové válcovité nádoby, kde kondenzací předá svou tepelnou energii chladnější vodě. Při této kondenzaci vlastně pára vrací energii, kterou získala k odpaření v kotelně. Během nabíjení roste v akumulátoru teplota a tlak. Když budeme chtít energii odebrat, tak otevřeme ventil v horní části a díky poklesu tlaku nad horkou hladinou dojde k varu a odpařování. V noci se akumulátor nabíjí přebytečnou parou a ve špičce potom tato pára posiluje výkon kotlů, turbín, nebo je využita v teplárenství. [10]



Obr. 3.5 – Ruthsův akumulátor páry [10]

3.2.2 Dlouhodobé akumulátory (nebo také sezónní akumulátory)

Sezónní akumulátory uchovávají energii i několik měsíců. Bývají poměrně velké, často uložené v zemi. Velikost zásobníku závisí na technickém návrhu. Čím je zásobník větší tím víc mu klesají měrné ztráty, ale také samozřejmě rostou investiční náklady. Typickým příkladem sezónního akumulátoru je ocelová nádoba, kolem které je vrstva tepelné izolace a je buď částečně nebo úplně zapuštěna v terénu.



Obr. 3.6 - Sezónní akumulační zásobník o velikosti 1100 m³ [17]

4. KOGENERACE A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ

Fosilní zdroje jsou stále vzácnější, a proto je každá úspora energie a s tím spojené šetření primárních energetických zdrojů velmi vítané. Právě kogenerace je jedna z technologií, které tomuto výrazně napomáhají. Ve většině typů elektráren se dnes 55-70% energie v palivu vypustí jako odpadní teplo. V kogeneračních systémech se toto odpadní teplo využívá a dosahuje se účinnosti kolem 90% někdy i 96%. V kogeneračních jednotkách se navíc velmi často používá jako palivo plyn, ze kterého vzniká velmi málo oxidu uhličitého a koncentrace dalších vznikajících škodlivin jsou také malé. Z toho přímo plyne i redukce škodlivých emisí do ovzduší.

Ne v každém případě však dochází při zavedení kogenerace k redukci emisí. Hlavně v případě, že by centralizovaný zdroj elektřiny nahradilo více malých decentralizovaných zdrojů KVET, mohlo by dojít naopak k zhoršení kvality ovzduší a to hlavně v bezprostředním okolí zdrojů. Závisí to na použité technologii KVET a hlavně na druhu a kvalitě používaného paliva. V případě zavedení KVET u centrálního zdroje bývá vliv na kvalitu ovzduší pozitivní.

4.1 Hluk a vibrace

Hluk má na člověka významný vliv. Při hluku spouští organismus řadu obranných mechanismů, jako například zvýšení tlaku, zrychlení tepu atd. Vystavení hluku přesahujícího 130 dB nebo dlouhodobě přesahujícího 85 dB může způsobit trvalé poškození sluchu. Hluk produkovaný kogeneračními jednotkami se liší typ od typu, ale například u motoru s vnitřním spalováním přesahuje 95dB. K redukci hluku (zejména u decentralizovaných jednotek) se používají akustické tlumiče, protihluková izolace stěn místností, omezení oken a dveří, případně zesílením stěn a stropů.

Proti vibracím se bojuje tak, že se motor dává na elastickou podložku a používají se absorbatory chvění. Kogenerační jednotka se také často umístí do odhlučného kontejneru a umístí mimo budovu.

4.2 Emise spalin

4.2.1 Emise CO₂

Množství emisí CO₂ záleží na množství a složení paliva. Nejlepším způsobem snížení emisí CO₂ je zvyšování účinnosti přeměny paliva na energii. Vyprodukuje se stejně energie, ale méně CO₂. Na každou MWh elektrické energie vyrobené kogenerací je úspora emisí CO₂ řádově v tunách oproti monovýrobě elektřiny.

4.2.2 Emise CO

Snížování produkce CO se dosahuje dodržováním přebytku spalovacího vzduchu.

4.2.3 Emise NO_x

Emise NO_x se dají snížit např. snížením spalovací teploty, snížením koncentrace O₂ nebo redukcí již vzniklých NO_x ve spalinách.

4.2.4 Emise SO_x

Nejčastějším způsobem redukce SO_x je odsiřování spalin.

4.2.5 Emise pevných látek

Vznik pevných znečišťujících látek se snižuje správným spalováním paliva a také různými filtry.

5. VÝROBA KOGENERAČNÍ ENERGIE V BRNĚ

Kogenerační výroba v Brně se soustřeďuje hlavně do teplárenských provozů. Už od svých počátků v 30. letech patřilo brněnské teplárenství k republikové i evropské špičce. V současné době je opravdu moderním zařízením hlavně teplárna Červený mlýn.

5.1 Nejvýznamnější kogenerační provozy v Brně

5.1.1 Teplárna Brno – sever



Obr. 5.1 – Pohled na teplárnu Brno - sever [23]

V roce 1978 byla uvedena do provozu teplárna Brno – sever. V současné době je celkový elektrický výkon 4 MW a tepelný výkon 225 MW. Místní komín má výšku 217 m. Areál zásobuje teplem sídliště v Lesné, Líšni a Vinohradech.

V létě tato teplárna kryje (spolu se spalovnou ve Slatině) odběry tepla pro celou soustavu CZT v Brně.

V provozu jsou umístěny 3 kotle, každý o výkonu 75 MW. V těchto kotlích se dá topit jak zemním plynem, tak těžkými topnými oleji (TTO). Pro výrobu elektřiny je instalována rychloběžná, protitlaká parní turbína o výkonu 3,5 MW.

5.1.2 Teplárna Špitálka



Obr. 5.2 – Pohled na teplárnu Špitálka [23]

Nejstarší teplárenský zdroj v Brně zahájil svůj provoz v roce 1930. V současnosti vyrábí elektřinu a teplo kombinovaným způsobem. Teplem zásobuje sídliště Juliánov a centrum města. Má celkový elektrický výkon 80 MW a tepelný výkon 411 MW. K topení se používá zemní plyn.

Provoz Špitálka je rozdělen na 2 části, tzv. Starý a Nový provoz.

V části Starý provoz je kotel o výkonu 55 MW.

V Novém provozu jsou instalovány 3 kotle o výkonu 198 MW, 79 MW a 79 MW.

K výrobě elektřiny se používají hlavně 2 protitlaké turbíny o výkonu 30 MW každá. Dále je instalováno několik menších turbín o výkonu 5 MW, 9 MW a 6 MW.

V areálu provozu můžeme spatřit 2 komíny o výšce 100 a 101 m.

5.1.3 Teplárna Červený mlýn



Obr. 5.3 – Pohled na teplárnu Červený mlýn [23]

Po rekonstrukci v roce 1999 se Červený mlýn stal nejmodernějším brněnským provozem, který vyrábí teplo a elektřinu kogenerací (používá se zde paroplynový cyklus). Nahradil starou uhelnou výtopnu, která se tu nacházela dříve. Celkový tepelný výkon je 140 MW a celkový elektrický výkon je 95 MW. Teplárna používá jako palivo zemní plyn.

V provozu je umístěna spalovací turbína o výkonu 71 MW odkud proudí spaliny buď do komína o výšce 42,5 m, nebo do spalínového kotle o výkonu 100 MW. Tento kotel využívá těchto spalin k přehřátí páry a spaliny z tohoto kotle odtud proudí do dalšího komína (45 m). Přehřátá pára z kotle je vedena do protitlaké parní turbíny o výkonu 24 MW. Jsou zde také 2 horkovodní kotle, každý o výkonu 28 MW, které slouží v případě nutnosti jako samostatné zdroje tepla do soustavy CZT.

Teplárna také slouží jako záložní zdroj v elektrizační soustavě. V případě mimořádné události se dá kromě zemního plynu spalovat i topný olej. Tento provoz zásobuje teplem Žabovřesky, Královo Pole a v přechodných obdobích Lesnou, Vinohrady a Líšeň.

Před rekonstrukcí patřila stará výtopna k největším producentům znečišťovatelům pevných látek a SO_2 v Brně. Díky tomu, že se jako palivo začal místo uhlí používat plyn a také díky zavedení kombinované výroby došlo k zásadní redukci těchto emisí a teplárna nyní splňuje ty nejprísnejší normy.



Obr. 5.4 - Akumulátor horké vody o objemu 5600 m³ umístěný v teplárně Červený mlýn

6. CENTRÁLNÍ ROZVOD TEPLA V BRNĚ

Teplu je jistě velmi podstatné pro život člověka. Máme v zásadě 2 možnosti jak si tepelnou energii ve svých domovech zajistit. Buď investovat do vlastního vytápěcího zařízení (decentralizované zásobování teplem - DZT), což je vlastně i jediná varianta pro obyvatele malých měst a vesnic, nebo se napojit na centrální rozvod tepla (centrální zásobování teplem - CZT). Oboje má své výhody a nevýhody.

Pokud se rozhodneme pořídit si vlastní zdroj vytápění, musíme počítat s daleko vyššími pořizovacími náklady. To je ovšem kompenzováno následnými nižšími náklady na výrobu jednotky tepla než při odběru tepla z tepláren. Také musíme počítat s menším pohodlím, protože se sami musíme starat o údržbu zařízení a musíme si zajistit dodávku suroviny, kterou používáme k vytápění.

Naproti tomu, pokud chceme odebírat teplo z centrálních zdrojů, máme mizivé počáteční náklady a celkem bezstarostný provoz. Pracovníci tepláren zajišťují servis. Také nás může hrát vědomí, že přispíváme k lepšímu životnímu prostředí, protože v porovnání s těmi, kteří používají vlastní zdroj, produkuje několikrát méně emisí.

Největší rozdíl je ale asi v tom kolik nás teplo stojí. Díky tomu, že teplárny musí investovat do modernizace svých zařízení, jsou potřeba daleko složitější a důmyslnější dopravní sítě, musí hlídat hodnoty emisí, platit ekologickou daň nebo např. nakupovat povolenky CO₂ je cena za jednotku tepla daleko vyšší než když si teplo vyrábíme sami. V Brně je navíc, díky tomu, že se jako palivo používá zemní plyn (stejně jako v Liberci), cena tepla ještě přibližně o třetinu vyšší oproti jiným městům, kde se většinou používá uhlí.

6.1 Paliva

V centrální výrobě tepla v energetickém mixu ČR převládá zřetelně domácí hnědé a černé uhlí následované zemním plynem (téměř 23%), biomasou (téměř 9%) a ostatními topnými plyny (cca 6%). V decentralizované výrobě tepla převládá zemní plyn (53%), následovaný biomasou (18%), elektřinou (15%) a hnědým uhlím (12%). [27]

6.2 Výtopny v Brně

Brněnská centrální rozvodová soustava tepla přijímá teplo ze čtyř hlavních teplárenských zdrojů. Jedná se o provozy Špitálka, Červený mlýn, Brno-sever a Staré Brno, které vlastní společnost Teplárny Brno, a.s. Ale tepelnou energii do soustavy dodává také společnost Sako Brno, a.s., která vlastní spalovnu komunálního odpadu. V Červeném mlýně se dá kromě zemního plynu spalovat také lehký olej a na provoze Brno-sever také mazut. Tato možnost spalovat několik druhů paliva zaručuje stálé dodávky tepla i pokud je některého paliva nedostatek. Touto soustavou je obsluhováno asi 92000 domácností, což je asi 60% všech domácností v Brně. Centrální rozvod tepla v Brně přispívá k lepšímu životnímu prostředí v tomto městě, protože jednotlivé provozy dohromady vyprodukují mnohem méně škodlivin, než kdyby každá domácnost měla svůj vlastní malý zdroj. [25]

Provozy, které vyrábí teplo kombinovaně byli popsány výše. Nyní si stručně popíšeme ostatní provozy.

6.2.1 Teplárna Bystrc

K výrobě tepla se používají 2 kotle na biomasu o výkonu 1,1 MW a 1,5 MW. Kromě toho jsou zde také 4 plynové kotle o celkovém výkonu 18,6 MW. Celkový tepelný výkon je tedy 21,2 MW. Výtopna Bystrc zásobuje teplem část sídliště Bystrc, ulice Teyschlova, Rerychova, Kuršova, Lýskova, Foltýnova a sídliště Kamechy.

6.2.2 Teplárna Staré Brno

Po rekonstrukci v roce 1993, kdy Staré Brno přešlo na zemní plyn, zde fungují 2 parní kotle o výkonu 2x17 MW. Teplonosným médiem je horká voda o teplotách 130/70 °C. Tato výtopna zásobuje teplem Staré Brno a oblast ulic Vídeňská a Heršpická.

6.2.3 Teplárna Kamenný vrch

Jsou zde instalovány 3 plynové kotle o celkovém výkonu 13,2 MW. Po poslední rekonstrukci v roce 2008 byla přidána kogenerační jednotka s elektrickým výkonem 736 kW. Z této spalovny jsou zásobovány lokality Nový Lískovec, Kamenný vrch.

6.2.4 Spalovna komunálních odpadů SAKO

Ve spalovně jsou nainstalovány dva moderní parní kotle s vratisuvnými rošty. Každý kotel může spálit až 15 tun odpadů za hodinu a vyprodukovat až 50 tun páry/hod. Spalovna zajišťuje dodávky tepla i v létě. Byla sem také dodána parní kondenzační turbína o elektrickém výkonu 22,7 MW.

6.3 Tepelné sítě

Podle druhu teplonosné látky se soustava tepelných sítí v Brně dělí na 3 druhy. Jsou to horkovody, teplovody a parovody. Navíc je ve městě 65 km kondenzátního potrubí, které slouží k tomu, aby sbíralo kondenzát z parovodů. Světlost kondenzátního potrubí je DN=150 nebo 200.

Parovody jsou propojeny přes provoz Špitálka. Pracují při tlaku 0,5 – 1,2 MPa a teplota páry u zákazníků je max. 230°C. Celková délka parovodů je 95 km.

Horkovody pracují při tlaku do 2,5 MPa a teplotní spád mají 130/70 °C. Celková délka Horkovodů je 2 x 85 km.

Teplovody dodávají k odběratelům vodu o teplotě 70 – 90 °C a zpátky se vrací voda o teplotě 50 – 70°C. Délka teplovodů v Brně je jen 2 x 0,4 km.

soustava	název	tlak	teplota	maximální dimenze potrubí ze zdroje	přenosová kapacita
		MPa	°C	DN/DN	MWt
parovodní	Město	0,9	210	500/150	87
	Sever	0,9	210	500/150	87
	Jih a Sako	1,2	230	500/125	114
	Tábor	0,9	210	500/150	87
	Červený mlýn	0,9	210	500/150	87
	Maloměřice	0,9 -1,2	230	600/0 a 800/0	125 a 226
horkovodní	Bělohorská	do 1,6	130/70	300/300 a 250/250	32 a 23
	Lesná	do 2,5	130/70	500/500 a 600/600	93 a 147
	Líšeň	do 2,5	130/70	350/350 a 700/700	86 a 193
	Vinohrady	do 2,5	130/70	600/600 a 400/400	147 a 59
	Staré Brno	do 1,6	130/70	300/300	32
	Královo Pole	do 2,5	130/70	600/600 a 500/500	147
	Chládkova	do 2,5	130/70	450/450	76
	Žabovřesky	do 2,5	130/70	450/450	76
teplovodní	Čápkova	do 0,6	95/65	200/200	4

Tab. 5.1 – Členění tepelných sítí v Brně a jejich parametry [26]

ZÁVĚR

Cílem této práce bylo představit kogeneraci jako moderní technologii kombinované výroby tepelné a elektrické energie. Na začátku práce je vysvětlen princip kogenerace a oblasti ve kterých je možné její využití. Jsou zde zmíněny hlavní charakteristiky kogeneračních zdrojů, z nichž je nejdůležitější teplotní modul σ a celková účinnost zdroje. Dále jsou uvedeny nejpoužívanější druhy kogeneračních jednotek, principy jejich fungování, jejich přednosti a nedostatky a možnosti nasazení. Jedná se o kogenerační jednotky s parními a spalovacími turbínami jako zástupce velkých zdrojů. Z menších pak zejména spalovací a Stirlingovy motory, mikroturbíny a palivové články. Hlavně mikroturbíny mají velký potenciál do budoucna a

V další kapitole jsou srovnány různé druhy výroby elektrické a tepelné energie a na příkladu je ukázána úspora paliva při KVVET.

Vyrobenou energii je často výhodné si uchovávat na později. Hlavně v případě elektrické energie je to problém a je veliký prostor pro další vývoj. Používané technologie se často dají použít jen pro malé množství el. energie. Nejběžnější akumulátory jsou olověné a Li-ion akumulátory, průtokové baterie, superkondenzátory, setrvačníky, akumulace na principu stlačeného vzduchu a přečerpávací vodní elektrárny. Jen poslední dvě jmenované se používají pro velké objemy energií. Pro uchování tepelné energie se používají podle potřeby větší či menší zásobníky, ve kterých je umístěno medium používané k akumulaci. Nejčastěji je to voda.

Při rozvoji všech typů technologií je důležité dbát na to, aby dopady na životní prostředí a na zdraví člověka byly co nejmenší. U menších kogeneračních jednotek, které se nasazují přímo v budovách či bezprostředním okolí, je důležité aby byli splněny hlukové a vibrační normy. Stručně jsem popsal jakými způsoby snižovat emise různých skleníkových plynů a prachových částic.

V závěru práce je zaměřena pozornost na kogenerační výrobu v Brně. Stručně jsou popsány provozy s nejvýkonnějšími KJ. Jedná se o provozy používané k CZT.

Centrální rozvod tepla v Brně je také popsán v samostatné kapitole, kde jsou zmíněny brněnské výtopny a popsána problematika tepelných sítí používaných k přenosu tepla.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] HOLOUBEK, D. *Kombinovaná výroba elektriny a tepla, trigenerácia a tepelná sieť*. Košice: TU Košice, ISBN 978-80-8073-977-5
- [2] SDRUŽENÍ PRO KOMBINOVANOU VÝROBU ELEKTŘINY A TEPLA COGEN CZECH. *Cogen.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.cogen.cz/o-kogeneraci.html>
- [3] EKOWATT. *Ekowatt.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: http://ekowatt.cz/upload/8d8404454da8be9d52d9234092c9d457/kogenerace_web.pdf
- [4] KARAFIÁT, J. Efekt energie efektivně. *mpo-efekt.cz* [online]. 10.2006 [cit. 2012-04-22]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf>
- [5] KADRNOŽKA, Jaroslav a Ladislav OCHRANA. *Teplárenství*. Brno: Cerm, 2001. ISBN 80-7204-222-X
- [6] ČEPS. *Roční příprava provozu 2012*. [online]. 2012 [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: http://www.ceps.cz/CZE/Cinnosti/Dispecerske_rizeni/Priprava_provozu/Documents/RP2012.pdf
- [7] DVOŘÁK, P. Akumulace elektřiny. *Tzbinfo.cz* [online]. 9.5.2011 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/7435-akumulace-elektriny>
- [8] BĚHUNEK, I. Využití změny skupenství látek pro akumulaci tepla. *www.fce.vutbr.cz* [online]. 2003 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.fce.vutbr.cz/veda/dk2003texty/pdf/2-7/np/behunek.pdf>
- [9] ELEKTRARNY. Akumulační elektrárny. *Elektrarny.xf.cz* [online]. 2005 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.elektrarny.xf.cz/precerpavaci.php>
- [10] ENERGYWEB. Akumulátory tepla ještě nedozrály. *energyweb.cz* [online]. 2005 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=6.1.5
- [11] PŘECH, V., J. Tolar a A. JAKUBICK. Akumulace tepla v teplé vodě nebo v topné vodě?. *Techtranspt.com* [online]. 2007 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.techtranspt.com/data/files/topenarstvi-instalace-01-2007.pdf>
- [12] TECHTRANSPT. Akumulace tepla v užitkové nebo topné vodě?. *Techtranspt.com* [online]. 2007 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.techtranspt.com/data/files/technika-01-2007.pdf>
- [13] KRAMOLIŠ, P. Zásobníky tepla. *Tzbinfo.cz* [online]. 15.5.2004 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1950-zasobniky-tepla>
- [14] PAVELEK, M. *Termomechanika*. Brno: Cerm. 2003. ISBN 80-214-2409-5

- [15] ZAJAC, Jaromír. Jak uložit energii. 3.pól [online]. 2006. roč. 6, č. 3, [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://3pol.cz/470-jak-ulozit-energii>
- [16] ROZEHNAL, Z. a D. Grycz. Sezónní zásobníky tepla z OZE v soustavách CZT. [online]. 2008 [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://www.cemc.cz/OZE2011/120.pdf>
- [17] ÚSTAV SOCIÁLNÍ PÉČE SLATIŇANY. Sezónní akumulace sluneční energie. [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://solab.fs.cvut.cz/slatinanycz.htm>
- [18] KRBEK, Jaroslav a B. POLESNÝ. Kogenerační jednotky, zřizování a provoz. Praha: Gas s.r.o. 2007. ISBN 978-80-7328-151-9 [online]. [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Kogeneracni_jednotky_zrizovani_provoz_2220047233.pdf
- [19] MATUŠKA, T. Zásobníky tepla s řízeným teplotním vrstvením (stratifikací). [online]. [cit. 2012-05-20]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/zasobniky-tepla-s-rozenym-teplotnim-vrstvenim-stratifikaci>
- [20] HORČÍK, J. Přínos kogenerace – absolutní úspora energií při výrobě elektřiny. [online]. [cit. 2012-05-19]. Dostupné z: <http://www.ekobydleni.eu/domy/prinos-kogenerace-absolutni-uspora-energi-pri%C2%A0vyrobe-elektriny>
- [21] HLUK & EMISE. Vliv hluku na zdraví. *Hluk.eps.cz* [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://hluk.eps.cz/hluk/vliv-hluku-na-zdravi/>
- [22] ENERGYWEB. Snižování emisí NO_x. *energyweb.cz* [online]. [cit. 2012-05-18]. Dostupné z: http://www.energyweb.cz/web/index.php?display_page=2&subitem=1&ee_chapter=2.5.7
- [23] TEPLÁRNY BRNO. Provozy. *Teplarny.cz* [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.teplarny.cz/cz/provozy>
- [24] TEPLÁRNY BRNO. Historie. *Teplarny.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.teplarny.cz/cz/historie>
- [25] TEPLÁRNY BRNO. Soustava zásobování tepelnou energií. [online]. 2012 [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <http://www.teplarny.cz/cz/firemni-tiskoviny>
- [26] MATUŠKA, T. Zdroje tepla pro CZT. [online]. 2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.fsid.cvut.cz/~matustom/ZZT-P5-zdroje.pdf>
- [26] KÁRL, J., M. MAŠEK, L. MOKRIŠ a J. MUSIL. Teplárny – tepelné zásobování Brna: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 24s.
- [27] STIRLINGMOTOR CZ. Princip Stirlingova motoru. [online]. 2011 [cit. 2012-05-26]. Dostupné z: <http://stirlingmotor.cz/princip.html>
- [28] ŠUROVSKÝ, J. Mikroturbíny – lepší avšak dražší než motory. *Alternativní energie*. 2011, č. 5, roč. 14, 36-38. ISSN 1212-1673

-
- [29] LABORATOŘ ALTERNATIVNÍCH POHONŮ A PALIV VŠB. Zaměření laboratoře alternativních pohonů a paliv. [online]. [cit. 2012-05-25]. Dostupné z: <http://katedry.fmfi.vsb.cz/635/LAPaP/index.htm>
- [30] ENVIROS, Palivové články jako perspektivní technologie. *Enviros.cz* [online]. [cit. 2012-05-26]. Dostupné z: http://www.enviros.cz/palivove_clanky/palivove_clanky.html
- [31] TRIHYBUS, Palivové články. *Trihybus.cz* [online]. 2011 [cit. 2012-05-26]. Dostupné z: <http://www.trihybus.cz/palivove-clanky>
- [32] PAZDERA, J. Vylepšený palivový článek. *Osel.cz* [online]. 20.5.2008 [cit. 2012-05-26]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/index.php?clanek=3578>
- [32] VÍTEK, S. *Trigenerace*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 46 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D..
- [33] REGULUS, Stratifikační válec uvnitř zásobníku. *Regulus.dnh.cz* [online]. 2012 [cit. 2012-05-27]. Dostupné z: <http://regulus.dnh.cz/hsksolar/Technol/HSK/KomponentySoustavy.aspx>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CAES		akumulace energie založená na stlačeném vzduchu (compressed air energy storage)
CZT		centrální zásobování teplem
DZT		decentralizované zásobování teplem
KJ		kogenerační jednotka
KVET		kombinovaná výroba elektřiny a tepla
PCM		látky, které při akumulaci energie využívají změnu skupenství (phase change material)
TTO		těžké topné oleje
σ	[-]	teplárenský modul
E	[GJ, MWh]	elektrická energie v procesu KVET
Q	[GJ, MWh]	tepelná energie v procesu KVET
η^{el}	[%]	účinnost výroby elektrické energie
Q_{pal}	[GJ, MWh]	spotřeba tepla v palivu ve zdroji KVET
η^q	[%]	účinnost výroby užitečného tepla
$Q_{už}$	[GJ, MWh]	užitečné teplo vyráběné ve zdroji KVET
η^{celk}	[%]	celková účinnost zdroje