

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra energetiky

Zdroje energie

**Text byl vypracován s podporou projektu CZ.1.07/1.1.00/08.0010
„Inovace odborného vzdělávání na SŠ, zaměřené na využívání
energetických zdrojů pro 21. století a na jejich dopad na ŽP**

Ing. Radim Janalík, CSc.

Ostrava 2012

Obsah:

1.	ÚVOD	3
2.	DRUHY A PŘEMĚNY ENERGIE	4
3.	ENERGIE A SPOLEČNOST	8
4.	SPOTŘEBA ENERGIE VE SVĚTĚ	9
4.1	VLIV POPULAČNÍHO PŘÍRŮSTKU NA SPOTŘEBU ENERGIE VE SVĚTĚ	10
5.	ROZDĚLENÍ ENERGETICKÝCH ZDROJŮ	13
5.1	PRIMÁRNÍ ENERGETICKÉ ZDROJE	13
5.1.1	<i>Primární neobnovitelné energetické zdroje (tradiční, vyčerpatelné) :</i>	<i>13</i>
5.1.2	<i>Primární obnovitelné a trvalé energetické zdroje :</i>	<i>14</i>
5.2	SEKUNDÁRNÍ ENERGETICKÉ ZDROJE	16
5.2.1	<i>Sekundární neobnovitelné zdroje</i>	<i>16</i>
5.2.2	<i>Sekundární obnovitelné zdroje</i>	<i>16</i>
6.	FOSILNÍ PALIVA	18
6.1	VZNIK FOSILNÍCH PALIV	18
6.2	SVĚTOVÉ ZÁSoby FOSILNÍCH PALIV A JEJICH VYUŽITÍ	18
6.3	CHARAKTERISTIKA PALIV	20
6.4	SPALOVÁNÍ PALIV	22
7.	UHLÍ	23
7.1	FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI A CHEMICKÉ SLOŽENÍ UHLÍ	23
7.2	ZÁSoby A SPOTŘEBA UHLÍ VE SVĚTĚ	25
7.4	ENERGETICKÉ VYUŽITÍ UHLÍ	29
7.4.1	<i>Spalování uhlí</i>	<i>30</i>
7.4.2	<i>Zařízení pro spalování uhlí</i>	<i>30</i>
7.5	UHLÍ V ČR	41
8.	ZEMNÍ PLYN A JINÁ PLYNNÁ PALIVA	44
8.1	HISTORIE ZEMNÍHO PLYNU	44
8.2	TĚŽBA ZEMNÍHO PLYNU	44
8.3	SVĚTOVÉ ZDROJE A ZÁSoby ZEMNÍHO PLYNU	45
8.4	DOPRAVA A SKLADOVÁNÍ ZEMNÍHO PLYNU	47
8.5	PRODUKCE A SPOTŘEBA ZEMNÍHO PLYNU VE SVĚTĚ	48
8.6	ZEMNÍ PLYN V ČR	53
8.7	JINÁ PLYNNÁ PALIVA V ČR	55
9.	ROPA A KAPALNÁ PALIVA	57
9.1	HISTORIE ROPY	57
9.2	TĚŽBA ROPY	58
9.3	DOPRAVA ROPY A JEJÍ SKLADOVÁNÍ	59
9.4	SVĚTOVÉ ZÁSoby A ZDROJE ROPY	61
9.5	SVĚTOVÁ TĚŽBA A SPOTŘEBA ROPY	62
9.6	ROPA V ČR	63
9.7	VYUŽITÍ A ZPRACOVÁNÍ ROPY	66
10.	JADERNÁ ENERGIE	68
10.1	HISTORIE JADERNÉ ENERGETIKY	69
10.2	JADERNÉ REAKTORY A JEHO DRUHY	69
10.3	JADERNÁ ENERGETIKA VE SVĚTĚ	74
10.4	JADERNÁ ENERGETIKA V ČR	76
10.5	JADERNÁ SYNTÉZA	80
11.	ELEKTRICKÁ ENERGIE	83
11.1	ELEKTRICKÁ ENERGIE V ČR	83
11.2	ELEKTRICKÁ ENERGIE VE SVĚTĚ	87

1. Úvod

Energie je jednou z nejdůležitějších podmínek života a jeho existence. Bez energie by nebyl život, nebyla by celá naše civilizace. Energie je základní vlastností veškerých těles od elementárních částic až po vesmírná tělesa a galaxie. Pojem energie patří mezi nejužívanější pojmy ve všech jazycích technicky vyspělých států.

Fyzikové v 17.století definovali energii jako schopnost hmoty nebo soustavy konat práci (působit silou po dráze). Těleso nebo pole, které nemá energii, nemůže konat práci. Podle fyzikální terminologie je energie definovaná jako stavová veličina. Její úměrou je práce nebo jiná ekvivalentní veličina. Ve skutečnosti má ale pojem energie ve fyzice mnohem širší význam. Je to veličina, která je kvantitativní mírou pohybu hmoty a charakterizuje vnitřní stav hmotné soustavy.

Jednotkou energie (všech jejich forem) je podle mezinárodní soustavy SI joule (J). Joule je práce, kterou vykoná síla 1 N (newtonu) působící po dráze 1 m ve směru síly. Samotná jednotka 1 J má velmi malou hodnotu. S energií o hodnotě 1 J je možné např. zvednout 1 kg jen do výšky 10 cm, ohřát cca 0,2 cm³ vody jen o 1°C. Proto v praxi používáme násobky této jednotky (kJ, MJ, GJ, TJ, PJ, EJ, atd.).

Kromě základní jednotky energie 1 J se v praxi velmi často používají pro vyjádření energie také jiné jednotky. Pro charakterizování energie elementárních procesů se jako jednotka energie používá „elektronvolt“ (eV), kde 1eV= 1,602.10⁻¹⁹J. Pro stanovení množství dodané (spotřebované) energie v plynu, elektřině apod. se často používá jednotka energie „watthodina“ (Wh), eventuálně „kilowatthodina“ (kWh), přičemž platí převod 1 kWh = 3,6 MJ. Dříve používanou jednotkou energie byla „kilocalorie“ (kcal), pro kterou platí převod 1 kcal = 4,1868 kJ. V anglosaských zemích je užívána jednotka energie „British Thermal Unit“ (BTU), pro kterou platí převod 1 BTU = 1055,1 J. Pro stanovení hodnot spotřeb energií, zásob energií v ložiscích fosilních paliv apod. se používají jednotky energie „tuna měrného paliva“ (tmp) a tuna olejového ekvivalentu (toe), pro které platí převody 1 tmp = 29,3 GJ a 1 toe = 41,868 GJ.

Koncem 19. století tak vedle sebe existovaly dva významné fyzikální pojmy, energie a hmotnost. Přestože obě veličiny mohly v přírodě nabývat mnoha různých konkrétních podob, vždy se zdálo, že jejich celkové množství se musí zachovávat, a to separátně. Byly zformulovány dva na sobě nezávislé zákony: zachování energie a zachování hmoty.

V r.1905 Albert Einstein učinil epochální objev, totiž že oba tyto klíčové přírodní zákony ve skutečnosti odděleně neplatí, neboť existuje propojení mezi "světem hmoty" a "světem energií". Množství hmoty, které se ztratí, je přitom vždy vyváжено množstvím energie, která se získá, a naopak. Einstein odvodil vztah mezi energií a hmotou, podle kterého je energie každé hmotné soustavy úměrná její hmotnosti.

$$E = m \cdot c^2 \quad [J] \quad (1.1)$$

kde : E – energie hmotné soustavy [J]

m – hmotnost soustavy [kg]

c - Einsteinova konstanta (rychlost světla ve vakuu, c = 2,997 925.10⁸ m.s⁻¹)

Hmotnost a energie představují tedy různé, navzájem úměrné vlastnosti hmotné soustavy. Každému množství energie hmotné soustavy přísluší určitá hmotnost a každému množství hmotnosti určitá energie.

Vzhledem k to, že hodnota druhé mocniny Einsteinovy konstanty je velmi velká, je možno tento vztah částečně experimentálně ověřit jen při jaderných reakcích.

2. Druhy a přeměny energie

Činnost energetických strojů je vždy spojená s transformací jednoho druhu energie v jiný druh energie nebo jeho jinou formu. Podle různých forem fyzikálních změn hovoříme o různých druzích energie. Rozdělení energií podle druhů je následující:

- Mechanická energie : projevuje se pohybem hmoty po určité dráze (kinetická energie), nebo polohou hmoty – potenciální energie)
- Tepelná energie : projevuje se pohybem molekul dané látky
- Elektrická energie : projevuje se pohybem elektronů látky
- Energie pole : projevuje se změnami elektrického, elektromagnetického nebo gravitačního pole
- Chemická energie : projevuje se změnou molekul hmoty
- Jaderná energie : projevuje se štěpením nebo slučováním atomových jader

Vlastní forma energie je určena druhem a nositelem energie. Nositelem energie může být těleso, částice, ale i pole (např. elektromagnetické). O energii určité formy hovoříme jako o zdroji jednoho z druhů energie, přičemž zdrojem energie je každý druh energie, který využijeme nějakým způsobem. Například paliva jsou primárním zdrojem a formou energie, ale tepelná energie zůstává zcela určitým druhem (formou) energie, ať je jejím nositelem vodní pára, horká voda apod. Energie elektrická a energie pole je současně druhem i formou energie a proto nepotřebují nositele energie.

Již v 19. století bylo zjištěno, že se všechny tyto formy energií přeměňují jedna v druhou v přesně definovaných kvantitativních vztazích. Tyto přeměny vyplývají ze zákona o zachování energie, který patří k základním zákonům přírody, je formulován: „Při všech dějích, které se v přírodě odehrávají, se mění jen formy energie, její celkové množství však zůstává stejné“. Definice zákona o zachování energie jsou v různých technických oblastech různé, ale podstata všech je stejná. Z jiných definicí je možno uvést jako příklad :

- „Součet všech druhů energie v soustavě je konstantní“
- „Energii nelze vyrobit ani zničit, lze jen přeměnit jeden druh energie v jiný druh“

Z fyzikálního hlediska můžeme rozdělit formy energie následujícím způsobem:

Potenciální energie : Je určena polohou tělesa v silovém poli. Podle silového pole a druhu sil, kterými na sebe tělesa v daném silovém poli působí, rozlišujeme gravitační potenciální energii, elektromagnetickou potenciální energii a jadernou potenciální energii.

Gravitační potenciální energie : Je určena polohou tělesa v gravitačním poli a je přímo úměrná hmotnosti tělesa. Když těleso zvedáme nad zemský povrch, konáním práce dochází k změně jeho potenciální energie

$$\Delta E_p = E_p - E_{p0} = m \cdot g \cdot \Delta h \quad [\text{J}] \quad (2.1)$$

kde: ΔE_p - změna gravitační potenciální energie tělesa [J]

E_p - gravitační potenciální energie tělesa ve vzdálenosti h od zemského povrchu [J]

E_{p0} - gravitační potenciální energie tělesa ležící na zemském povrchu [J]

m - hmotnost tělesa [kg]

g - gravitační zrychlení [$9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$]

Δh - změna polohy tělesa [m]

Kinetická energie : Je energie spojená s pohybem tělesa, která je definovaná následujícím vztahem

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad [\text{J}] \quad (2.2)$$

kde : E_k - kinetická energie [J]

m - hmotnost [kg]

v - rychlost [m/s]

Kinetická energie může mít formu translační, rotační a vibrační energie.

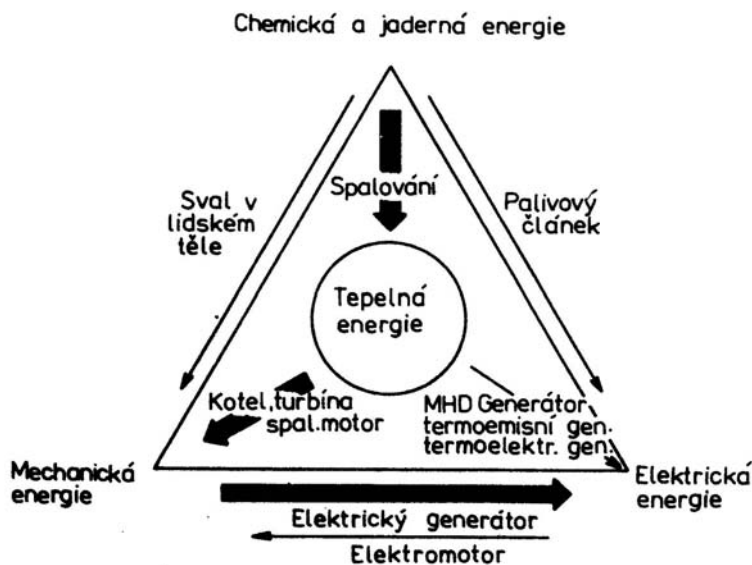
Mechanická energie : Je součet kinetické energie a gravitační potenciální energie tělesa. Je to veličina, pro kterou mírou změny je práce mechanických sil.

Vnitřní energie : Je definovaná pro soustavu jako celkový obsah energie soustavy při definovaných podmínkách. Vnitřní energie je tedy součet všech kinetických energií pohybu jednotlivých částic, jejich veškeré vzájemné potenciální energie apod. Míra změny vnitřní energie tělesa se nazývá teplo, ke které dochází při tepelné výměně, když se v soustavě nekoná práce.

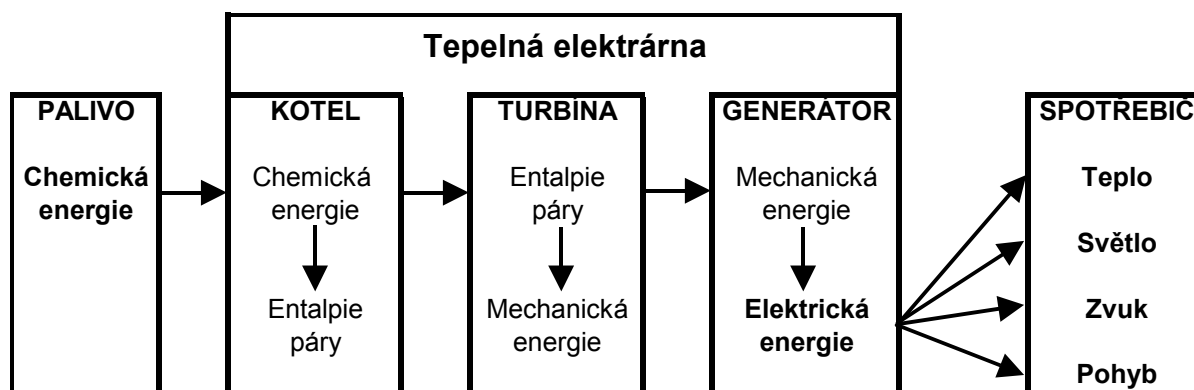
Možnost měnit energie z jednoho druhu v jiný druh energie (nebo jinou formu) je pro člověka velmi užitečné. Přímé zužitkování zdrojů energie které máme k dispozici je možné jen zřídka (např. přímé využití tepelného záření Slunce na ohřev určitých látek apod.). Obvykle energii určitého zdroje měníme na vhodnější druh nebo formu, která jsou pro využití výhodnější. Základní přeměny energie se kterými se setkáváme a zařízení ve kterých tyto přeměny uskutečňují, jsou schématicky znázorněny v trojúhelníku energetických přeměn , viz. Obr.2-1.

Jeden z nejjednodušších a nejznámějších příkladů na přeměnu energie z jedné formy na jiné formy představuje kolo s dynamem. Energie získaná člověkem z potravy se transformuje na energii svalů, energie svalů se přeměňuje na mechanickou energii otáčejícího se kola a dynamo, která se mění v dynamo na elektrickou energii a ta se následovně mění na tepelnou a zářivou energii v žárovce.

V energetice je nejznámější a v současné době nejvíce využívanou transformací energie přeměna chemické energie na energii elektrickou při „výrobě“ elektrické energie v tepelných elektrárnách. Chemická energie paliva (uhlí, zemní plyn atd.) se při jeho spalování v parním kotli mění na teplo, které se při ohřevu vody, vypařování vody a přehřívání páry transformuje na entalpii páry. Nositelem tepla v tomto procesu jsou spaliny, jež odevzdávají tepelnou energii v parním kotli vodě (páře). Voda (pára) při vyšší teplotě se tak stávají novými nositeli tepelné energie. Entalpie páry se v turbíně mění na energii mechanickou, a ta v generátoru na elektrickou energii. Elektrickou energii můžeme dále využívat po její přeměně ve formě tepelné energie, mechanické energie, světelné energie atd. Přeměna chemické energie paliva na elektrickou energii v tepelné elektrárně je schématicky znázorněná na Obr.2-2. Tímto způsobem je ve světě pokryto cca 80% získávání elektrické energie.



Obr.2-1 : Trojúhelník přeměn energie



Obr.2-2 : Schéma přeměny chemické energie v palivu na elektrickou energii v parní elektrárně

Vzhledem k tomu, že ne všechna energie dodaná na vstupu do zařízení (které provádí přeměnu energie na jiný druh, formu či jiné parametry) se přemění na požadovaný druh či formu energie na výstupu ze zařízení, musíme k pracujícímu zařízení na přeměnu energie přivádět větší množství energie než je množství energie, které ze zařízení odebíráme. Část vstupní energie se přemění v jiné formy energie (např. třením na teplo apod.). Energií dodanou do zařízení za jednotku času nazýváme „příkon zařízení“ (P), energii získanou ze zařízení za jednotku času nazýváme „výkon zařízení“ (P_0). Poměr výkonu a příkonu nazýváme „účinnost zařízení - η “

$$\eta = \frac{P}{P_0} \quad [1] \quad \text{nebo} \quad \eta = \frac{P}{P_0} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.3)$$

Kromě již uvedených příkladů přeměn energií, se kterými se běžně setkáváme, se uskutečňují libovolné transformace mezi uvedenými 6 druhy energií. Jejich příklady jsou uvedeny na Obr.2-3, kde jsou rovněž uvedeny zařízení ve kterých tyto přeměny probíhají a jejich účinnosti. Přeměny energií, které jsou využívány v technické praxi častěji jsou uvedeny tmavší barvou.

PŘEMĚNA	Mechanická energie	Tepelná energie	Elektrická energie	Energie záření	Chemická energie	Jaderná energie
Mechanická energie	(30 - 93%) Převody	(do 100%) Teplo třením	(98 - 99%) Elekt. generátory	Triboluminiscence	Mechanochemické procesy	Kosmické procesy
	Vodní turbíny	Kompres. chlázení	Alternátory	Záření - brzdní		Srážky atom. jader
	Hydraulické stroje	Tepelné čerpadlo	Piezoelektrický jev			
	Větrná kola					
Tepelná energie	(30 - 50%) Tepelné a spalovací motory (parní stroj, parní a spal. turbína spalovací motory)	(cca 90%) Tepelné výměníky Radiátory	(cca 50%) MHD generátory Termoelektrické a termoemisní články	Tepelné zářiče	Endotermické chemické procesy	Nukleární reakce Termojaderné reaktory
	(90 - 98%) Elektromotory	(cca 95%) Elektrické topidlo	(do 98%) Transformátory	(cca 10%) Žárovky	(do 90%) Akumulátory	(cca 50%) Urychlovače částic
	MHD čerpadlo	Termoelektrické chlázení	Usměrňovače	(až 50%) Výbojky	Elektrolyza	
	Kmitající krystal		Tranzistory	Vysílací antény		
Energie záření	Tlak záření	(cca 60%) Solární kolektory	(10 - 16%) Solární články	(do 20%) Laser	(cca 1%) Fotosyntéza	Laserová fúze
		Mikrovlnný ohřev	Fotobuňka	Fluorescence	Fotografie	
			Přijímací antény	Fosforescence		
	(10 - 25%) Svalová energie	(70 - 95%) Spalování	(60 - 80%) Elektrochemické a palivové články	Chemická luminiscence	Chemická reakce	Chemonukleární procesy
Jaderná energie	Raketový pohon	Exoterm. procesy			Zušlechťování paliva	
	štěpení jader	jaderný reaktor	Radioizotopové baterie	Radioaktivita	Chemonukleární procesy	Jaderná reakce
		jaderná fúze	Termoelektrické reaktory	(radioaktivní rozpad)		

Obr.2-3 : Přeměny energií mezi jednotlivými druhy energií

Ve fosilních palivech je ukryto teplo, které se uvolňuje jejich spalováním, tj. oxidací na místě spotřeby. Energie jaderná vzniká štěpením atomového jádra, čímž vzniká rovněž energie tepelná. Energie v palivech je tzv. energie surová. Uvolněné teplo z těchto paliv používáme přímo nebo jej přeměňujeme na energii mechanickou nebo elektrickou (jak bylo popsáno dříve). Tuhá paliva můžeme též přeměňovat v plynná, jež nezanechávají tuhé zbytky a dají se dopravovat na dálku. Elektrickou energii, plyn a kapalná paliva nazýváme energiemi ušlechtilými, protože se dodávají na místo potřeby, kde jsou okamžitě použitelné. V tomto směru je elektrická energie ideální energií, neboť se dá s vysokou účinností (blížící se 100%) převést na energii tepelnou a mechanickou v libovolném množství, zatímco pro přeměnu energie tepelné v mechanickou platí omezení ve smyslu II. zákona termomechaniky.

3. Energie a společnost

Rozvoj lidstva úzce souvisí s jeho schopnostmi získávat energii. Podstatou samotného života je přeměna hodnotnější energie na méně hodnotnou energii.

U rostlin se získávání energie děje fotosyntézou, u živočichů a u člověka potravou, tj. přijímáním rostlin a zvířat jakožto základních článků potravinového řetězce. U člověka, což je evolučně nový stupeň, také využitím hmotových sil (vítr, voda), molekulárních sil (spalování uhlovodíkových paliv – dřevo, uhlí, ropa a plyn) a využitím jaderné energie (v současnosti ve formě štěpení jádra a v budoucnosti také ve formě jaderné fúze).

Molekulární síly jsou zhruba 10^6 krát větší, než síly hmotové (voda, vítr). Jaderná energie je ve srovnání s molekulární energií rovněž cca 10^6 krát větší. To znamená, že měrná energetická hustota „akumulačního média“ zvaného jaderná síla (jaderné palivo) je přibližně 10^{12} krát větší než u média „vodní energie“.

Energetické potřeby člověka

Minimální fyziologická potřeba energie činí u člověka 120 W a pro její pokrytí denní spotřeby energie je zapotřebí 10,5 MJ/den. Tato minimální potřeba energie zahrnuje vnitřní tok energie v lidském těle (cca 85 W), energii potřebnou pro pohyb těla (cca 15 W) a energii využívanou pro aktivní práci (cca 20 W). S tímto minimálním energetickým přísunem by však nebyl možný vývoj člověka na úroveň kulturní bytosti. Předpokladem tohoto vývoje bylo a je objevení a využívání „cizí energie“.

Historický vývoj potřeby energie pro člověka byl následující :

- primitivní člověk (1 milion let př.n.l.) spotřeboval 0,09 kW
- prehistorický člověk (100 tisíc let př.n.l.) 0,2 kW
- člověk v rozvoji zemědělství (500 let př.n.l.) 0,6 kW
- člověk v době rozvoje ochodu a dopravy (r.1400) 1,3 kW
- člověk v době rozvoje průmyslu (konec 19.stol.) 3,0 kW

Současná potřeba energie (výkonu) u člověka v průmyslově vyspělých zemích činí zhruba 6 kW na obyvatele. V Severní Americe je to nyní cca 11 kW na obyvatele a v rozvojových zemích je to o něco více než 1 kW na obyvatele. Srovnání jednotlivých světových regionů z pohledu potřeb a spotřeb energií je uvedeno v tabulce č.4-1.

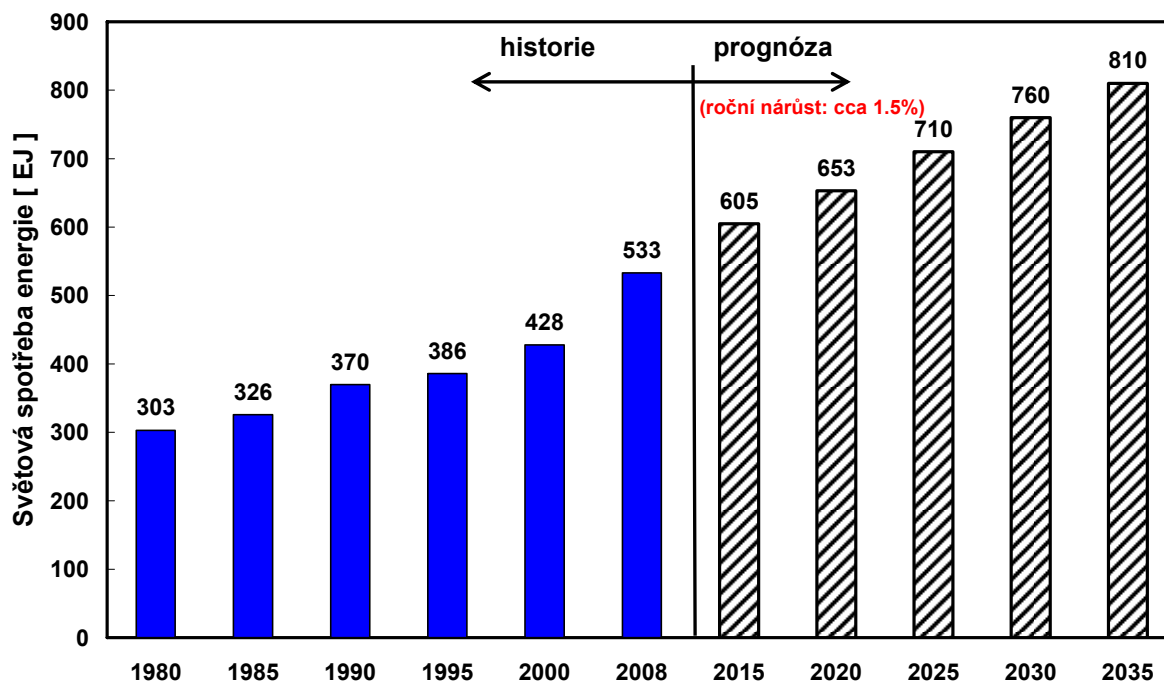
Přechod od ovládnutí energetických zdrojů s malou hustotou energie ke zdrojům s větší hustotou energie otevřel člověku zcela nové možnosti. Jedná se například o přeměnu molekul, tj. anorganickou a organickou chemii, která se díky využití uhlí,

ropa a plynu dostala do nové fáze svého rozvoje. Hospodářství, využívající „větrných a vodních mlýnů“ by takový rozvoj moderní chemii nemohlo vyvolat. Počáteční rozvoj chemie se omezoval totiž jen na ty chemické procesy, které probíhají při relativně nízkých teplotách. Další rozvoj chemie umožnilo až využívání již zmíněných fosilních paliv (uhlí, ropa, plyn). Využití energie fosilních paliv, které spočívá ve využití molekulárních sil, však nevede k umožnění přeměny jednoho prvku na jiný.

4. Spotřeba energie ve světě

Historický vývoj spotřeby energie ve světě a odhad světové spotřeby v budoucnosti (do r. 2035) je znázorněn v Grafu č.4-1. Z uvedeného grafu vyplývá, že celková spotřeba primárních energetických zdrojů neustále vzrůstá, což je způsobeno několika faktory :

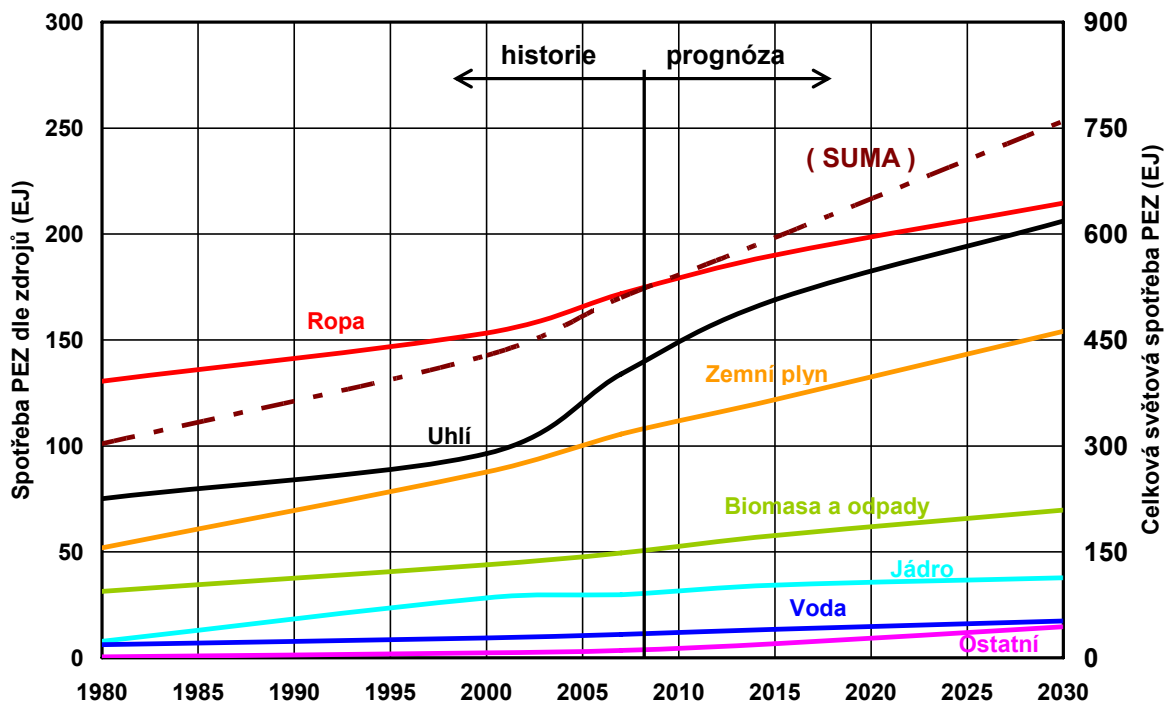
- Rostoucím počtem obyvatel
- Rozvíjející se ekonomikou
- Rostoucí civilizační požadavky



Graf č.4-1 : Vývoj roční spotřeby primární energie na Zemi

V roce 2008 byla roční spotřeba primární energie na Zemi 533 EJ a vzhledem k historickému vývoji je předpokládán meziroční nárůst spotřeby cca 1.5 %. Pravděpodobně největší meziroční nárůsty spotřeby energie byly v 60-tých letech a v první polovině 70-tých let 20.století. V období 1900 až 1945 byl průměrný meziroční nárůst spotřeby energie cca 1.55 %, v období 1945 až 1960 byl meziroční nárůst 4.14 % a v období 1960 až 1975 byl dosažen největší meziroční nárůst 6.76 %. Následná energetická krize v polovině 70-tých let 20. století vedla, jak ke snaze o zmenšení spotřeby energií, tak i ke změně struktury spotřeby energií. Velmi výrazné snížení spotřeby ropy a méně výrazné snížení spotřeby zemního plynu bylo kompenzováno zvýšením spotřeby uhlí ve světě a v oblasti výroby elektrické energie se projevil rovněž zvýšený zájem o jadernou energetiku. Vývoj spotřeby jednotlivých

primárních energetických zdrojů od r.1980 a předpoklad vývoje do r. 2030 (dle EIA – U.S. Energy Information Administration) je uveden v Grafu č.4-2.



Graf č.4-2 : Vývoj spotřeby jednotlivých zdrojů primární energie na Zemi

4.1 Vliv populačního přírůstku na spotřebu energie ve světě

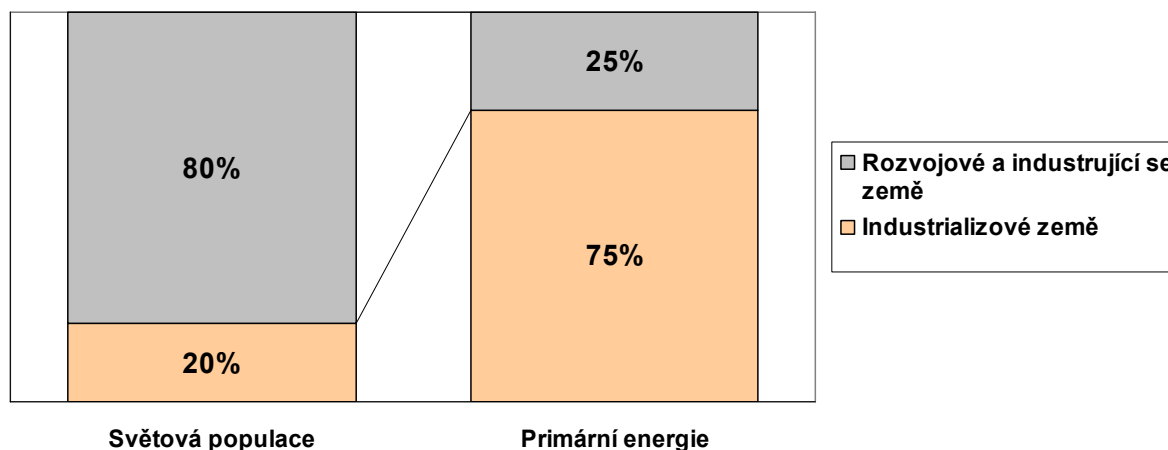
Před dvěma tisíci lety na světě žilo jen asi 260 milionů lidí. Přežit tehdy nebylo snadné, a za dalších tisíc let tento počet nepřesáhl 280 milionů. Teprve pak začal rychlejší růst. V roce 1500 našeho letopočtu tvořilo světovou populaci asi 430 milionů, v roce 1750 asi 730 milionů a na začátku dvacátého století 1670 milionů lidí. V roce 1950 světová populace dosáhla dvou a půl miliardy, a o pouhých deset let později (v r. 1960) 3 miliardy - počtu, který začal vyvolávat obavy z přelidnění. Někteří odborníci tehdy prohlašovali, že Země není schopna uživit více než pět miliard lidí. V roce 1990 byl počet obyvatelstva ve světě cca 5,3 miliardy, ale již v roce 2000 jejich počet přesáhl těžko představitelných 6 miliard.

Podle poslední prognózy OSN bude celkový růst světové populace pokračovat ještě alespoň dalších padesát let, ale nebude rovnoměrný. Světová populace by měla v roce 2025 dosáhnout téměř 8 miliardy, v r. 2050 9,3 miliardy (optimistická varianta), 10,5 až 12 miliardy (pesimistická varianta). Téměř celý očekávaný přírůstek se týká dnešních rozvojových zemí (i když už dnes v těchto zemích dochází k značnému relativnímu zpomalení nárůstu populace. Z rozvinutých zemí má vyhlídky na zvýšení počtu obyvatel Severní Amerika (z 314 na 438 milionů) a Austrálie a Nový Zéland (z 22 na 31 milionů). Naproti tomu v Evropě a Japonsku zřejmě dojde k snížení populace (ze 727 na 603 miliony, resp. ze 127 na 109 milionů).

Z uvedených počtů obyvatel na Zemi vyplývá, že počet obyvatel se za 40 let v druhé polovině 20 století zdvojnásobil a za první polovinu 21 století stoupne o 50 % (tj. o cca 3 miliardy). Tyto odhady je možno použít pro prošetření důsledků populačního růstu na energetickou budoucnost lidstva. Světová energetická budoucnost bude záviset na tom, jaké předpoklady o budoucí potřebě na obyvatele

budou přijaty v rozvojových zemích a jaký bude populační přírůstek. Populační přírůstek v rozvojových zemích je dnes mnohem větší než v průmyslových zemích. V rozvojových zemích bylo v roce 1960 cca 70 % světové populace, v roce 2000 to bylo cca 77 % a odhad pro rok 2050 je cca 85-90 %.

Jak rozložení hustoty populace na Zemi, tak i spotřeba energie vztažená na 1 obyvatele jsou v různých částech světa velmi rozdílné. Tato nerovnoměrnost je uvedena v Grafu č.4-3. Z uvedeného grafu je patrné, že na začátku 21.století asi 20 % světové populace (populace v průmyslově vyspělých zemí) v spotřebuje cca 75 % primární energie a naopak 80 % populace (rozvojové země) spotřebuje jen zbylých 25% primární energie. Takovéto nerovnoměrnosti jsou ale pro globalizující se svět v budoucnosti neudržitelné.



Graf č.4-3: Nerovnoměrné rozložení obyvatelstva a spotřeby primární energie v ve světě v r.2003

Roční měrná spotřeba primární energie vztažená na 1 obyvatele v různých regionech světa je uvedena v Tabulce č.4-1. Zatímco ve státech Severní Ameriky je potřebný výkon z primární energie $11 \div 12$ kW/osobu, ve státech rozvojového světa je to pouze $0.8 \div 1.3$ kW/obyvatele.

Z uvedené tabulky vyplývá, že měrná roční spotřeba primární energie (vztaženo na 1 obyvatele) je v USA 14krát větší než v Indii a Africe a 8.7x vyšší než v Číně. V Číně a ostatních státech Asie ale žije 2.17 mld.obyvateľ, což je 36.7 % světové populace. Spotřeba obyvatel v USA je 4.9x vyšší než je světový průměr.

Na základě uvedených skutečností je možno odhadnout různé scénáře vývoje energetické potřeby na obyvatele při počtu obyvatelstva ve světě na úrovni např. 12 miliard lidí. Při uvedeném odhadu v jednom ze scénářů je uvažováno s následujícími předpoklady :

- Potřeby energie v USA se sníží z cca 11.3 kW/obyvatele na 3 kW/obyvatele
- Potřeba energie v průmyslově vyspělých zemích se sníží z cca 6 kW/obyvatele na 3 kW/obyvatele
- Potřeba energie v současných rozvojových zemích se zvýší z cca 1 kW/obyvatele na 3 kW/obyvatele.

	Spotřeba "primární energie" na 1 osobu	
	[GJ/rok/osobu]	[kW/osobu]
USA, Kanada	355.3	11.3
Japonsko, Austrálie, Nový Zéland	192.8	6.1
Západní Evropa	181.0	5.7
Střední a Východní Evropa	128.1	4.1
Latinská Amerika	63.8	2.0
Čína	41.2	1.3
Asie	41.2	1.3
Afrika	26.5	0.8
Indie	25.2	0.8
Svět (průměr)	73.9	2.3

Tabulka č.4-1 : Nerovnoměrná měrná spotřeba primární energie v různých regionech světa

I přes optimismus těchto předpokladů z toho plyne : Při celkovém počtu obyvatelstva ve světě 12 miliard lidí a při potřebě energie 3 kW/obyvatele to představuje celosvětovou potřebu energie 36 TW (roční spotřebu energie 1135 EJ), což je asi dvojnásobek současné celosvětové potřeby energie.

Velmi zásadní vliv na výsledky prognóz spotřeb energií ve světě má , jak rychlost přírůstků obyvatel, tak i ekonomický vývoj společnosti. Charakteristiky vývoje spotřeb energií ve světě zpracované společností WEC (World Energy Council) jsou řešeny například ve 3 scénářích (dle rozvoje ekonomiky) při stejném přírůstku obyvatelstva :

Scénář **A** : Ekonomicky nejambicióznější, předpoklad rychlého ekonomického růstu

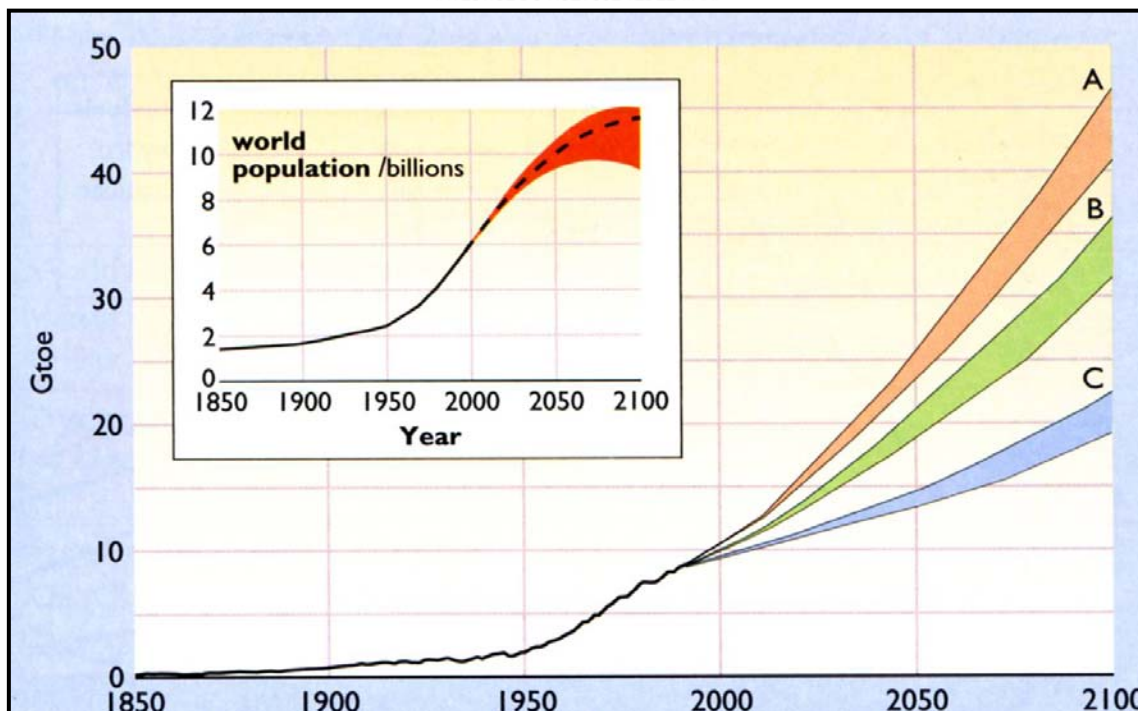
Scénář **B** : 2/3 ekonomické cíle v porovnání se scénářem „A“

Scénář **C** : Podobné ekonomické cíle jako scénář „B“, ale je velmi orientován na ekologické energetické zdroje a předpokládá velmi rychlé snižování energetické náročnosti ekonomiky

Dle těchto 3 scénářů pak vychází prognózy nárůstu spotřeby energie ve světě do r.2050 z výchozího stavu v r.1990 (roční spotřeba energie ve světě 370 EJ) :

	Celková roční spotřeba primární energie ve světě	Průměrný meziroční přírůstek spotřeby energie	Počet roků pro zdvojnásobení spotřeby energie
	[EJ/rok]	[%]	[roky]
Scénář „A“	1050	1.75	40
Scénář „B“	840	1.38	50
Scénář „C“	600	0.81	86

Grafické znázornění roční spotřeby energií ve světě je uvedeno v Grafu č.4-4.



Graf č.4-4: Porovnání jednotlivých scénářů prognózy roční spotřeby energie ve světě (dle WEC)

5. Rozdělení energetických zdrojů

U energetických zdrojů, které má lidstvo k dispozici lze provést hrubé rozdělení na :

- Primární energetické zdroje
- Sekundární energetické zdroje

5.1 Primární energetické zdroje

Jedná se o všechny energetické zdroje, které jsou získávány přímo z přírody, jejichž původ je v přírodních silách.

5.1.1 Primární neobnovitelné energetické zdroje (tradiční, vyčerpitelné) :

Jsou to takové energetické zdroje, jejichž získávání a transformace jsou nevratným procesem. Jejich získávání trvale ochuzuje zemskou kůru a jejich zásoby jsou vázány na určité místo a neustále se zmenšují. Využití těchto neobnovitelných zdrojů pokrývá v současné době cca 90% energetických potřeb lidstva.

K neobnovitelným energetickým zdrojům patří :

▪ Fosilní paliva

Fosilní paliva se rozdělují na tuhá (rašelina, lignit, hnědé a černé uhlí), kapalná (dehty, zemní oleje, ropa) a plynná paliva (zemní plyn), což jsou paliva vzniklá z pravěkých rostlin při horotvorných procesech. Z uvedených paliv jsou nejvíce využívaná paliva - uhlí, ropa a zemní plyn.

Energetické využití fosilních paliv je spojeno s transformací chemické energie v palivu na tepelnou energii, a to převážně spalováním. Vzniklá tepelná energie se pak rozvádí prostřednictvím páry, horké vody, horkého vzduchu nebo přímo spaliny do technologických procesů nebo pro vytápění (krytí tepelných ztrát budov).

Proces spalování fosilních paliv (zejména tuhých paliv) je provázen negativními vlivy na životní prostředí, plynnými emisemi (emise oxidů dusíku, oxidů síry, atd.) a tuhými emisemi (úletový popílek). Při spalování je rovněž produkováno velké množství tuhých odpadů (popel, struska).

Mechanickou energii nebo elektrickou energii lze získat z tepelné energie pomocí tepelných strojů, viz Obr.2-2. Existuje však přímá přeměna chemické energie na energii mechanickou nebo elektrickou, avšak z pohledu potřebného množství mechanické nebo elektrické energie spotřebovávané lidstvem jsou tyto přímé přeměny zanedbatelné.

▪ **Jaderné palivo**

Je získáváno úpravou rud obsahující v přírodním stavu izotopy uranu.

Jaderná paliva se dosud využívají výlučně pomocí řízené štěpné reakce. V daleké budoucnosti (cca 50 až 100 let) lze uvažovat také s využitím tzv. jaderné fúze. Jedné se o získávání energie slučováním malých atomových jader v jádra větší (např. slučování atomů vodíku).

Při využívání jaderného paliva nevznikají emise plynů a pevných látek výrazně škodících životnímu prostředí, jako je tomu u fosilních paliv. Vzniká však potenciální nebezpečí obecného ohrožení velkého až globálního rozsahu. Vznikají také problémy s dlouhodobě nebezpečnými plynnými, kapalnými i tuhými radioaktivními odpady, jejichž likvidace nebo uskladnění je obtížným technickým úkolem.

▪ **Primární elektrická energie**

Je získávána přímo z primárních zdrojů energie – z vodních toků, z mořského přílivu, ze zemského nitra, uranu apod.

5.1.2 Primární obnovitelné a trvalé energetické zdroje :

Jsou to takové energetické zdroje, které se v přírodě kontinuálně nebo periodicky obnovují. Jejich využívání je zpravidla doprovázeno malými vlivy na životní prostředí. S výjimkou vodní energie je využívání těchto zdrojů zatím omezené, zejména z ekonomických, ale i technických příčin.

V celosvětovém měřítku představují obnovitelné a trvalé zdroje energie obrovský, ekologicky čistý energetický potenciál, kterým by bylo teoreticky možné pokrýt současnou celosvětovou spotřebu. Využívání obnovitelných zdrojů, zejména k přeměně na elektrickou energii je však omezováno jejich malou plošnou koncentrací, nestejným územním rozložením, proměnlivou intenzitou během dne i roku, velkými investičními náklady.

K obnovitelným energetickým zdrojům patří :

▪ **Vodní energie**

Vodní energie je nejdéle využívanou formou energie v historii lidstva. I když je voda nositelem energie mechanické, chemické a tepelné, má z hlediska technického využití největší význam mechanická energie vodních toků, která je obnovována působením slunce.

Energie vodních toků představuje kontinuálně se vytvářející potenciální energii, která se ve vodních dílech přeměňuje v energii kinetickou a následně elektrickou. Samotná tato transformace není přímo provázena negativními vlivy na životní prostředí, ale celý komplex vodního díla může mít i závažné ekologické dopady.

▪ Sluneční energie

Sluneční energie je nejvýznamnějším zdrojem primární energie. Na sluneční energii jsou závislé všechny ostatní obnovitelné zdroje energie, s výjimkou geotermální energie a energie přílivu a odlivu moří.

Slunce je zdrojem zářivé energie v celém rozsahu spektra od nejmenších vlnových délek rentgenového a ultrafialového záření až po metrové délky rádiového záření. Světelné a infračervené záření o vlnové délce 0,2 μm až 3 μm je však nejčetnější.

Sluneční energie je využívána její přeměnou na energii tepelnou (nejčastější a nejsnadnější přeměna, využití slunečních kolektorů), elektrickou (nepřímo pomocí tepelné energie a parního oběhu nebo přímo s využitím fotovoltaických článků) a chemickou. U všech těchto transformací je však nutno počítat s malou plošnou koncentrací, proměnlivou intenzitou a nestejným rozložením.

Při využívání sluneční energie nejsou emitovány žádné škodlivé látky a rovněž je zde malá spotřeba živé práce. Zařízení větších výkonů na využívání sluneční energie však vyžaduje značnou zastavěnou plochu, což není přijatelné v hustě obydlených oblastech.

▪ Větrná energie

Větrná energie je spolu s energií vodní nejrozšířenější a nejpoužívanější formou využívání obnovitelných zdrojů energie.

Při využívání větrné energie se kinetická energie proudícího vzduchu transformuje přímo na mechanickou energii a dále na elektrickou energii.

Zvláštního významu nabývá využití větrné energie v odlehlých lokalitách nepřipojitelných na elektrickou síť k zajištění dodávky elektrické energie, k pohonu (např. čerpadel), k transformaci na energii tepelnou.

Využívání větrné energie je však doprovázeno emisemi hluku v okolí větrných motorů a problematická je rovněž vizuální stránka. Větrné motory většího výkonu i větrné farmy složené z desítek až stovek větrných motorů tvoří zvláštní pohledovou dominantu krajiny.

▪ Geotermální energie

Jako geotermální energie je označováno přirozené teplo země. Ve skutečnosti je zdrojem této obnovitelné energie rozpad radioaktivních prvků v zemském nitru.

Nejjednodušší využití geotermální energie je přímé využívání její tepelné energie. Obtížnější je již transformace tepelné energie na mechanickou v geotermální elektrárně.

Nevýhodou geotermální energie je nerovnoměrné rozložení jejich zdrojů, které jsou většinou situovány lokálně v oblastech mimo centra spotřeby tepla a elektřiny.

▪ Energie moře

Energii moře je možno využívat dvojnásobem:

a) Přímo přeměnou potenciální energie v případě využívání přílivu a odlivu (tzv. slapová energie) a využívání mechanické energie vln. Původcem slapové energie je přitažlivost Měsíce a Slunce spolu se zemskou rotací.

b) Využitím teplotního gradientu mezi chladnějšími vrstvami vody v hloubce a teplejšími vrstvami na povrchu. Využití teplotního gradientu je zajímavé pouze v subtropických a tropických oblastech.

Problémy při stavbě zařízení na využití energie moře jsou spíše ekonomického než technického charakteru.

5.2 Sekundární energetické zdroje

5.2.1 Sekundární neobnovitelné zdroje

Jedná se o energetické zdroje, které vznikají převážně jako důsledek transformace prvotních zdrojů energie na ušlechtlejší formy, při průmyslové výrobě či jinou činnosti člověka. Vznikají jako důsledek spotřeby paliv a energií v technologických zařízeních, ve kterých se bezzbytku nevyužijí. I když jsou pro původní technologie nevhodné, mohou být zdrojem energie pro jiná zařízení.

Tyto zdroje mohou být ve formě :

- **Chemické (spalitelné odpady)**

Jedná se o různorodé spalitelné odpady, jejichž využití je závislé na množství a lokalitě výskytu. Bývají ve formě tuhých odpadů nebo kapalných odpadů (oleje).

- **Tepelné (fyzické teplo)**

Podle teploty nositele odpadního tepla (voda, plyn, pára, spaliny atd.) dělíme tyto sekundární energetické zdroje na :

- nízkopotenciální (kapaliny, plyny a páry do 110°C)
- teplo středního potenciálu (teplota látek do 350°C)
- vysokopotenciální teplo (teplota látek nad 350°C)

Využívání odpadního tepla k topení není obtížné. Transformace odpadního tepla o teplotě 350–600°C na energii elektrickou je uskutečněna pomocí parních turbín pracujících s vodou (párou) jako pracovním médiem. Pro malé výkony 100-300 kW jsou používány agregáty, které využívají jednotělesové vysokoobrátkové turbíny pracující s parou i o teplotě 350°C a tlaku 0,5 MPa (tzv. točivé redukce). Transformace nízkopotenciálního odpadního tepla je mnohem složitější. Proto se nejčastěji využívá k topení, sušení, ohřevu vody atd.

Nejrozsáhlejším zdrojem odpadního tepla je chladící voda v parních elektrárnách z kondenzace parních turbín. Jedná se ovšem o nízkopotenciální odpadní teplo o teplotě vody do 35°C. Množství tohoto odpadního tepla je v desítkách až stovkách MW tepelné energie, ale vzhledem k jeho nízké teplotě je možné využití velmi omezené (např. k vytápění skleníků v blízkosti elektráren).

- **Tlakové (tlaková energie)**

Zbývající tlaková energie v nositeli po technologickém procesu se vyskytuje omezeně a její využívání je ojedinělé. Možné využití je v expanzní turbíně.

5.2.2 Sekundární obnovitelné zdroje

- **Vodík**

Vodík je nejrozšířenějším prvkem ve vesmíru kde tvoří cca 75% veškeré hmoty a je třetím nejrozšířenějším prvkem na Zemi (po kyslíku a křemíku). Na Zemi je vodík většinou vázán ve sloučeninách a představuje cca 15 % atomů zemské kůry a oceánů. Zásoby vodíku ve vodě jsou na Zemi téměř nevyčerpatelné.

Vodík jako energetický zdroj je využíván již v současnosti, avšak jeho využití je zatím velmi omezené. Zavádění vodíku do energetického hospodářství je teprve na začátku. Jeho současné energetické využití je např.:

- Palivo pro raketové motory (např. pro raketoplán - kapalný vodík)
- Palivové články (přímá přeměna chemické energie vodíku na elektrickou energii)
- Automobilové motory na vodík (spalování plynného vodíku je v současné době předmětem intenzivního výzkumu předních světových výrobců motorů)

Perspektivní je využití vodíku jako energetického zdroje v budoucnosti. Jeho hlavní předností jako paliva je, že jeho zásoby jsou téměř nevyčerpatelné. Vodík má vysokou hustotu energie dá se transportovat i skladovat. Spalování vodíku je z hlediska ochrany životního prostředí mnohem čistší než spalování fosilních paliv, vzniká neškodný produkt – voda (vodní pára). Vodík lze perspektivně využít jako zdroj energie pro:

- Výrobu elektrické energie (přímá přeměna v palivovém článku nebo nepřímá přeměna pomocí spalování vodíku)
- Palivo pro automobilový průmysl (vnitřní spalování nebo palivové články)
- Palivo pro leteckou dopravu

Energetické využití vodíku v budoucnosti je však spojeno s řadou problému, které bude třeba vyřešit:

- Jak budeme vodík vyrábět (parní reforming, elektrolyza vody, vysokoteplotní elektrolyzy, termochemické cykly, využití bakterií apod.)
- Otázka bezpečnosti při dopravě a skladování vodíku
- Ekonomika využití vodíku (vysoké náklady spojené s výrobou, dopravou a skladováním vodíku)

Obecně je využití vodíku v budoucnosti jako náhrada za fosilní paliva spojována s vývojem a využitím jiných energetických zdrojů (jaderná energie, přebytečná výroba elektrické energie z obnovitelných zdrojů apod.).

▪ Biomasa

Jedná se o dřevní hmotu a energetické plodiny, které vznikají v přírodě fotosyntézou. Chemická energie biomasy je transformována pomocí spalovacích procesů na energii tepelnou, která je přímo využívána nebo dále transformována na energii mechanickou a elektrickou stejně jako u fosilních paliv.

Velkou výhodou biomasy je skutečnost, že při jejím spalování se považují emise oxidu uhličitého z dlouhodobého a globálního pohledu za neutrální. Množství produkovaného oxidu uhličitého při spalování je přibližně stejné, jako množství které je spotřebováno při jejím růstu (při fotosyntéze).

Energetické využívání biomasy je však z mnoha důvodů obtížné. Jedná se většinou o velké objemy s malou energetickou hustotou. Vysoký a proměnlivý obsah vody negativně ovlivňuje výhřevnost. Spalování biomasy je často nutné stabilizovat jiným palivem, případně před spalováním snížit obsah vody ve spalované biomase.

Z obnovitelných zdrojů energie je u biomasy předpokládán největší nárůst energetického využití v blízké budoucnosti.

6. Fosilní paliva

6.1 Vznik fosilních paliv

Fosilní paliva jsou ve své podstatě obřím akumulátorem zářivé i tepelné sluneční energie, kterou ve své dlouhodobé geologické historii přijímala naše planeta Země. Část této energie se ve formě fosilních paliv uchovala do dnešní doby.

Nahromaděním organické hmoty odumřelých živočichů a rostlinných organismů v dávných dobách umožnilo vznik ložisek *kaustobiolitů*. Název kaustobiolit pochází ze třech řeckých slov : Kustos (hořlavý), bios (život), lithios (kámen). V doslovném překladu potom pojem kaustobiolit znamená „hořlavý kámen“, který vznikl jako výsledek životvorných procesů organismů. Kaustobiolity můžeme rozdělit do dvou základních skupin:

- Tuhé fosilní paliva (uhlí)
- Živice

Živice (bitumeny) jsou hořlaviny organického původu, ve kterých jsou podstatnou složkou uhlovodíky, a které můžeme podle skupenství rozdělit na:

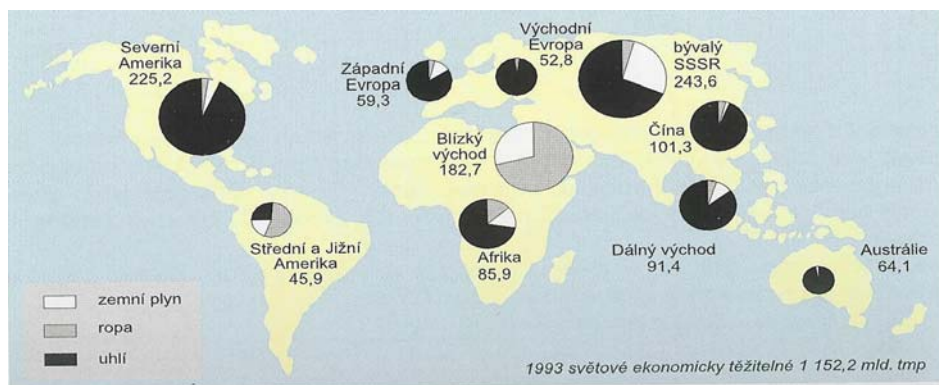
- Tuhé živice (přírodní asfalt, zemní vosk (tzv. ozokerit))
- Kapalné živice (ropa)
- Plynné živice (zemní plyny)

Mezi uhlím a živicemi existují přechodné typy jako jsou např. živičné (bitumenozní) břidlice. Světové geologické zásoby bitumenozních břidlic jsou odhadované na 300 mld.tun. Z geologicky odhadnutelných zásob bitumenozních břidlic je asi 30 mld.tun technicky vytěžitelných, ze kterých současnými technologiemi dokážeme vyrábět stejné produkty jako z ropy, ale za cenu vyšších výrobních nákladů. Tyto zdroje jsou považovány za zdroje budoucnosti, v době kdy budou docházet zdroje ropy. Největší naleziště bitumenozních břidlic jsou v Kanadě a ve Venezuele.

Na základě uvedeno rozdělení, mezi fosilní paliva řadíme všechny hořlavé tuhé, kapalné a plynné organické sedimenty, které vnikly složitými přeměnami rostlinných a živočišných organismů v dávných dobách, a které v minulosti, ale i v současnosti převážně slouží jako zdroj tepelné energie. Nejvýznamnější fosilní paliva jsou uhlí, ropa a zemní plyn. Živičné břidlice, ozokerit a přírodní asfalt nemají technologický význam paliv.

6.2 Světové zásoby fosilních paliv a jejich využití

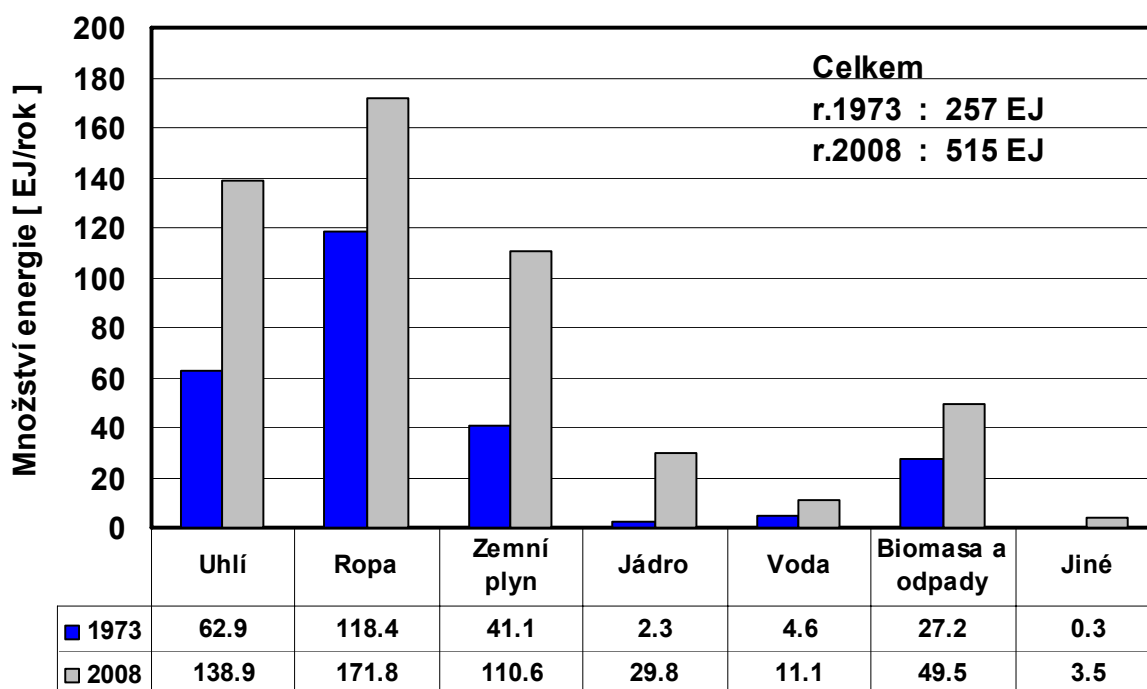
Rozložení světových zásob fosilních paliv (uhlí, ropy a zemního plynu) je uvedeno na Obr.6-1.



Obr.6-1 Rozložení světových zásob fosilních paliv

Rozložení světových zásob uhlí je mnohem rovnoměrnější než je rozložení světových zásob ropy a zemního plynu. Největší zásoby ropy jsou na Blízkém východě a v Jižní Americe, největší světové zásoby zemního plynu jsou v Rusku a na Blízkém východě. Největší zásoby fosilních paliv jsou v uhlí. Životnost zásoby (vztaženo na současnou spotřebu) se u uhlí odhaduje na více než 200 let, u zemního plynu na 70 až 90 let a u ropy na 45 až 50 let. Uhlí je největším zdrojem fosilního uhlíku na Zemi a vzhledem k mnohem delší životnosti zásob uhlí oproti zásobám ropy a zemního plynu a k možnosti přeměny uhlí na syntetické plynné a kapalné produkty procesy zplynění, odplynění a zkapalňování je význam uhlí v 21.století pro další rozvoj lidské civilizace jedním z klíčových faktorů

V posledních několika desetiletích a rovněž v současnosti je ve světě nejdůležitějším fosilním palivem ropa, ale v příštích desetiletích se předpokládá větší nárůst spotřeby zemního plynu a uhlí. Tento trend je již vidět při porovnání podílu jednotlivých zdrojů energie na celkové produkci primárních energetických zdrojů (PEZ) ve světě v r.1973 a v r.2008, které jsou uvedeny v obr.6-2. Celkový podíl fosilních paliv na produkci PEZ byl 86 % v r.1973 a 80 % v r.2008.



Obr.6-2 Podíl jednotlivých zdrojů energie na celkové produkci PEZ ve světě

Všechny úvahy o využívání prvotních zdrojů energie musí vždy dojít k otázce celkové účinnosti jejich využití. Při všech postupných operacích, počínaje těžbou, přes úpravu paliva, transport, několikanásobnou transformaci energie až po konečné využití v místě spotřeby, dochází ke ztrátám energie a rovněž je nutno brát v úvahu vlastní spotřebu jednotlivých operací. Celková účinnost je součinem dílčích účinností, někdy se hovoří o míře využití zásob.

V případě ropy a zemního plynu lze vytěžit pouze menší část paliva ložisku, obsaženého v pórech roponosných a plynonosných hornin. Z těchto důvodů se u ropy a zemního plynu zahrnuje do geologických zásob pouze vytěžitelná část, která představuje u ropy průměrně 30 až 40 % celkové kapacity ložiska. Ověřené metody zvýšení výtěžnosti by mohly umožnit získat dalších 10 až 25 %, nejsou však doposud uplatňovány a odhaduje se, že při využití všech metod lze za maximum považovat 60

až 80 % z celkové kapacity ložiska. U zemního plynu dochází k velkým energetickým ztrátám tím, že se nezachycuje značné množství plynu rozpuštěného v ropě a uvolňujícího se při těžbě. Uvádí se, že se tak každoročně vypouštějí do ovzduší nebo spalují bez užítku desítky miliard krychlových metrů plynu.

Na rozdíl od ropy a zemního plynu se geologické zásoby uhlí počítají v množství a kvalitě, v nichž se nacházejí v zemi. Z technických, ale i ekonomických důvodů růstává při těžbě část zásob nevytěžena a v některých případech představují tyto těžební ztráty více než 50 % zásob. Tyto ztráty bývají nejvyšší při hlubinné těžbě velmi mocných slojí a naopak nejnižší při povrchovém dobývání. U uhlí se hovoří o ekonomicky vytěžitelných zásobách, které jsou samozřejmě výrazně nižší než geologické zásoby.

Vezmeme-li tedy např. při výrobě elektrické energie v úvahu ztráty při těžbě 50 %, při úpravě a transportu paliva 7 %, v elektrárně 65 %, v přenosu 10 % a druhotné transformaci a konečném využití 30 %, dojdeme k celkovému využití energie ze zásob fosilního paliva při výrobě elektrické energie cca 10 %. Tento velmi orientační rozbor ukazuje jednoznačně nejslabší články v řetězci konečného využití elektrické energie. Vedle nízké výtěžnosti zdrojů (v případě potřeby bude velmi obtížné získat dříve odepsané zásoby) je to primární přeměna energie (odtud plyne snaha o zvyšování účinnosti energetických systémů akonečně využití, související bezprostředně se snižováním spotřeby a úsporami).

6.3 Charakteristika paliv

Jestliže fosilní paliva představují nejvýznamnější zdroj energie v současnosti, a je zřejmé, že si toto postavení ještě desítky let udrží, je potřebné znát charakteristické vlastnosti jednotlivých druhů a vědět jakým způsobem tyto vlastnosti ovlivňují jejich energetické využívání. Nejčastějším energetickým využíváním fosilních paliv v současnosti je tzv. spalování. Význam těchto vědomostí ještě více vynikne v souvislosti s jednoznačnou potřebou úspory paliv, snižování jejich spotřeby, zvyšování účinnosti přeměny energie a snižování tvorby a emisí škodlivin při jejich využívání.

Palivem nazýváme každou látku, která chemicky reaguje s kyslíkem (okysličovadlem) na jiné chemicky stabilnější formy. Při tomto procesu je uvolňována chemická energie daného paliva, která se transformuje na energii tepelnou. Okysličovadlem může být každá látka, která je schopna uvolnit atomární kyslík, který dostatečně rychle reaguje s palivem. Tato látka musí být snadno dostupná a v dostatečném množství. Z tohoto pohledu je nejdostupnějším okysličovadlem „vzduch“, obsahující cca 21 %_{obj.} kyslíku.

Všechna paliva obsahují zásadně 2 složky : aktivní a pasivní. Aktivní složky, označované obecně jako **hořlavina** představují spalitelný podíl paliva, tedy látky aktivně se zúčastňující spalovacích reakcí. Hořlavými složkami tuhých a kapalných paliv jsou uhlík (C), vodík (H) a síra (S). K hořlavým složkám plyných paliv patří oxid uhelnatý (CO), metan (CH₄), etan (C₃H₆), další uhlovodíky (C_xH_y), vodík (H₂) apod.

Pasivní složky se rovněž zúčastňují spalovacího procesu, nepřináší však žádný významný energetický efekt a mohou sekundárně ovlivnit průběh spalovacího procesu. Představiteli pasivních složek paliva jsou **voda** a **popelovina**, což je kategorizace obvyklá u tuhých a kapalných paliv, nebo je možno chápat popelovinu jako balastní látku a zahrnout sem také inertní plyny, obsažené v topných plynech a rozšířit tak toto rozdělení na všechny druhy paliv. Popeloviny jsou nehořlavé sloučeniny v palivu. Označíme-li aktivní složky paliva jako hořlavinu „h“, vodu obsaženou v palivu „w“ a zbývající balastní látky „b“, pak platí:

$$h + w + b = 1$$

případně pro tuhá a kapalná paliva:

$$h + w + A = 1$$

kde „A“ označuje množství popeloviny v palivu.

Mezi nejvýznamnější vlastnosti paliv patří jejich chemické složení. Na chemickém složení paliv závisí jejich další vlastnosti, jako : spalné teplo, výhřevnost, spalovací teploty, spotřeba spalovacího vzduchu, množství spalin atd.

Chápeme-li palivo jako materiál, při jehož oxidaci kyslíkem dochází k uvolňování tepla, je samozřejmě nejvýznamnějším klasifikačním údajem množství tepla získané z jednotky paliva. Tímto údajem je **výchřevnost**, resp. **spalné teplo**.

Spalujeme-li palivo se spalovacím vzduchem za stechiometrických poměrů, kdy není ani nadbytek ani nedostatek jednoho z reagentů, vzniknou spaliny, v nichž nebude přítomen kyslík (ten je beze zbytku spotřebován), které budou obsahovat veškerý dusík ze spalovacího vzduchu a paliva, a nově se v nich objeví oxid uhličitý (CO₂) a voda (díky vysoké spalovací teplotě ve formě vodní páry). Vzniklé spaliny jsou nositelem tepla, které se v kotli snažíme s co největší účinností, tzn. s co nejmenšími ztrátami, předat vodě. Ve spalinách obsažené teplo chápeme jako fyzické teplo spalin, protože jeho množství závisí na množství spalin, jejich teplotě a měrném teple, tedy na fyzikálních veličinách. Tento jednoduchý pohled se však komplikuje tím, že je ve spalinách obsažena vodní pára. Kdybychom ochladili spaliny až na původní teplotu spalovacího vzduchu a přitom v nich zachovali vodní páru, což je teoreticky možné, využili bychom veškeré fyzické teplo spalin s výjimkou kondenzačního tepla vodní páry. To lze získat teprve její kondenzací. Právě toto kondenzační teplo, které bylo jako výparné teplo dodáno při vypařování představuje rozdíl mezi výhřevností a spalným teplem.

Spalné teplo Q_n je veškeré teplo, které se uvolní při spálení jednotkového množství paliva v kalorimetru, kde se všechny produkty hoření ochladí na původní teplotu a vodní pára ze spalin zkondukuje. Při praktických výpočtech užívaná **výchřevnost** Q_i představuje maximální množství uvolněného tepla při spálení jednotkového množství paliva, kde se rovněž všechny produkty hoření ochladí na původní teplotu, ale vodní pára ze spalin nezkondenzuje (zůstane v plynné fázi). V extrémním případě tedy platí, že pokud ve spalinách není obsažena vodní pára, je:

$$Q_n = Q_i$$

Tato situace by nastala, pokud by v palivu nebyl obsažen žádný vodík, žádná voda a spalovací vzduch by rovněž neobsahoval žádnou vodu. Ale ve skutečnosti je vodní pára ve spalinách vždy, jednak jako produkt hoření vodíku, jednak z vody obsažené v palivu a z vody ze spalovacího vzduchu, pak platí :

$$Q_n > Q_i$$

Čím více je ve spalinách vodní páry, tím větší je rozdíl mezi spalným teplem a výhřevností. Protože za normálního stavu, při kterém se provádí spalovací výpočty je výparné teplo vody 2453.5 kJ.kg⁻¹, platí :

$$Q_n = Q_i + 2453.5 \cdot (w + 9 \cdot H) \text{ [kJ.kg}^{-1}\text{]}$$

kde:

w [1] hmotový obsah vody v palivu

H [1] hmotový obsah vodíku v palivu

Přesnou hodnotu spalného tepla a výhřevnosti je možno stanovit laboratorně v tzv. kalorimetru. Přibližné určení je možné pomocí empirických rovnic z prvkového

složení paliva. Pro přibližné určení se používá rovnic : Dulongovu, Mendělejevovu, Svazových států, Západních států.

Dalším významným parametrem paliva je **obsah balastních látek**, včetně vody. Jejich obsah snižuje výhřevnost paliva a je nutno rozlišovat výhřevnost paliva od výhřevnosti hořlaviny, která není obsahem balastních látek ovlivněna. Při spalování se část reakčního tepla spotřebuje k ohřevu balastu a v případě vody k jejímu vypaření, což zpomaluje spalovací proces a v extrémních případech vede ke snížení stability hoření. Zvýšený obsah balastu, zejména popeloviny uhlí, zvyšuje přepravní náklady a produkci problémových tuhých zbytků po spalování, s nimiž je nutno nakládat jako s odpady.

U uhlí a kapalných paliv je rovněž důležitý parametr **obsah síry**. Přestože síra patří k prvkům hořlaviny, převažuje výrazně nad energetickým přínosem negativní dopad oxidu siřičitého (SO₂), jako produktu jejího spálení, na životní prostředí. Při hodnocení obsahu síry v palivu je nutno vzít na vědomí, že ne všechna síra obsažená v palivu shoří. Síra, která podléhá oxidačním reakcím, je označována jako síra spalitelná a její obsah v palivu je rozhodující pro množství vzniklého oxidu siřičitého.

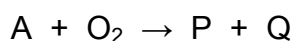
Pro tuhá paliva je významným ukazatelem kvality obsah **prchavé hořlaviny**. Je tak označována směs hořlavých plynů, uvolňujících se z paliva již při poměrně nízkých teplotách. Například u dřeva začíná uvolňování prchavé hořlaviny již při 160°C, u uhlí tato teplota roste s rostoucím stupněm prouhelnění až po 400°C v případě antracitu. Prchavá hořlavina se snadno zapaluje a její obsah v palivu a teplota na počátku uvolňování rozhodují o podmínkách zapálení paliva a tím o konstrukci ohniště a jeho částí.

6.4 Spalování paliv

Nejstarším, nejpropracovanějším a nejvíce využívaným způsobem energetického využití fosilních paliv je spalovací proces.

Hoření je fyzikálně chemický děj slučování hořlaviny s okysličovadlem, přičemž probíhající chemická reakce je doprovázena za světelného efektu vývinem tepla, chemicky vázaného v palivu. Spalování jako oxidační proces probíhá za každé teploty větší než 0°K, avšak s rostoucí teplotou rychlost této reakce roste a o hoření hovoříme od okamžiku, kdy teplota produktů hoření dosáhla viditelného spektra. Při hoření dochází k spotřebovávání hořlaviny i kyslíku. Jako produkty hoření vznikají spaliny a dochází k uvolňování reakčního tepla.

Bilanční výpočty spalovacích reakcí se provádí za předpokladu normálního stavu, tj. při teplotě 0°C a tlaku 101.325 kPa a vychází z příslušné termochemické rovnice, obecně psané ve tvaru :



kde: A jednotlivý aktivní prvek hořlaviny
 O₂ kyslík potřebný pro spálení daného prvku hořlaviny
 P produkty reakce
 Q reakční teplo

Pro spalování jednotlivých druhů fosilních paliv lze tuto obecnou rovnici sestavit pro spalování jejich jednotlivých složek hořlaviny (C, H, S). Rovnice je možno psát v molární, hmotnostní nebo objemové formě. Podrobný rozbor spalování, tj. popis spalovacích rovnic, výpočty teoretického a skutečného množství kyslíku (vzduchu) na spalování jednotlivých druhů paliv, výpočet teoretického a skutečného množství

spalin vznikajících při spalování různých druhů paliv apod. je náplní předmětu „spalování paliv“ a je popsán v literatuře zaměřené na spalování. Spalování uhlí je popsáno v kapitole 7.4.1.

7. Uhlí

Uhlí vznikalo hlavně v období druhohor (karbonu, permu) a v třetihorách, kdy geologické podmínky pro jeho vnik byly nejpříznivější. Hlavním materiálem pro tvorbu uhlí byly rostlinné organizmy, jako přesličky, plavuně, kapradiny apod.

Podle prouhelnění je uhlí možno rozdělit do tří skupin na hnědá uhlí, černá uhlí a antracitu. Klasifikace uhlí podle prouhelnění vychází z kontinuálního evolučního procesu přeměny odumřelých organických látek na materiál s vyšším nebo velmi vysokým obsahem uhlíku. Prouhelnění uhlí se zvyšuje s rostoucím obsahem uhlíku a jeho obsah lze nejlépe vyjádřit ve vztahu k organické hmotě uhlí v suchém a bezpopelnatém stavu, který vyjadřujeme symbolem C^{daf} . Dobrou korelaci s obsahem uhlíku má obsah prchavé hořlaviny vyjádřený opět v suchém a bezpopelnatém stavu symbolem V^{daf} . Prouhelnění uhlí roste s rostoucím obsahem uhlíku a s klesajícím obsahem prchavé hořlaviny (ČSN 44 1310).

7.1 Fyzikální vlastnosti a chemické složení uhlí

Formy vody a její vliv na vlastnosti uhlí

Každé uhlí obsahuje vodu, která je nehořlavou a proto nežádoucí složkou uhlí. Podle svého prouhelnění obsahují uhlí 1 až 60 % vody. Voda je v uhlí vázaná různými způsoby. Pouze její malá část, **hydrátová** voda, vázaná na popeloviny a voda **konstituční**, chemicky vázaná na hořlavinu, se analyticky nestanovují. **Přimíšená** voda se od uhlí odděluje odkapáváním, filtrací nebo odstředěním. Zbývající voda je označována jako **veškerá** voda a dělí se na **hrubou**, **hygrokopickou** a **okludovanou** vodu. Kapilární vodu ztrácí uhlí postupným vysycháním na vzduchu. Množství odpařené kapilární vody závisí na teplotě a relativní vlhkosti okolní atmosféry. Takto uvolněné množství vody je **hrubá** voda. Sušením uhlí při 105°C se uvolňuje **hygrokopická** voda, analyticky se takto uvolněná voda nazývá **zbylá** voda. Veškerá voda W , je tudíž součtem hrubé vody W_{ex} a zbylé vody W_h . Okludovaná voda se z uhlí uvolňuje až za vyšších teplot při rozkladu uhlí. Přesný postup dvoustupňového stanovení obsahu hrubé, zbylé a veškeré vody je uveden v ČSN 44 1377.

Hustota uhlí

Hustota je základní fyzikálním parametrem, který charakterizuje stavbu organické hmoty (hořlaviny). Je třeba ovšem rozlišit **zdánlivou hustotu** ρ_a (ČSN 1321) a **skutečnou hustotu** ρ_r (ČSN 1322). Zdánlivá hustota je poměrem hmotnosti uhlí k jeho zdánlivému objemu, zatímco skutečná hustota je poměrem hmotnosti uhlí k jeho skutečnému objemu. Jak zdánlivá, tak skutečná hustota závisí na : obsahu vody, obsahu popelovin a stupni prouhelnění .

Tvrdość a melitelnost uhlí

Tvrdość uhlí jako odolnost proti vrypu se většinou určuje podle Mohsovy stupnice tvrdosti. Tvrdość těžných uhlí se pohybuje od stupně 1 do 3.

Mikrotvrdość MH uhlí je měřena vtlačováním tělísek různých tvarů do plochy uhelného nábrusu. Běžné je použití Vickersovy diamantové pyramidy.

Melitelnost Gr (grindibility) je nejběžněji určována testem melitelnosti podle Hardgrove (ČSN 44 1338).

Chemická struktura organické hmoty uhlí

Hořlavina uhlí je složena převážně z uhlíku C, menšího množství vodíku H a z malých množství dusíku N a síry S. Velmi rozdílné je množství kyslíku O. Množství uhlíku v hořlavině uhlí C^{daf} stoupá s prouhelněním a zároveň množství kyslíku O^{daf} a vodíku H^{daf} klesá.

Kvalita uhlí je závislá na obsahu hořlaviny a dále na obsahu uhlíku v hořlavině. Rozdílnost obsahu hořlaviny a uhlíku v jednotlivých druzích je patrná z tab.7-1.

Druh uhlí	Obsah hořlaviny (%)	Obsah uhlíku (%)
Lignit	42 - 57	28 - 47
Hnědé uhlí	56 - 67	40 - 58
Černé uhlí	76 - 95	66 - 87
Antracit	87 - 95	80 - 90

Tabulka 7-1 Obsah hořlaviny a uhlíku v různých druzích uhlí

Složení a vlastnosti popela

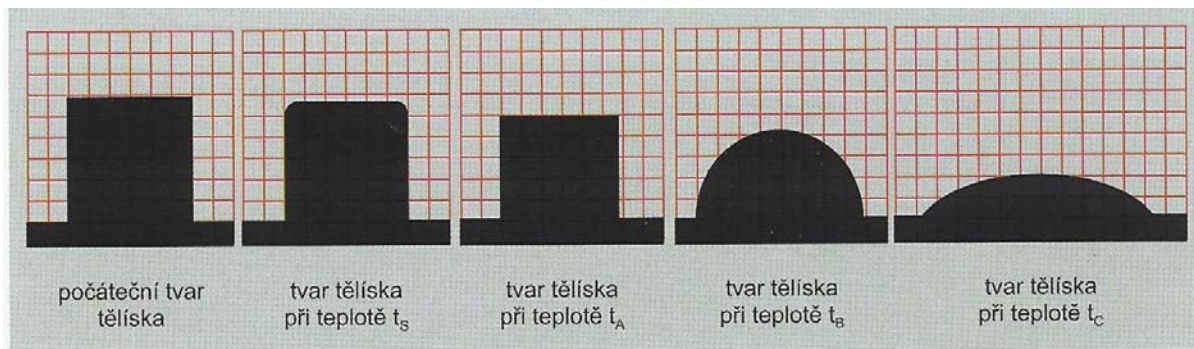
Parametry charakterizující měknutí a fúzi částic popela umožňují určit, může-li být uhlí užito ve spalovacím systému s vynášením popela v tuhém nebo roztaveném stavu. Postupy pro příslušné zkoušky jsou určeny normami (ČSN 44 1358, ČSN 44 1359 aj.) Složení popela je zpravidla udáváno v % jako obsah následujících oxidů:

Oxid křemičitý	SiO ₂	Oxid hořečnatý	MgO
Oxid železitý	Fe ₂ O ₃	Oxid mangano-manganitý	Mn ₂ O ₃
Oxid hlinitý	Al ₂ O ₃	Oxid sírový	SO ₃
Oxid titaničitý	TiO ₂	Oxid sodný a draselný	Na ₂ O a K ₂ O
Oxid vápenatý	CaO	Oxid fosforečný	P ₂ O ₅

Parametry chemického složení popela jsou využívány pro hodnocení vlivu složek popela netechnologické procesy v energetice, v průmyslu paliv, v hutnictví, pro stavební průmysl a jinde. Analytické postupy stanovování chemického složení popela jsou kombinací postupů gravimetrických a titračních ve spojení s postupy spektrální analýzy a jsou podrobně popsány v ČSB 44 1358.

Stanovení tavitelnosti popela (ČSN 44 1359) spočívá v zahřívání zkušebních tělísek zhotovených z popela z analytického vzorku uhlí jeho slisováním. Hodnocení změn vzhledu a tvaru se provádí převážně mikroskopicky-fotograficky na souřadnicovou síť pomocí mikroskopu. Na obr.7-2 jsou uvedeny změny tvaru a jím odpovídající charakteristické teploty popele.

Při stanovení tavitelnosti popela je možno použít atmosféry oxidační (vzduch), poloredukční (směs oxidu uhelnatého a uhlíčitého) a redukční (oxid uhelnatý). Charakteristické změny tvaru zkušební těliska, viz. obr.7.1, se postupně jednotlivě snímají a teploty se zaznamenávají ve vazbě na následující jevy



Obr.7-1 Změny tvaru zkušebního tělíska popele (ČSN 44 1359)

- t_s teplota spékání částic zkušebního tělíska v povrchové vrstvě
- t_A teplota počátku deformace, spojené se začátkem měknutí tělíska (zaoblení hran, začátek puchnutí tělíska)
- t_B teplota tání, při které se tělísko ztaví v polokulový tvar
- t_C teplota tečení při, které se zkušební tělísko roztéká

Při zkoušce musí být vždy uvedena použitá metoda a atmosféra. Tzv. teplota fúze, která je často jediným uváděným údajem z těchto zkoušek, je shodná s teplotou měknutí t_A . Pro praktické použití je postačující rozeznat :

- neškvárující uhlí, tvořící při hoření popel, který měkne až při 1425 až 1450°C
- škvárující uhlí, jejichž popel měkne již při cca 1200°C

Uhlí, která měknou mezi těmito dvěma teplotami, nejsou zařaditelná do některé ze dvou uvedených skupin a lze pouze činit opatření, aby instalací zvláštních zařízení byl spalovací proces řízen v požadovaném tepelném režimu.

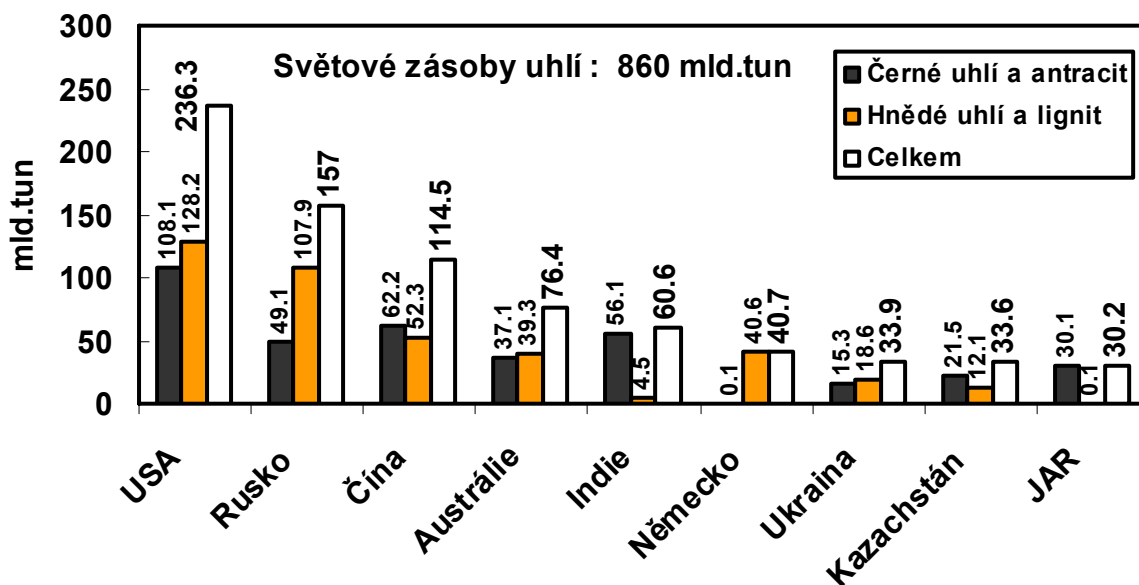
7.2 Zásoby a spotřeba uhlí ve světě

Geologické zásoby uhlí na Zemi, oceňované u černého uhlí do hloubky 1200m a u hnědého uhlí do hloubky 800m, jsou hodnoceny na $15 \cdot 10^{12}$ tun. V zásobách uhlí je uloženo asi 90 % fosilní energie, zatímco na kapalná a plynná paliva připadá pouze zbylých 10 %.

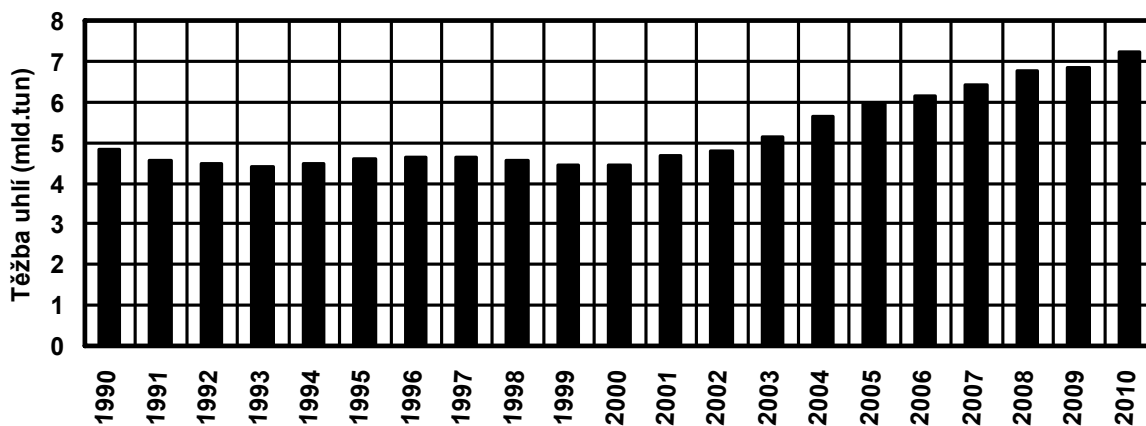
Rozložení světových zásob uhlí ve světě je uvedeno na obr.6-1 a 7-2, ze kterého je zřejmé, že světové zásoby uhlí jsou na Zemi rozloženy vcelku rovnoměrně (na rozdíl od zásob ropy a zemního plynu). Uhlí je největším zdrojem fosilních paliv na Zemi a životnost zásob značně přesahuje životnost zásob ropy i zemního plynu. Životnost zásob uhlí ve světě je odhadována při současné těžbě a spotřebě na více než 200 let. Na obr.7-3 jsou uvedeny země s největšími světovými zásobami uhlí (Pramen: IEA, 2008). 91% světových zásob uhlí se nachází v těchto 9 zemích.

Těžba uhlí u většiny největších světových producentů je v poměrně dobrém souladu s těžitelnými zásobami, takže rovněž životnost jejich zásob přesahuje 200 let. Výjimkou je Čína, kde prioritní orientace domácího hospodářství na uhlí jako energetický zdroj, snižuje životnost jejich uhelných zásob na cca 40 let.

Roční těžba uhlí ve světě do roku 2000 byla přibližně konstantní a pohybovala se okolo 4.5 mld.tun/rok. Od r.2000 však těžba uhlí ve světě stoupá a v r.2010 byla 7.242 mld.tun/rok, viz Obr. 7-4. Tento stoupající trend je způsoben velkým nárůstem těžby uhlí v Číně, viz Obr.7.5.

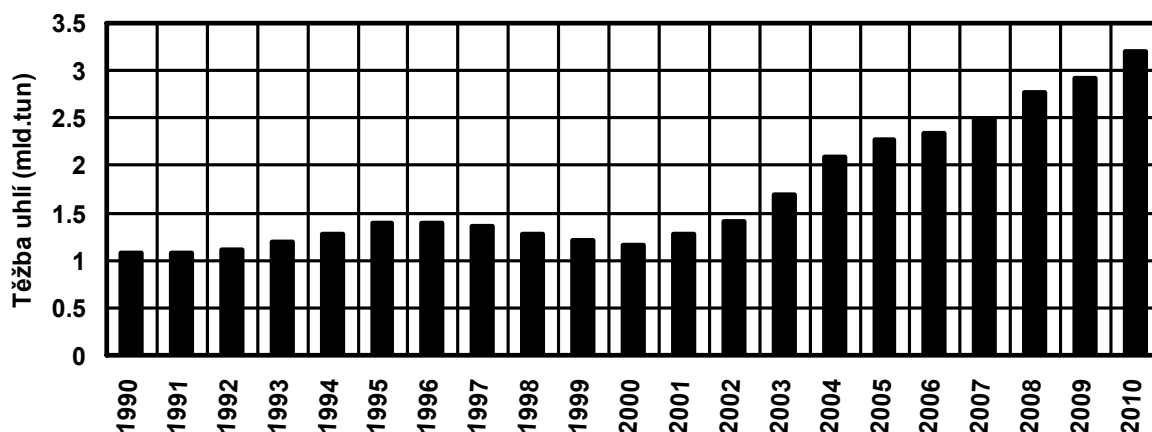


Obr.7-3 Země s největšími zásobami uhlí



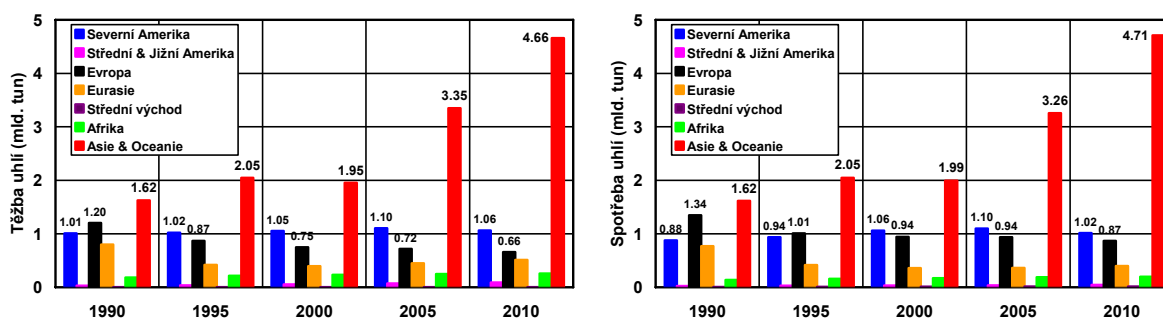
Obr.7-4 Roční těžba uhlí ve světě

Těžba uhlí v Číně má v posledních letech extrémní nárůst. Pro porovnání je uveden vývoj těžby od r.1990, kde je patrný nárůst těžby od r.2000. Do r.2000 byla roční těžba uhlí v Číně na cca konstantní úrovni, tj. 1.1 až 1.4 mld.tun/rok, ale od r.2000 stoupla těžba uhlí (a taky jeho spotřeba) v Číně za 10 let 2.78x, tj. z množství 1.15 mld.tun/rok v r.2000, na množství 3.195 mld.tun/rok v r.2010. Což je zvýšení těžby za 6 let o více než 100%.



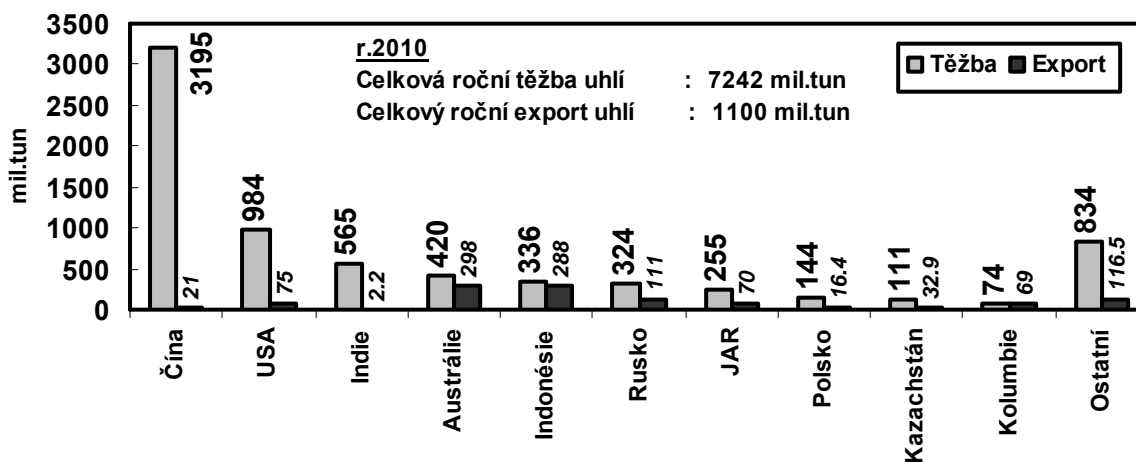
Obr.7-5 Roční těžba uhlí v Číně

Vývoj roční těžby a spotřeby uhlí v jednotlivých regionech světa je s výjimkou Asie na konstantní úrovni. Pouze v Asii je nárůst těžby a spotřeby velmi výrazný, viz Obr.7-6. Tento nárůst je způsoben nárůstem těžby a spotřeby v Číně.



Obr.7-6 Těžba a spotřeba uhlí v jednotlivých regionech světa

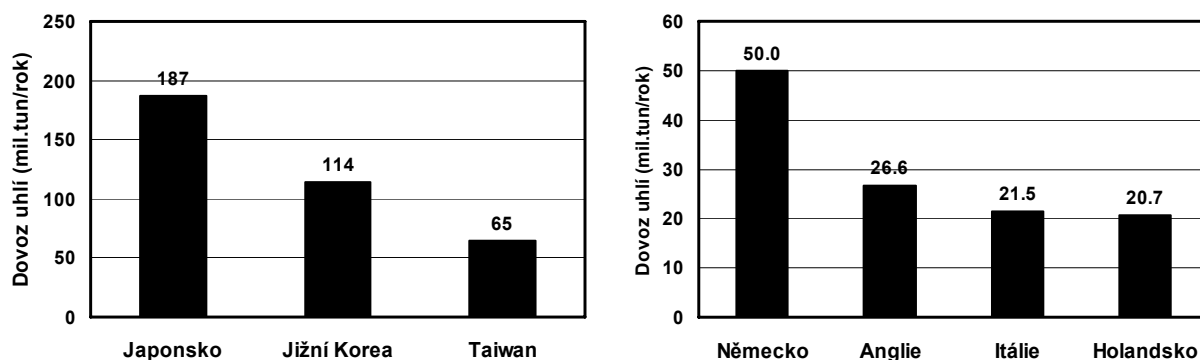
Na obr.7-7 je uvedena těžba a export předních světových producentů uhlí ve světě v r.2010.



Obr.7-7 Země s největší roční těžbou a exportem uhlí ve světě v r.2010

Z obr.7-7 je vidět dominantní podíl Číny a USA na světové těžbě uhlí a rovněž jejich zanedbatelný export v porovnání s jejich vlastní spotřebou uhlí. Šest států s největší těžbou uhlí (Čína, USA, Indie, Austrálie, Indonésie a Rusko) zajišťují cca 80 % světové těžby uhlí. V exportu uhlí má dominantní postavení ve světě Austrálie a Indonésie, kteří zajišťující cca 50 % světového exportu uhlí.

Naopak největšími importéry uhlí ve světě jsou průmyslově vyspělé země s minimálními nebo žádnými zásobami uhlí (údaj z r.2010). Největší světoví a evropští importéři uhlí jsou uvedeni na Obr.7-8 (údaj z. r.2010, IEA)



Obr.7-8 Největší světoví a evropští importéři uhlí

Podíl uhlí na světové spotřebě primárních energetických zdrojů je cca 25 % a podíl uhlí na výrobě elektrické energie ve světě je cca 40 %. Vzhledem k světovým zásobám uhlí v porovnání se zásobami ropy a zemního plynu, bude v budoucnosti uhlí nejvýznamnější energetickou surovinou.

Výhodu budou mít, a dnes už mají, ty státy, na jejichž území se nachází ložiska černého a hnědého uhlí. Jejich využívání totiž poskytuje pohodlí domácí energetické soběstačnosti, vede ke stabilnímu vývoji národního hospodářství a výrazně snižuje závislost na dovozu drahých energetických surovin.

7.4 Energetické využití uhlí

S obecným využitím uhlí se setkáváme již ve 4.stol. před.n.l, avšak větší rozvoj využití uhlí jako energetického zdroje byl zaznamenán po vynálezu parního stroje v 19.století. Následné využívání parního stroje na železnici, v lodích, ve strojním a potravinářském průmyslu (cukrovary, pivovary apod.) a nedostatek dřeva jako paliva způsobily postupné nahrazování dřeva jako paliva uhlím. V současnosti se nejvíce uhlí spotřebovává v elektrárnách a teplárnách na výrobu tepla a elektřiny. Ovšem uhlí má pro budoucnost význam nejen jako energetická surovina, ale také jako důležitá surovina v chemickém průmyslu pro výrobu organických i anorganických látek, a to především pro svůj obsah uhlíku. Výhodou uhlí ve srovnání s ropou a zemním plynem je jeho podstatně nižší cena a mnohem větší světové zásoby a životnost těchto zásob.

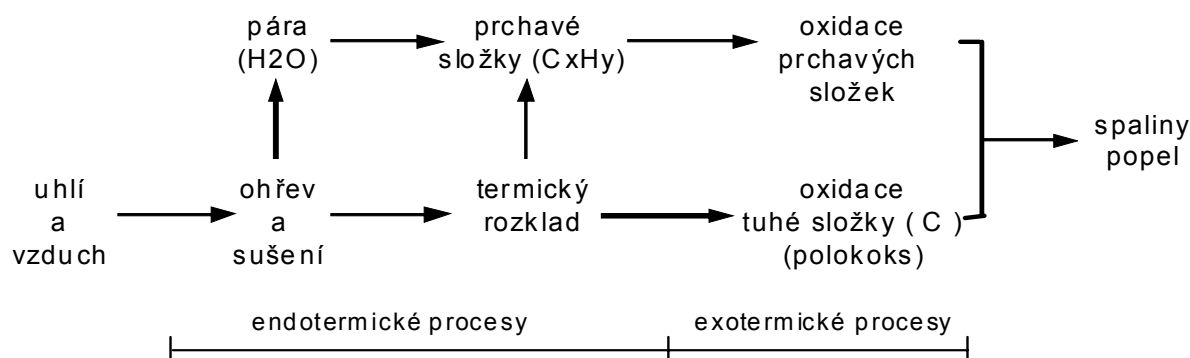
Při energetickém využití uhlí je nejrozšířenější přímý způsob využití – spalování. Ovšem uhlí je využíváno i jinými postupy, zušlechťovacími procesy při kterých jsou z uhlí získávány suroviny pro jejich výhodnější energetické nebo i jiné využití. Jednou z výhodou těchto postupů je možnost využití i méněhodnotných uhlí (s velkým obsahem popela) a uhlí s velkým obsahem škodlivých prvků (např. síry) apod.

Mezi požívané zušlechťovací procesy uhlí patří : briketování, karbonizace (tepelný rozklad – koksování), zplyňování, zkapalňování.

7.4.1 Spalování uhlí

Je to nejstarší a nejpropracovanější způsob energetického využití uhlí. Spalování je oxidační proces, při kterém jsou hořlavé složky uhlí (hořlavina – C, H, S) oxidovány vzdušným kyslíkem, přičemž se energetický obsah uhlí mění na teplo. Z technologického hlediska je možné spalovat všechny druhy uhlí (antracit, černé a hnědé uhlí, lignit). Produktem spalování uhlí jsou popel a spaliny. Z termodynamického hlediska při spalování uhlí probíhají endotermické a exotermické procesy, které můžeme popsat schématem uvedeným na obr.7-9. Spalování uhlí je dynamický proces probíhající v prostoru a čase, skládající se z fyzikálních a chemických procesů, které na sebe vzájemně navazují nebo se prolínají. Fyzikální procesy souvisí nejen s míšením uhlí a vzduchu, ale také s přenosem tepla a hmoty. Zatímco chemické procesy představují průběh jednotlivých endotermických a exotermických reakcí.

Spalování uhlí je složitý proces a jeho výsledky záleží jak na parametrech použitého uhlí (na jeho prouhelnění, petrografickém typu, podílu balastních látek apod.), tak na procesních podmínkách spalování.



Obr.7-9 Procesy probíhající při spalování uhlí

Spalovací proces využívá jako zdroje tepla hlavně reakce uhlíku s kyslíkem. Vzhledem k heterogennímu charakteru uhlí probíhá spalování uhelné částice ve více stupních (fázích). Tyto stupně, které se částečně překrývají, závisí na procesních podmínkách, tj. na plynném médiu, konečné teplotě, reakční době a na vlastnostech uhlí. Tyto stupně jsou :

- ohřev uhelné částice
- uvolnění prchavých látek
- spalování prchavých látek
- spalování polokoksu

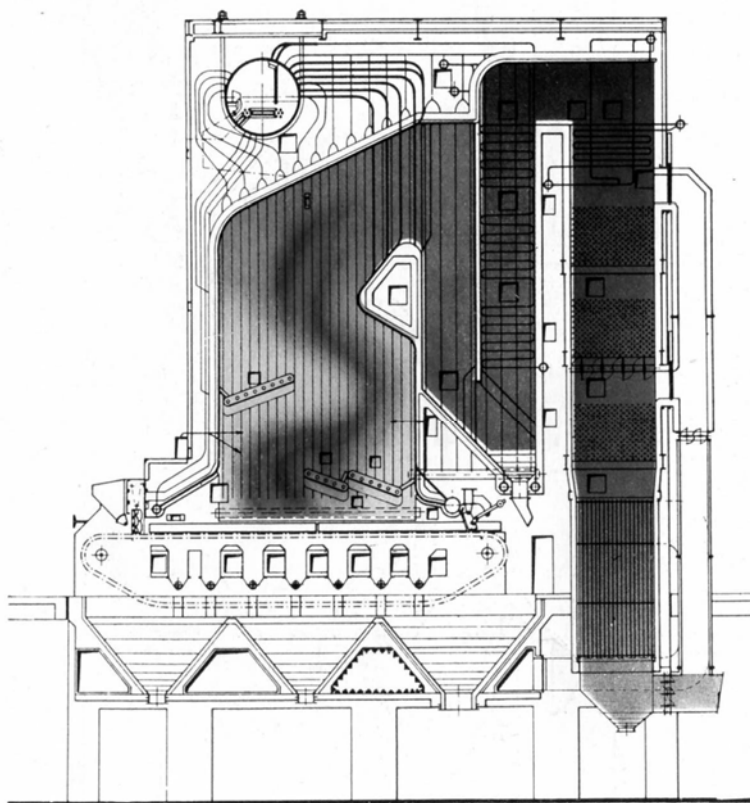
7.4.2 Zařízení pro spalování uhlí

Spalovacím zařízením se rozumí vlastní spalovací zařízení, tj. ohniště s roštem nebo hořáky a pomocné zařízení (vzduchové a spalinové ventilátory, ohříváky vzduchu, zařízení pro přípravu paliva (mlýny, drtiče), zařízení pro odvod tuhých zbytků po spalování apod. Z pohledu spalování je nejdůležitější ta část, kde dochází k hoření, tj. ohniště. Vlastní ohniště musí být přizpůsobeno spalovanému palivu (tuhé, kapalné nebo plynné). Pro spalování tuhých paliv rozdělujeme ohniště na roštová, fluidní a prášková. Spalovací vzduch je vnášen do ohniště různými způsoby, které určují jeho proudění v ohništi. Podle rychlosti jeho proudění je provedeno i rozdělení uhelných ohnišť. Nejmenší rychlost proudění vzduchu – roštová ohniště, největší rychlost proudění – prášková ohniště.

Roštová ohniště

Roštové ohniště jsou doposud používaným typem pro menší výkony, tj. od nejmenších výkonů do tepelného výkonu kotle okolo 50 MW (vyjíměčně do 100 MW). Jejich využití je převážně v teplárenství nebo jako zdroj páry pro turbíny menších výkonů. Pro jejich provoz je nezbytné použití tříděného paliva. Schéma roštového ohniště je uvedeno na obr.7-10.

Tvar roštového ohniště (jeho rozměry) závisí na druhu spalovaného paliva, zejména na obsahu prchavé hořlaviny. Obecně roštové ohniště pro spalování hnědých uhlí s velkým obsahem prchavé hořlaviny jsou úzká a vysoká, naopak roštová ohniště pro spalování černých uhlí s menším obsahem prchavé hořlaviny jsou širší a nižší. Ohniště se dále mohou lišit tvarem klenby, rozložením přívodu spalovacího vzduchu (I., II a III.vzduch), různým přívodem paliva na rošt (hradítko, pneumatický nebo mechanický pohazovač), druhem roštu (pevný rovinný nebo šikmý, pásový, přesuvný, vratisuvný apod.). Podrobněji jsou jednotlivé typy ohnišť popsány v literatuře týkající se spalovacích zařízení.



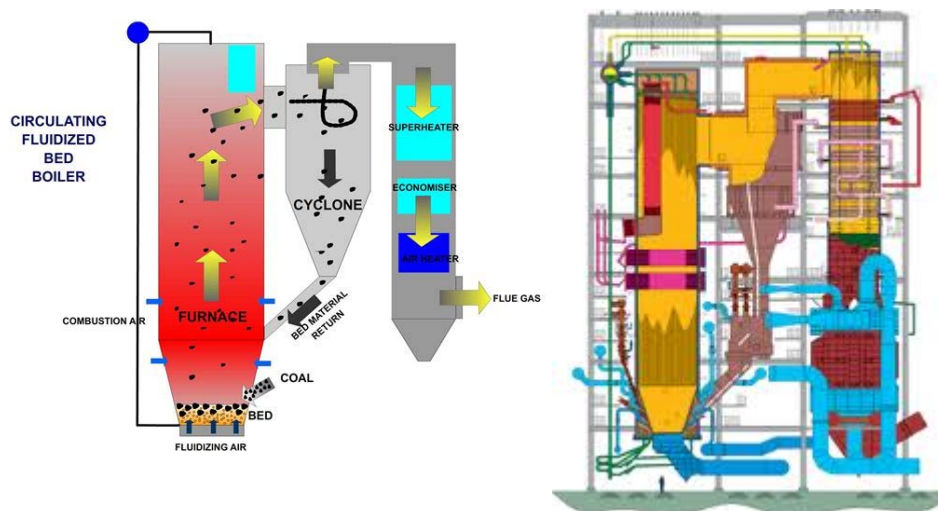
Obr.7-10 Schéma roštového kotle s rovinným pásovým roštěm

Fluidní ohniště

V ohništi se stacionární fluidní vrstvou se po dosažení prahové rychlosti fluidizace vytvoří tzv. fluidní vrstva kde dochází ke stálému transportu jednotlivých částic. Výška fluidní vrstvy se výrazně nemění a tlaková ztráta vrstvy tudíž neroste. Fluidní vrstva se chová jako kapalina a vyhořelé lehčí částice jsou jako popel z hladiny vynášeny, zatímco uhlí je do ohniště dodáváno pod hladinou. Při spalování ve stacionární fluidní vrstvě nesmí být dosahováno teploty měknutí popelovin t_A , aby nedocházelo ke slepování částic. Nutné je i řešit problémy únosu drobných částic ze

systému. To jsou důvody přechodu na ohniště s cirkulující fluidní vrstvou, která jsou progresivnějším řešením.

V ohništi s cirkulující fluidní vrstvou je uhlí spalováno ve vrstvě obsahující popel a vápenec (obr.7.11). Odloučení únosu je prováděno v cyklónovém odlučovači, odkud jsou částice vráceny zpět do fluidní vrstvy. Dávkování vápence snižuje emise SO_2 a relativně nízká teplota (cca 900°C) fluidní vrstvy snižuje emise NO_x . Teplo vystupujících horkých spalin je využíváno v kotli na odpadní teplo (většinou se jedná o II.tah daného fluidního kotle), které je spolu s teplem z nuceného chlazení fluidního ohniště použito k výrobě páry pro konvenční parní cyklus. Opakovanou cirkulaci částic je zajištěno vyhovující vyhoření. Účinnost tohoto systému je přibližně stejná jako u nejmodernějších práškových ohnišť (90 až 93 %).



Obr.7.11 Schéma kotle s cirkulující fluidní vrstvou

Spalování ve fluidní vrstvě prošlo a prochází rychlým vývojem, s postupnou změnou typu fluidní vrstvy, od atmosférického fluidního spalování, přes fluidní spalování v cirkulující fluidní vrstvě až po tlakové fluidní spalování. S tímto vývojem rovněž souvisí postupné zvyšování účinnosti.

Výhody spalování ve fluidní vrstvě oproti práškovým ohništím jsou následující:

- Možnost spalovat uhlí různé kvality (i vysoký obsah popela a vody)
- Malá náchylnost na změny vlastností paliva
- Nižší plynné emise SO_2 a NO_x (nižší teploty spalování a možnost využití dávkování vápence a jeho reakcí se sírou)
- Velká regulovatelnost výkonu (40 až 100% P_{jm})
- Vysoký přenos tepla a hmoty, tj.intenzivní přestup tepla mezi fluidní vrstvou a výhřevnými plochami, který je asi 5x vyšší než u klasických kotlů
- Doba setrvání částice uhlí je proti práškovým ohništím o řád delší, takže je možné i při nižší teplotě (800 až 900°C) zajistit dostatečné vyhoření paliva
- Nenáročnost na přípravu paliva, pouze drceného uhlí o granulometrii do 20 mm

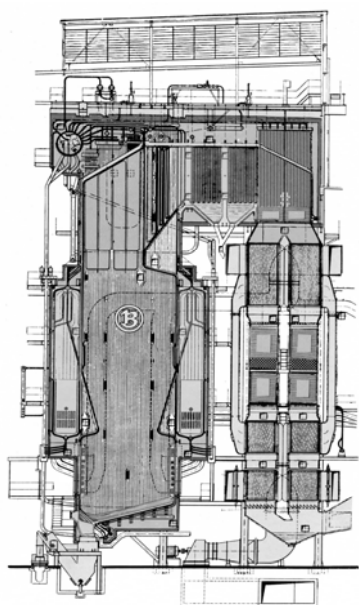
Nevýhody spalování ve fluidní vrstvě :

- Složitě zařízení
- Zvýšená eroze výhřevných ploch ponořených do fluidní vrstvy
- Větší vlastní spotřeba nutná pro fluidizační proces

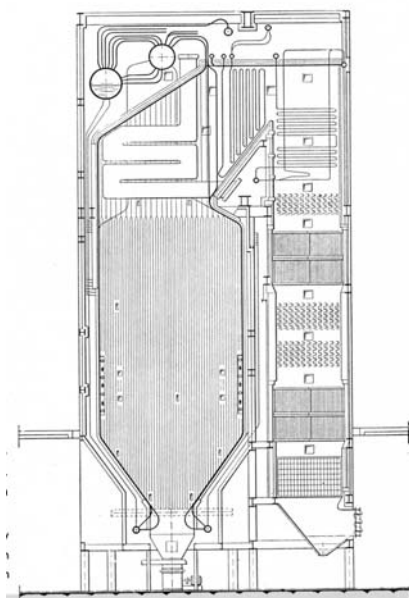
Prášková ohniště

V práškových ohništích dochází ke spalování uhelného prášku. Uhlí ze zásobníku surového paliva je vedeno do sušky (pouze u hnědých uhlí) a unášeno do mlýna horkými spalinami odebíranými z ohniště nebo předehřátým vzduchem. Uhlenný prášek se z uhlí připravuje v mlýnech. Jemnost mletí musí být taková, aby prášek stačil vyhořet na své cestě od hořáku po konec ohniště, kde doba jeho setrvání v ohništi je několik sekund. Tzn. že uhlí je rozemleto na velikost částic několika desítek μm . Pro mletí uhlí jsou používány různé typy mlýnu : trubnaté (kulové), tlukadlové, ventilátorové, kroužkové. Vysušený, umletý a vytríděný uhelný prach je veděn do práškových hořáků (proudových nebo vířivých). Nosným médiem je předehřátý spalovací vzduch, tzv. primární vzduch. Do hořáku nebo přímo do ohniště je dále přiváděn tzv. sekundární (případně terciární) vzduch zajišťující co nejlepší hoření a vyhoření uhelných částic. U tohoto typu ohniště je částice unášena směsí vzduchu a spalin ohništěm a během průletu vyhořívá na konečný nedopal. Zatímco u ohniště s cirkulující fluidní vrstvou jsou dosahovány spalovací teploty pod teplotou měknutí popelovin, u práškových ohnišť je dosahováno podstatně vyšší teploty v ohništi. Podle této dosahované teploty v ohništi a způsobu odvodu strusky z ohniště rozlišujeme prášková ohniště granulační (spalovací teploty $1200\pm 1400^\circ\text{C}$, odvod strusky v pevné fázi), viz. obr.7-12 a ohniště výtavná (spalovací teploty až 1700°C , odvod tekuté struska), viz. obr.7-12. V současnosti převažují granulační ohniště. Výkon práškových kotlů je prakticky neomezen, používají se pro tepelné výkony ohnišť od 50MW až do výkonů 4000 MW. V současnosti jsou prášková ohniště nejrozšířenějším typem ohnišť v elektrárnách a teplárnách ve světě, ale i v ČR.

a) Granulační kotel



b) Výtavný kotel



Obr.7-12 Příklad granulačního a výtavného práškového kotle

Účinnost kotlů

Důležitým parametrem kotle, hodnotící jeho kvalitu, je účinnost kotle. Účinnost kotle vyjadřuje, jaký podíl z přiváděného tepla do kotle při spalování paliva je využit k ohřevu vody (páry) a jaký podíl připadá na tzv. ztráty. Toto rozdělení energetických toků vychází z tepelné bilance kotle. Účinnost kotle je možno stanovit tzv. přímou nebo nepřímou metodou.

Přímá metoda stanovení účinnosti je poměr využitého tepla v páře (vodě) dělený teplem přivedeným v palivu dle rovnice (7.9):

$$\eta_k = \frac{M_p \cdot (i_p - i_{NV})}{M_{pV} \cdot Q_i^r} \quad [1] \quad (7.9)$$

kde:

M_p	množství vyráběné páry	(kg/s)
i_p	entalpie páry	(kJ/kg)
i_{NV}	entalpie napájecí vody	(kJ/kg)
M_{pV}	množství paliva přiváděného do kotle	(kg/s)
Q_i^r	výhřevnost paliva	(kJ/kg)

Přímou metodu stanovení účinnosti kotle je možno použít pro zařízení, kde je možné přesné stanovení hmotnostních toků paliva, tj. u malých jednotek, nebo u kotlů spalující plyné palivo.

U velkých zařízení na spalování tuhých paliv se obvykle účinnost kotle stanovuje tzv. **nepřímou metodou**. Jedná se o stanovení jednotlivých tepelných ztrát a následný výpočet účinnosti dle rovnice (7.10):

$$\eta_k = 1 - \sum \xi_i \quad (7.10)$$

kde : ξ_i - jsou jednotlivé ztráty:

- hořlavinou ve spalinách (chemický nedopal ve spalinách, tj. nespálené plyny ve spalinách CO, H₂, CH₄ apod.
- hořlavinou v tuhých zbytcích po spalování (chemický nedopal ve škváře, strusce, popílku, tj. nespálené prvky tuhé hořlaviny - uhlík)
- citelným teplem spalin (tzv. komínová ztráta)
- fyzickým teplem tuhých zbytků – škváry, strusky, popílku
- sděleným teplem do okolí

Největší a rozhodující ztrátou je ztráta citelným teplem spalin, která největší mírou rozhoduje u hodnotě účinnosti kotle. Její hodnoty závisí na teplotě spalin a množství spalin. Množství spalin závisí na složení paliva a součiniteli přebytku vzduch, který se stanovuje pomocí obsahu kyslíku ve spalinách.

Negativní vlivy při spalování tuhých paliv (uhlí)

Při spalování paliv vznikají jako produkty hoření plyné spaliny a tuhé odpadní látky (škvára, struska, popílek). Škodliviny, vznikající při spalování paliv, lze rozdělit do tří skupin. Do první skupiny patří ty, jejichž emise jsou dány kvalitou paliva a které nelze vůbec, nebo jen málo ovlivnit kvalitou spalovacího procesu. Sem patří zejména oxidy síry, tuhé částice, halogeny a toxické kovy. Ve druhé skupině jsou zařazeny škodliviny, jejichž vznik a emise lze zcela nebo částečně kvalitou spalovacího procesu ovlivnit a patří sem oxid uhelnatý a oxidy dusíku. Třetí skupinu pak představuje oxid uhličitý, jehož specifické postavení spočívá v tom, že hlavní a převážnou složkou fosilních paliv je uhlík, jehož dokonalým spálením oxid uhličitý vzniká. Snižování emisí škodlivin čištěním spalin vede k hromadění tuhých zbytků, obsahujících zachycené škodliviny ve výrazně vyšších koncentracích, než jaké byly ve spalinách. Je proto nutné věnovat pozornost způsobu nakládání s těmito odpady.

Hlavní pozornost je dnes věnována tzv. základním emisím, tj. oxidům síry a dusíku, oxidu uhelnatému a tuhým emisím. Emise těchto látek jsou pro energetické zdroje legislativně limitovány, kde hodnota těchto emisních limitů se neustále snižují

a to zejména pro nově budované zdroje. To nutí výrobce spalovacích zařízení neustále vyvíjet novější a modernější technologie umožňující spalovat fosilní paliva s nižší koncentracemi emisí (nízkoemisní hořáky snižující koncentrace oxidů dusíku a CO, denitrifikační technologie – snížení koncentrací oxidů dusíku, odsiřovací jednotky s účinností odsíření vyšší než 90 % apod.).

Emise oxidů síry jsou jednoznačně určeny obsahem spalitelné síry v palivu. Spálením 1 kg síry vzniknou 2 kg oxidu siřičitého (SO_2) a díky poměrně malé aktivační energii této reakce, nízké spalovací teplotě a vysoké rychlosti hoření není znám způsob, jak v reálných podmínkách tuto reakci potlačit. Je proto možné vypočítat při známém obsahu spalitelné síry v palivu a jeho spotřebě, množství emitovaného SO_2 a při známém množství spalin jeho emisní koncentraci. Spalovací zařízení o tepelném výkonu P [MW], při účinnosti η [%], spalující palivo o výhřevnosti Q_i^r [$\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$] bude mít spotřebu paliva m_p [$\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$] dle rovnice (7.11).

$$m_p = \frac{100 \cdot P}{Q_i^r \cdot \eta} \quad [\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (7.11)$$

Protože je množství vzniklého SO_2 dvojnásobné ve srovnání s množstvím síry bude při obsahu spalitelné síry v palivu S_{sp}^r [%] hmotový emisní tok oxidu siřičitého dle rovnice (7.12).

$$m_{\text{SO}_2} = \frac{2 \cdot P \cdot S_{sp}^r}{Q_i^r \cdot \eta} \quad [\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}] \quad (7.12)$$

A při známém množství spalin, vzniklých spálením 1 kg paliva V_{sp} [$\text{m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$] je emisní koncentrace oxidu siřičitého C_{SO_2} vypočtena dle rovnice (7.13).

$$C_{\text{SO}_2} = \frac{2 \cdot 10^4 \cdot S_{sp}^r}{V_{ps}} \quad [\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}] \quad (7.13)$$

Snížit emise oxidů síry je možné pouze odstraněním síry z paliva (opatření před spalováním), nebo odsířením spalin (po spalování). V prvním případě se jako použitelná metoda ukazuje separace pyritické síry z uhelného prášku magneticky či gravitačně. Možností je také bakteriální loužení uhlí. Daleko úspěšnější jsou však metody odsiřování spalin. Nejrozšířenější jsou tzv. vápencové metody, využívající vazby oxidu siřičitého na oxid vápenatý (případně oxid hořečnatý) a vzniklý produkt se zachycuje v kapalně nebo tuhé fázi.

Zcela odlišná je situace u **emisí oxidů dusíku**. Ve spalovacím vzduchu je zcela dominantní složkou dusík (79 % obj.), a navíc je dusík obsažen ve většině paliv. Přestože oxidace dusíku probíhají díky vysoké energetické bariéře těchto reakcí velmi obtížně, jsou vždy oxidy dusíku ve spalinách obsaženy v koncentracích stovek $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$. Škodlivost oxidu dusičitého (NO_2), jako konečné formy oxidů dusíku po dooxidaci v atmosféře, je řádově vyšší než vliv oxidu siřičitého. Na druhé straně je třeba vědět, že antropogenní produkce oxidů dusíku představuje přibližně 6% celkové produkce včetně přírodních zdrojů (atmosférické jevy, lesní požáry apod.).

Tuhé emise jsou na rozdíl od předchozích plynných škodlivin viditelné, a proto častěji diskutované. Množství tuhých částic produkovaných v elektrárnách, teplárnách a výtopenách závisí na množství spalovaného paliva, obsahu popela a podílu zachycení popelovin ve formě škváry nebo strusky v kotli, a jako popílku v odlučovačích. Tuhé částice jsou ze spalin odstraňovány nejjednodušším, ale nákladným řešením, tj. použitím vysoce účinných tkaninových filtrů nebo elektrostatických odlučovačů (s účinností odlučování více než 99%), které zajišťují

dodržení požadovaných emisních limitů. Účinné odstraňování tuhých částic ze spalin je realizováno pouze u velkých zdrojů, ale u malých zdrojů tomu tak není a asi dlouho ještě nebude. Přitom počet instalovaných zdrojů narůstá s klesajícím výkonem. U těchto malých zdrojů je řešením omezení emisí tuhých částic pouze volba uhlí s vyhovující granulometrií, tj. tříděné uhlí s co nejmenším podílem jemných frakcí. Jemné frakce, spalované na roštu, jsou po vstupu do ohniště okamžitě unášeny spalinami do komína. Nemohou dostatečně vyhořet a v případě použití tkaninových filtrů, hrozí nebezpečí jeho vyhoření, protože obsah hořlaviny v tomto záhytu dosahuje někdy až 60 %. Další problém emisí tuhých částic spočívá v tom, že tyto částice nejsou inertní. Podle složení surového uhlí obsahují nejrůznější stopové stopové prvky, často ve značných koncentracích.

Vývoj a budoucnost uhelných technologií ve světě

Pozornost věnovaná uhelným zdrojům, nepředstavuje v žádném případě nadřazování uhlí ostatním zdrojům. Je to výsledek hodnocení současné situace, práce pro blízkou budoucnost. Podmínkou úspěšnosti vyvíjených zdrojů je zvýšení účinnosti a snížení emisí škodlivin při využívání uhlí jako energetického zdroje, a oba tyto parametry spolu souvisí. Vyšší účinnost znamená při zachování výkonu nižší spotřebu paliva a tím také snížení emisí a všech produktů spalování.

Při využití uhlí jako energetického zdroje (pro zvláště velké zdroje, tj. v ČR o tepelném příkonu v palivu větším než 50 MW) je v současnosti nejvíce využíváno práškových ohnišť. U těchto kotlů v současnosti uváděných do provozu (nové zdroje) lze v oblasti plyných emisí spolehlivě dosáhnout emisí oxidů dusíku na úrovni 400 mg.m^{-3} , a při vybavení vhodným odsiřovacím zařízením dosáhnout emisí oxidů síry na úrovni požadovaných emisních limitů, tj. 200 až 400 mg.m^{-3} . Spojení těchto kotlů s parní turbínou však představuje významné ztráty a vede k dosažení celkové účinnosti výroby elektrické energie u moderních zařízení okolo 35 %, což je možno považovat jako výchozí stupeň vývoje moderních uhelných systémů.

Veškeré teplo spalin nelze předat páře a vodě, protože spaliny odcházející z kotle musí mít dostatečně vysokou teplotu pro zabránění kondenzace vodní páry v nich obsažené. Přítomnost oxidu siřičitého ve spalinách zvyšuje teplotu rosného bodu, takže potřebná teplota ochozích spalin z kotle se pohybuje od 130 do 180°C . Nezbytné ztráty parního cyklu jsou vysvětlovány při řešení parního cyklu v termomechanice. Zjednodušeně lze vysvětlit tím, že při expanzi páry v turbíně klesá její tlak a teplota, avšak na konci expanze v turbíně zůstává stále pára při nízké teplotě a cyklus tedy nedokáže využít kondenzační teplo této nízkopotenciální páry. Navíc zde existují nezbytné ztráty při proudění páry turbínou. Tyto skutečnosti společně s již menšími ztrátami v generátoru, transformátorech apod. vedou k již zmíněné celkové účinnosti okolo 35 %.

Řešení zvýšení celkové účinnosti u těchto zařízení je možné zvýšením parametrů vyráběné páry, neboť účinnost roste s teplotou vstupní páry do turbíny. To je však omezeno vývojem vhodných materiálů, jak varného systému kotle, tak i materiálů turbín. Je zde ale možnost dosažení několikaprocentního zvýšení účinnosti.

Vzhledem k čím dál přísnějším požadavkům ochrany životního prostředí se při energetickém využití uhlí soustřeďuje pozornost zejména na moderní systémy tzv. čistých uhelných technologií. Vývoj uhelné energetiky směřuje k dosažení vyšší účinnosti energetické přeměny při maximálním omezení negativních účinků procesu na životní prostředí. Při vývoji a aplikaci progresivních uhelných technologií, vedoucí k dalšímu zvýšení celkové účinnosti jsou používány tzv. technologií budoucnosti ve

využití uhlí. Jedná se o technologie, které jsou současnosti již komerčně využívány. Jedná se o tyto technologie, které patří rovněž mezi uhelné technologické priority v EU :

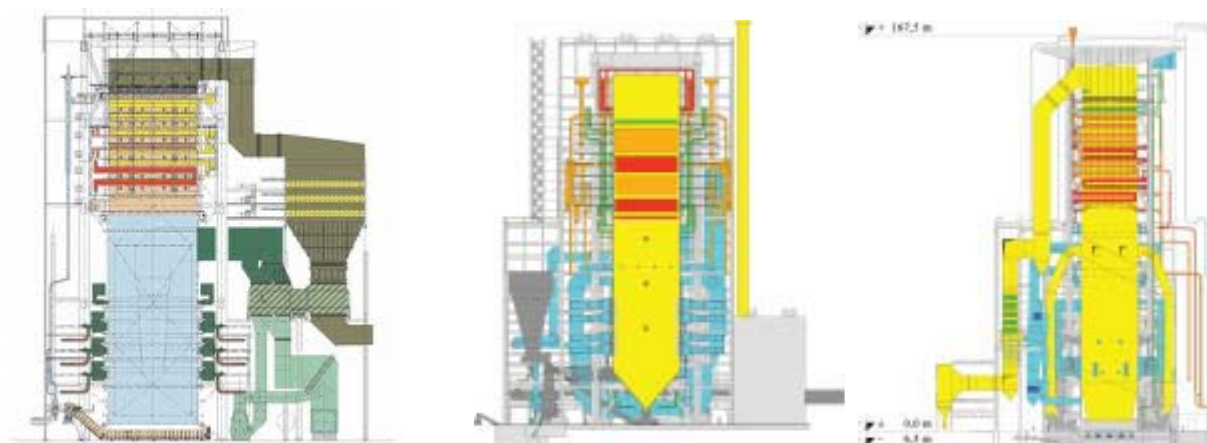
- prášková ohniště s nadkritickými parametry
- systémy spalování uhlí ve spojení s využitím produktů spalování v paroplynných blocích
 - spalování uhlí v tlakovém fluidním ohništi (**PFBC** – Presurised Fluidized Bed Combustion), odprášení spalin a využití uvolněného tepla v plynovém a parním cyklu
 - zplynění uhlí, vyčištění vyrobeného plynu a využití chemicky vázaného tepla a fyzikálně vázaného tepla v plynovém a parním cyklu (**IGCC** - Integrated Gasification Combined Cycle).

Nadkritické kotle

Za nadkritické parametry páry jsou považovány provozní tlaky nad tzv. kritickým bodem, tj. tlakem 22,1 MPa a teplotou 374,15 °C, kdy sytá voda přechází přímo v sytou páru aniž by při tom vznikla dvoufázová směs běžně označovaná jako mokrá pára. Vzhledem k maximálním parametrům přehřáté páry a vzhledem ke kritickému bodu rozlišujeme 3 typy zařízení :

- Podkritické : tradičně ve světě v uhelných elektrárnách užívané, s parametry přehřáté páry – tlakem 10 až 20 MPa a teplotou 500 až 560°C
- Nadkritické : s používanými parametry přehřáté páry – tlakem 23 až 25 MPa a teplotou 510 až 560°C
- Ultrakritické s používanými extrémně vysokými parametry přehřáté páry, ale současnou technickou praxí dosažitelné – tlakem 25 až 36.5MPa a teplotou 580 až 600(700)°C

U nadkritických a ultrakritických jednotek se jedná o granulační kotle s přirozenou cirkulací (typ Benson), věžového typu (1 tahové) nebo dvou tahové. Schéma nadkritického kotle věžového provedení je uvedeno na obr.7-13.



Obr.7-13 Schéma nadkritických kotlů věžového typu

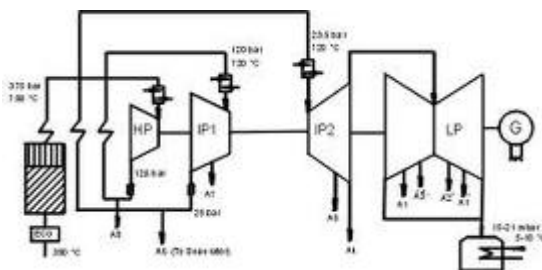
Vývoj nadkritických uhelných bloků započal v druhé polovině 50. let a první nadkritický kotel byl uveden do provozu v r.1957 v USA. Na dlouhou dobu však byl vývoj utlumen z důvodu extrémních nároků na drahé vysoce legované materiály,

jejichž užití nemohlo ekonomicky obstát s ohledem na relativně nízké ceny paliv. Dvě ropné krize v roce 1973 a 1979 znovu iniciovaly větší zájem o zvýšení účinnosti energetických přeměn při výrobě elektrické energie. Vývoj nových modifikovaných materiálů (9-12 % Cr) s feriticko-martensitickou strukturou koncem 80. letech otevřel nové perspektivy pro nadkritické bloky a způsobil, že v současné době je toto řešení opět na pořadu dne.

V provozu jsou již běžně bloky v USA, Německu, Holandsku, Dánsku, Rusku, Japonsku, Číně, Koreji apod. s nadkritickými parametry páry, s tlakem 25÷29 MPa a teplotou přehřáté a přihřáté páry 540÷600°C/560÷610°C (V USA je v provozu blok s tlakem páry 34,6 MPa a teplotou páry 649 °C). Elektrické výkony těchto nadkritických bloků jsou 300÷1300MW_e. Nadkritické jednotky dosahují celkové účinnosti cca 45 %, což je téměř o 10 % více, než dosahují naše současné uhelné elektrárny. Dosažení účinnosti cca 45÷47 % je díky :

- uvedeným vysokým parametrům přehřáté a přihřáté páry (případně dvoje přihřátí páry)
- tlakům v kondenzátoru nižší než 0.003 MPa
- vysoké teplotě přihřáté páry (260÷310°C) s využitím 6 až 9 regeneračním ohřívákům

Koncepční řešení nadkritického bloku s uvedenými parametry je uvedeno na obr.7-14.



Obr.7-14 Schéma koncepčního řešení kotle s ultrakritickými parametry

S využitím nadkritických kotlů pro uhelnou energetiku počítáno rovněž v ČR. V r.2008 byla firmou ČEZ, a.s. zahájena výstavba elektrárenského bloku 660 MW_el v elektrárně Ledvice s plánovaným uvedením do provozu v r. 2012. Projektované parametry :

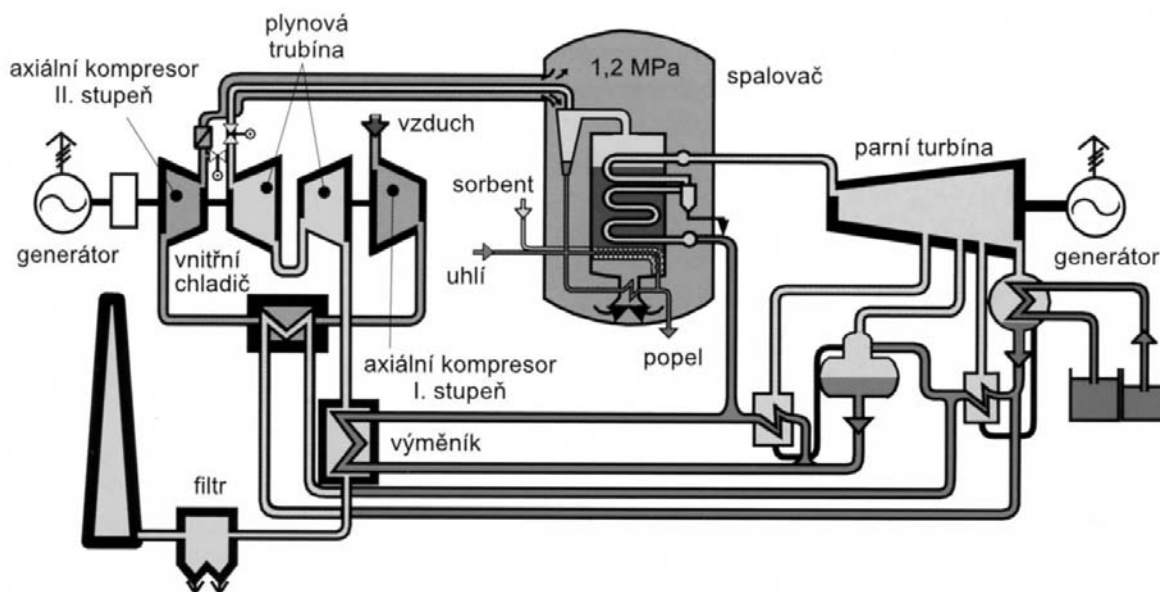
- přehřátá pára 27.2MPa / 600°C
- přihřátá pára 5.15MPa / 610°C
- celková účinnost výroby elektrické energie je 47 %

Výstavba dalších nadkritických bloků závisí na bilanci těžebních limitů. Jsou úvahy o dalších 2 blocích 660 MW_el.

Tlakové fluidní spalování

Fluidní technologie spalování umožňuje dosáhnout vyšší účinnosti a nízkých hodnot koncentrací škodlivin ve srovnání s klasickými uhelnými elektrárnami. Spalování ve fluidní vrstvě prošlo (a prochází) rychlým vývojem a postupným zvyšováním účinnosti od atmosférického fluidního spalování až po tlakové fluidní spalování (PFBC). V současnosti je ve světě provozováno cca 15 systémů s tlakovým fluidním spalováním o celkovém výkonu okolo 5000 MW a jsou provozovány ve Švédsku, USA, Japonsku, Itálii, Velké Británii a Číně.

Princip PFBC je uveden na obr.7-15, kde je uvedeno schéma zařízení ABB (Asea Brown Boveri) uplatněné ve výstavbě několika průmyslových jednotek.



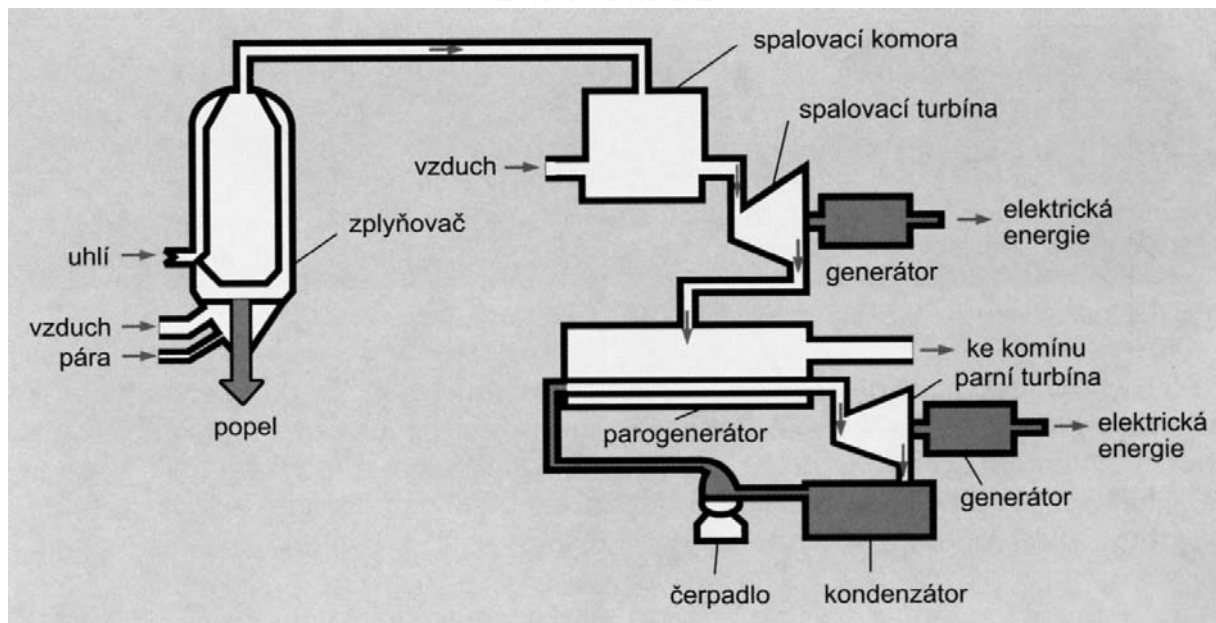
Obr.7-15 Schéma tlakového fluidního spalování (zařízení ABB)

Princip tlakového spalování PFBC spočívá ve spalování uhlí ve fluidním loži za přetlaku cca 1,2 MPa. Spaliny ze spalovací komory pohánějí plynovou turbínu, která je na společném hřídeli s turbokompresorem, který zajišťuje přetlak ve fluidním kotli. Pára vyrobená ve fluidním kotli pohání parní turbínu. Přidáním sorbetu (vápence nebo dolomitu) lze snížit emise síry o 90 až 97 %. Relativně nízká spalovací teplota 860°C vede k nízké hodnotě emisí NO_x. Obecně pro systém PFBC jsou charakteristické :vysoká účinnost, nízké hodnoty emisí škodlivin a relativně malé rozměry spalovacího zařízení.

Zplyňování uhlí ve spojení s postupem IGCC

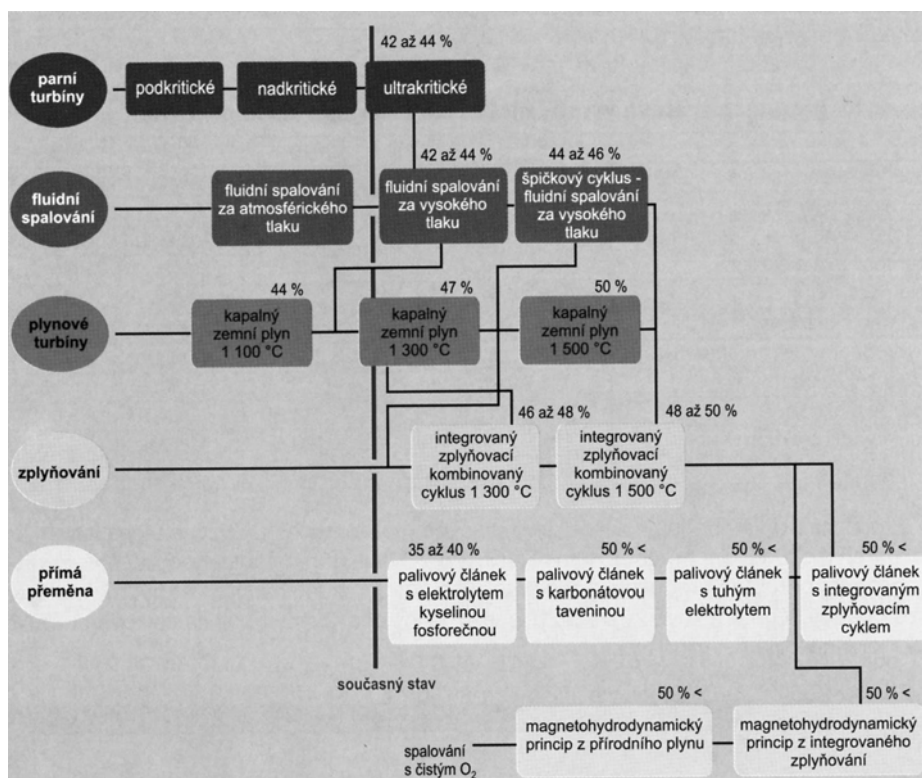
Jedná se tzv. integrovaný zplyňovací kombinovaný cyklus, zahrnující zplyňování uhlí kyslíkem a vodní parou a spalování vzniklého plynu (energoplynu, syntečního plynu) po jeho vyčištění. Spalování probíhá ve spalovací turbíně, která pohání generátor. Následuje využití horkých spalin v kotli na odpadní teplo a takto vyrobená pára je použita v konvenčním parním cyklu. Schéma této technologie je uvedené na obr.7-16.

Přímá přeměna chemické energie uhlí na elektrickou energii je realizovatelná dvěma principy. První postup spočívá v použití palivových článků FC (Fuel Cell), které využijí plyn ze zplyňování uhlí. Druhy možný, stále vyvíjený postup, využívá magnetohydrodynamické přeměny energie (MHD). U obou postupů je předpoklad dosažení celkové energetické účinnosti výroby elektrické energie okolo 50 %.



Obr.7-16 Schéma integrovaného zplyňovacího kombinovaného cyklu IGCC

Porovnání účinností stávajících systémů uhlé energetiky při výrobě elektrické energie a systémů vyvíjených pro aplikace v budoucnosti je uvedeno na obr.7-17. V tomto grafu silná vertikální čára odděluje současný stav (r.1995) od budoucího vývoje.



Obr.7-17 Vývoj systému uhlé energetiky – porovnání celkové účinnosti výroby elektrické energie

7.5 Uhlí v ČR

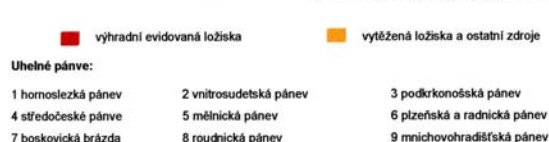
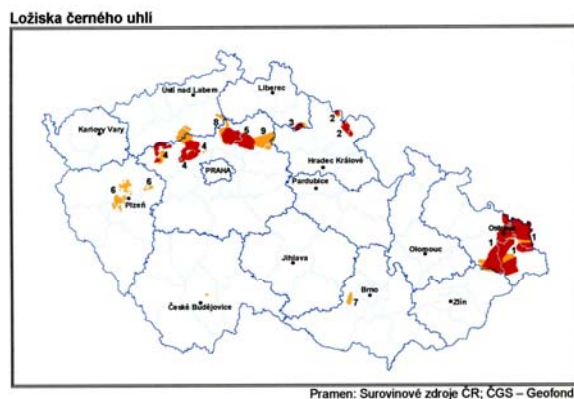
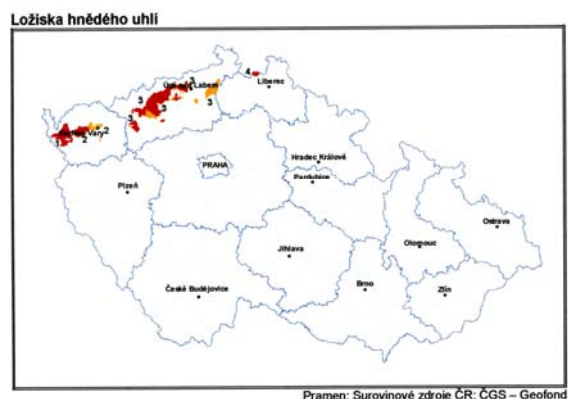
Pro hospodářství ČR je charakteristické, že většinovým zdrojem palivo-energetické základny pro výrobu tepla a elektřiny jsou tuhá fosilní paliva, zejména uhlí. Dlouhodobě vysoký podíl tuhých paliv (uhlí) v bilanci energetických zdrojů ČR je dán historicky vysoce rozvinutou základnou hlubinné těžby černých uhlí a lomové těžby hnědých uhlí.

Z pohledu primárních zdrojů energie (PEZ) jsou tuhá paliva (zejména uhlí) v ČR hlavním energetickým zdrojem a podíleli se v r.2006 na celkové spotřebě cca 50% (hnědé uhlí cca 33%). Podíl tuhých paliv na spotřebě PEZ v ČR sice klesá, v r.1995 byl podíl tuhých paliv na spotřebě PEZ 57 %, ale dá se předpokládat, že ještě několik desetiletí budou tuhá paliva dominantní na spotřebě PEZ v ČR.

Ve výrobě elektrické energie je dominantní postavení tuhých paliv (uhlí) ještě výraznější. V r.2006 byl podíl uhlí na instalovaném výkonu v ČR 60% a podíl uhlí na vyrobené elektrické energii byl 68%. To je mnohem více než podíl uhlí na výrobě elektrické energie ve světě (40%) nebo v zemích EU (35%). V perspektivě minimálně do roku 2020 bude podíl vyrobené elektrické energie z uhlí zachován, tj. většina elektrické energie v ČR bude vyráběna z hnědého uhlí v tepelných elektrárnách v severozápadních Čechách. I když je předpoklad, že podíl uhlí na výrobě elektrické energie v ČR bude klesat, v r.2030 se předpokládá jeho podíl okolo 40%.

Těžba uhlí v ČR

Uhlí je jedinou energetickou surovinou, kterou v ČR máme k dispozici v dostatečném množství. Česká republika disponuje významnými zásobami černého a hnědého uhlí a řadí se na 10. až 15.místo mezi zeměmi světa, které disponují jeho zásobami. V ČR je těženo jak černé, tak i hnědé uhlí, v minulosti částečně také lignit. Lignit byl těžen pouze u Hodonína a jeho veškerá těžba byla spotřebována v elektrárně Hodonín. V r.2009 byla těžba lignitu ukončena. Na obr.7.18 a 7.19 jsou uvedeny lokality se zásobami hnědého a černého uhlí v ČR.



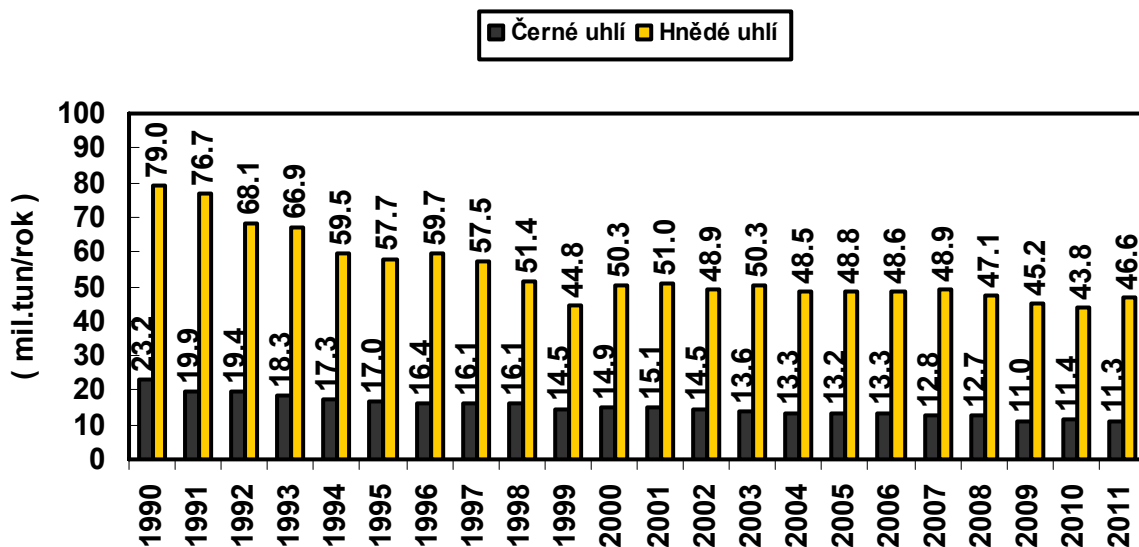
Obr.7-18 Ložiska hnědého uhlí v ČR

Obr.7-19 Ložiska černého uhlí v ČR

Z uvedených lokalit je pro těžbu černého uhlí využívána pouze hornoslezská pánv ve 4 dolech na Karvinsku. Zásoby hnědého uhlí jsou pouze v podkrušnohorské oblasti. Bilanční zásoby kvalitního hnědého uhlí v této oblasti se blíží 2 mld.tun. Při nepřetržité těžbě by mohly zásobovat ČR primární energetickou surovinou déle než do roku 2100. Za současné situace na světovém energetickém

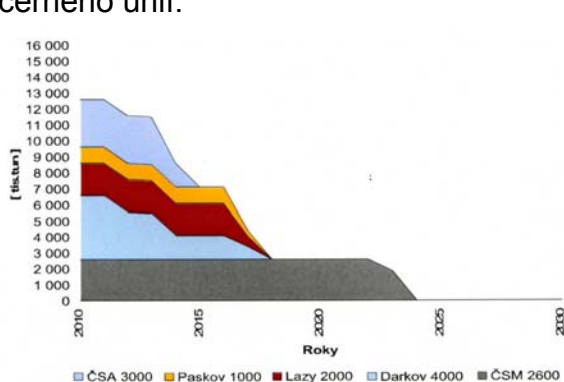
trhu lze zásobu hnědého uhlí na severu Čech považovat za strategickou výhodu pro českou ekonomiku.

Vývoj těžby černého a hnědého uhlí v letech 1990 až 2011 je uveden na obr.7-20. Z uvedeného vývoje je zřejmý současný stabilizovaný stav těžby černého uhlí na hodnotě cca 11 mil.tun/rok a u hnědého uhlí na hodnotě cca 45 mil.tun/rok.

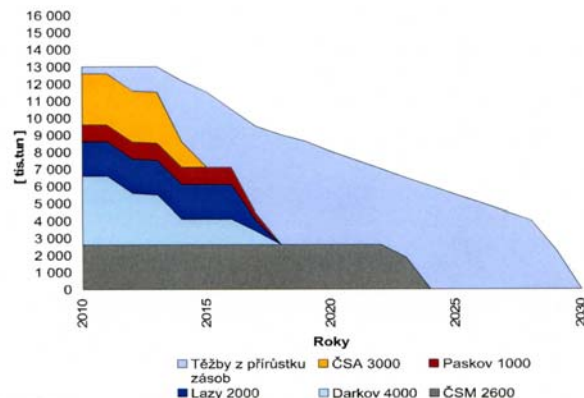


Obr.7-20 Těžba černého a hnědého uhlí v ČR v letech 1990 až 2011

V minulosti byly maximální hodnoty těžby černého uhlí v.r.1980 (28 mil.tun/rok) a hnědého uhlí v r.1984 (95 mil.tun/rok). V současnosti je v ČR hnědé uhlí převážně využíváno jako palivo pro výrobu elektrické energie a tepla, 80 % těžného hnědého uhlí je využíváno v tepelných elektrárnách. Z produkce černého uhlí tvoří energetické uhlí cca 5 mil.tun/rok a koksovatelné uhlí cca 6 mil.tun/rok. Uhlí je rovněž vyváženo do ČR v objemech 1.0 až 1.4 mil.tun/rok u hnědého uhlí a 5.5 až 6.5 mil.tun/rok u černého uhlí.



Obr.7-21 Výhled těžby černého uhlí v ČR



Obr.7-22 Výhled těžby černého uhlí v ČR s přidavkem 80 mil.tun zásob

Vývoj těžby a spotřeby černého uhlí je patrný z následujících dvou obrázků. Objem současně vytěžitelných zásob vystačí maximálně do roku 2030. Obr.7-21 ukazuje výhled těžby černého uhlí při stávajících stavech vytěžitelných zásob. Těžba bude v tomto případě ukončena v r.2024. V následujícím obr.7-2 je předpokládáno navýšení vytěžitelných zásob o cca 80 mil.tun (záměrem OKD je těžba na stávajících

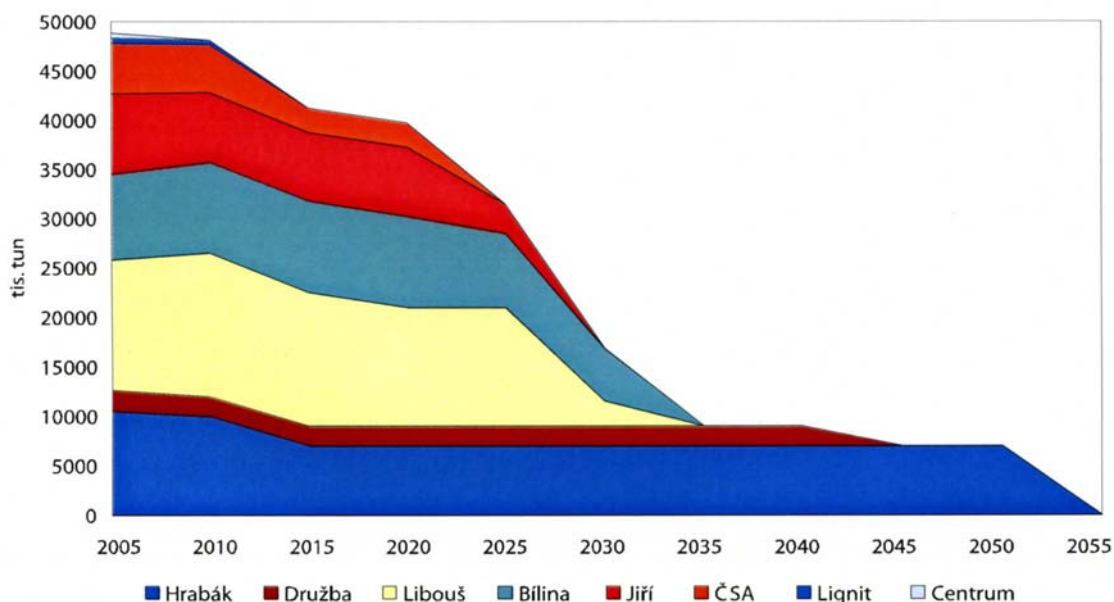
dolech pod hloubkou 1000m), což při maximálním ročním využití prodlouží těžbu až do r.2030.

Další možnou perspektivou pro těžbu černého uhlí v budoucnosti jsou velké zásoby černého uhlí v oblasti Frenštátu p.R. Výstavba dolu Frenštát začala v roce 1981, ale v roce 1991 byly práce na tomto ložisku pozastaveny a důl byl zakonzervován. Stalo se tak na základě jednak odporu beskydských obyvatel, ale také mnoha českých poslanců a senátorů. V této lokalitě se ovšem nachází více než 1 mld.tun těžitelných zásob černého uhlí.

I přes poměrně vysoké stavy geologických zásob a bilančních zásob hnědého uhlí v ČR, jsou stavy vytěžitelných zásob nízké a životnost jednotlivých lomů se pohybuje od 14 do 50 let. Hlavním problémem při zvýšení dostupnosti hnědého uhlí ve střednědobém horizontu je blokování zásob hnědého uhlí územně-ekologickými limity. Ty byly stanoveny vládním usnesením č.444 z roku 1991, které stanovilo ekologické těžební limity v podhůří Krušných hor. Toto usnesení odráželo ekonomickou i ekologickou situaci tehdejší doby, ale blokuje přibližně 1 mld.tun zásob hnědého uhlí.

V dlouhodobém horizontu je pak nemožnost využít zásobu HU v tzv. rezervních lokalitách (Bylany, Záhořany a další). Za liniemi těžby je jen v lomu ČSA blokováno téměř 750 mil.tun velmi kvalitního hnědého uhlí, které by vystačilo na prodloužení těžby v tomto dole do r.2125. Při respektování limitů bude těžba v tomto dole ukončena v r.2017. V lomu Bílina je za územními ekologickými limity blokováno cca 120 mil.tun hnědého uhlí, které by prodloužilo životnost tohoto lomu o zhruba 15 let.

Výhled těžby hnědého uhlí je tedy závislý na vývoji územně-ekologických limitů těžby. Na obr.7-23 je uveden výhled životnosti hnědouhelných dolů, pokud budou tyto limity zachovány i v budoucnosti.



Obr.7-23 Výhled těžby hnědého uhlí při zachování územně-ekologických limitů

Z uvedeného obr.7.23 je zřejmé, že v případě toho vývoje by v letech 2020 až 2025 začal výrazný pokles těžby hnědého uhlí v ČR a těžba by v tomto případě byla ukončena přibližně v r.2045.

8. Zemní plyn a jiná plynná paliva

Nejvíce používaným plynem pro energetické účely je zemní plyn (ZP), který patří mezi fosilní paliva. Jeho základní složkou je uhlovodík metan CH_4 , který je zároveň nejrozšířenější plynnou sloučeninou na Zemi. Metan obvykle tvoří 88÷99.8 % zemního plynu. Kromě metanu obsahuje ZP i jiné uhlovodíky (etan, propan), dále oxid uhličitý, dusík a někdy i hélium. ZP je tedy směs plynů, jejichž obsah závisí na nalezišti. Čím více metanu ZP obsahuje, tím je z hlediska energetiky kvalitnější. ZP je neekologičtější z fosilních paliv (z důvodu jeho složení). Neobsahuje žádné prachové částice a spalováním zemního plynu prakticky nevznikají oxidy síry (ZP prakticky neobsahuje síru).

8.1 Historie zemního plynu

Energii zemního plynu začali jako první využívat staří Číňané a to údajně již před 3000 lety. Už tenkrát dokázali plyn z mělce uložených ložisek těžit a pomocí dutých bambusových trubek natřených pryskyřicí rozvádět na místo určení. Používali ho na vytápění a svícení, mimo jiné také na vytápění císařského paláce. Starověké znalosti však upadly na dlouhou dobu do zapomnění. Na novou éru plynu jsme si tak museli počkat až do 18. století.

Za den vzniku plynárenství jako průmyslového odvětví je považován datum 31.12.1813, kdy se poprvé rozsvítily lampy plynového osvětlení na londýnském Westminsterském mostě. Jednalo se o první veřejné prostranství osvětlené plynem.

Ve Spojených státech amerických navrtal roku 1884 George Westinghouse zemní plyn 500m hlubokým vrtem a zahájil tak období využívání tohoto plynu k vytápění a svícení na americkém kontinentu.

8.2 Těžba zemního plynu

Zemní plyn je získáván těžbou z nitra Země. Výskyt ZP blízko povrchu Země je ojedinělý a většinou se těží jako ropa z pórovitých hornin z hloubek několika 100m až 3000m, výjimečně z hloubek 8000m. ZP se v podzemních ložiscích nachází při tlaku 10 až 30 MPa a v hloubce okolo 8000m při tlaku až 50 MPa. Podle charakteru a vlastností ZP můžeme ložiska plynu rozdělit na:

- **Čisté plynové ložiska**, které obsahují většinou suchý plyn, tedy plyn s převládajícím obsahem metanu. Tyto ložiska jsou lehce vytěžitelné, protože plyn je uložen v relativně velmi propustných horninách.
- **Ropná-plynová ložiska**, ze kterých se těží převážně ropa. Tlak ZP v horních nadrovných vrstvách se využívá při těžbě ropy vytlačení. Protože jsou v ložisku vysoké tlaky, plynné složky zemního plynu se rozpouštějí v ropě a jsou spolu s ní těženy z ložiska. Z vytěžené ropy se plyn získává při jejím odplynování.
- **Kondenzátové ložiska**, ve kterých je plyn spolu s ropou uložený v homogenní substanci při termodynamicky nadkritických podmínkách (teplotě nad 350 K a tlaku nad 20 MPa). Ložisko je proto vytěžované, tak aby nedocházelo ke ztrátě tlaku a tím k nevratnému oddělení přítomných vyšších vracích podílů ropy. Proto se z vytěžené ropy část získaného zemního plynu tlačí zpět do ložiska při vyšším tlaku než byl tlak původní.
- **Hydrátové ložiska**, (doposud netěžené) jsou takové ložiska ZP, ve kterých je ZP uložen ve formě hydrátů. Největší ložiska tohoto typu jsou v blízkosti USA, Kanady, Grónska a Sibíře.

Vytěžený zemní plyn je nutno před jeho dálkovou dopravou a spotřebou upravit na takovou kvalitu, aby ho bylo možné bez dalších úprav komerčně využívat. Technologie čištění je závislá na složení plynu. Zemní plyn se často těží z ložisek společně s ropou, takže obsahuje vysoké podíly vyšších uhlovodíků.

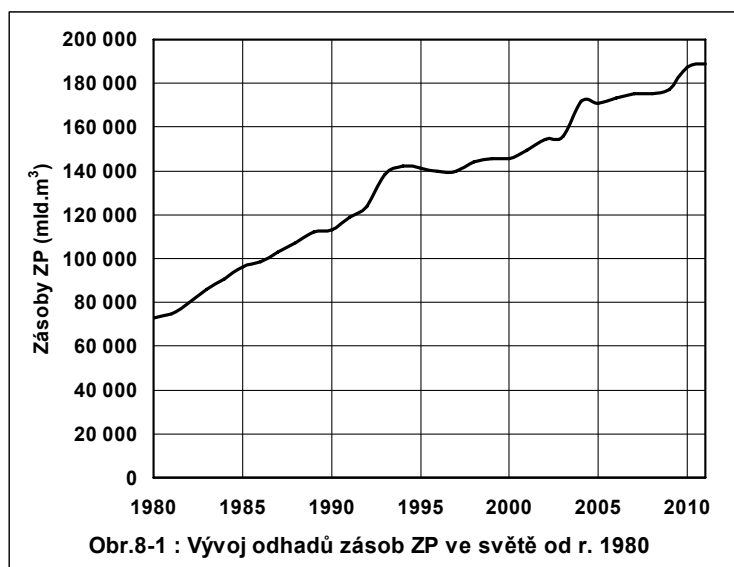
Dále zemní plyn zpravidla obsahuje látky, které by mohly negativně působit na distribuční systémy. Jsou to v prvé řadě voda a siřné látky, které by mohly způsobovat korozi zařízení. Vysoký obsah vlhkosti může být příčinou ucpávání plynovodů, protože s metanem může voda za určitého tlaku a teploty tvořit pevné hydráty. Vytěžený zemní plyn dále obsahuje prach, který by mohl být příčinou poruch kompresorových nebo regulačních stanic. Každý zemní plyn se po těžbě suší a zbavuje pevných částic (prachu), případně se odstraňují vyšší uhlovodíky, kapalné uhlovodíky, siřné látky, dusím, helium, aj. - pokud jsou přítomny

8.3 Světové zdroje a zásoby zemního plynu

Zásoby zemního plynu dělíme na **prokázané, pravděpodobné a potenciální**.

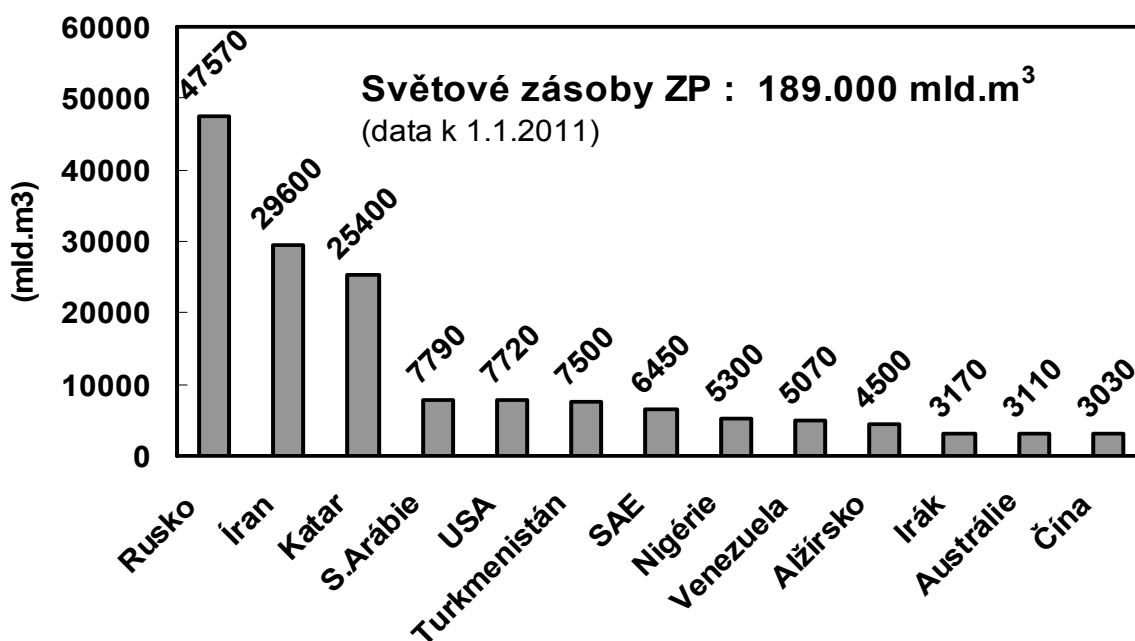
- **Prokázané (prověřené) zásoby**

Jedná se o zásoby zemního plynu, které jsou ekonomicky těžitelné při současné technické úrovni. Jak ale ukazuje vývoj odhadů těchto zásob a nalézání nových



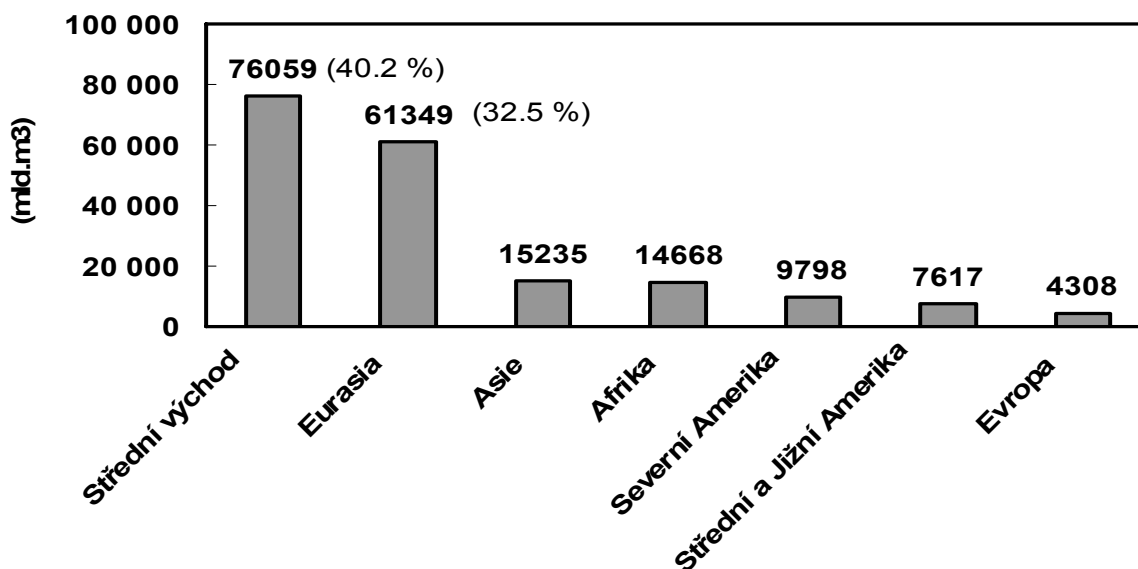
nalezišť v posledních několika desetiletích, tak dochází k situaci, kdy světové zásoby zemního plynu paradoxně narůstají. Vývoj odhadů světových zásob je uveden na Obr.8.1. Z uvedeného grafu je patrný nárůst zásob ZP z hodnoty cca 73.000 mld.m³ (v r.1980) a hodnotu **189.000 mld.m³** v r.2011, tj. nárůst za 31 let 2.6x. Při roční produkci ZP 1511 mld.m³ v r.1980, byla životnost zásob v této době cca 50 let a v r.2010 by měla být životnost zásob již pouze 20 let. Avšak

v r.2011 při roční produkci ZP 3167 mld.m³ jsou zásoby ZP ve světě v průměru na cca 60 let. Tyto nárůsty jsou způsobeny objevováním nových nalezišť ZP. Např. v r.2004 došlo k výraznějšímu nárůstu zásob, který byl způsoben objevením nových nalezišť ZP v Kataru, kde zásoby stouply z hodnoty 14.000 na 25.800 mld.m³.



Obr.8-2 Země s největšími prokázanými zásobami zemního plynu (údaje z r.2010)

Země s největšími ověřenými zásobami zemního plynu jsou uvedeny na Obr.8-2. 83 % světových ověřených zásob se nachází v těchto 13 zemích. Bez zajímavosti jistě není, že 72 % těchto zásob se nachází na pevnině a 28 % těchto zásob v mořských šelfech (mělčinách).



Obr.8-3 Světové zásoby zemního plynu dle geografických regionů (údaje z r.2010)

Teritoriální rozložení zásob ZP ve světě je patrné z Obr.8-3, cca 75 % zásob je na Středním Východě a v Eurasii, zejména v Rusku, Íránu a Kataru, kde je 53 % světových zásob. Z pohledu Evropy je cca 60% zásob v dosahu Evropy, což Evropu v porovnání s Amerikou a Asií zvýhodňuje. Nerovnoměrné rozložení zásob ZP se projevuje rovněž v rozdílné životnosti zásob v jednotlivých státech a regionech, na

Středním Východě je životnost zásob cca 100 let, v Rusku cca 80 let, v Africe cca 65 let.

- **Pravděpodobné zásoby**

Jedná se o zásoby na ložiscích, vykazující velmi vysokou pravděpodobnost, že budou vytěžena za ekonomicky a technických podmínek podobných těm, které jsou u prověřených zásob. Ložiska nejsou dosud technicky vybavena. Vedle kategorie prokázaných zásob můžeme s vysokou jistotou počítat s možností využití i těchto pravděpodobných zásob. Právě přesun určitého objemu zásob z této do první kategorie v důsledku pokračujícího osvojování ložisek je důvodem stále se zvyšujícího objemu prokazatelných zásob zemního plynu a jejich životnosti.

Pravděpodobné zásoby dosahují výše cca **350 bil.m³**. Z vývoje životnosti celosvětových zásob vyplývá, že v průběhu času se zásoby plynu i přes významný nárůst spotřeby nesnižují. Při započtení zásob „předpokládaných“, tzn. s dosud neprovedeným detailním geologickým průzkumem, dosahuje životnost zásob zemního plynu cca 150 let (některé odhady uvádějí až 200 let).

- **Potenciální zásoby**

Potenciální zásoby se v současné době odhadují na **20.000 bil.m³**.

Jedná se o tzn. nekonvenční zdroje. Mezi tyto zdroje patří především hydráty metanu, což je pevná substance podobná sněhu, tvořená 20 % metanu a 80 % vody. Hydráty se nacházejí v zemské kůře pod dnem oceánů. Tyto velmi významné zásoby jsou již dlouho známy, jejich problémem je však těžba. Jednou z možností těžby, jejichž intenzivní výzkum probíhá, je tepelný rozklad hydrátů a jejich odtlakování.

Dalším zdrojem tohoto druhu je tzn. Coal Bed Methan (CBM), což je metan, jehož původ je spojován se vznikem černouhelných slojí. Plyn je absorbován v uhelných slojích a je vázán v mikroporézní struktuře uhelné hmoty. Efektivnost získávání plynu je odvislá od stupně prouhelnění uhelné hmoty a její dostatečné propustnosti. Těžba CBM je ve většině uhelných pánví světa na úrovni průzkumu a prvotních projektů.

Významným zdrojem zemního plynu se v budoucnu mohou stát „plynové hydráty“, které tvoří metan a některé vyšší uhlovodíky (etan, propan) s vodou za vysokých tlaků a teplot. Dosud objevená ložiska plynových hydrátů jsou obrovská, jejich zásoby jen na severní polokouli jsou několikanásobně vyšší než v současné době těžitelné zásoby naftového zemního plynu na celém světě.

8.4 Doprava a skladování zemního plynu

Dálková přeprava je díky vzdálenostem, na které se dnes zemní plyn přepravuje, nejnáročnějším článkem řetězce cesty zemního plynu od ložiska k zákazníkovi. Upravený zemní plyn je možné přepravovat potrubím (plynovody) nebo ve zkapalněném stavu tankery.

Plynovody

Evropa je dnes protkána hustou sítí dálkových plynovodů. Provozní tlaky v nejnovějších potrubních systémech dosahují až 10 MPa, rychlosti proudění plynu jsou až 80 km/hod. Průměry plynovodů často přesahují jeden metr (např. v ČR je téměř 400 km o průměru 1400 mm). Plynovody jsou vedeny nejen po souši, ale mohou být také položeny na mořském dně. Tímto způsobem se např. do Evropy dopravuje zemní plyn z nalezišť v Severním moři nebo Africe.

Do střední a západní Evropy je zemní plyn dopravován z Ruska „tranzitním plynovodem“. Tímto plynovodem je v současnosti dopravováno do Evropy přes ČR

cca 100 mld.m³ zemního plynu. ČR je kromě odběratele plynu z tohoto plynovodu také důležitou tranzitní zemí.

V r.2012 byl uveden do provozu plynovod Nord Stream, který je veden z Ruska mimo Ukrajinu pod hladinou Baltského moře do západní Evropy. Jedna z dalších větví tohoto plynovodu vede do ČR.

Do budoucna je uvažováno z výstavbou dalších plynovodů, jak z Ruska, tak i z jiných oblastí. Jedná se o plynovody jako NABUCCO, South Stream, White Stream. Plynovod NABUCCO má přivést plyn ze střední Asie (popřípadě z Blízkého a Středního východu) do Evropy mimo území Ruska a Ukrajiny. Dále se uvažuje o plynovodu South Stream, který by měl vést z Ruska pod Černým mořem do Bulharska a dále do západní Evropy. Které z těchto plynovodů budou v budoucnosti postaveny dnes není zřejmé a jejich výstavba bude záviset na dohodách zúčastněných států.

Přeprava tankery

Je využívána pro přepravu přes moře na velké vzdálenosti - např. do Evropy je takto dodáván stlačený zemní plyn (CNG, PNG) a zkapalněný zemní plyn (LNG –



Liquefied natural gas) z Alžírska, Nigérie nebo Austrálie. Zemní plyn se na pobřeží stlačí nebo zkapalní (zkapalněním zmenší zemní plyn svůj objem cca 600x) a přečerpá do tankeru. Zkapalněný zemní plyn se převáží ve speciálních nádržích při teplotě mínus 161 až 169°C (dle obsahu dusíku). V přístavu (cílovém terminálu) se za mimořádných bezpečnostních opatření přečerpá do

zásobníků (nadzemních nebo podzemních). Zkapalněný plyn se postupně odpařuje a dodává do plynovodních systémů.

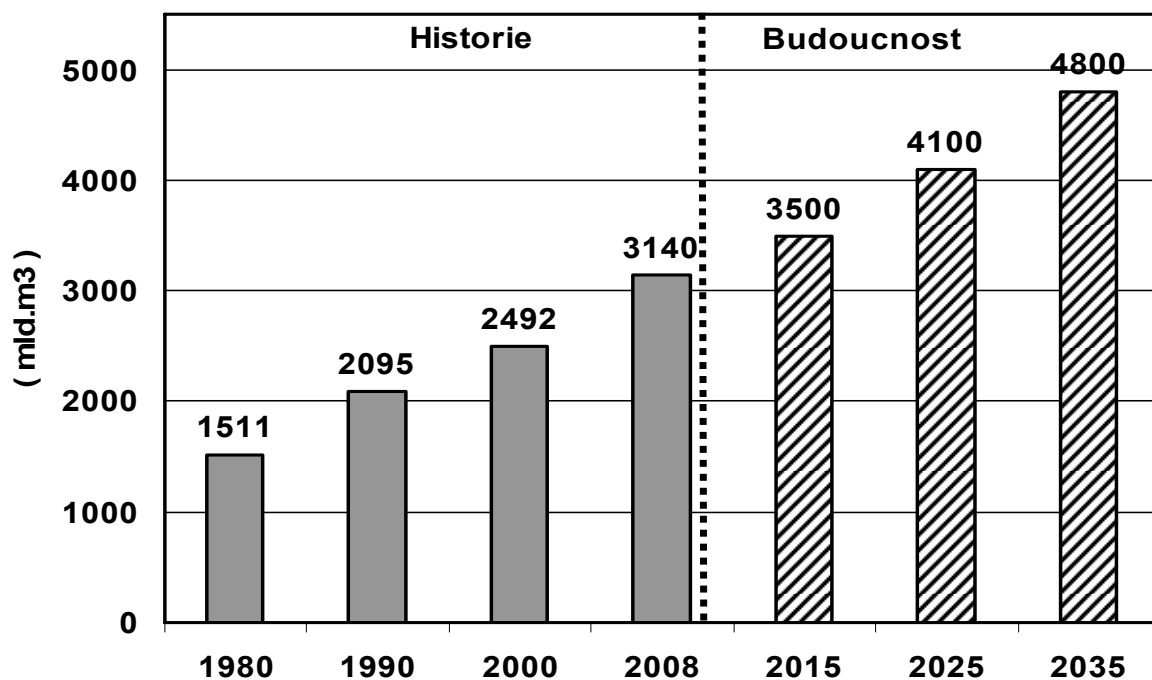
Doprava zkapalněného zemního plynu ve světě byla v r.2006 cca 200 mld.m³ a do roku 2015 by se tato dopravní kapacita LNG měla zvýšit na 300 mld.m³.

Uskladňování zemního plynu

Vyrovňávání nerovnoměrností mezi zdroji a spotřebou zajišťují zásobníky. V minulosti se využívalo menších tzv. „mokrých plynojemů“ a později tzv. suchých plynojemů. Dalším vývojem byly „podzemní zásobníky“. První podzemní zásobník byl uveden do provozu v USA u Buffala v roce 1916. V současné době slouží k vyrovnání spotřeby zemního plynu na světě kolem 600 podzemních zásobníků s celkovou kapacitou cca 300 mld.m³.

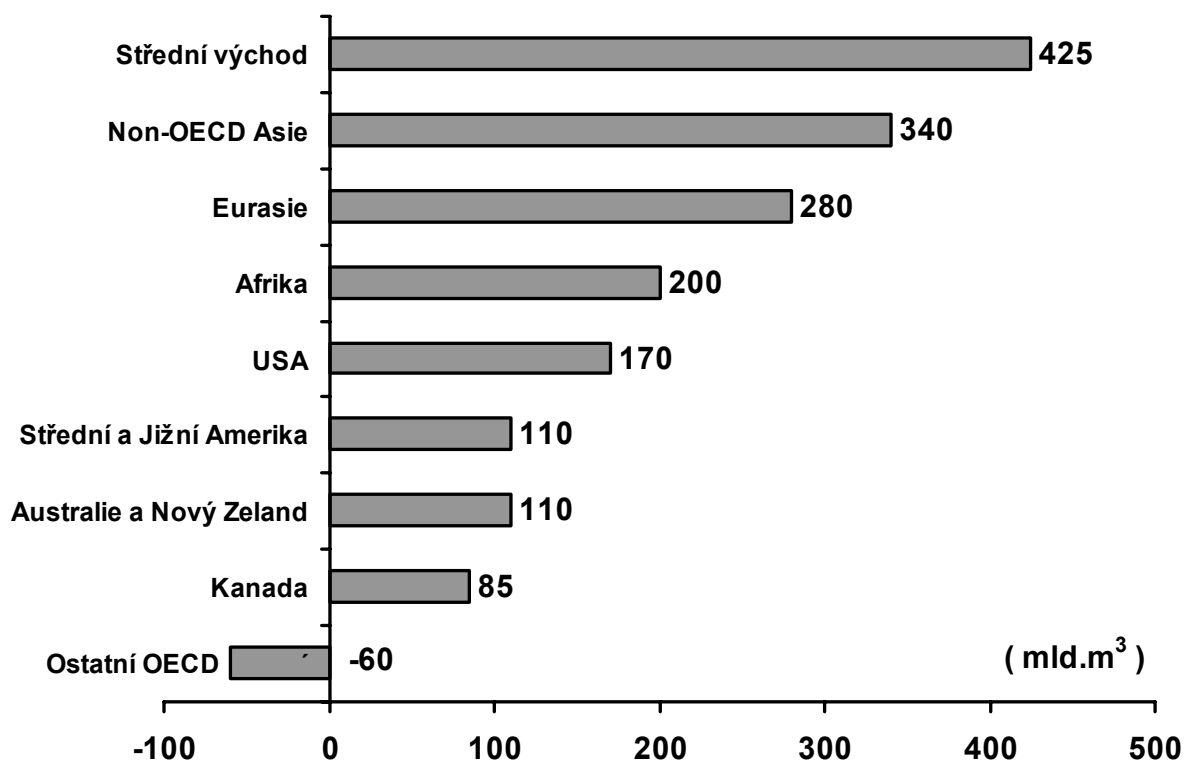
8.5 Produkce a spotřeba zemního plynu ve světě

Plynárenství je nejrychleji rostoucím odvětvím energetiky ve světě. Světová produkce zemního plynu v roce 1980 činila 1511 mld.m³, v roce 2011 dosahovala 3167 mld.m³, tj. více než dvojnásobku. Z pohledu primárních energetických zdrojů tvořil zemní plyn cca 20 % v r.1980 a 23% v roce 2008. Prognóza dalšího vývoje spotřeby zemního plynu hovoří o nárůstu světové roční spotřeby o cca 1.8 až 2.9 %. V roce 2035 je předpokládána spotřeba cca 4800 mld.m³. Vývoj spotřeby ZP od r.1990 a odhad spotřeb ZP do r. 2035 je uveden na Obr.8-4.



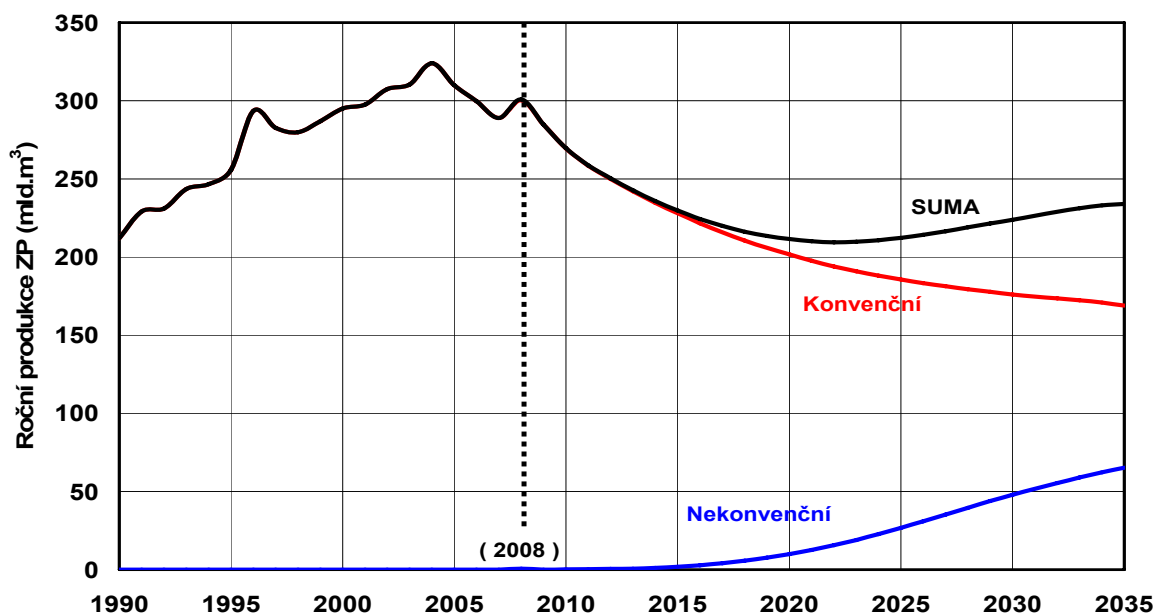
Obr. 8-4 : Vývoj spotřeby ZP ve světě od r.1980 do r.2035

Nárůst produkce ZP do r.2035 je pro jednotlivé regiony světa uveden na Obr.8-5. Ve všech regionech světa, kde se nachází zásoby ZP je očekáván nárůst produkce, pouze v Evropě je předpokládám pokles produkce.



Obr. 8-5 : Nárůst roční produkce ZP dle regionů ve světě (2008 - 2035)

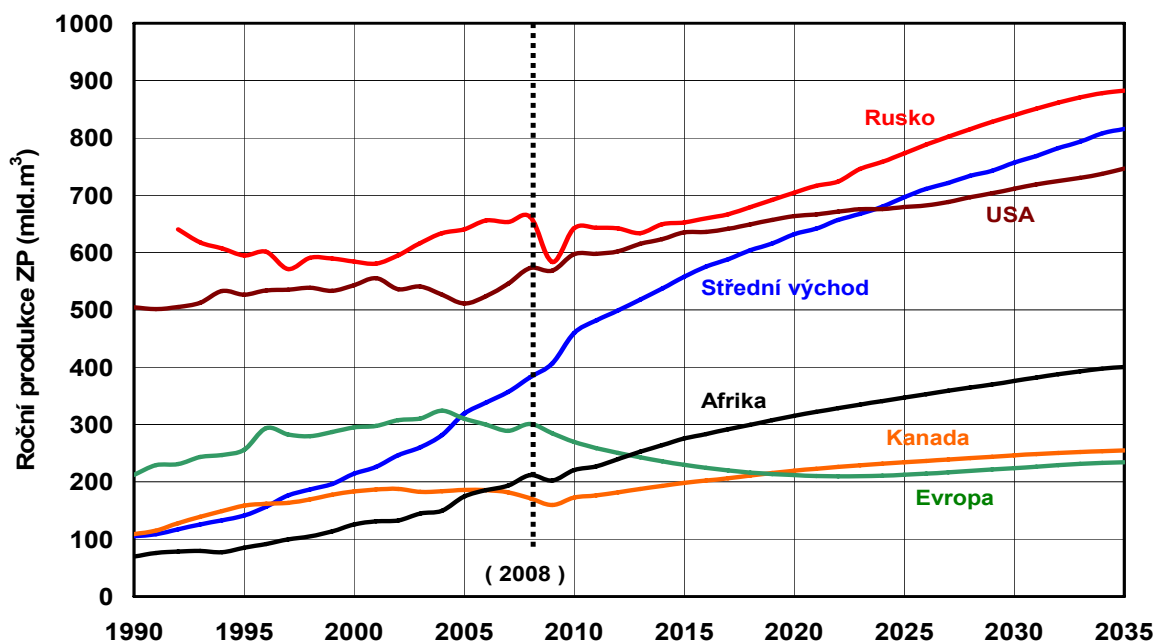
V Evropě je předpokládán pokles celkové roční produkce ZP do r.2035 z hodnoty cca 300 mld.m³ na hodnotu cca 220 mld.m³. Jedinou zemí v Evropě, kde je předpokládán nárůst roční produkce ZP je Norsko (předpokládaný nárůst z hodnoty cca 100 mld.m³ na hodnotu cca 200 mld.m³). Vývoj roční produkce ZP v Evropě je uveden na Obr.8-6.



Obr. 8-6 : Vývoj roční produkce ZP v Evropě (2008 - 2035)

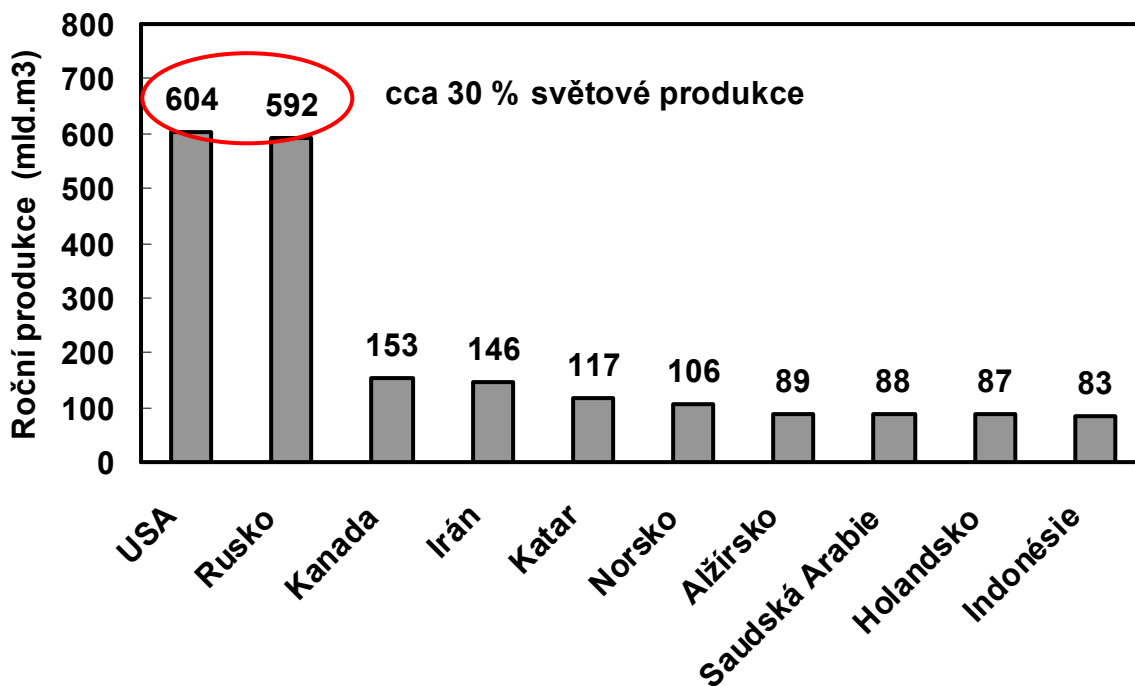
Mírný nárůst produkce je předpokládán při využití tzv. nekonvenčních zdrojů, tj. pevné substance plynů, Coal Bed Methan (CBM) a břidlicové plyny.

Vývoj produkce ZP v jednotlivých regionech světa je uveden na Obr.8-6. Jak již bylo uvedeno, nevýraznější nárůst roční produkce ZP je očekáván na Středním východě (v Iránu, Kataru, Saudské Arábii a Spojených Arabských Emirátech)



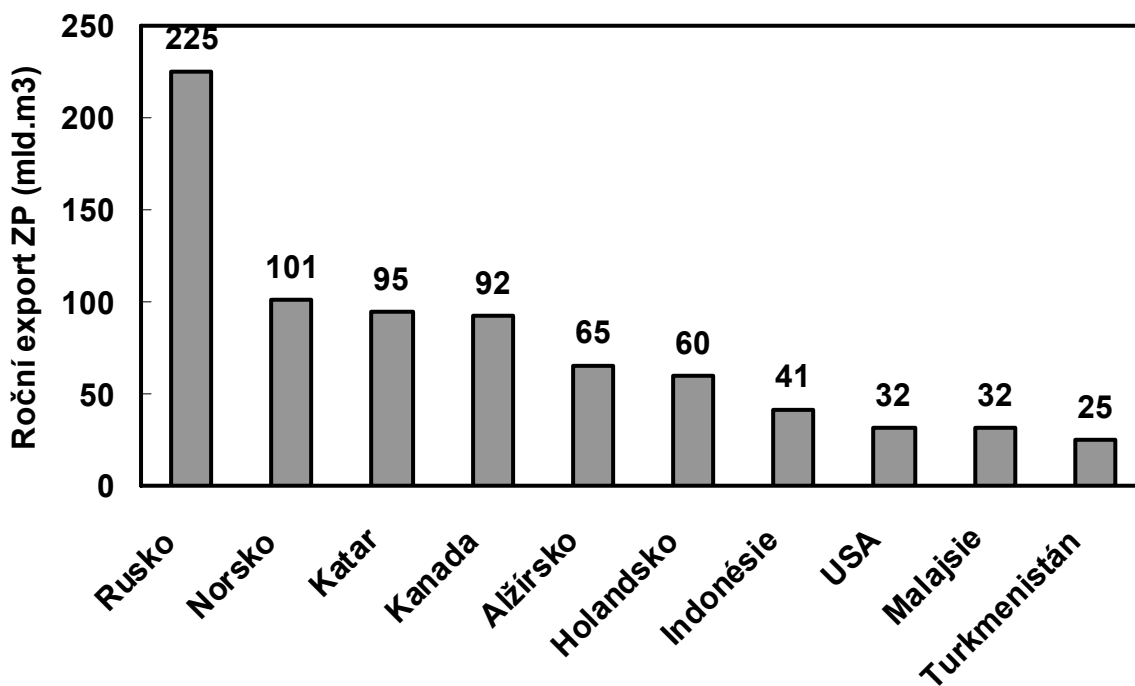
Obr. 8-6 : Vývoj roční produkce ZP v jednotlivých regionech světa

V r.2011 ve světě v roční produkci ZP dominovaly 2 státy, Rusko a USA, kteří se podíleli cca 30% na světové roční produkce ZP. Na Obr.8-7 jsou uvedeni největší světoví producenti ZP.

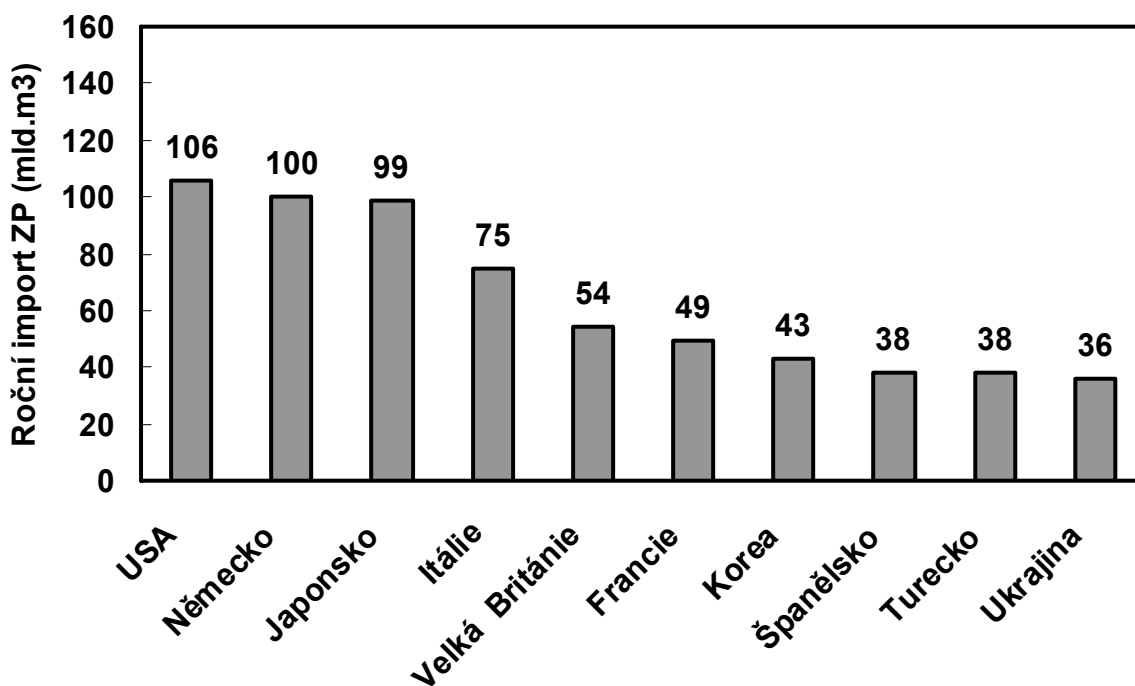


Obr.8-7 Největší světoví producenti zemního plynu v r.2011

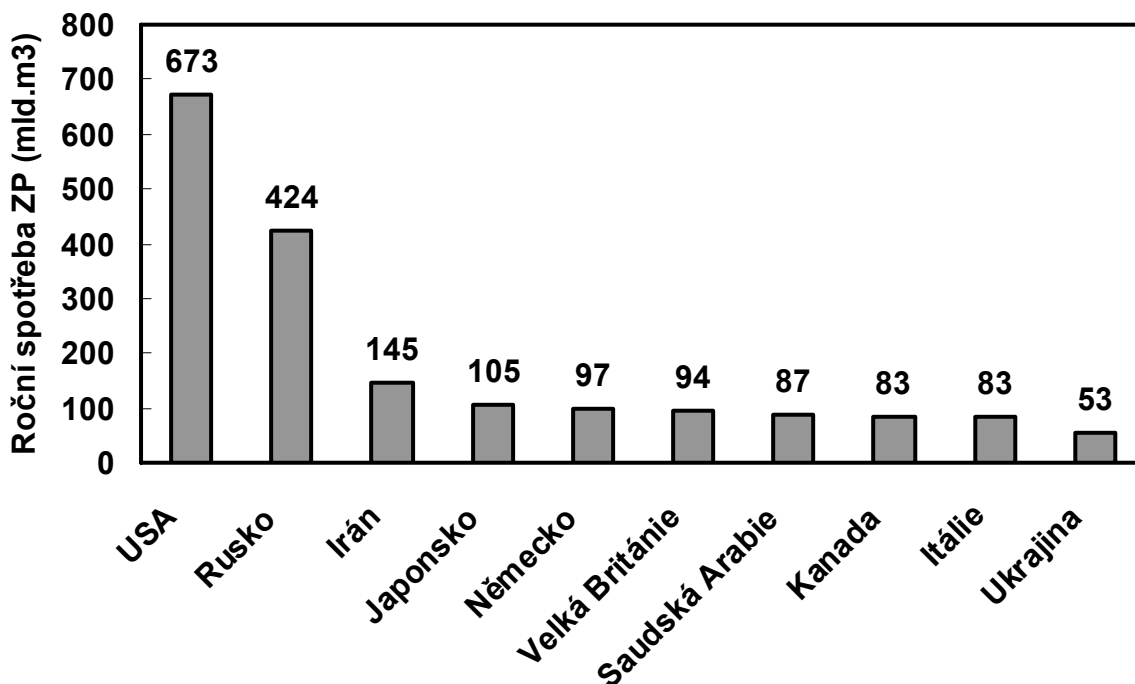
Na obr.8-8 jsou uvedeni největší světoví exportéři ZP, na Obr.8-9 největší světoví importéři ZP a na Obr.8-10 státy s největší spotřebou ZP.



Obr.8-8 Největší světoví exportéři zemního plynu v r.2011



Obr.8-9 Největší světoví importéři zemního plynu v r.2011



Obr.8-10 Státy s největší spotřebou zemního plynu v r.2011

Zemní plyn v EU

Pro Evropu jsou v současnosti nejvýznamnějšími oblastmi se zdroji zemního plynu Rusko, Norsko a Alžírsko. Z těchto zdrojů státy Evropské unie pokrývaly v r.2009 cca 79 % dovozu zemního plynu. Z Ruska, které je hlavním externím zdrojem zemního plynu, se dováželo 22 % spotřeby EU, z Norska 20 %, z Alžíru

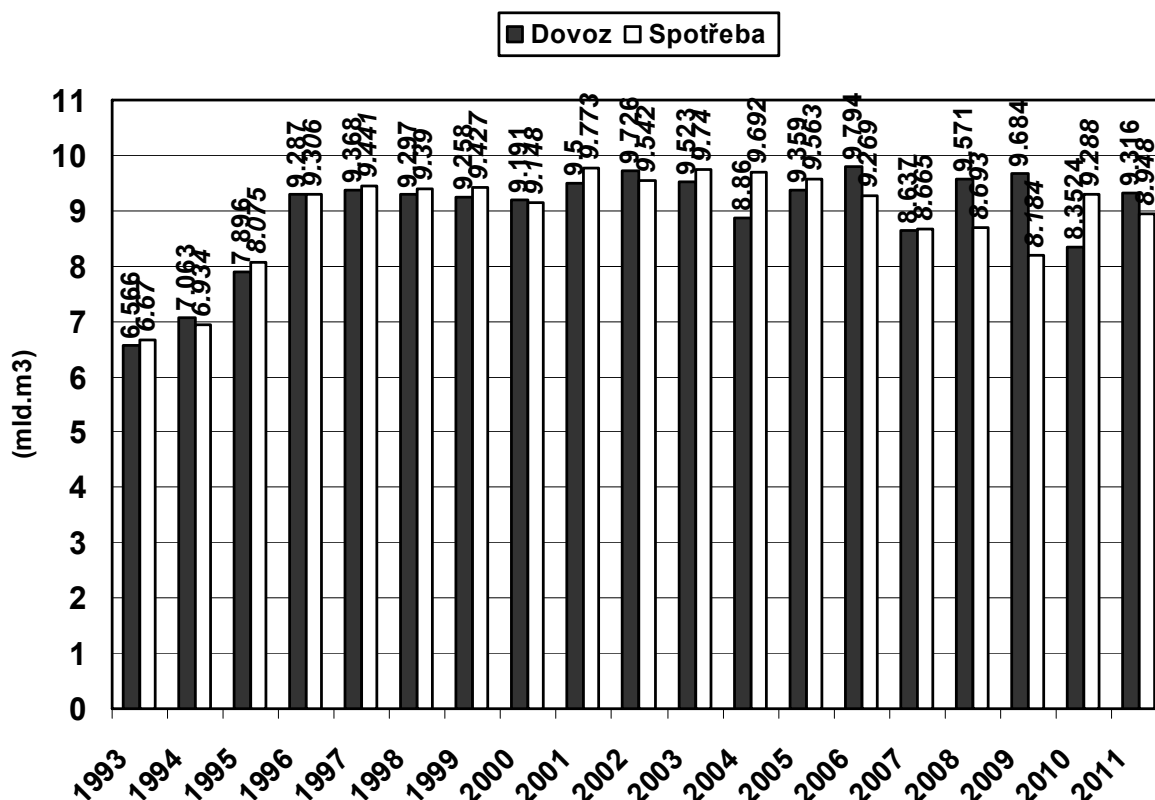
10 % podílu dovozu a zbytek z „dalších zdrojů“ (z Egypta, ze zemí Perského zálivu, Libye, Nigérie, Kataru aj.). V r.2009 byla v EU spotřeba zemního plynu cca 500 mld.m³, z toho cca 100 mld.m³ je dopravováno plynovodem přes ČR.

Zemní plyn dnes pokrývá 23 % primárních energetických potřeb v zemích EU a podle ekonomických odhadů se do roku 2020 jeho podíl na primárních energetických zdrojích zvýší na 28 %. Očekávaný vývoj dovozu zemního plynu do Evropské unie předpokládá v r.2030 závislost na dovozu 80%.

8.6 Zemní plyn v ČR

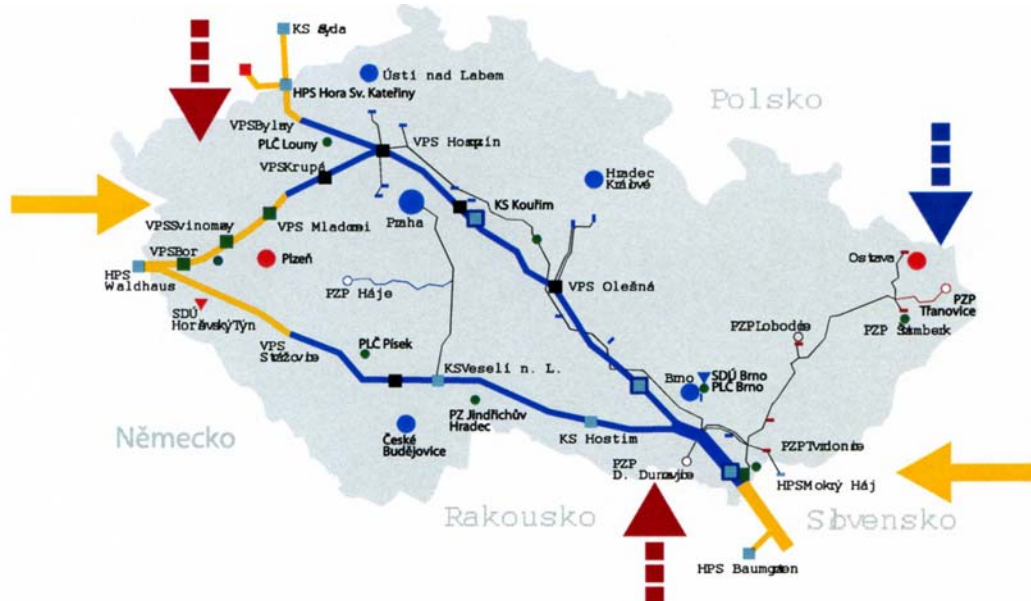
Česká republika je zcela závislá na dovozu zemního plynu z Ruska a Norska. Dovoz ZP z Ruska kryje cca 75% celkové roční spotřeby, cca 25 % je pokryto dovozem ZP z Norska. Z vlastní těžby je pokryto pouze 1 % roční spotřeby. Dovoz ZP z Ruska má Česká republika zajištěn kontraktem z roku 2006 na dodávku 8 až 9 mld.m³ ročně, kontrakt na tyto dodávky je uzavřen do r.2035. V roce 1997 byl uzavřen kontrakt na dodávky ZP z Norska na úrovni 3.0 mld.m³ ročně, kontrakt byl uzavřen na období 20 let, tj do r.2017. V rámci obou kontraktů lze ročně dovézt do ČR 11.4 mld. m³/rok zemního plynu.

Roční spotřeba ZP v ČR je od r.1996 na úrovni 9.2 až 9.8 mld.m³. Do ČR je zemní plyn dopravován z Ruska „tranzitním plynovodem“ a z Norska plynovody přes Německo. Vývoj dovozu a spotřeby ZP v ČR od r.1994 do r.2006 je uveden na obr.8-11.



Obr.8-11 Dovoz a spotřeba zemního plynu v ČR v letech 1993 až 2006

Na obr.8-12 je uvedeno schéma zásobování ČR zemním plynem v současnosti a perspektiva do budoucnosti.



Obr.8-12 Schéma zásobování ČR zemním plynem v současnosti a perspektiva do budoucnosti.

Zemní plyn se v ČR dodává přibližně do 2.8 milionu odběrných míst. Podíl jednotlivých odběratelů je:

velkoodběratelé	45 %
střední odběratelé	10 %
maloodběratelé	13 %
domácností	30 %

Ztráty v plynárenské soustavě společně s vlastní spotřebou plynárenských společností představují cca 2%. Doprava zemního plynu v ČR je zajišťována sítí plynovody o různém tlaku :

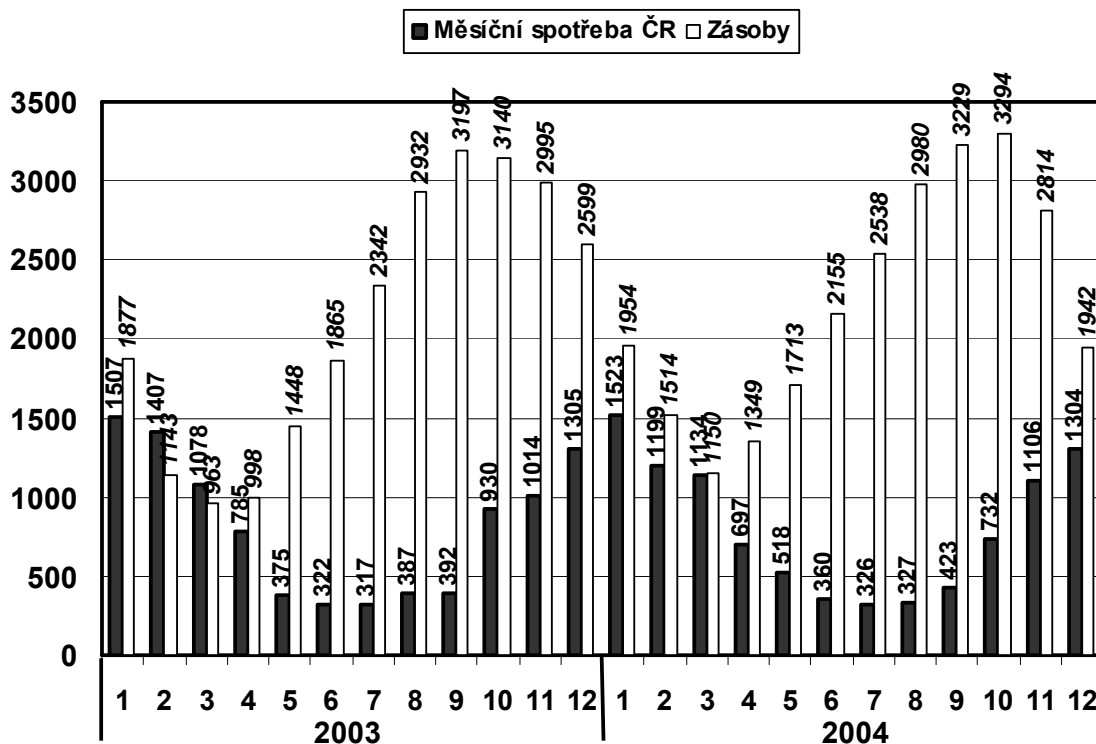
Velmi vysoký tlak (Tranzitní plynovody)	4 ÷ 10 MPa
Vysokotlaký plynovod	0,4 ÷ 4 MPa
Středotlaký plynovod	5 ÷ 400 kPa
Nízkotlaký plynovod (domovní přípojky)	do 5 kPa

Oproti většině ostatních států Evropské unie se tuzemské plynárenství odlišuje především tím, že se pouze zanedbatelný podíl zemního plynu využívá na výrobu elektřiny. V EU činí podíl plynu na výrobě elektřiny 21%, v ČR je tento podíl jen 4.7%. Vzhledem k této skutečnosti je pro tuzemské plynárenství typický značný rozdíl mezi spotřebou v zimních a letních měsících, který se dlouhodobě pohybuje v poměru 4 ÷ 5:1. Ještě vyšší poměr je ve spotřebě mezi minimálním a maximálním dnem v průběhu roku, a to 7 ÷ 8:1. Na druhé straně jsou dodávky (dovoz) zemního plynu do ČR vcelku rovnoměrné a pohybují se v hodnotách 600 až 950 mil.m³/měsíc.

Příklad spotřeb a zásob zemního plynu v jednotlivých měsících v průběhu roku 2004 je uveden na obr.8-13. Trend zvyšujících se zásob v období květen ÷ srpen v průběhu jednotlivých roků je stejný. Spotřeby v letních měsících jsou každoročně okolo 350 mil.m³/měsíc, v ostatních měsících (v době vytápění) je hodnota spotřeby ovlivněna hlavně klimatickými podmínka (venkovní teplotou).

Vyrovnaní nerovnoměrností mezi zdroji ZP a jeho spotřebou zajišťují zejména podzemní zásobníky zemního plynu (PZP). Tyto zásobníky slouží k uskladňování plynu v měsících s nižší spotřebou a k těžbě plynu v zimních měsících při denních

spotřebách vyšších, než je smluvený maximální denní nákup plynu. Pro uskladnění plynu je využíváno na území ČR šest PZP. Pro potřeby ČR jsou také využívány smluvně pronajaté kapacity PZP na území Slovenska a Německa. Celková kapacita PZP v ČR dosahuje 3.077 mld.m³, tj. cca 33% celoroční spotřeby ČR. Do roku 2013 je plánováno zvýšit tuto uskladňovací kapacitu na 4.1 mld.m³. Důležitý údaj pro využití PZP je jejich celkový těžební denní výkon, který se reálně pohybuje od maxima 50 mil.m³ na počátku zimního období, ke 33 mil.m³ ke konci zimního období. PZP jsou velmi významným nástrojem k zajištění bezpečnosti dodávek ZP pro zákazníky v ČR.



Obr.8-13 Zemní plyn – spotřeba a stav zásob v jednotlivých měsících v r.2003 a 2004

Zemní plyn je v ČR využíván v současnosti převážně k vytápění a k výrobě tepla pro technologické procesy. Vzhledem k využití ZP v EU bude ZP perspektivně využíván pro výrobu elektrické energie a v dopravě.

V ČR lze do budoucna očekávat významnější přechod z uhlí na ZP u části zařízení pro centrální zásobování teplem (CZT), a to v souvislosti s řešením úbytku hnědého uhlí pro tyto účely. Postupné snižování těžby uhlí v ČR v čase povede k nutnosti řešit problematiku CZT v ČR. Řešením bude rekonstrukce tepláren na podstatně dražší uhlí z importu nebo na zemní plyn.

Pro účely v dopravě začíná být využíván stlačený zemní plyn CNG (Compressed Natural Gas). Užití CNG k pohonu vozidel znamená snížení strategické závislosti na jedné surovině (ropě) a významné snížení zatěžování životního prostředí dopravou. Zemní plyn je podle EU v oblasti pohonu vozidel velmi významnou, reálnou a dostupnou alternativou klasických pohonných hmot.

8.7 Jiná plynná paliva v ČR

Zemní plyn se na celkové spotřebě plynných paliv v ČR podílí cca 77%. Zbývající podíl 23% tvoří plyny koksárenské, vysokopeční, energoplyn, svítiplyn, propan-butan a další ropné plyny.

Svítiplýn patří historicky k nejznámějším, prakticky využitelným plynům patří plyn vyráběný karbonizací černého uhlí nebo tlakovým zplyněním hnědého uhlí. Takto vyrobený plyn se v počátcích jeho průmyslové výroby využíval zejména k osvětlování veřejných prostranství a veřejných ulic. Později, s rozšířením výroby domácích osvětlovacích plynových lamp se jeho použití rozšířilo k osvětlování vnitřních interiérů domů a od tohoto jeho prvotního využití byl odvozen název plynu pro svícení - svítiplýn. Dnes vyráběný svítiplýn pochází přibližně z jedné třetiny přeměny plynu zemního a ze dvou třetin z tlakového zplyňování hnědého. Svítiplýn obsahuje 40 až 50% vodíku a dále například oxid uhelnatý, metan, dusík, oxid uhličitý a malá množství dalších plynů. Díky vysokému obsahu oxidu uhelnatého je tento plyn jedovatý. Spalné teplo se pohybuje v rozmezí 17 - 20 MJ/m³.

LPG (Liquefied Petroleum Gas) neboli zkapalněný ropný plyn je směs uhlovodíkových plynů používaná jako palivo do spalovacích spotřebičů a vozidel. Je to novodobější označení pro směs topného plynu, známou jako propan-butan. Používá se jako palivo pro zážehové motory.

Koksárenský plyn je směs plynů vznikající při koksování černého uhlí. Pro další využití je nutno ho vyčistit, přičemž se odstraňují např. dehet, benzol, sulfan, naftalen a amoniak. Jedná se o hořlavý plyn charakteristického zápachu. Obsahuje mj. vodík (až 60 %), methan a oxid uhelnatý (až 10 %). Vzhledem k obsahu oxidu uhelnatého je jedovatý. Koksárenský plyn používá pro spalování.

Vysokopecní plyn (VP) obsahuje značné množství oxidu uhelnatého (CO). Svým složením a způsobem vzniku se vysokopecní plyn přibližuje chudému generátorovému plynu, liší se však větším obsahem CO. VP plyn obsahuje okolo 20-28 % CO, 1- 5 % vodíku, inertní složky (50-55 % N₂ a 17-25 % CO₂), něco síry a kyanidových sloučenin a velké množství prachu ze vsázky. Výhřevnost vysokopecního plynu je asi 2,7 až 4,0 MJ/m³. Produkce vysokopecního plynu dosahuje přibližně 1200 - 2000 Nm³/t surového železa. Po vyčištění se vysokopecního plynu často používá jako paliva po obohacení koksárenským plynem nebo zemním plynem, které mají vyšší výhřevnost.

9. Ropa a kapalná paliva

Ropa je světle-žlutá až černá kapalina o hustotě 730 až 1000 kg/m³. Z hlediska chemického složení je ropa směs plynných, kapalných a pevných uhlovodíků. Obsahuje 80 ÷ 85 % uhlíku, 10 ÷ 15 % vodíku, 4 ÷ 7 % síry, do 1% dusíku a do 1 % kyslíku. Ropa je základní surovinou petrochemického průmyslu a je dnes bezesporu nejdůležitější energetickou surovinou. Její dostupnost a cena výrazně ovlivňuje hospodářství ve vyspělých průmyslových zemích.

Ložiska ropy se vyskytují v hloubkách několika desítek metrů až 8 km, většinou mezi dvěma nepropustnými vrstvami okolních hornin a velmi často spolu se zemním plynem. Vznik ložisek ropy není doposud objasněn, tak jak je tomu např. u uhlí.

Vznik ropy vysvětlují dvě navzájem si odporující teorie – anorganická a organická.

Anorganický původ ropy předpovídal Mendělejev. Podle něj vznikla působením přehřáté páry na karbidy těžkých kovů v dobách, kdy se vyskytovaly blízko zemského povrchu. Ve prospěch této teorie svědčí jednak laboratorní příprava pevných, kapalných i plynných uhlovodíků z karbidů uranu, lanthanu i ceru a také neustálý únik metanu ze zemského nitra v některých oblastech.

Organický původ je uznáván většinou vědců, předpokládá, že ropa vznikla z prehistorických živočišných a rostlinných zbytků, podrobených rozkladu. Ty se vlivem tepla a tlaku přeměnily nejprve na kerogen, pak na živice a nakonec na ropu a zemní plyn. Ty poté migrovaly podél nerostných vrstev, až byly zachyceny v porézních horninách, čímž vznikla jejich současná naleziště. Ve prospěch této teorie svědčí zjištění, že mladší ropa se velkou relativní molární hmotností, zvýšeným obsahem kyslíku, síry a dusíku a velkým obsahem asfaltu přibližuje původnímu organickému materiálu. Čím je ropa starší, tím je lehčí, obsahuje méně asfaltu a víc uhlovodíků.

Podle převládajících uhlovodíků v ropě, které určují její fyzikální a chemické vlastnosti, můžeme ropy rozdělit na:

- Metanové (parafínové, alkánové)
- Nafténové (cykloalkánové)
- Aromatické

Doposud však neexistuje mezinárodní klasifikace rop, tak je tomu např. u uhlí, která by jednoznačně vyjadřovala všechny vlastnosti ropy. Většina rop neodpovídá čistým typům, ale smíšeným a přechodovým typům.

Pro obchodní účely se ropa dělí na 4 skupiny:

- Brent – ropa ze Severního moře
- Dubai – ropy z oblasti Perského zálivu
- WTI – West Texas Intermediate (americká ropa)
- Nigeria Light – Africké ropy

9.1 Historie ropy

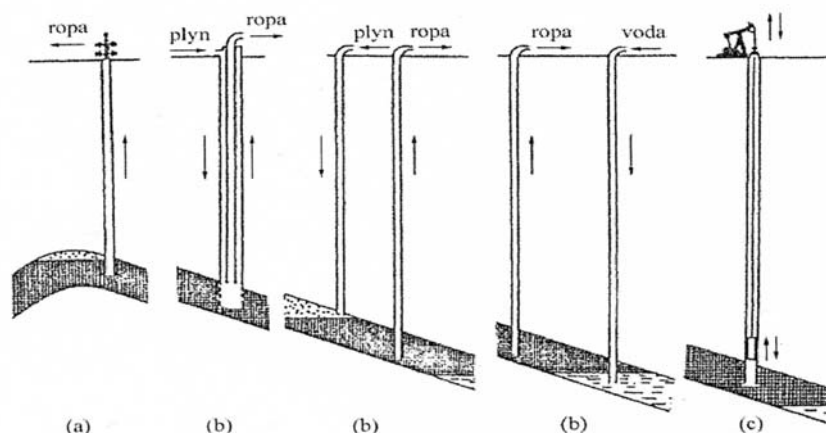
S využíváním ropy se setkáváme již v dávné minulosti. Podle řeckých i římských historiků v 7. století př.n.l. Asyřané a později i Peršané ropu těžili ze studní a rozdělávali na různé frakce. Číňané ropu destilovali snad od 11. století př.n.l. Již v té době prý uměli vrtat do hloubek až 1000m. V Evropě je ropa známá od 16. století. Její destilace byla zkoušena asi od r.1605. Výsledkem byla mazadla pro nápravy kol, olej do lamp i základ do lakýrnických prostředků. V r.1745 Alžběta Petrova založila primitivní závod na zpracování ropy, který byl prvním podnikem tohoto druhu na

světě. V USA bylo první ložisko ropy otevřeno v r.1853. Stalo se tak v Pensylvánii vrtem hlubokým 22 metrů a od r.1860 se ropa začala objevovat běžně na trhu. Prvenství mezi objeviteli ropy v Evropě se přiznává polskému lékaři I.Lukasiewiczovi. Ten v r.1854 zahájil v Bóbrce u Krosna těžbu a ve stejnou dobu založil i první rafinerii u Jasla. Podle jeho příkladu pak vznikla řada dalších těžebních zařízení.

9.2 Těžba ropy

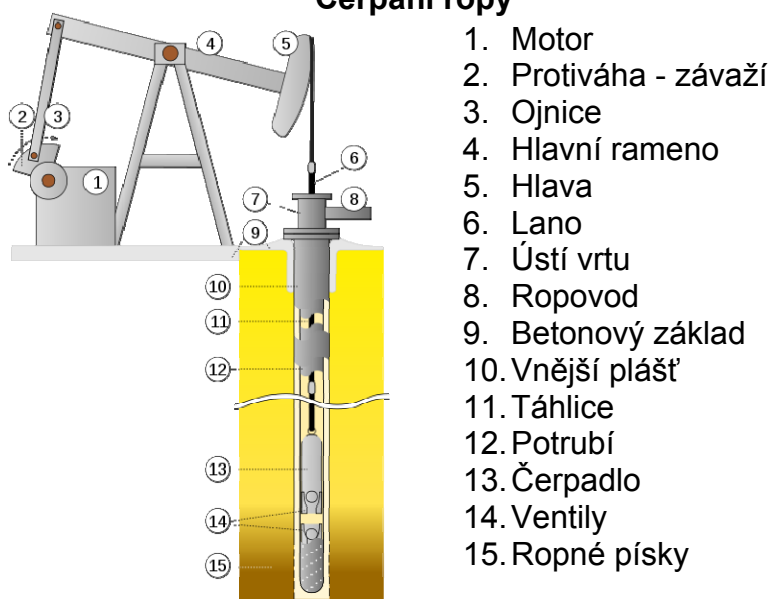
Kdysi existovaly lokality, kde ropa přirozeně vyvěrala na zemský povrch. Nyní se ropa získává pomocí vrtů. Většinou je v nalezišti společně s ropou přítomen zemní plyn, který zajišťuje potřebný tlak, a tak může ropa samovolně vytékat. To se nazývá **primární způsob** těžby. Takto získat kolem 20 % ropy obsažené v nalezišti.

S postupem času tlak klesá až k bodu, kdy musí nastoupit **sekundární metody**, jako je čerpání ropy pomocí pump, nebo udržování podzemního tlaku vodní injektáží, zpětným pumpováním zemního plynu, vzduchu, příp. CO₂. Dohromady, primárními a sekundárními metodami se podaří vytěžit 25–35 % celkového množství ropy. Způsoby těžby ropy jsou znázorněny na obr.9-1.



(a – objemový způsob, b – hydraulická těžba, c – těžba čerpáním)

Čerpání ropy



Obr. 9-1 Způsob těžby ropy

Terciární metody nastupují v okamžiku, když už ani sekundární metody nestačí na udržení produkce a těžba je ještě stále ekonomická, což závisí na aktuální ceně ropy a výši těžebních nákladů. Jejich principem je snížení viskozity zbývající ropy, většinou injektáží horké vodní páry získávané často kogenerací, přičemž se spalováním zemního plynu vyrábí elektřina a odpadní teplo je využito k tvorbě vodní páry. Někdy se také ropa rozehřívá zapálením části ropného ložiska. Příležitostně se také používá injektáž detergentů. Terciární metody dovolují vytěžít dalších 5–15 % ropy v nalezišti.

Uvedená čísla jsou pouze průměrná, ve skutečnosti se celková vytěžitelnost naleziště pohybuje od 80 % pro lehkou ropu do 5 % v případě těžké ropy.

Ropa se z ropných ložisek těží pomocí ropných vrtů různými způsoby (viz. obr. 9-1). V posledních desetiletích se rozšířila těžba ropy také z šelfových oblastí v moři, kde se ropa těží z čím dál tím větších hloubek, až 1000m.

9.3 Doprava ropy a její skladování

Ropa v té podobě, v jaké je vytěžena, není prakticky použitelná. Od místa těžby vedou dopravní cesty ropy nejprve do rafinérií, kde je ropa zpracovávána a upravována a dále jsou produkty vyrobené z ropy dopravovány na místo spotřeby.

V minulosti se vytěžená ropa dopravovala v sudech (v angličtině barrels), na základě toho byla zavedena jednotka barrel (1 barrel = 158.91litru). V uvedené jednotce se dodnes uvádí těžba ropy a také cena ropy je často vztahována na tuto jednotku.

V současnosti se ropa z místa její těžby do místa spotřeby dopravuje prakticky 3 způsoby:

- po železnici v cisternových vagoněch (jen pro malé množství)
- vodní cestou v tankerech
- ropovody (nejefektivnější způsob dopravy)

Tankery

V r.1869 byla ropa poprvé dopravena lodí do Evropy, jednalo se o obchodní plachetnici která převážela ropu v kovových nádržích. Zahájila tak vývoj tzv. tankových lodí (tankerů). Od té doby množství a velikost tankerů neustále roste. V současnosti jich po světových mořích a oceánech plují řádově tisíce. Největší tankery staví Japonci. Největším tankerem byla loď „Jahre Viking“ z r.1976, která byla v r.1981 přestavěna a přejmenována na „Happy Giant“ a následně na „Knock Nevis“.



Nosnost této lodi je 564 000 DWT (celková nosnost lodí v tunách), ponor má přes 24m, šířku přes 68m a délku 485m. Cena nákladu cca 500 mil. USD.

Při narůstajícím množství a velikosti ropných tankerů a stále houstnoucí lodní dopravě po moři dochází poměrně často k haváriím a následným ekologickým škodám způsobených uniklou ropou. To je jedna z nejsmutnějších stránek dopravy ropy. K největší havárii způsobené ztroskotáním jediného tankeru došlo v r.1978 u pobřeží francouzské Bretaně. Obří tanker „Amoco Cadiz“ ztroskotal v prudké bouři.

Trup lodi se po ztroskotání rozlomil a do moře vyteklo všech 1.6 mil. barelů ropy. Ve zprávě k této havárii z r.1985 se uvádí, že bude trvat desítky let, než se britské pobřeží zase vrátí do stavu před r.1978. K největšímu úniku ropy při její přepravě po moři však došlo opět v r.1978 po srážce 2 lodí „Atlantiric Express“ a „Aegean Captain“ v blízkosti Trinidadu a pobřeží Tobaga. Z obou tankerů se do moře vylilo dohromady 2.2 mil.barelů ropy. Lidem však nestačí neštěstí náhodná. V r.1990 iracká vojska diktátora Saddáma Husajna obsadila Kuvajt, a když byla vojsky OSN přinucena k odchodu, nejen že záměrně zapálila stovky kuvajtských vrtů, čímž došlo patrně k největšímu požáru ropy v dějinách, ale též vypustila do moře asi 6 až 8 mil.barelů ropy z terminálu Mořský ostrov v Kuvajtu a ze sedmi velkých tankerů. Celá tato akce má smutný primát největšího útoku na ekologický systém naší Země.

Ropovody

První ropovod byl dokončen v r.1865 v USA v Pensylvánii. Byl délky asi 10 km a vedl od naleziště ropy do rafinérie. Od tohoto data začal rozvoj výstavby ropovodů. V současnosti se ropovody svaňují z ocelových trubek o průměru 300 až 1200mm. Jsou vedeny po povrchu země, v místech potřeby jsou ukládány do země. Ropovody se pokládají i na dno moří do hloubky až 400m a to v betonových ochranných pláštích.

Celková délka všech ropovodů světa představuje řádově statisíce kilometrů. Za nejdelší ropovod na světě je považován ruský ropovod „Družba“, jehož délka je 5502 km. Vychází z Kujbyševa a dopravuje ropu do Evropy. Dělí se na větve a jedna z těchto větví dopravuje ropu do ČR (do Záluží u Mostu). Další velké ropovody vedou z nalezišť v Texasu do rafinérií v Pensylvánii, v Kanadě mezi Edmontnem a Montrealem, v Perském zálivu mezi Bahrajnem a Středozezemním mořem, na Aljašce apod. Délka těchto ropovodů je 1000 až 4000km. Pro představu, rychlost proudění ropy v ropovodech je 1 až 6 m/s, tlak dopravované ropy za čerpací stanicí je cca 6 MPa a postupně klesá na cca 2 MPa.

Skladování ropy

Nedílným procesem těžby, přepravy a zpracování ropy je její uskladnění. Základním článkem skladovací infrastruktury jsou nádrže. Jejich potřeba vzniká již v místě těžby, kde je potřeba průběžně těžbou ropu nashromáždit, odvodnit, zbavit plynných podílů a připravit pro přepravu ropovody, lodní nebo vlakovou dopravou. Skladovací nádrže jsou nezbytné i během vlastního procesu přepravy. Jedná se především o přístavní terminály, kde dochází k dočasnému uskladnění před nakládkou ropy na tanker nebo při jeho vyčerpávání. Z přístavních terminálů je ropa potrubními systémy čerpána do vnitrozemí, kde jsou umístěna tankoviště. Jejich účelem je jednak dočasné uskladnění, míchání a přípravy optimální směsi rop pro zpracování v rafinériích, dále je na tankovištích dlouhodobě uskladněna ropa jako strategická surovina pro případ krizových situací. Rafinérie taktéž disponují skladovacími kapacitami ropy potřebných k zajištění minimálních zásob.

Rafinérie samy udržují provozní zásobu ropy na dobu asi 60 dnů, což samozřejmě vyžaduje desítky velkých zásobníků s kapacitou až 2 mil.tun. Pro případ hrozby ropné krize pak většina států udržuje jako státní rezervu kapalných paliv, pokrývající průměrnou spotřebu na dobu 90 dnů. Na to však již obvyklé pozemní ocelové nádrže nestačí.

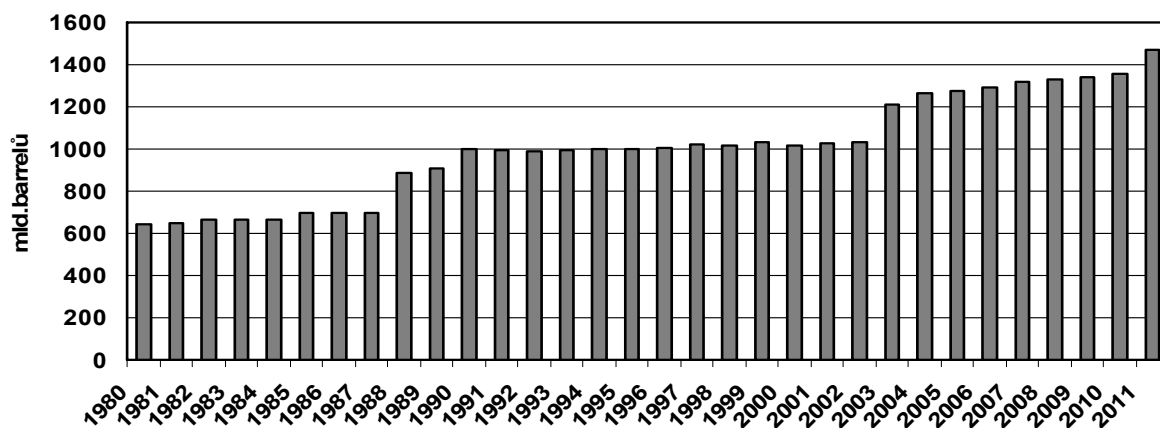
Kromě nádrží může být ropa uskladněna v podzemních kavernách či porézních horninách (v geologicky vhodných formacích) v hloubkách od 200 do 2000m. V tomto případě se jedná výhradně o dlouhodobé strategické zásoby, kdy je ropa načerpána

do podzemí na desítky let. K uskladnění v podzemí musí být vhodné geologické podmínky, proto se jedná spíše o doplněk ke klasickým nádržím. Největší podzemní zásobníky jsou na severu Německa, ve Francii, Skandinávii a USA. Např. ve skále vyhloubený zásobník u švédského Brofjordenu na skladovací kapacitu 2.600.000.m³. Zatímco pozemní ocelové nádrže mají kapacitu 5.000 až 15.000 tisíc m³.

9.4 Světové zásoby a zdroje ropy

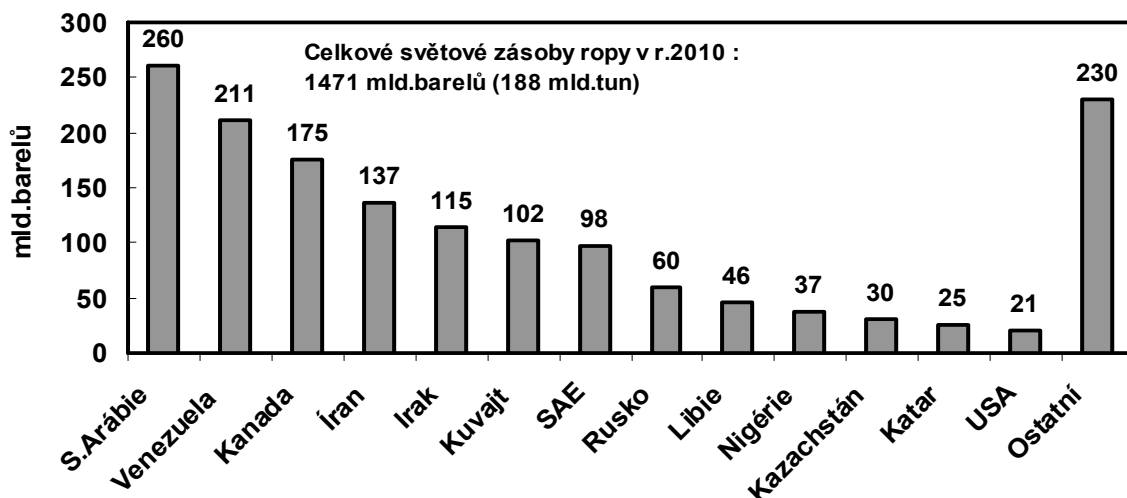
Jelikož je ropa považována za strategicky nejdůležitější energetickou surovinu vzhledem k její současné nenahraditelnosti pro silniční a leteckou dopravu, je velmi důležité kde se na světě nalézají zjištěné geologické zásoby a jaké množství ropy jednotlivé naleziště obsahují.

I přes neustálý nárůst světové těžby ropy (historický vývoj těžby ropy je uveden na Obr.9-4) jsou světové zásoby ropy neustále větší, což je to způsobeno objevováním nových nalezišť. Vývoj světových zásob ropy je uvedena na Obr.9-2.



Obr.9-2 Země s největšími zásobami ropy (údaje z r.2010)

Na obr.9-3 je uvedeno rozložení světových zásob ropy. Celkové zásoby ropy na Zemi byly v r.2010 odhadovány na 1471 mld.barelů (188 mld.tun), tzn. že při roční těžbě cca 4 mld.tun (bez jejího nárůstu) je životnost zásob ropy na cca 50let.



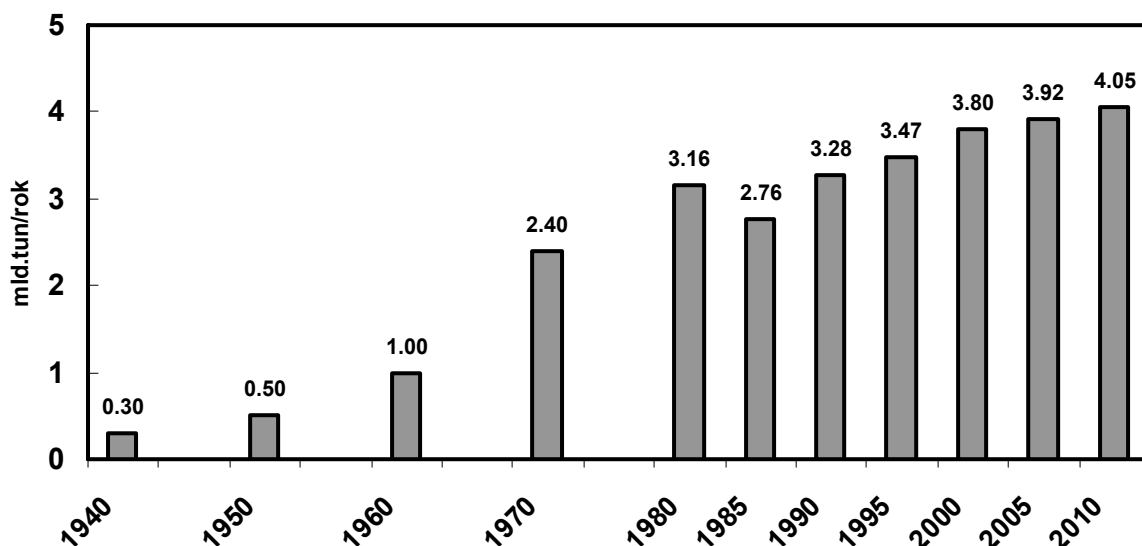
Obr.9-3 Země s největšími zásobami ropy (údaje z r.2010)

Z uvedeného rozložení světových zásob ropy na Zemi (viz. Obr.9-3) je zřejmé, že toto rozložení zásob je velmi nerovnoměrné (zejména v porovnání s uhlím). Více jak

50 % světových zásob se nachází na Blízkém východě. U zásob ropy je situace do budoucna velmi komplikovaná. Poměr těžby a rezerv ropy je negativní ve všech oblastech světa s výjimkou Středního a Blízkého východu.

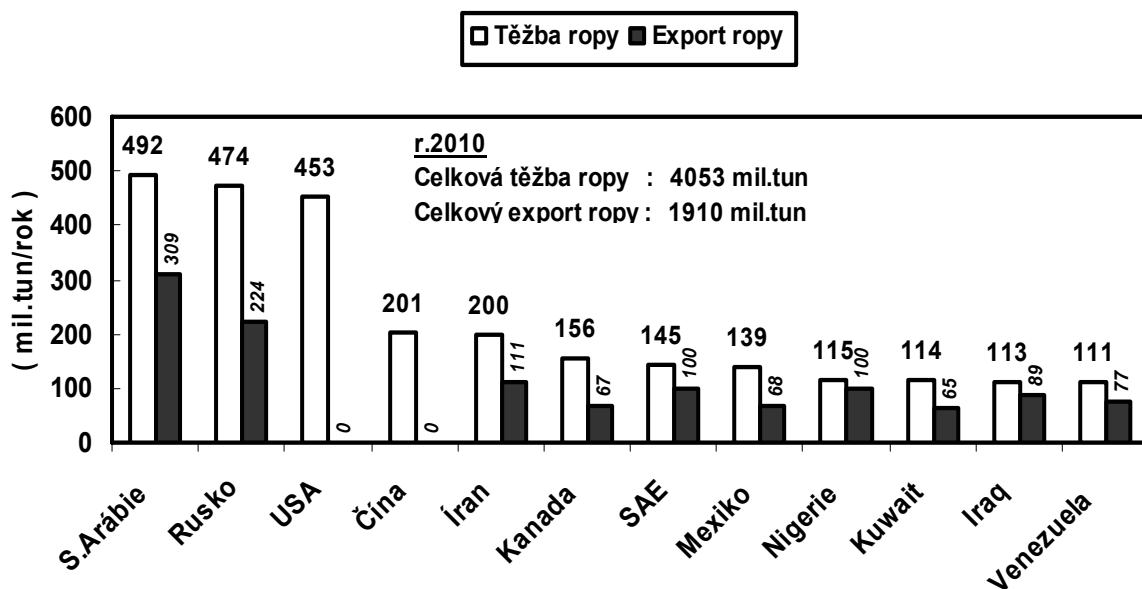
9.5 Světová těžba a spotřeba ropy

Strmý růst spotřeby ropy byl zaznamenán na počátku 20.století v souvislosti s rozvojem automobilismu a s potřebou benzínu a nafty a dále pak v 70tých letech 20.století. Vývoj těžby ropy od r.1940 do současnosti je uveden na obr 9-4.



Obr.9-4 Vývoj těžby ropy ve světě do r.2010

Těžba v r.2010 dosáhla cca 4 mld.tun/rok (31 mld.barelů/rok). Podíl jednotlivých států na této těžbě je uveden na obr.9-5.



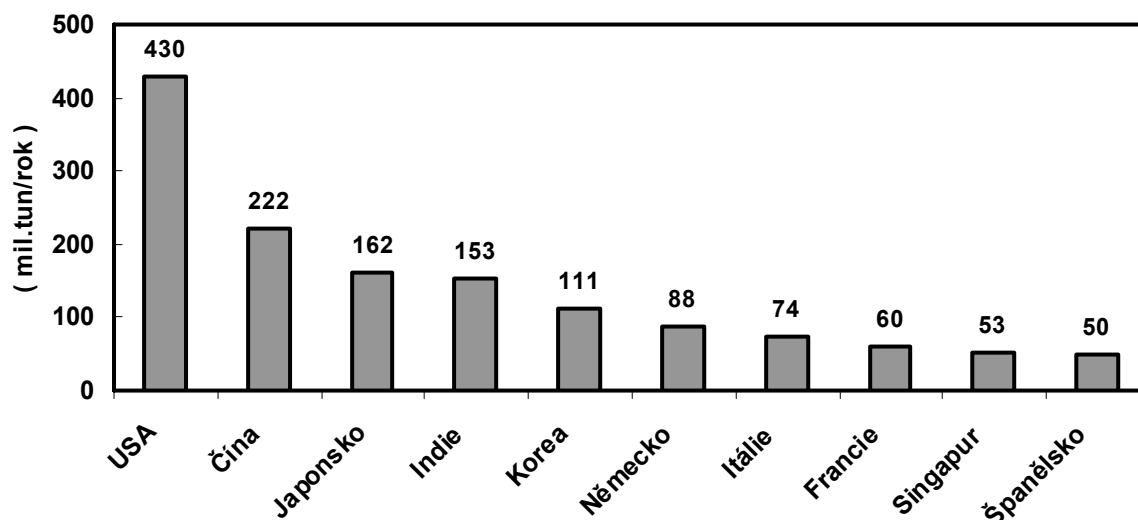
Obr.9-5 Roční těžba a export ropy v r.2010 u hlavních producentů

Ropa je v současnosti nejdůležitější energetickou surovinou vzhledem k její současné nenahraditelnosti pro silniční a leteckou dopravu. Ropa pokrývá asi 40 % primární spotřeby energie na světě. 70% ropy se spotřebuje v dopravě a pokud se

týká sektoru dopravy, tak jeho závislost na ropě se v zemích EU v současné době pohybuje na úrovni 98%.

Země kolem Perského zálivu mají nejen největší zásoby ropy na světě, ale společně také produkují největší těžbu. Většina zde vytěžené ropy se dopravuje do Evropy, Japonska, Jihovýchodní Asie, USA a do Jižní Ameriky. Z Ruska (2 největšího producenta ropy) je ropa exportována do Střední a Západní Evropy. Ovšem zásoby ropy v Rusku jsou odhadována při současné těžbě na cca 20 let. V posledních desetiletích se silně rozvinula těžba ropy v Severním moři mezi Anglií a Norskem.

USA jsou sice 3. největším producentem ropy na světě, ale také největším konzumentem ropy na světě. USA spotřebují cca 22% světové těžby, z čehož plyne že cca 65% své spotřeby musejí dovážet. Dalšími významnými dovozci ropy jsou průmyslově vyspělé země, které disponují pouze malými nebo žádnými zdroji ropy: Japonsko, Korea a země Západní Evropy. Velký nárůst spotřeby ropy (a nejen této energetické suroviny) je zaznamenáván v Číně. Největší světoví importéři ropy jsou uvedeni na obr.9-6.



Obr.9-6 Největší světoví importéři ropy

9.6 Ropa v ČR

Ropa nemá v ČR tak výrazný podíl na trhu energií jako např. v západní Evropě, kde jsou kapalná paliva využívána rovněž k vytápění a k výrobě elektrické energie. V ČR jsou produkty ropy využívány především v dopravě.

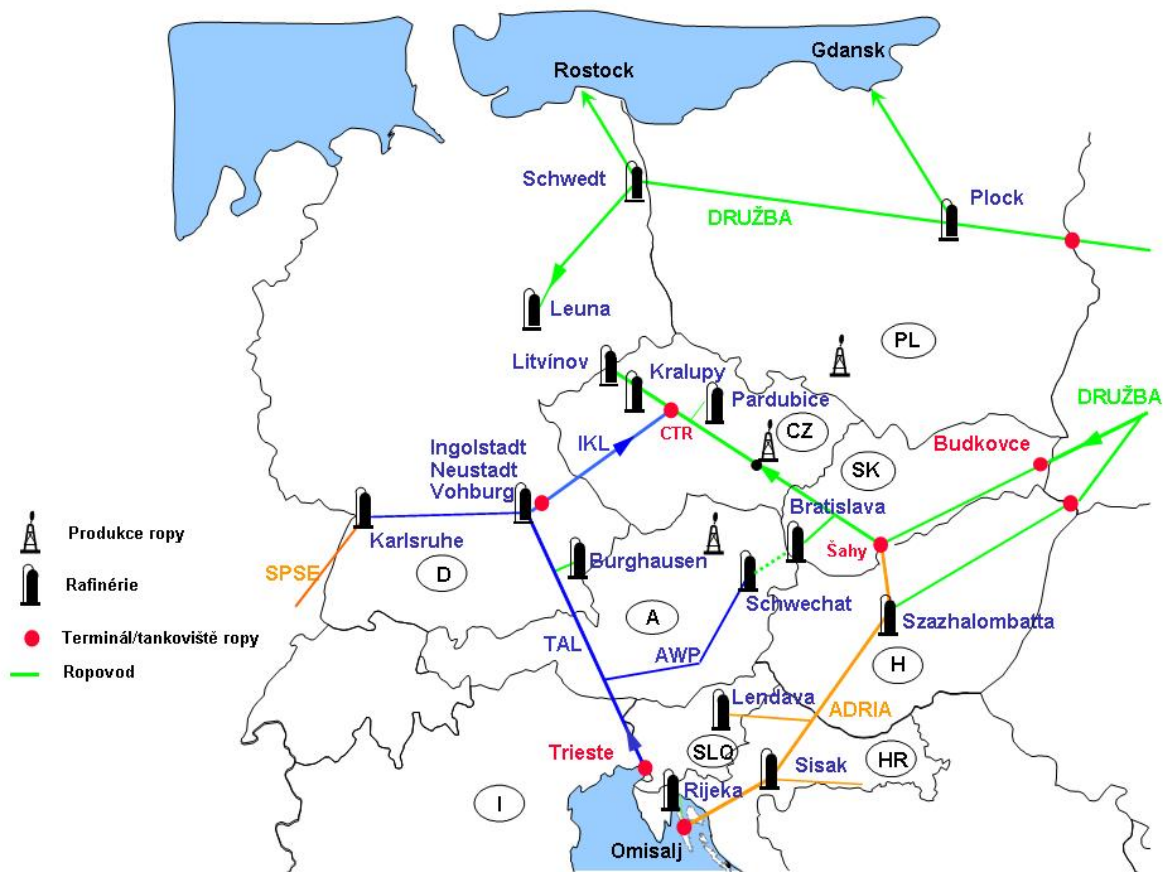
Podíl kapalných paliv (zejména produkty z ropy) na primárních energetických zdrojích v ČR je cca 21 %, na rozdíl od podílu kapalných paliv na PEZ ve světě 40%.

Zásoby a těžba ropy v ČR v oblasti Hodonína je zanedbatelná. ČR je na dovozu ropy závislá ze 100%. Doprava ropa je do ČR realizována ze dvou směrů (z východu a ze západu), 2 ropovody:

- Ropovod „Družba“ – z Ruska, (cca 65 % dovozu ropy)
- Ropovod „IKL“ – z Ingolstadtu, (cca 35 % dovozu ropy)

Ropovodem „Družba“ je dopravována ropa z Ruska do Záluží u Mostu. Ropovodem „IKL“ je dopravována ropa z Ingolstadtu do Kralup n/V. a do Litvínova. Ropovod IKL je napojen na ropovod TAL vedoucí z přístavu Terst do západní Evropy. Skutečná spotřeba ropy v ČR představuje méně než 50 % vybudované

kapacity ropovodů pro dopravu do ČR. Je však nutno vzít v úvahu, že reálně dosažitelná kapacita pro dopravu ropy do ČR je výrazně nižší než součet kapacity „Družba“ + „IKL“. IKL navazuje na ropovod TAL, kterým je dopravována ropa do Německa a Rakouska, a kapacita tohoto ropovodu je využita v současnosti na 100%. Proto zvýšení dopravy ropy do ČR tímto ropovodem je v současnosti nad 3 mil.tun/rok nereálné. Na obr.9-7 je uvedeno schéma ropovodů v Evropě.

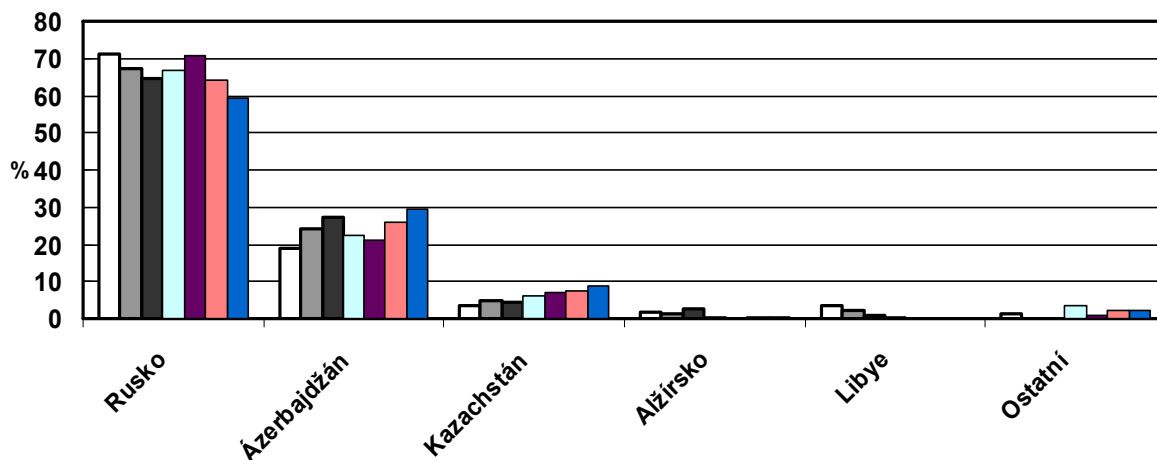


Obr.9-7 Schéma umístění ropovodů v Evropě

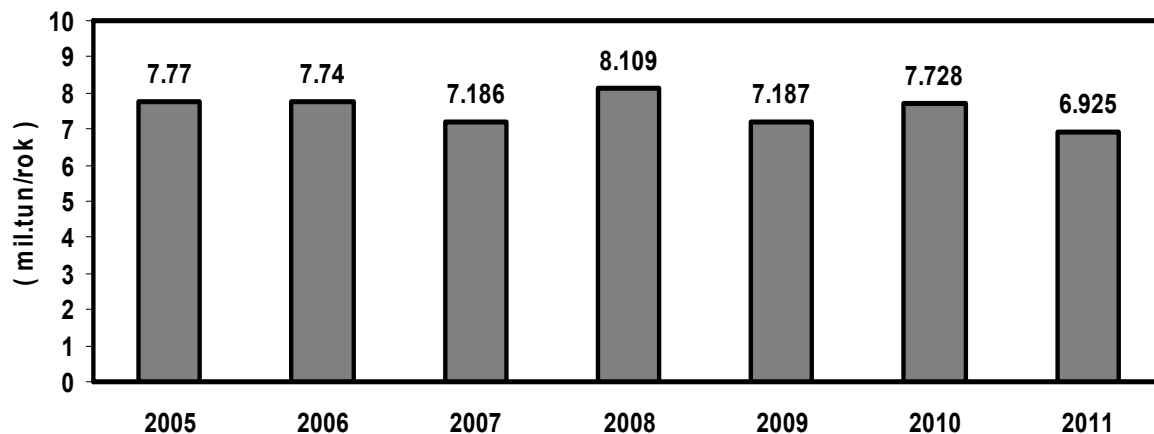
Na Schématu ropovodu v Evropě je rovněž uveden ropovod „Adria“. Tento ropovod byl zprovozněn v r.1990 a byl napojen na ropovod „Družba“ u Bratislavy. Jeho kapacita byla 5-6 mil.tun/rok. Sotva se ale provoz tohoto ropovodu začal rozbíhat, rozpad bývalé Jugoslávie a válka na jejím území provoz tohoto ropovodu přerušila.

Dovoz ropy do ČR v letech 2005 – 2011 a podíl dopravované ropy od jednotlivých dodavatelů je uveden na Obr.9-8 a Obr.9-9. Na dovoz ropy je uzavřena rámcová dohoda s Ruskem z r.1994 na dodávky ropy v rozsahu 7 až 10 mil.tun/rok. Podíl kapalných paliv na spotřebě primárních energetických zdrojů v ČR je uveden na Obr.9-10.

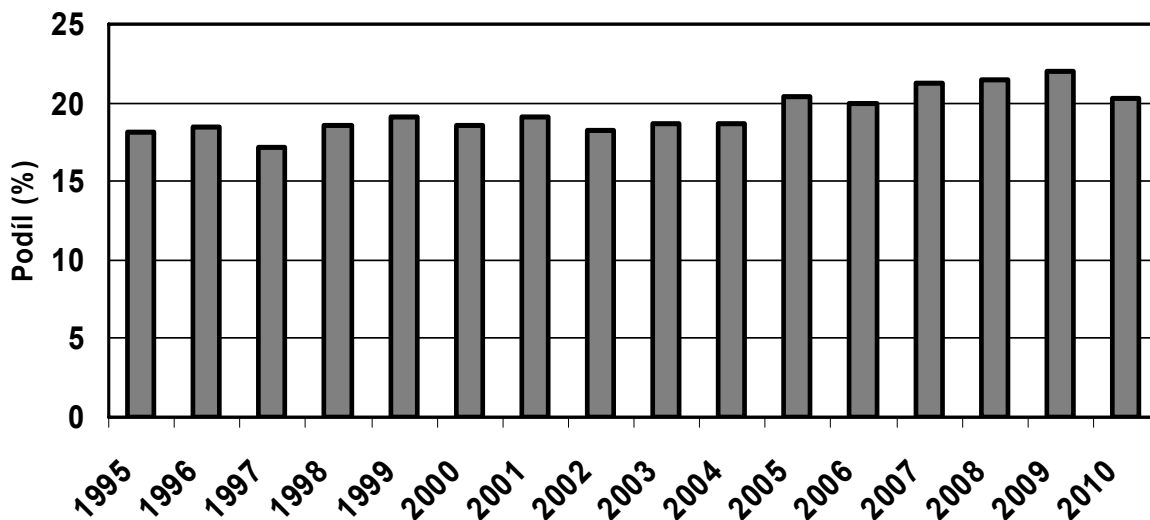
2005
 2006
 2007
 2008
 2009
 2010
 2011



Obr.9-8 Podíly dopravované ropy do ČR od jednotlivých dodavatelů



Obr.9-9 Dovoz ropy do ČR v letech 2005 až 2011

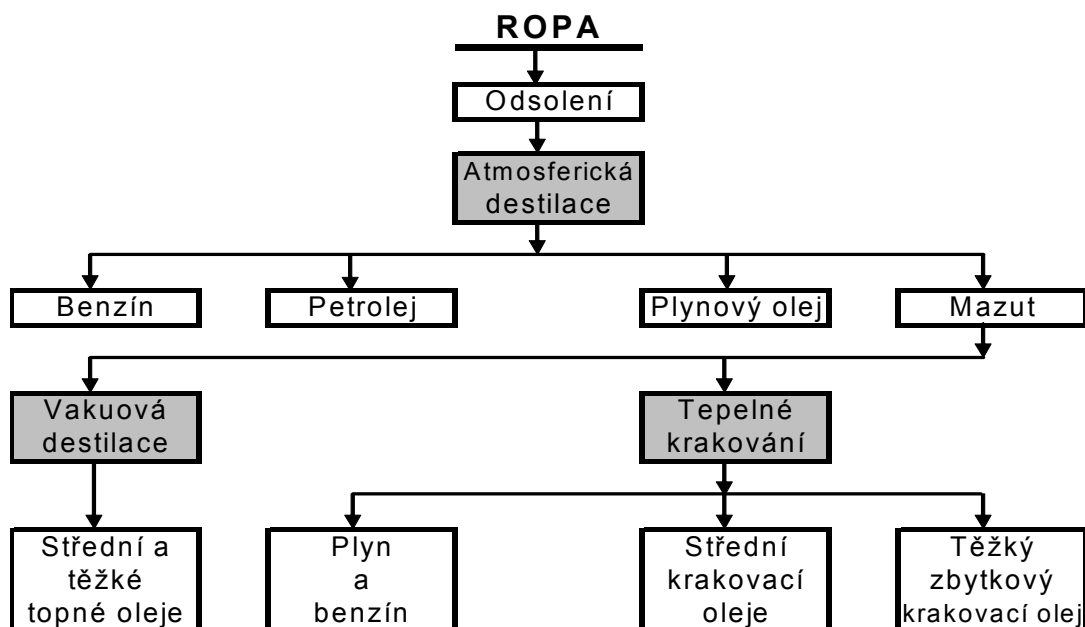


Obr.9-10 Podíl kapalných paliv na spotřebě PEZ v ČR

9.7 Využití a zpracování ropy

Ropa v surové podobě tak, jak je těžena se takto přímo nevyužívá. Ropa vytěžená na povrch obsahuje různé balastní látky, jako vodu, písek, a v ní rozpuštěné plyny, které se musí odstranit v místě těžby, aby se tyto nežádoucí látky nedopravovaly až do místa zpracování. To by snižovalo dopravní kapacity a zvyšovalo dopravní náklady. Některé složky by mohly také způsobovat korozi a erozi dopravních zařízení. Plyny se z ropy odstraňují také z důvodu bezpečnosti.

Ropa se zpracovává v tzn. rafinériích nebo v petrochemických závodech. Cílem zpracování je získat z ropy užitečnější produkty. Z energetického hlediska na především význam zpracování ropy na pohonné látky a mazací oleje, které patří mezi sekundární energetické zdroje. Před vlastním zpracováním ropy je nutno v ropě snížit obsah vody a solí na minimum. Po vyčištění se ropa frakčně destiluje. Frakční destilace je proces, ve kterém se ropa termicky rozděluje na jednotlivé frakce podle jejich teploty varu. Všeobecné schéma zpracování ropy je uvedeno na obr.9-11.

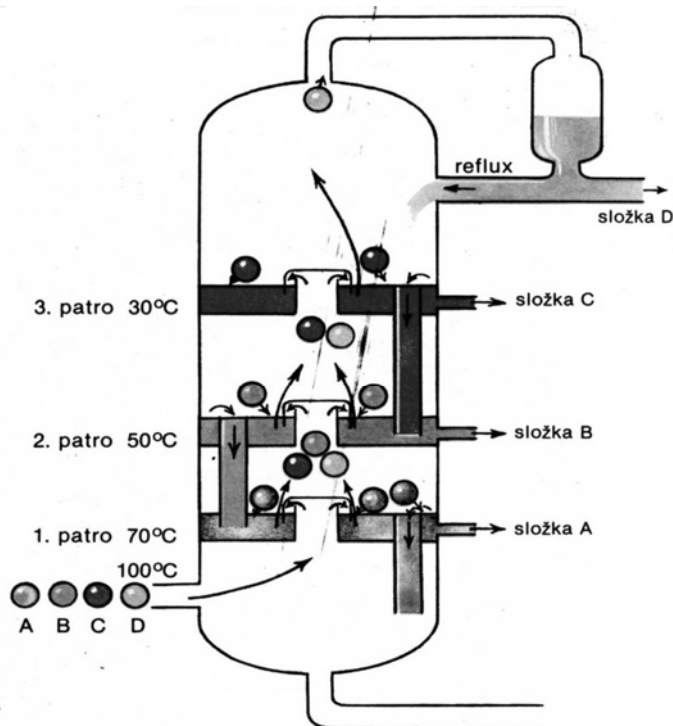


Obr.9-11 Všeobecné schéma zpracování ropy

Nejdůležitějším zařízením rafinérií pro zpracování ropy je rektifikační kolona, což je uzavřená válcová nádoba o průměru 3 až 4m a výšce až 50m. Tato nádoba je po výšce rozdělena na tzv. patra. Na každém patře jsou průchodová hrdla překrytá zvonky (kloboučky) a přepadové trubky. Princip činnosti rektifikační kolony je znázorněn na obr.9-12.

Základem rafinerie ropy je tzv. jednostupňová *atmosferická destilace*, kterou se získávají benzíny, petrolej, plynový petrolej a destilační zbytek (mazut). První frakci jsou **uhlovodíkové plyny**, ze kterých se kromě jiných látek oddělují propan a butan, a ty se po zkapalnění využívají jako topné plyny. **Benzíny**, ve kterých jsou hlavně zastoupeny uhlovodíky od C₅ do C₁₁ mají bod varu v intervalu 30 až 200°C. Benzíny se využívají především jako pohonné hmoty (motorové benzíny), dále jako surovina v petrochemickém průmyslu, jako ředidla, dále v lékařství, farmacii a kosmetice.. **Petrolejové frakce**, které obsahují uhlovodíky C₁₂ do C₁₅ a s bodem varu od 180 do 280°C se používají hlavně jako palivo pro letecké motory, dále jako součást motorové nafty a ve formě lehkých topných olejů se používají na vytápění. **Plynový olej** je olejový destilát, který má bod varu při vyšších teplotách od 250 do 360°C.

Využívá se jako základ pro motorovou naftu a rovněž jako topný olej pro vytápění. Destilační zbytek s bodem varu vyšším než 360 až 400°C, pokud se dále nezpracovává, se využívá jako těžký topný olej – **mazut**.



Obr.9-12 Schéma činnosti rektifikační kolony

Dalším zpracováním mazutu, tzv. vakuovou destilací se získávají **lehké, střední a těžké topné oleje**. Jaký účel má vakuová destilace? Za atmosférického tlaku by bylo možné mazut petrifikovat jen při teplotách vyšších než 360°C, ale při těchto teplotách by se uhlovodíky rozkládaly. Za sníženého tlaku se však body varu uhlovodíků v mazutu sníží o cca 100°C, a tak jejich rektifikace probíhá i při teplotách nižších než 360°C a uhlovodíky se rozkládají jen nepatrně.

Jiný způsob zpracování mazutu je krakování. Krakováním se mazut tepelně štěpí za nepřítomnosti kyslíku při teplotách do 500°C a tlacích do 0.98 MPa na střední krakovací oleje a jako vedlejší produkty se získávají plyny a benzíny. S cílem snížit obsah síry v topných olejích se topné oleje dále katalyticky krakují ve vodíkové atmosféře při teplotě od 250 do 450°C a tlaku od 9.8 do 19.6 MPa za přítomnosti katalyzátorů NiS, WS₂ nebo Pt. Hlavní produkty katalytického krakování jsou benzíny, letecký petrolej a topné oleje s nízkým obsahem síry. Vedlejší produkty jsou propan, butan a těžké topné oleje s nízkým obsahem síry.

Nejrozšířenější deriváty ropy, které se používají v energetice jsou topné oleje, jejichž základ tvoří uhlovodíky. To znamená, že topné oleje obsahují hlavně uhlík a vodík, dále malé množství kyslíku a dusíku, někdy také síru. Obsah balastu je v topných olejích zanedbatelně nízký. Topné oleje se lehce vznítí, což je třeba brát v patrnost při jejich uskladňování. Podle hustoty a průběhu destilační křivky můžeme topné oleje rozdělit na lehké, střední a těžké topné oleje. Teploty tuhnutí topných olejů závisí na obsahu parafínů.

Topné oleje používané v energetice :

- ELTO (extralehké topné oleje), ETO (Ekopetrol)

Určeno pro kotelny do 5 MW, rodinné domy apod.

- LTO (lehké topné oleje)
Pro kotelny o výkonu 5 - 20 MW
obsahují parafín, musí se přehřívát před vstupem do hořáků
- TTO (těžké topné oleje, mazuty)
Pro kotelny o výkonu větším než 20 MW

10. Jaderná energie

Jeden kilogram hmoty je při úplné anihilaci hmoty ekvivalentní energii $9 \cdot 10^{16}$ J. Ačkoliv jsou známy reakce elementárních částic, při nichž dochází k úplné anihilaci hmoty, v průmyslovém měřítku tyto procesy realizovat nedovedeme. Při jaderné syntéze (slučování jader lehkých prvků v prvky těžší – termojaderná fúze) nebo při štěpení jader (vznik menších, lehčích jader než původní atomová jádra) nastává částečná anihilace hmoty, při níž se úbytek hmoty uvolňuje ve formě jaderné energie. O jaderné energii mluvíme protože 99.95 % hmotnosti je soustředěno do jádra atomu. Jaderná energie je z převážné většiny kinetickou energií vniklých jader a v makroskopickém měřítku se projevuje jako energie tepelná.

Jaderná syntéza nebo štěpení jader využívá ovšem pouze asi 0.1% energetického ekvivalentu hmoty. Ale i přesto co do energetického výtěžku je asi 10^6 x efektivnější než konvekční způsoby získávání energie (spalování apod.).

Při průmyslovém využití jaderné energie nestačí realizovat jeden osamocený jaderný proces syntézy nebo štěpení. Je nutno uskutečnit tzv. řetězovou reakci, při níž ukončení jednoho elementárního procesu vytváří nezbytné předpoklady pro pokračování reakce v dalších procesech. U jaderné syntézy se řetězová reakce zajišťuje zahřátím reagujících jader na teplotu cca 100 mil°C. U jaderného štěpení těžkých jader se řetězová reakce zajišťuje pomocí neutronů emitovaných při štěpení.

Štěpení jader :

V r.1938 se skupině německých fyziků a chemiků podařilo uskutečnit rozštěpení jádra uranu. Jádro uranu bylo ostřelováno neutrony a při rozdělení jádra uranu (tzv.štěpení) na menší jádra dochází k uvolnění velkého množství energie.

Pro štěpení je možno použít přírodní materiály jako izotopy uranu nebo thoria, nejčastěji je to uran U^{235} , nebo tzv. materiály vzniklé z reaktorového paliva U^{233} a plutonium Pu^{239} , Pu^{241} . U těchto jader dochází v přírodě k tzv. samovolnému štěpení, které u jádra uranu má velký poločas rozpadu. Pro energetické využití musí být rozpad jádra mnohem rychlejší, musí být způsoben externím zdrojem.

Štěpení jádra uranu se tedy provádí pomocí neutronů s nízkou energií, které mají velkou pravděpodobnost rozštěpení jádra. Při rozštěpení jádra se uvolní 2-3 nové neutrony, které mají velkou energii. Zbytky rozštěpeného jádra se vzdalují rychlostí cca 10.000 km/s a tyto pohybující se vzniklé jádra se zastaví o okolní atomy. Při zastavení se jejich pohybová energie mění v tepelnou energii. Při rozštěpení 1 jádra uranu U^{235} se uvolní energie 195 MeV, tj. $312 \cdot 10^{-11}$ J. Nově vzniklé 2-3 neutrony mají velkou energii (velkou rychlost) a mají malou pravděpodobnost další srážky (umožnění dalšího štěpení). Velká část nových neutronů je proto ztracena. Pro další štěpné využití nových neutronů, je třeba tyto neutrony zpomalit. Ke zpomalení neutronů slouží tzv. moderátor. Po zpomalení neutronů dochází k dalším srážkám a rozpadu dalších jader. Tyto následné rozpady (řetězovou štěpnou reakci) je nutno regulovat, nadbytečné neutrony je nutno zachytit tzv. absorbérem.

10.1 Historie jaderné energetiky

První úspěšný pokus s jaderným štěpením provedli v roce 1938 v Berlíně Otto Hahn, Lise Meitner a Fritz Strassman. První jaderný reaktor s označením CP-1 byl zprovozněn na Universitě v Chicagu v r.1942 a měl výkon 1 kW. Ten však sloužil prvotně k výrobě plutonia. K výrobě elektřiny byl jaderný reaktor poprvé využit 20.prosince 1951 ve výzkumné stanici EBR-I poblíž Arca (Idaho). Zařízení založené na rychlém množivém reaktoru dodávalo zpočátku výkon kolem 100 kW.

První jaderná elektrárna byla postavena ve Velké Británii, i ta však nedodávala proud do sítě. První elektrárna, která dodávala proud do sítě (výkon 5 MW), byla spuštěna až v roce 1954 v bývalém SSSR. Za první skutečně komerční jadernou elektrárnu je považována elektrárna Calder Hall v Británii spuštěná v roce 1956.

Využití jaderné energie se poté rychle rozvíjelo. V roce 1960 činil instalovaný výkon méně než 1 gigawatt (GW), na konci 70. let už 100 GW, a 300 GW v 80. letech. Od konce 80. let je nárůst mnohem pozvolnější, a převážně tvořený výstavbou jaderných elektráren v Číně. Proti využití jaderné energie se v mnoha zemích zvedla vlna odporu, založená jednak na obavách z nehody (jako např. Černobylská havárie), jednak na strachu z radiace. V Rakousku (1978), Švédsku (1980) a Itálii (1987) dokonce proběhla referenda jejichž důsledkem bylo upuštění od využití jaderné energie (Švédsko však energii z jádra vyrábí dosud).

10.2 Jaderné reaktory a jeho druhy

Zařízení, ve kterém dochází k řízenému uvolnění jaderné energie při štěpné řetězové reakci velkých jader (uran apod.) na jádra menší se nazývá „jaderný reaktor“. K klavním komponentům, které umožňují provoz reaktoru patří, palivo, moderátor, absorbátor a chladivo. Reaktor je v podstatě velká nádoba, nebo soustava nádob, které musí odolávat vysokým tlakům, teplotám a intenzivnímu toku neutronů.

Ta část jaderného reaktoru, v níž se uvolňuje jaderná energie pomocí řízené štěpné řetězové reakce se nazývá **aktivní zóna**. Aby se tato reakce samovolně udržovala, je zapotřebí v této aktivní zóně natavit tzv. ideální podmínky pro řízenou řetězovou reakci. To je zajistit, aby ve všech generacích štěpení byl stejný počet neutronů způsobujících štěpení. Takový rovnovážný stav aktivní zóny se nazývá **kritický stav**. Tento stav je dán jistým poměrem povrchu a objemu jaderného paliva, kritickou velikostí soustavy a kritickou hmotností. Nejčastěji se do aktivní zóny zavádí tzv.dodatečný absorbér, který pohlcuje část neutronů, a tím snižuje podíl neutronů způsobujících štěpení. Je možno měnit i množství jaderného paliva, velikost reflektoru a množství nebo vlastnosti vlastního moderátoru.

Konstrukce jaderného reaktoru a jeho aktivní zóny musí zajišťovat několik základních funkcí.

- Rozmístění jaderného paliva v aktivní zóně
- Zpomalování neutronů ke štěpení
- Řízení štěpné řetězové reakce
- Odvod tepelné energie z aktivní zóny

Jaderné palivo je v jaderném reaktoru uloženo v tzv. palivových článcích. Jedná se většinou o svazky tyčí, hermeticky uzavřené a pokryté obalem. Obal chrání palivo před korozním vlivem okolí a brání úniku radioaktivních štěpných produktů. Obal palivových článků je vyroben z oxidů hořčíku, ze slitin zirkonia nebo nerezavějící oceli. Palivové tyče jsou uspořádány do palivových kazet a ty vytvářejí tzv. aktivní zónu. Vlastní jaderné palivo je uran a bývá v kovové nebo keramické formě jako :

- Kovový uran (je však z hlediska svých vlastností velmi špatným materiálem pro využití v energetickém reaktoru)
- Oxidy uranu (UO_2)
- Karbidy uranu

Přírodní uran je prakticky monoizotop. Obsahuje 99.28 % ^{238}U , 0.714 % ^{235}U a 0.006% ^{234}U . Bohužel uran ^{238}U nemůže udržovat štěpnou reakci. Pro štěpnou reakci je vhodný pouze ^{235}U , jehož obsah je však v přírodním uranu velmi malý. Jako palivo pro jaderné reaktory se tedy používá uran ^{235}U v přírodní formě nebo jako obohacený uran (tj. zvětšený podíl U-235). Obohacení uranu může být

- nízké (do 5%)
- střední (do 20%)
- vysoké (do 93%)

ale nejčastější a neekonomičtější obohacení je 2 až 4 % ^{235}U .

Moderátor slouží ke snížení kinetické energie rychlých neutronů vzniklých při štěpení. Moderátorem bývá grafit, lehká nebo těžká voda. Často bývá aktivní zóna obklopena z vnějšku reflektorem, který zmenšuje únik neutronů. Výkon jaderného reaktoru se řídí pomocí tzv. **regulačních tyčů**, které obsahují silný absorbér neutronů, nejčastěji bór nebo kadmium.

Tepelnou energii uvolněnou při štěpení jader odvádí z aktivní zóny **chladiivo**, které obtéká palivové články, ze kterých do chladiva prostupuje tepelná energie. Jako chladivo se nejčastěji používá plynů (CO_2 nebo He_2), kapalin (lehká nebo těžká voda) nebo tekuté kovy (Na, Pb, Bi a K). Často se volí chladivo stejné jako moderátor.

Jaderné reaktory můžeme rozdělit podle různých kritérií:

- Podle účelu
 - výzkumné
 - energetické
 - speciální
- Podle energie neutronů
 - pomalé (tepelné) – energie neutronů <0.5 eV
 - rychlé – energie neutronů 0.1 až 10 MeV
- Podle konstrukce a uspořádání paliva
 - reaktor s tlakovou nádobou - aktivní zóna a celý systém řízení reaktoru jsou umístěny v tlakové nádobě, která snáší potřebný tlak
 - reaktor s tlakovými trubkami (kanály) - každý palivový článek je umístěn ve vlastní tlakové trubce
- Podle změny skupenství chladiva (je-li chladivem H_2O , či D_2O)
 - varný reaktor - v reaktoru dochází k varu a výrobě páry
 - tlakovodní reaktor - reaktor pracuje s vodou v kapalném skupenství
- Podle způsobu odvodu tepla z reaktoru a jeho využití k výrobě páry se rozlišují elektrárny tří typů, jejich schéma je uvedeno na obr.10-1.
 - **Jednookruhové**
 - v jednookruhové elektrárně je chladicí médium reaktoru současně pracovním médiem pro pohon turbíny

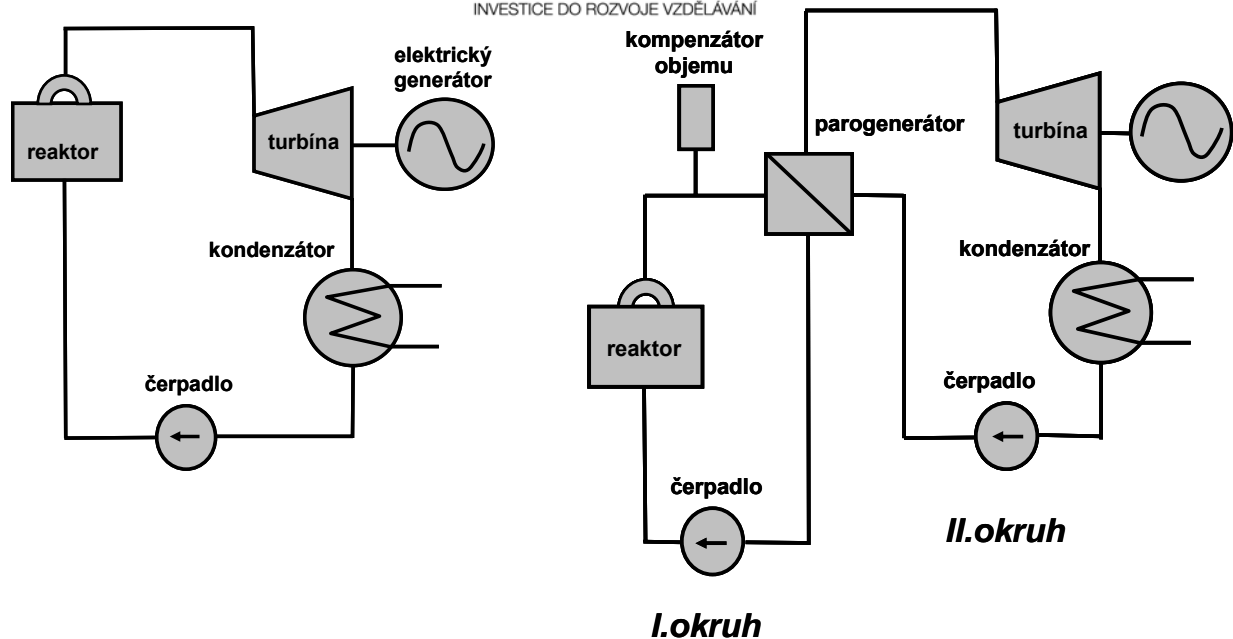
- toto uspořádání je typické pro elektrárny s varnými reaktory, kde pára vzniká při varu chladiva přímo v aktivní zóně, odkud se vede do turbíny
- jednookruhová elektrárna tedy nemá výměník tepla (parogenerátor)
- **Dvoukruhové**
 - elektrárny s plynem nebo vodou chlazenými reaktory mají dva oddělené oběhové okruhy
 - primární okruh (jaderný) je tvořen z reaktoru, systému cirkulace chladiva a parogenerátor
 - sekundární okruh (nejaderný) tvoří parogenerátor (zdroj páry) a další části klasického Rankine-Clusiova parního oběhu (parní turbína, kondenzátor, oběhová čerpadla, napájecí nádrž, regenerační výměníky apod.)
- **Tříokruhové**
 - elektrárny s rychlými reaktory mají 3 oddělené oběhové okruhy
 - chladivem je roztavený sodík, který je v důsledku zachytávání neutronů vysoce radioaktivní; kdyby se sodík při případné poruše dostal do styku s vodou sekundárního okruhu, došlo by při reakci s vodou k uvolnění radioaktivity
 - mezi primárním okruhem a okruhem vyrábějícím páru je vložen další okruh s cirkulujícím kapalným sodíkem, který však již není radioaktivní, protože není vystaven neutronovému záření v aktivní zóně
- Rozdělení podle moderátoru (slouží ke změně rychlých neutronů na tepelné neutrony)
 - lehká voda
 - těžká voda
 - grafit

Postupně se vyvinuly různé koncepce jaderných reaktorů. Existuje řada kombinací, ale jen některé jsou fyzikálně možné a jiné technicky, či ekonomicky vhodné. Ve světě se využívá 6 typů (konceptů) jaderných reaktorů, které se liší typem, použitým moderátorem a použitým chladivem. Jednotlivé typy používaných jaderných reaktorů (jejich základní popis, podíl využití ve světě apod.) jsou uvedeny v Tabulce 10-1. Prozatím se používá jako palivo výhradně uran-plutoniový palivový cyklus a obstály kombinace moderátor-chladivo: grafit-plyn, grafit-lehká voda, lehká voda-lehká voda, těžká voda-těžká voda a u rychlých reaktorů chlazení sodíkem.

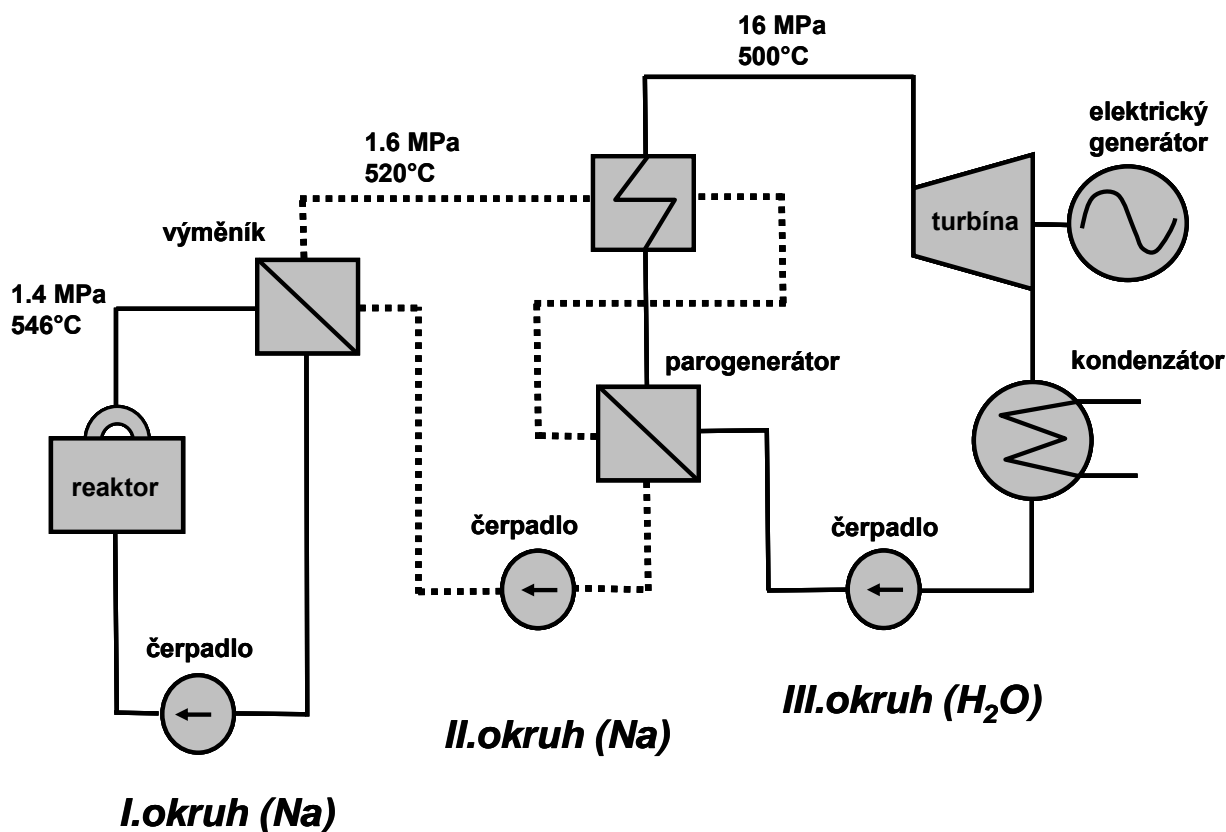
Nejrozšířenějším typem reaktoru ve světě je reaktor tlakovodní. Byl vyvinut v USA jako jaderný reaktor pro ponorky. Avšak z důvodů dobrých vlastností byl použit i v energetice. Později tuto koncepci převzalo i Rusko. Dnes je v energetice pro výrobu elektrické energie využíván tento typ reaktoru pro výkony do 1300 MW_e. Mimo energetiku je pro svou vysokou bezpečnost používán nadále k pohonu jaderných ponorek. V ČR je tento typ jaderného reaktoru použit v obou jaderných elektrárnách, v Dukovanech a v Temelíně. V primárním reaktorovém okruhu je lehká voda o tlaku okolo 12÷16 MPa, takže se ani při teplotách přes 300°C nevypařuje. Tato voda pak předává teplo v parogenerátoru sekundárnímu okruhu, který pak pohání turbíny. Nejvíce tlakovodních reaktorů je ve Francii a USA.

Jednookruhové :

Dvoukruhové :



Tříokruhové :



Obr.10-1 Schéma typů jaderných elektráren podle počtů tepelných okruhů

Z pohledu historického kvalitativního vývoje jsou jednotlivé jaderné reaktory a celé jaderné elektrárny zařazeny do určitých kategorií (generací vývoje). Postupný generační vývoj jaderných reaktorů a jaderných elektráren je uveden na Obr.10-2. V současnosti jsou v provozu elektrárny generace II a v přípravě jsou elektrárny generace III a III+.

- ranné prototypy reaktorů (tzv. Generace I)

- velké jaderné elektrárny dneška (Generace II)
- pokročilé reaktory s lehkou vodou a další systémy s neodmyslitelnými bezpečnostními prvky, které byly navrženy v nedávné minulosti (Generace III)
- systémy příští generace, které budou navrženy a postaveny v příštích dvaceti letech (Generace IV)

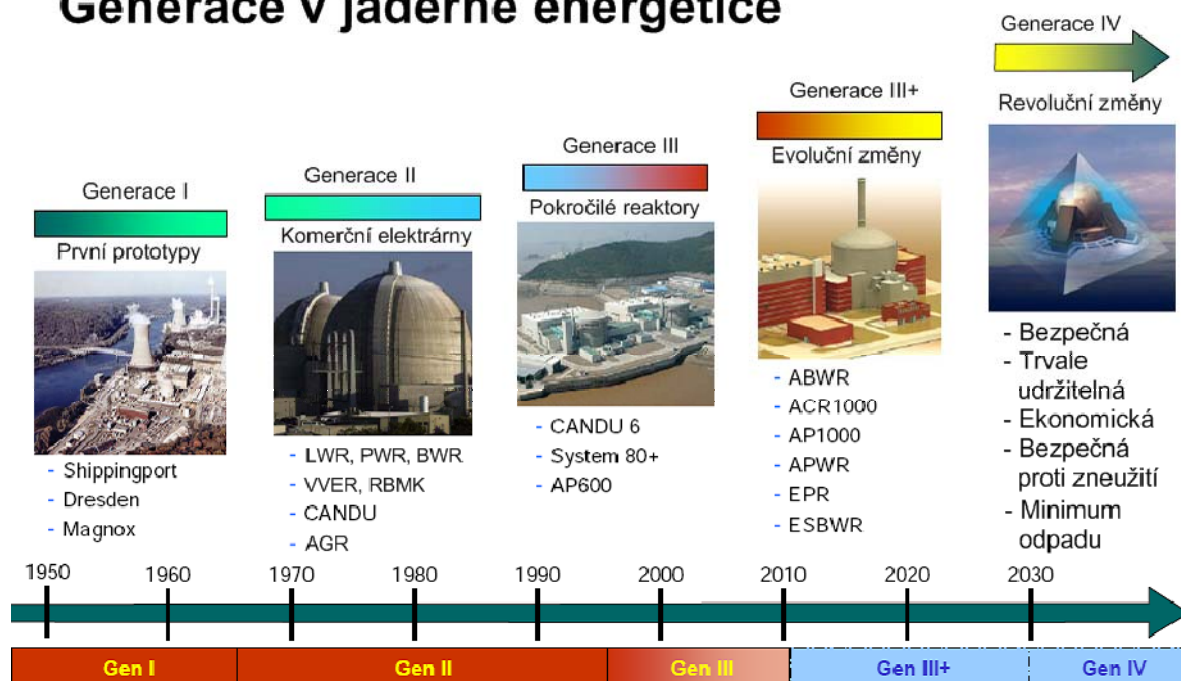
Druh reaktoru	Typ	Moderátor	Chladivo	Státy, které je vyrábí	Podíl reaktorů v r.2010
Tlakovodní	PWR VVER	Obyčejná voda	Obyčejná voda	Rusko USA, Německo, Francie	60.3 %
Varný	BWR	Obyčejná voda	Obyčejná voda	Japonsko Finsko	21.5 %
Chlazený plynem	GCR AGR	Grafit Grafit	Plyn (CO ₂) Plyn (CO ₂)	Anglie Anglie zdokonalená verze	4.1 %
Vysoko teplotní	HTGR	Grafit	Plyn	USA, Německo	
Tlakovodní (kanálový)	RBMK PHWR	Grafit Těžká voda	Obyčejná voda Těžká voda	Rusko Kanada	10.0 %
Rychlý	FBR	-	Tekutý sodík	Francie USA Rusko Japonsko	0.4 %

Tab.10-1 Typy energetických jaderných reaktorů

V r. 2000 vedl zájem o projekt Generace IV ke vzniku sdružení devíti zemí - Argentina, Brazílie, Kanada, Francie, Japonsko, Jižní Afrika, Jižní Korea, Velkou Británie a USA. Zúčastněné státy spolupracují při výzkumu a vývoji pro jadernou energetiku.

Reaktory III. generace se vyvíjejí z některých reaktorů II. generace. Mají hlavně daleko lepší bezpečnostní vlastnosti, důraz je hlavně na pasivní bezpečnostní prvky. Dochází k daleko intenzivnějšímu využití paliva, prodlužuje se doba mezi jeho výměnami a životnost elektrárny by se měla standardně posunout na 60 let. Jako generace III+ se označují projektované reaktory, které mají vylepšené prvky pasivní bezpečnosti tak, že se v případě nestandardní situace dostanou do bezpečného stavu automaticky bez jakýchkoliv aktivních částí. První takový reaktor pracuje od roku 1996 v Japonsku (ten se však někdy řadí ke klasické III. generaci) a patří k nim reaktor EPR, který se staví ve Finsku a ve Francii. Reaktory III. generace by měly tvořit základ jaderné energetiky v příštích desetiletích, měly by nahradit dosluhující jaderné elektrárny a přispět i ke zvýšení podílu jaderné energetiky na výrobě energie ve světě.

Generace v jaderné energetice



Obr.10-2 Časový vývoj generací jaderné energetice

Je snaha, aby na rozhraní dvacátých a třicátých let tohoto století začala nastupovat úplně nová generace jaderných reaktorů. Při projektování těchto reaktorů se sice bude vycházet ze zkušeností získaných z činnosti předchozích generací jaderných reaktorů, ale půjde o úplně nové typy a koncepce, které se zatím v jaderné energetice nevyužívají. Je to vidět i z toho, že velký důraz je kladen na rychlé reaktory, které se v současnosti v jaderné energetice využívají minimálně. Právě tyto reaktory by měly umožnit využití veškerého potenciálu obsaženého v zásobách potenciálního jaderného paliva, tedy i uranu ^{238}U a případně i thoria ^{232}Th . Tato plánovaná nová generace jaderných reaktorů je označována jako generace IV.

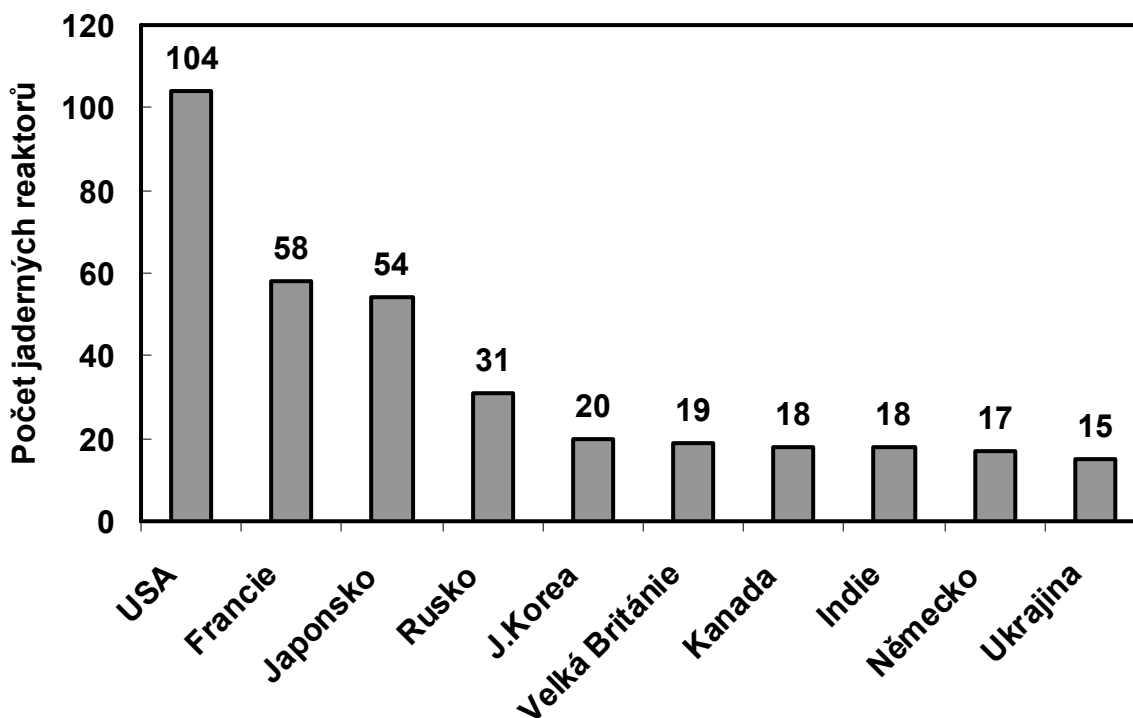
10.3 Jaderná energetika ve světě

V r.2010 bylo ve světě podle statistik WNA (World Nuclear Association – Světová jaderná asociace) komerčně provozováno 439 jaderných bloků v 146 jaderných elektrárnách v 29 zemích. Celkový instalovaný výkon v jaderných elektrárnách byl 372 GW. Na obr.10-3 je uveden počet provozovaných jaderných reaktorů v deseti zemích s největším využitím jaderných reaktorů v r.2010.

Prozkoumané světové zásoby uranu jsou dle Mezinárodní agentura pro atomovou energii (MAAE) na takové úrovni, že při předpokládaném navýšení výkonu jaderných elektráren v budoucnosti na cca 500 GW_e, vystačí současné světové zásoby ekonomicky dostupných jaderných paliv bez jejich recyklace cca 90 let. Při recyklaci dnešními způsoby vystačí světové zásoby na cca 140 let. Současné provozované jaderné reaktory dokážou využít jen 4% energetické hodnoty používaného uranu.

Dá se ovšem předpokládat, že v období r. 2030-2040 dojde k zahájení provozu jaderných elektráren IV.generace, Tyto reaktory dokáží energetickou hodnotu jaderného paliva mnohem efektivněji. A při využití tzv. rychlých množivých reaktorů jsou současné světové zásoby jaderného paliva na cca 5 000 let. Rychlé množivé reaktory ve své podstatě představují technické řešení, jak účinně využít světových

zásob izotopů uranu ^{238}U a thoria ^{232}Th , které jsou v současných jaderných elektrárnách nevyužitelné.



Obr.10-3 Počet provozovaných jaderných reaktorů v r.2010

Další pozitivní informací týkající se jaderných paliv je porovnání s geologickými průzkumy zásob uhlí, ropy a zemního plynu. Průzkum světových zásob uranu není příliš rozvinutý. Řada oblastí tak není z tohoto hlediska prozkoumána a dá se tedy očekávat, že existuje značné množství dosud neobjevených zásob.

V některých státech je podíl vyrobené elektrické energie v jaderných elektrárnách dominantní, jak ukazuje následující údaj z r.2009 :

Francie	76.2 %
Litva	72.9 %
Slovensko	56.4 %
Belgie	53.6 %
Ukrajina	47.4 %

V jaderných elektrárnách se ročně vyrobí cca 2600 TWh elektřiny, na světové výrobě elektřiny se tak jaderná energetika podílí cca 16 %. USA je největším producentem a z celosvětového množství vyrobí téměř 1/3 jaderné elektřiny.

V současnosti dochází znovu k renesanci jaderné energetiky. Pokročilé reaktory se budují od 90. let minulého století. V provozu jsou v Japonsku, evropský reaktor EPR se staví ve Finsku a ve Francii s výkonem 1600 MW_e. Licenci pro USA získal nový typ AP-600 společnosti Westinghouse. V USA jsou vydána předběžná povolení ke stavbě 18 nových jaderných bloků ve stávajících elektrárnách. S velkou výstavbou jaderných elektráren se počítá v Asii (Číně, Indii a J.Koreji).

V Evropě se jaderné elektrárny staví ve Finsku, ve Francii, v Rusku a na Slovensku, výstavba se připravuje ve Švýcarsku, Anglii, Itálii, Nizozemsku, v Litvě, Slovinsku, Maďarsku, Bulharsku, Rumunsku, Polsku, na Ukrajině a v Bělorusku.

Např. jen Rusko hodlá do roku 2020 vybudovat 22 nových tisícimegawatových reaktorů a řadu menších reaktorů plovoucích.

Kolem roku 2030 pak přijdou na řadu zásadně nové technologie, které díky vyšší provozní teplotě budou moci "spalovat" i použité uranové palivo ze současných jaderných reaktorů, jež by se jinak muselo skladovat v hlubinných úložištích stovky tisíc let.

10.4 Jaderná energetika v ČR

Využití jaderné energie se stalo přirozenou součástí energetického mixu řady vyspělých států naší planety. Výjimkou není ani Česká republika. Bez ohledu na to jaký typ reaktoru je používán, lze konstatovat, že jaderné elektrárny mají a budou mít zásadní vliv na rozvoj ekonomiky i v budoucnu. V celosvětovém kontextu zatím neexistuje lepší energetický zdroj, který by současně pokryl rostoucí nároky na energii a přitom nepřispíval ke zhoršování životního prostředí.

Historie jaderné energetiky v ČR

Orientace na jadernou energetiku začala v Československu již v 60-tých letech a pokračuje nadále, jak v ČR tak i v SR. První jaderná elektrárna byla postavena na území Slovenska v Jaslovských Bohunicích, následovala Elektrárna Dukovany (JEDU), Elektrárna Mochovce (JEMO) a Elektrárna Temelín (JETE). Po rozdělení Československa v r.1993 na Českou a Slovenskou republiku, jsou na území ČR 2 jaderné elektrárny (JEDU, JETE), které jsou vlastněny elektrárenskou společností ČEZ, a.s.

Vývoj jaderné elektrárny Jaslovské Bohunice (Slovensko) :

- 1958 Zahájení výstavby elektrárny A1 (výzkumná-vývojová jaderná elektrárna s těžkovodním reaktorem KS 150, s přírodním uranem jako palivem, chladivo oxid uhličitý).
- 1972 Spuštění elektrárny A1 (elektrický výkon 150 MW_e)
- 1972 Zahájení výstavby elektrárny V1 (2 tlakovodní reaktory VVER 440, typ 230, ruská koncepce, blok č.1 a 2)
- 1976 Zahájení výstavby elektrárny V2 (2 tlakovodní reaktory VVER 440, typ 213, ruská koncepce, blok č.3 a 4)
- 1977 Uzavření elektrárny A1 – porucha
- 1978 Spuštění bloku č.1 elektrárny V1 (elektrický výkon 440 MW_e)
- 1980 Spuštění bloku č.2 elektrárny V1 (elektrický výkon 440 MW_e)
- 1984 Spuštění bloku č.3 elektrárny V2 (elektrický výkon 440 MW_e)
- 1985 Spuštění bloku č.4 elektrárny V2 (elektrický výkon 440 MW_e)
- 2006 Uzavření bloku č.1 elektrárny V1
- 2008 Uzavření bloku č.2 elektrárny V1

Vývoj jaderné elektrárny Mochovce (Slovensko) :

- 1982 Zahájení výstavby bloku č.1 a 2 (2 tlakovodní reaktory VVER 440, typ 213, ruská koncepce)
- 1987 Zahájení výstavby bloku č.3 a 4 (2 tlakovodní reaktory VVER 440, typ 213, ruská koncepce)
- 1992 Zastavení výstavby (nedostatek financí)
- 1998 Spuštění bloku č.1 (elektrický výkon 440 MW_e)
- 2000 Spuštění bloku č.2 (elektrický výkon 440 MW_e)

Vývoj jaderné elektrárny Dukovany :

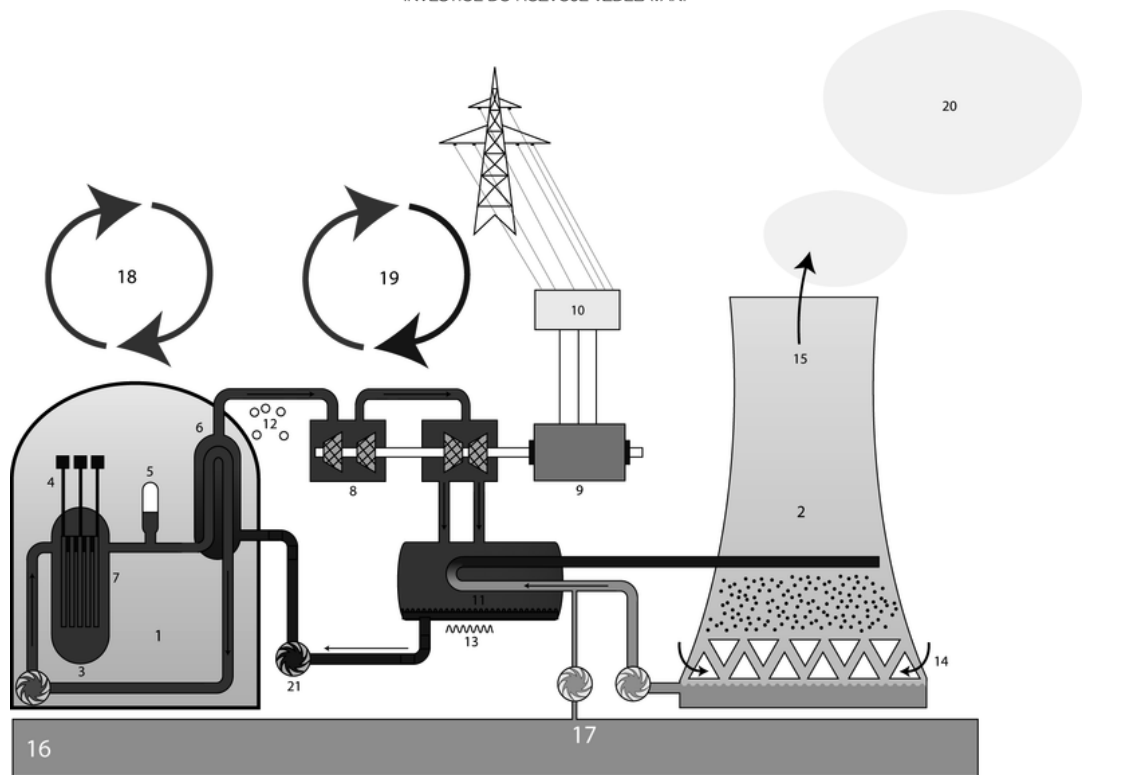
- 1978 Zahájení výstavby 4 bloku (tlakovodní reaktory VVER 440, typ 213, ruská koncepce).
 1985 Spuštění bloku č.1 (elektrický výkon 440 MW_e)
 1986 Spuštění bloku č.2 (elektrický výkon 440 MW_e)
 1987 Spuštění bloku č.3 (elektrický výkon 440 MW_e)
 1988 Spuštění bloku č.4 (elektrický výkon 440 MW_e)
 Celkový instalovaný výkon jaderné elektrárny Dukovany je 1760 MW_e
 Pozn.: Více než 80 % použitých zařízení je vyrobeno v ČR, hlavní komponenty elektrárny (reaktor, parogenerátory, turbíny) jsou vyrobeny českými firmami (Škoda, Vítkovice).
 2005 Modernizace elektrárny, zvýšení výkonu elektrárny na 1776 MW_e
 2007 Modernizace elektrárny, zvýšení výkonu elektrárny na 1808 MW_e
 2009 Modernizace elektrárny, zvýšení výkonu bloků č.3 na 500MW_e
 Celkový instalovaný výkon jaderné elektrárny Dukovany je 1880 MW_e
 Jaderná elektrárna Dukovany je tedy již provozována od r.1985 (tj.25let), čeka ji v budoucnosti modernizace a prodloužení její životnosti na až 60 let (tj. do r. 2045). V průběhu modernizace se očekává rovněž navýšení současného instalovaného výkonu na cca 2000 MW_e.

Vývoj jaderné elektrárny Temelín

- 1984 Zahájení výstavby bloku č.1 (tlakovodní reaktor VVER 1000, typ V320, ruská koncepce)
 1986 Zahájení výstavby bloku č.2 (tlakovodní reaktor VVER 1000, typ V320, ruská koncepce)
 2000 Spuštění bloku č.1 (elektrický výkon 1000 MW_e)
 2002 Spuštění bloku č.2 (elektrický výkon 1000 MW_e)
 2009 Zahájení aktivit firmy ČEZ, a.s. spojených s vyřízením povolení na výstavbu dalších 2 bloků v elektrárně Temelín, každý o výkonu 1000 ÷ 1700 MWe.
 Časový horizont dokončení výstavby těchto bloků cca r.2025÷2030
 Potenciální dodavatelé nových bloků:
- česko-ruské konsorcium Škoda JS, Atomstrojexport a Gidropress (projekt MIR-1200, Modernized International Reactor)
 - americký Westinghouse (AP1000)
 - francouzská AREVA (EPR™, 1650 MWe)

Z uvedené historie je zřejmé, že jaderná energetika na v ČR dlouho tradici. V jaderných elektrárnách JEDU a JETE jsou provozovány jaderné reaktory VVER 440 a VVER 1000 ruské koncepce, využívající však v současné době veškerých světově dostupných prvků (technických i bezpečnostních). Reaktory VVER jsou tlakovodní s obyčejnou vodou jako chladičem i moderátorem. Schéma Základní technické parametry těchto reaktorů jsou uvedeny v Tabulce č.10-2.

Obecné schéma Zokruhové tlakovodní jaderné elektrárny typu PWR, VVER je uvedeno na obr.10-4. a 10-5.



- | | |
|------------------------------|---|
| 1. Reaktorová hala | 12. Pára |
| 2. Chladicí věž. | 13. Kapalina |
| 3. Tlakovodní reaktor. | 14. Přívod vzduchu do chladicí věže. |
| 4. Řídící tyče. | 15. Odvod teplého vzduchu a páry komínovým efektem. |
| 5. Kompenzátor objemu. | 16. Oběhové čerpadlo I. okruhu. |
| 6. Parogenerátor. | 17. Napájecí čerpadlo chladicího okruhu. |
| 7. Aktivní zóna. | 18. I. okruh (voda pouze kapalná pod vysokým tlakem). |
| 8. Turbína - VT a NT stupeň. | 19. II. okruh. |
| 9. Elektrický generátor. | 20. Oblaka vzniklá kondenzací vypařené chladicí vody. |
| 10. Transformační stanice. | 21. Oběhové čerpadlo II. okruhu |
| 11. Kondenzátor II. okruhu. | |

Obr.10-4 Schéma jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem (VVER)

	JE Dukovany	JE Temelín
typ reaktoru	VVER 440	VVER 1000
tepelný výkon	1375 MW _t	3000 MW _t
průměr tlak. nádoby	3,56 m	4,5 m
výška tlak. nádoby	11,8 m	10,9 m
palivové kazety	312 ks	163 ks
hmotnost paliva	42 t	92 t
moderátor a chladivo	obyčejná (lehká) voda	obyčejná (lehká) voda
tlak v reaktoru	12,25 MPa	15,7 MPa
teplota chladiva	267°C ÷ 297°C	290°C ÷ 320°C

Tab.10-2 Základní technické parametry Jaderné elektrárny Dukovany a Temelín

Vlastní jaderný reaktor tvoří válcová tlaková nádoba, ve které je ve spodní části tzv. aktivní zóna s palivovými články, regulačními tyčemi a naplněná obyčejnou vodou, která slouží jako chladivo a moderátor zároveň. Tato voda proudí reaktorem pod vysokým tlakem, proto název tlakovodní. Vysoký tlak je zde z důvodu vysoké teploty varu chladicí vody.

V ČR jsou tyto reaktory označeny VVER 440 a VVER 1000, kde uvedené číslo znamená přibližný elektrický výkon tohoto jaderného bloku. V elektrárně Dukovany jsou instalovány 4 bloky VVER 440 a v elektrárně Temelín 2 bloky VVER 1000.

Tepelná energie z jaderné reakce je v I. okruhu pomocí chladiva (vody) předávána v parogenerátoru (PG) do II. okruhu. V parogenerátoru je vyráběna pára, která je vedena do vysokotlakého dílu parní turbíny (VT). Část páry z parogenerátoru je využívána na přehřátí páry před vstupem do nízkotlakého dílu parní turbíny (NT). Po expanzi v NT dílech turbíny pára kondenzuje v kondenzátoru a přes kaskádu nízkotlakých regeneračních ohříváků je ve formě přehřáté vody vedena do napájecí nádrže. Z napájecí nádrže je voda pomocí čerpadla dopravována přes vysokotlaký regenerační ohřívák do parogenerátoru. Pohon čerpadla (turbonapáječky) je zajištěn parou, která je odebírána před vstupem do NT dílu turbíny.

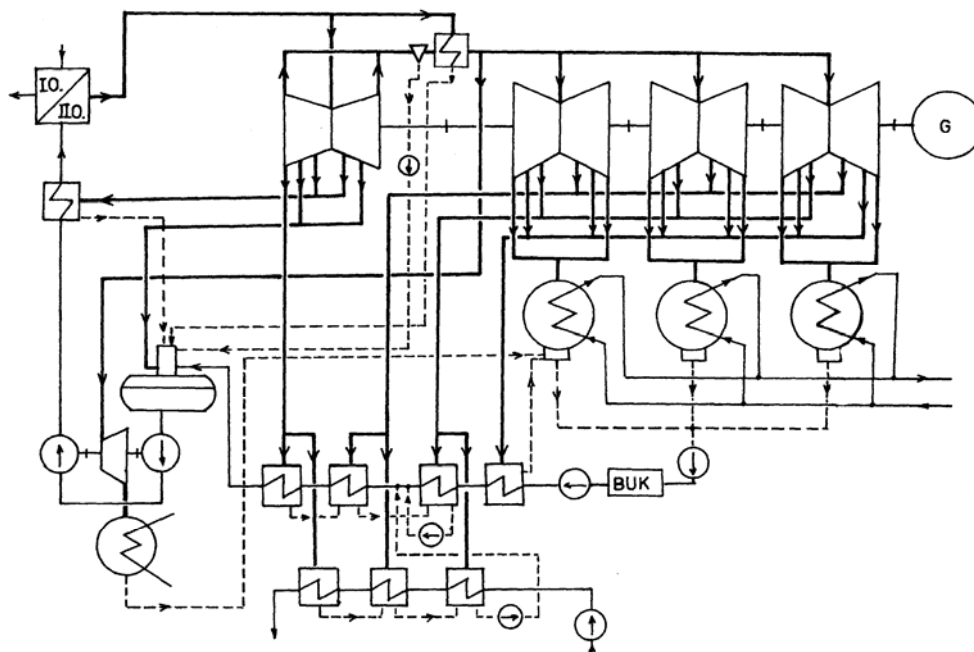
Jedná se tedy o parní (Rankine-Classiuv) tepelný oběh. V jaderných elektrárnách je používán parní cyklus se sytou párou na výstupu z parogenerátorů, s přehříváním mokré páry mezi vysokotlakým a nízkotlakým dílem parní turbíny a s několikastupňovou regenerací napájecí vody. Účinnost u běžných typů tlakovodních reaktorů je o něco nižší než účinnost moderních uhelných elektráren (asi 30 % oproti 35 ÷ 40 % u uhelných elektráren). Menší účinnost je dána omezením maximální teploty vody v primárním okruhu, a tím dosažení nižších parametrů páry v II. okruhu na výstupu z parogenerátoru (vstup do turbíny).

Technologické zařízení JE Dukovany se skládá z jaderného reaktoru a šesti chladicích smyček se šesti parogenerátory, které vyrábějí sytou páru pro dvě identické parní turbíny, každou o projektovaném elektrickém výkonu 220 MW_e (v současné době je dosahovaný výkon 460÷500 MW_e).

Tepelný cyklus každé parní turbíny společně vytvářejí tato základní zařízení:

- vysokotlaký díl parní turbíny VT
- separátor a dvoustupňový přehříváč páry
- dva nízkotlaké díly parní turbíny NT1 a NT2
- dvoukomorový kondenzátor HK1 a HK2
- dvoustupňová čerpadla kondenzátu KČ I a KČ II
- nízkotlaký ohřívák NTO1, 2, 3, 4, 5
- napájecí nádrž NN
- napájecí čerpadla NČ
- vysokotlaký ohřívák VTO1, 2

Technologické zařízení JE Temelín se skládá z jaderného reaktoru a čtyř chladicích smyček se čtyřmi parogenerátory, které vyrábějí sytou páru pro jednu parní turbínu (1 VT díl a 3 NT díly), o projektovaném elektrickém výkonu 1000 MW_e. Detailní schéma II. okruhu jaderné elektrárny Temelín (VVER 1000) je uvedeno na Obr.10-5. Pohled na jaderné elektrárny Dukovany a Temelín je uveden na Obr.10-6



Obr. 10-5 Detailní schéma II.okruhu jaderné elektrárny Temelín (VVER 1000)



Obr. 10-6 Jaderné elektrárny Dukovany a Temelín

Bezpečnost u typu VVER

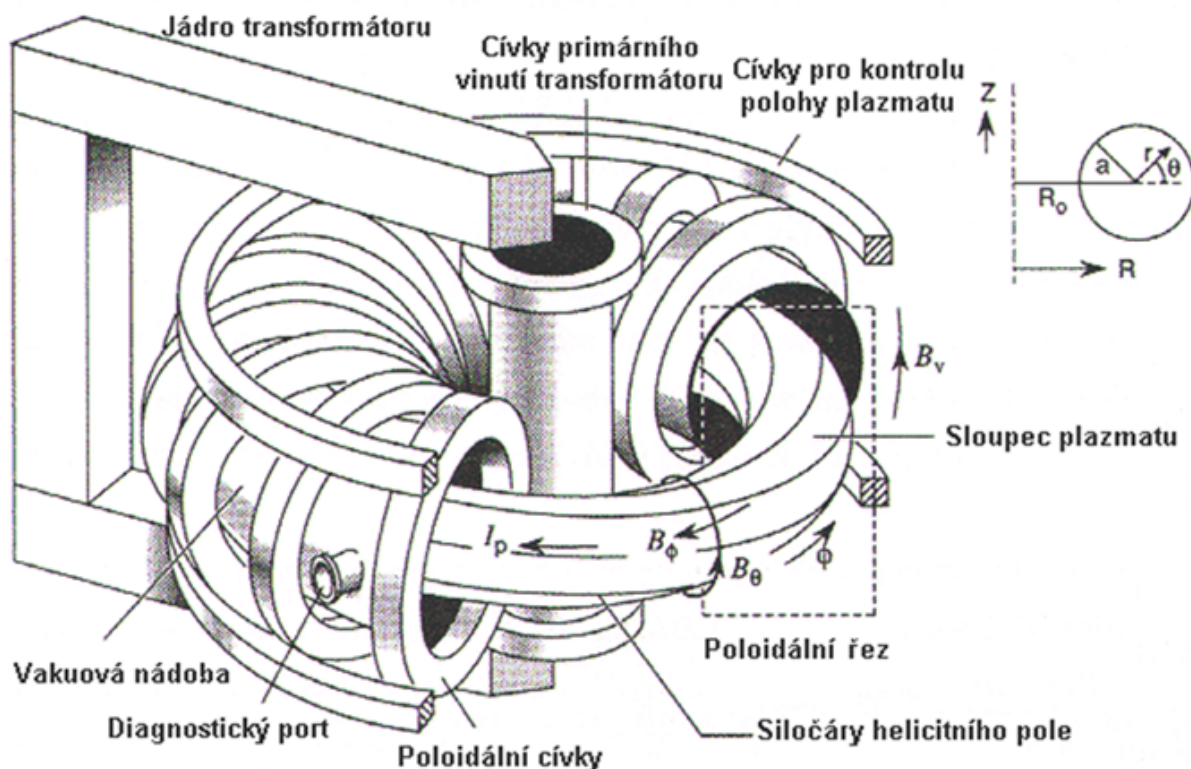
K zajištění bezpečnosti tlakovodního reaktoru typu VVER, které v ČR používají obě jaderné elektrárny, jsou použity základní fyzikální zákony. Při přehřátí vody v reaktoru (v případě velmi nepravděpodobného selhání všech bezpečnostních opatření) se jaderná reakce v reaktoru sama zastaví. Ve vzniklé páře se totiž nemohou zpomalovat neutrony, které štěpí uran a rychlé neutrony uran nerozštěpí (příčina zastavení štěpné reakce). Reaktor proto nemůže dopadnout jako reaktor zcela jiné konstrukce a principu, jaký byl použit například v Černobylu

10.5 Jaderná syntéza

Jaderná syntéza (termojaderná fúze, reakce) je opačnou reakcí než štěpení jader. To znamená, že ze dvou lehčích jader se utvoří jedno jádro těžké. Uskutečněná reakce je s výrazným kladným energetickým výsledkem. Je však velmi obtížné dosáhnout podmínek, nezbytných pro vznik této reakce a pro její udržení.

K jaderné syntéze dochází při teplotách několika milionů °C, kdy jsou atomy zbaveny všech svých orbitálních elektronů a vytvoří se plazma, složená z kladných iontů a elektronů. Mají-li ionty při tepelném pohybu dostatečnou energii, aby byly schopny překonat odpudivé síly mezi sebou, mohou se spojit a uvolnit přebytečnou vazební energii. Výška této potenciální bariéry určuje minimální teplotu, potřebnou ke vzniku reakce. Nejnižší je u vodíku. U těžších jader, které obsahují více protonů, je potenciálová bariéra vyšší a rostou potřebné teploty. Proto je možnost jaderné syntézy největší u nejjednoduchých jader.

Z celé řady experimentálních zařízení, na nichž se postupně zkoumá chování hmoty při extrémních teplotách a ověřují se technologie pro budoucí termonukleární reaktory, zatím nejlepších parametrů dosahují zařízení zvaná tokamak. Uskutečňování jaderné fúze je tímto zařízením realizováno ve velkých toroidních komorách se silným magnetickým polem. Plazma ve tvaru prstence se zde tvoří v komoře pomocí silného magnetického pole, kde je udržována v sevření a je zahřívána na požadované teploty.



Obr.10-7 Schéma zařízení pro termonukleární syntézu - tokamak

Dva velké tokamaky, evropský JET ve Velké Británii a TFTR v USA, experimentovaly s palivem budoucích termonukleárních reaktorů, kterým je směs deuteria a tritia. Na tokamaku JET se podařilo již v roce 1991 uvolnit jaderným slučováním po dobu dvou sekund výkon 1,7 MW, na tokamaku TFTR roku 1993 výkon 9 MW.

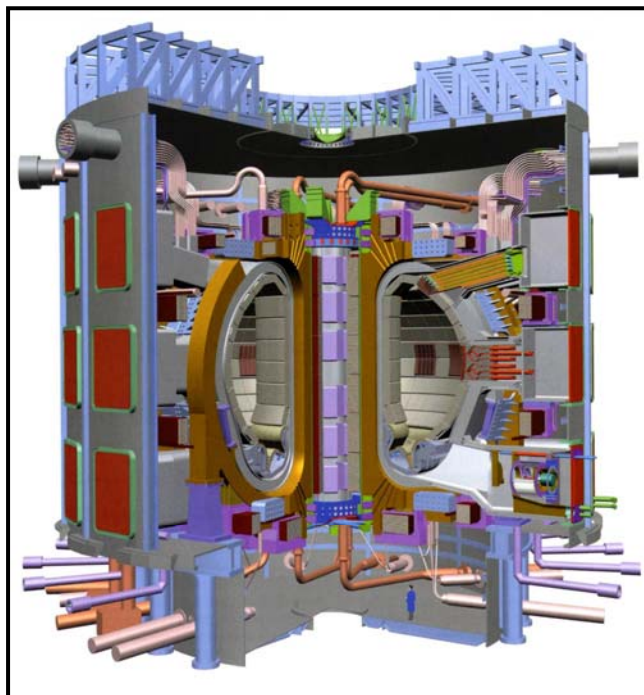
Zvládnutím řízené reakce jaderné fúze by mohl být v budoucnosti vyřešen nedostatek energie v její různých formách (elektrická energie, tepelná energie, energie pro pohon mobilních zařízení – např. vodík, atd.) a to při minimálním narušení ekologické rovnováhy v přírodě.

Budoucnost využití termojaderné fúze

Se stavbou termonukleárních elektráren na principu tokamaku se počítá zhruba nejdříve za 50 let. Mnozí odborníci považují jadernou fúzi za jedinou možnou alternativu výroby energie v budoucnu. Zatím se zdá, že její uskutečnění přesahuje horizont několika desítek let. Nutná potřeba čistého zdroje energie je výzvou pro koordinované úsilí techniků a vědců na celém světě.

V r. 2006 v Bruselu dohodly státy Evropské unie a další země na obrovské investici a po letech příprav podepsaly dohodu, která je zavazuje k výstavbě a financování největšího fúzního reaktoru na světě. Náklady na jeho stavbu a provoz se do roku 2040 vyšplhají na 10 miliard eur. Evropa z toho uhradí téměř polovinu. Na jednom z největších vědeckých projektů v dějinách se kromě EU podílejí Japonsko, USA, Čína, Indie a Jižní Korea. Jde o dosud největší mezinárodní vědecký projekt s přesně určenými povinnostmi jednotlivých zemí.

Reaktor o výkonu 500 MW se staví v jihofrancouzském Cadarache a do provozu by se měl dostat v roce 2016. Jeho posláním ještě nebude vyrábět elektřinu do sítě, ale poskytovat prostředí pro další výzkum. Na projektu se má podílet i česká věda.



Hlavní parametry :

Střední velký průměr toroidu	12.4 m
Malý průměr toroidu	4.4 m
Objem toroidu	840 m ³
Proud v plazmatu	15 MA
Fúzní výkon	500MW
Doba udržení	> 400 s

Obr. 10-8 Schéma fúzního reaktoru v Cadarache o výkonu 500 MW

11. Elektrická energie

Elektrická energie je pro svou univerzálnost, relativně jednoduchou výrobu, transport a transformaci na jiné formy energie považována za nejušlechtlejší druh energie. Její transformace na jiné druhy energií je relativně snadná a technicky dobře zvládnutá. Což má za následek její využívání ve všech oblastech činnosti člověka.

Transformace elektrické energie na jiné druhy energií :

- **mechanická** - elektromotory (účinnost přes 90 %)
- **tepelná** - tepelné spotřebiče, chladničky (účinnost přes 90 ÷ 99 %)
- **elektrická** - transformátory, usměrňovače, měniče (účinnost až 98%)
- **zářivá** - žárovky (účinnost do 8%), zářivky a výbojky (účinnost až 40%)
- **chemická** - galvanické články, elektrolýza (účinnost kolem 90%)

Bez elektrické energie by již dnes rozvinutý svět nemohl existovat. Většina činnosti, které lidstvo realizuje, je závislá na elektrické energii. I využívání jiných energetických zdrojů je na elektřině závislé. Elektrickou energii ale musíme získávat z jiných energetických zdrojů :

- | | |
|---|---|
| ▪ Fosilní paliva (uhlí, kap.paliva, zemní plyn) | Parní elektrárny |
| ▪ Jaderné palivo (uran) | Jaderné elektrárny |
| ▪ Vodní energie | Vodní elektrárny |
| ▪ Sluneční energie | Fotovoltaické elektrárny |
| ▪ Větrná energie | Větrné elektrárny |
| ▪ Jiné druhy energií | Geotermální elektrárny, Přílivové elektrárny, apod. |

Hlavní nevýhodou elektrické energie je omezená možnost přímého skladování (akumulace). To je v omezeném rozsahu možné jen pomocí elektrických akumulátorů a baterií. Z toho důvodu nelze elektrickou energii vyrábět tzv. na sklad, výroba musí reagovat na spotřebu, což způsobuje vyšší nároky na regulaci celé elektrizační soustavy.

Transport elektrické energie od místa „výroby“ do místa spotřeby je pomocí tzv. přenosové a distribuční soustavy“. Přenosová soustava v ČR je tvořena vedením 400kV, 220kV a 110kV. Napětí přenosové soustavy je měněno v rozvodnách elektrické energie na napětí distribuční sítě 22kV a následně na 400/230V pro domácí použití.

11.1 Elektrická energie v ČR

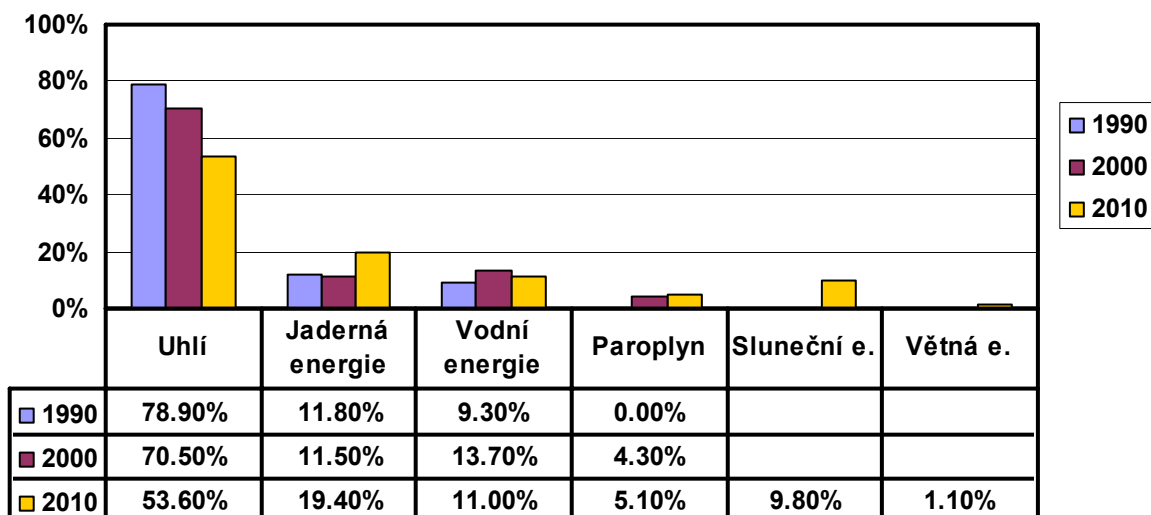
Současný stav výroby elektrické energie v ČR

Instalovaný elektrický výkon všech elektráren v ČR byl ke dni 31.12.2010 20 072 MW_e. Největší podíl na tomto instalovaném výkonu má využití uhlí (53.4%), zejména hnědé uhlí. Podíl instalovaného výkonu jednotlivých elektráren :

	Instalovaný elektrický výkon	Podíl na vyrobené elektrické energii v r.2010
▪ Uhelné elektrárny	10 770 MW _{el} (53.4 %)	58.2 %
▪ Jaderné elektrárny	3 890 MW _{el} (19.4 %)	32.6 %
▪ Vodní elektrárny	2 210 MW _{el} (11.0 %)	3.9 %
▪ Plynové a paroplynové	1 020 MW _{el} (5.1 %)	4.2 %
▪ Sluneční elektrárny	1 959 MW _{el} (9.8 %)	0.7 % (2.4% v r.2011)
▪ Větrné elektrárny	215 MW _{el} (1.1 %)	0.4 %

V r.2010 bylo v ČR vyrobeno 85 910 GWh elektrické energie, kde dominantní podíl na této výrobě měly uhelné a jaderné elektrárny (téměř 91%). Průměrný elektrický výkon v r.2010 byl 9 807 MW_{el}.

Vývoj instalovaného elektrického výkonu od r. 1990 do r.2010 je uveden na Obr.11-1.



Obr.11-1 Podíl na instalovaném elektrickém výkonu v ČR (1990 ÷ 2010)

Z uvedeného Obr.11-1 je patrný klesající trend instalovaného výkonu uhelných elektráren, který souvisí s nárůstem instalovaného výkonu u jaderných elektráren o cca 10%, což bylo způsobeno uvedením do provozu 2 bloků Jaderné elektrárny Temelín (2 x 1000 MW_{el}).

Výroba elektrické energie v ČR převyšuje spotřebu. V období 2000 ÷ 2011 tvořil vývoz elektrické energie cca 15 až 20 % vyrobené elektrické energie. Vývoj spotřeby, výroby a vývozu elektrické energie je uveden v následující tabulce.

	Spotřeba	Výroba	Vývoz	
	(TWh)	(TWh)	(TWh)	Podíl na výrobě (%)
2011	70.6	87.6	17	(19.4 %)
2010	71.0	85.9	14.9	(17.3 %)
2005	57.7	76.6	19	(25.0 %)
2000	52.3	67.7	15.4	(22.7 %)
1995	52.2	56.9	4.7	(8.3 %)
1993	47.8	55.0	7.2	(13.1 %)

Výstavba parních uhelných elektráren v Českých zemích po r.1945

V oblasti parních uhelných elektráren se v české energetice po druhé světové válce přešlo se značným zpožděním, zaviněným německou okupací, od výstavby výrobních jednotek 32 MW k elektrárenským blokům 50 až 55 MW (1.blok 1952). Turbíny o jmenovitém výkonu 50 až 55 MW byly instalovány postupně od počátku 50-tých let v elektrárnách Hodonín, Opatovice, Tisová, Poříčí a Mělník.

Dalším vývojovým stupněm bylo budování elektráren s moderními bloky o výkonu 100 MW a 110 MW, na tehdejší dobu s vysokými parametry páry a vysokou účinností. Tak byly postupně postaveny následující elektrárenské bloky.

r. 1960	Elektrárna Tisová	Prototypy bloků 100 MW
r. 1964	Elektrárna Tušimice I	6 bloků 110 MW
r. 1968	Elektrárna Prunéřov I	6 bloků 110 MW
r. 1969	Elektrárna Ledvice	4 bloky 110 MW
r. 1971	Elektrárna Mělník II	4 bloky 119 MW

Dalším vývojovým krokem byla výstavby elektráren s bloky 200 MW.

r. 1967	Elektrárna Ledvice	Prototyp bloku 200 MW
r. 1971	Elektrárna Počeradý I	4 bloky 200 MW
r. 1975	Elektrárna Tušimice II	4 bloky 200 MW
r. 1976	Elektrárna Dětmárovice	4 bloky 200 MW
r. 1977	Elektrárna Počeradý II	2 bloky 200 MW
r. 1978	Elektrárna Chvaletice	4 bloky 200 MW

Program výstavby velkých elektráren spalující uhlí byl ukončen v roce postavením bloku o výkonu 210 MW a 500 MW.

r. 1981	Elektrárna Mělník III	1 blok 500 MW
r. 1982	Elektrárna Prunéřov II	5 bloků 210 MW

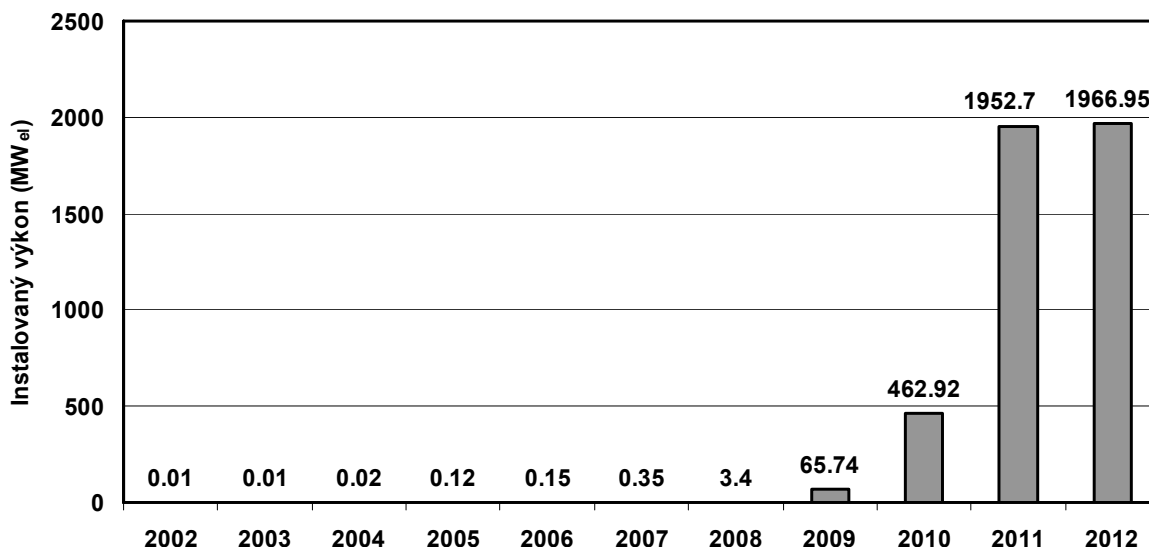
Kotle, turbíny a příslušenství při výstavbě uvedených elektráren byly dodány československými firmami. Jedinou výjimkou je výstavby elektrárny Prunéřov II (5 x 210 MW), která je dodávkou polských firem.

Vývoji ve výstavbě kotlů a turbín se přizpůsobila i volba vyšších parametrů páry a schéma zapojení, vše s cílem dosažení nízké měrné spotřeby paliva na dodávku elektřiny. U prvních elektráren s turbínami o výkonu 50 MW bylo řazení kotlů a turbín sběrnicové. V dalším vývoji došlo ke zvýšení výkonu na 55 MW, užití jednoho kotle na turbínu. Dalším vývojovým krokem byly bloky 100 MW, později 110 MW v blokovém zapojení. Tyto bloky byly řešeny s kotli bubnovými i průtočnými. Výraznou charakteristikou těchto bloků, kromě zvýšení parametrů admisní páry, je použití nového prvku v tepelném oběhu, přihřívání páry spaliny v kotli na teplotu 540°C. Dalším výkonovým stupněm byly elektrárenské bloky 200 MW s vyšším provozním tlakem a teplotou páry a zásadním užitím průtočných kotlů. Jako poslední vývojový typ klasických tepelných elektráren byl realizován blok 500 MW s průtočným kotlem s povzbuzenou cirkulací oběhovými čerpadly. Použité parametry páry a koncepční řešení prakticky v době realizace odpovídaly úrovni vyspělých států. Základním nedostatkem v řešení a provozu těchto bloků však zůstala skutečnost, že nebyl včas zachycen trend zaváděný ve vyspělých státech v 70. a 80. letech, kdy byly legislativně zavedeny limity nejvyšších přípustných emisí škodlivin a pro dodržení těchto přísných emisních limitů byla v zahraničí realizována příslušná ekologická zařízení, zejména účinné zachycování tuhých částic, odsíření spalin a potlačení produkce NO_x.

Fotovoltaické (sluneční) elektrárny v ČR

V r.2011 byl podíl instalovaného výkonu ve slunečních elektrárnách na celkovém instalovaném výkonu pro výrobu elektrické energie v ČR téměř 10 % (viz. Obr.11-1), ale podíl na vyrobené elektrické energii byl v r.2011 pouze 2.4 %.

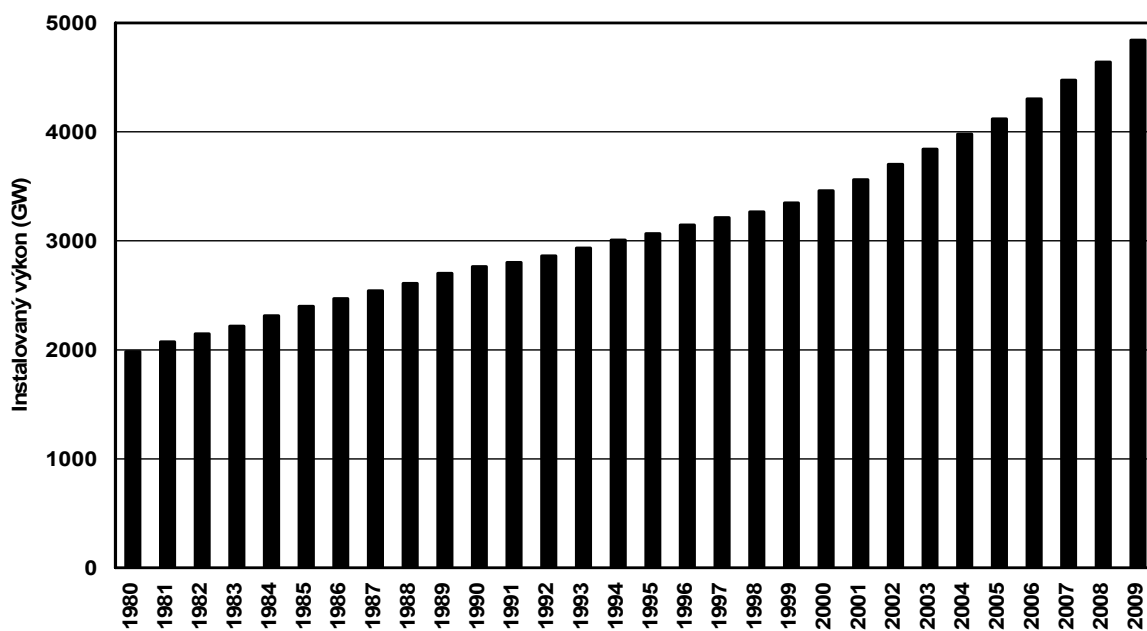
Na Obr.11-2 je uveden vývoj instalovaného elektrického výkonu u slunečních (fotovoltaických) elektráren. Nárůst v období 2009 až 2011 byl způsoben státní dotační politikou, kdy výkupní cena elektrické energie z těchto slunečních elektráren se pohybuje v rozmezí cca 6.50 ÷ 14.50 Kč/kWh v závislosti od data uvedení do provozu.



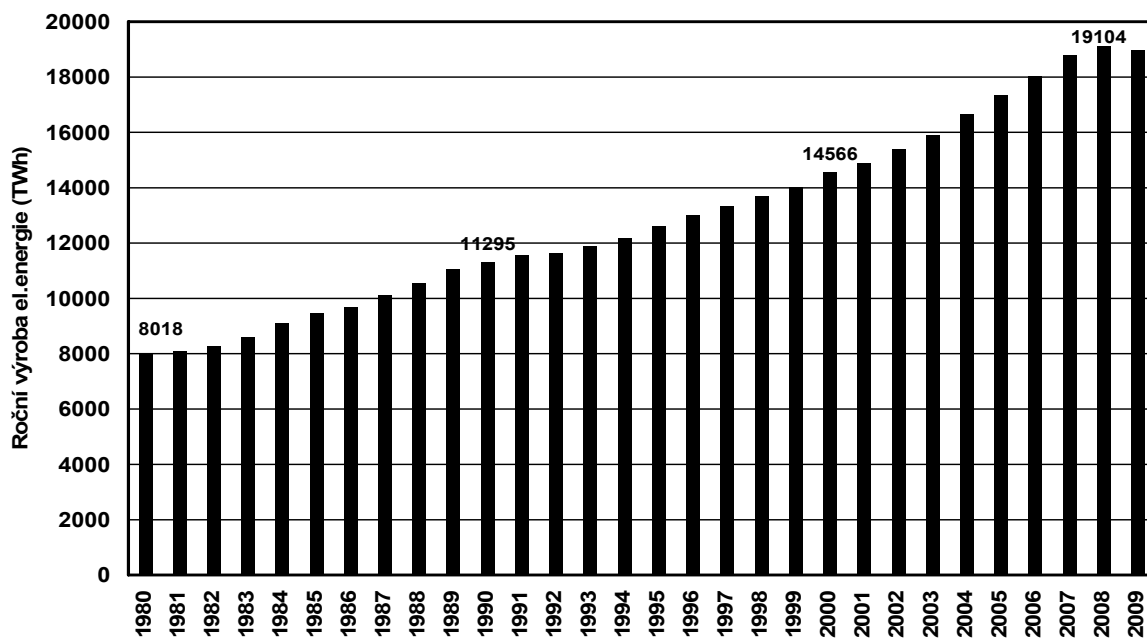
Obr.11-2 Vývoj instalovaného elektrického výkonu slunečních elektráren v ČR

11.2 Elektrická energie ve světě

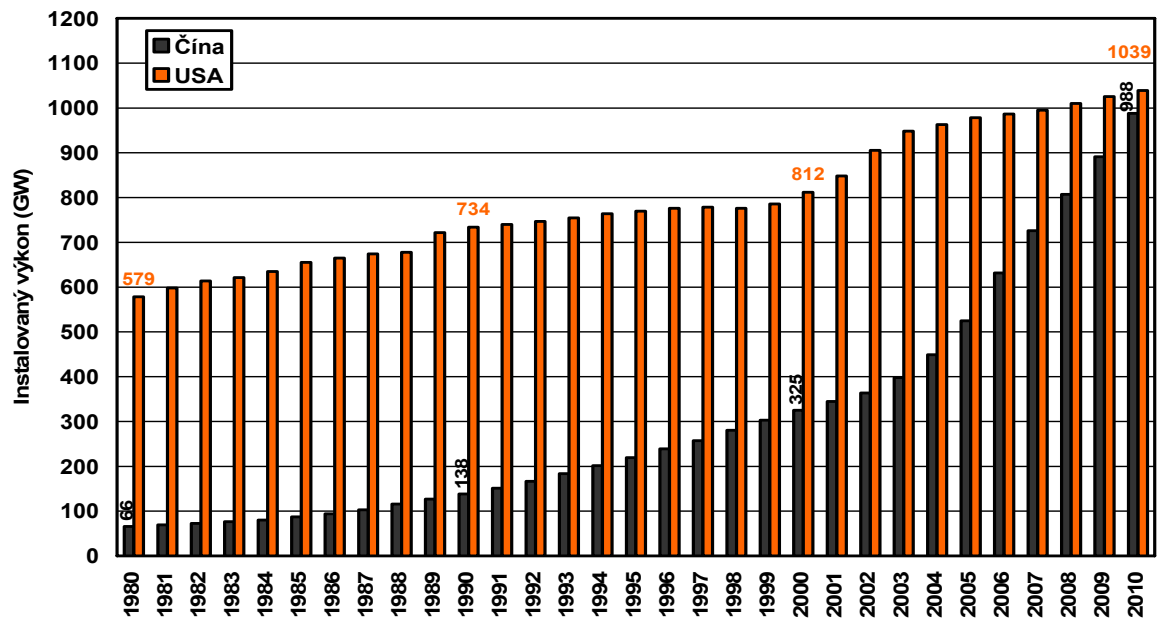
Vývoj výroby elektrické energie a vývoj kapacity instalovaného elektrického výkonu elektráren ve světě má v období 1980 ÷ 2010 je uveden na Obr. 11-3 a 11-4. Za uvedené období došlo k navýšení instalovaného výkonu téměř 2.5x. Od r.2000 je patrný strmější nárůst instalovaného výkonu, který je zejména způsoben obrovským nárůstem instalovaného výkonu v Číně. Tento nárůst instalovaného výkonu pro výrobu elektrické energie v Číně, společně s vývojem v USA, je uveden na Obr.11-5. V r.2000 byl instalovaný elektrický výkon v USA cca 2x větší než v Číně, ale v r.2010 byly instalované výkony v USA a Číně již přibližně stejné. V Číně došlo za uvedené období ke 3-násobnému navýšení instalovaného výkonu, z hodnoty 325 GW_{el} na hodnotu 988 MW_{el}.



Obr.11-3 Instalovaný elektrický výkon elektráren ve světě (1980 až 2009)



Obr.11-4 Roční výroba elektrické energie ve světě (1980 až 2009)



Obr.11-5 Instalovaný elektrický výkon elektráren USA a Číně (1980 až 2010)

Použitá literatura :

- [1] Kubín, M. : Energetika na prahu 21.století, Jihomoravská energetika, a.s., 2000
- [2] Noskievič, P., Kaminský, L. : Využití energetických zdrojů, 1.vydání, VŠB Ostrava, 1996
- [3] World Energy Outlook 2008 – Global Energy Trends to 2030, OECD/IEA, 2008
- [4] U.S. Energy Information Administration – International Energy Outlook 2011, EIA 2011
- [5] Key World Energy Statistics 2009, OECD/IEA, 2009
- [6] Schneider, M., Froggatt, A., Hazemann, J. :World Nuclear Industry Status Report 2012, Paris, London, July 2012
- [7] Zpráva- Nezávislá odborná komise pro posouzení energetických potřeb České republiky v dlouhodobém časovém horizontu : Verze k oponentuře, 30.9.2008
- [8] Balák, R. : Nové zdroje energie, 2.vydání, Praha, SNTL, 1989
- [9] Kolat, P. : Energetické centrály (Paroplynové cykly), Ostrava, VŠB, 1995
- [10] Krbek, J., Ochrana, L., Polesný B. : Průmyslová energetika, Brno, VUT, 1996
- [11] Černý, V. a kol. : Parní kotle, 1.vydání, Praha, SNTL, 1983
- [12] Kadrnožka, J. : Tepelné elektrárny a teplárny, Praha, SNTL, 1984
- [13] Roubíček, V., Buchtele, J. : Uhlí – zdroje, procesy, užití, Ostrava, Montanex, 2002
- [14] Hrdlička, F., Dlouhý, T., Kolovrátník, M.: Technicko ekonomické parametry moderních uhelných bloků, Praha, ČVUT, 2004
- [15] Wagner, V. : Reaktory IV generace aneb jak by mohla jaderná energetika vypadat zhruba za dvacet až čtyřicet let, ÚJF AVČR Řež a FJFI ČVUT Praha
- [15] <http://www.cez.cz>
- [16] <http://www.mpo.cz>
- [17] <http://www.oecd-nea.org>
- [18] <http://www.world-nuclear.org>
- [19] <http://cs.wikipedia.org>