

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Fakulta humanitních studií

Bakalářská práce

**SROVNÁNÍ VYBRANÝCH PARAMETRŮ
TECHNOLOGIÍ VYUŽÍVAJÍCÍCH OBNOVITELNÉ
ZDROJE ENERGIE S TECHNOLOGIEMI
VYUŽÍVAJÍCÍMI ZDROJE NEOBNOVITELNÉ**

Marek Špot

Vedoucí práce: Mgr. Miroslav Havránek

Praha 2008

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci vypracoval samostatně za přispění konzultací s vedoucím bakalářské práce a s použitím uvedené literatury, a souhlasím s jejím eventuálním zveřejněním v tištěné nebo elektronické podobě.

V Praze dne 14. května 2008

.....
podpis

Poděkování

Rád bych alespoň touto formou poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce, Mgr. Miroslavu Havránkovi, za odborné vedení, neboť bez něj by tato práce nevznikla. Dále chci vyjádřit vděčnost své rodině za velkou trpělivost a podporu. Nakonec děkuji paní Věře Matějovičové za obětavou pomoc při získávání údajů o elektrárnách ČEZ, a. s.

Anotace

Bakalářská práce „Srovnání vybraných parametrů technologií využívajících obnovitelné zdroje energie s technologiemi využívajícími zdroje neobnovitelné“ se na území České republiky snaží z několika úhlů pohledu vzájemně porovnat devět konkrétních elektráren různých technologických typů. Hodnocení vychází z grafického zobrazení ze tří úhlů pohledu (podle tzv. tří pilířů udržitelnosti), přičemž postupuje nejdříve podle technologických typů a posléze podle rozdělení na obnovitelné a neobnovitelné zdroje. Práce se však snaží dosažené výsledky nebrat absolutně, ale naopak je problematizovat a reflektovat možná zkreslení, plynoucí z převedení údajů do grafů. Jednotlivé parametry nelze pokládat za rovnocenné, avšak přesně určit vzájemnou hodnotu parametrů a tím zpřesnit dosažené výsledky by přesáhlo rámec této studie.

Summary

The bachelor thesis „Comparison of selected parameters of technologies utilizing renewable energy sources with technologies utilizing non-renewable energy sources“ compares from several points of view nine specific Czech power stations of various technologic types. The evaluation comes from three different graphical data representations (based on so-called three pillars of sustainability) and proceeds primarily in compliance with technologic types and secondarily by renewable/non-renewable sources distinction. However, attained results aren't considered final but are subjected to questioning and description of eventual distortions from data-graph conversion. Individual parameters are not to be considered as equal, nevertheless precise parameter value identification and thereby results improvement exceeds frame of this paper.

OBSAH

1. Úvod	9
2. Metodika	10
<u>2.1. Výběr elektráren</u>	11
<u>2.2. Popis parametrů</u>	13
<u>2.3. Popis metody srovnání a hodnocení elektráren</u>	15
3. Popis technologií z hlediska jejich principu fungování	17
<u>3.1. Tepelné elektrárny</u>	18
3.1.1. Princip tepelné elektrárny spalující uhlí	
<u>3.2. Jaderné elektrárny</u>	20
3.2.1. Princip jaderné elektrárny	
<u>3.3. Vodní elektrárny</u>	23
3.3.1. Princip vodní elektrárny	
3.3.2. Malé vodní elektrárny	
3.3.3. Přečerpávací vodní elektrárny	
<u>3.4. Elektrárny využívající biomasu</u>	26
3.4.1. Princip elektrárny využívající biomasu	
<u>3.5. Větrné elektrárny</u>	28
3.5.1. Princip větrné elektrárny	
<u>3.6. Sluneční elektrárny</u>	31
3.6.1. Princip sluneční elektrárny	
4. Vybrané elektrárny a jejich parametry	34
<u>4.1. Jaderná elektrárna Temelín</u>	34
4.1.1. Obecná charakteristika	
4.1.2. Sledované parametry - rok 2005	
<u>4.2. Jaderná elektrárna Dukovany</u>	35
4.2.1. Obecná charakteristika	
4.2.2. Sledované parametry - rok 2005	
<u>4.3. Elektrárna Dětmarovice</u>	36
4.3.1. Obecná charakteristika	
4.3.2. Sledované parametry - rok 2005	
<u>4.4. Elektrárna Tušimice II</u>	38
4.4.1. Obecná charakteristika	
4.4.2. Sledované parametry - rok 2005	
<u>4.5. Vodní elektrárna Orlík</u>	39
4.5.1. Obecná charakteristika	
4.5.2. Sledované parametry - rok 2005	
<u>4.6. Vodní elektrárna Mohelno</u>	40
4.6.1. Obecná charakteristika	
4.6.2. Sledované parametry - rok 2005	
<u>4.7. Ústřední čistírna odpadních vod v Praze</u>	41
4.7.1. Obecná charakteristika	
4.7.2. Sledované parametry - rok 2005	
<u>4.8. Větrná elektrárna Nová Ves v Horách</u>	42
4.8.1. Obecná charakteristika	
4.8.2. Sledované parametry - rok 2005	
<u>4.9. Fotovoltaická elektrárna na TU v Liberci</u>	43
4.9.1. Obecná charakteristika	

4.9.2. Sledované parametry - rok 2005	
5. Grafické znázornění parametrů elektráren a srovnání	44
<u>5.1. Ekonomický pilíř – přepoččet parametrů na kWh</u>	46
5.1.1. Instalovaný výkon a vytíženost	
5.1.2. Emise	
5.1.3. Plocha	
5.1.4. Životnost	
5.1.5. Externí náklady	
5.1.6. Interní náklady	
5.1.7. Počet zaměstnanců	
<u>5.2. Sociální pilíř – přepoččet parametrů na počet zaměstnanců</u>	54
5.2.1. Instalovaný výkon a dodávky elektrického proudu	
5.2.2. Plocha	
<u>5.3. Ekologický pilíř – přepoččet parametrů na hektar</u>	58
5.3.1. Instalovaný výkon, dodávky elektrického proudu a vytíženost	
5.3.2. Emise	
5.3.3. Externí a interní náklady	
<u>5.4. Souhrnné hodnocení</u>	62
6. Závěr	67
Seznam literatury	68

SEZNAM TABULEK A VYOBRAZENÍ

Obrázek 1 - Poměr instalovaných výkonů	13
Obrázek 2 - Struktura jmenovitého výkonu v ČR v roce 2005	17
Obrázek 3 - Struktura výroby elektřiny brutto v ES ČR v roce 2005	17
Obrázek 4 - Schéma tepelné elektrárny	20
Obrázek 5 - Princip uspořádání jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem	22
Obrázek 6 - Schéma akumulční VE	24
Obrázek 7 - Jedno z možných provedení MVE	25
Obrázek 8 - Schéma PVE Dlouhé Stráně	25
Obrázek 9 - Příklad technologického schématu ČOV	28
Obrázek 10 - Schéma větrné elektrárny	30
Obrázek 11 - Zapojení fotovoltaického systému	32
Obrázek 12 - Princip solárního článku	33
Obrázek 13 - Parametry zobrazené podle tabulky 4	47
Obrázek 14 - Parametry zobrazené podle tabulky 6	55
Obrázek 15 - Parametry zobrazené podle tabulky 8	59
Tabulka 1 - Struktura výroby elektřiny brutto v ES ČR v roce 2005	11
Tabulka 2 – Technologie zpracování a přípravy biomasy	26
Tabulka 3 – Údaje nanormované na 1 TWh	46
Tabulka 4 – Ranking parametrů podle tabulky 3	46
Tabulka 5 – Údaje nanormované na 1 zaměstnance	54
Tabulka 6 – Ranking parametrů podle tabulky 5	54
Tabulka 7 – Údaje nanormované na 1 ha	58
Tabulka 8 – Ranking parametrů podle tabulky 7	58

SEZNAM ZKRATEK

ABWR	Advanced Boiling Water Reactor (pokročilý varný reaktor)
ACR-1000	Advanced CANDU Reactor (zdokonalený CANDU reaktor)
AGR	Advanced Gas-cooled Reactor (pokročilý plynem chlazený reaktor)
BWR	Boiling Water Reactor (varný reaktor)
CANDU	Canada Deuterium Uranium Reactor (těžkovodní reaktor kanadského původu)
EPR	European Pressurized Reactor (Evropský tlakovodní reaktor)
ERU	Energetický regulační úřad
ES ČR	Elektrizační soustava České republiky
GJ	gigajoule
ha	hektar
IRZ	Integrovaný registr znečištění
JE	jaderné elektrárny
JEDU	Jaderná elektrárna Dukovany
JETE	Jaderná elektrárna Temelín
kW	kilowatt
kWh	kilowatthodina
m³	metr krychlový
MEŘO	metylester řepkového oleje
MVE	malé vodní elektrárny
MW	megawatt
MW_e	megawatt elektrický
MW_t	megawatt tepelný
MWh	megawatthodina
MPa	megapascal
PE	parní elektrárny
PPE	paroplynové elektrárny
PSE	plynové a spalovací elektrárny
PVE	přečerpávací vodní elektrárny
PWR	Pressurized Water Reactor (tlakovodní reaktor)
REZZO	Registr emisí a zdrojů znečišťování ovzduší
SLE	solární elektrárny
t	tuna
TU, TUL	Technická univerzita v Liberci
TW	terawatt
TWh	terawatthodina
ÚČOV	Ústřední čistírna odpadních vod
VE	vodní elektrárny
VTE	větrné elektrárny
VVER	Vodo-Vodjanyj Energetičeskij Reaktor (energetický lehkovodní tlakový reaktor)
WANO	World Association of Nuclear Operators (Světová asociace provozovatelů jaderných elektráren)
TSP	Total Suspended Particles (tuhé částice)

1. Úvod

Do seznamu materiálních zdrojů využívaných člověkem, mezi něž se počítá například úrodná půda či pitná voda, přibyla v poměrně nedávné době (podle měřítek západní civilizace) nová položka – elektrická energie. Je to ušlechtilá forma energie, „*kteřou můžeme vyprodukovat z kterékoli primární energie, což ji činí mimořádně adaptabilní na vývoj v zásobování*“.¹ Její spotřeba v celosvětovém měřítku stále roste, takže nelze než souhlasit s Václavem Baranem, jenž říká, že „*elektrický proud je pro moderní civilizaci totéž jako vzduch pro živočišný život*“.²

Elektrický proud je komoditou, která se dá vyrábět různými způsoby. Pokud si vezmeme za příklad Českou republiku, na níž se předkládaná práce zaměřuje, údaje za rok 2005 ukazují, že se elektrická energie vyráběla zejména v elektrárnách spalujících hnědé uhlí a v jaderných elektrárnách, nicméně nezanedbatelná byla i výroba v elektrárnách vodních. S odstupem pak následuje elektrická energie ze spalování biomasy, a nakonec produkce větrných a solárních elektráren³. Tyto druhy technologií jsou v předkládané práci na příkladu několika konkrétních elektráren podrobeny srovnání z hlediska vybraných parametrů. Měl by tak být sestaven jakýsi žebříček, jenž by udával kvalitu technologií, jejich celkovou hodnotu. Toto téma pokládám za zajímavé zejména vzhledem k množství protichůdných hlasů, jež se v souvislosti s touto problematikou ozývá.

Rozvržení práce je podrobně vysvětleno ve druhé kapitole. Třetí kapitola podává informace o palivových cyklech zkoumaných technologií, aby s nimi bylo možno dále v textu bez problémů pracovat. Ve čtvrté kapitole jsou představeny elektrárny a jejich parametry, s nimiž je v páté kapitole provedeno srovnání a hodnocení, z něž jsou posléze vyvozeny závěry.

¹ Bacher, P.: *Energie pro 21. století, HZ Editio, Praha 2002, s. 37.*

² Baran, V.: *Jaderná energetika a další problémy moderní civilizace, Academia, Praha 2002, s. 50.*

³ Chtěl bych upozornit, že se zde jedná o záměrné zjednodušení; v dalších kapitolách této práce bude mnohé upřesněno. K této problematice nicméně podává vyčerpávající výklad *Roční zpráva o provozu ES ČR 2005*, jíž vydal Energetický regulační úřad (dále jen ERÚ). Viz též Energetický regulační úřad [online]. Dostupné z: <http://www.eru.cz>.

2. Metodika

Cílem práce je srovnání vybraných energetických technologií na území ČR z hlediska několika indikátorů. V poslední době se pozornost v oblasti energetiky často upíná k trvale udržitelnému rozvoji a obnovitelným zdrojům energie. Tato práce definuje trvale udržitelný rozvoj jako „*komplexní soubor strategií, které umožňují pomocí ekonomických nástrojů a technologií uspokojovat sociální potřeby lidí, materiální i duchovní, při plném respektování environmentálních limitů.*“¹ Z této definice také vyrůstají tzv. tři pilíře udržitelnosti – ekonomický, sociální a ekologický. Z úhlu pohledu každého z pilířů se posléze budou posuzovat parametry vybraných elektráren². Obnovitelný zdroj je zde chápán jako „*zdroj energie, který člověk získává z prostředí na Zemi (i mimo ni) k uspokojování svých potřeb, přičemž rychlost spotřeby (užití, těžby) je nižší nebo rovna rychlosti přirozené obnovy.*“³ Pod obnovitelné zdroje tato práce zahrnuje jednak vodní, větrné, sluneční a geotermální elektrárny, jež jsou trvalými zdroji, jednak elektrárny využívající různých forem biomasy, jež je dostupná periodicky. Oproti tomu neobnovitelné zdroje jsou v této práci chápány jako zdroje, které jsou spotřebovávány rychleji, než se stačí obnovovat; hrozí tak jejich vyčerpání. Do této kategorie patří tepelné a jaderné elektrárny.

Všechna data se vztahují k roku 2005, protože dosud ještě nejsou k dispozici všechny potřebné údaje z následujících let (zejména emisní měření). Jsou tak použita nejnovější dostupná data, jež jsou užita k dosažení dobré vypovídací hodnoty o nynější situaci – předkládaná práce tedy neobsahuje výhled do budoucnosti. Technologie použité pro tuto práci byly zvoleny v závislosti na struktuře vyrobené elektrické energie v ČR za rok 2005. Největší podíl připadá parním (jinak též tepelným) elektrárnám. Za nimi v sestupném pořadí následují elektrárny jaderné, vodní, elektrárny spalující určitou formu biomasy, větrné a nakonec sluneční elektrárny (viz tabulka 1). Kogenerace není předmětem této práce, ačkoli k ní bude při hodnocení výsledků přihlédnuto. V této souvislosti je proto potřeba zdůraznit, že si tato práce samozřejmě neklade nároky být vyčerpávajícím pojednáním o energetické situaci v ČR, přesto doufá, že bude alespoň platným příspěvkem do diskuze o energetické politice.

¹ Rynda, I.: *Trvale udržitelný rozvoj a vzdělávání. In: Hledání odpovědi na výzvy současného světa. Centrum pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy, Praha 2000, s. 11.*

² Pilíře udržitelnosti a jejich význam pro tuto práci jsou blíže vysvětleny v 5. kapitole.

³ Braniš, M. a kol.: *Výkladový slovník vybraných termínů z oblasti ochrany životního prostředí a ekologie, Karolinum, Praha 1999, s. 27.*

	Výroba elektřiny brutto	Instalovaný výkon
	[GWh]	[MW _e]
PE		
spalováním černého uhlí	6 382,0	
spalováním hnědého uhlí	43 480,4	
spalováním biomasy	552,3	
spalováním olejů	236,4	
spalováním zemního plynu	313,1	
spalováním ostatních plynů	1 053,9	
Ostatní	119,1	
Celkem PE	52 137,2	10 663,8
PPE + PSE		
spalováním zemního plynu	784,0	
spalováním bioplynu	85,4	
spalováním ostatních plynů	1 779,1	
Ostatní	16,6	
Celkem PPE + PSE	2 665,1	800,4
VE		
VE < 1 MW _e	343,0	123,2
VE (1 - 10 MW _e)	727,7	153,5
VE > 10 MW _e	1 309,2	742,78
PVE	647,1	1 146,5
Celkem VE	3 027,0	2 166,0
JE	24 727,6	3 760,0
VTE	21,3	22,0
SLE	0,1	0,1
Celkem	82 578,5	17 412,2

Tabulka 1 - Struktura výroby elektřiny brutto v ES ČR v roce 2005 (zdroj: Energetický regulační úřad [online]¹)

2.1. Výběr elektráren

Vzhledem k rozsahu práce bylo možné vybrat ze všech v ČR provozovaných elektráren jen několik konkrétních. Bylo postupováno následovně:

Byly vybrány největší dostupné elektrárny z každého typu technologie², a sice proto, že vytváří větší část palivového mixu. Z toho následně plyne větší vypovídací hodnota získaných dat. Současně tím bylo umožněno vzájemné srovnání elektráren, jež jsou nejvýkonnějšími zástupci dané technologie. Toto pravidlo mělo dvě výjimky – se

¹ Dostupné z: http://www.eru.cz/rz_05/rz/index.htm.

² Typem technologie je v této souvislosti myšleno výše zmíněných šest technologických skupin.

zřetelem k porovnání s vodní elektrárnou Orlická byla vybrána MVE Mohelno a z důvodů stejného výkonu (800 MW_e) byla pro porovnání s Elektrárnou Dětmarovice vybrána Elektrárna Tušimice II (namísto Elektrárny Pruněrov II, jež je s výkonem 1050 MW_e největší tepelnou elektrárnou v ČR).

Pokud výběr zahrnul více elektráren stejné technologické skupiny (například tepelné elektrárny), mělo to svůj důvod v používaném palivu či určité technologické odlišnosti, která mohla mít vliv na výsledné parametry dané skupiny. Druhou motivací však byla i následná možnost vzájemně porovnat vybrané zástupce v rámci jedné skupiny, což bylo aplikováno jmenovitě v rámci tepelných a jaderných elektráren, dvou skupin s největším poměrným příspěvkem elektrické energie do ES ČR.

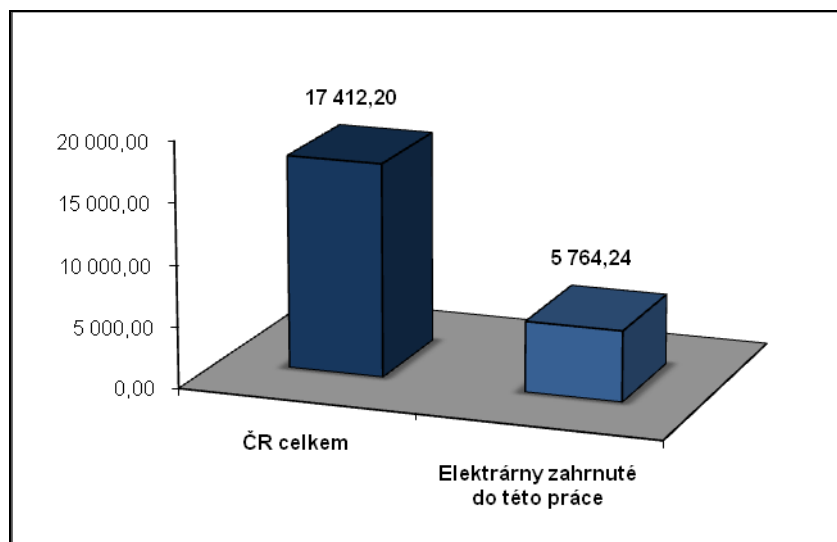
Je třeba zdůraznit, že přečerpávací vodní elektrárny byly z výběru záměrně vyřazeny, neboť i přes svůj nesporný význam v rámci ES ČR nevyhovují parametrům této práce. Nejsou totiž určeny k přímé výrobě elektrické energie, nýbrž jen k pokrytí její špičkové spotřeby, a z hlediska čistého přínosu elektrické energie do ES jsou ztrátové. Tato studie se nezabývá ani tepelnými elektrárnami s fluidními kotli, protože všechny bez výjimky spalují dva a více druhů paliv¹. Nemají tak, vzhledem k účelu práce, dostatečně vypovídající hodnotu zejména z hlediska emisních měření a s tím spojených externích nákladů. Co se týče kategorie paroplynových (PPE) a plynových a spalovacích (PSE) elektráren, z pohledu dodávek elektrické energie se sice jedná o poměrně významnou skupinu, která se však skládá z poměrně malých výrobních jednotek. Bylo nicméně nutné vybrat vhodnou elektrárnu využívající biomasu; z těchto důvodů se jako ideální ukázal výběr nejvýkonnější elektrárny spalující bioplyn.

Na základě výše uvedených předpokladů byla vybrána následující zařízení:

- Parní elektrárna - Tušimice II, Dětmarovice
- Jaderná elektrárna - Temelín, Dukovany
- Vodní elektrárna - Orlická, Mohelno
- Elektrárna využívající biomasu – Ústřední čistírna odpadních vod v Praze
- Větrná elektrárna – Nová Ves v Horách
- Solární elektrárna – TU v Liberci

¹ Podle údajů z REZZO Elektrárny Ledvice a Tisová spalují dřevní odpad a hnědé uhlí, Elektrárna Hodonín užívá jako palivo lignit, lehký topný olej, hnědé uhlí a jiná tuhá paliva. Poslední elektrárna s fluidní technologií v ČR, Elektrárna Poříčí, spaluje lehký topný olej, černé uhlí, dřevní odpad a jiná tuhá paliva. Ačkoli je možné, že hnědé uhlí je v těchto zařízeních zdaleka nejvíce zastoupeným palivem, přesto tu vyvstává mnoho otázek. Nehledě na to, že by bylo těžké porovnat takovou technologii s ostatními, které spalují jen jeden typ paliva, mluví proti jejich zahrnutí do této práce i to, že by bylo poměrně obtížné určit externí náklady.

Instalovaný výkon těchto vybraných zdrojů činí 1/3 instalovaného výkonu (přesněji 33,1 %) všech zařízení na výrobu elektrické energie na území ČR (viz obrázek 1).



Obrázek 1 - Poměr instalovaných výkonů (zdroj: Energetický regulační úřad [online]¹)

2.2. Popis parametrů

Parametry, podle nichž jsou srovnávány tyto elektrárny, byly zvoleny tak, aby dohromady poskytovaly celistvý pohled na problematiku a mohly tak co možná nejlépe vypovídat o potenciálním přínosu či naopak škodlivosti dané technologie pro člověka a životní prostředí. Mezi tyto parametry patří:

- ❑ Instalovaný výkon elektrárny
- ❑ Dodávky elektrického proudu
- ❑ Vytíženost elektrárny
- ❑ Emise vybraných látek - SO_x, NO_x, TSP, CO₂, CO
- ❑ Plocha
- ❑ Životnost technologie
- ❑ Externí náklady
- ❑ Interní náklady
- ❑ Počet zaměstnanců

Instalovaný výkon elektrárny udává, kolik elektrického proudu je v ideálním případě elektrárna schopna vyrobit během jedné hodiny. Pro instalovaný výkon a dodávky proudu byly použity publikace a internetové stránky Energetického regulačního úřadu (ERÚ), v několika případech se uplatnily i publikace a internetové stránky společnosti

¹ Dostupné z: http://www.eru.cz/rz_05/rz/index.htm.

ČEZ, a. s., v případě SLE TUL proběhla též telefonická konzultace s Ing. Skácelem a návštěva této elektrárny.

Vytíženost elektrárny zde znamená totéž, co tzv. ukazatel způsobilosti bloku. Tato hodnota byla vypočtena tak, že se nejdříve zjistila nejvyšší dosažitelná dodávka elektrického proudu¹. Skutečná dodávka elektrického proudu za rok 2005 pak byla porovnána s tímto číslem, čímž byla zjištěna procentuální vytíženost elektrárny. Všechny elektrárny byly porovnávány stejným způsobem (bez ohledu na jejich specifika – solární elektrárna nevyrábí proud v noci apod.).

Údaje emisí výše zmíněných látek byly čerpány z Registru emisí a zdrojů znečištění ovzduší (REZZO), který je provozován Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ). Pro jistotu byly tyto údaje ověřovány na internetových stránkách Integrovaného registru znečištění (IRZ), který je spravován Ministerstvem životního prostředí. V této práci jsou pro větší přehlednost emise udávány jen s přesností na jedno desetinné místo.

Termín emise znamená „*vypouštění nebo únik znečišťujících látek do prostředí*“². Do skupiny látek SO_x se počítá oxid siřičitý (SO_2) a oxid sírový (SO_3). Oxidy síry způsobovaly například tzv. smog londýnského typu, společně s oxidy dusíku též tvoří kyselé deště (poškození rostlin, půdy a budov, úhyn ryb). Jako skupina látek NO_x se označují oxid dusnatý (NO), oxid dusičitý (NO_2), oxid dusitý (N_2O_3), tetraoxid dusíku (N_2O_4) a oxid dusičitý (N_2O_5), ačkoli NO a NO_2 se vyskytují nejčastěji. Oxidy dusíku jsou součástí kyselých dešťů, mají podíl na tvorbě přízemního ozonu (poškození rostlin) a fotochemického smogu (dráždivý, toxický). Oxid dusnatý je skleníkovým plynem. TSP³ jsou v REZZO vedeny jako „tuhé částice“. Je to vzdušný aerosol, soubor tuhých, kapalných nebo směsných částic o velikosti 1 nm – 100 μm .⁴ Na zdraví živých organismů negativně působí hlavně skupina aerosolů, označovaná jako PM_x ⁵ – PM_{10} , $PM_{2,5}$, $PM_{1,0}$, kde je číslem označena velikost částic v μm . Oxid uhličitý (CO_2) rozhodující měrou přispívá ke vzniku skleníkového efektu. Oxid uhelnatý (CO) přispívá ke vzniku přízemního ozonu, navíc se tím, že se nakonec přemění na CO_2 , dá označit za skleníkový plyn. Projevuje se však také tím, že je toxický.

¹ Výpočet byl proveden jednoduše tak, že se instalovaný výkon elektrárny vynásobil počtem hodin v roce (rok 2005 nebyl přestupný, měl tudíž 8760 hodin).

² Braniš, M. a kol.: *Výkladový slovník vybraných termínů z oblasti ochrany životního prostředí a ekologie, Karolinum, Praha 1999, s. 14.*

³ TSP - Total Suspended Particles.

⁴ Jednotlivé druhy aerosolu se označují jako mlha, dým, kouř, smog atd.

⁵ PM - Particulate Matter.

Parametr „Plocha“ v této práci vyjadřuje zastavěnou, popřípadě jinak nezbytnou plochu pro přímý provoz elektrárny. V případě Ústřední čističky odpadních vod Praha, jaderných a tepelných elektráren proto vyjadřuje tento údaj celkovou rozlohu pozemku, u vodních elektráren se počítá rozloha přehrady spolu s rozlohou vodní plochy. V následujících oddílech textu je problematika plochy dále tematizována (ochranné pásmo u jaderných elektráren atd.). Plocha elektráren byla vypočítávána několika způsoby: dohledáním z dostupné literatury, z emailové korespondence a telefonických rozhovorů s provozovateli elektráren, případně i podle map PLANstudia, s.r.o.

Údaje pro životnost technologie, externí a interní náklady byly dohledány z dostupné literatury nebo z emailové korespondence s provozovateli elektráren. Externí náklady představují „všechny přímé a nepřímé ztráty třetích osob nebo společností jako důsledek neomezené antropogenní činnosti.“¹ Do externích nákladů jsou zde počítány zejména vlivy na lidské zdraví, na ostatní živé organismy a změny klimatu. Oproti tomu mezi interní náklady jsou zahrnuty investiční náklady (náklady na vybudování celého zařízení včetně výroby jednotlivých komponent), náklady na provoz a palivo. Oba dva druhy nákladů jsou v této práci uváděny v Kč / kWh poté, co byly převedeny z €c / kWh.²

Počet zaměstnanců elektrárny udává počet zaměstnanců se stálým pracovním úvazkem, který je vztažen k 31.12.2005, neboť je takto uchovávan ve výročních zprávách apod. Tento údaj byl zjišťován z emailové a telefonické komunikace se zaměstnanci či provozovateli elektráren, v několika případech též z publikací společnosti ČEZ, a. s.

2.3. Popis metody srovnání a hodnocení elektráren

Ve třech podkapitolách (podle tří pilířů udržitelnosti) budou porovnávány údaje z jednotlivých elektráren. Nejdříve se všechny údaje nanormují, tj. převedou na vzájemně porovnatelnou veličinu. Poté bude proveden ranking, jímž se získaným údajům přiřadí pořadí od „nejhorších“ po „nejlepší“. „Nejlepším“ tato práce chápe takový údaj, který je co nejvíce udržitelný, který tedy znamená co možná největší přínos pro lidskou společnost za co nejmenších škod na přírodním prostředí³. Například pokud budeme porovnávat instalovaný výkon elektrárny s její produkcí elektrické energie, pak čím menšího

¹ Kubín, M.: *Energetika. Perspektivy – strategie – inovace v kontextu evropského vývoje, Jihomoravská energetika, a. s., Křtiny, s. 40-41.*

² Pro převod € na Kč byl použit kurzovní lístek ČNB, kurz k 31.12.2005 (zdroj: SFinance [online]. Dostupné z: <http://www.sfinance.cz/osobni-finance/kurzovni-listky>).

³ Jednotlivé údaje se nicméně dají leckdy vykládat různě. Z toho plyne, že z určitého pohledu se dají cíle tří pilířů udržitelnosti chápat i jako protichůdné.

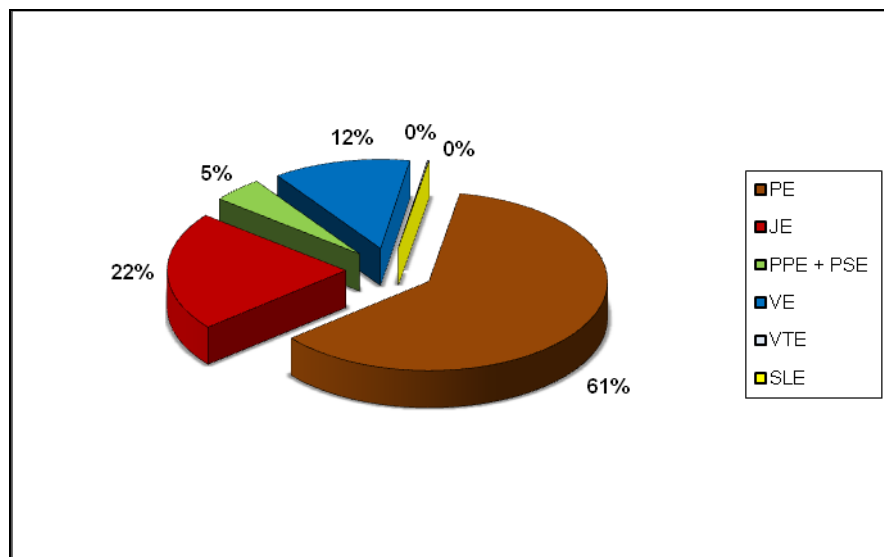
instalovaného výkonu bude třeba na produkci určitého množství vyrobené energie (např. 1 TWh), tím kvalitnější bude tento parametr. Ještě jasnější jsou emisní charakteristiky, kde platí jednoduchá úměra „čím méně, tím lépe“.¹

Nakonec se pořadí jednotlivých parametrů převede do grafického znázornění – do tří pavučinových grafů, v nichž budou reprezentovány ekonomický, sociální a ekologický rozměr udržitelnosti. Z těchto grafů pak bude vyplývat hodnocení jednotlivých technologických typů, potažmo i srovnání technologií využívajících obnovitelné zdroje energie s technologiemi využívajícími zdroje neobnovitelné.

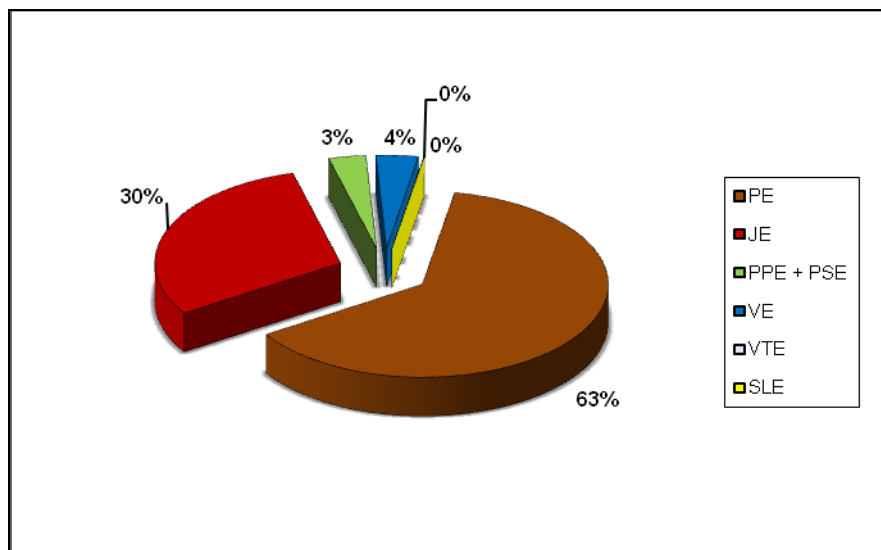
¹ Podrobněji viz 5. kapitola.

3. Popis technologií z hlediska jejich principu fungování

Tato kapitola obsahuje podrobnější popis procesu výroby elektrické energie u jednotlivých technologií, jimiž se zabývá tato práce. Následující kapitoly už budou automaticky počítat se znalostí zde uvedených informací; případně budou pouze odkazovat na tento oddíl. Pořadí palivových cyklů je zde určeno sestupně podle procentuálního zastoupení na výrobě elektrické energie v ČR.



Obrázek 2 - Struktura jmenovitého výkonu v ČR v roce 2005 (zdroj: Energetický regulační úřad [online]¹)



Obrázek 3 - Struktura výroby elektřiny brutto v ES ČR v roce 2005 (zdroj: Energetický regulační úřad [online]²)

¹ Dostupné z: http://www.eru.cz/rz_05/rz/index.htm.

² Dostupné z: http://www.eru.cz/rz_05/rz/index.htm.

3.1. Tepelné elektrárny

Termín tepelná elektrárna (jako synonymum zde někdy slouží termín parní elektrárna) je obvykle používán pro označení elektrárny spalující fosilní paliva ¹; v tomto smyslu bude tato práce daný termín též používat. Mezi tepelné elektrárny se nicméně řadí i elektrárny plynové. V principu je tepelnou elektrárnou i elektrárna jaderná či geotermální, ty se však mezi tepelné elektrárny nepočítají.

Klasické elektrárny se dělí na elektrárny kondenzační a na teplárny. Kondenzační elektrárny slouží pouze k výrobě elektřiny - veškerá pára přivedená do turbíny po vykonání práce zkondenzuje na vodu v kondenzátoru. Teplárny, narozdíl od kondenzačních elektráren, dodávají kromě elektrické energie i energii tepelnou na vytápění, ohřev vody apod. (horká pára je z turbíny vedena k tepelným spotřebičům). Výhodou tepláren je vyšší hospodárnost, nevýhodou zase skutečnost, že elektrický výkon je závislý na okamžitém odběru páry spotřebiteli. Mezi negativa nicméně patří i to, že teplárny lze budovat jen v místech koncentrovanější spotřeby tepla (mj. kvůli ztrátám při vedení tepla).

Tepelná elektrárna se často skládá z několika výrobních bloků. Elektrárenský výrobní blok je samostatnou jednotkou skládající se z kotle, navazující turbíny a příslušenství, z generátoru, odlučovačů popílku, chladicí věže a blokového transformátoru. Společná je celé elektrárně správní budova, uhelné a vodní hospodářství, komín a elektrická síť za blokovými transformátory. V ČR se nacházejí uhelné elektrárny zejména s bloky 200 MW (elektrárny Tušimice II, Počerady, Pruněšov II, Chvaletice a Dětmarovice), nicméně je tu i Elektrárna Mělník (Mělník III) s výrobním blokem 500 MW.

Současná uhelná elektrárna potřebuje na vyrobení 1 MWh asi 1 tunu uhlí, takže velmi přibližně lze říci, že 200 MW blok spotřebuje 200 tun uhlí za hodinu. Proto je velice výhodné, aby elektrárna stála co nejbližší zdroji paliva. Do elektrárny se pak dá dodávat uhlí přímo z dolu pásovými dopravníky. V jiném případě se musí dopravovat po železnici. Průměrná uhelná elektrárna tak spotřebuje denně zhruba deset vlaků uhlí po třiceti vagónech. Mimo klasického práškového spalování již existuje v současné době například i fluidní technologie, které se však hodí jen pro malé a střední výkony (fluidní kotle v ČR používají elektrárny Tisová, Ledvice, Hodonín a Poříčí). ²

¹ Jako fosilní paliva se označují suroviny, které vznikaly stovky miliónů let složitou přeměnou odumřelých rostlin a živočichů. Dělí se podle skupenství na tuhá (rašelina, uhlí, koks), kapalná (ropa a její produkty) a plyná (zemní plyn nebo uměle vyrobené plyny z fosilních paliv).

² Možné směry dalšího vývoje podrobně pojednává např. *Augusta, P. a kol.: Velká kniha o energii, L.A. Consulting Agency, Praha 2001, s. 168-177.*

3.1.1. Princip tepelné elektrárny spalující uhlí

Proces výroby elektrické energie začíná tím, že uhlí putuje do elektrárny. Poté se uhlí drtí v uhelných mlýnech na prášek se zrnky o velikosti pod 0,5 mm, suší se a předehřívá horkým vzduchem nasávaným z prostoru nad kotlem. Směs prášku a horkého vzduchu se pak ventilátorem vhání do hořáků, ústících do spalovací komory kotle; plameny přitom ošlehávají varné trubky, které procházejí kotlem. Varnými trubkami dodávají napájecí čerpadla chemicky upravenou vodu (zejména zbavenou minerálních složek), jež se nejprve předehřeje v ekonomizéru, poté vstupuje do výparníku, kde se mění na páru. Vzniklá tzv. sytá pára však obsahuje příliš málo energie, je proto dále ohřívána spalinami v přehřívácích na teplotu sahající až k 550 °C. Tato tzv. ostrá pára je pak pod tlakem téměř 18 MPa vedena parovodem nejdříve do vysokotlaké části parní turbíny, kde předá první část energie tak, že roztáčí lopatky rotoru turbíny, čímž se získává střídavý elektrický proud. Pak se pára vede zpět do přehříváku v kotli k mezipřehřátí, při kterém se opět zvýší její teplota. Následně se zavede do střednětlaké a pak nízkotlaké části turbíny.

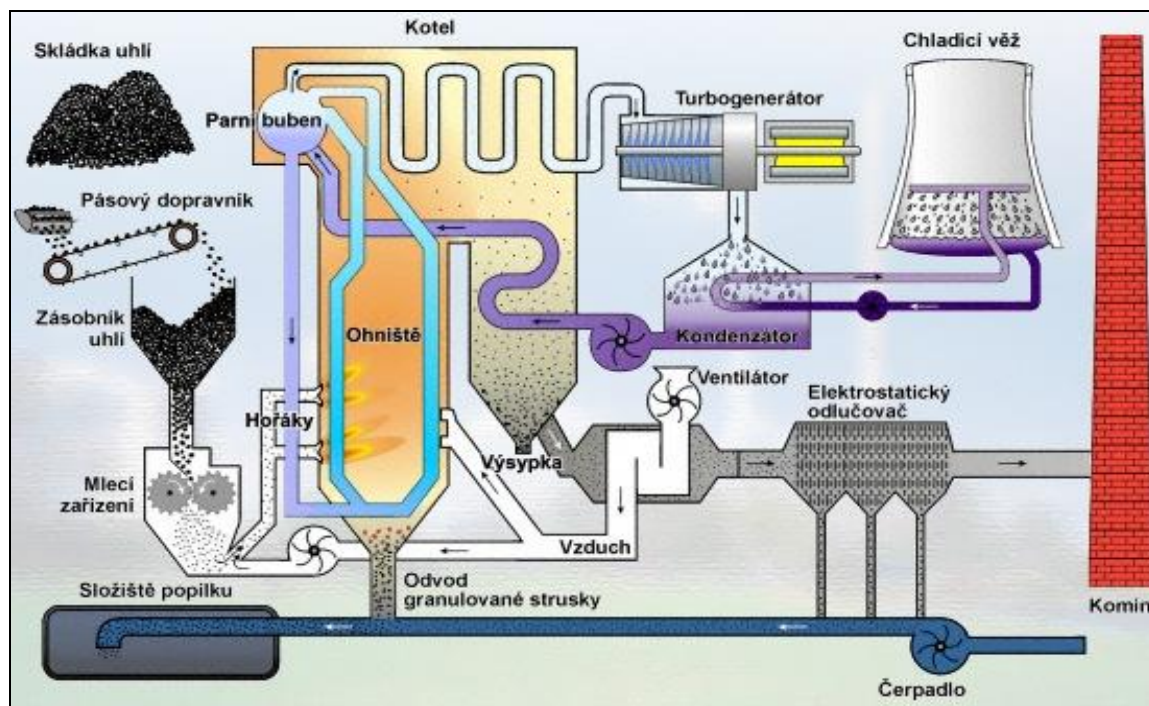
Elektrická energie se vyrábí (přesněji řečeno přeměňuje z mechanické energie na elektrickou) třífázovým synchronním alternátorem složeným ze statoru a rotoru. Hřídel alternátoru je připojena ke hřídeli turbíny (společně tvoří turbosoustrojí); výkon alternátoru se proto dá regulovat množstvím páry přiváděným do turbíny. Elektřina se poté odvádí do blokového transformátoru a transformuje se na velmi vysoké napětí (400 kV) – při vedení totiž dochází k menším ztrátám. Z blokového transformátoru se nakonec odvádí venkovním vedením do rozvodné sítě.

Když pára odevzdá využitelnou energii, sráží se v kondenzátoru a vrací se zpět do kotle, kde celý proces začíná znovu. Ke kondenzaci každé tuny páry je přitom zapotřebí přibližně sedmdesátkrát větší množství studené vody. Protože tolik jí nebývá k dispozici, musí být chladicí systém uzavřený přes chladicí věže, kde se ohřátá voda rozstříkáním ochlazuje vzduchem a vrací se do kondenzátoru. Část vody se nicméně odpařuje, proto musí být stále doplňována.

Spaliny z kotle projdou přes rotační ohříváč, který jim odebere část tepla a poté jsou odsávány přes několikadílné filtry, které zachytí až 99,8 % TSP neboli tuhých částic¹.

¹ TSP (total suspended particles) neboli tuhé částice jsou drobné pevné částice obsažené v ovzduší, zčásti přirozené (pylová zrna, prach atd.), ale větší část pochází z lidské činnosti (kouř ze spalování paliv, nebezpečné kovy atd.).

Zbylé kouřové plyny o teplotě přibližně 150 °C se ve vnějším okruhu odvádějí z elektrárny do řeky či prostřednictvím chladicích věží do ovzduší.



Obrázek 4 – Schéma tepelné elektrárny (zdroj: Simopt [online], Encyklopedie energie ¹)

3.2. Jaderné elektrárny

Jadernou energii lze generovat dvěma zásadně odlišnými způsoby. Prvním je jaderné štěpení těžkých jader, druhým je jaderná fúze (neboli splývání) jader lehkých. K jaderné fúzi dochází na Slunci. Fúzní reaktory by v budoucnu tento proces měly napodobovat a tím zajistit prakticky nekonečnou zásobu energie. K praktické využitelnosti této technologie však bude třeba ještě velkého výzkumného úsilí a značných investic.

V současnosti proto pracují všechny jaderné elektrárny na bázi jaderného štěpení, přičemž se dají rozlišit tři generace jaderných reaktorů. Reaktory I. generace byly postaveny zhruba do roku 1965; jednalo se o prototypy o výkonu desítek až stovek MW_e. Už však byly zastaveny a často i demontovány. Jako II. generace se označují reaktory stavěné zejména v 70. a 80. letech 20. století, jež se používají dodnes – reaktor lehkovodní (sem patří tlakovodní PWR a varný BWR), těžkovodní CANDU a plynem chlazený AGR. Do III. generace pak patří zdokonalené lehkovodní a těžkovodní reaktory, např. varný ABWR, jež jsou stavěny víceméně dodnes. Někdy se jako generace III+ označují dále vylepšené reaktory (ACR-1000, EPR atd.), jež by mohly být provozovány zhruba od roku

¹ Dostupné z: <http://www.simopt.cz/free-download-cz.html>.

2010. V budoucnu, kolem roku 2030, by pak měly začít fungovat reaktory IV. generace, jež budou 50-100krát hospodárnější.¹

Na bázi jaderného štěpení můžeme rozlišit dva druhy reaktorů – reaktory termální a rychlé. Zatím převládají reaktory termální, jejich elektřina je totiž lacinější. Pracují s neutrony zpomalenými pomocí moderátorů; fungují na principu rozptýlení energie neutronů četnými odrazy o jiné atomy, proto první podmínkou dobrého moderátoru je co nejmenší absorpce neutronů v celém rozsahu jejich energií. Naproti tomu rychlé reaktory moderátor neobsahují, protože štěpnou reakci lze udržet i bez zpomalení neutronů. Přestože rychlé reaktory používají stejných, nemoderovaných neutronů, jaké se uplatní v atomové bombě, nemohou reaktory vybuchnout, protože to není pouze otázka energií neutronů, nýbrž především značné převahy nadkritického množství silně obohaceného paliva, které v jaderných reaktorech záměrně není. Rychlé reaktory dosahují asi šedesátkrát lepšího využití zásob uranu, což může hrát důležitou roli při rozhodování o budoucím směřování nejen české, ale i globální energetiky.

Nejčastějším palivem je uran, zejména díky svým vlastnostem a poměrně hojnému výskytu. Přírodní uran se extrahuje z uranové rudy a následně se obohacuje o uran U^{235} . Potom je převeden na oxid uraničitý, který se zpracovává do tablet, a z nich jsou nakonec zhotoveny palivové tyče². Stupni obohacení odpovídají moderátory – pro přírodní uran to musí být grafit nebo těžká voda (D_2O), pro obohacený uran (nebo směsi neštěpného uranu a štěpného plutonia) to může být i normální, tzv. lehká voda (H_2O), která současně může sloužit jako teplosměnné médium, jímž mohou být i plyny (oxid uhličitý, helium).³

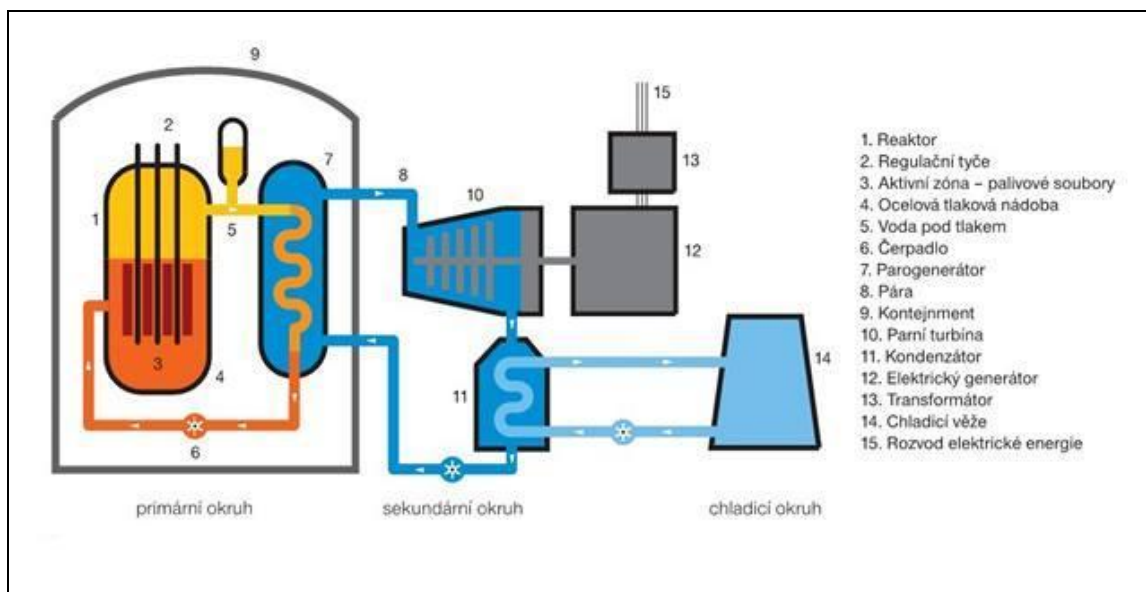
3.2.1. Princip jaderné elektrárny

Jaderná elektrárna funguje na stejném principu jako elektrárna uhelná, u obou typů se totiž elektrická energie vyrábí v generátoru poháněném parní turbínou. V uhelné elektrárně ale vzniká teplo k vytvoření páry spalováním uhlí, kdežto v jaderné elektrárně vzniká řízenou reakcí při štěpení jader uranu.

¹ Více o navrhovaných reaktorových systémech IV. generace viz např. *Comby, B.: Environmentalisté pro jadernou energii, Pragma, Praha 2007, s. 278-280*. O jaderných elektrárnách III+ a IV. generace podrobně pojednává též *Kubín, M.: Energetika. Perspektivy – strategie – inovace v kontextu evropského vývoje, Jihomoravská energetika, a. s., Křtiny, s. 239-244*.

² Tyto informace se týkají převládajících druhů reaktorů, tlakovodních (PWR) a varných (BWR), nicméně existují i jiné typy.

³ Lehkou vodou jsou moderované a chlazené tzv. lehkovodní reaktory, jež se dále dělí na tlakové a varné.



Obrázek 5 – Princip uspořádání jaderné elektrárny s tlakovodním reaktorem (zdroj: Technet.cz [online]¹).

Jaderná elektrárna se skládá ze tří oddělených okruhů (viz obrázek 5). Do primárního okruhu patří reaktor obklopený vodou, která putuje pod velkým tlakem (v MPa) a s vysokou teplotou (přes 300°C) potrubím primárního okruhu. I přes takto vysokou teplotu se jedná o kapalnou vodu (kvůli obrovskému tlaku zvyšujícímu teplotu varu). Tato voda je radioaktivní. Primární okruh je v moderních jaderných elektrárnách uzavřen containmentem, což je železobetonová schránka s tloušťkou několik desítek centimetrů, která je navíc zevnitř vyztužená silnými ocelovými lany. Containment je záměrně dimenzován, aby bez větší újmy přestál i přímý střet s letadlem. Teplo vytvořené v reaktoru odvádí voda primárního okruhu do tepelného výměníku (neboli parogenerátoru), kde má počátek sekundární okruh. Parogenerátor se dá zjednodušeně popsat jako nádoba naplněná vodou, kterou prochází potrubí primárního okruhu. Tepelná výměna tedy probíhá jen přes potrubí - voda v sekundárním okruhu již z tohoto důvodu není radioaktivní. V sekundárním okruhu také už není takový tlak jako v primárním, proto se voda v parogenerátoru ihned mění v páru, jež je sekundárním okruhem vedena na turbínu (ta se kvůli lepšímu využití páry dělí na vysokotlakou a nízkotlakou část), kterou roztáčí. Turbína pak pohání generátor elektrické energie neboli alternátor, v němž se mechanická energie rotace turbíny přeměňuje na elektrickou energii. Pára poté pokračuje do kondenzátoru - tudy prochází potrubí terciárního okruhu, v němž proudí studená voda.

¹ Dostupné z: http://technet.idnes.cz/exkluzivni-fotoreportaz-z-modernizace-jadern-elektrarny-temelin-1fb-/tec_reportaze.asp?c=A070827_101055_tec_reportaze_rja.

Tím se pára sekundárního okruhu ochlazuje a posléze kapalní, načež se vrací do parogenerátoru. Ani v kondensátoru nedochází k přímému kontaktu, ne však z důvodu radiace (tu už neobsahuje ani sekundární okruh), nýbrž proto, že v sekundárním okruhu je technická voda, voda chemicky upravená takovým způsobem, aby měla co nejlepší vlastnosti. Potrubí terciárního okruhu nakonec vede z kondenzátoru do chladicích věží. V nich je voda terciárního okruhu zpětně ochlazována. Jediná voda, která je vypouštěna z věží do ovzduší ve formě vodní páry, pochází z terciárního okruhu, a tudíž není radioaktivní.

3.3. Vodní elektrárny

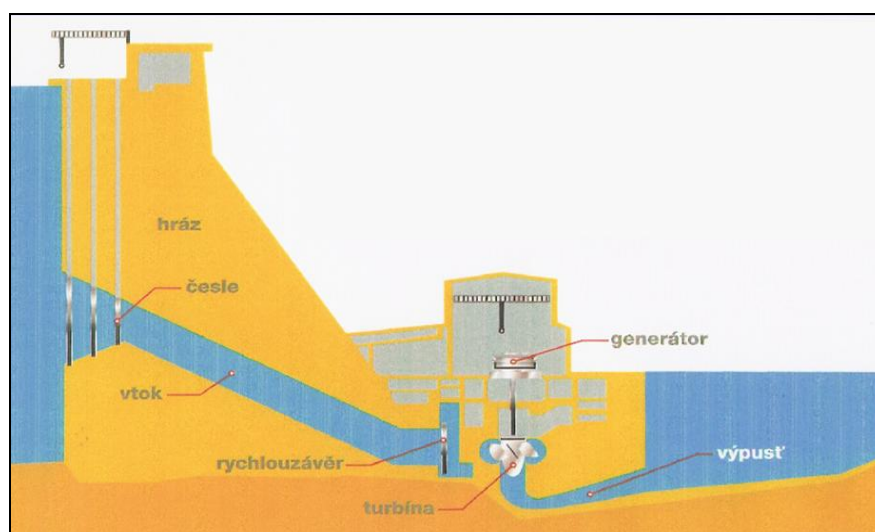
Energie vodních toků se využívá pro výrobu elektřiny především v oblastech prudkých toků s velkými spády. Dvěma hlavními parametry tu tedy jsou spád (výškový rozdíl vodních hladin) a průtok (průtočné množství vody). V ČR nejsou přírodní poměry pro budování vodních energetických děl ideální, protože naše toky nemají potřebný spád ani dostatečné množství vody. Proto je podíl výroby elektrické energie ve vodních elektrárnách na celkové výrobě v ČR poměrně nízký, a to i přesto, že se energeticky využívají již asi dvě třetiny říčních toků. Jedná se samozřejmě o nejvýhodnější lokality, zbylá třetina většinou disponuje nízkými či extrémně nízkými spády. Hlavně z tohoto důvodu již na území ČR není pravděpodobná výstavba dalších velkých vodních elektráren. Místo nich se dostávají ke slovu malé vodní elektrárny, kde je možné, za předpokladu určitých investic, dosáhnout ještě jistého zvýšení produkce elektrické energie. Mimo dělení podle velikosti můžeme vodní elektrárny dělit i podle umístění (hrázové, jezové, podzemní atd.), podle ovlivňování toku (akumulační - akumulují vodu v nádrži, průtočné – vodu nezadržují), apod.

Obdobný princip výroby elektrické energie jako vodní elektrárna využívá i uhelná nebo jaderná elektrárna, vodní elektrárna má přesto svá specifika, například je tu velmi důležitá otázka výběru turbíny. Vodní turbíny jsou technicky nejdokonalejší mechanické motory vůbec – dosahují až 95% účinnosti. Výběr turbíny závisí na účelu a podmínkách celého vodního díla. Nejčastěji se osazují turbíny reakčního typu (Francisova nebo Kaplanova turbína), a to v řadě modifikací. Pro vysoké spády (někdy až 500 m) se používá akční Peltonova turbína. V přečerpávacích vodních elektrárnách se používá turbín s reverzním chodem a s přestavitelnými lopatkami. V malých vodních elektrárnách se převážně uplatňuje malá horizontální turbína Bánkiho či upravená Francisova turbína.

Podle způsobu práce se turbíny dají dělit na rovnotlaké a přetlakové. V rovnotlakých turbínách zůstává tlak vody stále stejný - voda vychází z turbíny pod stejným tlakem, pod jakým do ní vstupuje. U přetlakových turbín vstupuje voda do oběžného kola s přetlakem, při průtoku turbínou ale tlak klesá. Tak pracují např. Francisovy turbíny, vhodné pro střední spády. Pro malé výkony na malých spádech jsou vhodné horizontální turbíny, pro malé spády a velké výkony se stavějí turbíny vertikální. Vývoj turbín ale stále probíhá (viz nová, vírová turbína).¹

3.3.1. Princip vodní elektrárny

Vodní elektrárnu mohou mimo jiné spoluvytvářet i vzdouvací zařízení (hráze či jezy), která zadržují vodu. Jezy (oproti hrázím) zadržují daleko méně vody a mají nižší výšku vzduť. Mezi další součásti vodního díla patří přivaděče, které „koncentrují spád do místa instalace vodní turbíny“. ² Dají se rozlišit přivaděče beztlakové a tlakové. Česle pak zabraňují vnikání vodou unášených nečistot do turbíny; jedná se o ocelovou mříž. Většinou má vodní elektrárna dva druhy česlí – hrubé a jemné. Poté, co voda projde česlemi, dostane se do strojovny, kde je umístěno strojní a elektrotechnické zařízení elektrárny. Protékající voda zde roztáčí turbínu; ta je na společné hřídeli s elektrickým generátorem (dohromady tvoří turbogenerátor). Mechanická energie proudící vody se tak promění na energii elektrickou, která se transformuje a poté odvede do sítě. Odpadní kanály nakonec vracejí vodu do původního koryta.



Obrázek 6 – Schéma akumulční VE (zdroj: Vodní elektrárny [online]³)

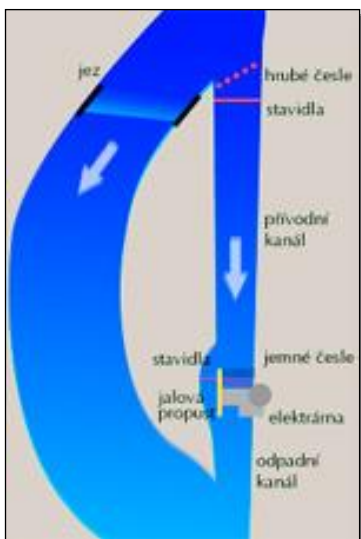
¹ Podrobněji k rozlišení vodních elektráren a jejich technologie viz např. *Kol. autorů, Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice, ČEZ, Praha 2007, s. 52-53 a 61-62.*

² *Beranovský J., Truxa J.: Alternativní energie pro váš dům, ERA, Brno 2004, s. 74.*

³ Dostupné z: <http://www.elektrarny.xf.cz/akumulacni.php>.

3.3.2. Malé vodní elektrárny

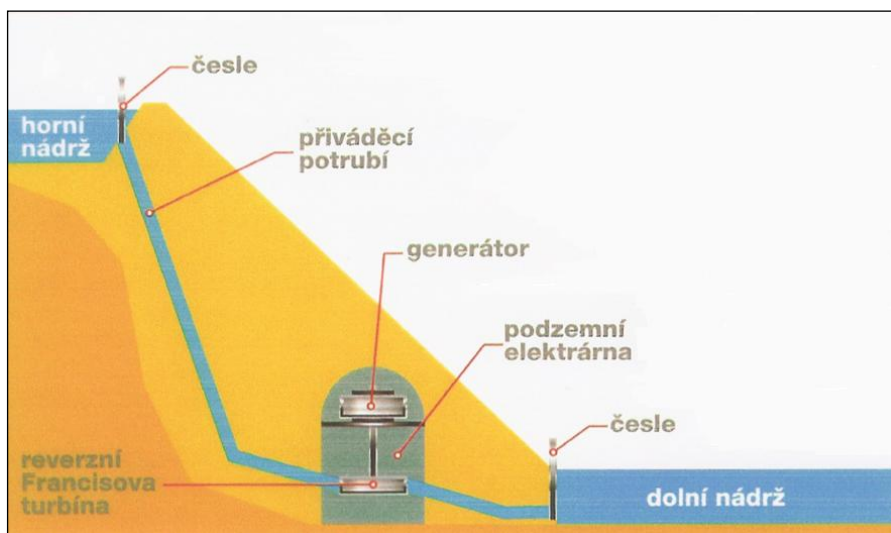
K využití potenciálu vodních toků v ČR slouží i kategorie tzv. malých vodních elektráren (dále jen MVE) – jedná se o zdroje elektrické energie s instalovaným výkonem do 10 MW. Většina MVE neslouží jako stálé zdroje, neboť průtoky toků, na nichž jsou vystavěny, jsou kolísavé a silně závislé na počasí a ročním období. Faktem též je, že z celkového počtu MVE v ČR (asi 1350) má přes 60% zastaralou technologii z let 1920 až 1950, která má účinnost o 10 až 20% nižší, než moderní technologie.¹



Obrázek 7 – Jedno z možných provedení MVE - v tomto případě derivační MVE. Narovnáním toku se zvýší jeho síla a současně výkon elektrárny (zdroj: TvojDom.sk [online]²).

3.3.3. Přečerpávací vodní elektrárny

Ačkoli se tato práce přečerpávacími elektrárnami (dále jen PVE) nezabývá, je nutné se o nich alespoň krátce zmínit. Zjednodušeně řečeno jde o soustavu dvou nádrží. Voda



Obrázek 8 – Schéma PVE Dlouhé Stráně (zdroj: Vodní energie [online]³)

¹ Kol. autorů, *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice*, ČEZ, Praha 2007, s. 78.

² Dostupné z: <http://www.tvojdome.sk/dom-stavba/stavba-rekonstrukcia/urcite-nejen-kvuli-vodnim-elektrarnam-vysychaji.aspx>.

³ Dostupné z: <http://www.elektrarny.xf.cz/precerpavaci.php>.

vypouštěná spádem z horní nádrže vyrábí elektrickou energii pro pokrytí špičkové spotřeby nebo v případě přerušení dodávek z jiných zdrojů. Mimo špičku se zase voda přečerpává z dolní nádrže zpět. Předností PVE je schopnost přifázování¹ do elektrifikační sítě s plným výkonem v několika minutách. Tato schopnost je nicméně vlastní všem vodním elektrárnám.

3.4. Elektrárny využívající biomasu

Jako biomasa se označuje „*biologicky rozložitelná část výrobků, odpadů a zbytků ze zemědělství, lesnictví a souvisejících průmyslových odvětví, dále zemědělské produkty cíleně pěstované pro energetické účely a také biologicky rozložitelná část průmyslového a komunálního odpadu.*“² Charakteristické vlastnosti biomasy jsou velmi rozdílné, každá technologie na její využití přitom vyžaduje specifické vlastnosti biomasy, jako je obsah vlhkosti, výhřevnost, soudržnost částic, obsah popelovin atd. Biomasa se skládá z prchavé hořlaviny³, popelu a vody; při spalovacím procesu je důležitý obsah hořlaviny a způsob jejího uvolňování, neboť množství hořlaviny udává výhřevnost paliva. Podle její fyzikální podstaty lze biomasu dělit na tuhou, kapalnou a plynnou. Existuje mnoho různých technologií pro zpracování biomasy; vzhledem k tomu, že jedním z důležitých faktorů ovlivňujícím zpracování biomasy je podíl vody a sušiny, lze tyto technologie rozdělit do několika skupin (viz tabulka 2).

1. Termochemická přeměna - suché procesy ⁴	Spalování Pyrolýza (produkce plynu, pyrolýzní oleje) Zplyňování (produkce plynu)
2. Biochemická přeměna - mokré procesy	Anaerobní vyhnívání, metanové kvašení (produkce bioplynu) Fermentace, alkoholové kvašení (produkce etanolu)
3. Mechanicko-chemická přeměna	Lisování olejů (výroba kapalných paliv, oleje) Esterifikace surových bioolejů (výroba bionafty a přírodních maziv) Štípání, drcení, peletace, lisování, mletí (výroba pevných paliv)

Tabulka 2 – Technologie zpracování a přípravy biomasy (zdroj: Beranovský, J., Truxa, J.: Alternativní energie pro váš dům, ERA, Brno 2004, s. 49.)

¹ Přifázování znamená připojení generátoru elektrárny do elektrické sítě. Kmitočet všech tří fází generátoru přitom musí být shodný ve všech parametrech s kmitočtem v elektrické síti.

² Kol. autorů, *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice*, ČEZ, Praha 2007, s. 113.

³ Hořlavinou se zde rozumí organická část bez popelovin a vody, neboli směs hořlavých uhlovodíků – celulózy, hemicelulózy a ligninu.

⁴ Za teoretickou hranici mezi mokrymi a suchými procesy je považováno 50 % sušiny.

Podle obsahu vody pak můžeme biomasu rozlišit na tři skupiny:

1. Suchá biomasa - zejména dřevo a dřevní odpady, sláma a další suché zbytky z pěstování zemědělských plodin. Lze ji spalovat přímo, případně po dosušení.
2. Mokrý biomasa - zejména tekuté odpady jako kejda a další odpady ze živočišné výroby a tekuté komunální odpady. Nelze ji spalovat přímo, využívá se zejména v bioplynových technologiích.
3. Speciální biomasa - olejiny, škrobové a cukernaté plodiny. Využívají se ve speciálních technologiích k získání energetických látek, zejména bionafty a lihu.

Suchá biomasa při spalování z velké části zplyňuje. Uvolňují se hořlavé složky, které ale mají různé spalovací teploty, proto často hoří jen část paliva. Pyrolýzou se rozumí „*termický rozklad organických látek na nízkomolekulární sloučeniny*“. ¹ V závislosti na požadovaných výsledných produktech (topný plyn, olej) může probíhat při různých tlacích a teplotách. Při zplyňování zase probíhá nejdříve sušení, posléze pyrolýza, přičemž vzniká plyn, plynné dehty, oleje a zbytkové dřevěné uhlí, a nakonec samotné zplyňování neboli částečná oxidace pevného dřevěného uhlí, pyrolýza vzniklých dehtů a plynů.

Při anaerobní fermentaci dochází v nádržích bez přístupu kyslíku k rozkládání organických látek na látky anorganické a bioplyn². Podle množství sušiny v biomase se uplatňuje buď proces mokré či suché fermentace. Bioplyn lze získávat i ze skládek komunálního odpadu a čistíren odpadních vod. Při fermentaci roztoků cukrů (z různých druhů ovoce nebo zeleniny) vzniká bioetanol, alkohol, který se posléze destiluje; slouží jako palivo pro spalovací motory.

Při esterifikaci se olej vylisovaný z řepkového semene působením vysokých teplot a katalyzátorů mění na MEŘO³, který se označuje jako tzv. bionafta první generace. Kvůli konkurenceschopnosti s běžnou motorovou naftou se pak mísí s určitými ropnými produkty; vzniká tak tzv. bionafta druhé generace.

Optimálním řešením s maximálním využitím energie biomasy je kogenerace, která zaručuje nejvyšší účinnost a úsporu paliva okolo 20–30 % oproti oddělené výrobě elektrické energie a tepla. Zatím prakticky jedinou formou výroby elektrické energie v ČR je spalování biomasy v soustrojí parní turbíny. Její výhodou je přitom zejména probádanost a technologické zvládnutí.

¹ Beranovský, J., Truxa, J.: *Alternativní energie pro váš dům*, ERA, Brno 2004, s. 54.

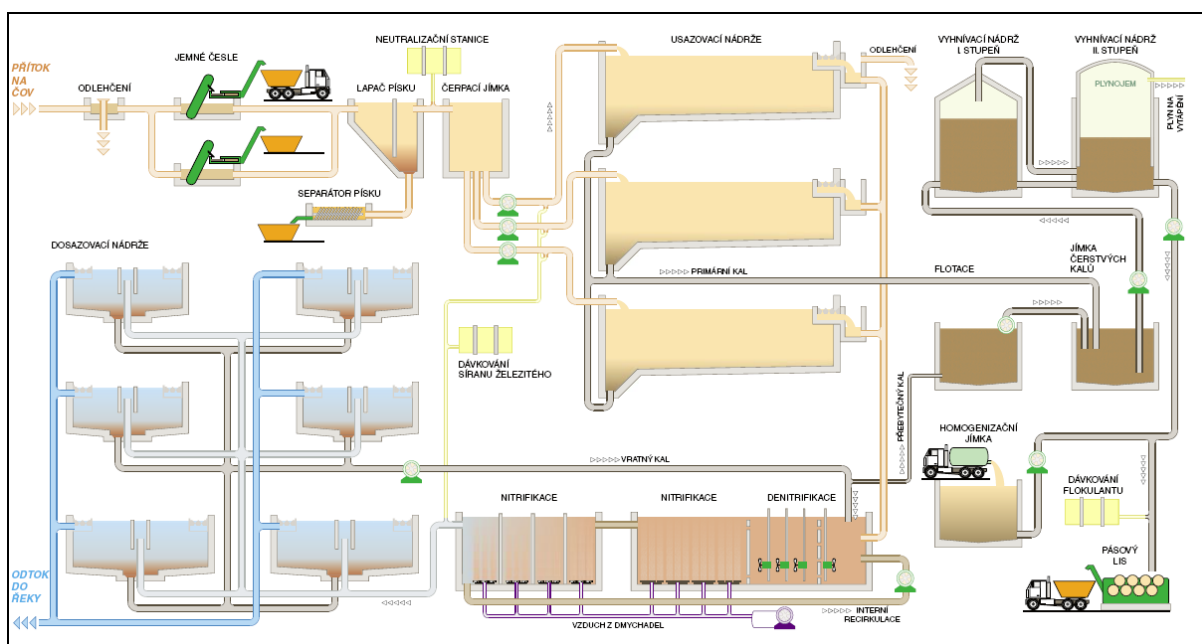
² Bioplyn se skládá z metanu (50-75%), oxidu uhličitého (25-50%) a různých minoritních plynů v závislosti na typu biomasy a průběhu fermentace.

³ MEŘO je zkratkou pro metylester řepkového oleje.

3.4.1. Princip elektrárny využívající biomasu

Jak již bylo předesláno, je mnoho různých technologií na využití energie z biomasy. V této práci není ani zdaleka možné popsat všechny způsoby využití; bude zde proto uveden jen velice stručný popis možného využití různých forem biomasy a technologické schéma ČOV.

V klasických spalovacích motorech, tj. motorech s vnitřním spalováním, probíhá spalování přímo ve válcích motoru a horké plyny konají práci. Tyto motory ale potřebují čisté kapalné či plynné palivo. Při výrobě elektřiny ve stacionárních zařízeních však lze využít i motory s vnějším spalováním, kde se palivo spálí ve spalovací komoře či kotli, vyrobené teplo pak ohřeje vhodné pracovní médium (vodní páru, vzduch nebo jiný plyn) a to pak koná práci ve válcích motoru. V tomto uspořádání je možné využívat i tuhé biomasy, není třeba ji převádět na kapalné či plynné palivo. Takto fungoval už parní stroj, v dnešní době se však ve velkých elektrárnách užívají parní turbíny a v malých zařízeních se začínají uplatňovat Stirlingovy motory.



Obrázek 9 – Příklad technologického schématu ČOV (zdroj: Vodárny a kanalizace Karlovy Vary, a.s. [online]¹)

3.5. Větrné elektrárny

Využívání mechanické energie větru má velmi dlouhou tradici, avšak přeměna této energie ve větrných elektrárnách (dále jen VTE) v energii elektrickou se realizuje pouze

¹ Dostupné z: <http://www.vakvy.cz/html/ovode/cov.htm>.

krátce. V ČR jsou meteorologické podmínky pro využití větrné energie srovnatelné s okolními státy, které mají postaveno leckdy i mnoho set VTE (např. Německo nebo Rakousko), nicméně až do nedávné doby zde nepanovaly příhodné legislativní a ekonomické podmínky k rozvoji této technologie.

Nejdůležitějším údajem při využívání energie větru je rychlost větru. Poblíž zemského povrchu je proudění vzduchu ovlivňováno členitostí terénu, stavbami, flórou apod., ale s rostoucí výškou se rychlost větru logaritmicky zvyšuje. Je tedy velký rozdíl mezi rychlostí větru ve výšce 10 m a 100 m nad zemí. Proudění vzduchu je turbulentní, to znamená, že se projevuje kolísáním rychlosti a směru větru. Výsledky měření směru a rychlosti větru jsou proto zprůměrovány za určitý časový interval, tzv. vzorkovací dobu.

Existuje i třída mikroelektráren s výkony pohybujícími se zhruba od 50 do 1000 W, jež je určena k napájení malých spotřebičů, nicméně pro účely této práce jsou příhodnější VTE velkých výkonů (300 kW a více), jejichž úkolem je dodávka energie do veřejné rozvodné sítě.

Větrná elektrárna se skládá ze stožáru či věže, na níž nasedá strojovna elektrárny s rotorem. Po experimentech s jedno-, dvou- i čtyřlístými rotory již všechny velké moderní elektrárny používají třílísté rotory. Nejrozšířenější stožáry mají podobu mírně kónických ocelových tubusů, objevily se však i stožáry betonové a věže v podobě příhradové konstrukce¹. Trendem, který se zdaleka neomezuje jen na území ČR, je výstavba stále větších strojů - v současnosti může průměr rotoru dosahovat i 100 m, výška věže může mít dokonce přes 100 metrů. S růstem rozměrů VTE roste i množství vyprodukované elektrické energie. Důvody tohoto trendu jsou tedy nižší poměrné náklady na výrobu energie a maximální využití vhodných lokalit, kterých je omezený počet. K dalšímu zefektivnění provozu a snížení nákladů se VTE sdružují do skupin (většinou mezi 5-30 elektrárnami), tzv. větrných farem. Většina elektráren má konstantní otáčky, nicméně určitá část elektráren je pro zvýšení výroby vybavena dvěma generátory (nebo jedním s dvojitým vinutím) – při nízké rychlosti větru běží menší generátor, při vyšší rychlosti větru se přepne na větší generátor. Některé elektrárny mají zase proměnné otáčky, čímž se mohou přizpůsobovat náhlým změnám v rychlosti větru. Pokud je však rychlost větru příliš vysoká či naopak nízká, VTE se odpojí a elektrickou energii nevyrábí.

Podle aerodynamického principu dělíme větrné motory na vztlakové a odporové. Nejrozšířenější jsou elektrárny s vodorovnou osou otáčení, pracující na vztlakovém

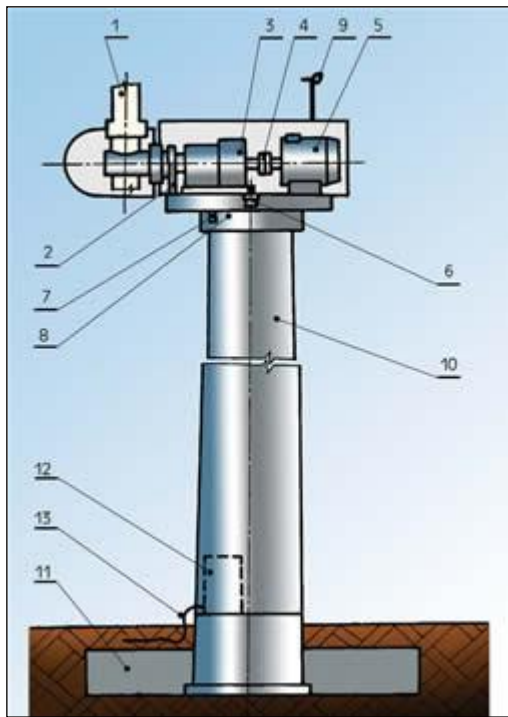
¹ To je stavební konstrukce, obvykle ocelová, tvořená trojúhelníkovou sítí přímých prutů.

principu. Na podobném principu fungovaly i historické větrné mlýny. Existují také elektrárny se svislou osou otáčení pracující buď na odporovém, nebo na vztakovém principu. Výhodou elektráren se svislou osou pracujících na vztakovém principu je, že mohou dosahovat vyšší rychlosti otáčení a tím i vyšší účinnosti, není je také třeba natáčet do směru převládajícího směru větru. Nevýhodou však je, že u nich dochází k mnohem vyššímu dynamickému namáhání, které značně snižuje jejich životnost. Tuto nevýhodu se do určité míry podařilo vyřešit, nicméně na celkovém počtu VTE mají stále minimální podíl.

3.5.1. Princip větrné elektrárny

Při výrobě elektrické energie jsou listy rotoru VTE roztáčeny prouděním vzduchu, čímž vzniká mechanická energie, jež je následně generátorem přeměňována na elektrickou energii. Ta je poté vedena do sítě elektrickou přípojkou v patě věže elektrárny.

Aby zvyšování rychlosti větru, které vede ke zvyšování výkonu VTE, nepoškodilo generátor, je potřeba regulovat výkon dodávaný vrtulí. Jedná se víceméně o tři způsoby (tzv. regulace stall, pitch a active stall)¹, z nichž každý má své výhody a nevýhody. Svě slabé a silné stránky mají též jak větrné elektrárny s převodovkou, tak bez převodovky.



Obrázek 10 - Schéma větrné elektrárny:

- 1 - rotor s rotorovou hlavicí
- 2 - brzda rotoru
- 3 - planetová převodovka
- 4 - spojka
- 5 - generátor
- 6 - servo-pohon natáčení strojovny
- 7 - brzda točny strojovny
- 8 - ložisko točny strojovny
- 9 - čidla rychlosti a směru větru
- 10 - několikadílná věž elektrárny
- 11 - betonový armoovaný základ elektrárny
- 12 - elektrorozvaděče silnoprúdeho a řídicího obvodu
- 13 - elektrická přípojka

(zdroj: Energetika.cz [online]²)

¹ Podrobněji k tomuto tématu viz například *Kol. autorů, Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice, ČEZ, Praha 2007, s. 80-81. Případně též Beranovský, J., Truxa, J.: Alternativní energie pro váš dům, ERA, Brno 2004, s. 35-36.*

² Dostupné z: <http://www.energetika.cz/index.php?id=170>.

3.6. Sluneční elektrárny

Jako solární energie se označuje energie, která dopadá na Zemi ve formě slunečního záření. Od energie ze Slunce je odvozena energie větru, proudící vody, biomasy a v podstatě i fosilních paliv. Dostupnost sluneční energie na Zemi se mění se zeměpisnou šířkou, roční dobou a oblačností, hraje tu roli i sklon a orientace plochy, na niž sluneční záření dopadá. Díky solární energii lze získávat teplo (to je zatím nejčastější využití), elektrickou, mechanickou a chemickou energii, dá se také využívat fotochemických účinků slunečního záření. Pro výrobu elektrické energie se dá využít dvou způsobů: buď se dá vyrobit teplo, z něj mechanickou energii a z ní elektřinu, nebo sluneční záření přeměnit na elektrickou energii přímo. Druhý způsob je účinnější, ačkoli technologicky náročný a drahý.

Vývoj solárních článků dospěl k celé řadě technologií.¹ Nejpropracovanější je technologie založená na krystalickém křemíku, proto téměř 85 % všech solárních panelů je vyrobeno s křemíkovými krystalickými články. Většina solárních panelů je opatřena předním krycím sklem a solární články jsou zalaminovány do struktury plastových fólií. Mimo dvou polovodičových vrstev je zde ještě většinou antireflexní vrstva, která snižuje odraz slunečních paprsků. Z obou stran jsou pak kontakty odvádějící elektrický proud, na přední straně ve formě mřížky (aby nebránila průchodu záření), na zadní jako souvislá vrstva. Jednotlivé články se skládají do panelu a celá soustava je hermeticky uzavřena, neboť křemíkový PN přechod nesmí být ohrožen vlhkostí, znečištěním či poškozením.

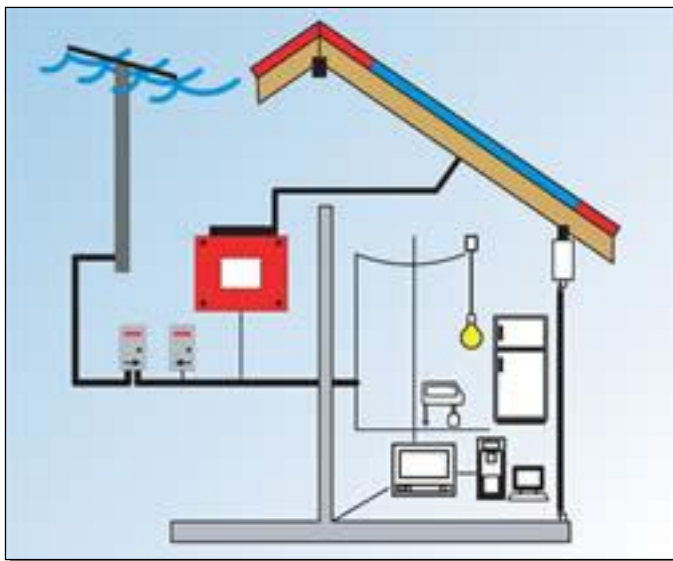
Existují však i solární panely vyrobené tenkovrstvou technologií, označované také jako technologie 2. generace. Solární články včetně jejich propojení jsou vytvořeny přímo na nosné podložce nanášením velmi tenkých vrstev (v mikrometrech) materiálů. Nosnou podložkou může být sklo, plastová fólie nebo ocelový plech.

Ve fázi laboratorních testů jsou pak alternativní technologie (polymery a články s fotocitlivým barvivem), u nichž se očekávají velmi vysoké účinnosti při poměrně nízkých nákladech. Tyto technologie jsou však v ranné fázi vývoje.

Solární panely mohou mít podobu fasádních skel, střešní krytiny nebo fasádních obkladů, mohou být i velmi tenké a ohebné, takže mohou tvořit součást oblečení a dobíjet přenosné přístroje.

¹ Podrobnější rozdělení dostupných solárních článků viz např. *Murtiger, K., Truxa, J.: Solární energie pro váš dům, ERA, Brno 2005, s. 55-58.*

Napětí jednoho článku s hodnotou přibližně 0,5 V je příliš nízké pro běžné využití, ale propojením více článků se dá získat napětí, které je již použitelné v různých typech fotovoltaických systémů. Standardně jsou používány sestavy pro jmenovité provozní napětí 12 nebo 24 V. Takto vytvořené sestavy článků jsou hermeticky uzavřeny krycími materiály výsledného solárního panelu. Pro využití elektrické energie ze solárních panelů je potřeba připojit k panelu kromě elektrických spotřebičů další technické prvky, např. akumulátorovou baterii, regulátor dobíjení, napěťový střídač, indikační a měřicí přístroje,



Obrázek 11 – Zapojení fotovoltaického systému dodávajícího energii do rozvodné sítě (zdroj: Ekowatt [online]¹)

případně systém automatického natáčení za Sluncem. Sestava fotovoltaických panelů, podpůrných zařízení, spotřebiče či dalších prvků se nazývá fotovoltaický systém. Množství a skladba prvků fotovoltaického systému pak závisí na druhu aplikace. V zásadě jsou dva způsoby provozu fotovoltaických systémů, ostrovní a síťový.

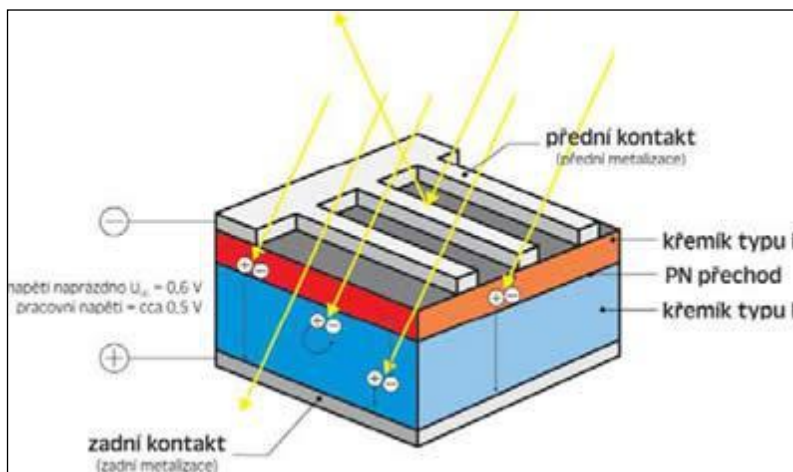
3.6.1. Princip sluneční elektrárny

Fotovoltaický článek využívá fotovoltaického jevu. Ten spočívá v tom, že „na rozhraní dvou materiálů, na něž dopadá světlo, vzniká elektrické napětí a uzavřením obvodu lze získat elektrický proud“². Nejčastěji používaným materiálem pro fotovoltaické články je křemík, který dokáže absorbovat část slunečního záření a má vlastnosti polovodiče, tudíž se zahřátím nebo osvětlením zvýší jeho vodivost. Absorbovaný foton předá svou energii na elektron ve valenční sféře atomu křemíku, elektron se uvolní a v mřížce zůstane přebytečný kladný náboj (nazývá se díra). Sem mohou přejít elektrony z jiného atomu křemíku, díra se tak může pohybovat; takto vlastně vznikají elektricky nabitě částice, dvojice elektron – díra. Aby uvolněné elektrony a díry konaly práci (třeba roztočily motor), musí se nejdříve oddělit. Fotovoltaický článek se proto neskládá z čistého

¹ Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/index.php?id=118>.

² Murtiger, K., Truxa, J.: *Solární energie pro váš dům, ERA, Brno 2005, s. 53.*

křemíku, ale ze dvou vrstev – jedné s příměsí prvku s menším počtem valenčních elektronů (polovodič typu p) a druhé s větším počtem valenčních elektronů (polovodič typu n). Jejich spojením vzniká tzv. PN přechod, základ většiny elektronických součástek. Vnitřní elektrické pole PN přechodu dokáže oddělit část elektronů a děr. Rozdělení náboje má za následek napěťový rozdíl mezi kladným a záporným kontaktem solárního článku. Vnější obvodem zapojeným mezi oba kontakty potom protéká stejnosměrný elektrický proud, jenž je přímo úměrný ploše solárního článku a intenzitě dopadajícího slunečního záření.



Fotovoltaický článek vlastně poskytuje proud proto, že elektrony uvolněné absorpcí fotonů musí před spojením s dírami nejdříve projít skrz vnější obvod (zátěž, spotřebič).

Obrázek 12 – Princip solárního článku (zdroj: Ekowatt [online]¹)

¹ Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/index.php?id=118>.

4. Vybrané elektrárny a jejich parametry

V tomto úseku jsou přibliženy elektrárny, jež byly vybrány pro výzkum¹. Jejich pořadí se řídí poměrným zastoupením instalovaného výkonu zkoumaných technologií. Jednotlivé podkapitoly nejdříve obsahují zevrubnou historii a charakteristiku elektrárny, poté následuje tabulka. Ta uvádí konkrétní parametry pro danou elektrárnu, které mají zásadní význam pro další oddíly této práce.

4.1. Jaderná elektrárna Temelín

4.1.1. Obecná charakteristika

Jaderná elektrárna Temelín (dále jen JETE) se nachází asi 5 km od Týna nad Vltavou a 25 km od Českých Budějovic, v nadmořské výšce zhruba 500 m. n. m. Asi 5 km na východ od JETE protéká řeka Vltava, která spolu s MVE Hněvkovice zajišťuje dostatek chladicí vody. Do vzdálenosti 10 km od JETE se nevyskytují žádné výrazné výškové body; elektrárna se nachází v poměrně řídké obydlené, geologicky stabilní oblasti.

O výstavbě jaderné elektrárny v lokalitě Temelín bylo rozhodnuto v roce 1980. Projekt původně počítal se čtyřmi bloky, každý s tlakovodním reaktorem VVER 1000 typ V 320, nicméně po roce 1989 se rozhodlo jen o dostavbě prvních dvou bloků. Přípravné práce přitom probíhaly už od roku 1983, vlastní výstavba pak od roku 1987. I přes politické změny a protesty Rakouska a dalších odpůrců jaderné energetiky však byla stavba dokončena. V červnu roku 2002 byl zahájen zkušební provoz prvního bloku, v dubnu roku 2003 bloku druhého. Jako palivo JETE používá oxid uraničitý (UO_2), jenž je obohacen průměrně 3,82 % příměsí uranu U^{235} . Cyklus výměny paliva je čtyřletý, jednou ročně se tak vyměňuje čtvrtina paliva. Reaktor dohromady pojme 92 tun paliva.

Z hlediska produkovaných emisí, jež jsou sledovány v této práci, se v rámci JETE nachází jediný jejich zdroj, pomocná plynová kotelna. Je umístěna v areálu JETE ve střezném pásmu. V době výstavby vyráběla teplo a páru pro potřeby elektrárny, do roku 2003 dodávala teplo i do Týna nad Vltavou. Dne 1.7.2003 však byla převedena mezi záložní zdroje, což znamená, že je využívána pouze v době odstávky jednoho z bloků JETE, která nyní zajišťuje veškeré dodávky tepla pro samotnou elektrárnu i Týn nad Vltavou. Poté, co byla zařazena mezi záložní zdroje, klesla její produkce zhruba desetkrát (např. v roce 2004 byla plynová kotelna v provozu 30 dnů, za něž vyrobila 46 080 GJ

¹ Pro vysvětlení metody výběru viz kapitola 2.

tepla ¹). V kotelně se nachází 5 parních kotlů, každý o jmenovitém výkonu 20 MW_t. Za palivo slouží zemní plyn (v roce 2004 bylo spáleno 1 602 801m³ zemního plynu). Elektrická energie a pitná voda pro provoz plynové kotelny je dodávána z elektrárny Temelín.²

4.1.2. Sledované parametry - rok 2005

Instalovaný výkon	2 x 1000 MW _e
Dodávky elektrického proudu	10 385 324 MWh
Vytiženost	59 %
SO _x	0 t
NO _x	1,8 t
TSP	0 t
CO ₂	3428,1 t
CO	0,1 t
Plocha	123 ha ³
Životnost technologie	60 let
Externí náklady ⁴	0,03 Kč / kWh
Interní náklady	0,57 Kč / kWh
Počet zaměstnanců	950

4.2. Jaderná elektrárna Dukovany

4.2.1. Obecná charakteristika

Jaderná elektrárna Dukovany (dále jen JEDU) se nachází na jižní Moravě, asi 30 kilometrů jihovýchodně od Třebíče, mezi obcemi Dukovany, Slavětice a Rouchovany. Pro potřeby elektrárny bylo vybudováno vodní dílo Dalešice; jako zdroj technologické vody slouží její vyrovnávací nádrž, vodní nádrž Mohelno. V areálu JEDU je též umístěna

¹ Bohužel nebylo možno dohledat věrohodné údaje za rok 2005, nicméně pro ilustraci je snad dostačující i rok 2004.

² Detailní informace o pomocné plynové kotelně JETE viz *CENIA, Vyjádření k žádosti o vydání integrovaného povolení společnosti ČEZ, a.s., Praha 2006.*

³ U plochy JETE byl trochu problém s přesností údajů. Ačkoli se na mnoha místech uváděl údaj, který jsem nakonec použil, přesto mi při osobních výpočtech vycházela o něco menší plocha. Pro tuto práci to však není až tak podstatné, protože i když byla použita tato nižší hodnota, pořadí v ratingu elektráren se nezměnilo (viz 5. kapitola).

⁴ Vzhledem k tomu, že byla udávána hodnota pro obě jaderné elektrárny v ČR stejná, bylo namísto propočítat přírůstek k externím nákladům JETE vlivem provozu plynové kotelny (tak, že se hodnota externích nákladů 1 tuny NO_x a CO₂ vynásobila jejich naměřeným množstvím a vzniklý výsledek se vydělil dodávkou elektrického proudu JETE v kWh). Vypočítaná velikost tohoto přírůstku však byla naprosto zanedbatelná (šlo o dvě milióntiny Kč / kWh), což dává za pravdu původně použitým údajům.

sluneční elektrárna o výkonu 10 kW. JEDU zajišťuje zhruba 20 % spotřeby elektrické energie v ČR, což stačí k pokrytí spotřeby všech domácností v ČR. Je tak co do výroby elektřiny dosud nejproduktivnější elektrárnou v ČR. Podle soustavy bezpečnostních a výkonnostních provozních indikátorů Index WANO se elektrárna řadí mezi 20 % nejlepších jaderných elektráren světa a v určitých parametrech patří mezi absolutní špičku.

V roce 1970 tehdejší ČSSR a SSSR podepsaly dohodu o výstavbě dvou jaderných elektráren s výkony 1760 MW. Šlo o elektrárnu v Jaslovských Bohunicích na Slovensku a v Dukovanech. Kvůli změnám v projektu se výstavba EDU plně rozjela až v roce 1978. První blok byl uveden do zkušebního provozu v květnu 1985, druhý a třetí v roce 1986 a poslední v červenci 1987. Spuštění druhého a třetího bloku v stejném roce a na jedné lokalitě je zcela unikátní, dosud se nikde na světě nezopakovalo. V roce 1996 JEDU zahájila přechod na čtyřletý palivový cyklus, v roce 2003 pak na cyklus pětiletý. Jako palivo pro své čtyři tlakovodní reaktory VVER 440 typ 213 JEDU používá oxid uranický (UO_2), jenž je obohacen průměrně 3,82 % příměsí uranu U^{235} .

4.2.2. Sledované parametry - rok 2005

Instalovaný výkon	4 x 440 MW _e
Dodávky elektrického proudu	12 869 642 MWh
Vytiženost	83 %
SO _x	0 t
NO _x	0 t
TSP	0 t
CO ₂	0 t
CO	0 t
Plocha	84,8 ha
Životnost technologie	40 let ¹
Externí náklady	0,03 Kč / kWh
Interní náklady	0,57 Kč / kWh
Počet zaměstnanců	1130

4.3. Elektrárna Dětmarovice

4.3.1. Obecná charakteristika

Elektrárna Dětmarovice (dále jen EDĚ) je největší klasickou elektrárnou na Moravě, je též největší elektrárnou v ČR spalující černé uhlí. Nachází se

¹ Nicméně ČEZ nevyklučuje ani její prodloužení na 60 let.

v Moravskoslezském kraji blízko Ostravy, v naprosté blízkosti polských hranic u obce Dětmárovice. Jen několik set metrů od EDĚ protéká řeka Olše, z níž elektrárna čerpá vodu. Při výběru této lokality hrála roli blízkost ostravsko-karvinských dolů, což snížilo nároky na dopravu uhlí.

Výstavba elektrárny byla zahájena v roce 1971 a její čtyři bloky byly postupně uváděny do provozu od května 1975 do listopadu 1976. Před rokem 1990 EDĚ patřila do svazku ostravsko-karvinských elektráren, ale od té doby je samostatnou jednotkou. V březnu roku 1998 byla elektrárna odsířena; byly instalovány dva absorbery (jeden pro dva výrobní bloky). Nízkoemisní spalovací systém kotlů dále snižuje emise oxidů dusíku a elektroodlučovače zachycují popílek.¹

EDĚ je tepelnou kondenzační elektrárnou, která mimo elektrické energie poskytuje teplo mimo jiné pro město Orlová. Je složena ze čtyř výrobních bloků o výkonu 4 × 200 MW_e, každý blok je složen z parního kotle PG 650 t/h o výšce 60 m a turbíny TG 200 MW_e. Jednotlivé bloky mohou fungovat samostatně. Bloky používají pro výrobu páry granulační kotle s přímým foukáním uhelného prášku. Základním palivem je černé uhlí z ostravsko-karvinského revíru a Polska, ke stabilizaci a najíždění bloků je používán zemní plyn.

4.3.2. Sledované parametry - rok 2005

Instalovaný výkon	4 x 200 MW _e
Dodávky elektrického proudu	2 127 437 MWh
Vytíženost	30 %
SO _x	1 077,2 t
NO _x	3 698,2 t
TSP	120,6 t
CO ₂	2 257 860 t
CO	67,9 t
Plocha	95,8 ha
Životnost technologie	45 let
Externí náklady	0,90 Kč / kWh
Interní náklady	0,72 Kč / kWh
Počet zaměstnanců	503

¹ Pro bližší informace o zařízeních na snižování emisí uhelných elektráren viz např. *Augusta Pavel a kol., Velká kniha o energii, L.A. Consulting Agency, Praha 2001, s. 163-168.*

4.4. Elektrárna Tušimice II

4.4.1. Obecná charakteristika

Elektrárny Tušimice jsou organizační jednotkou ČEZ, a. s., do níž patří elektrárna Tušimice II (ETU II), jež má výkon 4 x 200 MW_e, a MVE Želina s výkonem 0,63 MW_e. ETU II se nachází na úpatí Krušných hor, mezi Chomutovem, Březnem a Kadaní. V lokalitě Tušimice byla v letech 1963-1964 uvedena do provozu Elektrárna Tušimice I, v letech 1973-1974 pak byla vybudována elektrárna Tušimice II. Stejně jako ETU I, která již dosloužila, i ETU II byla postavena v bezprostřední blízkosti povrchových hnědouhelných dolů, jež jí slouží jako zdroj paliva.

Kromě elektrické energie ETU II dodává teplo zejména pro město Kadaň a společnost Severočeské doly, a. s. Elektrárna používá průtlačné, dvoutahové parní kotle s granulačním ohništěm o jednotkovém výkonu 660 t/h. Pro najíždění se dříve používal mazut, který však byl později nahrazen zemním plynem. Turbíny jsou kondenzační, třítělesové, rovnotlaké, o jmenovitém výkonu 200 MW_e. Součástí ETU II tvoří odsiřovací jednotky (jeden absorbér na dva bloky), vylepšení spalovacích zařízení pro snížení dusíkatých emisí a odlučovače popílku. Odsiřovací zařízení, které bylo postaveno v letech 1994-1997, je založeno na principu mokré vápencové vypírky¹. Oproti klasickým sprchovým odsiřovacím jednotkám se tu nachází tryskový bublinkový reaktor, jenž zvyšuje účinnost procesu a zároveň snižuje energetickou náročnost.

4.4.2. Sledované parametry - rok 2005

Instalovaný výkon	4 x 200 MW _e
Dodávky elektrického proudu	4 674 132 MWh
Vytiženost	67 %
SO _x	10 715 t
NO _x	9 456,7 t
TSP	323,3 t
CO ₂	5 121 050 t
CO	206,2 t
Plocha	209,9 ha
Životnost technologie	33 let
Externí náklady	1,07 Kč / kWh

¹ Je to celosvětově nejrozšířenější odsiřovací technologie (na více než 80% instalovaného výkonu uhelných elektráren). Podrobnější informace viz např. ČEZ, Uhlé elektrárny Skupiny ČEZ, ČEZ, Praha 2007, případně též *Augusta Pavel a kol., Velká kniha o energii, L.A. Consulting Agency, Praha 2001, s. 165-166.*

Interní náklady	0,72 Kč / kWh
Počet zaměstnanců	405

4.5. Vodní elektrárna Orlik

4.5.1. Obecná charakteristika

Středotlaká, špičková (tj. určená zejména k pokrytí špičkové potřeby elektrické energie) vodní elektrárna Orlik se nachází na středním toku řeky Vltavy. Její přehrada je schopna zadržovat až 720 mil. m³ vody; je tak největší akumulární nádrž v České republice a současně základním článkem vltavské kaskády. Spolu s vodní nádrží Lipno je též určujícím prvkem pro víceleté řízení průtoků na Vltavě i na dolním Labi. Hladina nádrže pokrývá zhruba 2732 ha a vzdouvá Vltavu přibližně v délce 68 km, Otavu v délce 22 km a Lužnici v délce 7 km. Maximální hloubka je 74 m. ¹

Vodní nádrž byla vybudována v letech 1954 – 1961; betonová přehrada, jež zabírá plochu 2,76 ha, má v koruně výšku 91,5 m a dosahuje délky 450 m. Těleso přehrady je vybaveno třemi přelivy o rozměrech 15 x 8 m, s kapacitou 2 184 m³/s (stoletá voda) a dvěma spodními výpustmi o průměru 4 m. Vodní elektrárna o rozměrech 17 x 127,5 m a výšce 20 m byla uvedena do provozu v letech 1960-1961. Nachází se v levé části řeky u paty betonové hráze. V elektrárně se nacházejí čtyři plně automatizovaná soustrojí s Kaplanovými turbínami pro spád 70,5 m. Na soustrojí je voda přiváděna čtyřmi ocelovými potrubími o průměru 6250 mm, jež jsou zabetonovaná v hrázi. Je velmi cenným článkem energetické soustavy ČR, neboť je schopna najet na plné zatížení za pouhých 128 sekund.

4.5.2. Sledované parametry - rok 2005

Instalovaný výkon	4 x 91 MW _e
Dodávky elektrického proudu	446 347 MWh
Vytíženost	14 %
SO _x	0 t
NO _x	0 t
TSP	0 t
CO ₂	0 t
CO	0 t
Plocha	2732,7 ha

¹ Vodní nádrž Orlik se tak co do rozlohy vodní plochy v ČR řadí na druhé místo za vodní nádrž Lipno.

Životnost technologie ¹	100 let
Externí náklady	0,01 Kč / kWh
Interní náklady	1,14 Kč / kWh
Počet zaměstnanců	22

4.6. Vodní elektrárna Mohelno

4.6.1. Obecná charakteristika

Středotlaká, vyrovnávací malá vodní elektrárna Mohelno (dále jen MVE Mohelno) leží asi 30 km jihovýchodně od Třebíče na řece Jihlavě. Byla postavena mezi lety 1970 a 1978, současně s přečerpávací vodní elektrárnou Dalešice, jejíž je součástí. V roce 1999 pak byla částečně rekonstruována. Nádrž MVE Mohelno o rozloze 118 ha a obsahu 17,1 mil. m³ slouží jednak k čerpání vody do horní nádrže PVE Dalešice a současně jako její spodní vyrovnávací nádrž. Poskytuje také chladicí vodu pro Jadernou elektrárnu Dukovany.

Přehradní gravitační betonová hráz MVE Mohelno, jež zabírá plochu 0,64 ha, vytváří vzdušným 7 km dlouhé jezero; v koruně přehrada dosahuje délky 185 m a výšky 49 m. Vlastní objekt elektrárny, která se skládá ze dvou různých turbín, se nachází v tělese hráze. Na Kaplanovu turbínu o jmenovitém výkonu 1,2 MW_e se přivádí voda potrubím o průměru 1200 mm a délce 30 m, Francisova turbína o jmenovitém výkonu 0,6 MW_e má přívod vody zajištěn potrubím o průměru 800 mm a délce 12 m. Uspořádání soustrojí je horizontální. Elektrárna, jež je plně automatizovaná a dálkově ovládaná z PVE Dalešice, je schopna najet do provozu bez pomoci vnější sítě.

4.6.2. Sledované parametry - rok 2005

Instalovaný výkon	1 x 1,2 MW _e , 1 x 0,56 MW _e
Dodávky elektrického proudu	7 112 MWh
Vytíženost	46 %
SO _x	0 t
NO _x	0 t
TSP	0 t
CO ₂	0 t
CO	0 t

¹ U vodních elektráren je obtížné přesně stanovit jejich životnost - přesné hodnoty se neuvádí, proto nejsou uvedeny ani v tomto přehledu. V ČR nicméně stále fungují např. i MVE s technologií z 20. let 20. století. Jako orientační údaj tak bylo zvoleno sto let, a to vzhledem k vypovídací hodnotě pro další oddíl této práce.

Plocha	118,6 ha
Životnost technologie ¹	100 let
Externí náklady	0,01 Kč / kWh
Interní náklady	1,14 Kč / kWh
Počet zaměstnanců ²	1

4.7. Ústřední čistírna odpadních vod v Praze

4.7.1. Obecná charakteristika

Ústřední čistírna odpadních vod v Praze (dále jen ÚČOV) se nachází na Císařském ostrově v Trojské kotlině. Byla postavena v letech 1959-1967. V letech 1974-1985 proběhla první intenzifikace ÚČOV (výstavba nové česlovny, kotelny, dvou dosazovacích nádrží atd.), v letech 1994-1997 pak druhá. Spolu s dvěma desítkami malých pobočných čistíren odpadních vod (dále jen PČOV) čistí ÚČOV odpadní vody vzniklé na území hlavního města Prahy. Z celkového množství odpadních vod ÚČOV vyčistí přibližně 95%, zbytek PČOV. Vzhledem k tomu, že do ÚČOV a většiny PČOV vede jednotný kanalizační systém, jsou odpadní vody složeny současně z vody z domácností, průmyslu, srážkové a balastní (podzemní) vody. Čistírna odpadních vod funguje jako předčištění; dočištění probíhá v nejbližším vodním toku, materiál vyextrahovaný z odpadní vody se používá k rekultivacím a výrobě kompostů do zemědělství. Přebytný kal je zahuštěn na zahušťovacích odstředivkách, poté přidán k primárnímu kalu a čerpán do dvoustupňových vyhnívacích nádrží. Vyhníly kal je pak odvodněn zejména na odvodňovacích odstředivkách a nakonec je odvážen k dalšímu zpracování v zemědělství. I kalový plyn se nicméně využívá - k výrobě tepla a elektrické energie.³

4.7.2. Sledované parametry - rok 2005

Instalovaný výkon	3 x 0,960 MW _e , 2 x 1,290 MW _e
Dodávky elektrického proudu	25 847 MWh
Vytíženost	54 %

¹ Jak bylo řečeno v podkapitole 4.5.2., u vodních elektráren je obtížné přesně stanovit jejich životnost - přesné hodnoty se neuvádí, proto nejsou uvedeny ani v tomto přehledu. V ČR nicméně stále fungují např. i MVE s technologií z 20. let 20. století. Jako orientační údaj tak bylo zvoleno sto let, a to vzhledem k vypovídací hodnotě pro další oddíl této práce.

² Vzhledem k tomu, že MVE Mohelno je dálkově řízeno z PVE Dalešice (kde je zaměstnáno 28 pracovníků), není v této MVE přímo přítomný žádný pracovník. Pro potřeby výzkumu i z hlediska logiky byl nicméně určen jeden pracovník, který se o provoz této MVE stará.

³ Popis čistírny odpadních vod viz Wikipedie [online]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/%C4%8COV>.

SO _x	1,8 t
NO _x	41,5 t
TSP	0,8 t
CO ₂	0 t
CO	67,8 t
Plocha	22 ha
Životnost technologie	23 let
Externí náklady	0,17 Kč / kWh
Interní náklady ¹	0,24 Kč / kWh
Počet zaměstnanců ²	5

4.8. Větrná elektrárna Nová Ves v Horách

4.8.1. Obecná charakteristika

Tato větrná elektrárna (dále jen VTE) byla postavena v Nové vsi v Horách, jež leží v Krušných horách západně od Litvínova a Horního Jiřetína, ve výšce asi 761 m. n. m. Skládá se ze dvou strojů Repower MD 70 s výkonem 1,5 MW, její celkový instalovaný výkon je tudíž 3 MW_e. V červnu 2003 byl do provozu uveden první stroj, v prosinci 2004 stroj druhý. Po spuštění druhého stroje se jednalo o VTE s největším nominálním výkonem na území ČR. Stožáry dosahují výšky 65 m, rotory mají průměry 70 m. Zapojovací rychlost větru je 13 m/s, odpojovací 25 m/s, počet otáček 10,6-19 za minutu. Obě VTE měly v roce 2005 přibližně stejnou produkci.

4.8.2. Sledované parametry - rok 2005

Instalovaný výkon	2 x 1,5 MW _e
Dodávky elektrického proudu	6 344 MWh
Vytíženost	24 %
SO _x	0 t
NO _x	0 t
TSP	0 t
CO ₂	0 t
CO	0 t

¹ Pro získání tohoto údaje bylo postupováno následovně: neboť spolehlivé údaje pro kogenerační jednotku na bioplyn nebylo možno dohledat, byly vzaty údaje pro zemní plyn, ale počítaly se jen investiční a provozní náklady, cena paliva nebyla zahrnuta. Palivo se získává z činnosti ÚČOV, tudíž náklady jsou nulové.

² Je třeba upřesnit, že ÚČOV Praha odmítla poskytnout údaj o zaměstnancích, proto bylo nutno počet zaměstnanců odvodit. Je tak třeba počítat s určitou nepřesností údaje.

Plocha	0,14 ha
Životnost technologie	20 let
Externí náklady	0,03 Kč / kWh
Interní náklady	2,27 Kč / kWh
Počet zaměstnanců ¹	1

4.9. Fotovoltaická elektrárna na TU v Liberci

4.9.1. Obecná charakteristika

Tato solární elektrárna (dále jen SLE) se nachází v Liberci, na budově F liberecké Technické univerzity. Její stavba, kterou iniciovala tamní katedra energetických zařízení, započala v roce 2003 a zhruba za dva měsíce byla dokončena. Elektrárna je rozdělena na čtyři shodné plochy, z nichž každá má zhruba 28 m² a dosahuje v průměru výkonu 5 kW_e. Přímo nad vchodem do budovy F je informační tabule, která zobrazuje údaje o okamžitém výkonu a celkové elektrické energii, jež byla touto SLE od jejího spuštění vyrobena.

4.9.2. Sledované parametry - rok 2005

Instalovaný výkon	0,02 MW _e
Dodávky elektrického proudu	9,5 MWh
Vytíženost	6 %
SO _x	0 t
NO _x	0 t
TSP	0 t
CO ₂	0 t
CO	0 t
Plocha	0,11 ha
Životnost technologie ²	30 let
Externí náklady	0,12 Kč / kWh
Interní náklady	37,34 Kč / kWh
Počet zaměstnanců	1

¹ Bohužel zde není stoprocentní jistota ohledně počtu zaměstnanců elektrárny. Větrné elektrárny Strážný Vrch, a.s., jež jsou provozovatelem této VTE, totiž i přes opakovanou prosbu nedodaly potvrzení o správnosti této hodnoty.

² Podobně jako v případě údaje o zaměstnancích u VTE Nová Ves v Horách, i zde nebylo možno ani přes opakovanou žádost získat potvrzení o správnosti této hodnoty. Proto se teoreticky může i o několik let lišit.

5. Grafické znázornění parametrů elektráren a srovnání

Tato práce je spojena s koncepcí trvale udržitelného rozvoje. Tento oddíl vychází zejména z představy tzv. tří pilířů udržitelnosti, tří nejdůležitějších rozměrů udržitelného rozvoje – ekonomického, sociálního a ekologického. Ekonomický rozměr reprezentuje nutnost „zachovat při veškeré hospodářské činnosti základní kapitál a využívat jen vyprodukovaného zisku.“¹ Jde tu mimo jiné o přírodní kapitál, přírodní zdroje. Sociální rozměr se dotýká lidí jako jednotlivců i celé společnosti. Rozvoj tohoto rozměru obnáší „odstranění chudoby, zlepšování zdraví, delší průměrný věk, méně nemocí, ale také vzdělanost, slušné životní podmínky, bezpečnost.“² Ekologický rozměr zdůrazňuje, že „hospodářská činnost a celkový civilizační rozvoj se děje v širším rámci přírodních podmínek.“³ Všechny pilíře se samozřejmě vzájemně ovlivňují; lidé tak jsou naprosto závislí na přírodních zdrojích a planetárních systémech.

Tato kapitola je členěna právě podle tří pilířů udržitelnosti. Ve třech pododdílech jsou porovnávány údaje z tabulek v předchozí kapitole. Nejdříve se všechny údaje nanormují, tj. převedou na vzájemně porovnatelnou veličinu. Poté je proveden ranking, jímž se získaným údajům přiřadí pořadí od „nejhorších“ po „nejlepší“.⁴ Nakonec se toto pořadí parametrů převede do grafického znázornění. Budou tak postupně prezentovány tři pavučinové grafy: ekonomický rozměr zde bude znázorňovat získané parametry převedené na jednotku elektrického výkonu, sociální rozměr bude tyto parametry poměřovat počtem zaměstnanců elektrárny a ekologický rozměr jednotkou plochy. Na základě těchto tří grafů následně bude vyvstávat hodnocení všech zkoumaných elektráren. Bude se přitom postupovat po jednotlivých parametrech, kde budou hodnoceny technologické skupiny vcelku, pouze s přihlédnutím k případným individuálním rozdílům elektráren. V několika případech, pokud se ukáže větší provázanost mezi parametry či v zájmu větší srozumitelnosti výkladu, bude srovnáno více parametrů najednou.

Ještě je třeba přiblížit způsob, jakým se vytvářel ranking u každého ze tří pododdíků. U podkapitoly 5.1. platí za nejlepší parametry (v souladu s výše zmíněnou definicí ekonomického pilíře) největší vyrobené množství elektrické energie, dále nejmenší

¹ Moldan, B.: *Ekologická dimenze udržitelného rozvoje*, Karolinum, Praha 2001, s. 14.

² Tamtéž, s. 14.

³ Tamtéž, s. 14.

⁴ Často, zejména u emisních kategorií, je však též užito poměrného hodnocení, a to v případě, když hned několik zdrojů má nulové a tudíž nejlepší hodnoty. Pokud je mezi zbytkem zdrojů velký rozdíl, je nejhorší zdroj označen nejnižší hodnotou a ostatní daleko lepšími hodnotami, aby tak byl lépe vidět rozdíl a výsledné zobrazení bylo více vypovídající. Viz například tabulka 3 a 4.

plocha na její výrobu, nejnižší emise a s tím spojené externí náklady, nejdelší životnost, minimální počet zaměstnanců a nejnižší interní náklady. Ve všech případech tu hraje roli co možná největší úspora peněžních prostředků, ať už z hlediska investičních (výstavba zařízení) či provozních nákladů (vytápění, údržba, platy zaměstnanců atd.). Zejména na množství vyrobené energie je vidět celkový důraz na efektivitu využití zdrojů. V podkapitole 5.2. se důraz přesouvá na zaměstnanost, případně na efektivnost využití lidských zdrojů, pokud chceme sblížit sociální a ekonomický pilíř. Konečně v podkapitole 5.3. dostává slovo porovnání s vnějším prostředím. Kvalitu elektráren zde určuje zejména jejich prostorová náročnost (čím méně, tím lépe), případně využitelnost plochy elektráren k vícero účelům (např. vodní elektrárny). Současně zde však mají vliv i škodliviny, jimiž elektrárny poškozují okolní prostředí a tím i kvalitu života lidské populace (tedy zdaleka nejen zaměstnanců dané elektrárny).

Všechny pilíře se tak opravdu vzájemně ovlivňují. Presentované výsledky jednotlivých pilířů by se minimálně v několika případech daly interpretovat jako vzájemně protichůdné, přesto se práce primárně snaží o smírné hodnocení.

5.1. Ekonomický pilíř – přepočítání parametrů na kWh

Jak již bylo řečeno výše, graf v této podkapitole porovnává většinu zkoumaných parametrů po přepočtu na TWh. Jako první je zde zobrazena tabulka (viz Tabulka 3), jež obsahuje již nanormované údaje.

Elektrárna	Instalovaný výkon (MW _e)	SO _x (t)	NO _x (t)	TSP (t)	CO ₂ (1000t)	CO (t)	Plocha (ha)	Počet zaměstnanců
JETE	192,6	0,0	0,2	0,0	0,3	0,0	11,8	91,5
JEDU	136,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,6	87,8
EDĚ	376,0	506,3	1738,3	56,7	1061,3	31,9	45,0	236,4
ETU II	171,2	2292,4	2023,2	69,2	1095,6	44,1	44,9	86,6
VE Orlík	882,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6122,4	49,3
MVE Mohelno	247,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16676,0	140,6
ÚČOV Praha	211,2	67,7	1607,1	30,2	0,0	2623,1	851,2	193,4
VTE Nová Ves v Horách	472,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,1	157,6
SLE TU Liberec	2083,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	11666,7	104166,7

Tabulka 3 – Údaje nanormované na 1 TWh

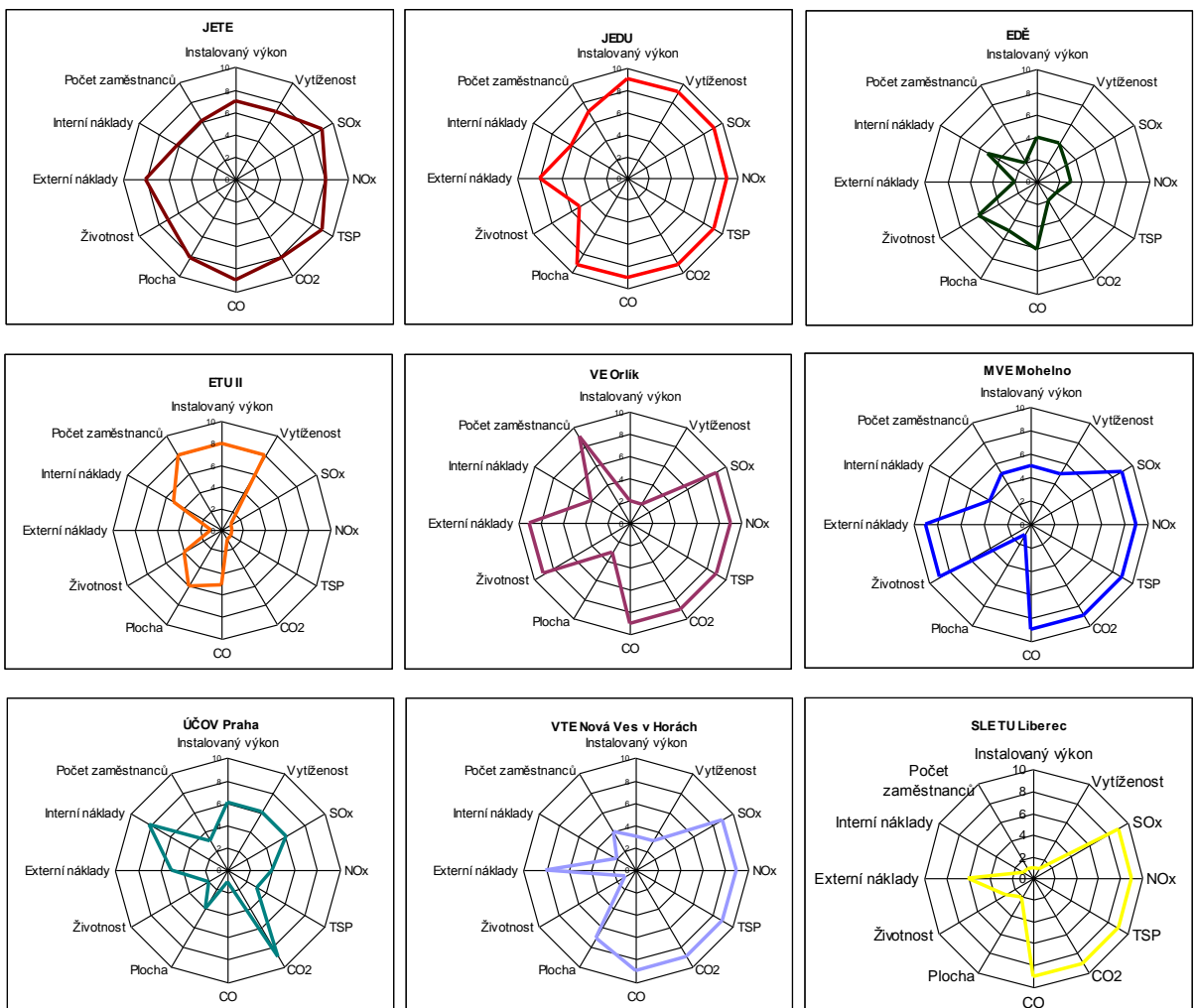
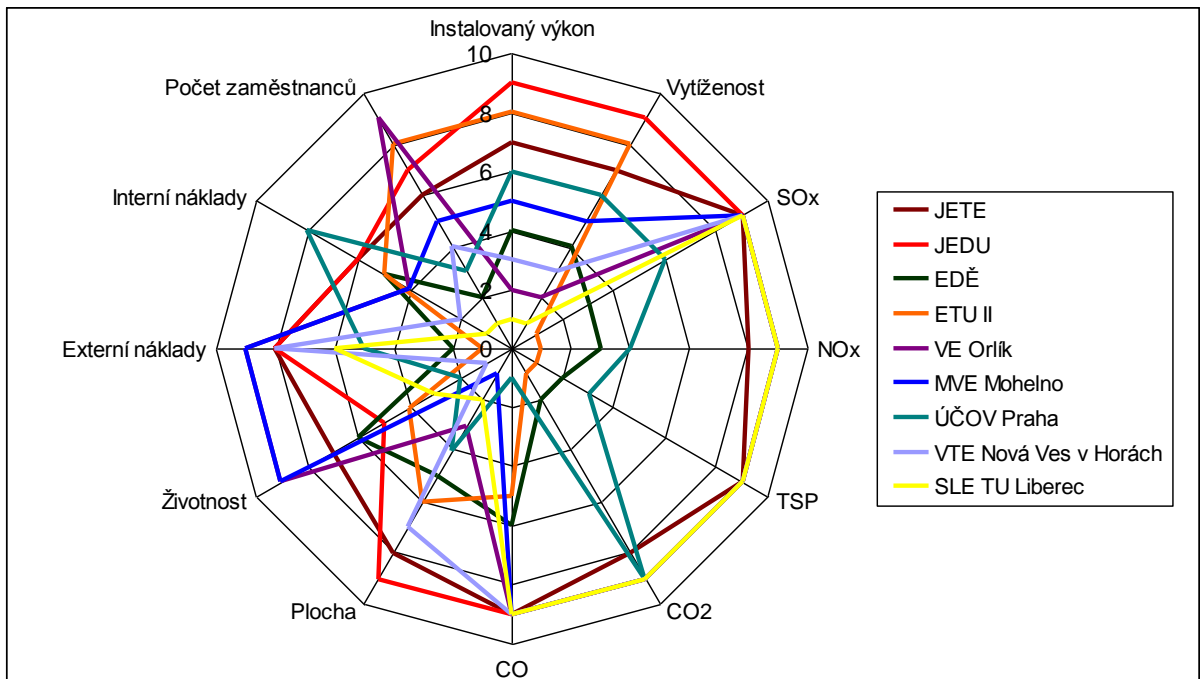
Ze sledovaných parametrů nebyla nanormována životnost elektrárny (tato hodnota by postrádala smysl), vytíženost elektrárny a její externí a interní náklady (ty už byly propočítány¹), protože se dají srovnat přímo. Z těchto hodnot se následně provedl ranking elektráren podle jednotlivých parametrů (viz tabulka 4).

Elektrárna	Instalovaný výkon	Vytíženost	SO _x	NO _x	TSP	CO ₂	CO	Plocha	Životnost	Externí náklady	Interní náklady	Počet zaměstnanců
JETE	7	7	9	8	9	8	9	8	7	8	6	6
JEDU	9	9	9	9	9	9	9	9	5	8	6	7
EDĚ	4	4	3	3	2	2	6	5	6	2	5	2
ETU II	8	8	1	1	1	1	5	6	4	1	5	8
VE Orlík	2	2	9	9	9	9	9	3	9	9	4	9
MVE Mohelno	5	5	9	9	9	9	9	1	9	9	4	5
ÚČOV Praha	6	6	6	4	3	9	1	4	2	5	8	3
VTE Nová Ves v H.	3	3	9	9	9	9	9	7	1	8	2	4
SLE TU Liberec	1	1	9	9	9	9	9	2	3	6	1	1

Tabulka 4 – Ranking parametrů podle tabulky 3 (9 = nejlepší výsledek, 1 = nejhorší výsledek)

Obrázek 13 tuto tabulku graficky znázorňuje, přičemž pro větší přehlednost je následně každá elektrárna zobrazena ve vlastním grafu. S trochou zjednodušení lze říci, že zde platí pravidlo, že čím větší je výsledná plocha grafu, tím kvalitnější je elektrárna.

¹ Externí a interní náklady viz seznam literatury (European Community, *Externalities of Energy*, dále ExternE-Pol, *Externalities of Energy* a konečně OECD, *Projected Costs of Generating Electricity*).



Obrázek 13 – Parametry zobrazené podle tabulky 4 (9 = nejlepší výsledek, 1 = nejhorší výsledek)

5.1.1. Instalovaný výkon a využitost

Ohledně instalovaného výkonu v této podkapitole platí, že čím menšího instalovaného výkonu je třeba na produkci určité jednotky vyrobené energie (např. 1 TWh), tím kvalitnější je elektrárna. Pokud budeme porovnávat ranking instalovaného výkonu na TWh, zjistíme v první řadě jeho absolutní korelaci s dalším parametrem, využitostí¹. Oba parametry totiž pracují se stejnými jednotkami a jsou prováděny podobné výpočty²; je tak možno hodnotit oba naráz. Co se týče jaderných elektráren, JEDU je v obou kategoriích nejlepší – má nejmenší instalovaný výkon v poměru k množství dodané elektrické energie a s tím spojenou nejvyšší využitost ze sledovaných elektráren (a to díky minimu poruch a neplánovaných výpadků, zmenšení rozsahu odstávek, racionalizaci počtu oprav apod.). I proto je řazena mezi dvacet procent nejlepších jaderných elektráren světa³. JETE v obou kategoriích zaujímá třetí místo, a to, mimo jiné, kvůli častějším odstávkám. V souhrnu však jaderné elektrárny mají v těchto kategoriích nejlepší výsledky.

ETU II se co do využitosti umístila mezi jadernými elektrárnami. Stejně jako JEDU či JETE, i ETU II totiž pracuje v režimu základního zatížení⁴, tudíž je zde snaha o to, aby její provoz byl co nejekonomičtější. Stablních a vysokých dodávek elektrické energie pomáhá dosáhnout bezprostřední blízkost elektrárny u povrchových hnědouhelných dolů, díky čemuž je zajištěn stálý a levný (není zapotřebí dopravovat uhlí po železnici) přísun paliva. Naproti tomu EDĚ se stejným instalovaným výkonem vyrábí podstatně méně elektrické energie⁵, což má za následek i vcelku špatnou bilanci využitosti.

V kategorii vodních elektráren lze sledovat poměrně velký rozdíl mezi oběma zdroji. Zatímco MVE Mohelno si drží poměrně slušnou pátou pozici, VE Orlík je

¹ Jak již bylo řečeno ve 2. kapitole, využitost elektrárny dostaneme tímto výpočtem: [dodávky elektrické energie / (instalovaný výkon v MW_e x počet hodin v roce)] x 100. Jedná se však o využitost počítanou z netto výroby, tedy z výroby bez energie pro vlastní potřebu elektrárny, tudíž by skutečná využitost byla o něco větší. Tento případ se ovšem v této práci týká pouze tepelných a jaderných elektráren. Je dobré o tomto problému vědět, nicméně pro potřeby tohoto výzkumu byla ponechána jako dostačující využitost z netto výroby, neboť ani použití využitosti z brutto výroby by s největší pravděpodobností nevedlo k jiným závěrům (JEDU, JETE a ETU II jsou zdroje s nejvyšší využitostí, které mají vzájemně minimálně 8% rozestup, využitost EDĚ by mohla vzrůst i o krajně nepravděpodobných 15% a nezměnilo by se pořadí elektráren).

² V případě prvního sloupce se instalovaný výkon dělí dodávkou proudu, v druhém je tomu vlastně naopak. Dojdeme tak ke stejným poměrům a tudíž ke korelaci mezi oběma kategoriemi parametrů.

³ Podle indikátorů Index WANO.

⁴ V tomto režimu pracují energetické zdroje, jež jsou primárními výrobci elektrické energie (oproti tomu např. PVE jsou špičkové zdroje, což znamená, že jsou určeny pouze ke krytí špičkové spotřeby). Elektrárny pracující v základním zatížení však musejí být připraveny na provoz i v proměnném zatížení – kvůli tomu, aby byla stále udržována rovnováha mezi výrobou a spotřebou elektrické energie.

⁵ Možné důvody viz podkapitola 5.1.7.

předposlední. Může to být zapříčiněno jednak rozdílem velikostí obou vodních děl, jednak rozdílnými účely, které plní. VE Orlík zaujímá v ES ČR pozici špičkového zdroje, který tak není určen ke kontinuálním, stabilním dodávkám. Oproti tomu MVE Mohelno, ač současně plní mnoho různých funkcí, může dodávat elektrickou energii méně nárazovitě, přestože nedosahuje hodnot vytíženosti zejména jaderných elektráren. V souhrnu se nicméně vodní elektrárny jeví jako slabší podprůměr.

Pražská ÚČOV si drží čtvrtou příčku, s určitým náskokem před MVE Mohelno. U obou je možno konstatovat, že u jejich „paliv“ (v tomto případě voda, resp. kalový plyn) není možno zajistit tak stabilní dostupnost jako např. u uhlí či oxidu uraničitého, přesto však jsou tato paliva dostupnější než větrná či sluneční energie. I proto obě zařízení zaujímají střed tabulky.

VTE Nová Ves v Horách dosahuje 24% vytíženosti; tato hodnota je v kategorii větrných elektráren poměrně vysoká. Jako všechny elektrárny tohoto technologického typu se bohužel vyznačuje velmi nespojitými dodávkami, což ji odsuzuje na sedmou příčku.

SLE TU Liberec má vůbec nejnižší vytíženost, pouhých 6%. Možných příčin by se dalo najít více: není nainstalovaná v nejvhodnější oblasti (v úhrnu slunečního záření je Liberecko spíše podprůměrné), jako fasádní systém na kolmé stěně též přichází o část energie a nakonec je tu samozřejmě střídání dne a noci.

5.1.2. Emise

Tento parametr porovnává množství emisí vyprodukovaných na 1 TWh. Hned u několika elektráren byly naměřeny nulové emise. Tyto zdroje mají tedy v tomto ohledu nejlepší pozici. Až na jednu výjimku jde o obnovitelné zdroje - VTE Nová Ves v Horách, VE Orlík i MVE Mohelno, SLE TU v Liberci a JEDU. JETE byla v tomto ohledu o něco horší, neboť provozovala plynovou kotelnu (viz podkapitola 4.1.1.). Hodnoty jejích emisí jsou však minimální. Jaderné elektrárny se tak z tohoto pohledu též prezentují jako velice čistý zdroj. Již s určitým odstupem pak následuje ÚČOV Praha, která sice má nulovou hodnotu CO₂ emisí¹, na druhou stranu ale nejhorší pozici v produkci CO. Zbylé emise v přepočtu na TWh zdaleka nedosahují hodnot největších producentů, EDĚ a hlavně ETU II. ETU II přesahuje EDĚ (a tím pádem i všechny ostatní elektrárny, s výjimkou CO u ÚČOV) ve všech sledovaných emisních kategoriích; důvodem může být rozdíl kvality používaného paliva (hnědé uhlí oproti černému), protože na obou zdrojích jsou

¹ U biomasy se emise CO₂ neudávají, protože se na biomasu během jejího životního cyklu navázalo zhruba tolik CO₂, kolik je posléze uvolněno jejím spálením.

nainstalovaná srovnatelná zařízení na snižování emisí. Zejména kvůli obrovským objemům spalovaného uhlí však vypouštěné škodliviny přesto dosahují velmi vysokých hodnot, a to nejen v přepočtu na 1 TWh, ale i v absolutních číslech.

5.1.3. Plocha

Tato kategorie udává, jak velké plochy je zapotřebí na produkci 1 TWh. Přitom je přijat předpoklad, že čím menší plochy je zapotřebí, tím efektivnější je její využití. Plocha se zde proto prezentuje jako zdroj ekonomický i environmentální. Nejlépe jsou na tom jaderné elektrárny (opět díky značné produkci elektrické energie), přičemž je nutno brát v potaz to, že JETE byla původně konstruována pro čtyři bloky, což plochu elektrárny též ovlivnilo. Sluší se dodat, že za každou v jaderných elektrárnách vyrobenou MWh elektřiny ČEZ odvádí 50 Kč na jaderný účet, kde se shromažďují prostředky na uložení vyprodukovaného radioaktivního paliva, jehož by za 30 let měla JETE vyprodukovat pouhých 1370 tun. K jeho uložení tak bude potřeba jen minimum prostoru¹. Jen s malým odstupem za JETE následuje VTE Nová Ves v Horách. Zde by však mohlo být poněkud ošemetné pouze vynásobit plochu VTE; listy rotorů jsou vzhledem k plošné výměře nezanedbatelnou položkou, jež by mohla hrát určitou roli při detailnějším propočtu. Tepelné elektrárny mají třetí a čtvrtou pozici - stejně jako JEDU a JETE těží z kombinace blokového uspořádání (a tím velkého instalovaného výkonu na poměrně malé ploše) a poměrně vysoké vytiženosti. ETU II by dosáhla lepších výsledků, kdyby nebyla brána v potaz rozloha dnes již odstavené, avšak stále ještě nedemontované elektrárny ETU I. Obě elektrárny totiž byly dříve jedinou organizační jednotkou Elektrárny Tušimice. S již velkým odstupem následuje ÚČOV Praha. Zde je nutno poznamenat, že plocha této čistírny není zdaleka využita jen k výrobě elektrické energie. Naopak, většina plochy slouží k čištění vod. Jedná se nicméně o nedílný celek, proto je nutné započítat celou rozlohu čističky. Poslední tři místa si rozdělily solární a obě vodní elektrárny. Pro produkci energie potřebují obrovské plochy solárních panelů či vody, tato plocha se nicméně dá využít hned několikrát. V případě vody je to například rekreace či různé vodohospodářské funkce, solární panely se zase nemusejí stavět jen na zelené louce, ale též na střechách či fasádách domů.

¹ Zanedbatelnost této plochy si uvědomíme, zejména pokud ji srovnáme s rozsahem rekultivačních ploch u hnědouhelných elektráren. To však již přesahuje záběr této práce.

5.1.4. Životnost

U několika zdrojů se zde jedná o odhad; zejména vodní elektrárny nemají pevně stanovenou životnost, ani u ostatních se ovšem nevylučuje změna dané hodnoty. Vodní elektrárny mají velký předstih před ostatními zdroji - vzhledem k poměrně jednoduché konstrukci mohou fungovat velice dlouho bez zásadních oprav. Oproti tomu jaderné elektrárny mají daleko složitější obsluhu i konstrukci, i tak ale vydrží fungovat mnoho desítek let (pro JEDU se původně odhadovalo 30 let, nyní už se ozývají hlasy o prodloužení až na 60 let, které má určené JETE). Tepelné elektrárny mají oproti jaderným v průměru nižší životnost. ETU II však končí svůj provoz kvůli zásadní modernizaci, jinak by podle všeho mohla fungovat stejně dlouho jako EDĚ. SLE TU v Liberci, ÚČOV Praha a konečně i VTE Nová Ves pak uzavírají tabulku. Nabízí se vysvětlení, že jakožto nové technologie nejsou ještě tak dlouho v provozu a natolik vyzkoušené, aby bylo možno odhadnout jejich plnou životnost. Je tak proto možné, že je raději volen skromnější odhad, podobně jako tomu původně bylo u JEDU, jejíž odhady životnosti se postupně prodlužují. Tuto kategorii je proto třeba brát orientačně, spíše jako doplněk k ostatním údajům.

5.1.5. Externí náklady

Externí náklady¹ zde velice úzce korelují s emisním měřením. Jsou nejnižší u vodních elektráren, neboť zde prakticky neexistují žádné negativní vnější vlivy. Je však otázkou, zda by se do těchto nákladů nemělo zahrnout i možné nebezpečí např. z protrhnutí přehrad (kvůli určité silné klimatické události, vlivem záměrného poškození člověkem apod.) a s tím spojených následků, jež by snadno měly potenciál zastínit například následky i těch největších jaderných havárií². Jaderné elektrárny jsou na druhém místě. JETE sice provozuje pomocnou plynovou kotelnou, avšak její provoz se v externích nákladech na kWh nijak neodrazí (viz podkapitola 4.1.2.). Pokud jde o vliv radioaktivního záření zejména na pracovníky elektrárny, jeho dopady jsou do externích nákladů zahrnuty. Podle měření v JETE i JEDU je nicméně tato tzv. kolektivní efektivní dávka hluboko pod světovým průměrem³. Pokud jde o vliv záření z průměrné jaderné elektrárny na veřejnost,

¹ Jak již bylo řečeno ve 2. kapitole, externí náklady jsou v této práci určeny zejména vlivem na změny klimatu a vlivem na zdraví jednak lidské, jednak ostatních živých organismů.

² Havárie z lokality Three Mile Island a z Černobylu viz např. Baran, V.: *Jaderná energetika a další problémy moderní civilizace*, Academia, Praha 2002, s. 31-34.

³ V JETE v roce 2005 tato dávka činila zhruba 0,2 Sv / rok / blok, v JEDU zhruba 0,15 Sv / rok / blok. Světový průměr činil asi 0,97 Sv / rok / blok. Všechny tyto údaje jsou hluboko pod bezpečnostními normami (roční limit pro pracovníka s ionizujícím zářením je 50 mSv za rok).

Bruno Comby jej porovnává s rentgenem plic, který dosahuje hodnoty „běžně asi 1 mSv, to znamená, že jeden rentgen plic vás ozáří 100krát víc než roční kempování vedle jaderné elektrárny.“¹ Zhruba stejně jako JEDU a JETE je na tom VTE Nová Ves, jejíž externí náklady má na svědomí zejména výroba komponentů elektrárny a případný hluk z otáčení lopatek rotoru. Poté následuje SLE v Liberci, neboť samotná výroba fotovoltaických panelů má značné emisní dopady, které se vzhledem k nízké výrobě elektrické energie znatelně promítají do externích nákladů. O něco horší je dále ÚČOV Praha, neboť spalování kalového plynu má také určité emisní dopady. Externí náklady tepelných elektráren pak jsou ze sledovaných zdrojů pochopitelně nejvyšší.

5.1.6. Interní náklady

Interní náklady² ÚČOV jsou podle použitých dat nejpříznivější, zejména díky nulové výši palivových nákladů. I pokud pomineme otázku důvěryhodnosti těchto dat, zbývá tu velký problém v tom, že výroba elektrické energie není hlavní funkcí ÚČOV. Je tak otázkou, jak by se případně změnila výsledná hodnota interních nákladů, pokud by se do nich zahrnuly údaje pro celé zařízení. Interní náklady u JEDU i JETE jsou v použité literatuře³ uvedeny shodně - 0,57 Kč/kWh, což je po ÚČOV nejlepší hodnota. Je možné, že by ve srovnání JEDU a JETE dopadla lépe první jmenovaná elektrárna, neboť v projektu i během výstavby JETE došlo k mnohým průtahům a změnám, což konečné investiční náklady zvýšilo. Interní náklady tepelných elektráren jsou oproti externím příznivější (zejména díky investičním nákladům a cenám uhlí). Následují vodní zdroje, neboť zde je velmi vysoká investice do výstavby, ačkoli na „palivo“ se nemusejí vynakládat již žádné prostředky. Stejně je tomu u větrné a nakonec i fotovoltaické elektrárny, jež ovšem mají ještě daleko nepříznivější investiční náklady. Ty jsou zejména u fotovoltaiky doprovázeny ještě relativně vysokými náklady na provoz a údržbu.

5.1.7. Počet zaměstnanců

Tato kategorie udává, kolik je potřeba zaměstnanců na výrobu jedné TWh.⁴ V tomto porovnání nejlépe dopadla VE Orlík, což na první pohled může ilustrovat nízkou náročnost obsluhy vodní elektrárny. To však může být zavádějící, protože hráz je

¹ Comby, B.: *Environmentalisté pro jadernou energii*, Pragma, Praha 2007, s. 228.

² Interní náklady v této práci tvoří investiční náklady (náklady na vybudování celého zařízení), náklady na provoz a palivo.

³ OECD, *Projected Costs of Generating Electricity: 2005 Update*, OECD, Paris 2005

⁴ Myšleno též teoreticky, tedy i když elektrárna tolik elektrické energie nevyrábí.

obhospodařovaná zaměstnanci Povodí Vltavy (v případě MVE Mohelno zaměstnanci Povodí Moravy). MVE Mohelno má ovšem již jen průměrné výsledky, ačkoli má daleko vyšší vytíženost. Z toho lze vyvodit předpoklad, který platí pro všechny zdroje s výjimkou EDĚ: čím větší má elektrárna instalovaný výkon, tím větší je pravděpodobnost, že na každého jejího zaměstnance připadne nadprůměrná dodávka elektrické energie (v porovnání s ostatními výrobními zdroji ve výzkumu). S výjimkou EDĚ se tak za VE Orlík seřadily neobnovitelné zdroje, což opět ukazuje na poměrně vysokou efektivitu výroby elektráren s velkým instalovaným výkonem. Zbylá místa obsadily obnovitelné zdroje, jež bohužel nejsou schopny vyrábět zdaleka taková množství elektrické energie jako zdroje tepelné a jaderné, což se promítá i do této charakteristiky. Co se týče EDĚ, nabízí se několik možných vysvětlení. Rok 2005 mohl být výjimečný například kvůli určitým závažným opravám, po jejichž dobu musela být elektrárna odstavena. Pokud se však podíváme na rok 2004 či 2006, rok 2005 se pohybuje víceméně v normálu¹. Pokud se nepřikloníme k možnosti, že elektrárna určitým dílem pouze vyrábí teplo (bez současné produkce elektřiny), může za nízkou produkci elektrické energie stát sociální politika zaměstnanosti, která i přes značné rezervy při výrobě poskytuje práci několika set pracujícím z nezaměstnaností ohroženého Moravskoslezského kraje. Jedná se nicméně o pouhou domněnku. V této souvislosti lze pouze konstatovat, že žádný ze sledovaných parametrů k tomuto problému bohužel neposkytuje vysvětlení.

¹ Pro rok 2004 u EDĚ udává ERÚ 1897,1 GWh, pro rok 2006 2501,7 GWh. Tyto hodnoty sleduje např. i ETU II – v roce 2004 měla produkci 4405,1 GWh, v roce 2006 4758,1 GWh (zdroj: ERÚ [online]. Dostupné z: http://www.eru.cz/rz_06/rz/index.htm a http://www.eru.cz/rz_04/rz/index.htm).

5.2. Sociální pilíř – přepočet parametrů na počet zaměstnanců

Tato podkapitola porovnává část zkoumaných parametrů po přepočtu na počet zaměstnanců. Opět je zde zobrazena tabulka (viz tabulka 5) obsahující nanormované údaje.

Elektrárna	Instalovaný výkon (Mwe)	Dodávky elektrického proudu (v GWh)	Plocha (ha)
JETE	2,11	10,93	0,13
JEDU	1,56	11,39	0,08
EDĚ	1,59	4,23	0,19
ETU II	1,98	11,54	0,52
VE Orlík	17,91	20,29	124,21
MVE Mohelno	1,76	7,11	118,60
ÚČOV Praha	1,09	5,17	4,40
VTE Nová Ves v Horách	3,00	6,34	0,14
SLE TU Liberec	0,02	0,01	0,11

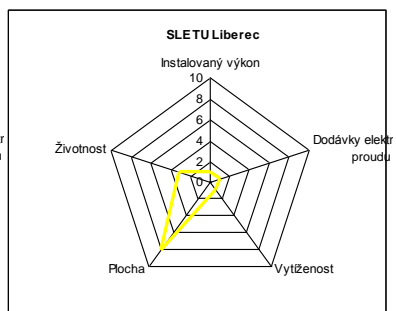
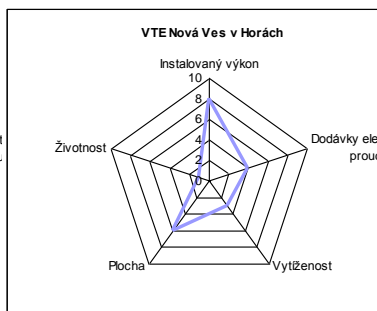
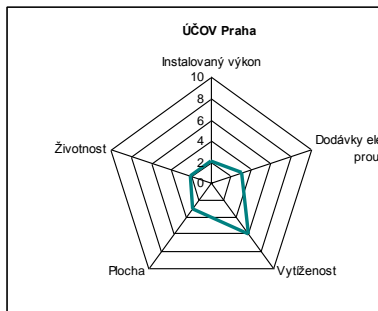
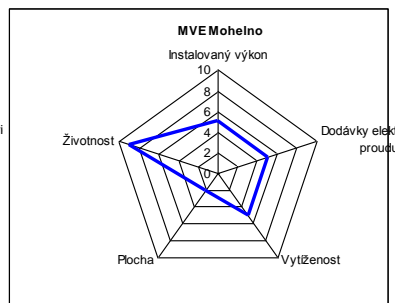
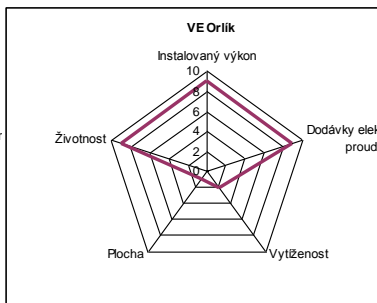
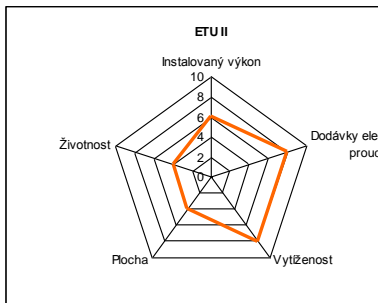
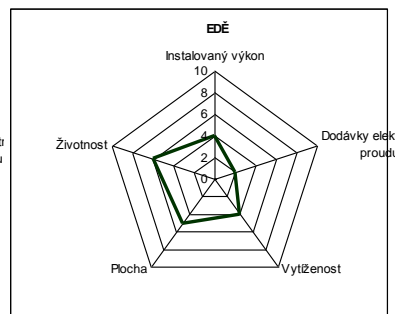
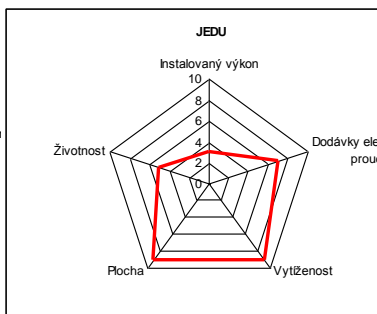
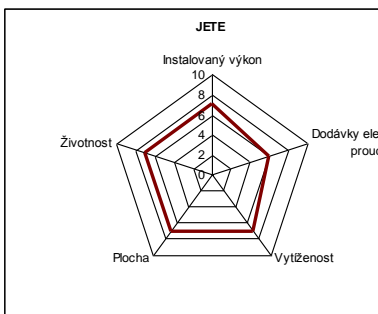
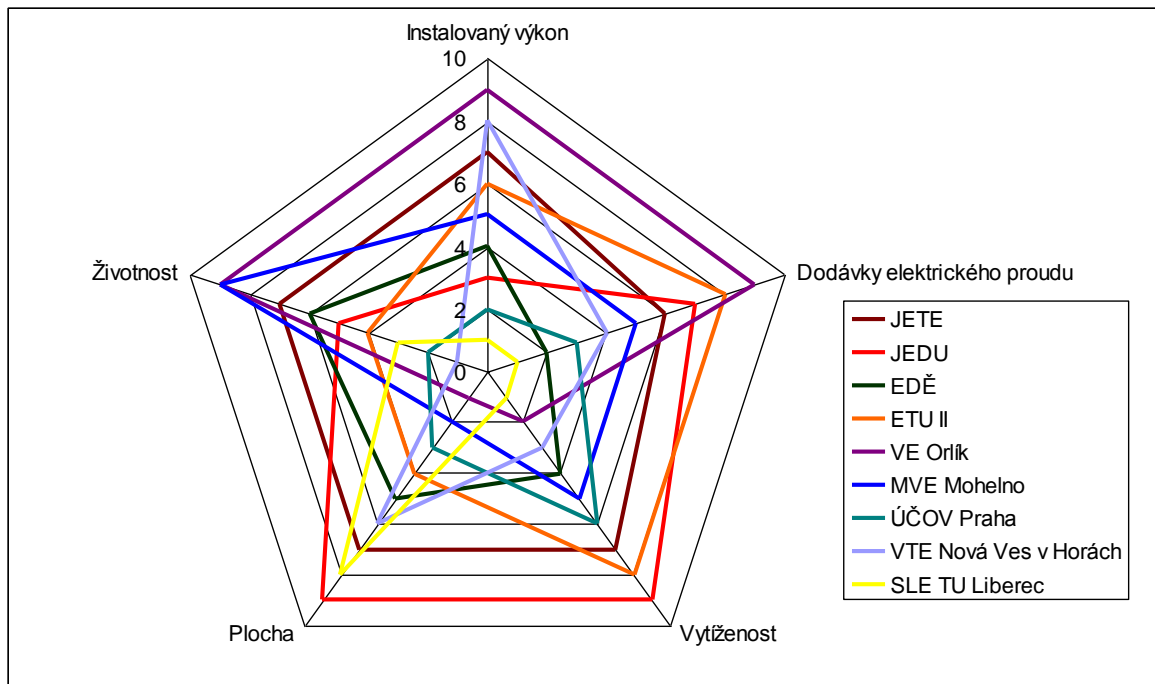
Tabulka 5 – Údaje nanormované na 1 zaměstnance

Ze stejných důvodů jako v podkapitole 5.1. nebyla normována životnost a vytíženost elektrárny. Dále by nemělo smysl normovat emise ani externí a interní náklady na zaměstnance, neboť by o ničem nevypovídaly, proto byly z následující tabulky a grafického znázornění vyřazeny. Následující tabulka provádí ranking parametrů elektráren.

Elektrárna	Instalovaný výkon	Dodávky elektrického proudu	Vytíženost	Plocha	Životnost
JETE	7	6	7	7	7
JEDU	3	7	9	9	5
EDĚ	4	2	4	5	6
ETU II	6	8	8	4	4
VE Orlík	9	9	2	1	9
MVE Mohelno	5	5	5	2	9
ÚČOV Praha	2	3	6	3	2
VTE Nová Ves v H.	8	4	3	6	1
SLE TU Liberec	1	1	1	8	3

Tabulka 6 – Ranking parametrů podle tabulky 5 (9 = nejlepší výsledek, 1 = nejhorší výsledek)

Tuto tabulku graficky znázorňuje obrázek 14; pro přehlednost je každá elektrárna zobrazena ve vlastním grafu. Opět zde platí pravidlo, že čím větší je výsledná plocha grafu, tím kvalitnější je elektrárna. Vytíženost a životnost elektrárny zde již nebude samostatně hodnocena, protože tak bylo učiněno již v podkapitolách 5.1.1. a 5.1.4.



Obrázek 14 - Parametry zobrazené podle tabulky 6 (9 = nejlepší výsledek, 1 = nejhorší výsledek)

5.2.1. Instalovaný výkon a dodávky elektrického proudu

Je zajímavé srovnat oba body naráz, neboť se tak lépe ukazuje, která elektrárna využívá lidské zdroje efektivněji. Pokud se zdroj umístil na lepší pozici v dodávkách proudu než jakou zaujal v instalovaném výkonu, znamená to vyšší efektivitu daného zdroje a tím i jeho zaměstnanců. Zejména JEDU zde vyniká, neboť si polepšila o čtyři místa, ETU II pak o dvě a ÚČOV Praha o jedno místo¹. Několik elektráren si drží stejnou pozici - SLE TU Liberec (neboť je s přehledem nejhorší) a oba vodní zdroje. VE Orlík však v obou charakteristikách obsadila první místo, proto si již v přepočtu dodávek proudu na zaměstnance nemohla polepšit. Jak již bylo zmíněno výše, je přesto třeba si uvědomit, že o vodní dílo jako takové se starají zaměstnanci Povodí (v tomto výzkumu Povodí Vltavy a Povodí Moravy), ne zaměstnanci elektrárny. Nižší dodávky proudu v poměru k instalovanému výkonu pak má JETE, jež si pohoršila o jedno místo, EDĚ klesla o dvě a VTE Nová Ves o čtyři místa. V případě VTE lze hledat důvod v samotné povaze technologie, která sama o sobě prakticky neumožňuje zlepšit tuto charakteristiku, avšak u JETE a ještě více u EDĚ by podle dosažených výsledků bylo možno dosáhnout podstatného zlepšení ve využití lidských zdrojů. Tato charakteristika může odkazovat i na rozdílnou politiku zaměstnanosti českých elektráren – kde byla zjištěna nižší efektivita, může být důraz položen spíše na zaměstnanost. Tento závěr však zčásti vyvrací údaje o JETE, které během posledních let dokládají snižování počtu zaměstnanců.²

5.2.2. Plocha

Tato charakteristika udává, jakou plochu elektrárny spravuje jeden zaměstnanec. Její hodnocení by se dalo vykládat různě, například že čím více plochy připadne na jednoho zaměstnance, tím lépe, neboť to vypovídá o vyšší efektivitě pracovníka. Ve shodě s ostatními pilíři je však vzat předpoklad, že čím méně plochy na zaměstnance, tím je provoz efektivnější. Nejedná se tu totiž o problém špatných pracovních podmínek zaměstnanců (zde jmenovitě nevyhovující či nedostatečný prostor pro výkon práce), spíše o omezování plýtvání prostorem a hmotnými prostředky. Méně prostoru na zaměstnance by teoreticky mohlo umožnit zaměstnat více pracovníků, kteří by mohli navíc například zvýšit bezpečnost provozu.

¹ Je třeba znovu podotknout, že ÚČOV Praha odmítla poskytnout údaj o zaměstnancích, proto bylo nutno počet zaměstnanců odhadnout.

² ČEZ, *Roční zpráva 2005 Jaderné elektrárny společnosti ČEZ, a. s., ČEZ, Praha 2006, s. 22.*

Nejlépe si stojí jaderné elektrárny, mezi nimiž se však na druhém místě nachází SLE TU v Liberci. Tento údaj by se sice měl klást do souvislosti s ostatními charakteristikami (zejména dodávkami proudu, externími a interními náklady), na druhou stranu je ale tato SLE postavena na již zastavěné ploše. JETE a zejména JEDU každopádně dosahují velmi dobrých výsledků i v ostatních charakteristikách. Za JETE následuje VTE Nová Ves. Důvod je stejný jako v podkapitole 5.1.3. - VTE je konstruována spíše vertikálně než horizontálně, zabírá tedy poměrně malou plochu, nicméně je dobré mít na paměti i rozměry lopatek rotoru. Zhruba uprostřed tabulky se umístily obě tepelné elektrárny, těžice z blokového uspořádání. Důvodem rozdílu v množství zaměstnanců oproti jaderným elektrárnám zde může být vyšší náročnost na obsluhu zařízení, jež pramení z technologické náročnosti celého procesu výroby elektrické energie v jaderné elektrárně. Po tepelných elektrárnách následuje ÚČOV Praha; důvody jsou opět stejné jako v podkapitole 5.1.3. Na konci tabulky jsou pak se svou značnou rozlohou i v přepočtu na zaměstnance obě vodní elektrárny, ačkoli je pravděpodobné, že ve skutečnosti se budou zaměstnanci těchto elektráren nacházet spíše v přehradní části vodního díla, kde je též umístěno celé strojní vybavení elektrárny.

5.3. Ekologický pilíř – přepočít parametrů na hektar

Tato podkapitola porovnává většinu zkoumaných parametrů po přepočtu na hektar. Jako u předchozích dvou pilířů, i zde je nejdříve zobrazena tabulka (viz tabulka 7), jež obsahuje nanormované údaje.

Elektrárna	Instalovaný výkon (MW _e)	Dodávky el. proudu (GWh)	SO _x (t)	NO _x (t)	TSP (t)	CO ₂ (1000 t)	CO (t)	Externí náklady (Kč/kWh)	Interní náklady (Kč/kWh)	Počet zaměstnanců
JETE	16,26	84,43	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00024	0,005	7,72
JEDU	20,75	151,76	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00035	0,007	13,33
EDĚ	8,35	22,21	11,2	38,6	1,3	23,6	0,7	0,00939	0,008	5,25
ETU II	3,81	22,27	51,0	45,1	1,5	24,4	1,0	0,00510	0,003	1,93
VE Orlík	0,14	0,16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000004	0,0004	0,0081
MVE Mohelno	0,01	0,06	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00008	0,010	0,0084
ÚČOV Praha	0,25	1,17	0,1	1,9	0,0	0,0	3,1	0,00773	0,011	0,23
VTE Nová Ves v H.	21,43	45,31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,21429	16,214	7,14
SLE TU Liberec	0,18	0,09	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,07143	333,393	8,93

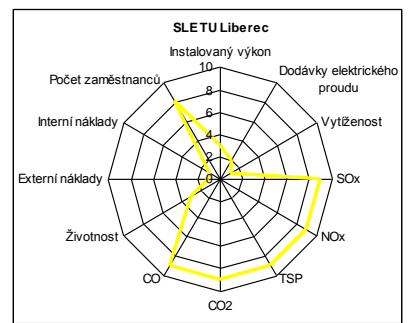
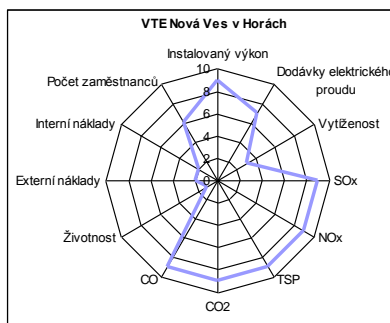
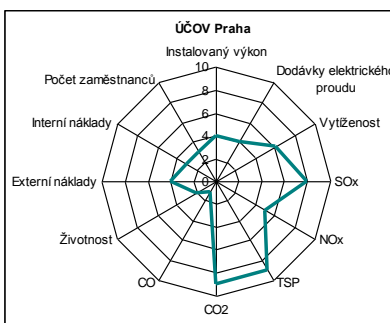
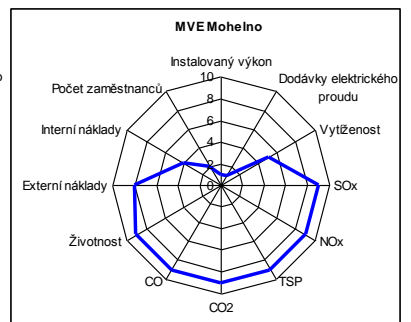
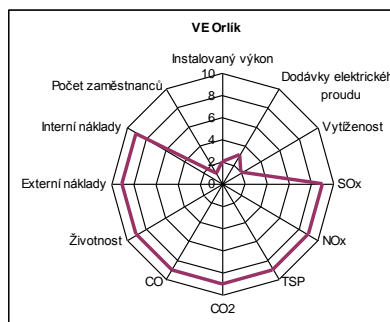
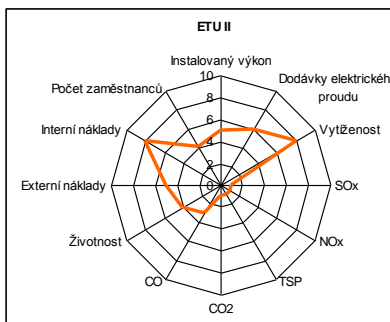
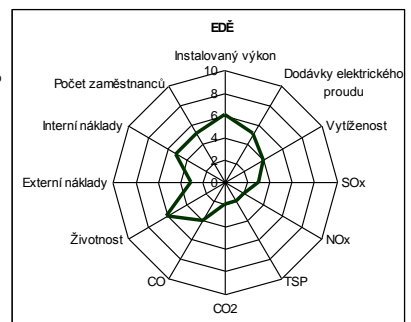
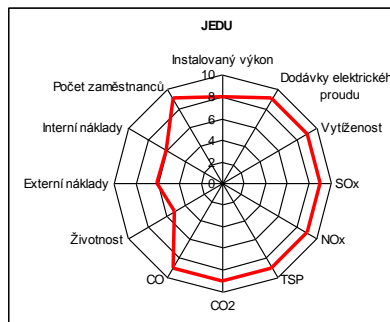
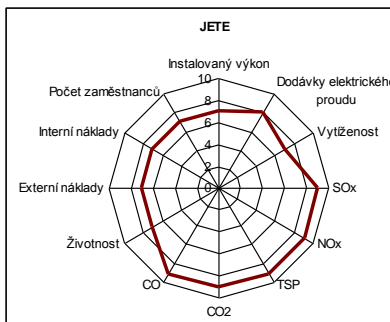
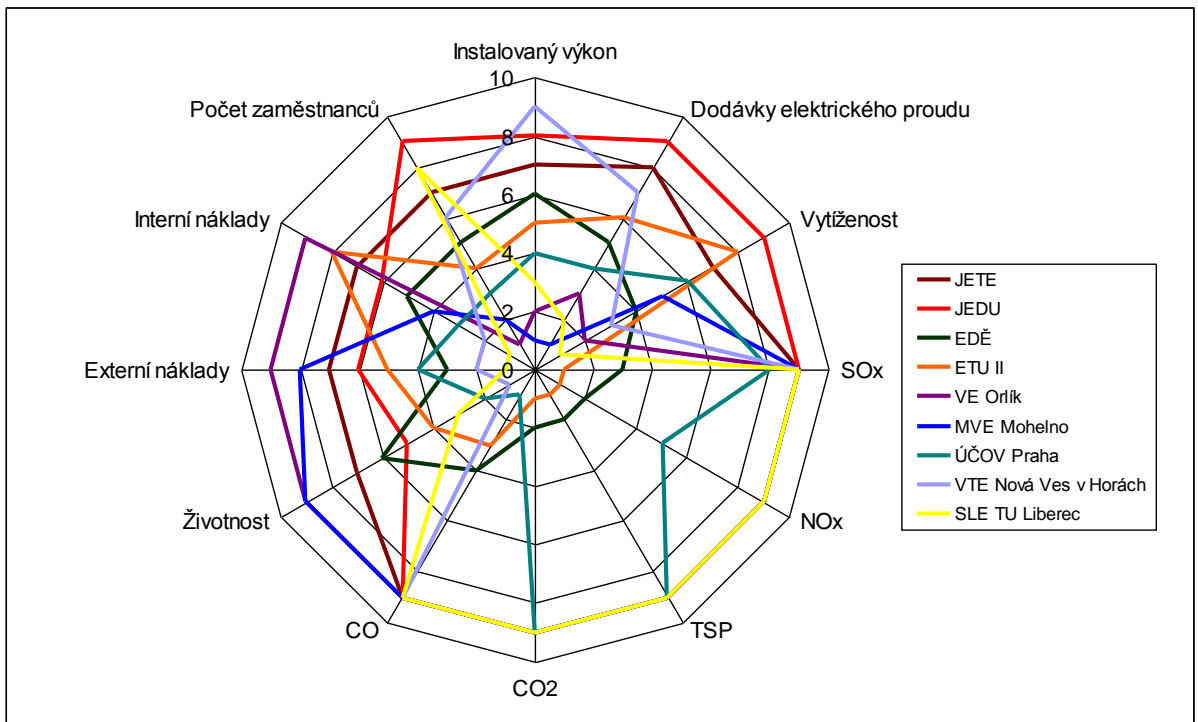
Tabulka 7 - Údaje nanormované na 1 ha

Ze stejných důvodů jako v podkapitole 5.1. nebyla normována životnost a vytíženost elektrárny. Výsledné hodnoty byly převedeny do tabulky 8.

Elektrárna	Instalovaný výkon	Dodávky el. proudu	Vytíženost	SO _x	NO _x	TSP	CO ₂	CO	Životnost technologie	Externí náklady	Interní náklady	Počet zaměstnanců
JETE	7	8	7	9	9	9	9	9	7	7	7	7
JEDU	8	9	9	9	9	9	9	9	5	6	6	9
EDĚ	6	5	4	3	2	2	2	4	6	3	5	5
ETU II	5	6	8	1	1	1	1	3	4	5	8	4
VE Orlík	2	3	2	9	9	9	9	9	9	9	9	1
MVE Mohelno	1	1	5	9	9	9	9	9	9	8	4	2
ÚČOV Praha	4	4	6	8	5	9	9	1	2	4	3	3
VTE Nová Ves v H.	9	7	3	9	9	9	9	9	1	2	2	6
SLE TU Liberec	3	2	1	9	9	9	9	9	3	1	1	8

Tabulka 8 – Ranking parametrů podle tabulky 7 (9 = nejlepší výsledek, 1 = nejhorší výsledek)

Jako v předchozích dvou případech, obrázek 15 tuto tabulku graficky znázorňuje. Pro přehlednost je každá elektrárna zobrazena ve vlastním grafu; čím větší zaujímá graf plochu, tím kvalitnější je elektrárna. Vytíženost a životnost elektrárny zde již nebude samostatně hodnocena, protože tak bylo učiněno již v podkapitolách 5.1.1. a 5.1.4. Stejně tak tomu bude i v údajích o počtu zaměstnanců, který vyjadřuje naprosto stejné výsledky jako podkapitola 5.2.2.



Obrázek 15 – Parametry zobrazené podle tabulky 8 (9 = nejlepší výsledek, 1 = nejhorší výsledek)

5.3.1. Instalovaný výkon, dodávky elektrického proudu a vytiženost

Zejména první dvě z těchto kategorií je zajímavé srovnat současně - první udává hodnotu instalovaného výkonu na hektar, druhá vyšší vyprodukované elektřiny na stejné ploše. U obou se dá shodně říci, že čím vyšší má údaj hodnotu, tím je lepší. Pokud vezmeme naráz oba údaje, má tato kombinace o to větší hodnotu, oč větší je druhý z údajů než první, neboť to znamená, že je efektivnější.

Nejvyšší instalovaný výkon má VTE Nová Ves, protože velká část celého zařízení nezabírá žádnou plochu na zemi. Po srovnání s dodávkami proudu ale klesá na třetí místo za obě jaderné elektrárny, které v instalovaném výkonu drží druhou a třetí pozici. Umějí tak lépe zhodnotit svůj potenciál. V obou kategoriích poté následují tepelné elektrárny, přičemž je znát, že ETU II využívá plochu daleko lépe než EDĚ. Další příčka patří ÚČOV Praha, které si dokázalo udržet rovnováhu mezi instalovaným výkonem a dodávkami proudu. V protikladu k ÚČOV si následující SLE TU Liberec rovnováhu neudrželo a v dodávkách klesá za VE Orlik. Na dně tabulky je pak MVE Mohelno. I v přepočtu na plochu tak tyto kategorie vyznívají lépe pro elektrárny využívající neobnovitelných zdrojů.

Pokud k těmto údajům přidáme vytiženost, zjistíme, že poměrně dobře koreluje s dodávkami proudu. Čím větší vytiženost, tím větší pravděpodobnost, že si v dodávkách proudu oproti instalovanému výkonu elektrárna polepší. Jedinou výjimkou z tohoto pravidla je VE Orlik; zřejmě proto, že je to jediný špičkový zdroj v tomto výzkumu.

Může být zajímavé prozkoumat případ, kdy by se do plochy elektrárny započítal ještě prostor přiléhající k elektrárně (avšak ne přímo zastavěný či využívaný), který je z nějakého důvodu neobyvatelný pro lidskou populaci. U jaderných elektráren by to bylo kupříkladu tříkilometrové ochranné pásmo (zjednodušeně kruh o ploše přibližně 2826 ha u JETE a rámcově 3000 ha u JEDU), v němž se nesmějí nacházet obytné stavby¹, u větrné elektrárny dvousetmetrový kruh (tudíž zhruba 12,5 ha), v němž by případní obyvatelé zase narazili na potíže s hlukem vznikajícím při otáčení lopatek rotoru. Daly by se sem zařadit i tepelné elektrárny; ani ty se totiž nestavějí v blízkosti lidských sídel². Proto by připadalo v úvahu též vytyčit okolo nich podobné, například dvoukilometrové (tudíž 1256 ha) ochranné pásmo³.

¹ Jedná se o preventivní opatření, toto pásmo není nijak zdraví škodlivé.

² Možným důvodem by mohly být hrozící zdravotní dopady z vypouštěných škodlivin.

³ Narozdíl od jaderných a větrných elektráren je zde dvoukilometrové pásmo voleno pouze namátkou, proto je zbytečné následně přesně udávat dílčí přepočtené hodnoty obou tepelných elektráren.

Pokud bychom se zaměřili jen na instalovaný výkon a dodávky proudu a výsledné hodnoty těchto tří technologických typů dosadili do tabulky 7, zjistili bychom následující: jaderné elektrárny by se z hlediska instalovaného výkonu na hektar (JETE 0,71 GWh, JEDU 0,59 GWh) i dodávek elektrického proudu na hektar (JETE 3,67 MW_e, JEDU 4,29 MW_e) dále dělily s tepelnými elektrárnami o první až čtvrté místo¹. VTE Nová Ves v Horách by se z hlediska instalovaného výkonu (0,24 MW_e) dostala zhruba na úroveň ÚČOV Praha a z pohledu dodávek elektrického proudu (0,51 GWh) mezi ÚČOV a VE Orlík. Technologie využívající obnovitelné zdroje by se tak v obou kategoriích zařadily za jaderné a tepelné elektrárny, které by i přes značné snížení převahy v těchto kategoriích stále zůstaly dvěma nejvýhodnějšími technologickými typy.

5.3.2. Emise

Ze sledovaných elektráren jsou pouze čtyři znečišťovatelé. Stejně jako v podkapitole 5.1.2., i v přepočtu na jednotku plochy mají zdaleka nejhorší výsledky tepelné elektrárny, které poráží jen ÚČOV v množství CO. V množství ostatních látek zůstává daleko pozadu. Ani velká rozloha tepelných elektráren tak nikterak neovlivňuje výsledné pořadí znečišťovatelů, naopak ho potvrzuje.

5.3.3. Externí a interní náklady

Na přepočtu na hektar v obou případech pochopitelně vydělaly plošně rozlehlé elektrárny. Tato kategorie sama o sobě nemá příliš smysl, přesto byla zařazena alespoň pro srovnání jak s ostatními charakteristikami podkapitoly 5.3., tak s externími a interními náklady na kWh v podkapitole 5.1., jako důkaz rozdílu mezi absolutním a poměrným zobrazením.

¹ Podle použitých dat by první v instalovaném výkonu byla JETE, pak shodně EDĚ s ETU II a na čtvrtém místě JEDU, v dodávkách proudu by byla nejlepší JEDU, následně ETU II, JETE a posléze EDĚ.

5.4. Souhrnné hodnocení

Pokud se při vzájemném srovnání jednotlivých grafů elektráren na obrázcích 13-15 budeme držet výše zmíněného pravidla, že čím větší plocha grafu, tím kvalitnější je daná elektrárna, pak všechna tři srovnání vycházejí nejlépe pro JEDU. Výsledky grafů tak podporují pravdivost prohlášení společnosti ČEZ, a. s., že JEDU vyrábí nejlevnější proud v ČR. V otázce životnosti trochu zaostává, nicméně je možné, že její životnost bude dále prodloužena. Jediné, co by se tak JEDU dalo vytknout, je ne zcela ideální počet zaměstnanců potřebných k výrobě jedné TWh. Již z předchozích let však údaje mluví o velkém snižování počtu zaměstnanců, z čehož lze dovodit, že vedení JEDU usiluje o zlepšení (stejný problém i analogický způsob jeho řešení najdeme u JETE). V každém případě zůstává faktem, že náklady na výstavbu JEDU¹ se už dvakrát zaplatily. JETE má téměř stejně dobré charakteristiky jako JEDU (udávanou životnost naopak ještě vyšší), přesto je nutno zmínit jeho plynovou kotelnou, která ale zhoršuje emisní charakteristiky více v prezentovaném grafickém srovnání než ve skutečnosti. Rozdíl ve vytíženosti JETE a JEDU může být dán i tím, že JEDU není používána k regulaci ES ČR² tak často (vzhledem k výše zmíněným důvodům). Odstávky, případně neplánované výpadky, také ovlivňují daleko zásadněji JETE, neboť má jen dva reaktory, které mají přibližně o polovinu vyšší instalovaný výkon. Případný výpadek takto velkého zdroje pak má zásadní vliv na ES. Z hlediska návratnosti investic na tom JETE bude také o něco hůř než JEDU, protože se kvůli zásadním úpravám a politickým průtahům celý projekt prodražil³. Jaderné elektrárny přesto z celkového pohledu v tomto výzkumu poměrně jasně vítězí.

Na druhém místě se z hlediska srovnávaných grafů umístily vodní elektrárny. Oproti jaderným elektrárnám mají delší životnost a prakticky bezemisní provoz, nicméně ztrácejí zejména ve vytíženosti (a tím i instalovaném výkonu na kWh)⁴ a v přepočtu plochy na kWh. Jako jistou kompenzaci je tu však možné vzít v potaz jiné funkce vodních děl, případně ochranná pásma jaderných elektráren⁵, jejichž využívání je do určité míry

¹ Podle ČEZ, a. s. činily celkem 25 mld. Kč.

² Stejně jako jiné zdroje je JEDU provozována i v tzv. proměnném zatížení, neboť musí poskytovat tzv. podpůrné služby přenosové soustavě. V současnosti je na blocích JEDU nejčastěji využívána podpůrná služba sekundární regulace, jejíž celkový rozsah je ± 120 MW. Podrobněji viz např. *ČEZ, Energie z jižní Moravy – Jaderná elektrárna Dukovany, ČEZ, Praha 2007, s. 14-15.*

³ Cena JETE se nakonec vyšplhala na 98 mld. Kč.

⁴ Důvody viz podkapitola 5.1.1.

⁵ Je několik různých ochranných pásem jaderných elektráren. Existuje například tříkilometrové ochranné pásmo, v němž by se neměly vyskytovat žádné stavby určené k trvalému bydlení). Mimoto však existuje

regulováno. Je též nutné počítat s určitým pásmem kolem tepelných a větrných elektráren (emise škodlivin, resp. hlukové emise). Velké vodní elektrárny již v ČR nicméně prakticky není kde postavit, neboť je zapotřebí zatopit rozlehlé plochy. To je často v rozporu, mimo jiné, se zájmy ochrany přírody a kapacitními možnostmi českých toků¹, jejichž energetický potenciál je již často do značné míry využit². Zůstávají ještě určité lokality pro stavbu MVE, nicméně zde může nastat problém s nedostatkem vody (v určitých ročních obdobích). I proto vodní elektrárny zpravidla nedosahují vytíženosti elektráren, pracujících primárně v základním zatížení. Jak je vidět i v tomto výzkumu, ke stavbě vodní elektrárny je sice zapotřebí poměrně značné investice, nicméně samotný provoz je nejlevnější ze všech sledovaných technologií.

Další v pořadí je VTE Nová Ves v Horách, zejména díky čistému provozu, výbornému využití plochy na produkci elektrické energie a nízkým externím nákladům na kWh. Její slabou stránkou je však životnost, interní náklady (ať absolutní, nebo v přepočtu na zaměstnance), vytíženost a tím i poměr instalovaného výkonu ku dodávkám elektrické energie. Jako problém se tak jeví hlavně vysoké náklady na stavbu zařízení a nespojitost dodávek proudu, s nimiž se posléze musí ES vypořádávat, což klade vyšší nároky na její přizpůsobení³. V neposlední řadě se větrné elektrárny mohou stavět jen na místech s vhodnými povětrnostními podmínkami, což v některých případech může opět kolidovat se snahou o ochranu životního prostředí.⁴

Podobné schéma jako VTE Nová Ves má i graf SLE TU v Liberci, s rozdíly v ještě vyšších externích nákladech, nižších dodávkách na jednotku plochy a vytíženosti, a zejména pak ve zdaleka nejvyšších interních nákladech na kWh, které dosahují více než šedesátinásobku interních nákladů jaderných elektráren. Nespojitost dodávek proudu se u SLE též objevuje, tato dodávka je však vzhledem k daleko nižšímu instalovanému výkonu a ke střídání dne a noci ještě nižší než u VTE. Oproti neregulovatelné VTE by nicméně mohla být situace v noci (kdy fotovoltaická elektrárna pochopitelně nevyrobí proud) výhodou, protože v noci není zdaleka taková poptávka po elektrické energii; SLE je tak

ochranné pásmo 20 km či 30 km. U JETE např. existuje i tzv. pásmo havarijní připravenosti, jež SÚJB stanovil zhruba na 13 km, nicméně na určitých místech sahá ještě dál. Nejedná se tedy o kruhové pásmo.

¹ Většinou už zbývají jen toky s velice nízkým spádem (do 2 metrů). Pro jejich využití nicméně byla vyvinuta například vírová turbína (viz podkapitola 3.3.).

² K využití energetického potenciálu u jednotlivých povodí viz *Kol. autorů, Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice, ČEZ, Praha 2007, s. 44-45.*

³ Jak už bylo zmíněno v 5. kapitole, jedná se zde například o přechod zdrojů ze základního na proměnné zatížení. Zdroje, které se vyznačují nespojitými a neregulovatelnými dodávkami elektrického proudu, tak vlastně snižují stabilitu ES, což by teoreticky mohlo vést až k jejímu zhroucení.

⁴ Vhodná místa pro stavbu těchto elektráren totiž někdy bývají na státem chráněných územích.

daleko vhodnějším zdrojem, pokud se týká stability ES. Lepší než u VTE je tu jen životnost, ačkoli v porovnání s ostatními sledovanými zdroji zůstává poměrně nízká. Pokud u VTE a SLE odhlédneme od emisních charakteristik, bude z výše prezentovaných grafických srovnání znát, že obě elektrárny, zejména však SLE, mají mnoho slabých stránek, které do značné míry problematizují jejich masové využití.

Za SLE následuje ÚČOV Praha, která vyniká hlavně díky absenci produkce CO₂. V případě, že odhlédneme od emisního měření, zjistíme na druhou stranu lepší vytiženost a tím celkově efektivnější využití než u VTE i SLE dohromady. Pokud budeme brát plochu ÚČOV s vědomím, že je využívána k vícero účelům (podobně jako vodní elektrárny), její pozice se zlepšit též v tomto ohledu. Na tomto zdroji je též dobře vidět hospodárný přístup, neboť kogenerační jednotka ÚČOV využívá bioplynu, který by z činnosti ÚČOV vznikal v každém případě. Zhruba 40 milionů Kč, které byly v roce 2005 získány prodejem elektrické energie (teplo bylo použito pro potřeby ÚČOV), tak pomohlo nejen snížit provozní náklady ÚČOV, ale i celkové náklady, jež by vznikly při výrobě elektrické energie jinými zdroji.

Jestliže záleží jen na srovnání ploch grafů, tepelné elektrárny jsou na posledních dvou místech. Při bližším srovnání ETU II poráží EDĚ hned v několika kategoriích. Pokud odhlédneme od velice špatných emisních charakteristik obou zdrojů, má ETU II velice dobrou vytiženost a druhý nejnižší počet zaměstnanců, kteří jsou potřeba na výrobu 1 TWh, což mimo jiné snižuje interní náklady elektrárny a ukazuje na velice slušnou efektivitu celého zařízení. Též plocha potřebná pro výrobu 1 TWh ukazuje slušné hodnoty. Oproti ETU II má EDĚ tyto kategorie horší, velkou roli tu hraje nízká vytiženost a s tím související nízké dodávky elektrické energie.

Pokud budeme porovnávat pouhým srovnáním výsledných ploch grafů obnovitelné a neobnovitelné zdroje¹ jako celky, vyjde nám zvláštní obraz. V popředí hodnocení se objevují jaderné elektrárny, nicméně druhý zástupce využívající neobnovitelných zdrojů, tepelné elektrárny, se naopak nachází na konci tabulky. Z hlediska externích nákladů nelze vést přesnou dělicí čáru mezi obnovitelnými a neobnovitelnými zdroji, interní náklady jsou nicméně celkově vyšší u obnovitelných zdrojů. Elektrárny využívající obnovitelných zdrojů též mají v souhrnu nižší vytiženost a ztrácejí v produkci elektrické energie na jednotku plochy. To opět koresponduje se skutečností, protože energie obnovitelných zdrojů (tedy energie vody, větru, slunce a biomasy) se vyznačuje menší hustotou a je tedy

¹ Jejich definice pro tuto práci viz 2. kapitola.

potřeba větší plochy pro produkci stejného množství elektrické energie. Obnovitelné zdroje tak jsou v tomto ohledu náročnější na životní prostředí. V celkovém úhrnu nicméně produkují méně (či žádné) ze sledovaných emisí. Je však třeba vzít v potaz též emisní charakteristiky během výroby jednotlivých komponent a stavby elektrárny. Zde se pak ukazuje, že zejména větrná a solární technologie je „naprosto čistá“ jen stěží. Dělicí čára mezi obnovitelnými a neobnovitelnými zdroji by se dala vést i v případě, že bychom porovnávali možnost kogenerace, tedy současné produkce elektrické a tepelné energie. Jediným obnovitelným zdrojem schopným kogenerace by zde byl ÚČOV Praha, naproti tomu z neobnovitelných zdrojů mají tuto možnost v principu tepelné i jaderné elektrárny¹.

Ačkoli se tak jaderné elektrárny ukazují v prezentovaném srovnání jako nejlepší řešení ve většině charakteristik, nelze je bez určité pochybnosti prohlásit za jasného vítěze tohoto srovnání. V každém případě je možno konstatovat, že by se technologie využívající neobnovitelných zdrojů energie neměly zatracovat a technologie využívající obnovitelných zdrojů naproti tomu nekriticky přijímat. Obě skupiny totiž mají své silné i slabé stránky.

Tolik k hodnocení elektráren striktně podle grafického srovnání. Tato práce však nemá ambice myslet si, že zvolený postup byl nejlepší možný. Není ani jisté, zda bylo téma vůbec správně uchopeno. Doposud byly všechny kategorie posuzovány víceméně rovnocenně, bylo by však na místě položit si otázku, zdali opravdu mají stejnou důležitost. Údajům o dodávkách proudu či interním nákladům by totiž mohla být připisována větší důležitost než například produkci tuhých emisí. Bylo by také možné zvolit jiné parametry a posuzovat je z jiných úhlů pohledu. Tato práce se nicméně snažila uchopit téma skrze již zmíněné tři pilíře udržitelnosti, proto by se daly zmínit určité alternativní pohledy na tuto problematiku podle nich.

Pokud se zaměříme na ekonomický pilíř, můžeme vzít v potaz například cenu paliva. Elektrárny spalující zemní plyn, v jejichž masovějším využití se spatřuje naděje mimo jiné kvůli nižší produkci emisí, jsou v ČR z hlediska cen paliv jednou z nejdražších možností². Uhelové elektrárny mají v porovnání s plynem i více než o polovinu nižší, elektrárny jaderné pak i více než osmkrát nižší náklady na palivo. Jiné technologické typy

¹ Je tu ovšem jiný problém - pokud se nejedná o zdroje uprostřed velkých měst (např. Teplárna Malešice či Teplárna Liberec), je možnost využití této tepelné energie nízká. Jaderné (kvůli ochrannému pásmu), ale i tepelné elektrárny této velikosti se pochopitelně u velkých sídel nestaví.

² Zřejmě i z tohoto důvodu se v ČR nenachází žádný velký zdroj na výrobu elektrické energie ze zemního plynu.

však nejsou závislé na žádném fosilním palivu. Dalo by se srovnávat i množství spalovaného paliva.

Z hlediska sociálního pilíře udržitelnosti vyvstávají zase jiné otázky. Ačkoli obě tepelné elektrárny patří mezi významné znečišťovatele a podle prostého grafického srovnání jsou nejhoršími ze všech sledovaných zdrojů, pomáhají například zvyšovat počet pracovních příležitostí v regionech s poměrně vysokou nezaměstnaností. Elektrárny využívající neobnovitelných zdrojů navíc stabilně poskytují poměrně levnou energii, což má vliv na výslednou cenu elektrické energie pro spotřebitele.

Podle ekologického pilíře by pak mohla být mimo plochy problematizována kupříkladu stabilita ES ČR (tudíž i stabilita dodávek elektrické energie spotřebitelům). Zde by měly navrch technologie využívající neobnovitelné zdroje, protože jsou přímo zamýšleny pro provoz v základním zatížení. Naopak zajímavé by bylo vyčíslit náklady na regulaci ES, k nimž dochází v důsledku zapojování stále většího počtu zejména větrných elektráren.

6. Závěr

Na základě srovnání vybraných elektráren různých technologických typů, resp. jejich několika parametrů, jsem se snažil určit jejich hodnotu pro lidskou společnost i životní prostředí. Při hodnocení jsem vycházel z grafického zobrazení ze tří úhlů pohledu (podle tří pilířů udržitelnosti), přičemž jsem postupoval nejdříve podle technologických typů a posléze podle rozdělení na obnovitelné a neobnovitelné zdroje. Snažil jsem se nicméně nebrat výsledné pořadí absolutně, ale naopak problematizovat ho a reflektovat možná zkreslení, plynoucí z převedení údajů do grafů. Jednotlivé parametry nelze pokládat za rovnocenné, avšak přesně určit vzájemnou hodnotu parametrů a tím zpřesnit dosažené výsledky přesahuje rámec této studie.

Jako všestranné se podle užitého srovnání ukázaly jaderné elektrárny, jako nejméně kvalitní pak elektrárny tepelné. Mezi těmito dvěma póly se v sestupném pořadí umístily zdroje vodní, větrný, bioplynový a solární, tedy obnovitelné zdroje. Snad až na jaderné elektrárny mají všechny zdroje specifické slabiny: nízké dodávky elektrické energie (veskrze všechny obnovitelné zdroje), nároky na prostor (vodní a fotovoltaické elektrárny), poměrně zásadní výkyvy v dodávkách elektrické energie (zejména větrné a solární zdroje), emise (zejména tepelné elektrárny, ale i zdroje využívající biomasu), vysoké interní náklady (zejména solární a větrné elektrárny) a podobně.

Pokud se na problematiku podíváme ze širšího hlediska, zjistíme, že i jaderné elektrárny mají velkou slabinu: nedůvěru až nepřátelství části laické veřejnosti, která místo energie jádra propaguje zdroje, jež se v této práci ukázaly jako méně účinné, nákladnější a v konečném důsledku méně udržitelné. Proto bych nakonec zmínil slova Jamese Lovelocka, jimž výsledky této práce dávají za pravdu: „*Doufám, že není příliš pozdě pro svět, aby napodobil Francii a učinil z jaderné energie náš hlavní zdroj energie. V současné době neexistuje žádná bezpečná, praktická a ekonomická náhrada za nebezpečnou praxi spalování karbonových paliv.*“¹

¹ Comby Bruno, *Environmentalisté pro jadernou energii*, Praha 2007, s. 41.

Seznam literatury

- Augusta, P. a kol.: *Velká kniha o energii*, L.A. Consulting Agency, Praha 2001
- Baran, V.: *Jaderná energetika a další problémy moderní civilizace*, Academia, Praha 2002
- Bacher, P.: *Energie pro 21. století*, HZ Editio, Praha 2002
- Beranovský, J., Truxa, J.: *Alternativní energie pro váš dům*, ERA, Brno 2004
- Braniš, M. a kol.: *Výkladový slovník vybraných termínů z oblasti ochrany životního prostředí a ekologie*, Karolinum, Praha 1999
- CENIA, Vyjádření k žádosti o vydání integrovaného povolení společnosti ČEZ, a.s., Praha 2006
- CENIA, Vyjádření k žádosti o změnu integrovaného povolení společnosti ČEZ, a.s., Elektrárna Tušimice II, Praha 2006
- Comby, B.: *Environmentalisté pro jadernou energii*, Pragma, Praha 2007
- ČEZ, *Uhelné elektrárny Skupiny ČEZ*, ČEZ, Praha 2007
- ČEZ, *Obnovitelné zdroje energie a Skupina ČEZ*, ČEZ, Praha 2007
- ČEZ, *Pokročilé jaderné technologie a Skupina ČEZ*, ČEZ, Praha 2007
- ČEZ, *Roční zpráva 2005 Jaderné elektrárny společnosti ČEZ*, a. s., ČEZ, Praha 2006
- ČEZ, *Energie z jižní Moravy – Jaderná elektrárna Dukovany*, ČEZ, Praha 2007
- Česenková, L.: *Bariéry rozvoje cíleného pěstování biomasy pro energetické využití v ČR*. Praha 2007. Diplomová práce na Fakultě humanitních studií Univerzity Karlovy na katedře sociální a kulturní ekologie. Vedoucí práce Ing. Jiří Jiránek.
- ERÚ, *Roční zpráva o provozu ES ČR 2005*, Praha 2006
- European Community, *Externalities of Energy: Extension of accounting framework and Policy Applications (Final Technical Report)*, European Community, 2005
- ExternE-Pol. *Externalities of Energy: Extension of Accounting Framework and Policy Applications. Implementation of ExternE Methodology in Eastern Europe*, 2004
- Murtiger, K., Truxa, J.: *Solární energie pro váš dům*, ERA, Brno 2005
- Murtiger, K., Beranovský, J.: *Energie z biomasy*, ERA, Brno 2006
- Kol. autorů, *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice*, ČEZ, Praha 2007
- Kubín, M.: *Energetika. Perspektivy – strategie – inovace v kontextu evropského vývoje*, Jihomoravská energetika, a. s., Křtiny
- OECD, *Projected Costs of Generating Electricity: 2005 Update*, OECD, Paris 2005
- Otčenášek, P.: *Elektrická energie pro ČR*, Praha 2006

Rynda, I.: *Trvale udržitelný rozvoj a vzdělávání*. In: Hledání odpovědí na výzvy současného světa. Centrum pro otázky životního prostředí Univerzity Karlovy, Praha 2000

Červinka Jiří, Větrné elektrárny Strážný Vrch, a. s., osobní sdělení, cit. [10.4.2008].

Matějovičová Věra, ČEZ, a.s., osobní sdělení, cit. [11.4.2008].

Pospěch Luděk, Pražské vodovody a kanalizace, a.s., osobní sdělení, cit. [31.3.2008].

Skácel Dalibor, Katedra energetických zařízení TUL, osobní sdělení, cit. [11.4.2008].

Alternativní zdroje energie [online]. Dostupné z: <http://www.alternativni-zdroje.cz>, cit. [10.4.2008].

Automatizace.HW.cz [online]. Dostupné z: <http://www.automatizace.hw.cz/el-pohony/ART295-vodni-elektrarny--mikro-male-i-velke--druhy-principy-provedeni.html>, cit. [10.4.2008].

ČHMÚ [online]. Dostupné z: www.chmi.cz/uoco/data/emise/gnavemise.html, cit. [8.4.2008]

EkoWATT [online]. Dostupné z: http://www.ekowatt.cz/obnovitelne_zdroje_energie, cit. [10.4.2008].

Energetický regulační úřad [online]. Dostupné z: www.eru.cz/rz_05/rz/index.htm, cit. [12.4.2008], http://www.eru.cz/rz_06/rz/index.htm a http://www.eru.cz/rz_04/rz/index.htm, cit. [7.5.2008].

Energetika.cz [online]. Dostupné z: <http://www.energetika.cz/?id=2>, cit. [10.4.2008].

Integrovaný registr znečišťování [online]. Dostupné z: www.irz.cz/organizace/2005/470, cit. [8.4.2008].

JE Temelín a Dukovany [online]. Dostupné z: www.je-temelin-dukovany.cz, cit. [6.4.2008].

MŽP [online]. Dostupné z: [www.env.cz/www/ippc.nsf/\(\\$companies\)/45274649](http://www.env.cz/www/ippc.nsf/($companies)/45274649), cit. [2.4.2008].

Pražská vodohospodářská společnost [online]. Dostupné z: <http://www.pvs.cz/zpravy/vyrocnizpravy>, cit. [5.5.2008].

Pražské vodovody a kanalizace [online]. Dostupné z: www.pvk.cz, cit. [10.4.2008].

Skupina ČEZ [online]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/cs/energie-a-zivotni-prostredi.html>, cit. [12.4.2008].

Technet.cz [online]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/exkluzivni-fotoreportaz-z-modernizace-jaderne-elektrarny-temelin-1fb-/tec_reportaze.asp?c=A070827_101055_tec_reportaze_rja, cit. [10.4.2008].

TZB-info [online]. Dostupné z: <http://energie.tzb-info.cz/t.py?t=1&i=2>, cit. [10.4.2008].

Vodní a tepelné elektrárny [online]. Dostupné z: <http://www.vodni-tepelne-elektrarny.cz>, cit. [10.4.2008].

Wikipedie [online]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org>, cit. [21.4.2008].