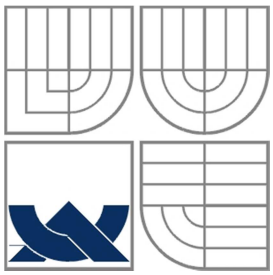


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

OBNOVITELNÉ ZROJE V ČESKÉ REPUBLICE

RENEWABLE SOURCES IN THE CZECH REPUBLIC

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR
Bc. JAN ŠKVAŘIL

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR
Doc. Ing. JAN FIEDLER, Dr.

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav
Akademický rok: 2007/08

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Škvařil Jan, Bc.

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

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

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

Obnovitelné zdroje v České republice

v anglickém jazyce:

Renewable source in CR

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Stav a srovnání obnovitelných a alternativních zdrojů v ČR. Provedení ekonomické analýzy výroby elektrické energie případně tepla na vybraných technologiích s obnovitelnými zdroji energie.

Cíle diplomové práce:

-srovnání obnovitelných a klasických zdrojů z hlediska provozních a investičních nákladů
-výrobní cena elektrické energie a tepla z jednotlivých zdrojů
-možnosti a limity obnovitelných zdrojů v ČR

Seznam odborné literatury:

Lee Sungguy: Handbook of Alternative fuel technology,NY published, 2002
Sorensen B.: Renewable energy,Dorling Kindersley,London,1998

Vedoucí diplomové práce:doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem

ne 26.11.2007

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.	doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Ředitel ústavu	Děkan fakulty

Anotace

Diplomová práce je zaměřena na obnovitelné a alternativní zdroje energie a jejich provozování v České republice. V úvodní části se zabývá legislativní podporu týkající se obnovitelných energetických zdrojů a dokumentů s tím souvisejících. V dalších kapitolách jsou rozebrány jednotlivé druhy obnovitelných energetických zdrojů a jejich současné postavení na trhu s energií. Je zde provedena ekonomická analýza výroby elektrické energie, případně tepla v konkrétních zařízeních využívajících obnovitelné energetické zdroje. Následně jsou porovnány obnovitelné a klasické energetické zdroje. V závěrečné části je rozebráno celkové zhodnocení energetických zdrojů a také jejich možné využívání.

Annotation

Master's thesis focuses on renewable and alternative energy sources and their operation in the Czech Republic. First part of this work deals with legislative support of the renewable energy sources and with other related documents. Next chapters describe each kind of renewable energy sources and their contemporary energy market share. In this work there are also economic analyses of electricity and eventually heat productions, which are produced on concrete plants by sources using renewable energy. There is a comparison between regular and renewable energy sources in the next chapter. Final evaluation of different energy sources and their possibilities of using are described in the final part of the thesis.

Klíčová slova

obnovitelné zdroje energie

energetika

ekonomika

výroba elektrické energie

výroba tepla

porovnání

Key words

renewable energy sources

power engineering

economics

electricity production

heat production

comparison

Bibliografická citace vlastní práce

ŠKVAŘIL, Jan. *Obnovitelné zdroje v České republice.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 96 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Obnovitelné zdroje energie v České republice* vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana doc. Ing. Jana Fiedlera, Dr. Vycházel jsem ze svých znalostí a odborných konzultací a z použitých pramenů a literatury uvedených v Seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 23. května 2008

Autor

Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Ing. Janu Fiedlerovi, Dr. za zájem, připomínky a čas, který věnoval mé práci.

Mé poděkování rovněž patří celému kolektivu Odboru energetického inženýrství Energetického ústavu za velmi příjemné studijní a pracovní prostředí a všem mým blízkým za velkou podporu.

Obsah

1. Úvod 13

2. Obnovitelné zdroje a legislativa 15

2.1 Kjótský protokol 15

2.2 Právní prostředky Evropské unie 16

2.2.1 Směrnice 2001/77/ES 17

2.3 Právní úprava České republiky 17

2.3.1 Zákon č. 458/2000 Sb. 18

2.3.2 Zákon č. 180/2005 Sb. 18

2.3.3 Další zákony a vyhlášky 20

3. Energie biomasy 23

3.1 Biomasa 23

3.2 Vznik biomasy 23

3.3 Rozdělení biomasy 24

3.4 Technologie energetického využití biomasy 25

3.5 Spalovací procesy 26

3.5.1 Charakteristické vlastnosti 26

3.5.2 Spalovací zařízení 27

3.5.3 Spoluspalování biomasy 27

3.6 Zplyňování biomasy 28

3.7 Anaerobní fermentace 28

3.8 Biomasa a kogenerace 30

3.9 Další technologie 30

3.9.1 Organický Rankin-Clausiův cyklus 30

3.9.2 Mikroturbína 30

3.9.3 Palivové články 30

3.10 Aktuální stav využívání biomasy v České republice 31

3.11 Bioplynová stanice Kostelec na Hané – ekonomická kalkulace 32

3.11.1 Popis technologie 33

3.11.2 Stanovení nákladů 34

3.11.3 Stanovení výnosů 35

3.11.4 Kritéria hodnocení ekonomické efektivnosti investic 36
3.11.5 Stanovení měrných investičních nákladů 39
3.11.6 Stanovení měrných výrobních nákladů 39
3.11.7 Komentář k výpočtu 40
3.12 Trendy a hodnocení 41
4. Vodní energie 43
4.1 Vodní elektrárny 43
4.2 Aktuální stav využívání vodní energie v České republice 44
4.3 Malá vodní elektrárna Doubravice – ekonomická kalkulace 45
4.3.1 Popis technologie 46
4.3.2 Stanovení nákladů 48
4.3.3 Stanovení výnosů 48
4.3.4 Kritéria hodnocení ekonomické efektivnosti investic 49
4.3.5 Stanovení měrných investičních nákladů 51
4.3.6 Stanovení měrných výrobních nákladů 51
4.3.7 Komentář k výpočtu 51
4.4 Trendy v oblasti využívání vodní energetiky 52
5. Větrná energie 53
5.1 Větrné elektrárny 53
5.2 Používaná technická zařízení 54
5.3 Aktuální stav využívání větrné energie 55
5.4 Elektrárna Drahany - ekonomická kalkulace 56
5.4.1 Stanovení nákladů 59
5.4.2 Stanovení výnosů 59
5.4.3 Kritéria hodnocení ekonomické efektivnosti investic 59
5.4.4 Stanovení měrných investičních nákladů 61
5.4.5 Stanovení měrných výrobních nákladů 61
5.4.6 Komentář k výpočtu 62
5.5 Trendy v oblasti využívání větrné energetiky 62
6. Solární energie 63
6.1 Základní princip a rozdělení 63
6.1.1 Aktivní přeměna - fotovoltaické panely 63

6.1.2 Používané fotovoltaické systémy ... 65
6.2 Aktivní přeměna – kolektory ... 65
6.2.1 Pasivní přeměna ... 66
6.3 Aktuální stav solární energetiky v České republice ... 66
6.4 Fotovoltaická elektrárna Olomučany ... 67
6.4.1 Stanovení nákladů ... 69
6.4.2 Stanovení výnosů ... 69
6.4.3 Kritéria hodnocení ekonomické efektivnosti investic ... 69
6.4.4 Stanovení měrných investičních nákladů ... 71
6.4.5 Závěrečný komentář k výpočtu ... 71
6.5 Trendy v oblasti využívání solární energie ... 71
7. Geotermální energie ... 73
7.1 Využívání nízkoteplotních zdrojů ... 73
7.2 Využívání vysokoteplotních zdrojů ... 75
7.2.1 Energie teplých suchých hornin (HDR) ... 75
7.3 Geotermální energie v České republice ... 75
8. Ekonomické porovnání klasických a obnovitelných zdrojů ... 77
8.1 Vzájemné porovnání obnovitelných zdrojů ... 77
8.2 Porovnání obnovitelných a klasických zdrojů ... 78
9. Obnovitelné zdroje a energetický trh ... 81
9.1 Celkový energetický trh ... 81
9.2 Podíl obnovitelných zdrojů na trhu ... 83
10. Aktuální pohledy na energetický vývoj ... 85
10.1 Energetika a bezpečnost ... 85
10.2 Trendy v oblasti legislativy ... 86
10.2.1 Energetický a klimatický balíček ... 86
10.2.2 Snižování emisí v dopravě ... 87
10.2.3 „Třetí“ energetický balíček ... 87
10.3 Aktualizace energetické koncepce ... 87
11. Závěr ... 89
12. Seznam použitých zdrojů ... 91
12.1 Použitá literatura ... 91

12.2 Použité zdroje WWW 92

12.3 Ostatní zdroje 92

12.4 Zdroje obrázků 93

13. Seznam použitých zkratek a symbolů 95

1. Úvod

Soudobý stav a trend vývoje lidské společnosti je charakteristický vysokým nárokem na spotřebu energií zejména v průmyslově a ekonomicky vyspělých zemích. Zvyšující se trend spotřeby je patrný také u rychle se ekonomicky rozvíjejících zemí ve východní Asii, především Číně, Indii a státech Jižní Ameriky. Rostoucí počet obyvatel a jejich zvyšující se životní úroveň související s hospodářským růstem, ovlivňuje také poptávku po potravinách a vodě.

Podle *mírného scénáře* spotřeby primárních energetických zdrojů *Energetické informační administrativy (Energy Information Administration*) amerického *Ministerstva pro energii* dojde k nárůstu spotřeby primárních energetických zdrojů do roku 2030 o více než 40%. [18])

Vlivem uvedených trendů bude docházet k rychlejšímu snižování zásoby klasických primárních energetických zdrojů, jako jsou ropa, zemní plyn a uhlí. Zásoby těchto fosilních paliv, především ropy jsou v zásadě omezeny jen do několika světových lokalit, což má spolu s dalšími politicko-ekonomickými hledisky za důsledek prudké zvyšování jejich cen. Aktuální ceny ropy se v dnešních dnech pohybují kolem 133 USD za barel. [17])

Protože je nutné řešit ubývající zásobu klasických energetických zdrojů, je nutné hledat vhodnou alternativu. Tyto alternativní energetické zdroje lze spatřit v následujících:

- jaderná energetika
- klasické zdroje a zvyšování jejich účinnosti
- využívání obnovitelných zdrojů energie

Širšímu využití jaderné energie v současné době brání stále přetrvávající nedůvěra k bezpečnosti provozu těchto zařízení spojená například s havárií v Černobylu. Další pocit nedůvěry může vyvolat to, že mohou být snadným cílem pro teroristické útoky a může také dojít ke zneužití radioaktivního materiálu pro výrobu zbraní, způsob ukládání vyhořelého paliva.

Získáváním energie z klasických fosilních paliv se uvolňují do ovzduší tzv. skleníkové plyny a další emise, které způsobují globální oteplování zeměkoule a mohou zhoršovat životní prostředí. A proto se v dnešním vyspělém světě a zejména v Evropské unii ve velké míře uplatňuje politika ochrany životního prostředí. Počítá se s výrazným omezením skleníkových plynů, je tedy nutné hledat dostupné, bezpečné a udržitelné zdroje energie, které umožní zachování a rozvoj životní úrovně obyvatel. Výsledkem zasedání *Evropské rady* z března 2007 bylo stanovení cílů v oblasti společné politiky pro energetiku a ochranu klimatu. Tyto cíle zahrnují:

- zvýšení spolehlivosti dodávky energie
- zajištění konkurenceschopnosti ekonomik evropských zemí a dostatku cenově dostupné energie
- ochrana životního prostředí a zmírňování změn klimatu

Evropská unie se na základě zvolených cílů zavázala do roku 2020 snížit emise skleníkových plynů o 20%, ve srovnání s rokem 1990. Evropská rada na zasedání schválila akční plán s názvem *Energetická*

politika pro Evropu. V akčním plánu jsou mimo jiné řešeny podmínky a pravidla podpory pro využívání obnovitelných zdrojů energie. Z těchto důvodů, se většina členských zemí Evropské unie musí aspoň částečně orientovat na energie z obnovitelných zdrojů. Podobné tendence ve spotřebě energií z klasických zdrojů a jejich částečné nahrazování alternativními zdroji jsou zaznamenávány i v České republice.

Cílem diplomové práce je objektivní hodnocení současného podílu obnovitelných energetických zdrojů v České republice a jejich ekonomické porovnání se zdroji klasickými, dále pak zhodnocení jakým směrem se jejich využití bude vyvíjet.

Obsahem diplomové práce je legislativa určující pravidla pro využívání obnovitelných zdrojů, porovnání jednotlivých zdrojů a jejich makroekonomické zhodnocení v podmínkách konkrétních provozů v České republice, celkové zhodnocení jak současného, tak i možného dalšího vývoje aspektů.

2. Obnovitelné zdroje a legislativa

V této kapitole jsou shrnuty právní normy, které jsou využívány pro oblast obnovitelných zdrojů a energetiky obecně, a to jak v rámci mezinárodních společenství, tak Evropské unie. Zejména je tato část věnována zákonům pro hospodaření s energiemi v České republice.

2.1 Kjótský protokol

Problematika vlivu lidské činnosti na změnu klimatu se poprvé na mezinárodní úrovni objevuje jako vědecké téma na *Světové klimatické konferenci*, která se konala v Ženevě v roce 1979 a byla pořádána *Světovou meteorologickou organizací (World Meteorological Organization, WMO)*. Výsledkem bylo vytvoření *Světového klimatického programu*. V roce 1988 *WMO* ve spolupráci s *Organizací spojených národů* vytváří *Mezivládní panel pro klimatické změny (Intergovernmental panel on Climate Change, IPCC)*. V následujícím roce se změna klimatu stala tématem *Valného shromáždění OSN* a v roce 1992 jedním z bodů *Konference OSN o životním prostředí a rozvoji (United Nations Conference on Environment and Development, UNCED)* konané v Rio De Janiero [19]). V roce 1991, tedy rok před tím, vzniká *Mezivládní vyjednávací výbor (INC),* který měl do začátku UNCED sestavit návrh mezinárodní úmluvy. Konečná verze dohody nazvané *Rámcová úmluva o klimatických změnách (United Nations Framework Convention on Climate Changes, UNFCCC)* byla schválena 9. května 1992, tedy ještě před zahájením konference v Rio de Janeiro. Cílem dohody je: " stabilizace koncentrací skleníkových plynů v atmosféře na úrovni, která by umožnila předejít nebezpečným důsledkům vzájemného působení lidstva a klimatického systému." [21])

Na konci roku 1997 se uskutečnilo jednání v japonském městě Kjótu a bylo zde dojednáno doplnění stávající *Rámcové úmluvy o klimatických změnách.* Výsledkem toho jednání byl Kjótský protokol, jehož ratifikací se státy zavazují ke snížení emisí skleníkových plynů o 5,2% vzhledem k referenčnímu roku 1990. K tomuto snížení má dojít v období let 2008 – 2012. Jedná se o redukce emisí šesti konkrétních plynů, mezi něž patří oxid uhličitý CO_2, metan CH_4, oxid dusný N_2O, hydrogenované fluorovodíky HFCs, polyfluorovodíky PFCs a fluorid sírový SF_6.

Dokument se skládá z 25 článků. Základem je snížení emisí skleníkových plynů v daném státě. To se má docílit těmito opatřeními :

- zvyšování energetcké účinnosti ve významných hospodářských odvětvích; podporou trvale udržitelných lesních hospodářství a novým zalesňováním
- podporou trvale udržitelných forem zemědělství s ohledem na změny klimatu
- podporou, výzkumem, rozvojem a zvýšeným využitím nových a obnovitelných forem energie, technologií odlučování oxidu uhličitého a podporou inovačních technologií šetrným k životnímu prostředí
- zaváděním daňových motivačních stimulů, daňových a celních úlev a dotací ve všech sektorech, které emitují skleníkové plyny
- podporou reforem v důležitých odvětvích, které přispějí k omezení a snížení emise skleníkových plynů
- podporou omezení nebo snížení emisí skleníkových plynů v sektoru dopravy

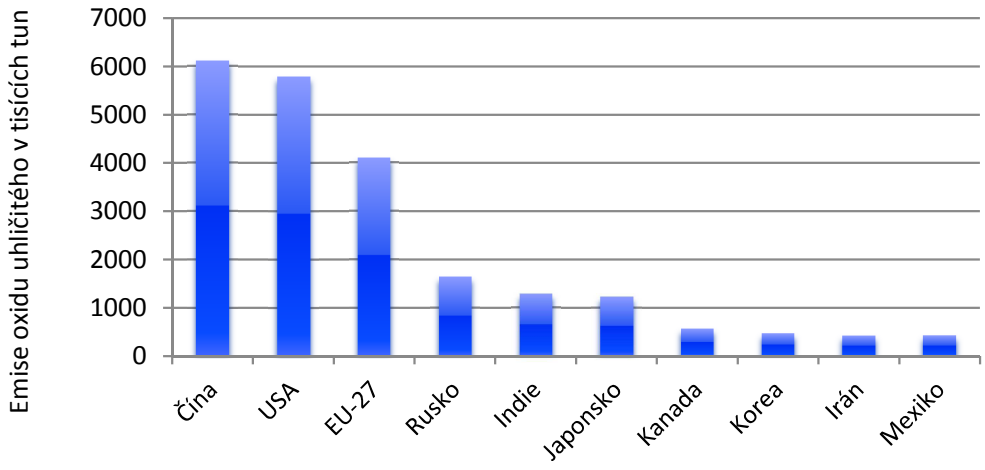
Další možností jsou takzvané *flexibilní mechanismy,* jejichž cílem je snížit ekonomický dopad na státy s vysokým podílem průmyslu. Patří sem Obchodování s emisemi (Emission Trading, ET), Společně zaváděná opatření (Joint Implementation) a Mechanismus čistého rozvoje (Clean Development Mechanism, CDM) jehož myšlenkou je technická a ekonomická podpora rozvojových zemí v moderních tehnologiích pro snížení emisí.

Do Kjótského protokolu se k 14. březnu 2008 zapojilo 181 [19]) zemí celého světa a Evropské společenství jako samostatný subjekt. Výhodou pro Evropskou unii je, že závazek vyplývající z Kjótského protokolu, může být plněn kolektivně. Může dojít i k jednostrannému vypovězení protokolu ze strany státu, toto vypovězení je bez sankcí. Velkým nedostatkem této smlouvy je, že ji nepodepsali největší producenti skleníkových plynů Spojené státy americké.

V dnešní době se vedoucí představitelé států UNFCCC snaží o vyjednání další smlouvy podobného charakteru pro období navazující po ukončení platnosti Kjótského protokolu.

Pro ilustraci je zde uveden aktuální stav produkce oxidu uhličitého rozděleného podle zemí. [20])

Graf 2.1 Deset největších producentů oxidu uhličitého v roce 2006



2.2 Právní prostředky Evropské unie

Evropská unie patří mezi organizace, které kladou velký důraz na obnovitelné zdroje. Podporuje technologie využívající nové a obnovitelné formy energie a také vývoj nízkouhlíkových technologií.

Koncepci energetické strategie Evropské unie můžeme shrnout do několika bodů:

- podpora investic do energetiky a infrastruktury a inovačních technologií kvůli stále se zvyšující poptávce po energii
- podpora snížení energetické závislosti na třetích zemích a podpora zvyšování konkurenceschopnosti energií z domácích zdrojů

- podpora vnitřního trhu s energií, vzájemná propojení a s tím spojené stanovení právních a regulačních rámců
- podpora diverzifikaci energetických zdrojů
- podpora snížení vlivu výroby a spotřeby energií na životní prostředí
- podpora snahy o zvýšení energetické účinnosti
- podpora energetických úspor v celém spektru energetické spotřeby

2.2.1 Směrnice 2001/77/ES

Hlavní směrnicí zahrnující tuto tématiku je *Směrnice 2001/77/ES o podpoře elektřiny z obnovitelných zdrojů v podmínkách vnitřního trhu s elektřinou.* Podle směrnice jsou obnovitelnými zdroji energie obnovitelné nefosilní energetické zdroje (větrné, solární, geotermální, vlnové, přílivové/odlivové zdroje, využití vodní síly, biomasa, plyn z čistírny odpadních vod, bioplyn). Směrnice rozvádí pojem biomasa, která je zde chápána jako biologicky odbouratelné frakce produktů, odpadů a zbytků zemědělské výroby (včetně rostlinných a živočišných hmot), lesnictví a podobného druhu průmyslu, jakož i biologicky odbouratelné frakce průmyslového a městského odpadu.

Směrnice definuje elektřinu vyrobenou z obnovitelných zdrojů jako elektřinu vyrobenou v elektrárnách používajících pouze obnovitelné energetické zdroje, jakož i poměrnou část elektřiny, která se vyrábí z obnovitelných energetických zdrojů v hybridních elektrárnách používajících také konvenční energetické zdroje. Zahrnuje elektřinu použitou pro naplnění zásobníků pracujících s elektřinou z obnovitelných zdrojů.

Účelem směrnice je podpora intenzivnějšího přispívání obnovitelných energetických zdrojů k výrobě elektřiny na vnitřním trhu s elektřinou. Konkrétně to znamená splnění globálního indikativního cíle, který stanovuje 12% podílu obnovitelných zdrojů energie v celkové energetické spotřebě v roce 2010 a 21% podílu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie na hrubé spotřebě elektřiny v roce 2010.

Těchto cílů chce Evropská unie dosáhnout stanovením národních indikativních cílů, které jsou také součástí tohoto dokumentu. Tyto indikativní cíle jsou slučitelné s národními závazky přijatými v kontextu závazků Kjótského protokolu k Rámcové úmluvě UNFCCC. Pro Českou republiku je národním indikativním cílem dosáhnout 8% podílu hrubé tuzemské spotřeby elektřiny z obnovitelných zdrojů v roce 2010.

2.3 Právní úprava České republiky

Strategie České republiky v oblasti energetiky je zakotvena v dokumentu s názvem *Státní energetická koncepce České republiky* z roku 2004. Jsou zde stanoveny vize, cíle a nástroje pro její dosažení a obsahuje také energetický scénář vývoje. Mezi vize patří energetická nezávislost, energetická bezpečnost z pohledu výroby a dodávek energií, udržitelný rozvoj v oblasti životního prostředí a ekonomického a sociálního rozvoje. Cíly stanovenými v tomto dokumentu jsou:

- maximalizace energetické efektivnosti

- zajištění efektivní výše, struktury a diverzifikace spotřeby primárních energetických zdrojů
- zajištění maximální šetrnosti k životnímu prostředí
- dokončení transformace a liberalizace energetického hospodářství

2.3.1 Zákon č. 458/2000 Sb.

Hlavním zákonem České republiky týkajícím se energetiky je Zákon č. 458/2000 Sb. o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích označován také jako „energetický zákon".

Jedná se o velmi rozsáhlý zákon, který harmonizuje českou energetickou legislativu s legislativou Evropské unie a nově upravuje podmínky podnikání a i výkon státní správy v oblasti elektroenergetiky, plynárenství a teplárenství. Zákonem je zřízena samostatná regulační instituce *Energetický regulační úřad (ERÚ)* a zároveň také vymezena pravidla jeho působnosti. Tímto zákonem byl nově také umožněn vznik trhů s elektřinou a plynem. Zákon dále obsahuje:

- úpravu práv a povinností fyzických a právnických osob při podnikání v energetických odvětvích
- vznik institutů operátora trhu, oprávněného zákazníka a chráněného zákazníka atd.
- úpravu působnosti *Státní energetické inspekce (SEI)*
- stanovení podmínek pro výrobu, přenos, přepravu, distribuci a rozvod případně skladování elektřiny plynu a tepla [27])

2.3.2 Zákon č. 180/2005 Sb.

V oblasti obnovitelných zdrojů schválil parlament *Zákon č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie.* Je to zákon, kterým je do české legislativy zakotvena *Směrnice 2001/77/ES* o které byla zmínka v předchozí kapitole. Mezi cíle zákona patří:

- podpora využití obnovitelných zdrojů energie
- zajištění trvalého zvyšování podílu obnovitelných zdrojů na spotřebě primárních energetických zdrojů
- zvýšení výroby elektřiny z obnovitelných energetických zdrojů na hrubé spotřebě elektřiny, tak aby Česká republika splnila národní indikativní cíl ve výši 8 % v roce 2010 a vytvoření podmínek pro další zvyšování tohoto podílu po roce 2010
- snížení emisí skleníkových plynů k ochraně klimatu
- snížení emisí škodlivin k ochraně životního prostředí
- podpora domácích výrobců energie a tím snížení závislosti na dovozu energetických surovin
- zvýšení diverzifikace zdrojů energie a tím přispění ke zvýšení bezpečnosti dodávek energie
- podpora vytvoření podmínek pro zavádění nových technologií
- přispění k šetrnému využívání přírodních zdrojů a k trvale udržitelnému rozvoji společnosti

Zákonem jsou *obnovitelné zdroje* definovány jako obnovitelné nefosilní přírodní zdroje energie, kterými jsou energie větru, energie slunečního záření, geotermální energie, energie vody, energie půdy, energie vzduchu, energie biomasy, energie skládkového plynu, energie kalového plynu a energie bioplynu.

Je zde definována *elektřina z obnovitelných zdrojů* jako elektřina vyrobená v zařízeních, která využívají pouze obnovitelné zdroje, a také část elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů v zařízeních, která využívají i neobnovitelné zdroje energie. Obsahuje definici hrubé domácí elektřiny což je v tuzemsku vyrobená elektřina s připočteným dovozem a odečteným vývozem elektřiny.

Zákon definuje také pojem *zelený bonus*. Je to finanční částka navyšující tržní cenu elektřiny, která je hrazená provozovatelem regionální distribuční soustavy nebo přenosové soustavy výrobci elektřiny z obnovitelných zdrojů. Zohledňuje snížené poškozování životního prostředí využitím obnovitelných zdrojů oproti spalování fosilních paliv, druh a velikost výrobního zařízení a kvalitu dodávané elektřiny.

Podpora podle tohoto zákona, se vztahuje na výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů vyrobenou v zařízeních v České republice, které využívají obnovitelné zdroje. Výjimkou jsou větrné elektrárny umístěné na rozloze 1 km^2 o celkovém instalovaném výkonu nad 20 MW_e. Podpora závisí na druhu obnovitelného zdroje a velikosti instalovaného výkonu. V případě elektřiny vyrobené z biomasy závisí i na parametrech biomasy. Samotná podpora je realizována tak, že provozovatel přenosové soustavy nebo provozovatelé distribučních soustav jsou povinni při splnění podmínek přednostně připojit k přenosové soustavě zařízení využívající obnovitelné zdroje, za účelem přenosu nebo distribuce elektřiny z obnovitelných zdrojů. Tato povinnost platí pro distributora, který má náklady na připojení nejnižší (náklady hradí provozovatel zařízení využívajících obnovitelné zdroje). Z této povinnosti jsou vyjmuti distributoři, kteří mají prokazatelně nedostatek kapacity nebo při ohrožení spolehlivého provozu distribuční soustavy.

Zákon nabízí možnost výběru pro výrobce obnovitelné energie, zda svoji elektřinu nabídne k výkupu podle ceníku stanoveného *Energetickým regulačním úřadem*, nebo za ni bude požadovat *zelený bonus*. V případě, že se jedná o společnou výrobu z obnovitelného a neobnovitelného zdroje lze uplatňovat pouze zelený bonus. Na zelený bonus má také nárok výrobce vyrábějící elektřinu z obnovitelných zdrojů pro vlastní spotřebu.

Ceník Energetického regulačního úřadu je stanoven tak, aby byla při splnění podmínek splněna patnáctiletá doba návratnosti investic. Současně je garantována minimální výše výkupních cen po dobu patnácti let od uvedení zařízení do provozu. Od roku 2007 také platí to, že ceny stanovené pro následující kalendářní rok nesmí být nižší než 95 % hodnoty výkupních cen platných v roce, v němž se o novém stanovení rozhoduje.

Za zmínku stojí, že do podílu elektřiny z obnovitelných zdrojů na hrubé spotřebě elektřiny v České republice může být za určitých podmínek započten dovoz elektřiny z obnovitelných zdrojů z ostatních členských států Evropské unie a to ve smyslu započtení do národního indikativního cíle.

Zákon také stanovuje další podmínky podpory, výkupu a evidence výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů. Pravidelně je vyhodnocován podíl výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů na hrubé spotřebě elektřiny, tuto zodpovědnost má Energetický regulační úřad.

Kontrolu dodržování tohoto zákona zajišťuje Státní energetická inspekce a za jeho nedodržování jsou stanoveny sankce. [28])

2.3.3 Další zákony a vyhlášky

Vyhláška Energetického regulačního úřadu 475/2005, kterou se upravují některá nařízení zákona č. 180/2005. Vyhláška se věnuje podmínkám pro oznámení samotné výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů tak podmínkám výběru způsobu podpory. Věnuje se také technickým a ekonomickým parametrům, které musí výrobci elektřiny z obnovitelných zdrojů podle zákona splňovat, aby při podpoře výkupními cenami vyhlášenými Energetickým regulačním úřadem byla zajištěna již zmíněná patnáctiletá doba návratnosti investic.

Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 482 /2005, stanovuje druhy a způsoby využití biomasy, kterých se týká podpora ze zákona. Pomocí vyhlášky se stanovují druhy biomasy s odlišnou podporou výroby elektřiny.

Důležitým dokumentem pro fungování trhu s elektřinou z obnovitelných zdrojů je takzvané *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu,* které umožňuje plnit závazky plynoucí ze zákona. Aktuálním je *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2007,* kterým se stanovuje podpora pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie, kombinované výroby elektřiny a tepla a druhotných energetických zdrojů. Bylo vydáno dne 20. listopadu 2007 a je platné od 1. ledna 2008. V následující tabulce jsou uvedeny aktuální výkupní ceny a zelené bonusy pro různé technologie využívání obnovitelných zdrojů. [31])

Tabulka 2.1Vvýkupní ceny elektřiny z obnovitelných zdrojů dle vyhlášky 7/2007

Druh obnovitelného zdroje	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Malá vodní elektrárna (do 10 MW_e) uvedená do provozu v nových lokalitách po 1. lednu 2008 včetně	2600	1400
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O1 v nových lokalitách po 1. lednu 2008 včetně	4210	2930
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O2 v nových lokalitách po 1. lednu 2008 včetně	3270	1990
Výroba elektřiny spalováním čisté biomasy kategorie O3 v nových lokalitách po 1. lednu 2008 včetně	2520	1240
Výroba elektřiny společným spalováním palivových směsí biomasy kategorie S1 a fosilních paliv	-	1390
Výroba elektřiny společným spalováním palivových směsí biomasy kategorie S2 a fosilních paliv	-	790

Výroba elektřiny společným spalováním palivových směsí biomasy kategorie S3 a fosilních paliv	-	240
Výroba elektřiny paralelním spalováním biomasy kategorie P1 a fosilních paliv	-	1650
Výroba elektřiny paralelním spalováním biomasy kategorie P2 a fosilních paliv		1050
Výroba elektřiny paralelním spalováním biomasy kategorie P3 a fosilních paliv	-	500
Výroba elektřiny spalováním bioplynu v bioplynových stanicích pro zdroj uvedený do provozu po 1. lednu 2008 využívající určenou biomasu	3900	2620
Výroba elektřiny spalováním bioplynu v bioplynových stanicích pro zdroj uvedený do provozu po 1. lednu 2008 včetně využívající ostatní biomasu	3300	2020
Větrná elektrárna uvedená do provozu po 1. lednu 2008 včetně	2460	1870
Výroba elektřiny využitím geotermální energie	4500	3370
Výroba elektřiny využitím slunečního záření pro zdroj uvedený do provozu po 1. lednu 2008 včetně	13460	12650

Údaje z tabulky budou využívány i v dalších kapitolách práce, zejména při srovnávání ekonomických parametrů. Rozdělení kategorií pro spalování biomasy bude vysvětleno v dalším textu.

3. Energie biomasy

Již od pradávna lidé používali pro výrobu světla a tepla spalování organické hmoty, kterou nacházeli kolem sebe a to především dřeva, příp. suché trávy nebo organických zbytků potravy.

V souvislosti s technickým rozvojem, zvyšující se životní úrovní a neustále se zvyšující potřebou energie byly tyto ekologické, obnovitelné zdroje téměř vytěsněny fosilními palivy, jejichž využívání bylo relativně jednodušší, dostupnější a levnější.

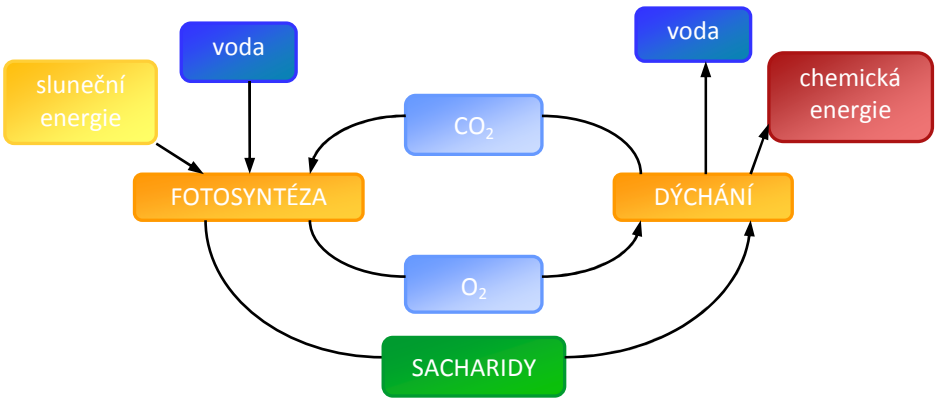
Vzhledem k tomu, že jsou ložiska ropy i uhlí postupně vytěžována a zejména, z důvodu zhoršujícího se životního prostředí v souvislosti s globálním oteplováním Země, se má za to, že by biomasa mohla být jedním ze zdrojů energie, které by mohly tyto negativní dopady zmírnit,

3.1 Biomasa

Biomasou se ve smyslu Zákona č. 180/2005 *o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie* rozumí biologicky rozložitelná část výrobků, odpadů a zbytků z provozování zemědělství a hospodaření v lesích a souvisejících průmyslových odvětví, zemědělské produkty pěstované pro energetické účely a rovněž biologicky rozložitelná část vytříděného průmyslového a komunálního odpadu.

3.2 Vznik biomasy

Z energetického pohledu, tedy k produkci tepla a elektrické energie můžeme biomasu chápat jako části rostlin a živočichů využitelných jako palivo. Základními jevy probíhajícími při růstu rostlin jsou fotosyntéza a dýchání. Při fotosyntéze, podmíněné působením slunečního záření a přítomností zeleného rostlinného barviva chlorofylu, se z ovzduší spotřebovává oxid uhličitý CO_2 a zároveň se uvolňuje kyslík O_2. Dýcháním se rozumí proces, při kterém se v noci naopak do ovzduší uvolňuje oxid uhličitý CO_2, je ho však zanedbatelné množství. Účinnost přeměny sluneční energie na energii chemickou, jejíž průběh je znázorněn na obrázku, je přibližně 0,005 %. [7])



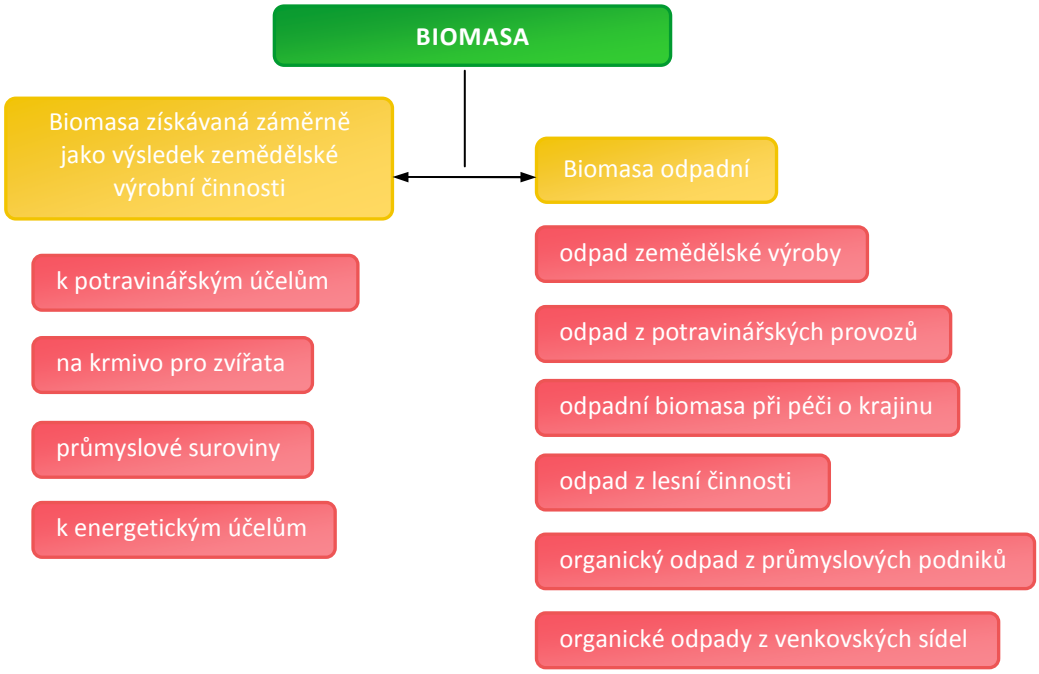
Obrázek 3.1 Fotosyntéza a dýchání rostlin [7])

Produktem fotosyntézy může být například glukóza $C_6H_{12}O_6$ a kyslík O_2 jak můžeme vidět v následující rovnici.

$$6CO_2 + 6H_2O \xleftrightarrow{energie} C_6H_{12}O_6 + 6O_2$$

3.3 Rozdělení biomasy

Základní pohled na obecné rozdělení biomasy obvykle spočívá v tom, jakým způsobem biomasa vzniká. Můžeme ji dělit na biomasu získávanou záměrně zemědělskou činností a biomasu odpadní.



Obrázek 3.2 Rozdělení biomasy [7])

Z energetického pohledu lze říci, že v našich podmínkách jsou nejvyužívanější formy biomasy následující:

- dřevní odpady – štěpky, piliny, hobliny, kůra, větve a pařezy,
- nedřevní biomasa – zelená biomasa, obilná a řepková sláma, energetické plodiny,
- průmyslové a komunální odpady rostlinného původu – např. papírenské odpady,
- produkty živočišné výroby – kejda, chlévská mrva, odpady z jatek
- čistírenské kaly, skládky odpadů, tříděný komunální odpad,
- kapalná biopaliva.

Největší podíl z biomasy tvoří dřevní odpady. Konkrétně při těžbě je to asi 30% a u dalšího zpracování 25%.

Vyhláška č. 482/2005 *o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy* rozděluje biomasu pro termické procesy do tří kategorií: [29])

kategorie 1 - zahrnuje především byliny nebo dřeviny cíleně pěstované pro energetické využití a biopaliva z nich vyrobená,

kategorie 2 - zahrnuje biomasu včetně zbytkové biomasy, kterou nelze materiálově využít, především z těžby dřeva, z procesů zpracování dřeva, ze zemědělství a z průmyslových výrob a biopaliva z ní vyrobená, a biopaliva vyrobená z jinak nevyužitelných kalů z čistíren odpadních vod

kategorie 3 - zahrnuje zejména byliny nebo dřeviny cíleně pěstované pro energetické využití a biopaliva z nich vyrobená

Vyhláška rozděluje také typ spalování do následujících skupin:

kategorie O - zahrnující spalování čisté biomasy

kategorie S - zahrnující společné spalování biomasy a fosilních paliv

kategorie P - zahrnující paralelní spalování biomasy a fosilních paliv

Rozdělení do těchto kategorií je velmi důležité pro výši státní podpory. Do těchto kategorií bývá biomasa rozdělena v cenových rozhodnutích Energetického regulačního úřadu. [29])

3.4 Technologie energetického využití biomasy

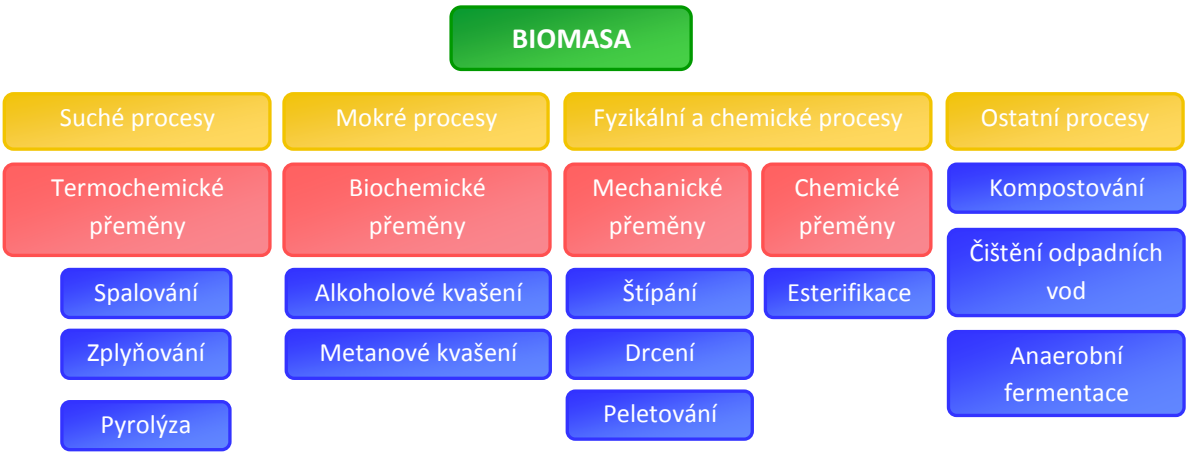
Technologie zpracování biomasy rozdělit na:

suché procesy - termochemické přeměny biomasy, mezi které patří spalování, zplyňování (produkce plynu), pyrolýza (produkce plynu a oleje)

mokré procesy - biochemické přeměny biomasy, mezi které patří alkoholové (produkce etanolu) a metanové kvašení (produkce bioplynu)

fyzikální a chemické procesy - mechanické tedy například štípání, drcení, peletování atd. (výroba pevných paliv) a chemické například esterifikace surových bioolejů (biodiesel a přírodní maziva)

ostatní procesy - kompostování, čištění odpadních vod, anaerobní fermentace pevných organických zbytků



Obrázek 3.3 Rozdělení procesů využívajících biomasu [4])

3.5 Spalovací procesy

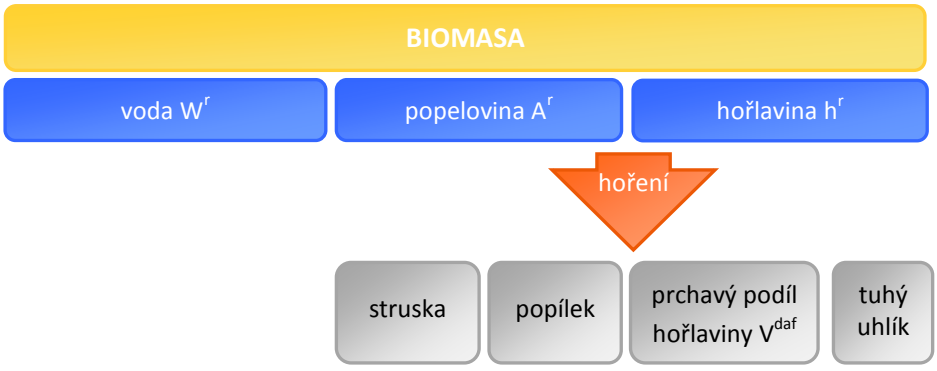
V praxi se biomasa k energetickým účelům používá především k termochemické přeměně, což je spalování.

3.5.1 Charakteristické vlastnosti

Biomasa jako palivo se skládá ze tří složek: hořlaviny (h), popeloviny (A^r) a vody (W^r).

$$h + A^r + W^r = 100\%$$

h je podíl hořlaviny [kg·kg^{-1}]
A hmotnostní podíl popelovin [kg·kg^{-1}]
W hmotnostní podíl vody [kg·kg^{-1}]



Obrázek 3.4 Schéma hoření biomasy [7])

Největší vliv na spalovací proces mají chemické a fyzikální vlastnosti biomasy. Nejdůležitějšími vlastnostmi biomasy pro spalování je obsah vody, obsah popeloviny, chemické složení hořlaviny paliva, obsah prchavé hořlaviny a zejména výhřevnost paliva.

Biomasa má často vysoký a proměnný obsah vody. Voda v biomase snižuje využitelné teplo. Vlhkost paliva má negativní vliv na účinnost spalovacího zařízení. Dochází ke zvýšení množství spalin a tedy zvětšení komínové ztráty. Při teplotách pod rosným bodem voda urychluje korozi ze strany spalin. Surové vytěžené dřevo má obsah vody kolem 60%, dobře proschlé dřevo má vlhkost kolem 20%. Tato vlhkost je pro spalování dřeva optimální, pro dřevní štěpku je však doporučena hodnota vyšší z důvodu výbušného charakteru hoření při nízké hodnotě obsahu vody.

Obsah popelovin v biomase je poměrně nízký o hmotnostní koncentraci do 2%. Množství popelovin proces spalování většinou negativně nijak výrazně neovlivňuje. Důležitějším aspektem jsou obsahy těžkých kovů v popelovině (As, Cd, Cr, Pb, Zn, Hg). Některé popeloviny například u slámy obsahují poměrně vysoký obsah alkalických kovů a sloučeniny Cl a také F. Tyto popeloviny vlivem vysokých teplot přecházejí do tekutého stavu. Vzniká tím velké nebezpečí zanášení teplosměnných ploch spalovacího zařízení a to již při překročení nejnižší charakteristické teploty popelovin.

Biomasa se liší od pevných fosilních paliv. Odlišností je vysoký podíl prchavé hořlaviny, který je důvodem, proč je emisně příznivé spalování biomasy obtížné a náročné. Část hořlaviny biomasy se při ohřevu uvolňuje v plynné formě jako prchavý podíl, zůstatkem je pak koksový zbytek (tuhý uhlík).

Výhřevnost biomasy je závislá na obsahu vody. Obsah vody v biomase kolísá, hodnota výhřevnosti se tak pohybuje ve velkém rozmezí. Různé druhy dřevin mají pro daný obsah vody prakticky stejnou výhřevnost, protože chemické složení hořlaviny různých druhů dřevin je téměř stejné. Výhřevnost se pohybuje přibližně kolem 15 MJ/kg.

Biomasa je charakteristická nízkou objemovou hustotou [kg/m^3] oproti jiným palivům. Výrazně nízká objemová hustota biomasy je patrná zejména u biomasy stébelnatého charakteru. [7])

3.5.2 Spalovací zařízení

Specifický proces spalování biomasy a další uvedené charakteristické vlastnosti biomasy vyžadují speciální konstrukci spalovacích zařízení. Pro spalování je důležitá velikost spalovacího prostoru, uspořádání a dimenzování topenišť a konstrukce přívodu primárního, sekundárního a terciárního vzduchu a také konstrukce teplosměnných ploch.

Kotle pro spalování biomasy jsou ve srovnání s kotli na fosilní paliva dražší a mívají zpravidla menší výkon v řádu několika desítek MW. Elektrárny na biomasu využívají spaliny pro výrobu páry pro parní turbogenerátor v Rankin-Clausiově cyklu. Elektrárny dosahují účinnosti maximálně kolem 26% a to z důvodů nízkých parametrů vyráběné páry.

3.5.3 Spoluspalování biomasy

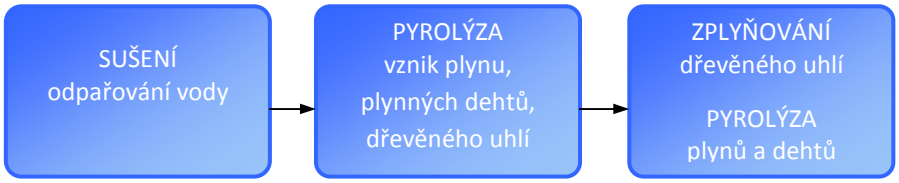
Někteří výrobci elektřina a tepla volí cestu spoluspalování biomasy s uhlím. Takto vyráběná energie je také dotována. Biomasa smísená s uhlím je spalována ve stávajícím elektrárenském kotli

v maximálním poměru přibližně 15% z celkového spalovaného paliva. Pro vyšší hodnoty koncentrace jsou nutné úpravy spalovacího prostoru. Podle zdroje [4]) může mít směs paliva výhodnější parametry, než kdyby se uhlí a biomasa spalovaly samostatně. Při společném spalování klesá celková popelnatost oproti popelnatosti samotného uhlí. Uhlí může také kompenzovat vysoký podíl chloridů u některých biopaliv, což zamezuje spékání popele. Vysoký podíl prchavé složky a nízká popelnatost biomasy může omezovat ztrátu mechanickým nedopalem.

3.6 Zplyňování biomasy

Zplyňování je přeměna organické hmoty v nízkovýhřevné plyny například CO, H_2, CH_4, CO_2 a N_2. Ke zplyňování dochází při teplotách 700° – 1000° C. Takto vzniklý plyn je potom spalován ve spalovacích motorech nebo turbínách či využíván v palivových článcích.

Nejvyužívanější technologií je zplyňování pomocí vzduchu. Vzniklý plyn má poměrně nízkou výhřevnost a proto není vhodný pro transport plynovody. Ke zplyňování se může využít i směs vzduchu a kyslíku, nebo vodní pára. Vzniklý plyn má potom vyšší výhřevnost, ale technologie výroby je složitější. Jednotlivé fáze zplyňování jsou uvedeny v následujícím obrázku:



Obrázek 3.5 Zplyňování biomasy

Nejprve se palivo s oxidačním činidlem zahřeje na teplotu 300–500 °C, při které dochází k pyrolýze, při níž vzniká dřevěné uhlí a další uhlovodíky. Produkty následně reagují s oxidačním činidlem a vznikají tak plynné složky. Složení vzniklých plynných složek závisí na složení biomasy, obsahu vody, reakční teplotě a míře oxidace produktů pyrolýzy.

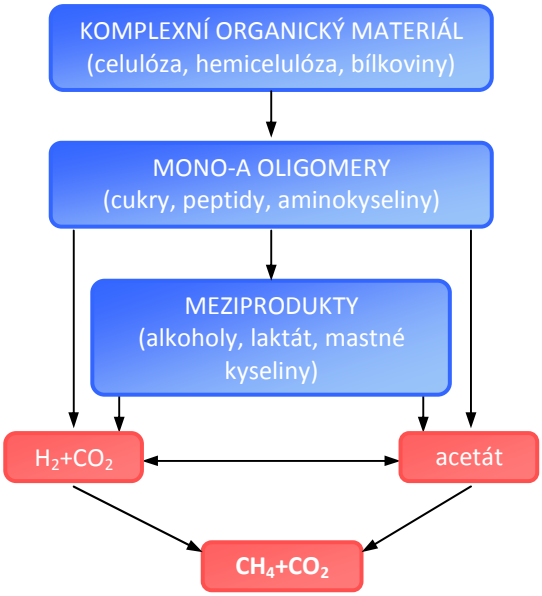
Zplyňovací zařízení mohou existovat v provedení pevného či fluidního lože. Nejvyužívanějším palivem pro tyto technologie je dřevní hmota.

3.7 Anaerobní fermentace

Další technologií, při níž vzniká z biomasy plyn, je anaerobní fermentace. K tomu dochází při rozkladu organických látek například exkrementů hospodářských zvířat (kejda, trus, hnůj, močůvka), fytomasy (senáže, siláže, části a kořeny rostlin, vybrané druhy energetických rostlin) a odpadů. Tento rozklad probíhá v uzavřených jednotkách bez přístupu vzduchu, proto je proces označován jako anaerobní.

Procesy mohou být rozděleny například podle obsahu sušiny v biomase na:

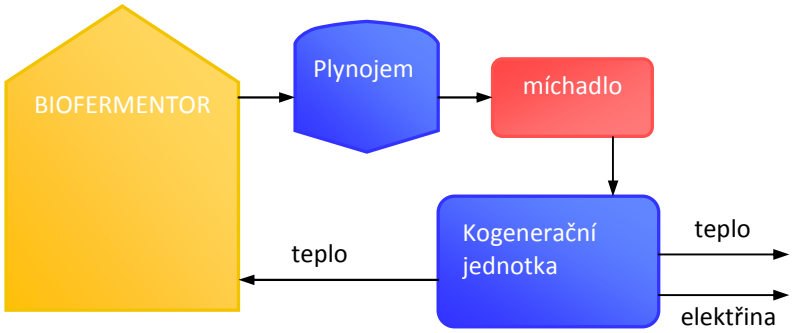
- mokrou fermentaci - obsah sušiny v biomase je do 10%
- suchou fermentaci - obsah sušiny v biomase je nad 20%



Obrázek 3.6 Anaerobní fermentace [4])

Reakce v reaktorech pro výrobu bioplynu touto technologií probíhá v časovém horizontu jednoho měsíce. Ke zpomalení reakce může dojít vlivem přítomnosti kyslíku a dalších nežádoucích prvků.

Výslednými produkty vznikajícími v bioplynovém reaktoru jsou fermentační zbytek a hlavně bioplyn, který obsahuje přibližně 60% CH_4, 30% CO_2 a v malé koncentraci i další plyny. Výhřevnost tohoto plynu se pohybuje od 20 – 25 MJ/m^3.



Obrázek 3.7 Model bioplynová stanice

3.8 Biomasa a kogenerace

Energetické využívání biomasy se rozvíjí jak soukromém sektoru, tak i na komunální úrovni. V roce 2010 by se mělo vyrobit 2,2 TWh [4]) elektřiny ročně. Biomasa je však stále více významným zdrojem tepla a to především v obcích, kde dosud nebyla provedena plynofikace nebo i v již plynofikovaných obcích pro vysoký nárůst ceny zemního plynu.

Velkou výhodou využití biomasy pro výrobu tepla i elektrické energie, je její dostupnost v katastru obce, minimalizace dopravních nákladů a možnost spalování odpadů ze zemědělství, příp. lesnictví, přičemž lokální výtopny dosahují vyšší účinnosti než klasické elektrárenské bloky.

Kogenerace je tedy optimálním řešením využití energie z biomasy a zaručuje účinnost a úsporu paliva až o 30% vyšší, než oddělené výroby tepla a elektrické energie. [4])

3.9 Další technologie

3.9.1 Organický Rankin-Clausiův cyklus

Hlavním zařízením této technologie je kotel na biomasu s roštem s pohyblivými šikmými roštnicemi. Spaliny, které proudí z kotle přes olejový výměník, ekonomizéry oleje a vody do odlučovače tuhých částic a poté do komína mají teplotu přibližně 200°C. Odvod popela do venkovního kontejneru zajišťuje dopravník.

Termoolej je pomocí olejového výměníku zahříván na teplotu 300°C. Tato teplota umožňuje odpařování organického pracovního media, kterým je silikonový olej. Páry tohoto oleje expandují v pomaloběžné dvoustupňové turbíně a po zchlazení v regenerátoru se uvolňuje teplo do ohřívané vody. Cirkulace se uzavře zvýšením tlaku předehřátého media ve výparníku.

Pro systémy ORC je charakteristická vysoká účinnost kolem 97%, přičemž energie biomasy je přeměňována na elektrickou energii asi z 18%, zbývajících 79% tepelné energie se využívá pro dálkové vytápění.

3.9.2 Mikroturbína

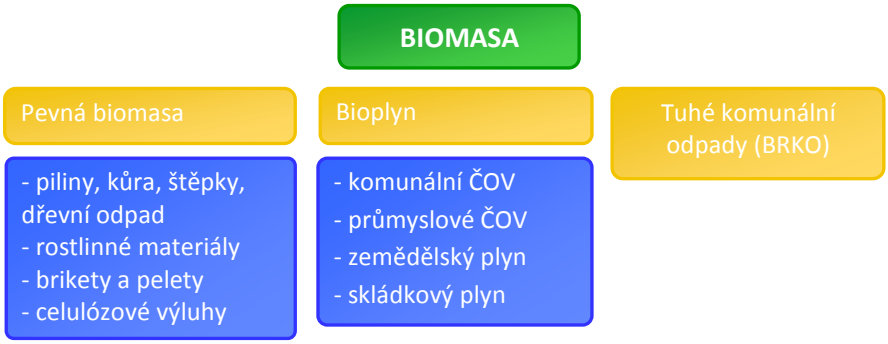
Mikroturbína je konstruována jako axiální či radiální ve spojitosti s radiálními kompresory. Proces hoření probíhá ve spalovací komoře, do které je pod tlakem přiváděno palivo a vzduch. Hořlavá směs je jednorázově elektricky zapálena a směs expanduje. Soustrojí se roztáčí startérem a vzduchový kompresor stlačuje vzduch motorem.

3.9.3 Palivové články

Jedná se o generátor elektrického proudu, ve kterém probíhá opačná reakce než při elektrolýze vody. V rozvoji brání technologické problémy a vysoká cenová náročnost. [4])

3.10 Aktuální stav využívání biomasy v České republice

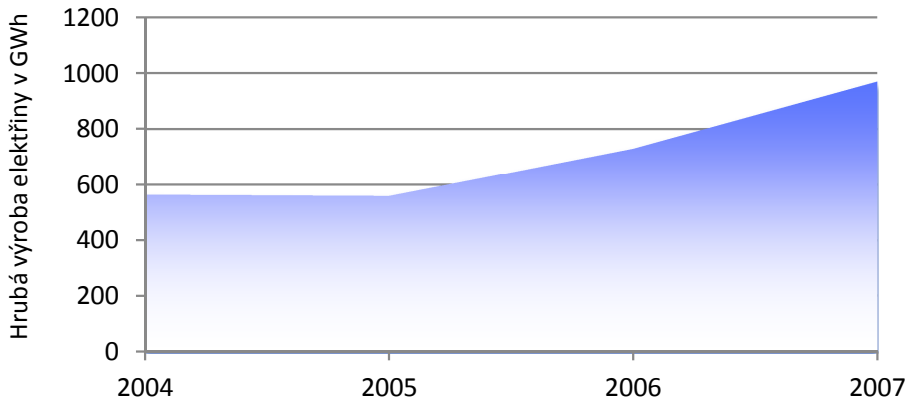
Ministerstvo průmyslu a obchodu ve svých statistikách rozděluje biomasu do tří různých kategorií:



Obrázek 3.8 Dělení biomasy podle Ministerstva průmyslu a obchodu

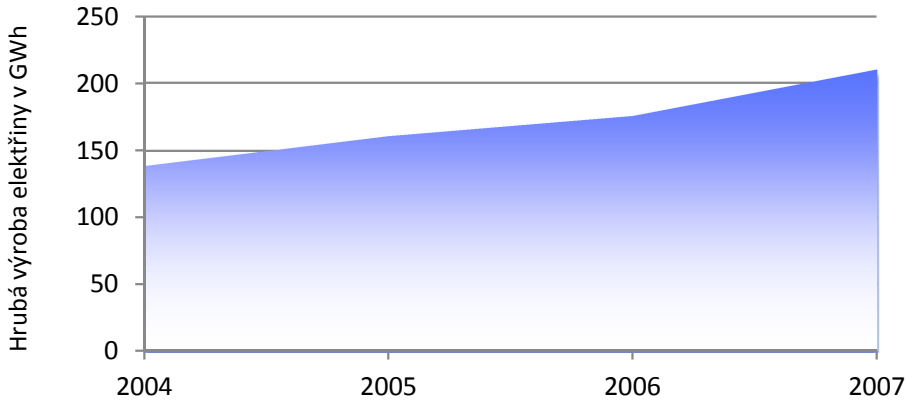
V současné době má výroba elektřiny z pevné biomasy rostoucí charakter. V roce 2007 se o to nejvíce zasloužilo rozsáhlé spalování dřevní štěpky, odpadu, pilin a bylo vyrobeno 430 GWh energie. K růstu přispívá i spalování celulózových výluhů, z nichž bylo vyrobeno 475 GWh. Rostlinných materiálů a rostlinných pelet bylo při výrobě spáleno 40 000 tun, což postačovalo k výrobě 65 GWh, což je oproti předchozímu roku pokles. Necelá polovina výroby elektřiny z rostlinných materiálů (26,7 GWh) byla vykázána jako využití *cíleně pěstované biomasy*. Vývojový trend od roku 2004 můžeme vidět na následujícím grafu.

Graf 3.1 Hrubá výroba elektřiny - pevná biomasa



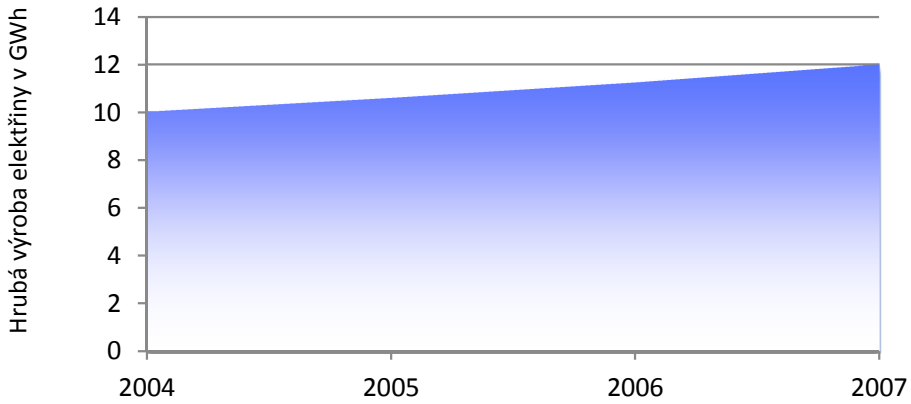
Výroba elektřiny z bioplynu má stabilní rostoucí charakter a to u všech kategorií výrobců. Výrazně vzrostla výroba elektřiny v *zemědělských bioplynových stanicích* (více jak 30 GWh). V roce 2007 bylo z bioplynu vyrobeno zhruba 210 GWh elektřiny. Vývojový trend od roku 2004 můžeme vidět na následujícím grafu.

Graf 3.2 Hrubá výroba elektřiny - bioplyn



Biologicky odbouratelnými komunálními odpady se rozumí spalování tuhých komunálních, nemocničních a průmyslových odpadů, anebo využívání takzvaných alternativních paliv, která mají v odpadech svůj původ. V zařízeních pro tento typ biomasy bylo v roce 2007 vyrobeno 12,0 GWh a vývoj výroby v letech od roku 2004 má mírně rostoucí charakter. [33])

Graf 3.3 Hrubá výroba elektřiny - tuhé komunální odpady



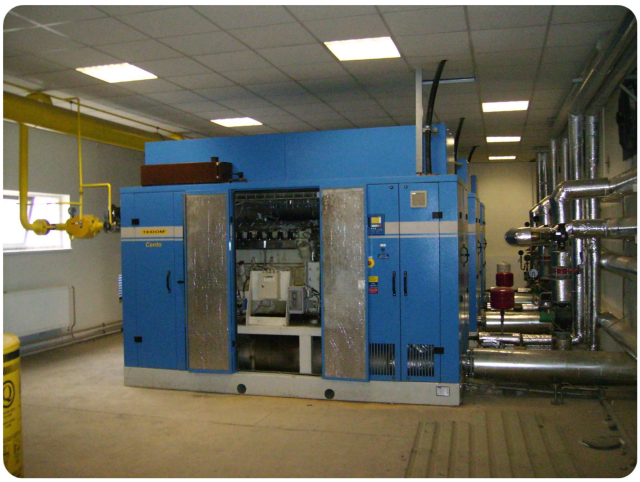
3.11 Bioplynová stanice Kostelec na Hané – ekonomická kalkulace

Pro ekonomickou kalkulaci výroby energie z biomasy je uveden výpočet pro *bioplynovou stanici* (BPS). Bioplynová stanice je situována do areálu firmy ROLS Lešany v Kostelci na Hané. Výpočty vychází ze studie, která k tomuto projektu byla zpracována. Bylo plánováno, že bioplynová stanice bude od 1. ledna 2008 ve zkušebním provozu. Bioplynová stanice využívá odpadní biomasy ze zemědělských provozů a z jatečné výroby firmy Makovec.

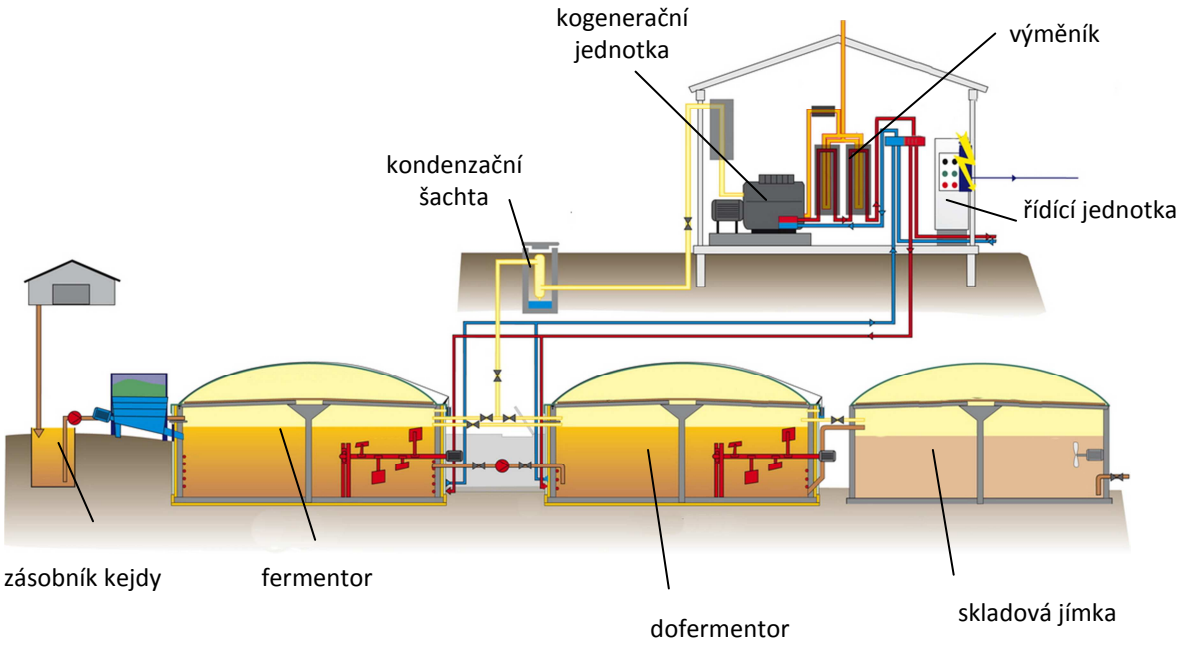
3.11.1 Popis technologie

Bioplynová stanice se skládá z reaktoru o užitečném objemu 2500 m^3, který je vybaven čerpadly, vytápěním atd. Plynojem o objemu 1000 m^3 a homogenizační jímka o objemu 300 m^3 slouží k homogenizaci vstupující biomasy a k případné kofermentaci. Součástí této stanice jsou jímky na uskladnění fermentačních zbytků. Kogenerační technologie je vybavena 3 kusy kogeneračních jednotek TEDOM Cento T150 SP BIO. V areálu bioplynové stanice je transformační stanice pro vyvedení elektrického výkonu do distribuční sítě. [22])

Obrázek 3.9 Bioplynová stanice Kostelec na Hané – fermentory



Obrázek 3.10 BPS Kostelec na Hané – kogenerační jednotka



Obrázek 3.11 Schéma bioplynové stanice [41])

Tabulka 3.1 parametry kogenerační jednotky

Technické údaje TEDOM cento T150 SP BIO	
Jmenovitý elektrický výkon	142 kW
Maximální tepelný výkon	207 kW
Účinnost elektrická	33,5 %
Účinnost tepelná	48,8 %
Účinnost celková (využití paliva)	82,3 %
Spotřeba plynu (CH_4 65%) při 100%	65,2 Nm^3/h
Roční doba využití zařízení τ_r	7 100 hodin/rok
Životnost bioplynové stanice	25 let

Produkce bioplynu z bioplynové stanice svou energií postačuje pro pohon tří kogeneračních jednotek, po odečtení doby nutné pro servis zařízení je výsledná roční doba využití odhadnuta na dobu 7 100 hod/rok.

3.11.2 Stanovení nákladů

3.11.2.1 Celkové investiční náklady

Výše celkových investičních nákladů je uvedena jako součet položek v následující tabulce:

Tabulka 3.2 Celkové investiční náklady

Celkové investiční náklady N_i	
Reaktor objem 2 500 m^3	7 500 000 Kč
3 ks KJ TEDOM Cento T150 SP BIO +	12 180 000 Kč
Stavební a zemní práce	4 630 000 Kč
Další investiční nklady	5 378 000 Kč
Celkové investiční náklady N_i	**29 688 000 Kč**

3.11.2.2 Celkové roční výrobní náklady

Tyto náklady se skládají z nákladů na údržbu a opravy bioplynové stanice N_{ou} (neobsahující údržbu kogenerační jednotky), nákladů na režii a ostatní N_r (obsahující rezervu 200 000 Kč) a nákladů na mzdy pracovníků N_m. Všechny údaje byly poskytnuty provozovatelem.

Největší část provozních nákladů tvoří náklady na údržbu kogenerační jednotky a jsou od výrobce uvedeny jako proměnná složka n_{oukj} = 0,40 Kč/kWh_e

Celkovou elektrickou výrobu nutnou pro výpočet N_{oukj} můžeme stanovit z elektrického výkonu podle technických údajů poskytnutých dodavatelem.

$$E_r = 3 \cdot P_e \cdot \tau_r = 3 \cdot 142 \cdot 7100 = 3\,024\,600\ kWh_e/rok$$

$$N_{oukj} = E_r \cdot n_{oukj} = 3\,024\,600 \cdot 0{,}40 = 1\,209\,840\ Kč/rok$$

Celkové provozní náklady jsou:

$$N_p = N_{ou} + N_{re} + N_m + N_{oukj} = 250\,000 + 438\,640 + 195\,840 + 1\,209\,840 = 2\,094\,320\ \ Kč/r$$

3.11.3 Stanovení výnosů

3.11.3.1 Výnosy z prodeje elektřiny

Výnosy kogenerační jednotky vyplývají z prodeje elektrické energie. Elektřina je vykupována dle výkupní ceny stanovené ERÚ ve výši 3,30 Kč/kWh, k výkupní ceně je třeba ještě připočíst částku 0,045 Kč/kWh, na kterou mají nárok výrobci při kombinované výrobě elektřiny a tepla s využíváním obnovitelných zdrojů energie.

Výpočet množství vyrobené elektřiny již byl uveden při stanovení ročních provozních nákladů.

$$V = c_E \cdot E_r = (3{,}30 + 0{,}045) \cdot 3\,024\,600 = \ 10\,117\,287\ Kč/rok$$

3.11.3.2 Výnosy z prodeje tepla

Výroba tepla z kogenerační jednotky je dána jejím tepelným výkonem, kalkuluje se započítáním ztráty vlivem provozního znečištění ξ_n odhadnutou provozovatelem technologie ve výši 10%.

$$Q_r = 3 \cdot P_t \cdot \tau_r \cdot (1 - \xi_{zn}) = 3 \cdot 207 \cdot 7100 \cdot 0{,}0036 \cdot 0{,}9 = 14\,285{,}48\ GJ/\ rok$$

Vyrobená tepelná energie se z 50% spotřebovává pro provoz technologie bioplynové stanice. Zbylých 50% vyprodukované tepelné energie je z části využíváno k prodeji firmě Makovec. Její roční spotřeba činí přibližně 3950 GJ/rok. Zbytek tepelné energie je využíván ke spotřebě v areálu, nebo zůstává z ekonomického pohledu nevyužit a proto jeho prodej není možno blíže ekonomicky charakterizovat. V případě nutnosti je zde instalováno havarijní chladící zařízení.

Celkové využitelné teplo využitelné k odběru lze vypočítat:

$$Q_r = 14\,285{,}48 \cdot 0{,}5 = 7\,142{,}74\ GJ/rok = 1\,984\,094{,}39\ kWh/rok$$

Výnosy z prodeje tepla lze tedy vypočítat pouze z tepla prodaného firmě Makovec. Cena prodávaného tepla je smluvní a to ve výši 250 Kč/GJ.

$$Q_{pr} = 3950 \cdot c_Q = 3950 \cdot 250 = 987\,500\ Kč/rok$$

3.11.4 Kritéria hodnocení ekonomické efektivnosti investic

Pro výpočet je zvolen makroekonomický pohled, bez ohledu na způsob financování a bez vlivů daní. Tento zvolený pohled má obecný charakter.

V ekonomické praxi se nejčastěji používají pro určení ekonomické efektivnosti tato kritéria:

Kritérium diskontovaného Cash-Flow

Kritérium bývá také označováno jako N*et Present Value* neboli *NPV* tedy *čistá současná hodnota.*

$$DCF = \sum_{t=0}^{T_z} CF \cdot (1+u)^{-t}$$

Při porovnávání projektů považujeme za výhodnější variantu, která má větší diskontovaný cash-flow za dobu životnosti

Kritérium vnitřního výnosového procenta

Kritérium bývá také označováno jako *Internal Rate of Return* neboli IRR.

$$DCF = \sum_{t=0}^{T_z} CF \cdot (1+u_R)^{-t}$$

Podstata spočívá v nalezení úrokové míry u_R (vnitřního výnosového procenta) při které je tato rovnice splněna. Tuto získanou hodnotu potom můžeme porovnávat s diskontní sazbou.

Kritérium doby návratnosti investic

Toto kritérium je v mezinárodním prostředí označováno jako *Pay Back Period*

$$DCF = \sum_{t=0}^{T_s} CF \cdot (1+u)^{-t}$$

Hledá se doba splatnosti T_s při níž je rovnice splněna. Jedná se o takzvanou diskontovanou dobu návratnosti.

Prostá doba návratnosti (splatnost)

$$T_0 = \frac{N_i}{CF}$$

Pro hodnocení ekonomických kritérií je nutné znát tok hotovosti neboli Cash-flow, který se vypočítá jako rozdíl výnosů a nákladů jak provozních tak investičních v daném roce a to podle vzorce:

$$CF = V - N_{pr} - N_{it}$$

Provozní náklady jsou v tomto případě shodné s náklady výrobními.

3.11.4.1 Výsledky výpočtu ekonomických kritérií

Výsledky jsou vypočteny v aplikaci Microsoft Excel a jsou uvedeny v následujících tabulkách:

Tabulka 3.3 Ekonomická kritéria

Výsledky ekonomických kritérií	
Čistá současná hodnota NPV	131 674 307,95 Kč
Vnitřní výnosové procento IRR	26,82 %
Prostá doba návratnosti T_0	3,29 let
Diskontovaná doba návratnosti Ts	3,50 let

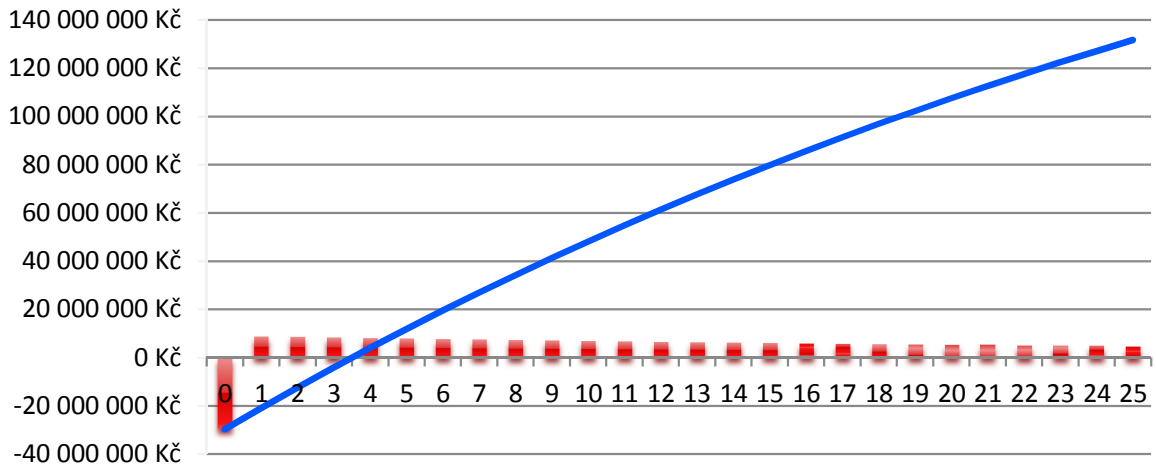
Tabulka 3.4 Diskontované cash-flow projektu

roky j	**N_i**	**CF**	**CFr^{-j}**	**DCF**
0	29 688 000,00 Kč	- 29 688 000,00 Kč	- 29 688 000,00 Kč	- 29 688 000,00 Kč
1		9 010 467,00 Kč	8 769 310,95 Kč	- 20 918 689,05 Kč
2		9 010 467,00 Kč	8 534 609,20 Kč	- 12 384 079,86 Kč
3		9 010 467,00 Kč	8 306 189,00 Kč	- 4 077 890,86 Kč
4		9 010 467,00 Kč	8 083 882,24 Kč	4 005 991,38 Kč
5		9 010 467,00 Kč	7 867 525,29 Kč	11 873 516,67 Kč
6		9 010 467,00 Kč	7 656 958,92 Kč	19 530 475,59 Kč

7		9 010 467,00 Kč	7 452 028,15 Kč	26 982 503,74 Kč
8		9 010 467,00 Kč	7 252 582,14 Kč	34 235 085,88 Kč
9		9 010 467,00 Kč	7 058 474,10 Kč	41 293 559,98 Kč
10		9 010 467,00 Kč	6 869 561,17 Kč	48 163 121,15 Kč
11		9 010 467,00 Kč	6 685 704,30 Kč	54 848 825,45 Kč
12		9 010 467,00 Kč	6 506 768,18 Kč	61 355 593,62 Kč
13		9 010 467,00 Kč	6 332 621,10 Kč	67 688 214,72 Kč
14		9 010 467,00 Kč	6 163 134,89 Kč	73 851 349,60 Kč
15		9 010 467,00 Kč	5 998 184,80 Kč	79 849 534,41 Kč
16		9 010 467,00 Kč	5 837 649,44 Kč	85 687 183,85 Kč
17		9 010 467,00 Kč	5 681 410,65 Kč	91 368 594,50 Kč
18		9 010 467,00 Kč	5 529 353,43 Kč	96 897 947,94 Kč
19		9 010 467,00 Kč	5 381 365,87 Kč	102 279 313,81 Kč
20		9 010 467,00 Kč	5 237 339,05 Kč	107 516 652,85 Kč
21		9 010 467,00 Kč	5 097 166,96 Kč	112 613 819,81 Kč
22		9 010 467,00 Kč	4 960 746,43 Kč	117 574 566,24 Kč
23		9 010 467,00 Kč	4 827 977,06 Kč	122 402 543,30 Kč
24		9 010 467,00 Kč	4 698 761,13 Kč	127 101 304,42 Kč
25		9 010 467,00 Kč	4 573 003,53 Kč	131 674 307,95 Kč

Diskontované Cash-flow a průběh kumulovaného diskontovaného Cash-flow pro tento projekt znázorňuje následující graf.

Graf 3.4 Diskontované a kumulované diskontované cash-flow projektu



3.11.5 Stanovení měrných investičních nákladů

Měrnými investičními náklady se rozumí poměr investičních nákladů N_i a instalovaného elektrického výkonu P_e.

$$n_i = \frac{N_i}{P_e} = \frac{29\,688\,000}{3 \cdot 142} = 69\,690\ Kč/kW_e$$

3.11.6 Stanovení měrných výrobních nákladů

3.11.6.1 Měrné výrobní náklady na výrobu elektřiny

Pro porovnání energetických výroben o různých výkonech, slouží měrné výrobní náklady. Spočítají se jako součet stálé složky měrných výrobních nákladů a proměnné složky měrných výrobních nákladů. Stálá složka je vypočítána pomocí koeficientu stále složky výrobních nákladů a poměrné anuity. Poměrnou složku měrných výrobních nákladů v tomto případě tvoří náklady na opravy a údržbu kogenerační jednotky, které jak již bylo uvedeno, činí 0,40 Kč/kWh.

$$n_v = n_s + n_p = \frac{(p_1 + a_{Tz}) \cdot N_i}{E_r} + n_{oukj} = \frac{(0{,}030 + 0{,}056) \cdot 29\,688\,000}{3\,024\,600} + 0{,}40$$
$$= 1{,}24\ Kč/kWh$$

Kde p_1 je koeficient stálé složky výrobních nákladů (s nezapočítanou poměrnou anuitou) a vypočítá se ze zadaných provozních nákladů:

$$p_1 = \frac{N_{ou} + N_r + N_m}{N_i} = \frac{250\,000 + 438\,640 + 195\,840}{29\,688\,000} = 0{,}030\ r^{-1}$$

A a_{Tz} je poměrná anuita a spočítá se podle:

$$a_{Tz} = \frac{(1+u)^{T_z}}{(1+u)^{T_z} - 1} \cdot u = \frac{(1+0{,}0275)^{25}}{(1+0{,}0275)^{25} - 1} \cdot 0{,}0275 = 0{,}056\ r^{-1}$$

Měrné výrobní náklady vypočtené dle předchozího postupu můžeme chápat tak, že kogenerační zařízení pracuje pouze pro produkci elektřiny.

3.11.6.2 Měrné výrobní náklady na výrobu tepla

Řešení je podobné jako u výpočtu měrných výrobních nákladů na výrobu elektřiny. Stálá složka je vypočítána pomocí koeficientu stálé složky výrobních nákladů a poměrné anuity s tím že zde přibude koeficient na opravu a údržby kogenerační jednotky k_{oukj}. Proměnná složka je v tomto případě nulová.

$$n_{vt} = n_s + n_p = \frac{(p_1 + k_{oukj} + a_{Tz}) \cdot N_i}{Q_{rv}} = \frac{(0{,}030 + 0{,}041 + 0{,}056) \cdot 29\,688\,000}{7\,142\,,74}$$
$$= 527{,}86\ Kč/GJ = 1{,}90\ Kč/kWh$$

Koeficient na opravu a údržbu kogenerační jednotky k_{oukj} se vypočítá:

$$k_{oukj} = \frac{N_{oukj}}{N_i} = \frac{n_{oukj} \cdot E_r}{N_i} = \frac{0{,}40 \cdot 3\,024\,600}{29\,688\,000} = 0{,}041\ \ r^{-1}$$

Měrné výrobní náklady vypočítané dle předchozího postupu můžeme chápat tak, že kogenerační zařízení pracuje pouze pro produkci tepla.

3.11.6.3 Rozdělování nákladů na teplo a elektřinu při kogeneraci

Problému rozdělení nákladů na elektřinu a na teplo je věnováno mnoho publikací, pro tuto práci byla zvolena metoda, která je založena na tom, že se úspora výrobních nákladů při kogenerační výrobě elektřiny a tepla oproti oddělené výrobě rozdělí v poměru nákladů na výrobu téhož množství elektřiny v náhradní elektrárně a téhož množství tepla v náhradní výtopně. Podle toho je koeficient dělení celkových výrobních nákladů pro příslušnou výrobu elektřiny (dosazené hodnoty jsou v kWh a v Kč/kWh):

$$x_e = \frac{n_{ve} \cdot E_r}{n_{ve} \cdot E_r + n_{vt} \cdot Q_r} = \frac{1{,}24\ \cdot 3\,024\,600}{1{,}24\ \cdot 3\,024\,600 + 1{,}90 \cdot 1\,984\,094} = 0{,}498$$

Když tímto koeficientem násobíme měrné výrobní náklady, které jsou vypočítány pro pouze elektřinu produkující zařízení, dostaneme rozdělené měrné výrobní náklady na elektřinu při kogeneraci.

$$n_{vek} = x_e \cdot n_{ve} = 0{,}498 \cdot 1{,}24 = 0{,}62\ Kč/kWh$$

A koeficient dělení celkových výrobních nákladů pro výrobu tepla je (dosazené hodnoty jsou v kWh a v Kč/kWh):

$$x_t = \frac{n_{vt} \cdot Q_r}{n_{ve} \cdot E_r + n_{vt} \cdot Q_r} = \frac{1{,}90 \cdot 1\,984\,094}{1{,}24\ \cdot 3\,024\,600 + 1{,}90 \cdot 1\,984\,094} = 0{,}502$$

Když tímto koeficientem násobíme měrné výrobní náklady, které jsou vypočítány pro pouze teplo produkující zařízení, dostaneme rozdělené měrné výrobní náklady na teplo při kogeneraci. [3])

$$n_{vtk} = x_t \cdot n_{vt} = 0{,}502 \cdot 1{,}90 = 0{,}95\ Kč/kWh = 263{,}89\ Kč/GJ$$

3.11.7 Komentář k výpočtu

Bioplynová stanice se z ekonomického hlediska jeví jako poměrně výhodná. Vysoké výrobní náklady na teplo vyplývají zejména z faktu, že přibližně 50% z vyprodukovaného tepla kogenerační jednotkou, se vrací zpět do technologie, jednak pro ohřev biomasy ve fermentoru a také do stanice hygienizace.

3.12 Trendy a hodnocení

V oblasti pevné biomasy lze očekávat stálý nárůst využívání tohoto zdroje. Jak ve samostatném spalování, tak i ve spoluspalování s uhlím. Lze také očekávat rozvoj využití energetických plodin.

Pokud budeme hovořit o bioplynu, můžeme očekávat rozvoj v oblasti skládkového plynu a také rozvoj ve výstavbě nových bioplynových stanic. Potenciál využití bioplynu z čistíren odpadních vod se zdá být vyčerpán i navzdory tomu, že dochází k výstavě malých čistíren odpadních vod.

Co se týká tuhých komunálních odpadů, nedá se očekávat výrazné zvýšení užívání těchto zdrojů. Existují však dlouhodobé projektové záměry, které pokud budou realizované, tak zvýší podíl tohoto zdroje.

Biomasa se jeví jako efektivní zdroj z pohledu provozovatelů. Cílené pěstování biomasy pro energetické účely je efektivní i pro pěstitele, kteří si tímto řeší problémy s nadprodukcí. Na druhou stranu zvýšení využívání osevních ploch k pěstování biomasy spolu s vysokou cenou ropy má za následek zvyšování cen potravin. Využívání biomasy je jednou z cest jak efektivně likvidovat organické komunální odpady, které však musí být tříděny. Což je v podmínkách České republiky problém, který by mohl být řešen motivací ve formě malých poplatků za odvoz odpadů. Také ceny palivového dřeva mají v poslední době krátkodobě klesající tendenci, kvůli výskytu kalamitního dřeva. Ve světě je tento trend podpořen hlavně nízkým zájmem o stavební dřevo, vyvolaným hypoteční krizí. Důležité je, aby provozovny byly v blízkosti zdrojů biomasy a to především z důvodu vysokých nákladů na dopravu a aby byly situovány do vhodné vzdálenosti a směru od bytových aglomerací a to kvůli možnému zápachu.

Kladnými vlastnostmi využívaní energie z biomasy je jejich vyrovnaná bilance CO_2, nízké investiční nároky na výstavbu technologií a možnost efektivního využití instalovaného výkonu během roku a jeho nezávislost na počasí.

4. Vodní energie

Energie vody je jedním z nejvýznamnějších obnovitelných zdrojů energie, a bývá také jako jediný považován za ekonomicky konkurenceschopný fosilním palivům a nukleární energii.

Obrázek 4.1 Vodní elektrárna Lipno I [40])

Zdrojem je sluneční energie, která zajišťuje neustálý koloběh ohromného množství vody. Energie vody je využívána různými typy a velikostí vodních děl. Na vodních tocích je možné využít kinetickou energii proudící vody. Množství využitelné energie je dáno rychlostí proudění, která závisí na spádu toku.

4.1 Vodní elektrárny

Základním dělením vodních elektráren je rozdělení podle typů:

akumulační - kde hlavní částí je hráz sloužící ke zvýšení tlakového spádu. Voda je přiváděna tlakovým přivaděčem k turbíně, která pohání generátor.

derivační - Pomocí náhonu odvádí vodu z řečiště a využívá její spád k pohonu turbíny. Pak ji vrací zpět.

přečerpávací - Tvoří ji dvě nádrže propojené tlakovým přivaděčem. Využívá přebytku elektřiny v síti a tuto energii akumuluje v horní nádrži v podobě potenciální energie vody. Tu lze využít při špičkovém zatížení sítě nebo při výpadku jiného zdroje. Turbína slouží zároveň jako čerpadlo a generátor jako motor.

přílivové - Jsou použitelné pro přímořské země. Využívají přílivu a odlivu k vytvoření tlakového spádu.

příbojové - Jsou použitelné pro přímořské země. Turbínu roztáčí kinetická energie vln. V současné době se jedná hlavně o experimentální zařízení. [8])

Obrázek 4.2 Přečerpávací vodní elektrárna Dlouhé stráně [40])

Vodní elektrárny můžeme dělit z hlediska velikosti výkonu dělit na:

Tabulka 4.1 Rozdělení vodních elektráren

skupiny	výkon v kW
malé	do 10 MW
střední	10 – 200 MW
velké	nad 200 MW

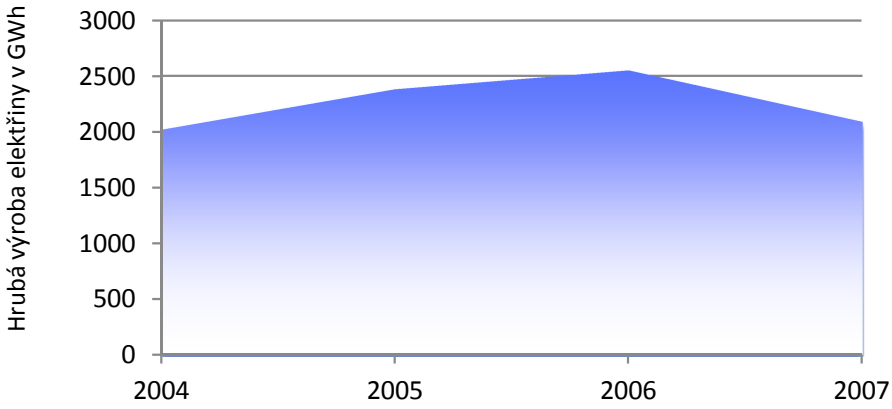
4.2 Aktuální stav využívání vodní energie v České republice

Vodní elektrárny v České republice se podílejí na hrubé výrobě elektřiny každoročně ve výši kolem 3%. Jsou nejvýznamnějším obnovitelným zdrojem pro výrobu elektřiny. Převážná část vodních elektráren se využívá pro regulaci celé elektrizační soustavy, nevýhodou je však závislost těchto zdrojů na hydrologických podmínkách.

Instalovaný výkon vodních zdrojů byl k 31.12.2007 1028,97 MW pro průtočné vodní elektrárny a 1146,50 MW pro přečerpávací vodní zdroje, to je celkem 2175,5 MW.

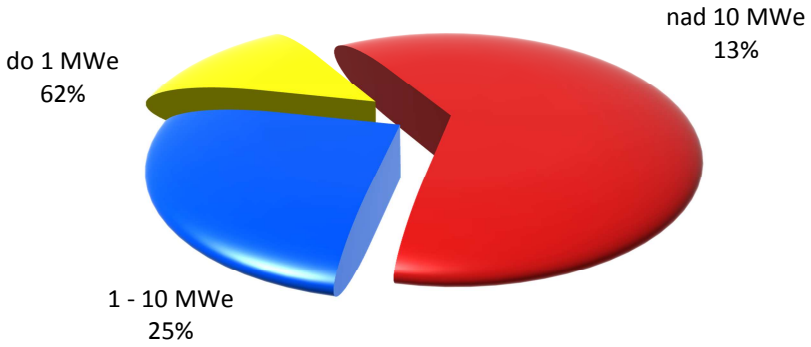
Výroba elektřiny ve vodních elektrárnách dosáhla v roce 2006 celkem 2 550,7 GWh, což činí nárůst oproti roku 2005 o 7,16%. Dle předběžných údajů [35]) však došlo v roce 2007 k poklesu výroby elektřiny o 18% na celkových 2092,2 GWh. Pokles byl způsoben nižší výrobou energie především velkých vodních elektráren z důvodu zhoršených hydrologických podmínek.

Graf 4.1 Hrubá výroba elektřiny - vodní elektrárny



Výkonový podíl vodních elektráren na výrobě elektrické energie znázorňuje následující graf:

Graf 4.2 Podíl výkonových kategorií vodních elektráren na výrobě elektřiny



Z grafu vyplývá, že se na výrobě elektřiny z vodní energie podílejí především velké vodní elektrárny. [34])

4.3 Malá vodní elektrárna Doubravice – ekonomická kalkulace

Pro ekonomický výpočet v oblasti vodní energetiky byla zvolena vodní elektrárna v Doubravici nad Svitavou č.p. 67. Jedná se objekt se stávající Kaplanovou turbínou od firmy Storek o výkonu při maximálním průtoku 33 kW. Vodní dílo a technické vybavení v této lokalitě je již v technicky nevyhovujícím stavu a je tedy nutné realizovat jeho rekonstrukci. Z údajů poskytnutých panem Fadrným, majitelem elektrárny, mu již v minulosti byla doporučena náhrada stávající turbíny, turbínou novou. Zdroj podle výchozích parametrů [10]) doporučuje zvolit horizontální kolenovou turbínu S-Kaplan od výrobce ČKD TURBO TECHNICS s.r.o. [25]),

4.3.1 Popis technologie

Turbína má oběžné kolo se třemi lopatkami, má regulované rozváděcí lopatky, které jsou automaticky přestavovány v průběhu provozu podle zatížení nebo průtoku v rozmezí 20 až 100%.

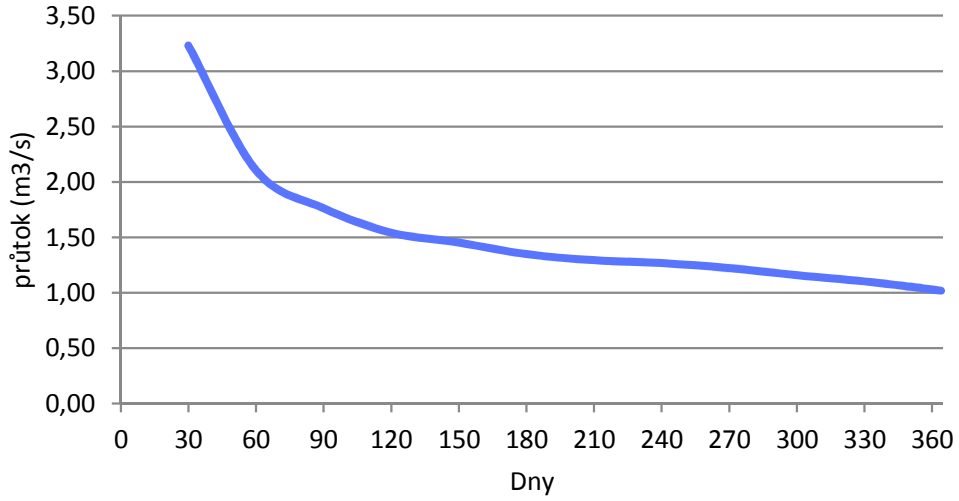
Obrázek 4.3 Původní soustrojí

Obrázek 4.4 Malá vodní elektrárna Doubravice – nová turbína [39])

Tabulka 4.2 Parametry turbíny

Parametry nové turbíny S-Kaplan	
spád H	2,6 m
maximální průtok Q_{max}	1,75 m^3/s
průměr oběžného kola	710 mm
účinnost turbíny $\eta_{vodni\ turbiny}$	0,87
Životnost zařízení T_z	50 let
Roční doba využití zařízení τ_R	8500 hodin

Graf 4.3 Průtoková křivka 2005 [10])



Podle průtokové křivky poskytnuté majitelem byl průměrný roční průtok pro turbínu stanoven na Q_p = 1,35 m^3/s. (Hodnoty ve dnech, které přesahovaly Q_{max} turbíny, byly pro potřebu výpočtu do průměru započítávány jako hodnota Q_{max}=1,75 m^3/s).

Pro další ekonomický výpočet, zejména stanovení výnosů, je nezbytné stanovení skutečného výkonu turbíny a množství vyrobené elektrické energie. Pro výpočet jsou použity hodnoty *hustota vody* ρ = 999 kg/m^3 a *gravitační zrychlení* g = 9,81 m/s.

Ztráty na generátoru a převodech ξ_{gp} jsou kolem 15%

4.3.1.1 Stanovení skutečného výkon turbíny

$$P_e = P_h \cdot \eta_{cvt} = Q_p \cdot H \cdot \rho \cdot g \cdot \eta_{vt} \cdot (1 - \xi_{gp}) = 1{,}35 \cdot 2{,}6 \cdot 999 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}87 \cdot 0{,}85$$
$$= 25\,437{,}8\ W = 25{,}4\ kW$$

4.3.1.2 Množství vyrobené energie

Doba využití s vypočítaným ročním průměrným průtokem bude 8500 hodin.

$$E_r = P_e \cdot \tau_R = 25{,}4 \cdot 8500 = 215\,900\ kWh/rok = 215{,}900\ MWh/rok$$

4.3.2 Stanovení nákladů

4.3.2.1 Celkové investiční náklady

Celkové investiční náklady se v tomto případě skládají z nákladů na stavební a strojní část a přípravu projektu. Náklady na strojní část vychází z údajů poskytnutých firmou ČKD TURBO TECHNICS s.r.o. Jednotlivé položky jsou uvedeny v tabulce.

Tabulka 4.3 Investiční náklady projektu

Ivestiční náklady	
Náklady na stavební část	1 300 000 Kč [10])
Náklady na stojní část	1 950 000 Kč
Náklady na projektové práce	90 000 Kč
Celkové investiční náklady N_i	3 340 000 Kč

4.3.2.2 Celkové roční provozní náklady

Provozní náklady se v tomto případě skládají z nákladů na údržbu a opravy a ostatních nákladů. Tyto náklady jsou odhadnuty pomocí zdroje jako poměrná část z investičních nákladů. Náklady na mzdy pracovníků jsou v tomto případě nulové. Koeficienty k_{ou} a k_r volím dle rozsahu uvedeného v literatuře. [3])

$$N_{ou} = k_{ou} \cdot N_i = 0{,}02 \cdot 3\,340\,000 = 66\,800\ Kč$$
$$N_r = k_r \cdot N_i = 0{,}01 \cdot 3\,340\,000 = 33\,400\ Kč$$

Tabulka 4.4 Provozní náklady projektu

Provozní náklady	
Náklady na údržbu a opravy N_{ou}	66 800 Kč
Ostatní náklady N_r	33 400 Kč

4.3.3 Stanovení výnosů

4.3.3.1 Výnosy z prodeje elektřiny

Výnosy vodní elektrárny vycházejí z výkupu elektrické energie. Elektřina bude vykupována dle ceny stanovené ERÚ ve výši 2,60 Kč/KWh

$$V = c_E \cdot E_r = 2{,}60 \cdot 215\,900 = 561\,340\ Kč/rok$$

4.3.4 Kritéria hodnocení ekonomické efektivnosti investic

Teorie k výpočtu je již uvedena v kapitole 3, proto jsou zde uvedeny pouze výsledky.

4.3.4.1 Výsledky výpočtu ekonomických kritérií

Tabulka 4.5 Ekonomická kritéria

Výsledky ekonomických kritérií	
Čistá současná hodnota NPV	9 109 474,96 Kč
Vnitřní výnosové procento IRR	10,7 %
Prostá doba návratnosti T_0	7,24 let
Diskontovaná doba návratnosti T_s	8,19 let

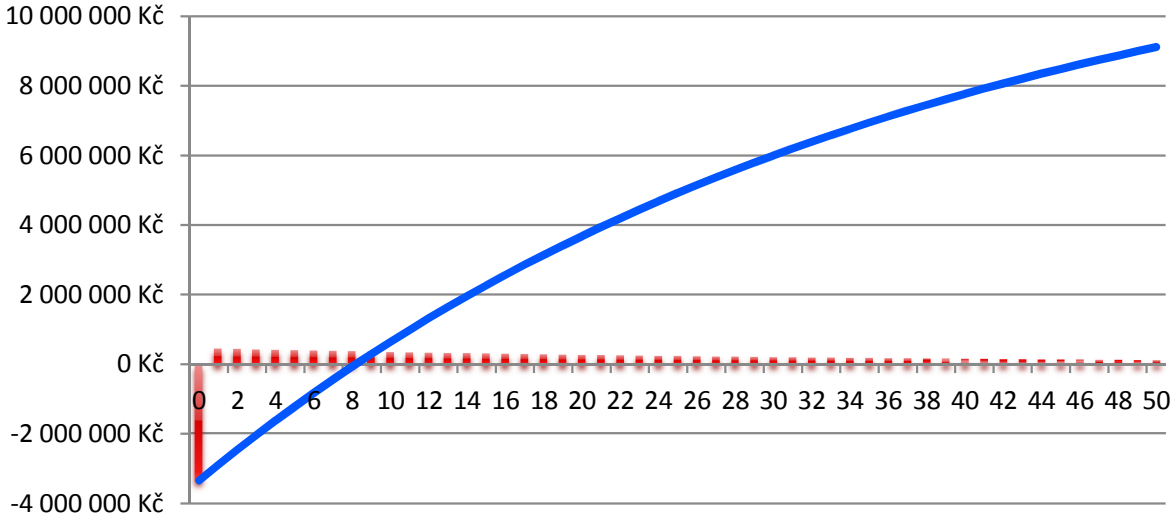
Tabulka 4.6 Diskontované cash-flow projektu

roky j	N_i	CF	CFr^{-j}	DCF
0	3 340 000,00 Kč	- 3 340 000,00 Kč	- 3 340 000,00 Kč	- 3 340 000,00 Kč
1		461 140,00 Kč	448 798,05 Kč	- 2 891 201,95 Kč
2		461 140,00 Kč	436 786,43 Kč	- 2 454 415,52 Kč
3		461 140,00 Kč	425 096,28 Kč	- 2 029 319,24 Kč
4		461 140,00 Kč	413 719,01 Kč	- 1 615 600,23 Kč
5		461 140,00 Kč	402 646,23 Kč	- 1 212 954,00 Kč
6		461 140,00 Kč	391 869,82 Kč	- 821 084,18 Kč
7		461 140,00 Kč	381 381,82 Kč	- 439 702,37 Kč
8		461 140,00 Kč	371 174,52 Kč	- 68 527,85 Kč
9		461 140,00 Kč	361 240,40 Kč	292 712,55 Kč
10		461 140,00 Kč	351 572,17 Kč	644 284,72 Kč
11		461 140,00 Kč	342 162,70 Kč	986 447,42 Kč
12		461 140,00 Kč	333 005,06 Kč	1 319 452,47 Kč
13		461 140,00 Kč	324 092,51 Kč	1 643 544,99 Kč
14		461 140,00 Kč	315 418,50 Kč	1 958 963,49 Kč
15		461 140,00 Kč	306 976,65 Kč	2 265 940,14 Kč
16		461 140,00 Kč	298 760,73 Kč	2 564 700,86 Kč
17		461 140,00 Kč	290 764,70 Kč	2 855 465,56 Kč
18		461 140,00 Kč	282 982,67 Kč	3 138 448,23 Kč
19		461 140,00 Kč	275 408,93 Kč	3 413 857,16 Kč
20		461 140,00 Kč	268 037,89 Kč	3 681 895,05 Kč
21		461 140,00 Kč	260 864,12 Kč	3 942 759,17 Kč
22		461 140,00 Kč	253 882,36 Kč	4 196 641,53 Kč

23	461 140,00 Kč	247 087,45 Kč	4 443 728,98 Kč
24	461 140,00 Kč	240 474,41 Kč	4 684 203,39 Kč
25	461 140,00 Kč	234 038,35 Kč	4 918 241,74 Kč
26	461 140,00 Kč	227 774,55 Kč	5 146 016,29 Kč
27	461 140,00 Kč	221 678,40 Kč	5 367 694,69 Kč
28	461 140,00 Kč	215 745,40 Kč	5 583 440,09 Kč
29	461 140,00 Kč	209 971,19 Kč	5 793 411,28 Kč
30	461 140,00 Kč	204 351,52 Kč	5 997 762,80 Kč
31	461 140,00 Kč	198 882,26 Kč	6 196 645,06 Kč
32	461 140,00 Kč	193 559,38 Kč	6 390 204,44 Kč
33	461 140,00 Kč	188 378,96 Kč	6 578 583,40 Kč
34	461 140,00 Kč	183 337,18 Kč	6 761 920,58 Kč
35	461 140,00 Kč	178 430,35 Kč	6 940 350,93 Kč
36	461 140,00 Kč	173 654,84 Kč	7 114 005,77 Kč
37	461 140,00 Kč	169 007,14 Kč	7 283 012,92 Kč
38	461 140,00 Kč	164 483,84 Kč	7 447 496,75 Kč
39	461 140,00 Kč	160 081,60 Kč	7 607 578,35 Kč
40	461 140,00 Kč	155 797,17 Kč	7 763 375,52 Kč
41	461 140,00 Kč	151 627,42 Kč	7 915 002,94 Kč
42	461 140,00 Kč	147 569,26 Kč	8 062 572,21 Kč
43	461 140,00 Kč	143 619,72 Kč	8 206 191,93 Kč
44	461 140,00 Kč	139 775,89 Kč	8 345 967,81 Kč
45	461 140,00 Kč	136 034,92 Kč	8 482 002,74 Kč
46	461 140,00 Kč	132 394,09 Kč	8 614 396,83 Kč
47	461 140,00 Kč	128 850,69 Kč	8 743 247,52 Kč
48	461 140,00 Kč	125 402,13 Kč	8 868 649,65 Kč
49	461 140,00 Kč	122 045,87 Kč	8 990 695,53 Kč
50	461 140,00 Kč	118 779,44 Kč	9 109 474,96 Kč

Diskontované Cash-flow a průběh kumulovaného diskontovaného Cash-flow pro tento projekt znázorňuje následující graf.

Graf 4.4 Diskontované a kumulované diskontované cash-flow projektu



4.3.5 Stanovení měrných investičních nákladů

Měrnými investičními náklady rozumíme poměr investičních nákladů N_i a instalovaného elektrického výkonu P_e.

$$n_i = \frac{N_i}{P_e} = \frac{3\,340\,000}{25{,}4} = 131\,496\ Kč/kW_e$$

4.3.6 Stanovení měrných výrobních nákladů

Abychom mohli porovnávat hospodaření energetických výroben o různých výkonech, musíme vypočítat měrné výrobní náklady. Vypočítají se jako součet stálé složky měrných výrobních nákladů a proměnné složky měrných výrobních nákladů. Proměnná složka výrobních nákladů je v daném výpočtu nulová.

$$n_v = n_s + n_p = \frac{(k_{ou} + k_r + a_{Tz}) \cdot N_i}{E_{vyrobené}} = \frac{(0{,}02 + 0{,}01 + 0{,}037) \cdot 3\,340\,000}{215\,900} = 1{,}04\ Kč/kWh$$

kde a_{Tz} je poměrná anuita a spočítá se podle:

$$a_{Tz} = \frac{(1+u)^{T_z}}{(1+u)^{T_z} - 1} \cdot u = \frac{(1+0{,}0275)^{50}}{(1+0{,}0275)^{50} - 1} \cdot 0{,}0275 = 0{,}037\ r^{-1}$$

4.3.7 Komentář k výpočtu

Navržená rekonstrukce stávající elektrárny se jeví výhodnou pouze z dlouhodobého hlediska. Je to dáno zejména vysokými měrnými investičními náklady. Životnost zařízení je však vysoká.

4.4 Trendy v oblasti využívání vodní energetiky

Vodní energetika je v České republice již dlouho využívaným zdrojem, proto nemůžeme očekávat velký rozvoj v této oblasti, potenciál je již značně vyčerpán. K menšímu rozvoji může dojít v oblasti malých vodních elektráren na menších tocích. Podle Ministerstva průmyslu a obchodu je to přibližně 100 MW instalovaného výkonu v malých elektrárnách se spádem do 2 až 5 metrů. [34])

Výstavbu nových malých vodních elektráren můžou ovlivnit nejen ekonomické aspekty, ale i ochota úřadů spravujících jednotlivá povodí pro povolení výstavby.

5. Větrná energie

Větrná energie vzniká, protože sluneční záření dopadající na zemský povrch je nerovnoměrné. Dochází k vzniku různě zahřátých oblastí vzduchu a tudíž i k tlakovým rozdílům, které se vyrovnávají vzdušným prouděním. Pojem *vítr* je chápán jako horizontální složka tohoto proudění. Proudění větru mimo jiné také ovlivňuje rotace Země kolem své osy.

Obrázek 5.1 Elektrárny u obce Nová Ves v Horách [40])

$$P_{VTE} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot c_p \cdot \rho \cdot v^3$$

P_{VTE} = výkon větrné elektrárny (W)
v = rychlost větru (m/s)
ρ = hustota vzduchu (kg/m^3)
D = průměr rotoru (m)
c_p = součinitel výkonu

5.1 Větrné elektrárny

Větrné elektrárny jsou technická zařízení, ve kterých je kinetická energie větru přeměňována na energii elektrickou. V závislosti na průměru vrtule, určujícím plochu opsanou vrtulí, která podle uvedeného vztahu podmiňuje výkon odebraný proudícímu vzduchu rotorem turbíny, se tato zařízení dělí na malé, střední a velké elektrárny.

Větrné elektrárny můžeme dělit do tří skupin:

Tabulka 5.1 Rozdělení větrných elektráren

skupiny	**výkon v kW**	**průměr vrtule v metrech**
malé	10 - 60	8 - 16

střední	130 - 170	16,1 - 45
velké	1500 - 6400	45,1 - 128

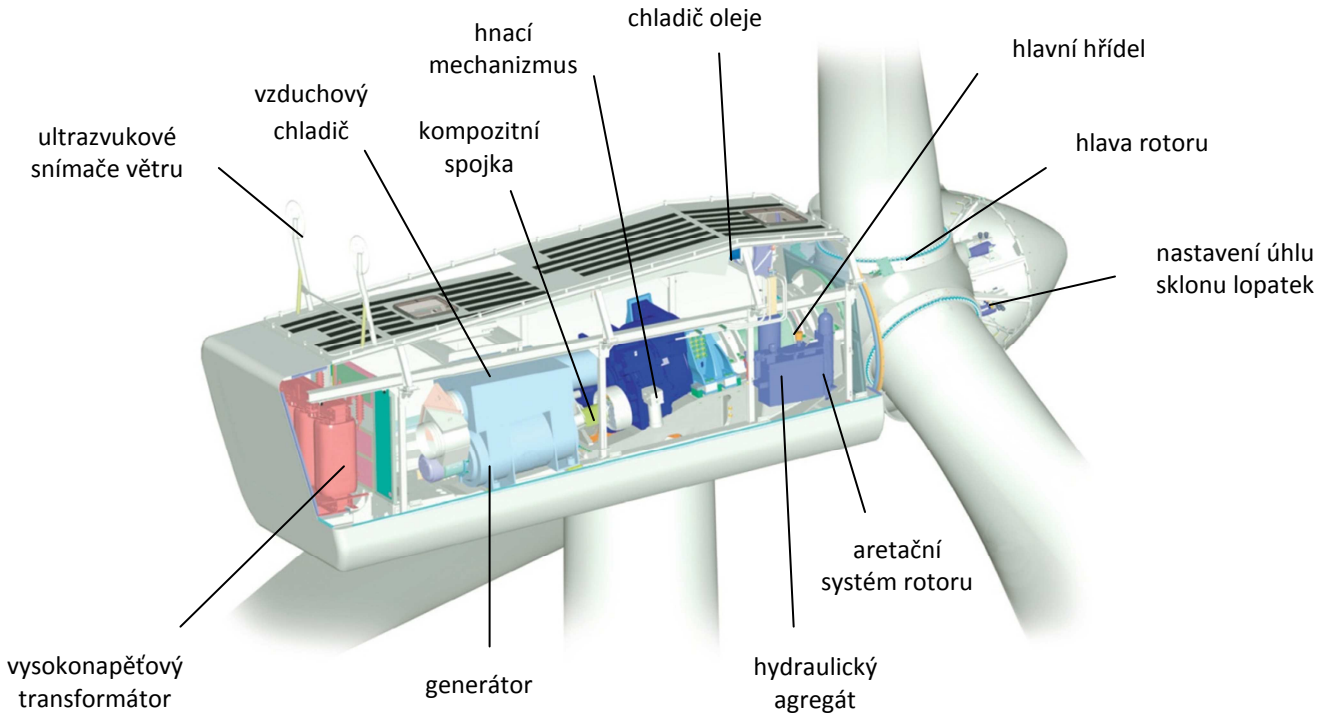
5.2 Používaná technická zařízení

Z větru se získává zejména elektřina. Velká zařízení dodávají elektřinu do sítě, drobná zařízení slouží pro zásobování odlehlých objektů nepřipojených k síti, malé větrné elektrárny se používají i v mobilních prostředcích například k dobíjení baterií.

Systémy větrných elektráren se dělí na:

Systémy nezávislé na rozvodné síti (grid-off), samostané systémy slouží objektům, které nemají možnost se připojit k rozvodné síti. Zde se obvykle používají mikroelektrárny s výkonem od 0,1 do 5 kW. V objektu může být buď rozvod stejnosměrného proudu s nízkým napětím, nebo je v systému zapojen ještě střídač pro dodávku střídavého proudu 220 V. Pro větší výkony se používají větrné elektrárny se synchronními generátory.

Systémy dodávající energii do rozvodné sítě (grid-on), jsou nejrozšířenější a používají se v oblastech s velkým větrným potenciálem, slouží téměř výhradně pro komerční výrobu elektřiny. Trendem je výstavba stále větších zařízení. Důvodem jsou nižší měrné náklady na výrobu energie a maximální využití vhodných lokalit, kterých je omezený množství. Tyto velké elektrárny mají asynchronní generátor, který dodává střídavý proud většinou o napětí 660 V, a tudíž nemohou pracovat jako samostatné zdroje energie. Většina elektráren má konstantní otáčky.



Obrázek 5.2 Vnitřní zařízení elektrárny VESTAS V90 [40])

Moderní větrné elektrárny mají rozběhovou rychlost větru kolem 4 m/s. Pro zvýšení výroby jsou některé elektrárny vybaveny dvěma generátory. Při nízké rychlosti větru běží menší generátor, při vyšší rychlosti větru se přepne na větší generátor. Startovací rychlost pro snížený výkon je potom kolem 2,5 m/s. Efektivní je sdružovat velké elektrárny do skupin, snižují se tím investiční náklady.

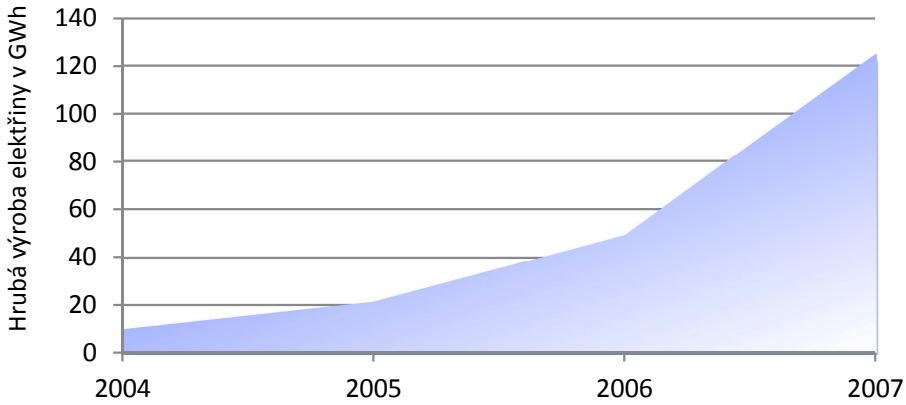
Podle aerodynamického principu dělíme větrné motory na vztlakové a odporové. Nejrozšířenějším typem jsou elektrárny s vodorovnou osou otáčení, pracující na vztlakovém principu, kde vítr obtéká lopatky s profilem podobným letecké vrtuli. Na stejném principu pracovaly již historické větrné mlýny, nebo tak pracují větrná kola vodních čerpadel. Po experimentech s rozdílným počtem listů již všechny velké moderní elektrárny používají tříšisté rotory.

Existují také elektrárny se svislou osou otáčení pracující na odporovém nebo na vztlakovém principu. Výhodou elektráren se svislou osou pracujících na vztlakovém principu je že dosahují vyšší rychlosti otáčení a tím i vyšší účinnosti. Nemusí se natáčet do směru převládajícího směru větru. V praxi se však příliš neuplatňují, neboť u nich dochází k mnohem vyššímu dynamickému namáhání, které snižuje jejich životnost. [4])

5.3 Aktuální stav využívání větrné energie

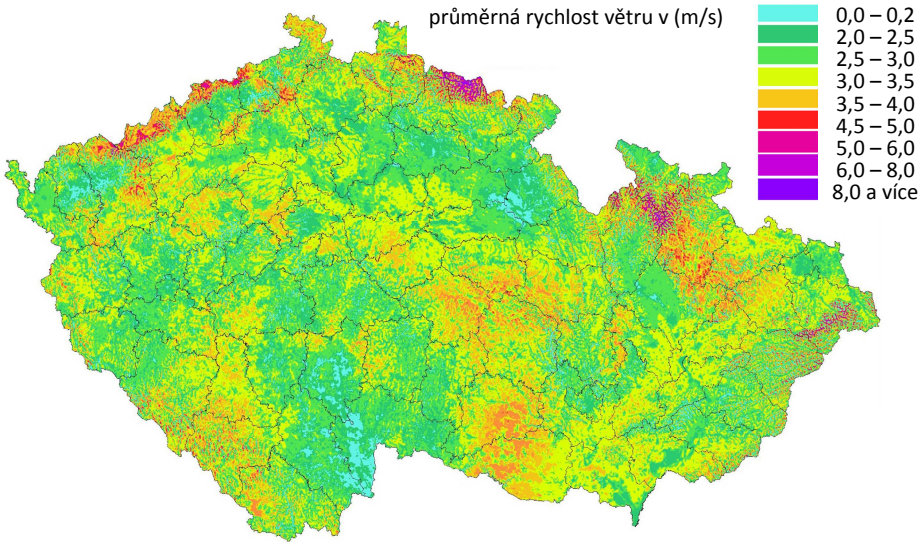
Průmysl větrné energetiky zaznamenává v Evropě rychlý rozvoj a zaujímá velmi silné postavení na světovém trhu. Významný je i technologický pokrok směřující ke stále větším větrným generátorům a ke snižování investičních nákladů. V současné době jsou testovány větrné elektrárny s výkony do 3,5 MW s rotorem o průměru 110 m. Rotory jsou optimalizovány tak, aby byly minimalizovány hlukové emise. K regulaci otáček se používají stavitelné listy rotoru. Strojovny větrných elektráren jsou osazeny asynchronními motory bez převodovky.

Graf 5.1 Hrubá výroba elektřiny - větrné elektrárny nad 100 kW



Ve větrné energetice v České republice došlo v polovině 90. let ke snížení produkce energie z větrných elektráren vlivem nezájmu státu o tuto oblast obnovitelných zdrojů. K nárůstu došlo po roce 2002, kdy Energetický regulační úřad zavedl dotované výkupní ceny ve výši 3 Kč/kWh. Od té doby

je produkce a instalovaný výkon větrných elektráren každým rokem přibližně dvojnásobný než v roce předchozím a to navzdory tomu že výkupní ceny se každým rokem snižují.



Obrázek 5.3 Větrná mapa České republiky model VAS/WasP v 10m [42])

Ze statistiky Ministerstva průmyslu a obchodu vyplývá, že do konce roku 2006 bylo na území České republiky instalováno 43,5 MW větrných elektráren. V roce 2006 bylo uvedeno do provozu 45 projektů o celkovém výkonu 18,5 MW. Hrubá výroba z těchto zdrojů činí 49,4 GWh, to je o 27,9 GWh více než v roce 2005. [34])

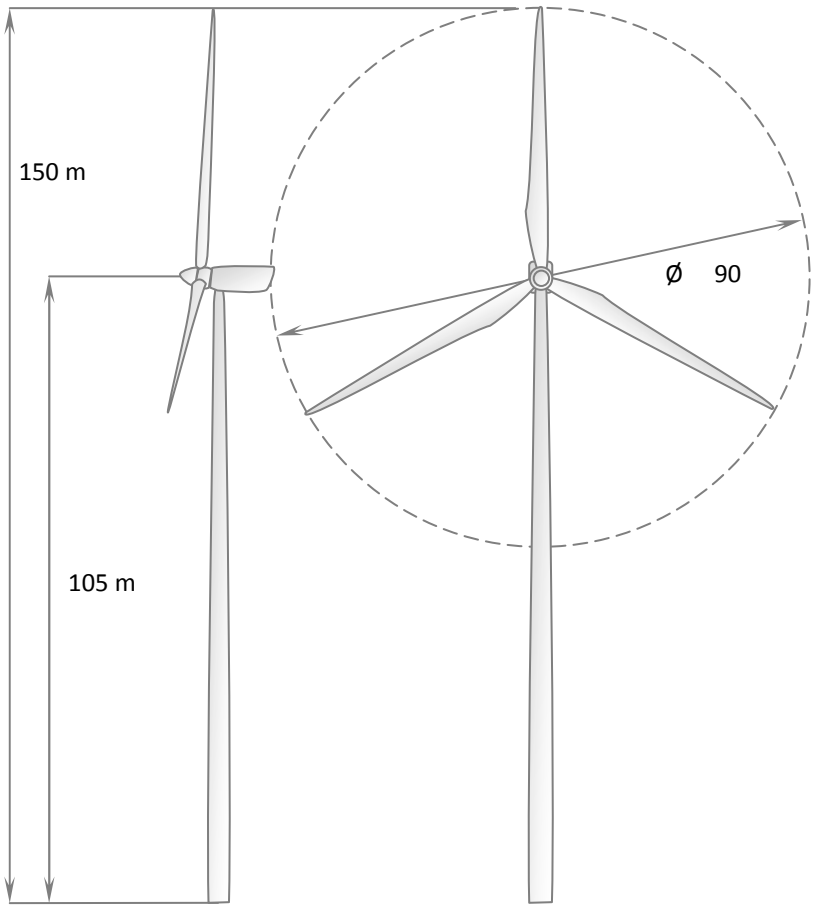
K 31. prosinci 2007 byl instalovaný výkon větrných elektráren 113,75 MW a bylo z něj vyrobeno 125 GWh, což znamená meziroční nárůst o 153%.

Aktuální informace [17]) hovoří o tom, že v 1. čtvrtletí letošního roku došlo oproti stejnému období minulého roku k nárůstu výroby elektřiny z větrných elektráren o 115% z 35 GWh v 1. čtvrtletí roku 2007 na 77 GWh v 1. čtvrtletí roku 2008.

5.4 Elektrárna Drahany - ekonomická kalkulace

Pro výpočet z oblasti větrné energie byly použity údaje poskytnuté firmou Eldaco s.r.o. a obecním úřadem Drahany. Jedná se o větrnou elektrárnu Vestas V90-2.0MW nacházející s v katastru obce Drahany okres Prostějov.

Obrázek 5.4 Instalace větrné elektrárny v Drahanech



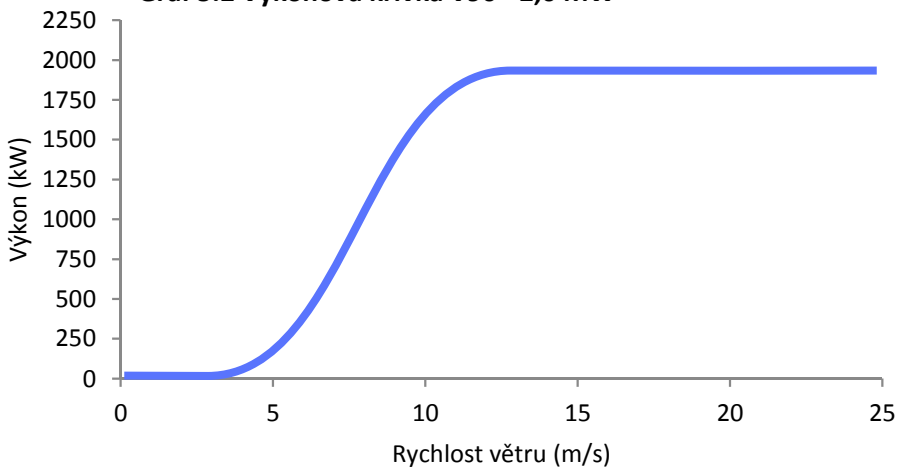
Obrázek 5.5 Větrná elektrárna VESTAS V90 – rozměrové schéma

Tabulka 5.2 Parametry větrné elektrárny

Technické parametry zařízení VESTAS V 90	
Instalovaný elektrický výkon P_e	2 MW
Jmenovité otáčky	13,3 ot/min
Provozní interval	8,8-14,9 ot/min
Počet listů	3 ks
Regulace výkonu	úhel náklonu
Výška hlavy věže	95 m
Generátor	asynchronní, 2 MW
Provozní údaje generátoru	50/60 Hz; 690 V
Životnost zařízení t_r	20 let

Jednou z hlavních charakteristik větrných elektráren je výkonová křivka, která má pro elektrárnu VESTAS V90 následující průběh.

Graf 5.2 Výkonová křivka V90 - 2,0 MW



Tabulka 5.3 Ekonomické parametry

Ekonomické parametry elektrárny Drahany	
Celkové investiční nálady na	81 200 000 Kč
Roční doba využití zařízení τ_r	3525 hodin/rok
Náklady na údržbu a opravy včetně rezervy na velké opravy (1 500 000 Kč) N_{ou}	2 290 000 Kč/rok
Režijní náklady N_r	1 480 000 Kč/rok
Náklady na energii N_e	40 000 Kč/rok

Celková výroba elektřiny E_r	7 050 000 kWh/rok

5.4.1 Stanovení nákladů

5.4.1.1 Celkové investiční náklady

Údaje o výši celkových investičních nákladů byla poskytnuta provozovatelem a je N_i = 81 200 000 Kč a je uvedena v tabulce.

5.4.1.2 Celkové roční výrobní náklady

Náklady se skládají z nákladů na údržbu a opravy včetně rezervy N_{ou}, režijních nákladů N_r a nákladů na energii N_e. Náklady na mzdy pracovníků jsou vzhledem k samoobslužnému zařízení nulové.

$$N_p = N_{ou} + N_r + N_e = 2\,290\,000 + 1\,480\,000 + 40\,000 \; = 3\,810\,000 \; Kč/r$$

5.4.2 Stanovení výnosů

5.4.2.1 Výnosy z prodeje elektřiny

Výnosy této větrné elektrárny vyplývají z výkupu elektrické energie. Elektřina bude vykupována dle ceny stanovené ERÚ ve výši 2,46 Kč/KWh

$$V = c_E \cdot E_r = 2{,}46 \cdot 7\,050\,000 = \; 17\,343\,000 \; Kč/rok$$

5.4.3 Kritéria hodnocení ekonomické efektivnosti investic

Teorie k výpočtu je již uvedena v kapitole 3,proto jsou zde uvedeny pouze výsledky.

5.4.3.1 Výsledky výpočtu ekonomických kritérií

Tabulka 5.4 Ekonomická kritéria

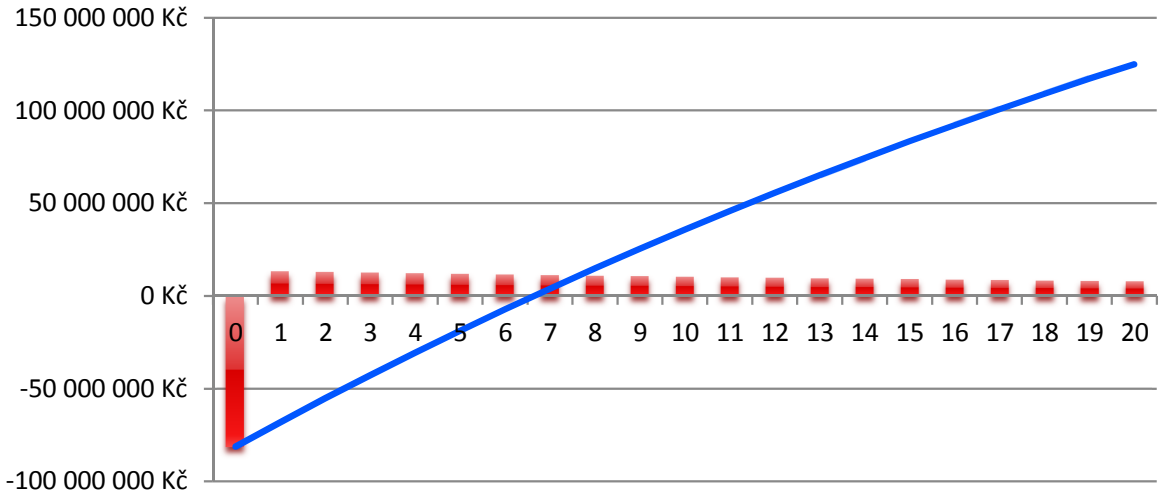
Výsledky ekonomických kritérií	
Čistá současná hodnota NPV	124 870 403,13 Kč
Vnitřní výnosové procento IRR	12,68 %
Prostá doba návratnosti T_0	6,00 let
Diskontovaná doba návratnosti Ts	6,65 let

Tabulka 5.5 Diskontovaný cash-flow projektu

roky j	N_i	CF	CFr^{-j}	DCF
0	81 200 000,00 Kč	- 81 200 000,00 Kč	- 81 200 000,00 Kč	- 81 200 000,00 Kč
1		13 533 000,00 Kč	13 170 802,92 Kč	- 68 029 197,08 Kč
2		13 533 000,00 Kč	12 818 299,68 Kč	- 55 210 897,40 Kč
3		13 533 000,00 Kč	12 475 230,83 Kč	- 42 735 666,57 Kč
4		13 533 000,00 Kč	12 141 343,87 Kč	- 30 594 322,70 Kč
5		13 533 000,00 Kč	11 816 393,06 Kč	- 18 777 929,63 Kč
6		13 533 000,00 Kč	11 500 139,24 Kč	- 7 277 790,40 Kč
7		13 533 000,00 Kč	11 192 349,62 Kč	3 914 559,23 Kč
8		13 533 000,00 Kč	10 892 797,68 Kč	14 807 356,91 Kč
9		13 533 000,00 Kč	10 601 262,95 Kč	25 408 619,86 Kč
10		13 533 000,00 Kč	10 317 530,86 Kč	35 726 150,72 Kč
11		13 533 000,00 Kč	10 041 392,56 Kč	45 767 543,28 Kč
12		13 533 000,00 Kč	9 772 644,83 Kč	55 540 188,11 Kč
13		13 533 000,00 Kč	9 511 089,86 Kč	65 051 277,96 Kč
14		13 533 000,00 Kč	9 256 535,14 Kč	74 307 813,10 Kč
15		13 533 000,00 Kč	9 008 793,32 Kč	83 316 606,43 Kč
16		13 533 000,00 Kč	8 767 682,07 Kč	92 084 288,49 Kč
17		13 533 000,00 Kč	8 533 023,91 Kč	100 617 312,40 Kč
18		13 533 000,00 Kč	8 304 646,14 Kč	108 921 958,54 Kč
19		13 533 000,00 Kč	8 082 380,67 Kč	117 004 339,21 Kč
20		13 533 000,00 Kč	7 866 063,91 Kč	124 870 403,13 Kč

Diskontované Cash-flow a průběh kumulovaného diskontovaného Cash-flow pro tento projekt můžeme je znázorněn v grafu.

Graf 5.3 Diskontované a kumulované diskontované cash-flow projektu



5.4.4 Stanovení měrných investičních nákladů

Měrnými investičními náklady rozumíme poměr investičních nákladů N_i a instalovaného elektrického výkonu P_e.

$$n_i = \frac{N_i}{P_e} = \frac{81\,200\,000}{2\,000} = 40\,600\ Kč/kW_e$$

5.4.5 Stanovení měrných výrobních nákladů

Abychom mohli porovnávat hospodaření energetických výroben o různých výkonech, musíme vypočítat měrné výrobní náklady. Vypočítají se jako součet stálé složky měrných výrobních nákladů a proměnné složky měrných výrobních nákladů. Proměnná složka výrobních nákladů je v daném výpočtu nulová.

$$n_v = n_s + n_p = \frac{(p_1 + a_{Tz}) \cdot N_i}{E_r} = \frac{(0{,}047 + 0{,}066) \cdot 81\,200\,000}{7\,050\,000} = 1{,}30\ Kč/kWh$$

Kde p_1 je zjištěno ze zadaných provozních nákladů

$$p_1 = \frac{N_{ou} + N_r + N_{en}}{N_i} = \frac{2\,290\,000 + 1\,480\,000 + 40\,000}{81\,200\,000} = 0{,}047\ r^{-1}$$

A a_{Tz} je poměrná anuita a spočítá se podle:

$$a_{Tz} = \frac{(1+u)^{T_z}}{(1+u)^{T_z} - 1} \cdot u = \frac{(1+0{,}0275)^{20}}{(1+0{,}0275)^{20} - 1} \cdot 0{,}0275 = 0{,}066\ r^{-1}$$

5.4.6 Komentář k výpočtu

Konkrétní případ provozu Drahanské elektrárny je výjimečný roční dobou využití, která přesahuje 3500 h/rok, což je v podmínkách České republiky opravdu vysoké číslo. Z toho vyplývá, že výnosnost projektu je poměrně vysoká.

5.5 Trendy v oblasti využívání větrné energetiky

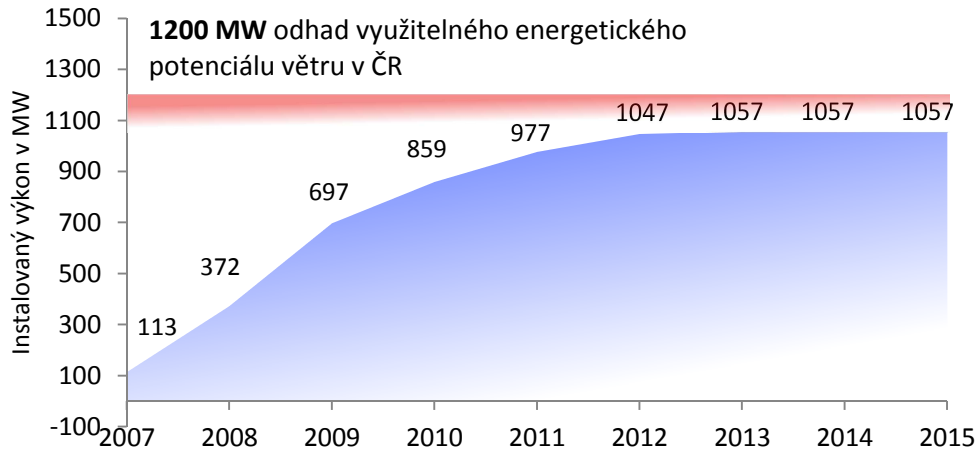
Dosavadní prudce rostoucí trend v oblasti větrné energetiky byl bezesporu způsoben velkou podporou státu.

Z technického a energetického pohledu jsou větrné elektrárny umístěné na pevnině spíše zdrojem problémů, jejich masivní výstavba vede kromě zvýšené potřeby záložních zdrojů k přetěžování přenosové soustavy. Lze očekávat, že s postupným růstem jejich celkového instalovaného výkonu bude klesat i jejich podpora tak, aby se zachovala rozumná efektivita jejich provozování. [33])

V posledních několika letech jsou pro větrnou energetiku charakteristické trvale rostoucí požadavky ze strany investorů na výstavbu větrných elektráren. Požadavky investorů se zvýšily od roku 2001 více než 2,5 krát, což ukazuje číslo 600 MW v roce 2001 a 1620 MW v roce 2007.

Velké zájem o investice do větrné energetiky, se s největší pravděpodobností projeví i v růstu počtu realizovaných projektů. Největší nárůst instalovaného výkonu větrných elektráren je možné očekávat v letech 2008 - 2010.

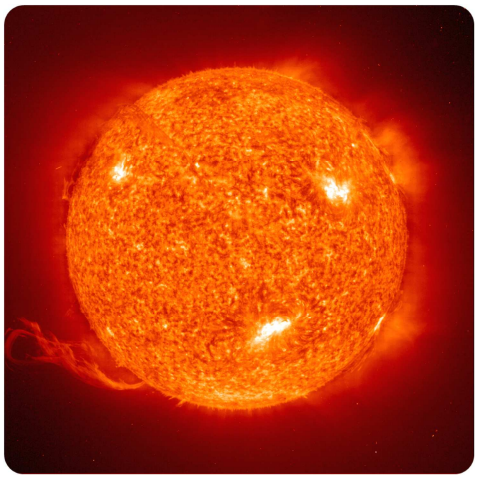
Graf 5.4 Pravděpodobný vývoj výstavby větrných elektráren v ČR



V roce 2013 by celkový instalovaný výkon větrných elektráren měl dosahovat přibližně 1 000 MW a očekává se, že v tomto období bude již další rozvoj větrných elektráren stagnovat. Výstavba nových větrných elektráren je plánována do oblastí s příznivými větrnými podmínkami, jako jsou Krušné hory, Jeseníky a Oderské vrchy. [34]) Zvyšujícím se podílem větrných elektráren dochází k nárůstu cen pro spotřebitele. Není vyřešena likvidace větrných elektráren po uplynutí jejich životnosti. Další nevýhodou je negativní vliv na ráz krajiny.

6. Solární energie

Slunce je zdrojem slunečního záření dopadajícího na zemský povrch, je považováno za základní zdroj energie. Tento zdroj je nezávislý na zásobách fosilních paliv. Vezmeme-li v úvahu délku lidského života, můžeme Slunce považovat za nevyčerpatelný, a tedy obnovitelný zdroj energie.



Obrázek 6.1 Slunce – zdroj solární energie [40])

6.1 Základní princip a rozdělení

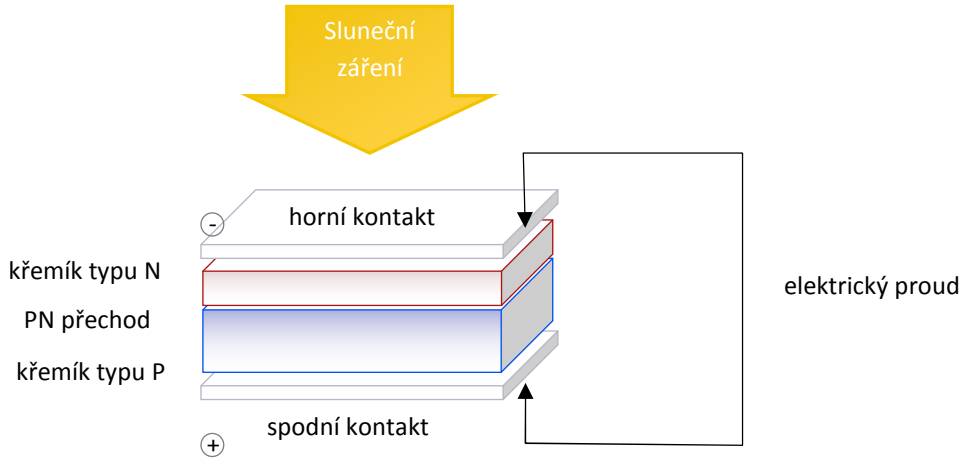
Transformaci energie slunce v našich podmínkách je možno v zásadě uskutečňovat za pomoci třech druhů energetických přeměn.

- Aktivní přeměnou solárního záření na teplo pomocí vzduchových nebo kapalinových kolektorů.
- Aktivní přeměnou solárního záření na elektrickou energii fotovoltaickými články.
- Solárně termickou pasivní přeměnou slunečního záření na teplo a to konstrukčním řešením budov.

Nejlepších výsledků při přeměně slunečního záření na využitelnější formu energie se obvykle dosáhne kombinací různých systémů.

6.1.1 Aktivní přeměna - fotovoltaické panely

Využívá se přímé přeměny světelné energie na elektrickou energii v polovodičovém prvku označovaném jako fotovoltaický nebo také solární článek. Solární článek je velkoplošná dioda alespoň s jedním PN přechodem. V ozářeném solárním článku jsou generovány elektricky nabité částice. Elektrony a díry jsou separovány vnitřním elektrickým polem PN přechodu. Rozdělení náboje má za následek napěťový rozdíl mezi záporným a kladným kontaktem solárního článku. Vodičem, kterým propojíme tytu kontakty protéká stejnosměrný proud, jenž je přímo úměrný ploše solárního článku a intenzitě dopadajícího slunečního záření. [9])



Obrázek 6.2 Slunce – Princip fotovoltaického článku

Pro výrobu solárních fotovoltaických panelů se v současné době využívá buď krystalických článků, zejména na bázi křemíku, dále amorfních vrstev hydrogenizovaného křemíku a slitin s germániem a v poslední době pak mikrokrystalických či nanokrystalických vrstev.

Nepropracovanější je technologie založená na krystalickém křemíku. Základem je plátek s tloušťkou 0,20–0,3 mm z křemíku s monokrystalickou nebo multikrystalickou strukturou. Zpravidla se jedná o plátky čtvercového tvaru s rozměry až 200×200 mm. Energetická účinnost přeměny slunečního záření na elektrickou energii je u současných hromadně vyráběných křemíkových solárních článků 14 až 17 %. Účinnost u laboratorních vzorků dosahuje až 28 %.

Články vynikají vysokou stabilitou výkonu a dlouhou životností (minimálně 30 let). Samotná výroba křemíkových plátků je poměrně dosti energeticky náročná. Nicméně množství energie vložené do výroby solárního panelu je tímto panelem vyrobeno v našich podmínkách do 5 let. Téměř 85 % všech solárních panelů je vyrobeno s křemíkovými krystalickými články.

Významnější postavení na trhu nacházejí i solární panely vyrobené tenkovrstvou technologií, označované také jako technologie 2. generace. Solární články včetně jejich propojení jsou vytvořeny přímo na nosné podložce depozicí velmi tenkých vrstev materiálů. Nosnou podložkou může být sklo, plastová fólie nebo ocelový plech. Nejpoužívanějším materiálem pro aktivní vrstvy je opět křemík, tentokrát však s amorfní nebo mikrokrystalickou strukturou. Účinnost tenkovrstvých křemíkových panelů je 7–9 %. Zatím v malých objemech jsou vyráběny tenkovrstvou technologií panely se strukturami CdTe, CIS a CIGS (měď, indium, galium, síra, selen – viz tabulka níže). Účinnost u CdTe je 12 % a struktury CIS dosahují až 15 %. Přestože tenkovrstvé solární panely nedosahují takových účinností jako krystalické křemíkové články a nepřináší výraznou cenovou výhodu, jsou příslibem na výrazné snížení ceny fotovoltaiky.

Ve fázi laboratorních testů jsou alternativní technologie (polymery a články s fotocitlivým barvivem), u kterých se očekává výrazně nižší výrobní cena. U solárních článků třetí generace s alternativními technologiemi se pak očekávají velmi vysoké účinnosti při poměrně nízkých nákladech.

Tyto technologie jsou však v počáteční fázi vývoje. Oblastí využití technologie polymerů pro fotovoltaické články se mimo jiné také zabývá Prof. Alan Heeger. [4])

Tabulka 6.1 Rozdělení solárních panelů

Objemové materiály	Tenkovrstvé technologie	Alternativní technologie
Monokrystalický křemík	Amorfní křemík	Polymerní vrstvy
Multikrystalický křemík	Mikrokrystalický křemík	Články s fotocitlivým barvivem
Polykrystalické plátky Si	CdTe a CdS	
	CuInSe – CIS	
	Amorfní SiGe	
	InGaN	

6.1.2 Používané fotovoltaické systémy

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, případně systém automatického natáčení za Sluncem. Sestava fotovoltaických panelů, podpůrných zařízení, spotřebiče a případně dalších prvků se nazývá fotovoltaický systém.

Fotovoltaické sytémy se dělí do dvou skupin:

Systémy nezávislé na rozvodné síti (grid–off), také jinak ostrovní systémy jsou instalovány na místech, kde není účelné budovat elektrickou přípojku. Tedy v případech, kdy jsou náklady na vybudování přípojky srovnatelné s náklady na fotovoltaický systém (od vzdálenosti k rozvodné síti větší než 500–1000 m). Výkony ostrovních systémů se pohybují v intervalu 1W –10 kW špičkového výkonu. Systémy nezávislé na rozvodné síti lze rozdělit na systémy s přímým napájením, systémy s akumulací elektrické energie a hybridní ostrovní systémy

Síťové fotovoltaické systémy (grid–on) se nejvíce uplatňují v oblastech s hustou elektrorozvodnou sítí. Elektrická energie je ze solárních panelů dodávána přes síťový střídač do rozvodné sítě. Systémy tohoto typu fungují zcela automaticky díky mikroprocesorovému řízení síťového měniče. Špičkový výkon fotovoltaických systémů připojených k rozvodné síti se pohybuje v rozmezí kW až MW. Fotovoltaické panely v případě síťových fotovoltaických systémů jsou většinou integrovány do obvodového pláště budov. [4])

6.2 Aktivní přeměna – kolektory

Aktivní solární systém zajišťuje konverzi zářivé solární energie na ohřev vhodného media – obvykle voda nebo vzduch. Aktivní systém je tvořen plochou solárních jímačů, akumulátorem zachyceného tepla, propojovacím potrubím s čerpadly resp. ventilátory a regulačním systémem.

Solární systémy se v převážné většině využívají k ohřevu užitkové vody, vody v bazénu a pro přitápění. V současné době jsou nejperspektivnější solární systémy s plochými vodními kolektory. Dají se bez obtíží nainstalovat na stávající budovy. Mohou zabezpečit ohřev TUV, přitápění případně v kombinaci s ohřevem bazénu.

6.2.1 Pasivní přeměna

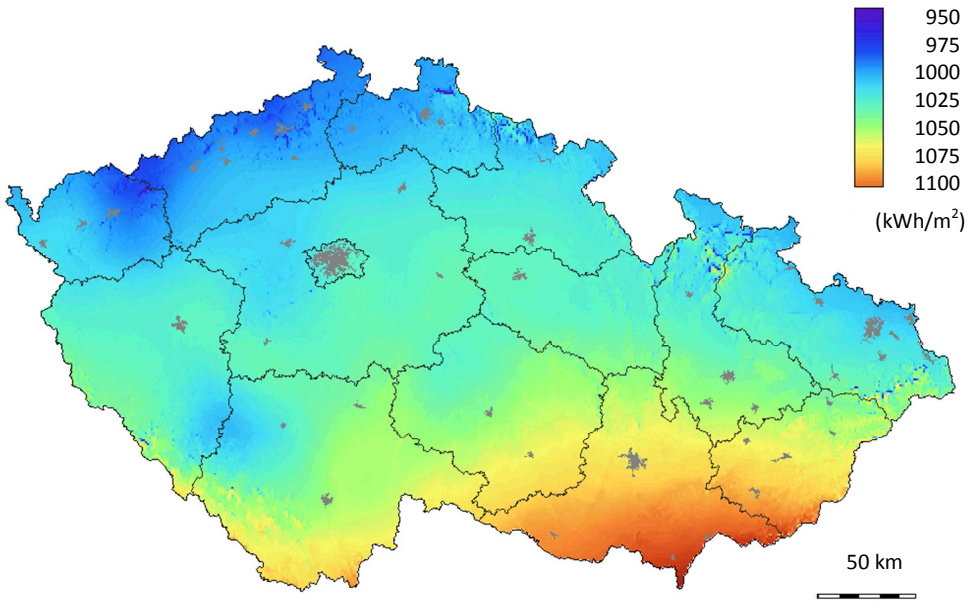
Využívá se pro vytápění vnitřního prostoru budov přímým osluněním části budovy.

Osluněné místnosti jsou přímými jímači tepla – vzhledem k nízké teplotě vzduchu v těchto místnostech účinnost konverze zářivé energie na teplo podstatně vyšší než v případě aktivního solárního systému, ohřívajícího vodu v kolektorech na podstatně vyšší teplotu. Díky relativně nízkému zvýšení nákladů na stavbu budovy s pasivním využitím solární energie oproti stavbě klasické budovy je vytápění budov pasivním způsobem ve zdejších klimatických podmínkách ekonomicky vhodnější než při využití aktivního systému.

Pasivní využití solárního záření se může podílet na celkové spotřebě energie pro vytápění budovy až cca 30 %, tato hodnota je tím vyšší, čím je budova lépe tepelně izolována. 9)

6.3 Aktuální stav solární energetiky v České republice

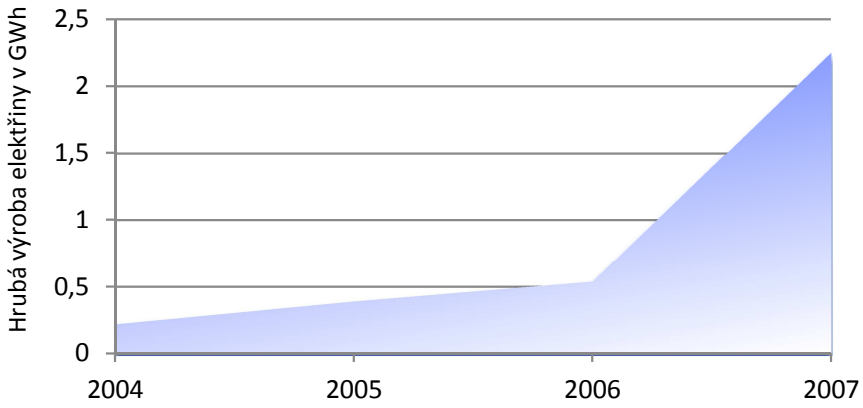
Je zřejmé že, zeměpisná poloha České republiky vzhledem k intenzitě dopadajícího záření během roku (viz obrázek) není pro využití solární energie úplně ideální. Pořizovací ceny fotovoltaických systémů způsobují to, že doba návratnosti investic je poměrně vysoká, tedy bez podpory státu jak ve formě investičních i dotované výkupní ceny, nelze dosáhnout návratnosti investic.



Obrázek 6.3 Solární mapa České republiky [42])

Za přesnou statistiku využívání solární energie lze považovat hodnoty Czech RE Agency. Z jejích vyplývá, že kumulovaný instalovaný výkon ke konci roku 2007 dosáhl hodnoty cca 5,3 MWp. Z informací ERÚ pak plyne, že k 10. listopadu 2007 bylo uděleno celkem 177 licencí pro výrobu elektřiny z fotovoltaiky o celkovém výkonu cca 2,92 MWp.

Graf 6.1 Hrubá výroba elektřiny - fotovoltaické systémy - on grid



Ze statistiky Ministerstva průmyslu a obchodu pro rok 2007 vyplývá, že fotovoltaické systémy zaznamenaly meziroční nárůst o 307%, stále je však výroba pohybující se přibližně kolem 2 GWh ve srovnání s ostatními obnovitelnými zdroji malá. [33])

6.4 Fotovoltaická elektrárna Olomučany

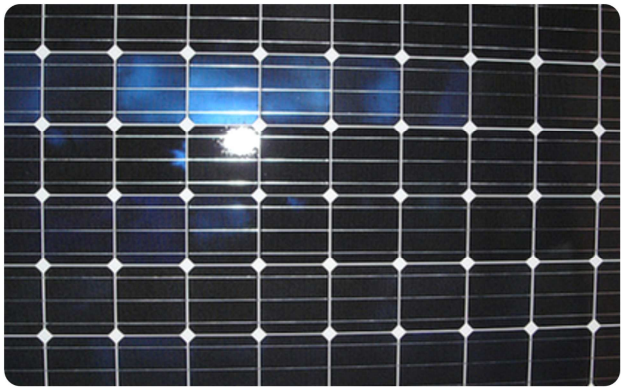
Pro ekonomickou kalkulaci z oblasti solární energie jsou pužity údaje z ještě nerealizovaného projektu fotovoltaické elektrárny. Jedná se o elektrárnu o instalovaném výkonu 704 kW. Vstupní údaje odpovídají plánované lokalitě výstavby nacházející se v katastru obce Olomoučany okres Blansko. Projekt bude realizován panely Solarwatt typu M 220-60 GET AK 220W_p s křemíkovými solárními články. Solární panely jsou integrovány na nosnou konstrukci s možností natáčení v jedné ose. Fotovoltaická elektrárna je dispozičně rozdělena na 2 pole každé o výkonu 352 kW_p. Elektrárna dodává vyrobenou elektřinu do rozvodné sítě VN (22kV) přes vlastní transformátorovou stanici. [23])

Tabulka 6.2 Technické parametry elektrárny

Technické parametry FVE Olomučany	
Instalovaný elektrický výkon $P_{el.}$	0,7042 MW
Sklon modulů	34,0°
Panely Solarwatt 220W	3200 ks
Energetická účinnost zdroje	0,85
Energ. účinnost výroby el.energie	0,16
Roční doba využití	1100 hod/rok

Celková výroba elektřiny E_r	774 620 kWh/rok
Životnost zařízení T_z	25 let

Obrázek 6.4 Navrhovaná konstrukce panelů elektrárny



Obrázek 6.5 Konstrukce zařízení solární elektrárny, deska s články

Tabulka 6.3 Ekonomické parametry elektrárny

Ekonomické parametry elektrárny Olomučany	
Celkové investiční nálady na výstavbu N_i	80 445 000 Kč
Náklady na údržbu a opravy N_{ou}	200 000 Kč/rok
Náklady na mzdy a pojištění N_m	130 000 Kč/rok
Náklady na režii a ostatní Nr	120 000 Kč/rok

6.4.1 Stanovení nákladů

6.4.1.1 Celkové investiční náklady

Výše celkových investičních nákladů byla poskytnuta provozovatelem a je N_i = 81 200 000 Kč a je uvedena v tabulce.

6.4.1.2 Celkové roční provozní náklady

Provozní náklady se skládají z nákladů na údržbu a opravy N_{ou}, nákladů na mzdy a pojištění N_m, režijních nákladů N_r.

$$N_p = N_{ou} + N_m + N_r = 200\,000 + 130\,000 + 120\,000 \; = 450\,000\; Kč/r$$

6.4.2 Stanovení výnosů

6.4.2.1 Výnosy z prodeje elektřiny

Výnosy fotovoltaické elektrárny budou vyplývat z výkupu elektrické energie. Elektřina bude vykupována dle ceny stanovené ERÚ ve výši 13,46 Kč/KWh

$$V = c_E \cdot E_r = 13{,}46 \cdot 774\,620 = \; 10\,426\,385\; Kč/rok$$

6.4.3 Kritéria hodnocení ekonomické efektivnosti investic

Teorie k výpočtu je již uvedena v kapitole 3, proto jsou zde uvedeny pouze výsledky.

Tabulka 6.4 Ekonomická kritéria

Výsledky ekonomických kritérií	
Čistá současná hodnota NPV	98 215 278,20 Kč
Vnitřní výnosové procento IRR	8,62 %
Prostá doba návratnosti T_0	8,06 let
Diskontovaná doba návratnosti Ts	9,24 let

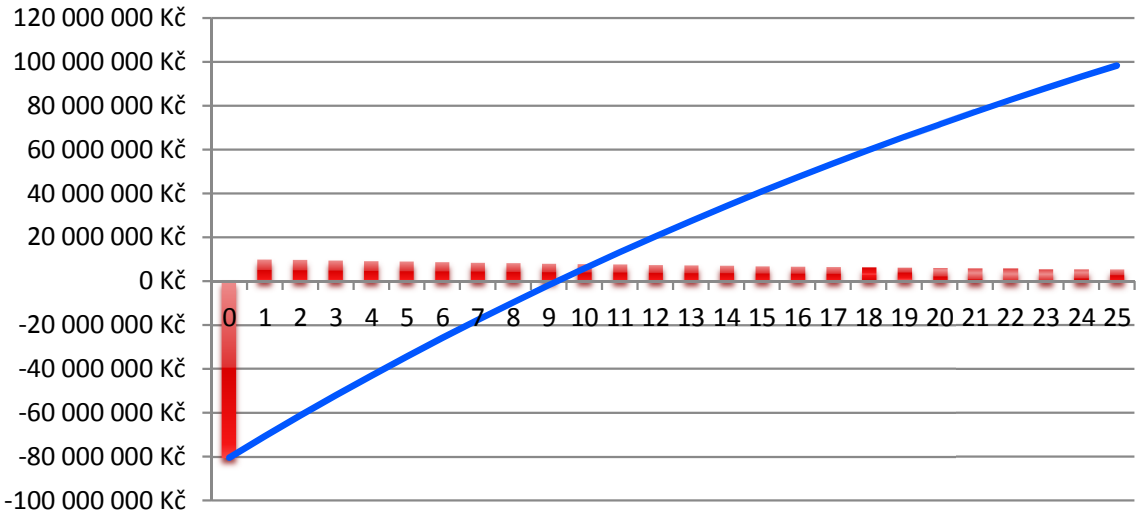
Tabulka 6.5 Diskontované cash-flow projektu

roky j	**N_i**	**CF**	**CFr^{-j}**	**DCF**
0	80 445 000,00 Kč	- 80 445 000,00 Kč	- 80 445 000,00 Kč	- 80 445 000,00 Kč
1		9 976 385,20 Kč	9 709 377,32 Kč	- 70 735 622,68 Kč
2		9 976 385,20 Kč	9 449 515,64 Kč	- 61 286 107,03 Kč
3		9 976 385,20 Kč	9 196 608,90 Kč	- 52 089 498,13 Kč
4		9 976 385,20 Kč	8 950 470,95 Kč	- 43 139 027,19 Kč

5		9 976 385,20 Kč	8 710 920,63 Kč	- 34 428 106,56 Kč
6		9 976 385,20 Kč	8 477 781,64 Kč	- 25 950 324,92 Kč
7		9 976 385,20 Kč	8 250 882,37 Kč	- 17 699 442,55 Kč
8		9 976 385,20 Kč	8 030 055,83 Kč	- 9 669 386,72 Kč
9		9 976 385,20 Kč	7 815 139,50 Kč	- 1 854 247,22 Kč
10		9 976 385,20 Kč	7 605 975,18 Kč	5 751 727,96 Kč
11		9 976 385,20 Kč	7 402 408,94 Kč	13 154 136,90 Kč
12		9 976 385,20 Kč	7 204 290,93 Kč	20 358 427,83 Kč
13		9 976 385,20 Kč	7 011 475,36 Kč	27 369 903,20 Kč
14		9 976 385,20 Kč	6 823 820,30 Kč	34 193 723,50 Kč
15		9 976 385,20 Kč	6 641 187,64 Kč	40 834 911,14 Kč
16		9 976 385,20 Kč	6 463 442,96 Kč	47 298 354,10 Kč
17		9 976 385,20 Kč	6 290 455,44 Kč	53 588 809,54 Kč
18		9 976 385,20 Kč	6 122 097,75 Kč	59 710 907,29 Kč
19		9 976 385,20 Kč	5 958 245,98 Kč	65 669 153,28 Kč
20		9 976 385,20 Kč	5 798 779,55 Kč	71 467 932,82 Kč
21		9 976 385,20 Kč	5 643 581,07 Kč	77 111 513,89 Kč
22		9 976 385,20 Kč	5 492 536,32 Kč	82 604 050,21 Kč
23		9 976 385,20 Kč	5 345 534,13 Kč	87 949 584,34 Kč
24		9 976 385,20 Kč	5 202 466,31 Kč	93 152 050,65 Kč
25		9 976 385,20 Kč	5 063 227,55 Kč	98 215 278,20 Kč

Diskontované Cash-flow a průběh kumulovaného diskontovaného Cash-flow pro tento projekt zobrazuje graf.

Graf 6.2 Diskontované a kumulované diskontované cash-flow projektu



6.4.4 Stanovení měrných investičních nákladů

Měrnými investičními náklady rozumíme poměr investičních nákladů N_i a instalovaného elektrického výkonu P_e.

$$n_i = \frac{N_i}{P_e} = \frac{82\,445\,000}{704{,}2} = 117\,076{,}10\ Kč/kW_e$$

6.4.4.1 Stanovení měrných výrobních nákladů

Pro porovnání hospodaření energetických výroben o různých výkonech, musíme vypočítat měrné výrobní náklady. Spočítají se jako součet stálé složky měrných výrobních nákladů a proměnné složky měrných výrobních nákladů. Proměnná složka výrobních nákladů je v daném výpočtu nulová.

$$n_v = n_s + n_p = \frac{(p_1 + a_{Tz}) \cdot N_i}{E_r} = \frac{(0{,}0056 + 0{,}0558) \cdot 80\,445\,000}{774\,620} = 6{,}37\ Kč/kWh$$

Kde koeficient p_1 zjistím ze zadaných provozních nákladů

$$p_1 = \frac{N_{ou} + N_m + N_r}{N_i} = \frac{200\,000 + 130\,000 + 120\,000}{80\,445\,000} = 0{,}0056\ r^{-1}$$

Kde a_{Tz} je poměrná anuita a spočítá se podle:

$$a_{Tz} = \frac{(1+u)^{T_z}}{(1+u)^{T_z} - 1} \cdot u = \frac{(1+0{,}0275)^{25}}{(1+0{,}0275)^{25} - 1} \cdot 0{,}0275 = 0{,}0558\ r^{-1}$$

6.4.5 Závěrečný komentář k výpočtu

Jak je podle výpočtu vidět, sluneční elektrárna má velmi vysoké měrné investiční náklady, měrné výrobní náklady se zdají být také poměrně vysoké. Návratnost dlouhá.

6.5 Trendy v oblasti využívání solární energie

Pokud se na možný vývoj podíváme z pohledu technických možností a ekonomické podpory ve formě výkupních cen a zelených bonusů, můžeme očekávat významné navýšení instalovaného výkonu a výroby elektřiny. Bude se jednat o elektrárny poměrně malých výkonů. Celkový podíl na výrobě elektřiny bude však stále malý. Další trend růstu může ovlivnit to, že výrobní náklady na fotovoltaické články poměrně rychle klesají.

Podle Ministerstva průmyslu a obchodu [34]) lze očekávat, že v roce 2010 roční výroba elektrické energie v solárních elektrárnách přesáhne hodnotu 6 GWh.

Podle některých úvah, mohou solární elektrárny pokrýt nárůst spotřeby elektřiny v letních měsících, který je patrný v několika posledních letech. Tento nárůst spotřeby je způsoben nárůstem instalace klimatizací do kancelářských budov.

Jedná se o technologii, která při svém provozu neprodukuje CO_2, má nízké provozní náklady a může sloužit jako zdroj energie v odlehlých oblastech. Fotovoltaické elektrárny mají ale i výrazná negativa, která spočívají zejména v tom, že je jejich provoz striktně závislý na počasí a nedají se provozovat v noci. Mají dále malou účinnost přeměny. Účinnost klesá v závislosti na době provozu. Výroba křemíkových fotovoltaických článků bývá kritizována z pohledu ekologie.

7. Geotermální energie

Je to teplo získávané z tepelných pochodů z nitra Země. Využívá se zpravidla buď přímo ve formě tepla, nebo pro výrobu elektrické energie v geotermálních elektrárnách. Jako obnovitelný zdroj energie má dobrý výhled pro širší uplatnění, a to především z důvodu dobré dostupnosti, není závislá na klimatických podmínkách a neprodukuje žádné emise.

Důležitým ukazatelem pro využívání geotermální energie je teplotní gradient, tzn. nárůst teploty s hloubkou pod zemským povrchem. Tento ukazatel se mění za ustáleného stavu při konstantním tepelném toku k povrchu v závislosti na tepelné vodivosti hornin. Průměrný teplotní gradient, který je blízko povrchu do několika km je cca 30K/km, může v závislosti na tepelné vodivosti hornin klesat na 10K/km a nebo růst na 100K/km.

Místa, kde je možno čerpat tepelnou energii při přiměřených nákladech jsou geotermálními energetickými zdroji. Zdroje s nejvyšší silou jsou na hranicích zemských litosférických desek, kde se nezřídka objevují geotermální aktivity jako třeba horké prameny, vyvěrající gejzíry pára.

Vyskytují se zpravidla čtyři typy geotermálních systémů:

Obrázek 7.1 Rozdělení geotermálních systémů

K výrobě elektřiny se využívají především hydrotermální systémy, pro které však nemáme vhodné geologické podmínky. Ve druhé polovině minulého století se začíná s využíváním teplých suchých hornin (HDR-hot dry rock), které bude podle předpokladů využíváno i v ČR. Geotlaké a magmatické systémy jsou otázkou budoucnosti. [9])

Geotermální systémy se dále dělí na:

Obrázek 7.2 Rozdělení geotermálních systémů podle teploty

7.1 Využívání nízkoteplotních zdrojů

Systémy jsou uzavřené, s oběhem teplonosného média na bázi monopropylenglykolu. Nemrznoucí směs se v zemi ohřívá, odevzdává chladivu teplo potřebné k jeho odpaření a po ochlazení (odběru

tepla výměníkem)v tepelném čerpadle se vrací zpět do geotermálního vrtu. Tyto systémy svým provozem nezatěžují okolí negativním působením na vegetaci ani na snižování teploty. Uplatňují se všude tam, kde je nedostatek podzemní vody. Svislé geotermální vrty se umisťují v lokalitách, kde není dostatek prostoru pro umístění plošného nebo příkopového kolektoru.

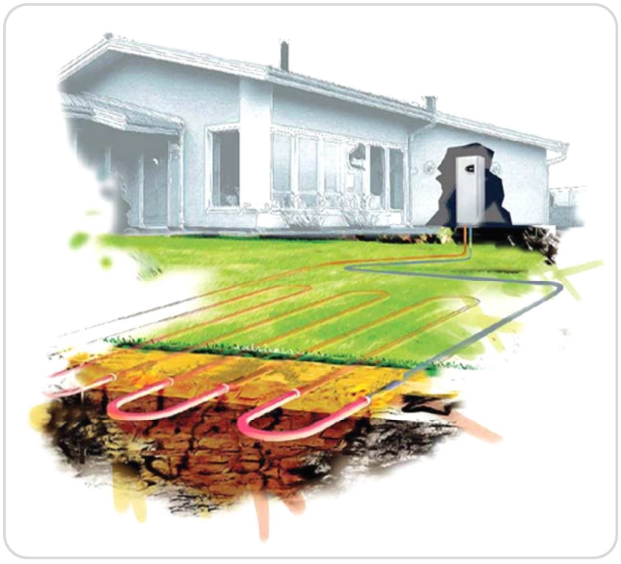
Geotermální energie se pod povrchem přenáší podzemními vodami a na povrchu z části povrchovou vodou. Energie z vody je odebírána buď přímo nebo výměníkem tepelného čerpadla, nebo pomocí plastových kolektorů s nemrznoucí směsí. Nejefektivnější je čerpání podzemní vody z jedné studny nebo vrtu a po odebrání tepla její vtlačování do druhé studny nebo vrtu. [9])

Tyto systémy se hlavně využívají k vytápění rodinných domů.

Zdroje energie pro tepelné čerpadlo:

Okolní vzduch - vzduchová tep. Čerpadla jsou investičně méně náročná. Vzduch se ochlazuje ve výměníku tepla umístěném vně budovy.

Odpadní vzduch - Ochlazuje se vzduch odváděný větracím systémem objektu, který má relativně vysokou teplotu (18 až 24 C). Teplo může být použito pro topnou vodu ústředního topení, nebo pro ohřev vzduchu v teplovzdušně vytápěném objektu.



Obrázek 7.3 Tepelné čerpadlo voda/voda [37])

Povrchová voda - voda v rybníku nebo toku je ochlazována tepelným výměníkem. Podmínkou je vhodné umístění objektu.

Podzemní voda - odebírá se ze sací studny a po ochlazení se vypouští do tzv. vsakovací studny. Podmínkou je geologicky vhodné podloží, které umožní čerpání i vsakování vody.

Z půdy - půda je ochlazována tepelným výměníkem z polyethylenového potrubí plněného nemrznoucí směsí a uloženého do výkopu (půdní kolektor), který je umístěn v blízkosti objektu v nezámrzné hloubce

Z hlubinných vrtů - využívá se teplo hornin v podloží. Vrty hluboké až 150m s umísťují v blízkosti stavby, nejméně 10m od sebe. [9])

7.2 Využívání vysokoteplotních zdrojů

V České republice je využívání vysokoteplotních zdrojů v experimentální fázi:

7.2.1 Energie teplých suchých hornin (HDR)

Je to geotermální rezervoár, obsahující vodu v kapalné nebo plynné formě. Lze využít i rezervoár složený pouze z nepropustné horniny. Pro přenos tepla je nutné tyto horniny uměle rozbít, přeměnit na propustné a zavést do nich tekutiny vhodné pro přenos tepla. Do horninového prostředí se vytvoří min. 2 vrty, (ve vzdálenosti nejlépe cca 600m). Voda je zaváděna vsakovacím vrtem a prostupuje vytvořeným propustným rezervoárem, který se chová jako tepelný výměník. K povrchu se voda vrací čerpacím (produkčním) vrtem (pára s vodou) a přináší s sebou energetický obsah. Systémy HDR pracují v uzavřeném cyklu, vsakováním ochlazených tekutin zpět do vrtů.

Výroba elektřiny metodou HDR umožňuje využívat geotermální energii pro výrobu elektrické energie i tam kde neexistují klasické geotermální zdroje. [4])

Tabulka 7.4 Mapa vhodných lokalit pro technologii HDR [4])

7.3 Geotermální energie v České republice

Je zřejmé, že geotermální energie nemůže výrazně ovlivnit energetickou bilanci ČR, ale mohla by být zajímavou alternativou pro vytápění rodinných domů a případně celých městských aglomerací.

Provedení doplňkového výzkumu ve vybraných lokalitách dává podle zdroje [9]) v budoucnosti předpoklad vybudování Elektráren o celkovém výkonu 3200 MW.

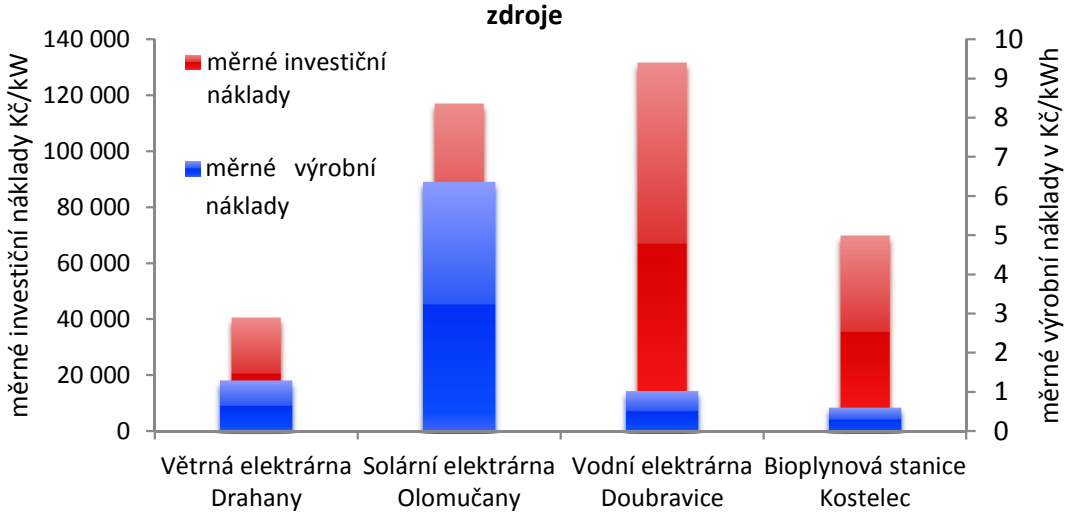
8. Ekonomické porovnání klasických a obnovitelných zdrojů

Na základě výstupů makroekonomických výpočtů, jejichž součástí bylo mimo jiné určení měrných investičních nákladů a měrných výrobních nákladů na výrobu elektřiny, na reálných provozovnách využívajících obnovitelné zdroje, byla vytvořena následující tabulka a graf:

Tabulka 8.1 Ekonomické parametry zařízení využívající obnovitelné energetické zdroje

Reálný zdroj	Měrné investiční náklady Kč/kW	Měrné výrobní náklady Kč/kWh	Účinnost přeměny elektrické energie
Větrná elektrárna Drahany	40 600	1,30	cca 40
Solární elektrárna Olomučany	117 076	6,37	cca 15
Vodní elektrárna Doubravice	131 496	1,04	cca 75
Bioplynová stanice Kostelec	69 690	0,62	(Q+E) cca 82

Graf 8.1 Ekonomické parametry zařízení využívající obnovitelné energetické zdroje



8.1 Vzájemné porovnání obnovitelných zdrojů

Objektivní srovnání konkrétních provozů obnovitelných zdrojů není z důvodu specifičnosti jednotlivých konkrétních zařízení možné. Například větrná elektrárna Drahany má velmi vysokou roční dobu využití, která je, jak již bylo uvedeno více než 3500 h/rok což průměrnou dobu využití větrných elektráren v České republice překračuje téměř trojnásobně. Podobně je tomu u vodní elektrárny Doubravice, která je se svým výkonem opravdu velmi malým zařízením.

Nejnižší měrné výrobní náklady má bioplynová stanice v Kostelci. Je to dáno zejména tím, že palivem pro kogenerační jednotku je bioplyn, který vzniká ve fermentoru, tedy je součástí celé

technologie a jeho cena je minimální. Dalším vlivem je rozpočet měrných nákladů mezi teplo a elektřinu.

Velmi nízké provozní náklady má i malá vodní elektrárna Doubravice. Je to dáno zejména nízkými náklady na údržbu zařízení a také dlouhou životností. Měrné investiční náklady, jsou naopak velmi vysoké, což vyplývá především z vysoké ceny stavebních úprav a vysoké ceny zvolené turbíny.

Objektivně lze však říci, nezahrnujeme-li do hodnocení zcela specifickou elektrárnu v Doubravici, že nejvyšší poměrné investiční náklady stejně jako nejvyšší měrné výrobní náklady má solární elektrárna. Tyto hodnoty vyplývají zejména z vysokých investičních nákladů a v případě výrobních nákladů se jedná o malou účinnost přeměny energie.

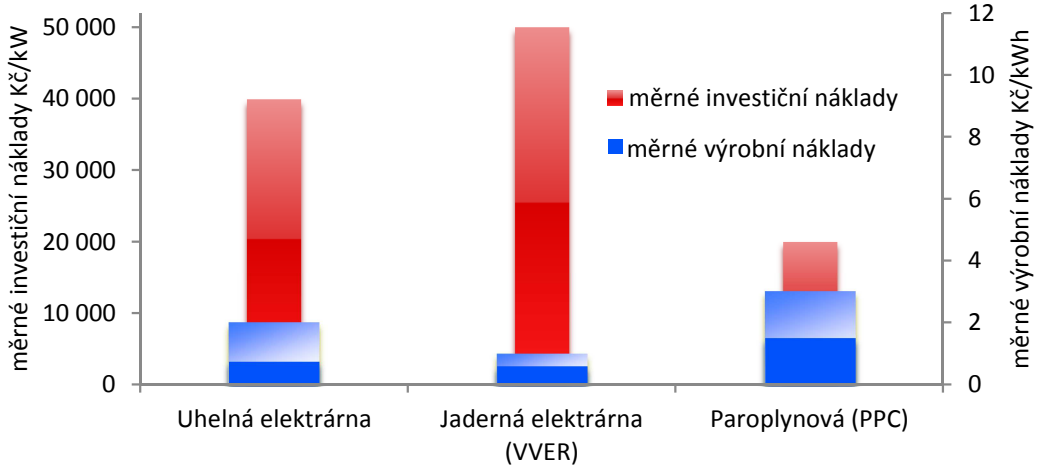
8.2 Porovnání obnovitelných a klasických zdrojů

K porovnání s klasickými zdroji energie byla vyžita následující tabulka a graf. [36])

Tabulka 8.2 Ekonomické parametry zařízení využívající klasické energetické zdroje

Klasické zdroje	Měrné investiční náklady Kč/kW	Měrné výrobní náklady Kč/kWh	Účinnost přeměny elektrické energie
Uhelná elektrárna	40 000	0,75 - 2	cca 35 - 48
Jaderná elektrárna (VVER)	50 000	0,6 - 1	cca 32
Paroplynová (PPC)	20 000	1,5 - 3	cca 53 -58

Graf 8.2 Ekonomické parametry zařízení využívající klasické energetické zdroje



Jak je z grafů patrné, největší měrné investiční náklady u klasických zdrojů jsou u jaderných elektráren. Je to díky velmi drahé technologii. Naopak výrobní náklady jsou nízké, což je způsobeno nízkými náklady na palivo v poměru k výkonu.

Na druhé straně paroplynová elektrárna má poměrně nízké měrné investiční náklady, ale v důsledku vysoké ceny zemního plynu spalovaného v těchto zařízeních jsou měrné výrobní náklady velmi vysoké.

Objektivně můžeme říci, že se obnovitelné zdroje zdají být ekonomicky náročnější než zdroje klasické s výjimkou vodní energetiky, i když v našem konkrétním případě jsou měrné investiční náklady na výstavbu malé vodní elektrárny velmi vysoké.

Pokud srovnáváme zařízení z pohledu energetické účinnosti, nejhůře je na tom solární elektrárna. Naopak obě technologie, jak paroplynová, tak i bioplynová stanice, využívající kombinovanou výrobu tepla a elektřiny, mají vysokou energetickou účinnost.

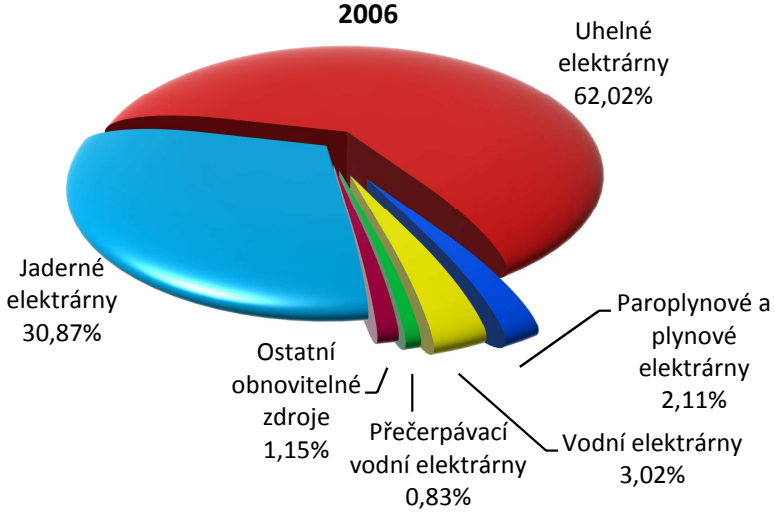
9. Obnovitelné zdroje a energetický trh

Pro celkové zhodnocení možného vývoje obnovitelných energetických zdrojů je nutno si ujasnit situaci na celkovém energetickém trhu v České republice.

9.1 Celkový energetický trh

Česká republika využívá k výrobě elektřiny především zdroje uhelné a jaderné. Je na nich závislá z více než 90% viz graf

Graf 9.1 Výroba elektřiny v České republice podle zdrojů v roce 2006

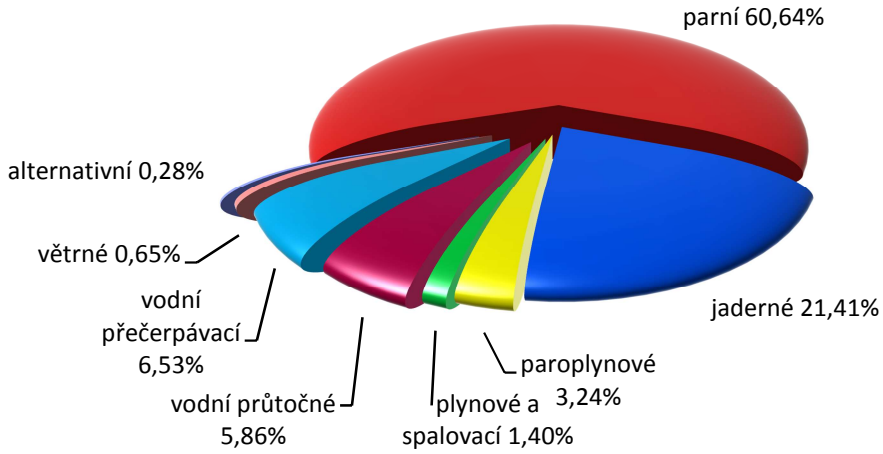


Celkový stav instalovaného výkonu v elektrizační soustavě v České republice k 31. prosinci 2007 podle zdroje [35]) je zřejmý z tabulky a grafu:

Tabulka 9.1 Instalovaný výkon v České republice

Typ elektráren	Instalovaný výkon v MW
Parní	10 648,11
Paroplynové	569,72
Plynové a spalovací	245,24
Vodní průtočné	1 028,97
Vodní přečerpávací	1 146,50
Jaderné	3 760,00
Větrné	113,75
Alternativní	48,67
Celkem	**17 560,96**

Graf 9.2 Instalovaný výkon zdrojů k 31. prosinci 2007

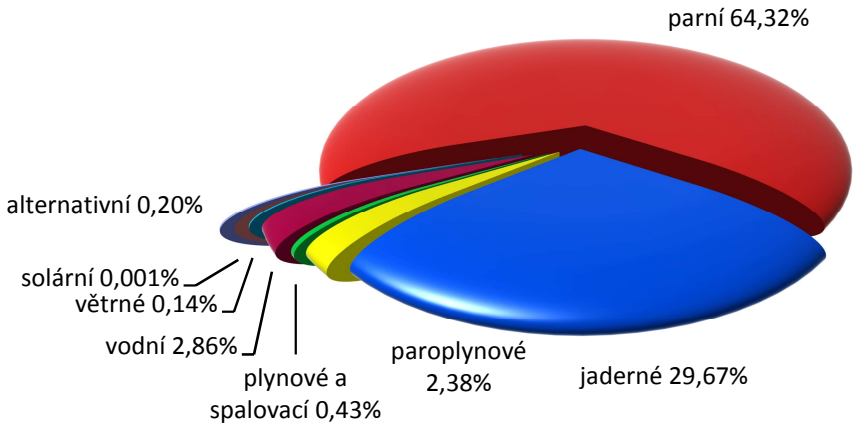


Výroba elektřiny byla proti roku 2006 přibližně o 4,64% vyšší. Bylo vyrobeno celkem 88 197,5 GWh z toho 56 728 GWh v elektrárnách parních, 26 172,1 v jaderných, 2523,6 GWh ve vodních a 2 472,9 GWh v paroplynových, plynových a spalovacích. viz tabulka a graf:

Tabulka 9.2 Výroba elektřiny podle zdrojů

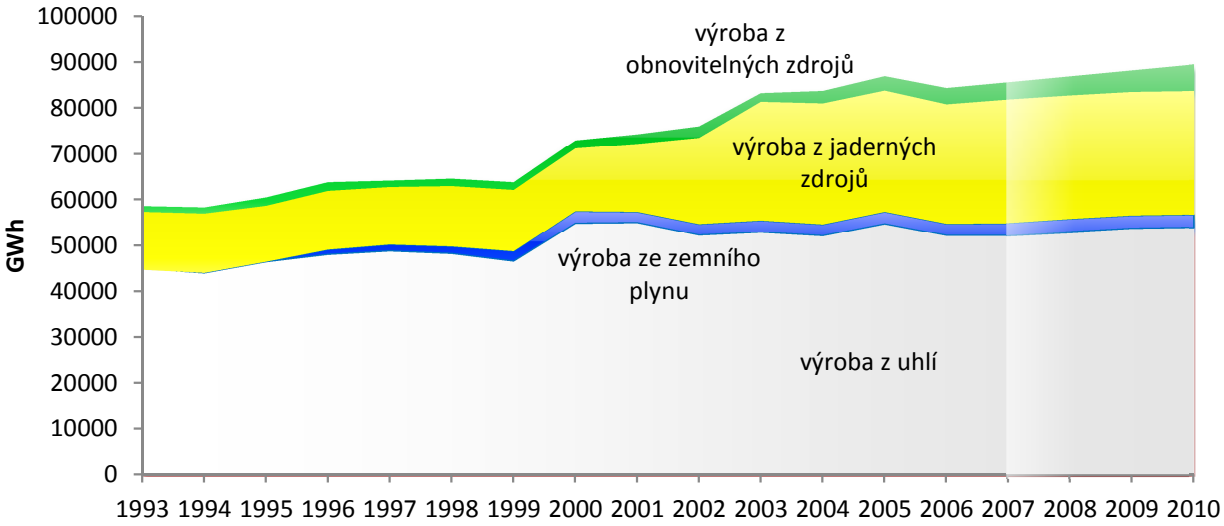
Typ elektráren	**Výroba GWh**
Parní	56 728,2
Paroplynové	2 097,8
Plynové a spalovací	375,1
Vodní	2 523,6
Jaderné	26 172,1
Větrné	125,1
Solární	1,0
Alternativní	174,6
Celkem	**88 197,5**

Graf 9.3 Výroba elektřiny podle zdrojů v roce 2007



Podíl vyrobené elektřiny v letech 1993 až 2007 spolu s výhledem do roku 2010 jsou zobrazeny na následujícím grafu.

Graf 9.4 Výroba elektřiny v ČR podle zdrojů od 1993 – 2007 s odhadem do roku 2010



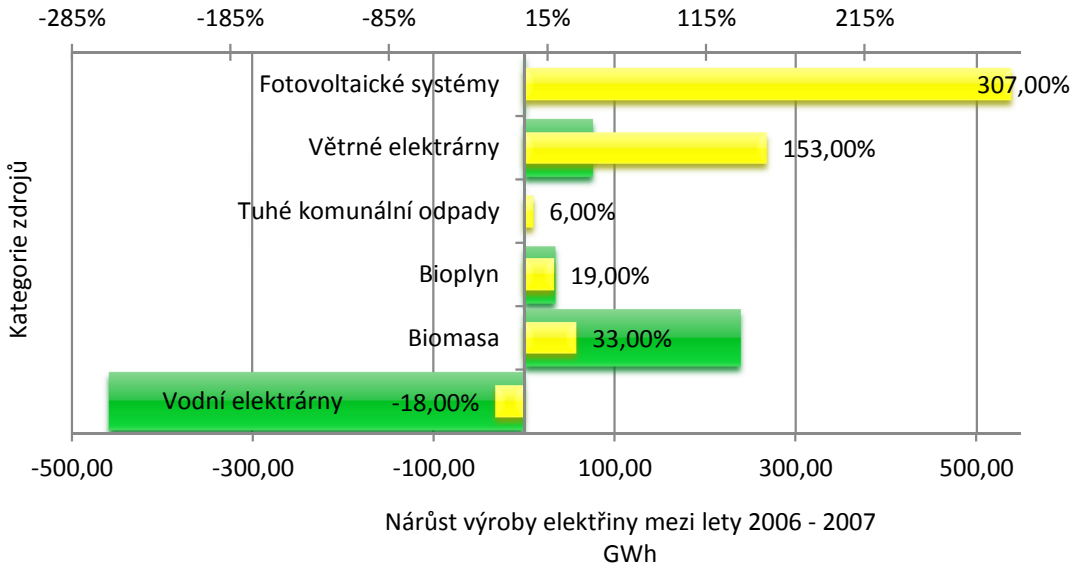
9.2 Podíl obnovitelných zdrojů na trhu

Vývoj výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů je uveden v následující tabulce. Jako zdroj dat pro rok 2006 byla použita zpráva Ministerstva průmyslu a obchodu s názvem *Obnovitelné zdroje 2006* a jako zdroj dat pro rok 2007 byla použita obdobná zpráva Ministerstva průmyslu a obchodu s tím, že se v tuto chvíli jedná o předběžná data. [35])

Tabulka 9.3 Výroba elektřiny ve zdrojích

Typ elektráren	Hrubá výroba elektřiny v roce 2006 v GWh	Hrubá výroba elektřiny v roce 2007 v GWh
Vodní elektrárny	2 550,7	2 092,2
Biomasa celkem	731,1	970,0
Bioplyn	175,8	210,0
Větrné elektrárny	49,4	125,1
Tuhé komunální odpady	11,3	12,0
Fotovoltaické systémy	0,5	2,2
Celkem obnovitelné zdroje	**3 518,8**	**3 411,5**

Graf 9.5 Nárůst výroby mez lety 2006 - 2007 podle kategorie zdrojů



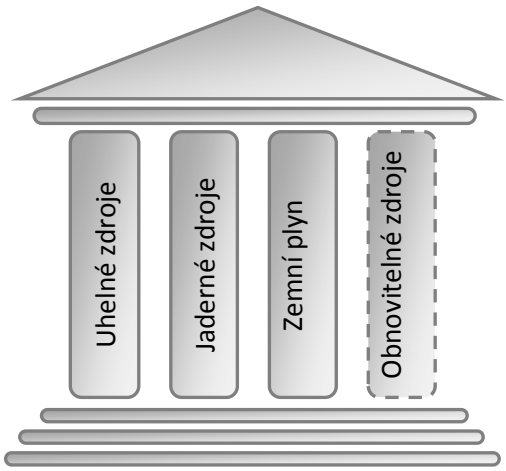
Zpráva Ministerstva průmyslu a obchodu uvádí, že v roce 2007 podíl hrubé výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů na hrubé domácí spotřebě elektřiny činil 4,7% a na hrubé výrobě elektřiny 3,9%, což je pokles vůči roku 2006. Největší podíl na tomto poklesu má zhoršení hydrologických podmínek u velkých vodních elektráren. V ostatních zařízeních využívajících obnovitelné zdroje došlo k meziročnímu nárůstu. [35])

10. Aktuální pohledy na energetický vývoj

Kapitola se zabývá energetickou situací a jejími trendy v Evropské unii a České republice. Informace byly čerpány z odborného semináře, který byl věnován Státní energetické koncepci a její aktualizaci. [12])

10.1 Energetika a bezpečnost

Stav soudobé energetiky je v určité míře ovlivněn energetickými zdroji, které byly vybudovány v 70. letech a dnes se nacházejí na hranici životnosti. V této souvislosti se hovoří o takzvané *bezpečnosti evropské energetiky*. Evropská energetika, obrazně řečeno, stojí v zásadě na třech *pilířích*, jsou to uhelné zdroje, jaderné zdroje a v neposlední řadě také zemní plyn. V některých evropských zemích jsou podstatným *pilířem* i obnovitelné zdroje.



Tabulka 10.1 Ilustrační obrázek k evropské energetice

Evropské státy se snaží energetickou bezpečnost řešit snížením energetické závislosti na zdrojích z Ruska a Blízkého východu. Jedná se například o změnu formy dodávek zemního plynu. Tato opatření se však v dlouhodobém horizontu jeví jako nedostačující.

Nejdříve je třeba si uvědomit, jaké energetické zdroje jsou pro Evropu dostupné. Jedná se například o uhelná ložiska. Problémem však je již několikrát zmíněná produkce zplodin a také CO_2. Dalším problémem je účinnost energetické transformace. Starší energetické zdroje docilují účinností přibližně okolo 25%, kdežto nové technologie dosahují účinnosti vyšší než 40% a kombinované zdroje tepla a elektřiny až 80%.

V oblasti jaderné energetiky bylo za posledních 20 let provedeno velké množství zdokonalení jak v řízení provozu a bezpečnosti tak i v otázce jaderného odpadu.

Každý stát Evropské unie by se měl rozhodnout, kterým směrem se bude ubírat. Pro Českou republiku se zdá výhodné zvýšení podílu jaderné energetiky a zvýšení transformační účinnosti při

spalování uhlí, čímž se výrazně oddálí vyčerpání jeho zásob. Dále pak by mohlo dojít k mírnému zvýšení zdrojů vyrábějících elektřinu z obnovitelných zdrojů. Je třeba ale uvést, že obnovitelné zdroje energie nebudu schopny nahradit zdroje uhelné, jaderné a zemní plyn, ikdyž už mají v energetickém mixu svoje nezpochybnitelné postavení.

Možným vývojem světového trhu s energií se zabývá mnoho organizací. Jako například *World energy council, Organisation for Economic Co-operation and Development, International Energy Agency a také například Directorate-General for Transport and Energy (Evropská komise pro dopravu a energii).* Hodnotící zprávy napříč těmito organizacemi akceptovaly nutnost snižování emisí skleníkových plynů, ikdyž k ní přistupují pod jiným úhlem pohledu.

Energetika a její další rozvoj by ve vztahu k společnosti měla zohledňovat:

Tabulka 10.2 Výroba elektřiny ve zdrojích

Problémem Evropské unie je její závislost na importu fosilních paliv, která činí přibližně 50% z celkové spotřeby fosilních paliv. V budoucnosti, tedy přibližně do roku 2030, by tato závislost mohla dosáhnout 2/3 z celkové spotřeby. Česká republika dováží pouze 30% fosilních paliv. [12])

10.2 Trendy v oblasti legislativy

V horizontu několika následujících let lze očekávat postupné schvalování zákonů ve vztahu k energetice a to ve třech zásadních oblastech:

10.2.1 Energetický a klimatický balíček

Jak již bylo zmíněno v úvodu, v březnu roku 2007 se Evropská unie zavázala plnit politické závazky v oblasti klimatických změn. Cílem toho balíčku je legislativní realizace těchto závazků známých pod označením *20-20-20 by 2020*. Podstatou je zrušení národních alokačních plánů a zavedení stropu emisí skleníkových plynů.

Česká republika má k návrhu několik výhrad. Určení závazků pro redukci skleníkových plynů do roku 2020 je určeno podle roku 2005, což znevýhodňuje Českou republiku, která jako jedna z mála zemí plní Kjótský protokol. (již jsme splnili snížení emisí o 20% z množství produkovaného v 1990) Stejně tak považujeme za problematické stanovit závazně podíl obnovitelných zdrojů energie na energetickém mixu v roce 2020.

Nejzávažnější otázku však představuje alokace povolenek emisí skleníkových plynů pro energetiku aukcemi ve výši 100% již od roku 2013.

10.2.2 Snižování emisí v dopravě

V této oblasti zákonů se jedná především o snižování emisí CO_2 z osobních automobilů a lehkých užitkových vozidel. Komise navrhuje do roku 2012 snížit emise na 120 g/km. Což jak se zdá je i technologickým problémem.

10.2.3 „Třetí“ energetický balíček

Cílem těchto zákonů má být prohloubení konkurenčního prostředí na trhu s elektřinou a zemním plynem, čehož má být dosaženo oddělením provozu sítí od výroby a dodávek elektřiny i plynu. Jsou zde dvě cesty. Jednou je vlastnické oddělení (ownership unbunding), který producentům zamezuje vlastnit sítě. Tato cesta je kritizována zejména v oblasti plynárenstvím, protože cena plynu se odvíjí více od ceny ropy než od konkurenčního prostředí. Druhou cestou je návrh *effective and efficient unbunding,* který vsází na právní nikoli vlastnické oddělení sítí od výroby a distribuce. Tento návrh si klade za cíl právně oddělit aktiva, management a výnosy v jednotlivých oblastech činnosti.

10.3 Aktualizace energetické koncepce

Vláda České republiky je usnesením Poslanecké sněmovny povinna předložit návrh nové energetické koncepce do konce roku 2008. Platná státní energetická koncepce je z roku 2004. Od té doby prodělalo vnímání energetiky určitou změnu, proto je nutná její aktualizace.

Nová energetická koncepce nebude výrazně odlišná od té stávající. Jejím cílem bude nastínit cestu pro zabezpečení energetické soběstačnosti České republiky. Lze předpokládat, že nová energetická koncepce bude zahrnovat obdobné složení energetického mixu, což znamená využívat především tuzemské zdroje, hnědé uhlí a jádro a dovážet pouze nezbytné množství ropy a zemního plynu.

V předpokládaném složení energetického mixu se přeceňují reálné možnosti rozvoje využití obnovitelných zdrojů a úspor energie a to zejména v krátkém časovém horizontu.

Je nutné, aby se aktualizace Státní energetické koncepce zabývala zvyšováním energetické účinnosti a snižováním emisní zátěže České republiky. Nová energetická koncepce bude vycházet z výsledků odborné komise, která má za úkol analyzovat možný vývoj energetických potřeb České republiky v horizontu 2020 a 2050.

Při zpracovávání nové energetické koncepce bude také nutné snahy České republiky koordinovat se snahami Evropské unie v oblasti zabezpečení energetických dodávek. [12])

11. Závěr

Diplomová práce se zabývá obnovitelnými zdroji energie v České republice, jejich aktuálním a možným využíváním. Její součástí také bylo vyhodnocení makroekonomických parametrů konkrétních zařízení provozovaných v České republice a také, hodnocení dalších aspektů týkajících se obnovitelných zdrojů. Jednotlivé obnovitelné zdroje byly rozděleny na energii biomasy, energii vody, energii větru, sluneční energie a geotermální energii.

Ze srovnání makroekonomických parametrů vyplývá, že využívání obnovitelných zdrojů je pro provozovatele poměrně výhodné. Je to ale hlavně za přispění podpory ze strany státu jak z hlediska výkupních cen, což je podrobně zakotveno v legislativě, tak i z hlediska dotací na výstavbu.

V České republice obecně, základními energetickými zdroji bezesporu zůstanou zdroje uhelné a jaderné. V oblasti uhelných zdrojů se předpokládá využívání moderních technologií zaručujících vysokou energetickou účinnost a minimalizaci emisí. Jaderná energetika jistě překoná obecnou nedůvěru nastíněnou v úvodu a její vývoj bude spojen s novými technologiemi s uzavřeným palivovým cyklem. Zcela jasný impuls pro rozvoj jaderné energetiky byl učiněn tím, že na *Evropském jaderném fóru* konaném v květnu 2008 v Praze premiér české vlády Mirek Topolánek vyzval *Evropskou komisi* k podpoře výstavby nových jadernách elektráren.

Obnovitelné zdroje a jejich provozování v České republice bude mít v následujících letech díky propracované státní podpoře rostoucí charakter. Dalším podpůrným vlivem pro jejich rozvoj bude nutnost plnit poměrně vysoké závazky v jejich využívání. Nemůžeme však očekávat, že se stanou jedním ze základních stavebních pilířů české energetiky.

Závěrem lze konstatovat, že využívání obnovitelných energetických zdrojů, musí být v takových mezích, aby negativní důsledky z jejich provozování nepřesáhly jejich výhody.

12. Seznam použitých zdrojů

12.1 Použitá literatura

1. SØRENSEN, Bent. *Renewable Energy.* London : Elsevier Academic Press, 2004. ISBN 0-12-656153-
2. LEE, Sunggyu – SPEIGHT, James G. – LOYALKA, Sudarshan K. *Handbook of Alternative Fuel Technologies.* New York : CRC Press, 2007. ISBN 0-8247-4069-6.
3. KRBEK, Jaroslav, POLESNÝ, Bohumil a FIEDLER, Jan. *Strojní zařízení tepelných centrál Návrh a výpočet.* Brno : Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně v nakladatelství PC-DIR real, s.r.o., 1999. ISBN 80-214-1334-4.
4. MOTLÍK Jan, et al. *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v ČR.* Praha : ČEZ a.s., 2007.
5. KRBEK, Jaroslav, OCHRANA, Ladislav, POLESNÝ, Bohumil. *Průmyslová energetika.* Brno : Fakulta strojního inženýrství VUT v Brně v nakladatelství PC-DIR real, s.r.o., 1999. ISBN 80-214-1334-4.
6. KADRNOŽKA, Jaroslav. *Energie a globální oteplování.* Brno : Vysoké učení technické v Brně, nakladatelství VUTIUM, 2006. ISBN 80-214-2919-4.
7. ŠKVAŘIL, Jan. *Kotel na spalování biiomasy 0,5 MW.* Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2005. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc..
8. FOJTÍK, Lukáš. *Alternativní zdroje v České republice.* Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007. Vedoucí bakalářské práce Doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.
9. VALIŠ, Petr. *Obnovitelné zdroje v České republice.* Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007. Vedoucí bakalářské práce Doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.
10. ŠKAROUPKA, Pavel. *Malá vodní elektrárna na řece Svitavě.* Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007. Vedoucí bakalářské práce Doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.
11. *Energetický program EU pro 21. století.* BARROSO, José. Praha : Český svaz zaměstnavatelů v energetice, 2008, ENERGETIKA 2/2008. ISSN 0375-842.
12. *Energetická koncepce a její aktualizace.* VOJÍŘ, Oldřich. Praha : Český svaz zaměstnavatelů v energetice, 2008, ENERGETIKA 4/2008. ISSN 0375-842.
13. *Provoz elektrizační soustavy ČR v roce 2007.* BARTOŇ, Jiří. Praha : Český svaz zaměstnavatelů v energetice, 2008, ENERGETIKA 4/2008. ISSN 0375-842.
14. *Biomasa – velká energetická a ekologické očekávání se zřejmě nenaplní.* KADRNOŽKA, Jaroslav. Praha : Český svaz zaměstnavatelů v energetice, 2008, ENERGETIKA 2/2008. ISSN 0375-842.
15. *Očekávaný stav a provoz ES ČR v perspektivě soběstačnosti ČR.* VOJÍŘ, Oldřich. Praha : Český svaz zaměstnavatelů v energetice, 2008, ENERGETIKA 1/2008. ISSN 0375-842.

16. *V Praze se bude diskutovat o budoucnosti jaderné energetiky v EU.* KREJČIŘÍKOVÁ, Zuzana. Praha : Český svaz zaměstnavatelů v energetice, 2008, ENERGETIKA 4/2008. ISSN 0375-842.

17. BLAŽEK, Vojtěch. Česko hájí v unii jadernou energii. Hospodářské noviny. 2008.

12.2 Použité zdroje WWW

18. EIA - International Energy Outlook 2007. *Energy information administration.* [Online] [Citace: 20. Květen 2008.] http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/world.html.

19. Co přináší Kjótský protokol? *www.ekolist.cz.* [Online] [Citace: 20. Květen 2008.] http://www.ekolist.cz/zprava.shtml?x=218958.

20. mnp.nl. *Netherlands Environmental Assesment Agency.* [Online] [Citace: 10. Květen 2008.] http://www.mnp.nl/en/dossiers/Climatechange/FAQs/index.html?vraag=10&title=Which%20are%20the%20top-20%20CO2%20or%20GHG%20emitting%20countries%3F#10.

21. env.cz. *Ministerstvo životního prostředí.* [Online] [Citace: 20. Květen 2008.] http://www.env.cz/AIS/web-pub.nsf/$pid/MZPZSFDOY0OP/$FILE/ramcova_umluva_cesky.doc.

12.3 Ostatní zdroje

22. Studie na akci Biplynová stanice Kostelec na Hané. 2006.

23. Fotovoltaická elektrárna Olomučany . 2007.

24. Dokumentace větrné elektrárny Drahany . 2006.

25. Dokumentace vodní elektrárny Doubravice. 2006.

26. Evropská směrnice 2001/77/ES

27. Zákon č. 458/2000 Sb.

28. Zákon č. 180/2005 Sb.

29. Vyhláška Ministerstva životního prostředí 482/2005

30. Vyhláška Energetického regulačního úřadu 475/2005

31. Cenové rozhodnutí Energetické regulačního úřadu č.7/2007

32. Státní energetická koncepce

33. Zpráva plnění indikativního cíle v roce 2006

34. Obnovitelné zdroje 2006

35. Hrubá výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů 2007

36. Obnovitelné zdroje v České republice, FIEDLER Jan

12.4 Zdroje obrázků

37. http://www.cerpadla-ivt.cz
38. http://www.vestas.com
39. http://www.ckdturbo.cz
40. http://technet.idnes.cz
41. http://www.agrikomp.cz
42. http://www.chmi.cz
42. http://ec.europa.eu

13. Seznam použitých zkratek a symbolů

	jednotka	název
η_e	-	účinnost výroby elektrické energie
η_t	-	termická účinnost
η_{celk}	-	celková účinnost
ξ	-	ztráty
τ_r	h/rok	roční doba využití
a_{Tz}	r^{-1}	poměrná anuita
c_E	Kč/kWh	výkupní cena za elektřinu
CF	Kč	cash-flow
c_Q	Kč/GJ	výkupní cena za teplo
DCF	Kč	diskontované cash flow
E_r	kWh/rok	roční výroba elektrické energie
N_i	Kč	celkové investiční náklady
N_m	Kč/rok	náklady na mzdy
N_{ou}	Kč/rok	náklady na opravu a údržbu
N_{oukj}	Kč/kWh	náklady na opravu kogenerační jednotky
N_p	Kč/rok	proměnná složka výrobních nákladů
N_{pr}	Kč	provozní náklady v daném roce
N_{it}	Kč	Investiční náklady v daném roce
N_r	Kč/rok	náklady na režii a ostatní
N_s	Kč/rok	stálá složka výrobních nákladů
n_i	Kč/kWe nebo Kč/GJ	měrné investiční náklady
n_v	Kč/kWh nebo Kč/GJ	celkové měrné výrobní náklady
n_p	Kč/kWh nebo Kč/GJ	proměnná složka měrných výrobních nákladů
n_s	Kč/kWh nebo Kč/GJ	stálá složka měrných výrobních nákladů
p_1	r^{-1}	koeficient stálé složky výrobních nákladů
P_e	kW, MW	elektrický výkon
P_t	kW, MW	tepelný výkon
Q_r	kWh/rok nebo GJ/rok	roční výroba tepla
Q_{pr}	kWh/rok nebo GJ/rok	roční prodej tepla
T_o	roky	prostá doba návratnosti investice
T_s	roky	diskontovaná návratnost
T_z	roky	životnost zařízení
V	Kč	výnosy
x_e	-	koeficient přepočtu měrných nákladů na elektřinu
x_t	-	koeficient přepočtu měrných nákladů na teplo