

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA

2123619

NÁVRH NA VYUŽITIE VETERNEJ ENERGIE

Diplomová práca

Nitra 2011

Ondrej Kopček, Bc.

SLOVENSKÁ POĽNOHOSPODÁRSKA UNIVERZITA
V NITRE
TECHNICKÁ FAKULTA

2123619

NÁVRH NA VYUŽITIE VETERNEJ ENERGIE

Diplomová práca

Študijný program: Prevádzka dopravných strojov a zariadení
Študijný odbor: 2 302 800 Dopravné stroje a zariadenia
Školiace pracovisko: Katedra dopravy a manipulácie
Školiteľ: Juraj Jablonický, Ing. PhD.
Konzultant: Anton Žikla, prof. Ing. CSc.

Nitra 2011

Ondrej Kopček, Bc.

Čestné vyhlásenie

Podpísaný Ondrej Kopček vyhlasujem, že som záverečnú prácu na tému „Návrh na využitie veternej energie“ vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry.

Som si vedomý zákonných dôsledkov v prípade, ak uvedené údaje nie sú pravdivé.

V Nitre 29. apríla 2011

ABSTRAKT

Témou diplomovej práce je navrhnuť zariadenie využívajúci alternatívny zdroj energie, ktorým je veterná energia. Zaoberám sa získaním tepla za použitia bežne používaných prvkov v hydrodynamike resp. v čerpacej technike.

Práca je rozdelená do troch častí. V prvej časti sa zaoberám súčasným stavom využívania alternatívnych zdrojov. V druhej časti vysvetľujem základné pojmy a princípy hydromechaniky a hydrodynamiky, spolu s výpočtami výkonu. V tretej časti navrhujem použitie bežne dostupného prvku pre získavanie tepelnej energie za použitia veternej energie. Zároveň sa venujem spôsobom jeho využitia v praxi.

KEÚČOVÉ SLOVÁ:

Využitie obnoviteľných zdrojov energie, hydromechanika, hydrodynamika, hydrodynamický prenos energie, veterná energia.

ABSTRACT

The theme of this thesis is to propose a device using an alternative energy source that is wind power. I deal with the heat, using the commonly used elements in hydrodynamics respectively in pumping technology. The work is divided into three parts. The first part deals with the current state of the use of alternative sources. The second part explains the basic concepts and principles of hydromechanics and hydrodynamics, together with the power calculations. The third section proposes the use of commonly available elements for obtaining heat energy using wind power. At the same time I deal with the manner of its use in practice.

KEYWORDS:

Use of renewable energy, hydromechanics, hydrodynamics, hydrodynamic power transmission, wind power.

Obsah

Zoznam použitých označení.....	8
Úvod.....	9
1. Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky.....	11
1.1. Alternatívne zdroje energie.....	11
1.1.1. Slničná energia.....	13
1.1.2. Vodná energia.....	15
1.1.3. Geotermálna energia.....	15
1.1.4. Energia z biomasy.....	16
1.1.5. Veterná energia.....	19
1.2. Typy veterných elektrární.....	22
1.2.1. Zloženie veternej elektrárne.....	23
2. Cieľ práce a metodika.....	29
2.1. Cieľ práce.....	29
2.2. Metodika práce.....	29
3. Vlastná práca.....	30
3.1. Základné pojmy a veličiny charakterizujúce prenos energie.....	30
3.1.1. Zdroj mechanickej energie.....	30
3.1.2. Prenosný mechanizmus zabezpečujúci prenos energie.....	33
3.2. Zdôvodnenie navrhovaného riešenia.....	40
3.3. Návrh na využitie navrhovaného zariadenia v praxi.....	41
Záver.....	42
Zoznam použitej literatúry.....	43

Zoznam použitých označení

Označenie	Názov	Jednotka
D	priemer vrtule	m
E	energia	J
F	sila	N
M	krútiaci moment	Nm
M_b	brzdíaci moment	Nm
M_{ξ}	moment na čerpadle	Nm
M_T	moment na turbíne	Nm
P	výkon vrtule	W
P_{ξ}	výkon na čerpadle	W
P_T	výkon na turbíne	W
P_t	výkon teoretický	W
Q	prietok	$\text{km}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
S	plocha	m^2
V	objem	m^3
W	energia	J
i_h	momentový prevodový pomer	-
i'_h	kinematický prevodový pomer	-
i_{h0}	momentový prevodový pomer pri $i'_h=0$	-
n_B	otáčky brzdového hriadeľa	s^{-1}
p	tlak	Pa
s	sklz	-
v	rýchlosť vetra pred turbínou	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
v_0	rýchlosť vetra za turbínou	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
η_h	účinnosť hydrodynamického prevodu	-
λ_B	momentový súčiniteľ	-
ρ	merná hmotnosť vzduchu	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
φ	uhol natočenia	°
ω	uhlová rýchlosť	s^{-1}
ω_{ξ}	uhlová rýchlosť čerpadla	s^{-1}
ω_t	uhlová rýchlosť turbíny	s^{-1}

Úvod

Obnoviteľné zdroje energie sú z pohľadu národných ekonomík domácimi zdrojmi, ktoré majú potenciál v budúcnosti úplne nahradiť fosilne palivá. Tieto zdroje už v súčasnosti ponúkajú možnosť významne prehodnotiť energetické zdroje v každej krajine. Ich rozvoj je tiež považovaný za dôležitý nástroj na ochranu národnej ekonomiky pred budúcimi šokmi z nárastu cien dovážaných palív a nákladov na likvidáciu environmentálnych škôd. Uhlie, ropa, zemný plyn alebo urán sú palivá, ktoré sú základom 'fungovania' väčšiny krajín, Slovensko nevyímajúc. Tieto klasické zdroje energie príroda vytvorila počas mnoho miliónov rokov - dnes však vzhľadom na obrovské tempo ich spaľovania sú ich zásoby ohraničené na niekoľko desaťročí (ropa, plyn) resp. storočí (uhlie). Skutočnosťou zostáva, že spotrebovanie týchto zdrojov nie je morálne vo vzťahu k budúcim generáciám, ktoré nielenže tieto zdroje nebudú môcť využívať, ale budú zaťažené aj problémami, ktoré spaľovanie fosílnych palív so sebou prináša. Globálne klimatické zmeny, kyslé dažde, tvorba rádioaktívnych a iných odpadov sú problémy, ktorých dôsledky budú zaťažovať ešte mnoho generácií, ktoré prídu po nás. Okrem morálneho a ekologického aspektu má však závislosť na fosílnych zdrojoch, ktorých zásoby sú geograficky nerovnomerne rozdelené, aj vplyv na ekonomickú závislosť krajín na producentoch týchto palív. Slovensko je chudobné na vlastné zdroje týchto palív, a preto je odkázané na ich dovoz zo zahraničia. Čo predstavuje až 64,6 % podiel z celkovej spotreby energie na Slovensku.

Slnko ako základ obnoviteľných zdrojov energie je jediným zdrojom energie, na ktorý sa ľudstvo môže plne spoľahnúť. Slnčná energia nám dokáže poskytnúť všetko, čo od energie požadujeme, a to často veľmi jednoducho, čisto a bez rizika. Teplo pre naše domovy, elektrinu na prevádzku elektrospotrebičov, ale aj palivá pre motorové vozidla - to všetko je možné vyrobiť prostredníctvom slnečnej energie a energie z nej pochádzajúcej - biomasy, veternej alebo vodnej energie. Priamo je možné slnečné žiarenie využívať slnečnými kolektormi na prípravu teplej vody alebo fotovoltaickými článkami na výrobu elektrickej energie. Nepriamo sa dá slnečná energia využívať, či už vo forme spaľovania biomasy (rastliny využívajú slnečné žiarenie prostredníctvom fotosyntézy na svoj rast),

veternej energie, ktorá vzniká v dôsledku nerovnomerného zohrievania zemského povrchu slnečnými lúčmi a následnej cirkulácie vzduchu alebo vodnej energie, ktorá ma svoj pôvod vo vyparovaní vodných plôch (moria, oceány) v dôsledku slnečného žiarenia a následných zrážkach dopadajúcich na Zem, ktoré dávajú silu vodným tokom. Iným potenciálnym zdrojom, ktorý sa často zaraďuje medzi zdroje obnoviteľné je geotermálna energia. Tá síce nemá svoj priamy pôvod v slnečnej energii, pretože pochádza z horúceho jadra Zeme, ale vzhľadom na jej obrovské zásoby pod zemským povrchom je možné považovať geotermálnu energiu za zdroj nevyčerpatelný.

Často môžeme počuť, že obnoviteľné energetické zdroje nemôžu hrať významnú úlohu v energetike a je ich potrebné chápať ako zdroje doplnkové. Možný podiel obnoviteľných zdrojov je vecou našej ochoty podporiť využívanie týchto zdrojov. Čím vyššia bude podpora, tým vyšší bude ich podiel na energetickej bilancii. Súčasný stav predstavuje 16,5 %. Teoreticky pri využití technológií dostupných na trhu by bolo možné nahradiť fosílnu palivá už dnes, veď len fotovoltaické články umiestnene na ploche 12x13 km by vyrobili dostatok elektrickej energie na pokrytie celej spotreby na Slovensku (pri reálne dosiahnuteľnej výrobe 170 kWh inštalovaných fotovoltaických článkov). Technologicky je zvládnutý aj problém nedostatku slnečného svitu v noci a to prechodom na tzv. vodíkové hospodárstvo. Energia vyrobená cez deň sa v tomto procese využije na výrobu vodíka (elektrolýzou vody), ktorý ako univerzálne palivo je možné použiť kedykoľvek tak na výrobu tepla, elektriny alebo na pohon motorových vozidiel. Existujú však aj iné možnosti ako skladovať vyrobenú energiu napr. využívaním prečerpávacích elektrární. Je zrejmé, že plánovať energetickú politiku založenú len na jednom zdroji, tak ako to bolo uvedené v predchádzajúcom príklade fotočlánkov, nie je opodstatnené, nakoľko v každom regióne existuje dostatok ďalších obnoviteľných zdrojov, ktoré nevýhody jedného zdroja (napr. nedostatok slnečného žiarenia) vhodne kompenzujú. Často opakovaný argument, že energia získaná z obnoviteľných zdrojov je drahšia ako energia z fosílnych palív, má obmedzenú platnosť a to len v podmienkach kedy je poškodzovanie životného prostredia v dôsledku spaľovania fosílnych palív bezplatné, čo je bohužiaľ charakteristické pre súčasný stav. Navyše v cenách energii z obnoviteľných zdrojov nie sú zahrnuté iné pozitívne vplyvy na ekonomiku a sociálnu oblasť. Ukazuje sa, že aj tie najdrahšie spôsoby výroby energie, napr. fotovoltaickými článkami, by sa po

započítaní externých nákladov do cien a pri ich masovom využívaní stali cenovo porovnateľné s palivami, ktoré využívame dnes. Energetická efektívnosť by mala byť integrálnou súčasťou energetickej politiky každého štátu aj v súvislosti s energetickou bezpečnosťou. Energeticky úsporné opatrenia výrazne prispievajú k znižovaniu emisií znečisťujúcich látok, ako aj skleníkových plynov a prispievajú tak k plneniu stratégií štátov v oblasti životného prostredia a zmeny klímy. Politiky v tejto oblasti prinášajú výsledky v dlhodobejšej perspektíve, keďže ide o štrukturálne zmeny. Ich výsledkom nie je samotná stratégia, ale akceptácia princípov energetickej efektívnosti, ich realizácia v praxi všetkými účastníkmi trhu vo verejnom sektore, podnikateľskej sfére ako aj obyvateľstvom. Tento proces musí byť transparentný so spoluúčasťou verejnosti, pričom musí byť dostatočne flexibilný, aby umožnil sústrediť potrebné finančné zdroje a podporné programy na nákladovo efektívne opatrenia[1].

1. Prehľad o súčasnom stave riešenej problematiky

1.1. Alternatívne zdroje energie

Množstvo energie, ktoré Slnko vyžiari za jeden rok je možno vyjadriť ako 107 TW_r ($1 \text{ TW}_r = 10^{12} \text{ W} \times 8760 \text{ hod} = 8,7 \cdot 10^{12} \text{ kWh}$). Z tejto energie však na Zem dopadá $1,78 \cdot 10^5 \text{ TW}_r$ - je to energia, ktorá umožňuje život na našej planéte. V dôsledku odrazov od atmosféry a zemského povrchu sa z tejto hodnoty stráca $0,63 \cdot 10^5 \text{ TW}_r$. Ak si uvedomíme, že ročná celosvetová spotreba energie (uhlia, ropy, plynu, Uránu a obnoviteľných zdrojov) je asi 12 TW_r potom je zrejmé, že zo slnečnej energie - $1,15 \cdot 10^5 \text{ TW}_r$ absorbovanej za jeden rok povrchom Zeme, by ľudstvo mohlo pokryť spotrebu energie na takmer

10 tisíc rokov[4]. V prípade Slovenska je ročná spotreba energie u nás porovnateľná s množstvom slnečnej energie dopadajúcej na naše územie počas dvoch dní. Využívanie obnoviteľných zdrojov energie je v súčasnosti asi 23 PJ t.j. 3,5 % z celkovej spotreby primárnych energetických zdrojov [12]. Tento príspevok navyše takmer celý pochádza z využívania vodnej energie. Podiel

obnoviteľných zdrojov v energetickej bilancii je v SR skutočne veľmi nízky a nezodpovedá našim podmienkam. Veď len podiel biomasy (drevo, slama, bioplyn, bionafta) na celkovej spotrebe energie, ktorý u nás predstavuje 0,16 %, je vo Švédsku až 18 % a v susednom Rakúsku 12 %, pričom tento výsledok bol dosiahnutý za menej ako 10 rokov a navyše má stále rastúci charakter [6]. Okrem toho v Rakúsku, ktoré je rovnako chudobné na domáce zdroje fosílnych palív a má podobné klimatické podmienky ako Slovensko, je inštalovaných viac ako 1 milión m² slnečných kolektorov (najviac na jedného obyvateľa v Európe) oproti 20 tis. m² inštalovaných u nás. Uvedené príklady dokumentujú fakt, že nie nedostatok prírodných zdrojov, ale predovšetkým nedostatok ochoty podporiť tieto zdroje sú hlavnou príčinou súčasného stavu u nás. Celú situáciu len podčiarkuje skutočnosť, že kým u nás pretrváva dlhodobá závislosť na dovoze fosílnych palív zo zahraničia, niektoré obnoviteľné zdroje ako napr. slama, ktorá sa ako kvalitné palivo využíva pre obecné kotolne v Rakúsku, sa sem dováža aj zo Slovenska.

Podľa Aktualizovanej energetickej koncepcie pre SR predstavuje reálne využiteľný potenciál obnoviteľných zdrojov v roku 2010 približne 55,4 PJ. Pre porovnanie je možné uviesť, že celková spotreba energie u nás v roku 1995 predstavovala 749 PJ.

Príspevok jednotlivých obnoviteľných zdrojov by mohol byť nasledujúci:

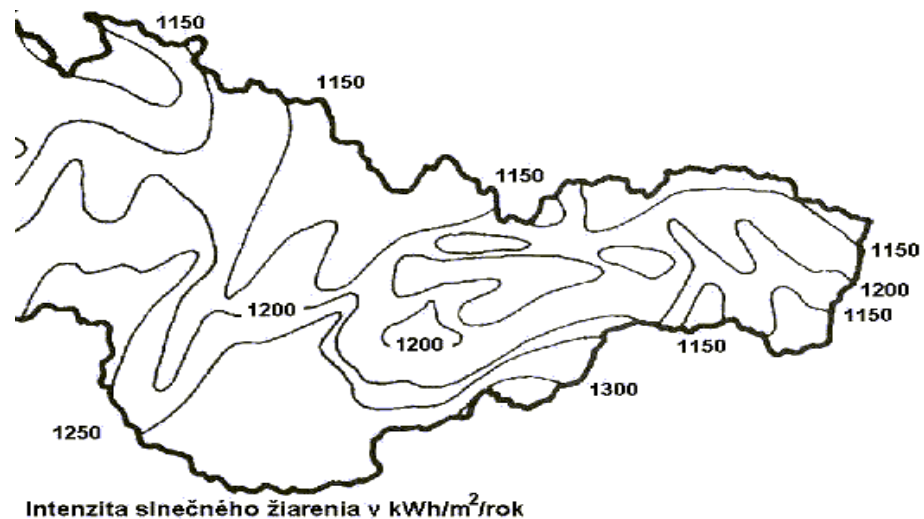
Vodné elektrárne (veľké aj malé)	26,5 PJ
lesná biomasa	11,4 PJ
geotermálna energia	7,2 PJ
slnečná energia	4,9 PJ
bioplyn	4,3 PJ
veterná energia	1,2 PJ

Skúsenosti z rôznych krajín ukazujú, že bez počiatocnej štátnej podpory nie je možné vybudovať základňu pre uplatnenie technológií využívajúcich obnoviteľné energetické zdroje. Podpora vývoja nových technológií nahrádzajúcich časti investičných nákladov alebo vyššie výkupné ceny vyrobenej energie mala za následok oveľa širšie uplatnenie týchto technológií vo svete, ako je to na Slovensku.

Je evidentné, že bez podpory, ktorej sa v Slovenskej republike dostalo a naďalej dostáva uhoľnému priemyslu a jadrovej energetike, by tieto odvetvia nemohli dosiahnuť stupeň súčasného rozvoja a inak tomu nie je ani v prípade obnoviteľných zdrojov. Štátna podpora obnoviteľných zdrojov energií na Slovensku síce existuje a zahŕňa niekoľko finančných mechanizmov (granty, fondy, dotácie) spravovaných rôznymi ministerstvami, avšak vzhľadom na objem dostupných prostriedkov (ktorý je z roka na rok nižší) nedáva záruku rozvoja týchto technológií [14].

1.1.1. Slnčná energia

Každý rok dopadá zo Slnka na Zem asi 10 tisíc krát viac energie ako ľudstvo za toto obdobie spotrebuje. Množstvo dopadajúcej slnečnej energie na územie Slovenska je asi 200 násobne väčšie ako je súčasná spotreba primárnych energetických zdrojov u nás. Je to obrovský doposiaľ takmer úplne nevyužitý zdroj energie. Využívanie slnečnej energie je dnes najčistejším spôsobom využívania energie vôbec a na rozdiel od iných zdrojov sú dopady na okolité životné prostredie takmer zanedbateľné.



Obr.1

Energia slnečného žiarenia na Slovensku [7]

Tieto dopady však súvisia len s výrobou slnečných zariadení a nie s ich prevádzkou. Okamžitý výkon slnečného zdroja predstavuje v atmosfére $1,7 \times 10^{17}$ W alebo $1,5 \times 10^{18}$ kWh ročne a v našich zemepisných podmienkach energia dopadajúca na plochu 1 m^2 dosahuje hodnotu 1000 až 1250 kWh za rok (cca 5 GJ). Z uvedenej intenzity žiarenia vyplýva, že teoreticky pri 100% využití tejto energie by sme z plochy $3 \times 3,3$ metra mohli získať dostatok energie na pokrytie celoročnej spotreby tepla a teplej vody pre priemernú domácnosť na Slovensku. Bariéru pre takéto využitie nepredstavuje len nerealizovateľná 100 % účinnosť zariadenia, ale aj odchýlky v množstve dopadajúceho žiarenia v priebehu roka a jeho energetickej hustote. Hustota slnečného žiarenia je totiž mnohonásobne nižšia ako v prípade fosílnych palív, na druhej strane je však toto žiarenie homogénnejšie rozložené ako zásoby klasických palív na Zemi. Využívanie slnečnej energie na výrobu elektriny prostredníctvom fotovoltických panelov momentálne nemá nijaký vplyv na energetickú bezpečnosť SR a pre extrémne vysoké investičné nároky (cca 140 000 Sk/kW) ani tak skoro nebude mať. Využitie fotovoltických článkov sa tak obmedzuje na oblasti, kde nie je dostupná elektrická sieť, resp. náklady na jej zavedenie sú vysoké. Tepelné solárne systémy nachádzajú svoje uplatnenie najmä v príprave teplej vody pre rodinné domy a bytovky. Po zvážení reálnych alternatív inštalácie solárnych kolektorov bol technický potenciál slnečnej energie stanovený na 34 PJ. Toto číslo je však stále veľmi vzdialené od reálnych možností využívania slnečnej energie, nakoľko rozvoju bráni najmä vysoké investičné náklady, limity spotreby nízko-potenciálového tepla v letnom období, v oblasti podpory vykurovania aj požiadavky na tepelno-izolačné vlastnosti budov [7]. Pre budovu môže príspevok pasívneho slnečného dizajnu predstavovať až 15% úspory energie na vykurovanie. V prípade Slovenska kde sa až 40% spotrebovanej energie (v prípade domácnosti až 78 %) využíva na vykurovanie budov zistíme, že v slnečnej architektúre sa skrýva obrovský potenciál úspor. Princípy slnečnej architektúry začína využívať stále viac architektov nielen pri navrhovaní nových domov, ale aj pri rekonštrukcii starších budov. Zásadou je orientovať všetky veľké okná na juh. Dom s takto orientovanými oknami potrebuje až o 10-20 % menej energie ako dom s orientáciou okien na východ a západ.

1.1.2. Vodná energia

Z 1,5 .10¹⁸ kWh slnečnej energie, ktorú absorbuje zemský povrch za rok asi 0,53. 10¹⁸ kWh spôsobuje vyparovanie vody z oceánov, morí, jazier a vodných tokov. Vodné pary sa presúvajú nad zemským povrchom a ich ochladzovanie vedie ku kondenzácii a zrážkam. Tie zaisťujú vytváranie potenciálnej energie vysoko položených zdrojov vody, ktorá sa mení na kinetickú energiu pohybom v riekach. Kinetická energia vody sa bežne využíva na výrobu elektrickej energie vo vodných elektrárňach. Podiel veľkých vodných elektrární na spotrebe elektriny v SR sa pohybuje medzi 12-18% v závislosti na klimatických podmienkach v danom roku. Tento podiel do značnej miery posilňuje nezávislosť SR od dovozu elektriny. Potenciál veľkých vodných elektrární je do značnej miery už zrealizovaný, ostávajú už len zámery na Dunaji nad Bratislavou, na hornom Váhu a na rieke Ipeľ, ktoré celkovú bilanciu ovplyvnia niekoľkými percentami. Celkový inštalovaný výkon malých vodných elektrární sa pohybuje okolo 70 MW s ročnou výrobou v závislosti na ročných prietokoch okolo 0,247 TWh. Táto sa podieľa na domácej spotrebe elektriny cca 0,8%. Vo svete sa ročne vyrobí v hydroelektrárňach celkovo 2200 miliárd kWh elektrickej energie, čo predstavuje asi 14 % súčasnej celosvetovej spotreby. Je to viac ako sa jej vyrobí v rovnakom období v jadrových elektrárňach. Celkový využiteľný potenciál sa odhaduje na 14.900 mld. kWh. V tomto odhade sú započítané len relatívne veľké zdroje nad 10 MW, pričom tu existuje rezerva asi 30%.

Vodné turbíny sú z hľadiska svojej účinnosti neporovnateľne efektívnejšie pri výrobe elektriny ako iné typy elektrární. Na rozdiel od klasických uhoľných, plynových alebo jadrových elektrární, ktoré u nás pracujú s účinnosťou asi 30%, vodné elektrárne premieňajú až 90 % dostupnej energie na užitočný výkon. Okrem toho hydroelektrárne patria medzi najspoľahlivejšie a najdlhšie pracujúce elektrárenské zdroje. Dobre udržiavané zariadenie môže slúžiť 50 i viac rokov[1].

1.1.3. Geotermálna energia

V minulosti sa na Slovensku využívali termálne pramene hlavne v poľnohospodárstve. Energia vody bola využitá dosť nevhodne. Mnohé z týchto zdrojov boli v posledných rokoch odstavené, nakoľko obsah minerálnych

látok geotermálnej (odpadovej) vody , ktorý sa pohyboval na úrovni 4 g/liter, viedol k podstatným zaťaženiám povrchových vôd. Nová hraničná hodnota - 0,8 g/liter znamená, že využívanie geotermálnej energie je možné vtedy, keď sa vyrieši problém s odpadovými vodami a to či už reinjektážou alebo jej čistením. Z geotermálnej energie sa v roku 2006 vyrobilo 165 TJ tepla, čo z celkovej výroby tepla predstavuje podiel 0,05% [4]. Slovenská republika má vďaka svojim prírodným podmienkam významný potenciál geotermálnej energie, ktorý je na základe doterajších výskumov a prieskumov ohodnotený na 5 538 MWt s možnou výrobou tepla 44 TWh (158 PJ). Keby sa celý potenciál v teple realizoval, podiel geotermálnej energie na celkovej výrobe tepla by teoreticky mohol byť až 45%. V súčasnosti sa geotermálna energia na Slovensku využíva na cca 36 lokalitách s tepelne využiteľným výkonom 131 MWt. Využiteľný potenciál na výrobu elektriny predstavuje dnes predstavuje len 60 GWh ročne. Ďalší potenciál využívania tohto obnoviteľného zdroja predstavuje projekt v Košickej kotline s elektrickým výkonom 5 MW s očakávanou ročnou výrobou elektriny 40 GWh, ktorý by sa mal čoskoro realizovať. Podiel výroby elektriny z geotermálnej energie (100 GWh) na celkovej výrobe elektriny by teda mohol stúpnuť na 0,3%. Pri využívaní obnoviteľných energetických zdrojov a pri pohľade na ne ako na strategickú položku, zlyhávajú všetky vlády od roku 1989. Dostali sme sa do tragikomickéj situácie, keď súkromný kapitál robí pre energetickú bezpečnosť Slovenska viac, než kompetentné orgány. Vážnosť situácie však treba poukázať na situáciu, ktorá sa zdramatizovala v nedávnom probléme (plynovej kríze), keď sa začali čoraz hlasnejšie ozývať hlasy za diverzifikáciu dodávateľov energetických zdrojov. Využívanie obnoviteľných energetických zdrojov je pre Slovensko jedna šanca, ako znížiť závislosť na dovoze energie [14].

1.1.4. Energia z biomasy

Organická hmota či už vo forme dreva, rastlín alebo zvyškov nám dokáže poskytnúť všetky užitočné formy energie - elektrickú energiu, teplo aj kvalitne paliva pre motorové vozidla. Biomasa je v podstate zakonzervovaná slnečná energia, ktorú rastliny vďaka fotosyntéze menia na organickú hmotu. Potenciál ukrytý v nej je skutočne veľký, veď priemerný energetický obsah v 1 kg biomasy suchého dreva alebo slamy je asi 4,5 kWh, čo znamená že približne 2 kg biomasy

je potrebné na to aby sa energeticky nahradil 1 liter ropy (pri zabezpečení rovnakej účinnosti využitia) (Pepich.,2005). Nielen potenciál a ekologická únosnosť, ale hlavne cena tohto paliva je zaujímavá, veď drevo je dnes najlačnejším palivom používaným na vykurovanie u nás.

Celosvetové zásoby biomasy sú tiež obrovské a množstvo energie vytvorenej každý rok fotosyntézou vo forme biomasy je až 10 - krát väčšie, ako je celosvetová spotreba energie. Biomasa môže v budúcnosti zohrať významnú úlohu pokiaľ bude transformovaná hlavne na elektrickú energiu prípadne na plynné alebo kvapalné palivo. Existuje niekoľko dôvodov, aby bola chápaná v tomto zmysle. Jedným z nich je, že biomasa je dostupnejšia v oveľa širšej miere ako fosílna palivá a technologicky na jej využitie sú overené v praxi. V rozvinutých krajinách môže pestovanie biomasy pre energetické účely poskytnúť aj východisko zo súčasnej krízy vyplývajúcej z nadprodukcie poľnohospodárskych produktov. Ak by bola biomasa pestovaná a využívaná na udržateľnej báze, nedochádzalo by ani k nárastu CO₂, koľko ho rastlina počas svojho rastu prostredníctvom fotosyntézy z atmosféry odčerpala (Maga,2007).

Biomasa je však významný palivový zdroj už dnes, pretože zaisťuje jednu sedminu spotrebovanej energie vo svete. V súčasnosti sa vyžíva hlavne na vykurovanie. V rozvojových krajinách jej podiel na trhu s energiou predstavuje 40 až 90 % (HAS, 1985).

Je to hlavný palivový zdroj takmer polovice celosvetovej populácie. Biomasa je však dôležitým zdrojom energie aj v rozvinutých krajinách. V USA toto palivo pokrýva viac ako 4 % spotreby primárnej energie (teplo, elektrická energia, kvapalné palivá a i.). Je to približne toľko energie, koľko sa jej vyrába v jadrových elektrárňach. V Kanade predstavuje podiel biomasy na energetickej bilancii krajiny 8 % a vo Švédsku 14 %. Správa EU o obnoviteľnej energii (white paper on renewable energy) predpokladá, že biomasa by sa mohla významnou mierou podieľať na náraste podielu obnoviteľných zdrojov zo súčasných 6 % na 12 % v roku 2010. Takéto využívanie biomasy by mohlo v krajinách EU poskytnúť ďalších asi 90 miliónov ton ropného ekvivalentu každý rok (v súčasnosti je to asi 47 miliónov ropného ekvivalentu).

Polovicu z predpokladaného budúceho príspevku by mali poskytnúť tzv. energetické rastliny (rýchlorastúce dreviny napr. vrba) pestovane na 13 miliónoch hektároch pôdy, čo predstavuje 4 % celkovej rozlohy EU.

Dôležité je, že nahrádza 90 miliónov ton ropného ekvivalentu biomasou, čo by znamenalo ročné zníženie emisií uhlíka do atmosféry o 100 mil. ton (Haltman,2007). Slniečna energia absorbovaná v biomase môže byť premenená na užitočnú formu energie viacerými spôsobmi napr. spaľovaním, fermentáciou, anaerobickým vyhnívaním. Ako vhodné palivá sa ponúkajú hlavne drevo, slama, bioplyn alebo špeciálne pestované rastliny s krátkym vegetačným cyklom. Osobitným palivom sú olejnaté rastliny ako napr. repka olejná, ktorá sa využíva aj na Slovensku pre výrobu bionafty. Zo všetkých uvedených biopalív je možné dnes dostupnou technológiou vyrobiť tak tepelnú ako aj elektrickú energiu súčasne v tzv. kogeneračných jednotkách. Z hľadiska výroby elektrickej energie sa dnes ako najperspektívnejšia technológia ukazuje splynovanie biomasy a následne spaľovanie vznikajúceho plynu v plynovej turbíne, čím sa odstraňujú niektoré negatívne javy sprevádzajúce priame spaľovanie biomasy. Okrem uvedených biopalív značný potenciál predstavujú aj organické zvyšky napr. z poľnohospodárskej produkcie, ktoré je možné využiť na výrobu bioplynu (kolektív autorov , www.biogas.sk. 2009).

Tak drevo ako aj slama sa dajú využiť na výrobu elektrickej energie vo veľkých parných elektrárnach. Tento spôsob je veľmi rozšírený napr. v USA, kde je inštalovaný výkon až 8 000 MW elektrického výkonu, čo zodpovedá výkonu 8 atómových elektrární. Na túto výrobu sa využíva hlavne drevný odpad. Na rozdiel od obyčajného spaľovacieho kotla na prípravu teplej vody, ktorý má účinnosť často viac ako 80 %, je účinnosť premeny energie obsiahnutej v drevnej hmote na elektrickú energiu podstatne vyššia - len zhruba 20 % (MARKO, 1989). Pre inštalované zariadenia pracujúce prevažne pri drevospracujúcich podnikoch, je to napriek tomu ekonomicky výhodné, nakoľko náklady na skladovanie a likvidáciu odpadovej drevnej hmoty tradičným spôsobom odpadajú a navyše vyrobenú energiu je možné využiť vo vlastnom podniku alebo predať do siete verejného zásobovania. Iným procesom, v súčasnosti veľmi perspektívnym je jej splynovanie s následnou výrobou elektrickej energie v plynovej turbíne. V minulosti bolo splynovanie bežne využívané v energetike na výrobu tepla. Plyn zo splynovania uhlia bol rozvádzaný potrubiami do domácností, kde sa využíval v plynových sporákoch a tuhý odpad sa spaľoval v kotloch na pevné palivo. Počas druhej svetovej vojny bol ako palivo pre automobily používaný drevo-plyn vyrábaný splynovaním dreva.

1.1.5. Veterná energia

Energia vetra má tiež svoj pôvod v slnečnej aktivite. Zohrievaním vzduchu a jeho následným stúpaním do výšky dochádza k prúdeniu vzdušnej masy (vietor) okolo Zeme. Z 1,15.105 TW energie absorbovanej zemským povrchom za rok len asi 370 TW vytvára energiu vetra a vánku. Pred objavením parného stroja bol vietor dôležitým zdrojom mechanickej energie využívanej napr. veternými mlynmí alebo plachetnicami. Dnes sa vo svete veterná energia využíva hlavne na výrobu elektrickej energie.

Technický potenciál veternej energie je podľa Stratégie energetickej bezpečnosti SR odhadovaný na 600 GWh (2,16 PJ), čo zodpovedá približne 300 MW inštalovaného výkonu. Pre porovnanie na Slovensku v roku 2006 bolo vyrobených 31 417 GWh elektriny. Podiel veternej energie na výrobe elektriny by teda mohol takmer 2%.

Podľa investorov a iných odborných odhadov má Slovensko na základe množstva lokálnych veterných meraní a s dodržaním prísnych ekologických štandardov potenciál v najbližších rokoch inštalovať viac ako 600 MW veterných elektrární, čo zodpovedá výrobe približne 1 200 GWh elektriny [13].

Podiel veternej energie na výrobe elektriny by tak mohol byť až 4%, čo už nie je zanedbateľné, najmä po uvážení faktu, že sa jedná o domáci obnoviteľný zdroj.

Aj keď väčšina veterných turbín sa dnes využíva na výrobu elektrickej energie a jej dodávky do verejnej siete, existujú aj ďalšie možnosti využitia tohto obnoviteľného zdroja energie. Bežné, hlavne v rozvojových krajinách, je napr. čerpanie vody veternými ružicami napojenými na ponorné čerpadlo. Takéto systémy sú ekonomické a uplatňujú sa všade tam, kde nie je k dispozícii iný zdroj energie a vytvorenie vedenia elektrického napätia k miestu spotreby by znamenalo značné náklady. V prípade využitia veternej energie na výrobu teplej úžitkovej vody a prikurovanie v rodinných domoch sa využívajú menšie turbíny vyrábajúce jednosmerný elektrický prúd, ktorý je zdrojom energie pre elektrickú špirálu v tepelnom výmenníku. Princíp výroby elektriny spočíva v prúdení vetra, ktorý roztáča listy rotora a takto vytvorenú mechanickej energiu využíva generátor na výrobu elektrického prúdu[15].

Asi 4.300 km² rozlohy Slovenskej republiky je z hľadiska poveternostných podmienok potenciálne vhodných pre výstavbu veterných elektrární. Priemerná ročná rýchlosť vetra na týchto miestach totiž prevyšuje, vo výške 10 m nad zemou, rýchlosť 4 m.s⁻¹. Pri tejto rýchlosti je už možné uvažovať o ekonomickom využití veternej energie. Z uvedenej rozlohy by však v súčasnej dobe bolo možné reálne využiť len asi 2 % (cca 86 km²). Súvisí to s tým, že potenciálne vhodné lokality pre umiestňovanie veterných agregátov sa zväčša nachádzajú vo vyššie položených oblastiach s nadmorskou výškou nad 500 m, pričom tieto oblasti sú často veľmi vzdialené od najbližšieho vedenia elektrickej siete, na ktoré by mali byť napojené. Výstavba vedenia k veternému agregátu znamená vždy zvýšenie nákladov na výrobu, čo spolu s nízkou výkupnou cenou má za následok, že mnoho vhodných oblastí je v súčasnosti prakticky nevyužitelných. V ostatných rokoch veterná energetika zaznamenala obrovský rozvoj s ročným nárastom výkonu vyše 30%. Inštalovaný výkon veterných elektrární sveta dosiahol koncom roka 2003 cca 39 000 MW a ročnú výrobu vyše 90 TWh.

V súčasnosti sa bežne budujú veterné elektrárne s výkonom 1,5 - 2,5 MW.



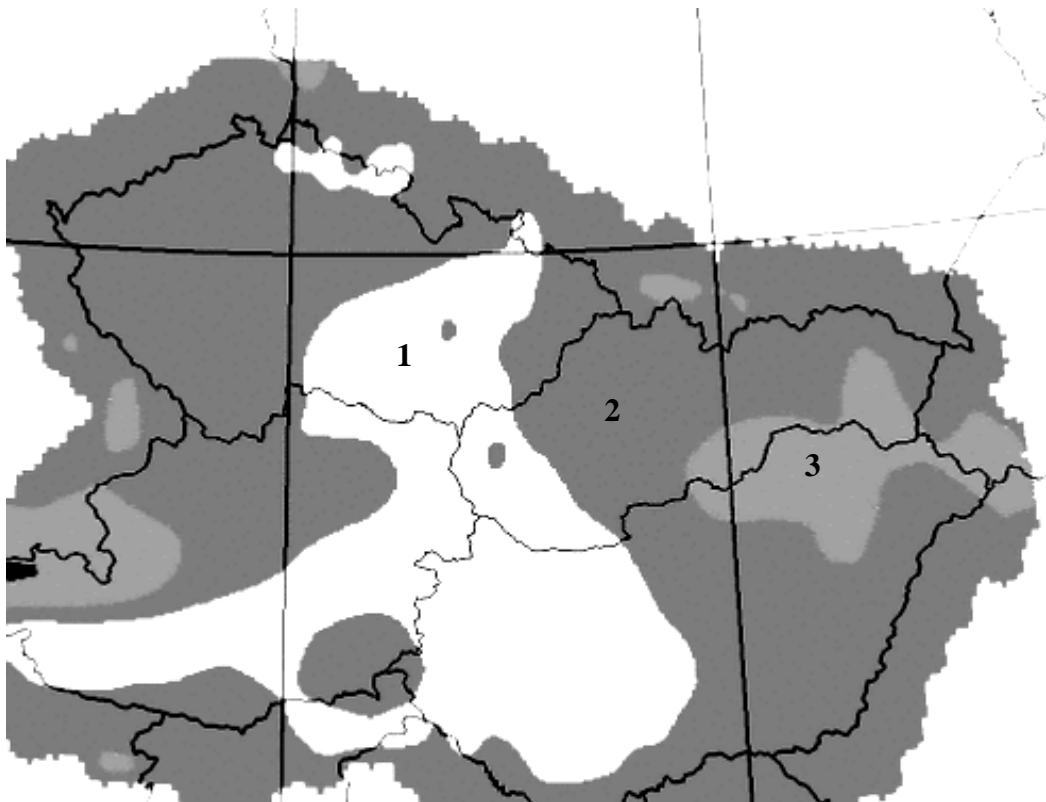
Obr.2

Súčasný stav veterných elektrární [13]

Najväčšia veterná turbína na svete má výkon 4,5 MW (Nemecko). Moderné veterné turbíny produkujú minimum hluku a sú akceptovateľné aj okolím. Sú v príprave, resp. v realizácii veľké veterné farmy s výkonom až do 400 MW.

Obrovské perspektívy ponúkajú morské lokality, kde turbíny sú postavené priamo v mori vo vzdialenosti až 20 km od brehu.

Slovensko má skromný potenciál veternej energie (600 GWh/r) oproti prímorským štátom. Je u nás málo vhodných lokalít k inštalácii veterných turbín kde priemerná rýchlosť vetra dosahuje aspoň 5 m.s^{-1} .



Obr.3

Veterná mapa Slovenska

Na obr. 3. Je znázornená veterná mapa Slovenska, kde v oblasti označenej č.1 predstavuje priemerná rýchlosť vetra $6 \text{ až } 7 \text{ m.s}^{-1}$, v oblasti pod č.2 to je $5 \text{ až } 6 \text{ m.s}^{-1}$ a v oblasti pod č.3 to je $4 \text{ až } 5 \text{ m.s}^{-1}$. Dobré veterné podmienky sú často v chránených územiach prírody.

Prvý veterný park Cerová (Malé Karpaty) s výkonom 2,4 MW (4 x 600 kW) je v prevádzke od októbra 2003. Stavba bola financovaná do výšky cca 60 % nákladov z fondu PHARE. Veterná elektrárň na Ostrom vrchu (Myjava) s výkonom 500 kW bola daná do prevádzky v júli 2004 a veterný park Skalité (Kysuce) o kapacite 4 x 500 kW je v prevádzke od roku 2004 [13].

Zoznam v rôznom stupni rozpracované a pripravované projekty výstavby veterných elektrární:

Nitra, lokalita Čab	1 x 2,0 MW
Myjava, lokalita Poľana	2 x 2,0 MW
Senica, lokalita Vinohrádky	13 x 2,0 MW
Nitra, lokalita Zbehy	8 x 2,0 MW
Myjava, lokalita Vesný vrch	4 x 2,0 MW
Cerová, lokalita Kopánky	2 x 2,0 MW
Nitra, lokalita Veľké Zálužie	3 x 2,0 MW
Myjava, lokalita Ostrý vrch II,	1 x 2,0 MW
Skalité II., lokalita Poľana	2 x 0,850 MW

V súčasnom stave slnečné a veterné elektrárne stále zostávajú v nemilosti Slovenskej elektrizačnej prenosovej sústavy, a.s (SEPS, a.s.). Tá totiž, ako prevádzkovateľ prenosovej sústavy, už nevydá do konca roka 2011 žiadne kladné stanovisko pre výstavbu slnečných a veterných elektrární, ktoré je potrebné pre získanie osvedčenia od Ministerstva hospodárstva SR (MH). „Očakávame, že na Slovensku bude do konca roka 2011 vybudovaných zhruba 700 megawattov inštalovaného výkonu slnečných elektrární. Táto výška inštalovaného výkonu vysoko presahuje limit inštalovaného výkonu zdrojov s vysokou fluktuáciou výroby, ktorý je podľa súčasných poznatkov absorbovateľný elektrizačnou sústavou,“ zdôvodnila svoje rozhodnutie Slovenská elektrizačná prenosová sústava. Slovenská elektrizačná prenosová sústava považuje veterné ako aj slnečné elektrárne za nestabilné zdroje s veľkou fluktuáciou výroby. [SEPS, a.s.]

1.2. Typy veterných elektrární

Veterný motor je zariadenie, ktoré premieňa energiu vetra na energiu mechanickú alebo elektrickú. Poznáme mnoho takýchto mechanizmov. Veterné mlyny slúžiace po mnohé storočia na mletie obilnín, čerpadlá celých komplexov zavlažovacích kanálov sa zdajú byť v našich zemepisných šírkach už minulosťou, avšak v mnohých oblastiach sveta stále spoľahlivo plnia svoju úlohu. Majú veľmi dobrú perspektívu aj do budúcnosti vďaka svojej finančnej nenáročnosti,

nezávislosti na centrálnych zdrojoch energie a taktiež svojej tradíciou overenej spoľahlivosti. Nie sú využívané len v rozvojových krajinách, ale taktiež v rôznych odľahlých oblastiach bez vlastnej infraštruktúry v takých bohatých krajinách ako je napríklad aj USA. Najčastejšie sú využívané na čerpanie vody. Veterná elektrárňa je taký typ veterného motora, ktorý vyrába elektrickú energiu. Takto vyrobenú elektrickú energiu je možné spotrebovať priamo na mieste alebo dodávať do siete.

Základné rozdelenie veterných elektrární:

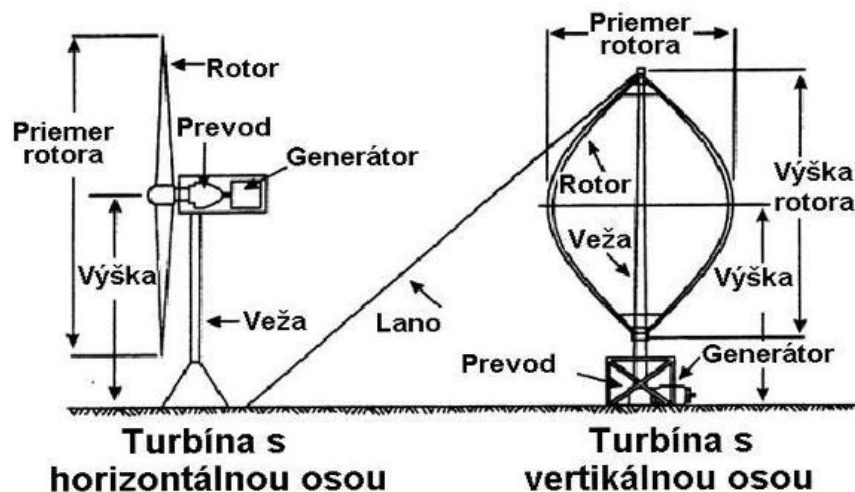
Podľa výkonu:

- malé do 20 kW
- stredné od 20 kW do 50 kW
- veľké nad 50 kW

Podľa spracovania vyrobenej energie:

- do 5 kW prevažne nabíjanie akumulátorov
- 5 kW až 20 kW dodávanie do siete alebo ohrev úžitkovej vody
- nad 20 kW takmer výhradne dodávanie elektriny do siete

1.2.1. Zloženie veternej elektrárne



Obr.4

Zloženie veternej elektrárne

Základné časti veternej elektrárne:

- rotor
- generátor
- prevodovka
- systém natáčania do smeru vetra
- stožiar (veža) a rám strojovne
- regulačný systém

1.2.1.1. Rotor

Tvoria listy a centrálna os. Os je pripojená na prevodovú skriňu, kde sa zvyšujú otáčky. Hriadeľ spája prevodovú skriňu s generátorom, ktorý pri otáčaní produkuje elektrickú energiu. Rotor s horizontálnou osou má 2-3 listy, príp. aj viac, ktoré sú pripojené na os rotora. Rotor s vertikálnou osou má 2-3 dlhé zaoblené listy pripevnené na oboch koncoch osi.

Rotor s horizontálnou osou má spomedzi všetkých veterných motorov najväčšiu účinnosť (približne 58 %) za predpokladu, že účinnosť prevodu medzi mechanickou energiou a elektrickou energiou je 80 % potom celková účinnosť takejto elektrárne môže dosahovať až 40 -45 %. Je to rýchlobežný typ veterného motora, čo znamená dosiahnutie maximálnej účinnosti pri rýchlobežnosti (rýchlobežnosť je pomer obvodovej rýchlosti končekov listov rotora a rýchlosti vetra, čo v praxi znamená že vrtuľa otáčajúca sa rýchlosťou vetra má rýchlobežnosť 1, zatiaľ čo vrtuľa otáčajúca sa desaťnásobnou rýchlosťou má rýchlobežnosť 10).

Výhody:

- malý počet listov
- nižšia cena než pri mnoho lopatkovom mechanizme
- namáhanie listov náporu vetra je menšie pretože sú dimenzované pre výrazne väčšie odstredivé sily
- v pokojnom stave nie je tlak na os otáčania spôsobovaný vlastnou váhou rotora príliš veľký, dochádza teda k menšej únave materiálu

Nevýhody:

- počiatkový krútiaci moment je veľmi malý preto je nutné tieto mechanizmy vybaviť elektrickým rozbehom alebo dvojstupňovou reguláciou (vrtuľa pri rozbehu je viac naklonená do horizontálneho smeru a v momente kedy dosiahne dostatočnú rýchlosť sa nastaví do pracovnej polohy).

Výkon $|P|$, ktorý je možné získať pri danom priemere rotora (D) a rýchlosti vetra (v) je možné vypočítať zo vzorca:

$$P = 0,2 \cdot v^2 \cdot D^3 \quad , \quad \text{kW} \quad (1)$$

Lopatkové koleso je pomalobežný veterný motor, s počtom lopatiek 12 až 24, s priemerom kolesa 5 až 8 m, maximálna účinnosť je dosahovaná pri rýchlobežnosti 1. Pomalobežný motor dosahuje 75 % účinnosť rýchlobežného motora, jeho použitie je vhodnejšie pre pohon čerpadla vody. Výkon pomalobežného motora je možné vypočítať zo vzorca:

$$P = 0,15 \cdot v^2 \cdot D^3 \quad , \quad \text{kW} \quad (2)$$

Darrieova turbína:

Funguje na princípe zdvíhania. Má dva alebo tri listy, ktoré sa otáčajú okolo vertikálnej osi.

Výhody:

- vysoká účinnosť
- možnosť umiestnenia generátoru do spodnej časti stožiaru
- jednoduchá konštrukcia

Nevýhody:

- zlá schopnosť rozbehu (zvyčajne je potrebný nútený rozbeh)



Obr.5

Darrieova turbína

Savoniova turbína:

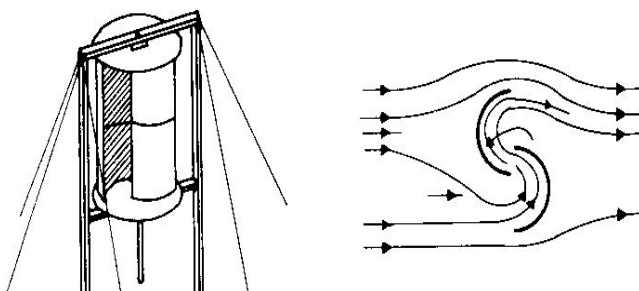
Rotor s vertikálnou osou (Savoniov rotor) je tvorený dvomi polvalcami, maximálnu účinnosť dosahuje pri rýchlobežnosti 0,9 až 1.

Výhody:

- veľmi jednoduchá konštrukcia
- nízka cena
- nereguluje sa smer vetra

Nevýhody:

- z tvaru vyplývajúca existencia dvoch mŕtvych uhlov, kde nevzniká prakticky žiadny točivý moment
- pomerne malá účinnosť



Obr.6

Savoniova turbína

Z porovnania výhod a nedostatkov Darrieovho a Savoniovho rotora jasne vyplýva, že kombináciou týchto dvoch typov je možné vytvoriť veľmi efektívny a perspektívny typ veterného motora, kde Savoniov motor zabezpečuje jednoduchý rozbeh aj pri nízkych rýchlostiach vetra a potom nastupuje Darrieov motor s omnoho väčšou účinnosťou.

1.2.1.2. Generátor

Môže byť jednosmerný, synchronný alebo asynchronný. V malých veterných elektrárnach sa zväčša používajú jednosmerné generátory vhodné pre dobíjanie akumulátorov, je možné použiť aj striedavý generátor (alternátor), ale je nutné striedavé napätie usmerniť vhodným usmerňovačom. V stredných a veľkých

veterných elektrárňach sa používajú hlavne synchronne alebo asynchronne generátory.

Výhody synchronných generátorov:

- veľká účinnosť
- nízke pracovné otáčky
- schopnosť pracovať aj pri vysokých otáčkach
- použitie pre veľký rozsah rýchlosti vetra

Nevýhody synchronných generátorov:

- vysoké počiatočné náklady v porovnaní s asynchronnými generátormi
- komplikovaný riadiaci a kontrolný systém z dôvodu pripojenia generátora na sieť (sfázovanie)

Výhody asynchronných generátorov:

- lacnejšia konštrukcia
- jednoduché pripojenie k sieti
- pri pripojení k sieti sa neprejavujú oscilačné javy
- možnosť pripojenia k sieti aj keď sa otáčky generátora líšia od synchronných až do 5 %
- možnosť použitia pri rozbehu motora elektrárne (používa sa hlavne u rýchlobežných elektrární kde je rozbehový moment nedostatočný na samostatný rozbeh)

Nevýhody asynchronných generátorov:

- pri rozbehu generátor odoberá zo siete prúd pre vytvorenie budiaceho magnetického pola, s použitím batérie alebo kondenzátorov sa strata vyrovná

2.2.1.3. Systém natáčania rotora do smeru vetra

Pri starobylých mlynoch lopatky natáčali ručne. V súčasnosti sa používajú tieto mechanizmy:

- chvostová plocha:

Plocha pevne pripojená na strojovňu elektrárne natáča rotor do smeru vetra. Tento systém je veľmi spoľahlivý a takmer bezporuchový. Nevýhodou riešenia je pri náhlych zmenách prúdenia vetra je strojovňa otočená veľmi prudko, tým

vzniká veľké namáhanie materiálu urýchľujúce opotrebenie, predovšetkým na hriadeli a celej nosnej konštrukcii elektrárne (používaná hlavne pri malých elektrárnach do 5 kW).

- bočné pomocné rotory:

System riešený dvoma menšími rotormi po bokoch strojovne, ktoré otáčajú celé telo elektrárne pomocou sústavy ozubených kolies. Pri tomto riešení je postupné otočenie bez nadmerného namáhania materiálu elektrárne.

- natáčanie pomocnými motormi:

Mechanizmy zložené zo snímacieho, hodnotiaceho, riadiaceho a akčného prvku (elektromotor). Používané pri väčších elektrárnach s ťažšou strojovňou. Výhodou je pozvoľné a presné natočenie strojovne do smeru vetra. Nevýhodou je finančná a technická náročnosť. V prípade príliš silného vetra je nutný brzdiaci mechanizmus. V zásade sú dve možnosti otočenie strojovne elektrárne do takého smeru, aby vrtuľa vyvolávala čo najmenší odpor vzduchu, alebo natočenie jednotlivých lopatiek vrtule v smere vetra.

1.2.1.4. Regulačné a kontrolné prvky

Od najjednoduchších mechanických systémov používaných v domácich verziách veterných motorov až po komplikované počítače nutné k prevádzke niekoľko megawattových elektrární existuje mnoho možností a úrovní takéhoto vybavenia.

Základný princíp použitia:

- ovládacie a kontrolné prvky (umožňujú reguláciu a kontrolu chodu elektrárne)
- systém regulácie rotora (zabezpečuje rovnomerné otáčky rotora a jej brzdenie v prípade nutnosti)
- kontrolný systém, snímače (snímanie informácií o aktuálnom stave chodu elektrárne)
- systém pripojenia k sieti (zabezpečuje pripojenie a odpojenie elektrárne k sieti)

2. Cieľ práce a metodika

2.1. Cieľ práce

Cieľom predloženej diplomovej práce je vypracovať návrh zariadenia na priamu premenu veternej energie na tepelnú energiu. Pri návrhu zariadenia vychádzam z teoretických predpokladov hydrodynamického prenosu energie tak, aby v praktickej aplikácii bol využitý jednoduchý princíp priamej hydrodynamickej premeny mechanickej energie na tepelnú energiu.

2.2. Metodika práce

- Pri navrhovaní využiteľnosti veternej energie pre priamu premenu mechanickej energie na tepelnú vychádzať z doposiaľ známych poznatkov hydrodynamiky a hydrodynamického prenosu energie.
- Teoreticky analyzovať súčasne používané hydrodynamické zariadenia na hydrodynamický prenos energie.
- Na základe teoretických analýz a prevádzkových vlastností v praxi využívaných hydrodynamických zariadení, vytypovať vyhovujúce zariadenie na priamu premenu mechanickej energie na tepelnú.
- Pri návrhu zariadenia uprednostniť jednoduché konštrukčné riešenie, vysokú prevádzkovú spoľahlivosť a cenovú dostupnosť navrhovaného zariadenia.
- Navrhované riešenie zhodnotiť po stránke funkčnej a konštrukčnej.
- Spracovať návrh na využitie zariadenia v praxi.

3. Vlastná práca

3.1. Základné pojmy a veličiny charakterizujúce prenos energie

Pri prenose energie sú rozhodujúce nasledovné funkčné prvky:

- zdroj mechanickej energie a jeho príslušenstvo, slúži na premenu primárnej energie na mechanickú
- prenosný mechanizmus t.j. ústrojenstvo zabezpečujúce prenos energie od zdroja k spotrebiču
- spotrebič mechanickej energie t.j. menič mechanickej energie na tepelnú.

3.1.1. Zdroj mechanickej energie

Zdroj mechanickej energie je vietor, ktorý svojou rýchlosťou ovplyvňuje výkon samotného zariadenia. Príroda nám poskytuje rozdielne poveternostné podmienky, pričom rýchlosť vetra sa stále mení. Veterné turbíny sú špeciálne nastavené tak, aby boli schopné využiť rýchlosť vetra od 5 do 30 m.s⁻¹. Vyššia rýchlosť by mohla turbínu poškodiť a preto sú väčšie turbíny vybavené brzdami a to buď mechanickými alebo elektromagnetickými, prípadne u malých veterných rotorov sa natáčajú v smere vetra.

Z hľadiska využitia veternej energie je predovšetkým potrebné stanoviť vzájomnú závislosť výkonu veterného motora P od konštrukčných parametrov vrtule a rýchlosti vetra v . Z doterajších poznatkov vyplýva, že vyššie uvedenú závislosť je potrebné stanoviť zvlášť pre pomalobežný a rýchlobežný veterný motor. Pre rýchlobežný veterný motor je možno pre praktické výpočty využiť vzťah (1) a pre pomalobežný vzťah (2).

Vypočítané hodnoty výkonu pre rýchlosť vetra v rozsahu 5 až 30 m.s⁻¹ a pre priemer vrtule v rozsahu 1 až 3 m sú uvedené v tabuľke 1, 2 a graficky znázornené v grafoch 1, 2.

Tab.1

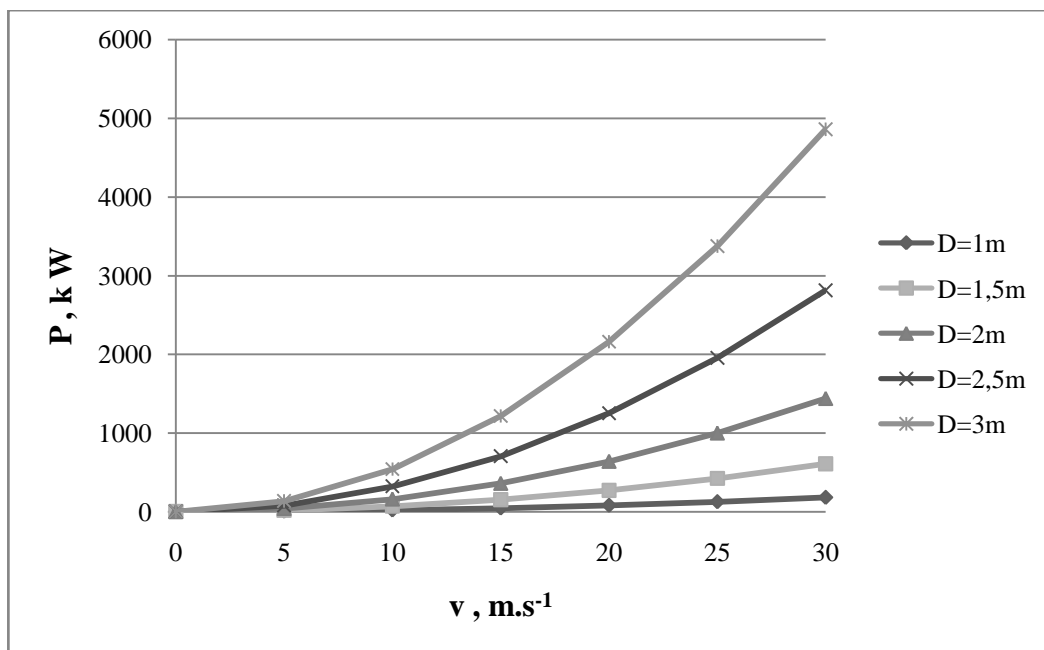
Výkon vrtule P, kW v závislosti na rychlosti vetra v, m.s⁻¹ a priemere rotora D, m pre rychlobežný rotor.

Rýchlosť vetra v	Priemer rotora D				
	1	1,5	2	2,5	3
m.s ⁻¹	m	m	m	m	m
5	5	16,875	40	78,125	135
10	20	67,5	160	321,5	540
15	45	151,875	360	703,125	1215
20	80	270	640	1250	2160
25	125	421,875	1000	1953,125	3375
30	180	607,5	1440	2812,5	4860

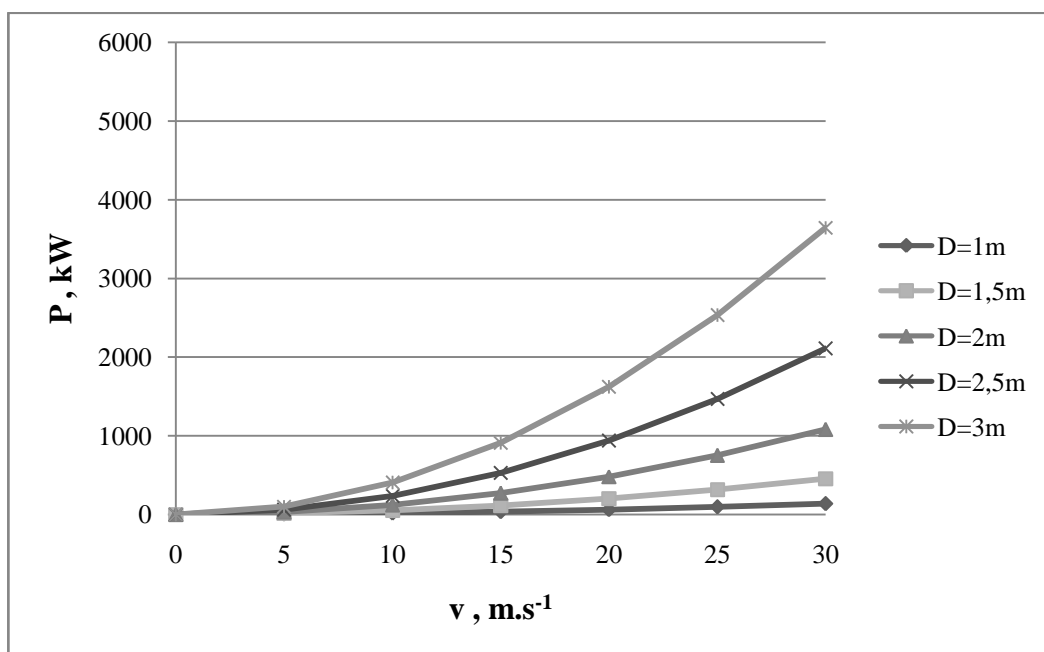
Tab.2

Výkon vrtule P, kW v závislosti na rychlosti vetra v, m.s⁻¹ a priemere rotora D, m pre pomalobežný rotor.

Rýchlosť vetra v	Priemer rotora D				
	1	1,5	2	2,5	3
m.s ⁻¹	m	m	m	m	m
5	3,75	12,656	30	58,594	101,25
10	15	50,625	120	234,375	405
15	33,75	113,906	270	527,344	911,25
20	60	202,5	480	937,5	1620
25	93,75	316,406	750	1464,844	2531,25
30	135	455,625	1080	2109,375	3645



Obr.7
Výkon rýchlobežného rotora



Obr.8
Výkon pomalobežného rotora

3.1.2. Prenosný mechanizmus zabezpečujúci prenos energie

3.1.2.1. Základné veličiny charakterizujúce prenos energie

Základnou funkciou prevodového mechanizmu je prenos a transformácia mechanickej energie vo forme rotačného alebo posuvného pohybu. Mechanická energia, resp. výkon sú charakterizované dvoma zložkami - silovou /sila - F , moment - M / a kinematickou /dráha - s , uhol natočenia - φ , uhlová rýchlosť - ω , rýchlosť - v /. Teda energiu - W , resp. výkon - P prenášaný PM môžeme pre jednotlivé druhy prenosu vyjadriť podľa známych vzťahov nasledovne:

a/ rotačný pohyb

$$W = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M d\varphi = \int_{t_1}^{t_2} M \omega dt = \int_{t_1}^{t_2} P dt \quad , \quad J \quad (3)$$

$$P = \frac{dW}{dt} = M \frac{d\varphi}{dt} = M \omega \quad , \quad W \quad (4)$$

b/ posuvný pohyb

$$W = \int_{s_1}^{s_2} F ds = \int_{t_1}^{t_2} F v dt = \int_{t_1}^{t_2} P dt \quad , \quad J \quad (5)$$

$$P = \frac{dW}{dt} = F \frac{ds}{dt} = F v \quad , \quad W \quad (6)$$

Prenos energie v hydraulickom prevode sa viaže na hmotnosť nositeľa energie (kvapalinu). V hydrostatických prevodoch sa využíva pre prenos energia tlaková, v hydrodynamických energia pohybová, v hydrotermických energia tepelná a energia deformačná je hlavnou formou energie využívanej v hydrodeformačných mechanizmoch. V hydrostatických prevodoch je nositeľom energie kvapalina, ktorej je v hydrogenerátore odovzdávaná energia daná súčinom objemu V a tlaku p , potom výkon môžeme vyjadriť takto:

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{d(V \cdot p)}{dt} \quad , \quad W \quad (7)$$

po úprave:

$$P = p \frac{dV}{dt} + V \frac{dp}{dt} \quad , \quad W \quad (8)$$

Výraz dV/dt je objemový prietok kvapaliny Q . Pre statické režimy práce platí $(dp/dt) = 0$. Potom výkon prenášaný hydrostatickým systémom môžeme vyjadriť v tomto tvare:

$$P = p \cdot Q \quad , \quad W \quad (9)$$

Pri posuvnom ustálenom pohybe pre silu platí:

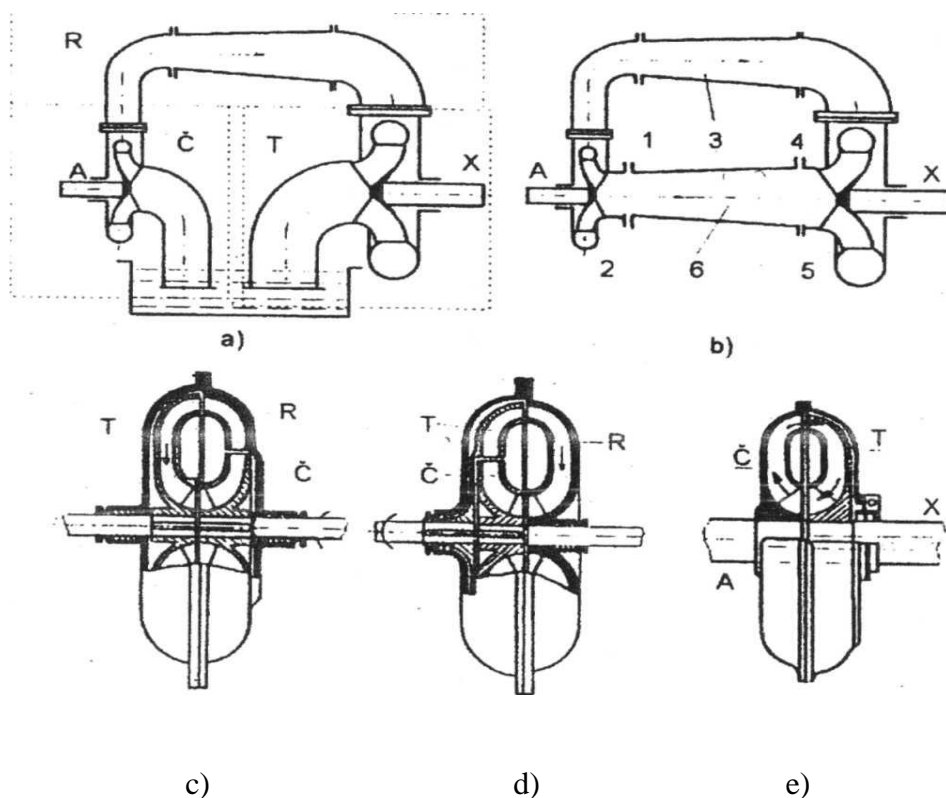
$$F = \Delta p \cdot S = (p_1 - p_2)S \quad , \quad W \quad (10)$$

Vlastnosti a kvalita kvapaliny značne vplývajú na účinnosť a spoľahlivosť prevodu. Kvapalina je určená predovšetkým na prenos energie. Okrem toho má ešte odvádzať teplo a nečistoty z hydraulického systému (hlavne v hydrostatických prevodoch), zabezpečovať mazanie pohybujúcich sa častí a ich ochranu proti korózii.

Aby boli zabezpečené tieto funkcie, musí mať kvapalina dobrú mazaciu schopnosť, objemovú stálosť, malú premenlivosť viskozity s teplotou a tlakom, odolnosť proti tvorbe mydlových tukov, ktoré napomáhajú peneniu, nízku cenu, dobrú dostupnosť atď. Žiadna kvapalina však nemá všetky požadované vlastnosti. Najviac daným požiadavkám sa približujú minerálne oleje zušľachtené rôznymi prísadami pre použitie v hydraulických prevodoch.

3.1.2.2. Princíp hydrodynamického prenosu energie

Principiálna schéma hydrodynamického prevodu (HDP) je zobrazená na Obr. 6. HDP sa skladá z čerpadla I - generátora hydraulickej energie, nositeľom ktorej je kvapalina postupujúca cez difúzor čerpadla 2 potrubie 3 a difúzor turbíny 4 do turbínového kolesa 5 hydromotora, v ktorom sa hydraulická energia opäť premení na mechanickú energiu. Tento proces sa pri práci nepretržite opakuje. Hydrodynamický prevod vznikol teda spojením dvoch hydrodynamických strojov, ktorých vlastnosti vyplývajú z rovnakých fyzikálnych princípov.



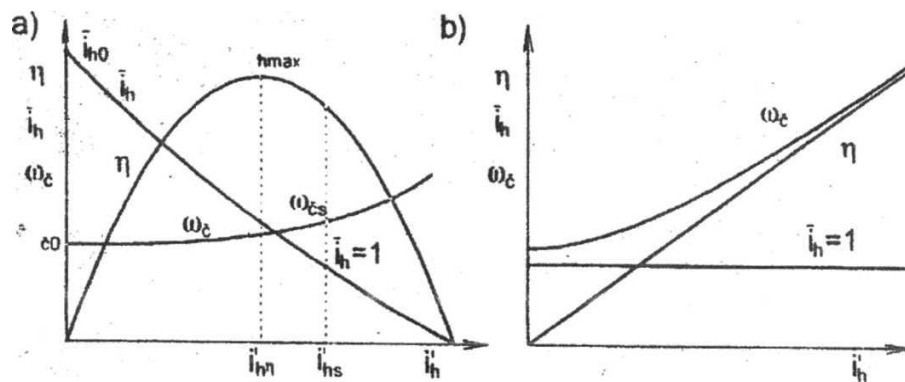
Obr.9

Principiálna schéma hydrodynamického prevodu

Na obr.10 je znázornené a) schéma spojenia čerpadla s turbínou, b) principiálna schéma hydrodynamického prevodu c), d) hydrodynamický menič krútiaceho momentu, e) hydrodynamická spojka.

Pod spoločný názov HDP zahŕňame: Hydrodynamické spojky (HDS) (u nich nedochádza k transformácii krútiaceho momentu), hydrodynamické

meniče krútiaceho momentu (MDM) (v ktorých dochádza k transformácii krútiaceho momentu) a hydraulické brzdy (retardéry). Ide vlastne o HDS, v ktorej turbínové koleso je pevne spojené so skriňou. HDP sa charakterizujú vnútornými a vonkajšími parametrami. Do vnútorných parametrov, ktoré predovšetkým zaujímajú projektanta HDP, zahrňujeme prietokové množstvo - Q a tlak -p. Do vonkajších parametrov zahrňujeme výkon - P moment - M a rýchlosť otáčania hnacieho a hnaného hriadeľa.



Obr.10

Charakteristiky hydrodynamických prevodov

Trakčné vlastnosti hydrodynamického prevodu sú dostatočne definované vonkajšími charakteristikami zobrazenými na Obr. 7a (pre hydrodynamický menič) a na Obr. 7b (pre hydrodynamickú spojku).

V zobrazených charakteristikách znamená:

kinematický prevodový pomer medzi turbínou a čerpadlom:

$$i'_h = \omega_t / \omega_\xi \quad , \quad - \quad (11)$$

momentový prevodový pomer medzi turbínou a čerpadlom:

$$i_h = M_T / M_\xi \quad , \quad - \quad (12)$$

momentový prevodový pomer medzi turbínou a čerpadlom pri $i'_h = 0$:

$$i_{h0} = M_T / M_\xi \quad , \quad - \quad (13)$$

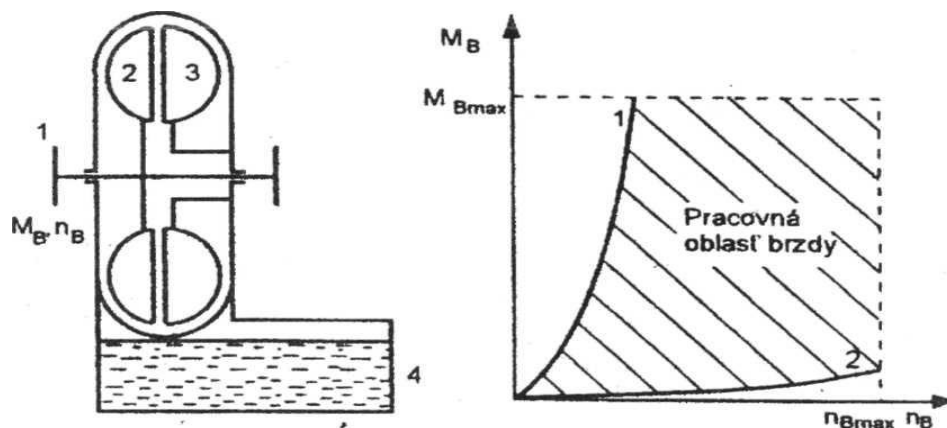
účinnosť HDP:

$$\eta_h = P_T / P_\xi = i_h / i'_h \quad , \quad - \quad (14)$$

Hydrodynamické prevody nachádzajú uplatnenie najmä v stavbe mobilných pracovných strojoch a to hlavne vo funkcii prevodu pre pojazdy. Použitie HDP vo funkcii pojazdu vyplýva zo závislosti momentu od otáčok, ktorá je podobná riebehu momentu v závislosti od rýchlosti pohybu stroja (tzv. trakčná charakteristika).

3.1.2.3. Hydrodynamická brzda

Hydrodynamická brzda využíva princíp hydrodynamickej spojky. Turbínové koleso spojky je však pevne uchytené k rámu tak, aby sa neotáčalo. Na charakteristike spojky tomuto pracovnému bodu zodpovedá maximálny sklz $s = 1$ ($i_1 = 0$). Vtedy sa celá energia dodávaná čerpadlom mení v turbínovom kolese na teplo.



Obr.11

Hydrodynamická brzda

Hydrodynamická brzda sa svojím usporiadaním podobá hydrodynamickej spojke s dvoma lopatkovými kolesami, obrátenými proti sebe. Na obr.11 je znázornená principiálna schéma, kde č.1 je brzdený hriadeľ, č.2 čerpadlové koleso, č.3 pevné koleso, č.4 nádrž a vonkajšia charakteristika. Pre Koleso 3 vo funkcii turbíny je stator, ktorý je pevnou súčasťou skrine HDS. Oproti statoru sa pohybuje koleso 2 vo funkcii čerpadlo je rotor, ktorý je poháňaný hnacím

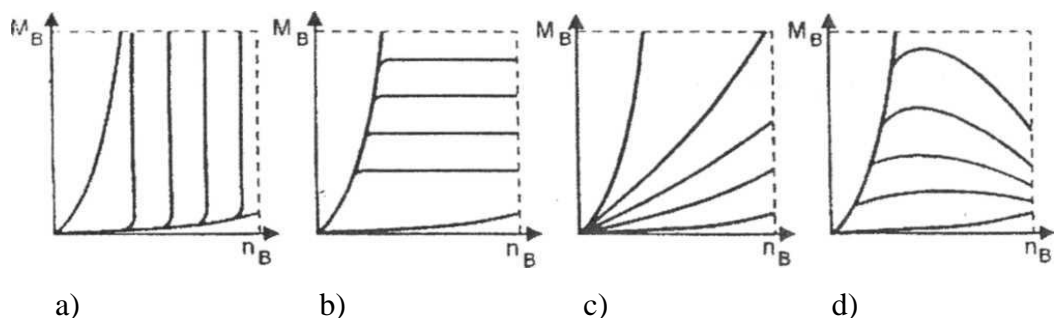
hriadeľom prevodovky alebo hnacím hriadeľom brzdeného zariadenia. Roztočený rotor unáša so sebou pracovnú kvapalinu (olej), ktorý preberá jeho pohybovú energiu. Rotujúca kvapalina sa pôsobením odstredivej sily vháňa do lopatkového priestoru statora a má snahu ho roztočiť. Pretože stator je nepohyblivý, vzniká odpor a rotor sa spomaľuje. Tým dochádza i k spomaleniu brzdeného zariadenia. Teplo vzniknuté pri brzdení sa odvádza do chladiaceho okruhu motora. Preto zariadenie s hydrodynamickou brzdou musí mať väčší chladič, výkonnejšie vodné čerpadlo a rýchlejšie reagujúci termostat. Vonkajšia charakteristika hydrodynamickkej brzdy udáva závislosť momentu vyvodzovaného brzdou na otáčkach brzdeného hriadeľa.

Brzdým momentom je moment na čerpadlovom kolese, ktorý môžeme vyjadriť v tomto tvare:

$$M_b = \lambda_B \cdot \rho \cdot n_B^2 \cdot D^5 \quad , \quad \text{Nm} \quad (15)$$

Momentový súčiniteľ λ_B v prípade spojky závisí od hydraulických pomerov v cirkulačnom okruhu, ktoré sú najviac ovplyvňované sklzom. Sklz je pri zastavenej turbíne $s = 1$ a $\lambda_B = \lambda_{B\max} = \text{konštanta}$.

Moment na čerpadlovom kolese závisí aj od objemového prietoku kvapaliny obiehajúcej v cirkulačnom okruhu. Na Obr. 9. sú znázornené štyri základné typy charakteristík regulovaných hydrodynamických brzd.



Obr.12

Charakteristiky regulovaných hydrodynamických brzd

Obr.12 a) je charakteristika brzdy regulovaná na konštantné otáčky $n_B = \text{konšt.}$, b) brzda regulovaná na konštantný brzdný moment $M_B = \text{konšt.}$, c), d) brzda regulovaná na zvolenú závislosť $M_B = f(n_B)$

3.1.2.4. Výpočet rozmerov hydrodynamickej spojky

Hydrodynamická spojka je konštrukčne najjednoduchší hydrodynamický stroj. Exaktné riešenie prúdových polí však doposiaľ nebolo uspokojivo zvládnuté. Pri riešení v súčasnosti menej používanej konštrukcie z vnútorným prstencom je použiteľný obecný postup pre návrh komplexného hydrodynamického meniča. Pre obvyklejšie riešenie bez vnútorného prstenca je konštruktér odkázaný na experimenty, resp. pri prvom návrhu na znalosti experimentálne zistených charakteristík obdobných konštrukcií. Návrh novej HDS a výpočet jej charakteristiky je práca veľmi zdĺhavá, vyžadujúca nielen mnoho hodín práce konštruktérov, ale hlavne výrobu prototypov, ich odskúšanie a úpravy, aby sa dosiahli požadované vlastnosti. Preto sa často nová spojka navrhuje na základe zákonov podobnosti podľa niektorého z existujúcich typov, ktorý má pre daný prípad vhodnú charakteristiku.

Hlavným rozmerom hydrodynamickej spojky je priemer spojky D . Maximálny priemer spojky D sa obyčajne vypočíta z podmienky, aby nová spojka prenášala maximálny výkon na prevádzkovom režime, t.j. pri sklze $s = 1,5 + 4\%$. Ak je spojka priamo spojená s hriadeľom motora, potom jej vonkajší priemer cirkulácie vyjadríme z tohto vzťahu:

$$D = \sqrt[5]{\frac{M_{\dot{\epsilon}}}{\lambda_{\dot{\epsilon}} \cdot \rho \cdot n_{\dot{\epsilon}}^2}} = \sqrt[5]{\frac{M_p}{\lambda_{\dot{\epsilon}p} \cdot \rho \cdot n_p^2}}, \quad \text{m} \quad (16)$$

kde M_p, n_p je moment, otáčky motora pri jeho maximálnom výkone. Aby boli zachované zákony podobnosti treba, aby nová spojka bola presnou geometrickou kópiou modelu, ale aby i kvapalina mala rovnaké vlastnosti (mernú hmotnosť a viskozitu). Otáčky čerpadla sa nemajú líšiť viac ako 30%, ináč medzi spojku a hnací agregát je treba vložiť prevod.

Výhody hydrodynamickej spojky v porovnaní s mechanicou spojkou sú:

- nepreťažuje hnací agregát
- tlmí dynamické rázy vznikajúce v pohone počas prenosu energie
- vysoká životnosť
- malá hlučnosť
- jednoduchá konštrukcia

Nevýhodou hydrodynamickej spojky je pomerne veľká závislosť parametrov od fyzikálnych vlastností pracovnej kvapaliny a potreba doplnkového systému pre dopĺňovanie a chladenie pracovnej kvapaliny.

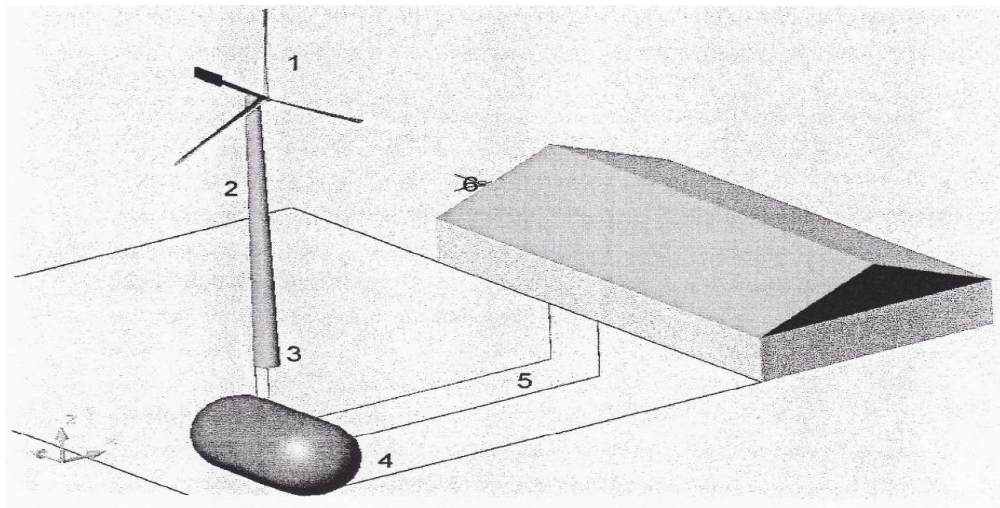
3.2. Zdôvodnenie navrhovaného riešenia

Svojim usporiadaním sa hydrodynamická brzda podobá hydrodynamickej spojke s dvomi lopatkovými kolesami otočenými proti sebe. Vpravo je rotor, vľavo stator a v dutine medzi nimi pri brzdení obieha olej. Rotor je poháňaný hriadeľom z veternej turbíny, stator je pevná súčasť skrine hydrodynamickej brzdy. Rotor roztočený hriadeľom so sebou unáša i olej, ktorý preberá jeho pohybovú energiu. Rotujúca pracovná kvapalina je pôsobením odstredivej sily vháňaná do lopatkového priestoru statoru a má snahu ho roztočiť, podobne ako je to u turbínového kola hydrodynamickej spojky. Preto že je stator nepohyblivý premieňa sa pohybová energia oleja na teplo a rotor sa spomaľuje. Tým sa spomaľuje aj veterná turbína s ktorej odoberáme energiu. Využívať hydraulickú brzdu na ohrev vody má s funkčného hľadiska veľké výhody. Životnosť zariadenia je prakticky limitovaná životnosťou ložísk a tesnenia. Hydraulická brzda je prakticky bez údržbové zariadenie. Zmena parametrov hydraulickej brzdy je možná zmenou kvapalín rôznych viskozít. Pri pohybe dochádza k treniu iba kvapaliny a pevných častí, čo nespôsobuje hluk a vibrácie. Umožňuje premieňať veľké množstvo mechanickej energie na teplo s relatívne malým zariadením. Hydraulickú brzdu je možné využiť pri správnom umiestnení vstupného a výstupného otvoru ako čerpadlo vykurovacieho systému. Automatická regulácia turbíny (zmenu rýchlosti vetra sa mení výkon turbíny a moment rotora). Rovnaká závislosť platí aj pre hydraulickú brzdu. Hydraulická brzda je vhodná pre veterné turbíny rôznych rozmerov. Jej správne využitie k danej veternej turbíne je možné

nastaviť prevodovým pomerom medzi veternou turbínou a hydraulickou brzdou, hydraulickou brzdou je možné zohrievať kvapaliny až na ich bod varu. Od 100% účinnosti treba odčítať iba mechanické straty v ložiskách. Zriaďovacia cena je v porovnaní s elektrickými generátormi je mnohonásobne nižšia.

3.3. Návrh na využitie navrhovaného zariadenia v praxi

Navrhovaný spôsob ohrevu vody je možné v praxi využívať ako doplnkovú alternatívu. Tepelná energia získaná z vetra je závislá na poveternostných podmienkach. Zariadenie musí byť v blízkosti miesta kde získané teplo využijeme, prípadne je možné kumulácie tepelnej energie v zásobníku. Pri lepšom využívaní alternatívnych zdrojov je vhodné kombinovať ohrev teplej vody so solárnymi článkami. V zimnom období je vyššia intenzita vetra pre chod turbíny, naopak v letnom období je možné využívať slnečnú energiu ohrevom vody solárnymi kolektormi. Nevýhodou slnečných kolektorov je nadmerná produkcia energie v lete ako je potrebné, čo pri dimenzovaní ich výroby vedie k vyšším nákladom na systém. Dôležitou úlohou pri navrhovaní hybridného systému je dimenzovanie výkonu, analýza spotreby energie v priebehu roka a zhodnotenie miestnych podmienok.



Obr.13

Schéma návrhu zariadenia priamej premeny veternej energie na tepelnú

Záver

Návrh zariadenia na priamu premenu veternej energie na tepelnú, ktorý je prezentovaný v predloženej záverečnej práci predstavuje jedno z riešení ako využiť jeden z alternatívnych zdrojov energie. Pri návrhu zariadenia som predovšetkým vychádzal z predpokladanej jednoduchej konštrukcie, vysokej účinnosti, spoľahlivosti a samozrejme cenovej dostupnosti. Zariadenie využíva teplo, ktoré je v bežne používaných zariadeniach nežiaduce. Praktické použitie štandardných konštrukčných prvkov bežne používaných v hydrodynamike resp. v čerpacej technike vytvára všetky predpoklady pre výrobu navrhnutého zariadenia bez zvláštnych nárokov a požiadaviek na technológiu jeho výroby. V konečnom dôsledku sa jedná o aplikáciu existujúcich hydrodynamických zariadení určených na iné účely. Preto aj navrhované riešenie spočíva skôr v oblasti aplikácie a nie v konštrukčnom riešení.

Zoznam použitej literatúry

- [1] Augusta P. a kol., Velká kniha o energii, L.A. Consulting Agency, s.r.o., Praha 2001, ISBN 80-238-6578-1
- [2] Blaha J., Brada K., Hydraulické stroje, SNTL, Praha 1992
- [3] Cenek M. a kol., Akumulátory od principu k praxi, FCC PUBLIC, s.r.o., Praha 2003, ISBN 80-86534-03-0
- [4] Cenek M. a kol., Obnovitelné zdroje energie, FCC PUBLIC, Praha 2001, ISBN 80-901985-8-9
- [5] Drábová D., Očekáváme renesanci jaderné energetiky?, Vesmír, 85, 10, 2006, str. 585 - 589
- [6] Koudelka V., Efektivní využití biomasy pro kogenerační výrobu energie, Technický týdeník, 54, 25, 2006, str. 13
- [7] Libra M., Poulek V., Solární energie, fotovoltaika – perspektivní trend současnosti i blízké budoucnosti, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2006, ISBN 80-213-1488-5
- [8] Málík L., Kučera L., Mechanické, hydraulické a hydromechanické přenosy, Edys vydavatelství Žilinskej univerzity v Žiline, 1999
- [9] Málík L., Šoška M., Hydrostaticko-mechanický přenos energie, SBM, s.r.o., Martin a Edys vydavatelství Žilinskej univerzity v Žiline, 2002
- [10] Ogdenová J. M., Vodík: palivo budoucnosti?, Československý časopis pro fyziku, 53, 3, 2003, str. 161 - 169
- [11] Zdroje elektrické energie, DVD, edice Cesty k vědě, JČMF, 2006
- [12] <http://www.seps.sk//zp/fond/1998/2.html> [citované 4.10.2010]
- [13] Energetická bezpečnosť a alternatívne zdroje energie.mht [citované 23.1.2011]
- [14] <http://www.fns.uniba.sk//zp/fond/1998/8.html> [8.10.2010]
- [15] www.fns.uniba.sk//zp/fond/2002/slnko/slnko.html [citované 16.10.2010]