



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

VYUŽITÍ VĚTRNÉ ENERGIE PRO DOPRAVU KAPALIN

UTILIZATION OF WIND ENERGY FOR DELIVERY OF LIQUIDS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Kateřina Červinková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jaroslav Štigler, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Studentka: **Kateřina Červinková**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Jaroslav Štigler, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

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

Využití větrné energie pro dopravu kapalin

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Větrná energie byla využívána od nepaměti. Trendem dnešní doby je tuto energii měnit přímo na energii elektrickou. To ovšem má svá úskalí, hlavně v jejím uchování. Historicky byla energie větru přeměňována přímo na energii mechanickou, nebo na dopravu kapalin. Tento přístup má své uplatnění i v dnešní době.

Cíle bakalářské práce:

Provést co nejrozsáhlejší řešení na využití větrné energie transformované na mechanickou nebo potenciální energii kapaliny.

Shrnout výhody a nevýhody transformace větrné energie na mechanickou energii či potenciální energii kapaliny proti transformaci na energii elektrickou.

Vytvořit přehled čerpadel, která jsou pro pohon větrnou energií používána, seznámit se s jejich konstrukcí a parametry.

Zamyslet se nad využitím tohoto způsobu dopravy kapalin.

Seznam literatury:

CENGEL, Yunus A. a John M. CIMBALA. Fluid mechanics: fundamentals and applications. 2nd ed. Boston: McGraw-Hill Higher Education, c2010. ISBN 00-772-9546-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je vypracování co nejrozsáhlejší rešerše na využití větrné energie transformované na mechanickou nebo potenciální energii kapaliny. V práci je shrnuta historie větrných čerpadel. Dále je vytvořen přehled čerpadel, která jsou pro pohon větrnou energií používána a seznámení se s jejich konstrukcí a parametry. Na závěr jsou uvedeny výhody a nevýhody transformace větrné energie na mechanickou energii či potenciální energii kapaliny ve srovnání s transformací na energii elektrickou.

KLÍČOVÁ SLOVA

Větrné čerpadlo, využití větrných čerpadel, energie větru, transformace energie.

ABSTRACT

The aim of this bachelor is developing a deep search about utilization of wind energy for delivery of liquids, which is transforming to mechanical or potential energy of the liquid. We can find history of wind pumps in this work. We can also read about pump overview, which are using for drive of wind energy, constructions and parameters. Finally they are advantages and disadvantages of transforming wind energy to mechanical energy or potential energy of the liquid against transforming to electrical energy.

KEYWORDS

Windpump, utilization of windpumps, wind energy, transformation of energy.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ČERVINKOVÁ, K. *Využití větrné energie pro dopravu kapalin*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 44 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jaroslav Štigler, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci na téma Využití větrné energie pro dopravu kapalin vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této práce.

V Brně dne: 26. 5. 2017

.....

Kateřina Červinková

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jaroslavu Štiglerovi, Ph.D. za odbornou pomoc a cenné rady. Poděkování také patří mé rodině a přátelům za podporu během studia.

OBSAH

ÚVOD	15
1 HISTORIE	16
1.1 AMERIKA.....	16
1.1.1 DANIEL HALLADAY A JEHO VĚTRNÉ ČERPADLO	17
1.2 EVROPA	19
1.3 AFRIKA	22
1.3.1 VĚTRNÉ ČERPADLO KIJITO.....	22
1.4 ASIE	25
2 POPIS FUNKCE VĚTRNÉHO ČERPADLA	26
2.1 KOLO A LOPATKY.....	26
2.2 NÁBOJ, HŘÍDEL A OJNICE	27
2.3 DLOUHÝ A KRÁTKÝ ZDVIH	28
2.4 VÁLEC S PÍSTEM	28
2.5 ZPĚTNÉ VENTILY	28
2.6 PROVOZ	30
3 TYPY ČERPADEL POUŽITÝCH PRO VĚTRNÉ MLÝNY.....	32
3.1 ROZDĚLENÍ PODLE TYPU KONSTRUKCE.....	32
3.1.1 PÍSTOVÉ ČERPADLO	32
3.1.2 ŠROUBOVÉ ČERPADLO	32
3.1.3 ZDVIŽNÁ ČERPADLA	34
3.2 ROZDĚLENÍ PODLE VYUŽITÍ.....	35
3.2.1 PRO ZÁSOBOVÁNÍ VODOU.....	35
3.2.2 NA ZAVLAŽOVÁNÍ	35
3.3 VĚTRNÉ ČERPADLO S TRANSFORMACÍ NA ENERGII ELEKTRICKOU	36
4 SPECIÁLNÍ VYUŽITÍ VĚTRNÉHO ČERPADLA	37
4.1 ZMRAZENÍ ARKTIDY.....	37
4.2 PŘEČERPÁVACÍ ELEKTRÁRNY.....	37
5 VÝHODY A NEVÝHODY TRANSFORMACE VĚTRNÉ ENERGIE	38
6 NÁVRHY NA VYLEPŠENÍ.....	39
7 ZÁVĚR	41
8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	42
9 SEZNAM OBRÁZKŮ.....	44

ÚVOD

Větrná energie byla využívána již od nepaměti. V dnešní době je trendem využívat ji pro výrobu elektrické energie pomocí větrných elektráren. Ty transformují část kinetické energie větru na mechanickou energii či práci a poté pomocí elektrického generátoru na energii elektrickou. To ovšem má svá úskalí, hlavně v jejím uchování. Výroba elektrické energie však není jediným způsobem, jak využít energii větru. Tradiční, historická, jednoduchá a někdy i výhodnější možnost je využití větru k čerpání vody pomocí větrných čerpadel, která transformují větrnou energii přímo na mechanickou energii nebo potenciální energii kapaliny.

Práce je rozdělena do 6 kapitol. První kapitola se zabývá historií větrných čerpadel. Postupně jsou zmíněny kontinenty Amerika, Evropa, Afrika a Asie. U každého z nich je pojednáno o využívání a vývoji větrných čerpadel a případně konstrukčních odlišnostech a zajímavostech. Ve druhé kapitole je podrobně rozebrána konstrukce, jednotlivé komponenty a funkce větrného čerpadla. Ve třetí kapitole je jejich rozdělení podle typu čerpadla poháněného větrným mlýnem a podle využití větrných čerpadel, přičemž pro každé ze dvou nejčastějších využití je vhodná jiná konstrukce. V posledních částech jsou postupně zmíněny myšlenky na možnost speciálního využití těchto zařízení, dále shrnuty výhody a nevýhody využití transformace větrné energie na mechanickou energii či potenciální energii kapaliny oproti transformaci na energii elektrickou a na konec vlastní nápady na zdokonalení větrných čerpadel.

V dnešní době větrná čerpadla opět nacházejí svoje uplatnění a to zejména v rozvojových zemích (např. Ghana, Keňa, Mongolsko), kde se stávají zdrojem pitné vody a v České republice u soukromníků k napájení dobytka na pastvinách a závlaze zemědělské půdy.

Cílem této práce je provést co nejrozsáhlejší rešerši na využití větrné energie transformované na energii mechanickou nebo na potenciální energii kapaliny. Srovnání výhod a nevýhod této transformace oproti transformaci na energii elektrickou, uvedení základních používaných čerpadel a zamyšlení se nad využitím větrné energie pro čerpání kapalin.

1 HISTORIE

Větrné mlýny existují už od středověku. Od pradávna nesloužily pouze k mletí obilí, ale také k čerpání vody. To se využívalo, a dnes stále využívá, pro usnadnění zavlažování polí v oblastech kolem řek a potoků, k odvodnění zaplavených oblastí nebo k čerpání vody z hlubinných vrtů pro napájení zemědělských zvířat. Během století od jejich prvního použití se větrná čerpadla stala díky jejich designu, účinnosti a spolehlivosti jedním z klíčových nástrojů v zemědělství, k získávání nové půdy odvodňováním zatopených oblastí a ve stavebnictví. [1]

Podle některých historiků spadají první větrná čerpadla do doby kolem 7. století a to do oblastí, kde dnes leží státy Irák, Írán, Afghánistán a Pákistán (Persie). Jednoduché, větrem poháněné mechanismy, zde byly využívány zejména pro zavlažování polí ležících podél řek a pro čerpání vody z hlubokých vrtů. Muslimské země tento vynález od sebe navzájem velice rychle okopírovaly a díky tomu došlo k rozšíření do Indie, Číny a odtud do celé Asie, Afriky a Evropy. [1, 6]

Ve středověké a renesanční Evropě našla tato zařízení velké uplatnění především v oblastech Nizozemska a východní Anglie. Na konci 16. století v západní Evropě čerpalo vodu a mlelo obilí tisíce větrných mlýnů. Místní vynálezci neustále zdokonalovali jejich design a účinnost, což bylo usnadněno využitím nových ozubených kol, rotorů, dokonalejších tvarů lopatek a dalších aspektů. [1, 6]

1.1 AMERIKA

Popularizace větrných čerpadel dosáhla svého vrcholu v době objevování nového světa Evropany. Největší využití našla na území dnešních Spojených států a Mexika, zejména v oblastech Kalifornie a Velkých Planin¹. V 19. století bylo na severoamerické Velké Planiny nahnáno obrovské množství hospodářských zvířat a tak byli osadníci přinuceni přestěhovat se dále na západ poté, co byla zabrána veškerá půda v okolí řek a potoků. Zde na západě, v drsném prostředí a na sluncem vyprahlých pláních, se voda nacházela často jen v hlubokých podzemních zásobnících, takže použití větrného čerpadla bylo jediným zdrojem vody. Omezené množství povrchové vody vytvořilo velkou poptávku po zařízeních, která by dokázala vyzvednout vodu z těchto hlubokých podzemních zásob. A právě tento úkol ideálně splňovala větrná čerpadla a tak zemědělský průmysl Spojených států dal možnost vzniknout velkému množství výrobců, jejichž hlavním úkolem bylo vyvíjet stále účinnější větrná čerpadla jak pro zavlažování, tak pro zásobování vodou. Také se díky tomu zemědělství rozšířilo z východu na středozápad. Dále se větrná čerpadla stavěla podél železničních tratí jako zdroj vody pro dělníky a pro pohon parních lokomotiv. Se zásobovací nádrží stála podél tratí téměř každých 5 km. Některá z těchto železničních čerpadel měla rotor o průměru přes 9 m. Rozšíření železnic vedlo ke snadnějšímu a rychlejšímu transportu zboží a tak byl umožněn další ekonomický růst. [1, 2, 6]

Nejprve byla v celé Americe používána větrná čerpadla ze dřeva, kdy byl tento materiál využit pro konstrukci věže i zásobního tanku (viz obr. 1.1). Avšak dřevo velmi rychle podléhalo vlivu počasí a času, a tak vynálezci přišli s inovací v podobě ocelové konstrukce, včetně lopatek. Použití oceli vyžadovalo mnohem méně materiálu k postavení silnější

¹ Velké planiny se rozprostírají od pánve Mackenzie v kanadské Albertě po plošinu Edwards Plateau v jižním Texasu.

a stabilnější věže čerpadla a ocelové lopatky zvýšily využití energie větru až o 30 %, takže voda mohla být čerpána již při rychlostech větru kolem 5 až 6 m/s. [1]

S největším vylepšením přišel Daniel Halladay (viz níže), který v roce 1854 představil samoregulační větrné čerpadlo, které požadovalo minimální údržbu. To obnášelo pouze jednou za rok vyměnit olej v převodovce. Během vrcholu slávy větrných čerpadel ve Spojených státech amerických, v roce 1930, jich bylo aktivně využíváno zhruba šest set tisíc. Dnes je to pouze 10 %.

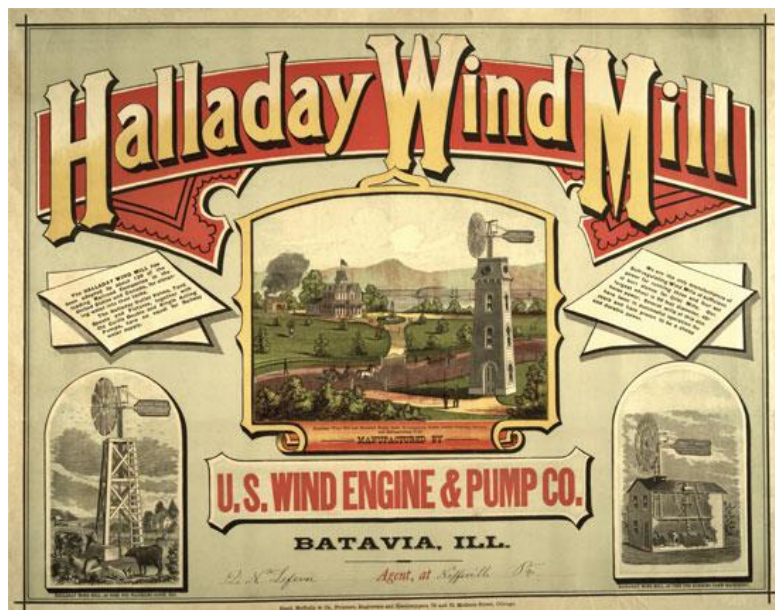


Obr. 1.1 – Větrné čerpadlo s dřevěnou konstrukcí a nádrží na vodu v USA

1.1.1 DANIEL HALLADAY A JEHO VĚTRNÉ ČERPADLO

Daniel Halladay byl americký vynálezce působící před více než 150 lety v Connecticutu. Narodil se 24. listopadu 1826 ve Vermontu. Stal se inženýrem, investorem a podnikatelem. Nejvíce se proslavil díky samoregulačnímu větrnému čerpadlu, které vynalezl v roce 1854 v Ellingtonu (Connecticut). [6]

Dřívější větrná čerpadla vyžadovala přítomnost lidí. Vždy, když se změnil směr větru, bylo potřeba lidského zásahu, aby se rotor mohl správně natočit a pokud vítr příliš zesílil, bylo třeba z lopatek sundat plachty. Věž musela být řádně ukotvena a celková výstavba byla příliš drahá. Jak již bylo výše zmíněno, Halladayův stroj požadoval pouze minimální údržbu. Na obr. 1.2 je vyobrazena reklama na Halladayovo čerpadlo.

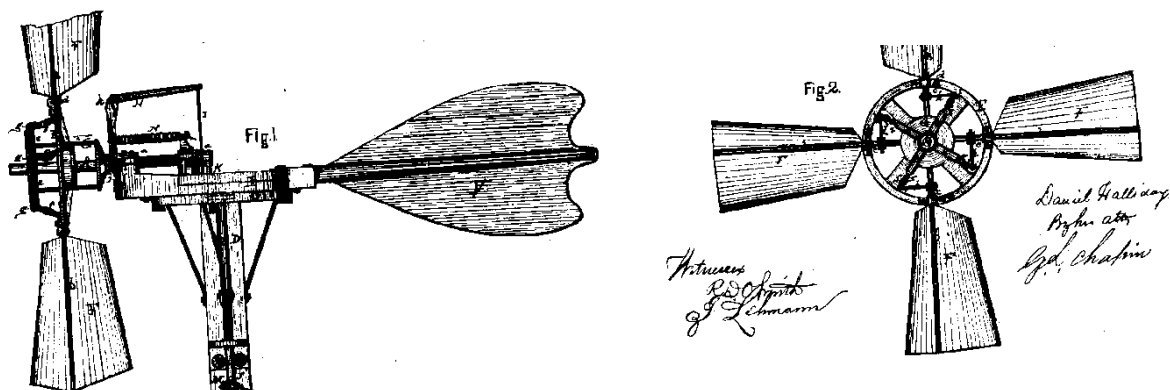


Obr. 1.2 – Reklama na Halladayovo větrné čerpadlo z roku 1876

Významný byl Halladayův vynález směrovky, něčeho jako kormidla. Pokud vítr změnil směr, směrovka natočila horní část větrného čerpadla tak, aby vítr foukal přímo na jeho rotující lopatky a účinnost tak byla co nejvyšší. Zanedlouho na to přišel s dalším významným vynálezem a to odstředivým regulátorem, který automaticky upravoval rychlost rotoru. Jednalo se o regulaci natočením lopatek. [3, 6]

Tuto regulaci si Daniel Halladay nechal v roce 1870 patentovat. Spočívala v tom, že kříž, který byl volně uložen na hlavní hřídeli, byl spojen pohyblivými klouby s rameny lopatek (viz obr. 1.3). Odstředivou silou, způsobenou silným větrem a tedy vyššími otáčkami větrného kola, se kříž vysunul vpřed a zároveň o trochu pootočil. Toto pootočení způsobilo, že pohyblivé klouby spojující kříž s rameny lopatek se sklopily, tedy působení větru byla vystavena menší plocha a větrné kolo se zpomalilo. Jakmile vítr zeslábl, pružina za kolem zajistila, aby se kříž a lopatky vrátily do původní polohy. Tedy nehrozilo nebezpečí, že by se rotor při silném větru roztočil příliš rychle a došlo tak ke zničení stroje. [28]

Tak vzniklo americké hospodářské větrné čerpadlo.



Obr. 1.3 – Náčrt větrného kola s křížem uvedený v patentu Daniela Halladaye

American farm windpump, do češtiny přeloženo jako americké hospodářské větrné čerpadlo, je jedním z nejpoužívanějších typů větrného čerpadla. Má ocelový, několikalopatkový a vějířovitý rotor, který pohání čerpadlo, jehož píst je obvykle spojen s rotorem přes redukční soukolí. Čerpadlo bývá umístěno přímo nad vrtem. Toto větrné čerpadlo se jen málo podobá evropským mlýnům. Na rozdíl od holandského mlýna, který může načerpat až 80 000 litrů vody za hodinu s dopravní výškou 5 m, nová yankeeská konstrukce dokáže vodu nečerpat z hloubky desítek metrů pod povrchem. Vynálezcem tohoto stroje je již zmiňovaný Daniel Halladay. [6]

Největší boom těchto větrných čerpadel trval přes 50 let. Mezi roky 1880 a 1935 jich bylo prodáno přes 6 milionů od asi 20 výrobců. Avšak na počátku 30. let s příchodem federálně dotované energie do vzdálených farem a usedlostí se muselo spoustu větrných kol zastavit. REA² umožnil, že lidé používající elektrická čerpadla mohli získat 100 až 150 litrů vody za minutu. To ukončilo éru větrných čerpadel. V roce 1970 ve Spojených státech existovaly pouze 3 společnosti, které dále vyráběly větrná čerpadla: Aermotor, Dempster a Baker Monitor. [6]

Dnes je na světě těchto větrných čerpadel pravidelně využívaných odhadem jeden milion, přičemž největší čísla patří Austrálii a Argentině, kde navázali na tento americký typ. Je třeba poznamenat, že tato větrná čerpadla jsou dnes jen zřídka využívána pro zavlažování půdy. Největší využití mají pro účely, pro které byly původně vyvinuty a to napájení dobytka a v menší míře pro zásobování farem vodou. Z tohoto důvodu mají tendenci být použity pro velké průtoky, typicky od desetimetrové do stometrové hloubky vrtů. Velká větrná čerpadla dokáží čerpat vodu až z hloubky 200 m. V posledních letech je vyvíjeno značné úsilí pro stavbu a vývoj konstrukce nových typů větrných čerpadel, které mají vyšší stupeň účinnosti přeměny větrné energie. Stará větrná čerpadla dokázala využít pouze 30 % z větrné energie, kdežto dnešní moderní dokáží dokonce až 40 %³. [1, 6]

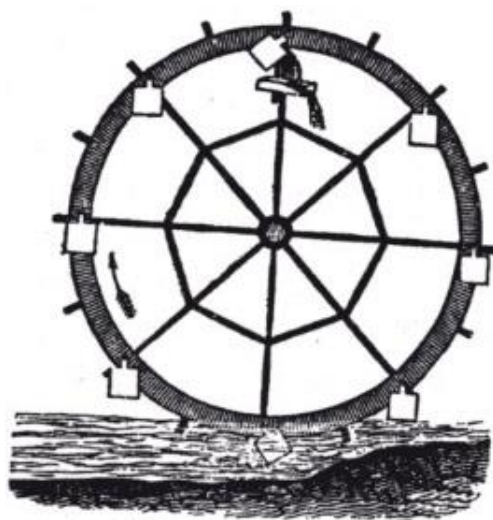
1.2 EVROPA

Simon Stevin, nizozemský matematik, fyzik a inženýr, navrhnul vylepšení systému větrných čerpadel pro záběr ozubených kol tak, aby se kola pohybovala pomalu. Podstatou vylepšení bylo použití převodu. Tato zlepšení zvýšila účinnost větrných čerpadel využívaných pro odčerpávání vody z poldrů až o trojnásobek. Na tuto inovaci získal Simon Stevin v roce 1586 patent. [2]

Ve Španělsku, v regionu Murcia, byla čerpadla používána pro získávání vody na zavlažovací účely. Obvykle měla osm až deset lopatek. Pohon od rotoru větrného čerpadla byl veden dolů přes věž a zpět ven skrz stěnu, aby otáčel velkým kolem nazvaným Noria (viz obr. 1.4). Jednalo se vlastně o typ zdvižného čerpadla a to konkrétně korečkového.

² Rural Electrification Administration – zákon o venkovské elektrifikaci z roku 1936 o poskytnutí federální půjčky na instalaci rozvodných systémů pro izolované venkovské oblasti Spojených států.

³ Výkon větru se spočítá podobně jako v případě proudění vody: $P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^3$, kde ρ je hustota vzduchu, S je plocha kola a v je rychlost větru.



Obr. 1.4 – Ilustrace kola nazvaného Noria s naběracími nádobami

Větrné čerpadlo bylo napojené na korečkový řetěz, který visel dolů do studny nebo vrtu. Korečkový řetěz je řetěz nebo lano, na které jsou připevněny naběrací nádoby. Ty bývaly tradičně vyrobeny ze dřeva nebo hlíny. Tento řetěz se díky pohybu větrného kola otáčel a procházel pod vodní hladinou, díky čemuž byly naběrací nádoby naplňovány vodou a pohybem řetězu vytahovány nahoru. Zdvíhací čerpadla jsou podrobněji popsána v kapitole 3.1.3. Tato větrná čerpadla zůstala v provozu přibližně až do roku 1950 a mnohé z věží dnes ještě stále stojí. Menší větrná čerpadla, většinou ze dřeva, se využívala k čerpání mořské vody na solných farmách (Francie, Španělsko) a dnes najdou svoje využití například v Kapverdách v Atlantském oceánu. Zajímavostí je, že existuje také kolo Noria poháněné vodním proudem, nikoliv větrnou energií (viz obr. 1.5). [2]



Obr. 1.5 – Kolo Noria (zde poháněno vodním proudem, nikoliv větrnou energií)

Svémi větrnými mlýny je dobře známé Nizozemsko. Ve skutečnosti většina z těchto ikonických staveb, které jsou umístěny podél okrajů poldrů, což jsou vodní díla sloužící k protipovodňové ochraně, jsou větrná čerpadla. Ta jsou navržena tak, aby odčerpávala vodu z nížin, mokřadů a ze zaplavených oblastí. Načerpaná voda je vypuštěna zpět do řek a půda ležící původně pod hladinou může být využita pro hospodářské účely. Takových oblastí je v Nizozemsku velké množství, protože velká část území leží pod hladinou moře. První zmínky využití těchto čerpadel na odvodňování poldrů pochází ze 13. století. [2]

Ve Velké Británii se výraz větrné čerpadlo (*the windpump*) příliš nepoužívá. Mnohem častější je označení jako větrný mlýn (*the windmill*). Mnoho větrných mlýnů bylo postaveno v národním parku The Broads. Tento park leží na jihovýchodě Anglie a je to plochá krajina protkaná řekami a četnými umělými průplavy. Dalším místem je The Fens, venkovská oblast severně od Cambridge. Většina těchto větrných mlýnů je dnes nahrazena naftovými nebo elektrickými čerpadly. Mnoho staveb stále stojí, i když se nachází v dezolátním stavu a jen některé z nich byly obnoveny. [2]

Asi 50 000 větrných čerpadel bylo před 40 lety použito v oblasti kolem Středozemního moře za účelem zavlažování. Tato čerpadla byla postavena podle amerického ocelového vzoru, ale většina z nich měla místo ocelových lopatek trojúhelníkové plachty napnuté na ocelových tyčkách (viz obr. 1.6). Tento typ rotoru s plachtami byl po mnohá staletí používán právě v oblasti Středozemního moře, dnes je ale znám pod názvem „krétský větrný mlýn“ (*Cretan Windmill*). [2]



Obr. 1.6 – Rotor krétského větrného čerpadla s typickými plachtami místo lopatek

Během posledních 30 let však vzrostla prosperita kombinace levnějších motorů a paliva a to u místních farmářů vedlo k odstupování od větrných čerpadel výměnou za malé motory nebo k využití elektřiny. Nicméně Kréta je dnes stále známá jako země, kde se větrná čerpadla hojně využívají. Ještě donedávna jich tu bylo něco kolem 6 000, nejčastěji právě ty s plachtou. Dnes je to pouze kolem jednoho tisíce. [2]

Také na území České republiky našlo čerpání vody pomocí větrné energie svoji tradici. V roce 1893 založil strojník Antonín Kunz v hranicích na Moravě továrnu na větrná čerpadla. Ta byla vyráběna v několika výkonových řadách, bez velkých nároků na údržbu a s jistou spolehlivostí. Svoje využití našla na statcích, v zahradnictvích, v průmyslových závodech nebo pro napájení zásobníků pitné vody u obecních vodovodů. [15]

V Česku byly postaveny desítky těchto větrných čerpadel, dochovalo se jich však méně než deset a to jako technické památky. Většina jich je na Moravě – nejzachovalejší jsou v Radíkově u Hranic, ve Vedrovicích a ve Višňovém na Znojemsku. V dnešní době funkční čerpadlo se nachází v obci Chlum u Třebíče, ale původní větrné kolo bylo roku 2010 nahrazeno větrným kolem značky „Floriš“. [15]



Obr. 1.7 – Reklama nabízející Kunzovo větrné čerpadlo

1.3 AFRIKA

V Keni a podobných afrických státech se větrná čerpadla stala obrovským pomocníkem. Ženy zde totiž někdy musí chodit pro vodu více než hodinu nebo stát dlouhé fronty u obecní studny. Na konci roku 1970, „The UK NGO Intermediate Technology Development Group“ poskytla keňské firmě Bobby Harries Engineering Ltd. podporu pro rozvoj větrných čerpadel „Kijito“. Tato firma dnes větrná čerpadla stále vyrábí a více než 300 z nich je umístěno v celé východní Africe. [2]

1.3.1 VĚTRNÉ ČERPADLO KIJITO

Kijito (viz obr. 1.8) je název pro typ větrného čerpadla vyráběného v Keni, kde panují příznivé povětrnostní podmínky a téměř vždy využití větrného čerpadla vyjde levněji než jiné možnosti k získání vody. [8]

Větrná čerpadla jsou současně k dispozici v pěti velikostech rotorů: 3,66 m; 4,88 m; 6,10 m; 7,32 m; 7,93 m. Oproti starším modelům mají vysokou účinnost a v případě poškození jsou lopatky rotoru snadno vyměnitelné. Pohyb je z rotoru na čerpadlo přenášen klikovým mechanismem.



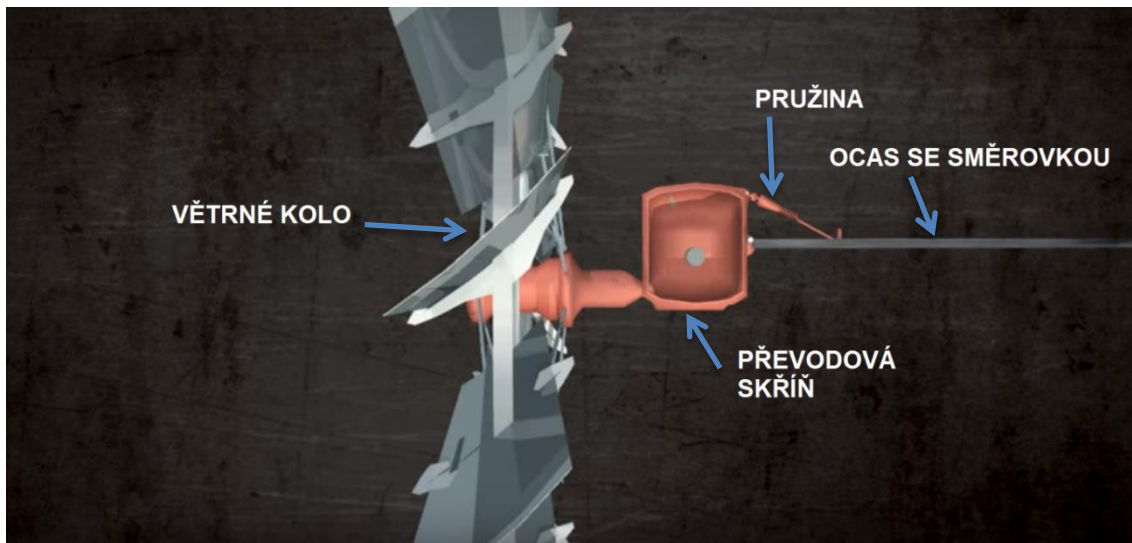
Obr. 1.8 – Větrné čerpadlo Kijito vyráběné v Keni

Směrovka (kormidlo) je nastavena tak, aby v případě poryvů dosahujících vyšších rychlostí natočila větrné kolo bokem proti směru větru. Jedná se o již druhý způsob regulace. Spočívá v tom, že hřídel (osa) větrného kola pevně spojená s převodovou skříní a ocas se směrovkou neleží v jedné přímce, ale jsou vzájemně posunuty, tak jak je tomu na obr. 1.9. Pokud tedy vane silný vítr, na jednu polovinu kola působí větší moment, který způsobí vychýlení kola na stranu (viz obr. 1.10). Tímto natočením ze směru větru se kolo téměř nebo úplně zastaví. Jakmile vítr poleví, pružina spojující ocasní část s převodovou skříní způsobí, že se kolo vrátí do původní polohy. Nejvyšší přípustná rychlost větru je 45 m/s, což podle Beaufortovy stupnice odpovídá orkánu (ničivé účinky, kdy vítr odnáší střechy a hýbe těžkými hmotami). Standardní výška nosných věží je 9 m, nicméně je možné prodloužení za účelem zvětšení výkonu. [8]

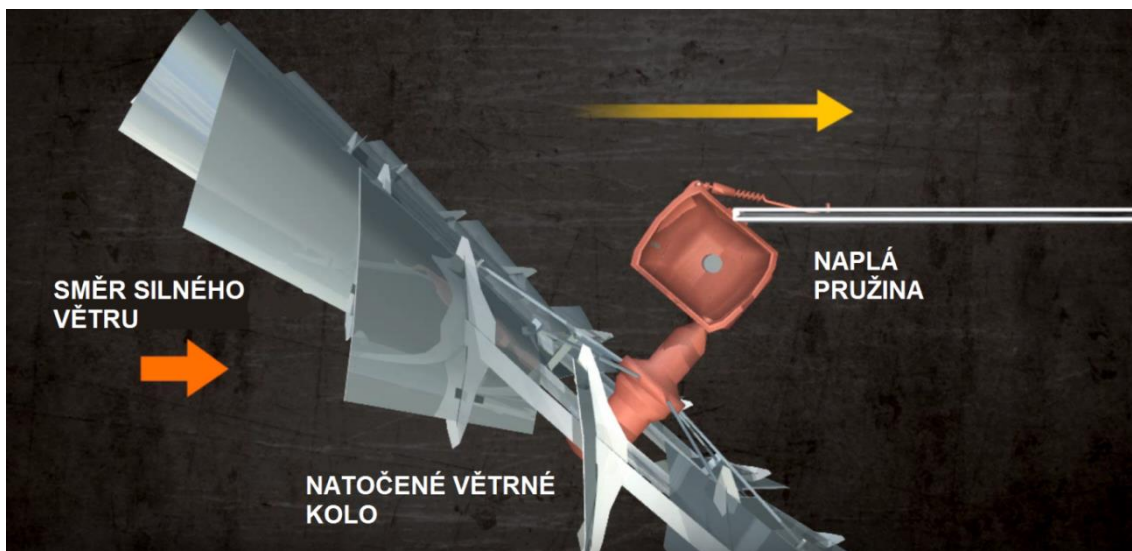
Zachycená energie větru odpovídá ploše rotoru větrného čerpadla⁴. Proto stroj s rotorem o průměru dvakrát větším než jiný dokáže načerpat čtyřikrát větší objem vody

⁴ Energie větru se stejně jako u proudění kapaliny počítá jako kinetická energie.

za daných provozních podmínek. U tohoto větrného čerpadla k roztočení rotoru stačí vítr o rychlosti 4 m/s a minimální provozní rychlost větru je 2,5 m/s. [8]



Obr. 1.9 – Pohled na větrné kolo shora zobrazující posunutí hřídele větrného kola (osy) a ocasu se směrovkou



Obr. 1.10 – Vychýlení kola na stranu vlivem silného větru

1.4 ASIE

Větrná čerpadla našla také využití v jihovýchodní Asii, zejména v Číně, kde byla využívána dříve než v Evropě. Jejich hlavním účelem bylo zavlažování půdy nebo čerpání mořské vody do nádrží, ze kterých se voda na slunci následně nechávala vypařit a získávala se tak sůl. Čínské větrné čerpadlo bylo poprvé použito před více než tisíci lety a dodnes stále funguje v provinciích Hubei, Henan a Severní Jiiangsu. [2]

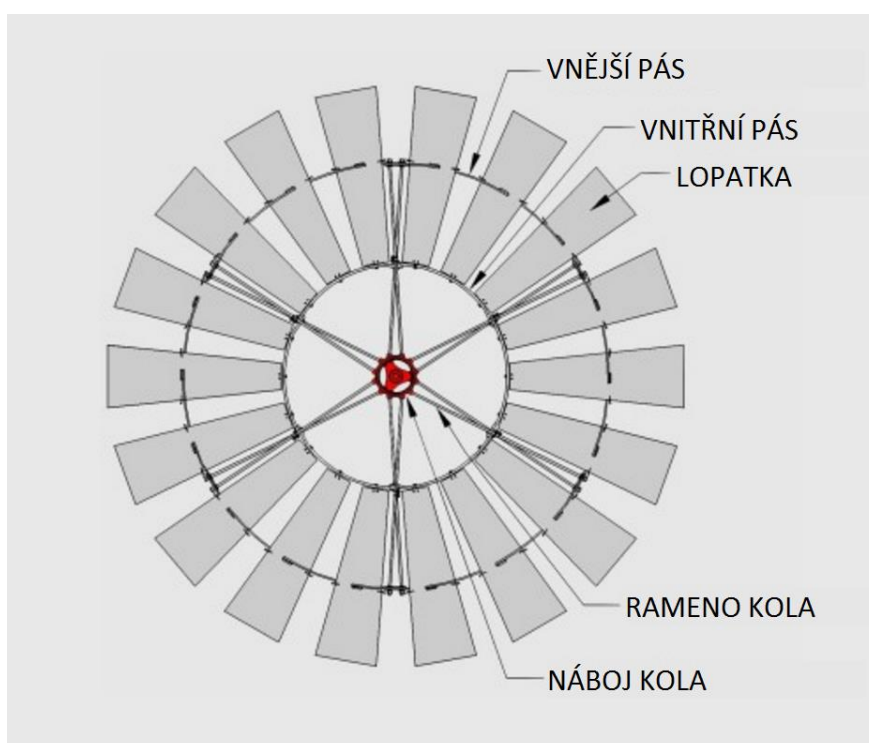
Tradiční čínský design se skládá z bambusových tyčí vyztužených drátem, na které jsou upevněny látkové plachty. Obvykle se používá korečkové čerpadlo, zde lidově nazvané jako „dračí páteř“. Většina čínských větrných čerpadel byla konstruována tak, aby se spoléhala na to, že vítr vane stále ze stejného směru. Rotor byl tedy pevně zafixován a nemohl se otáčet, pokud se změnil směr větru. Mnoho stovek větrných čerpadel podobné konstrukce bylo také používáno na solných pánvích v Thajsku. [2]

2 POPIS FUNKCE VĚTRNÉHO ČERPADLA

Nejběžnější systém pro čerpání vody pomocí energie větru je zcela mechanický. Typicky se skládá z ozubených kol, ojnice, ventilů a válce s pístem a využívá vysoký točivý moment rotoru pro pohyb vody.

2.1 KOLO A LOPATKY

Kolo větrného čerpadla se skládá ze dvou nebo více ocelových pásů spojených s nábojem rameny kola (viz obr 2.1). Na pásy jsou namontovány zakřivené lopatky tak, aby byly ve správné poloze a úhlu a mohly tedy co nejlépe zachytit energii větru. Tyto pásy také poskytují celému kolu oporu a během silného větru, kdy zvyšujícími se otáčkami narůstá odstředivá síla, jej drží pevně pohromadě. [9]



Obr. 2.1 – Kolo větrného čerpadla

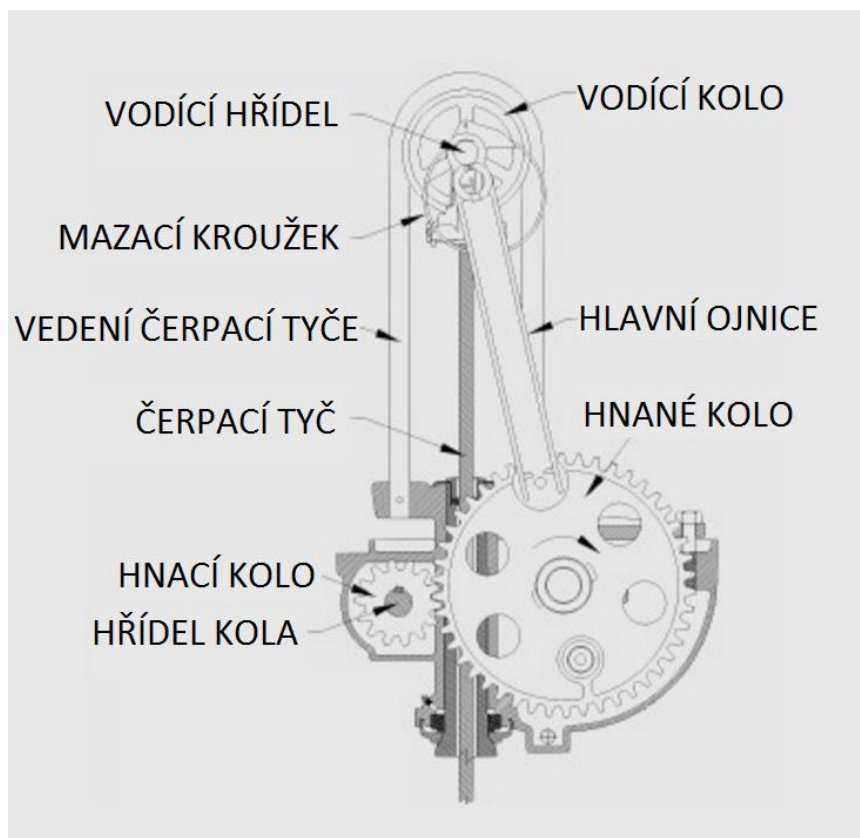
Mnoho větrných čerpadel používá vícelopátkové větrné kolo, které má většinou 15 až 40 pozinkovaných ocelových lopatek otáčejících se na hřídeli, kdežto větrné elektrárny mívají pouze dvě nebo tři. Provozní otáčky jsou na rozdíl od větrných elektráren vyšší. Široké lopatky na větrných čerpadlech jsou navrženy tak, aby se kolo mohlo otáčet již za velmi slabého vánku. Uvádí se minimální potřebná rychlost větru v rozmezí kolem 2 až 3 m/s. Když vítr prochází otvory mezi jednotlivými lopatkami, vytváří se na přední straně lopatek přetlak. Jakmile vítr projde kolem, vytvoří se za lopatkami oblast nízkého tlaku. Tento rozdíl tlaku působí silou na lopatky a to zapříčiní jejich otáčení. Tato konstrukce zajišťuje

vysoký krouticí moment při velmi nízkých rychlostech větru. Vzhledem k tomu, že povětšinou je rychlost větru nízká, je nezbytné, aby větrná čerpadla dokázala za těchto podmínek pracovat. [6, 9]

2.2 NÁBOJ, HŘÍDEL A OJNICE

Náboj ve středu kola je připojen na hlavní hřídel převodové skříně. Jakmile se větrné kolo začne otáčet, roztočí se i hřídel, která je podepřena ložisky. Hlavní hřídel pohání hnací soukolí označované jako pastorky. Hnací ozubená kola pohání hnaná ozubená kola. Ty svým rotačním pohybem působí na hlavní ojnice, která se díky tomu pohybuje nahoru a dolů (velmi podobně jako kliková hřídel, ojnice a píst v motoru automobilu). Hlavní ojnice přenáší tento pohyb na vodící kolo a další součásti připojené na hřídel vodícího kola. Tím se převádí rotační pohyb na přímočarý vratný pohyb. Uspořádání těchto součástí je vyobrazeno na obr. 2.2. [9]

Mazací kroužek je jedním z mnoha speciálních zařízení používaných k mazání různých částí. V tomto případě je olej přiváděn z vnější strany hnaných ozubených kol až k vodícímu kolu a hřídeli. Aby byl dokončen jeden cyklus, musí se větrné kolo tradičních amerických větrných čerpadel otočit přibližně 2-3 krát. To znamená, že využívají určitý převodový poměr do pomala, díky kterému je zvyšována jejich účinnost. [9]



Obr. 2.2 – Čerpací tyč v horní poloze

2.3 DLOUHÝ A KRÁTKÝ ZDVIH

Vodící kolo zde nahrazuje kluzátko a zaručuje dokonalou přímočarost pohybu. Udrží čerpací tyč tak, aby se po celé délce zdvihu pohybovala v přímočarém směru. Poloha hnaného kola vůči ojnici má dva typy zdvihu, a to dlouhý a krátký. Poloha hnaného kola a ojnice na obr. 2.2 umožňuje dlouhý zdvih, který je běžný a používá se při normálních větrných a vodních podmínkách. Pokud se ojnice na hnané kolo upevní do nižší polohy, tedy do spodní sady otvorů na horní části ojnice, bude čerpadlo pracovat s krátkým zdvihem. Tento zdvih se využívá pro čerpání vody při nízkých rychlostech větru nebo je-li potřeba načerpat vodu do vyšší výšky, než je obvyklé. To je výhodné hlavně v případech, kdy ve studni poklesne hladina vody nebo dlouhodobě fouká slabý vítr. [9]

Některá větrná čerpadla využívají dvě sady ozubených kol a hlavních ojnic. To má výhodu v rozdělení zátěže tak, že na každé hnací kolo a ojnici jí připadá pouze polovina. Tím se prodlužuje životnost a zvyšuje efektivnost čerpacího mechanismu. Převodovka větrného čerpadla zajišťuje pohyb a zdvihací síly potřebné k načerpání vody ze studny. Čerpadlo zvedá celý sloupec vody z vodní hladiny na dně studny a proto je potřeba, aby větrná čerpadla měla silný a účinný mechanismus. [9]

2.4 VÁLEC S PÍSTEM

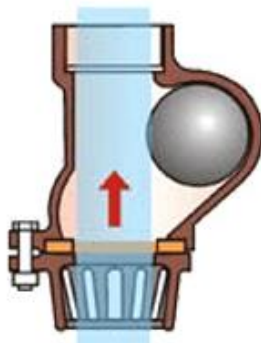
Ke spodní části závěsné trubky je připojen válec s utěsněným pístem, který se nachází pod vodní hladinou. Píst je jednoduchý a má dva zpětné ventily. Vložka válce bývá nejčastěji vyrobena z nerezavějící oceli s leštěným vnitřním povrchem a bývá vložena do pouzdra z pozinkované oceli. Dřívější větrná čerpadla používala pístová těsnění vyrobená z kůže. Tato těsnění byla výhodná z hlediska životnosti, kůže vydržela v dobrém stavu několik let. Velkou nevýhodou bylo tření při práci na stěně válce, což snižovalo účinnost až o 50 %. Dnešní moderní těsnění jsou výhradně z polyuretanu nebo polyetyleny. Tento materiál snižuje zatížení převodovky a ložisek, umožňuje větrnému čerpadlu pracovat při nižších rychlostech větru, čerpat vodu ve vyšším tempu a prodlužuje životnost těsnění až o 100 %. Čerpadla pro mělké studny (do 20 m) se vyrábí se dvěma pístovými těsněními, čerpadla používaná pro čerpání z hlubokých studní se 3 až 4 těsněními. [7, 9]

2.5 ZPĚTNÉ VENTILY

Jednosměrné zpětné ventily umožňují průtok pouze jedním směrem, v druhém směru průtoku jsou těsně uzavřeny. V propustném směru je pro ně typický malý odpor pro proudící kapalinu. U pístových čerpadel se používají jednosměrně protékané uzavírací orgány, v tomto případě samočinné zpětné ventily. Jsou vhodné pro vysoké hodnoty tlaků a mohou být použity i pro čerpání znečištěných kapalin. Nicméně dokážou pracovat jen při nižších otáčkách rotoru. Důvodem je setrvačnost ventilů, adhesní síly v sedle ventilu a s tím související špatné plnění činného prostoru i možnost vzniku kavitace. Jsou vyrobeny z kvalitních materiálů, jako je chromniklová ocel nebo bronz. [4, 14]

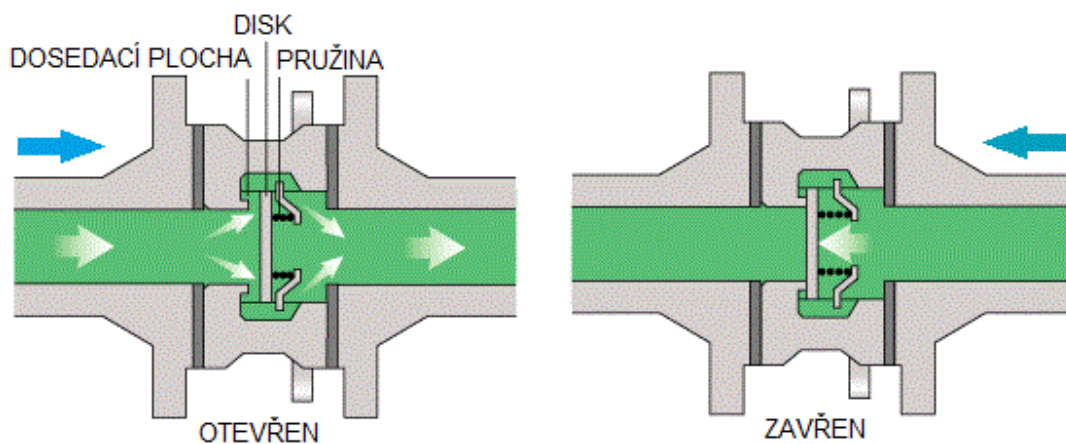
Tvar ventilů závisí na pracovních podmínkách. Nejčastěji se používají ventily s pružinou, které mají lepší dynamické vlastnosti než ventily bez pružiny. Talířové (deskové) ventily jsou vhodné pro větší průtoky. Pro čerpání kapalin s pevnými příměsemi, což mohou být různé nečistoty, jako například zrnka písku ve vodě, jsou vhodné ventily kulové, využívané u menších čerpadel. Ventily bez pružiny se používají při nízkých otáčkách. [4, 9]

Kulový zpětný ventil využívá kuličku, plovoucí nebo připevněnou k pružině, která zakrývá kruhový otvor. Když je voda nasáta, kulička je proudem vtlačena vpřed. Jakmile je kapalina pohybem pístu zatlačena zpět, kulička je přitlačena na kruhový otvor a vytvoří těsnění, takže je zabráněno protečení vody zpět dolů a tedy dalším zdvihem pístu je vytlačena ven. Na obr. 2.3 je ilustrace vysvětlující princip činnosti kulového zpětného ventilu. [14]



Obr. 2.3 – Kulový zpětný ventil

Talířový zpětný ventil je složitější. Funguje s diskem namontovaným na pružině. Tlak na vstupu vyvolaný klesajícím pístem otevře disk tím, že natáhne pružinu. Jakmile se píst dostane do dolní polohy, tlak povolí, pružina se stlačí a disk se dostane do zavřené polohy. Tyto ventily mohou být instalovány v libovolné poloze, tedy i ve svislé. Jsou levnější než ostatní, protože jsou menší. Ilustrace vysvětlující princip činnosti tohoto ventilu je na obr. 2.4. [14]



Obr. 2.4 – Talířový zpětný ventil

2.6 PROVOZ

Některá větrná čerpadla jsou vyráběna ve dvou konfiguracích – s otevřenou nebo uzavřenou horní částí. Otevřená horní část umožňuje odpojení čerpací tyče od mechanismu a její snadné vyjmutí, aniž by bylo nutné odstranit trubku, v níž je uložena. To usnadňuje například výměnu pístových ventilů. Volitelný odnímatelný zpětný ventil umožňuje otáčení pístu a jeho poklesnutí tak, aby došlo ke spojení pístu a ventilu. V případě údržby tak mohou být obě součásti vytaženy na povrch současně, aniž by muselo dojít k rozebrání celého potrubí studny. [9]

Průměrné větrné čerpallo (průměr kola od 1,8 m do 2,5 m) otáčející se při čerstvém větru (8 m/s až 11 m/s) dokáže načerpat přibližně 15 litrů vody za minutu⁵. V mnoha oblastech fouká odhadem kolem 35 % času z celého dne. Z toho vyplývá asi 7 560 litrů za den. [6]

Další příklad výstupu je uveden s použitím kola o průměru 3,0 až 3,7 metrů při zdvihu vodního sloupce do výšky 30 m (vzdálenost hladiny vodní nádrže od úrovně vody ve studni). Toto větší větrné čerpadlo dokáže načerpat v průměru 22 500 litrů vody za den nebo přepočteno na 8,2 milionu litrů (8 212,5 m³) vody za rok. Tento údaj je založený na mírném větru (5 m/s až 8 m/s), při němž se kolo otáčí pouze z poloviny kapacity a na čerstvém větru (fouká kolem 30 % času za rok), při kterém kolo běží na maximum své kapacity. [6]

Rychlost větru má významný dopad na kapacitu větrného čerpadla. Jak zde již bylo zmíněno, pod určitou rychlost se kolo s lopatkami nemůže otáčet, protože vítr je příliš slabý. Naopak při vyšších rychlostech větru (záleží na konkrétním modelu větrného čerpadla), což je kolem 12 až 16 m/s, je zabráněno nadměrné rychlosti otáčení pomocí natočení kola směrovkou z hlavního směru větru. Toto opatření chrání konstrukci před poškozením, ale zároveň omezuje míru načerpané vody bez ohledu na to, jak rychle vítr fouká. [6]

Při konstrukci čerpadla je důležitá správná volba velikosti (průměru) rotoru a vhodného tvaru lopatek v poměru k velikosti pístu vodního čerpadla. Několikalopátkové rotory jsou nejčastěji k dispozici ve velikostech od 1,5 m do 5 m (mohou být až kolem 9 m) a průměry hřídele vodního čerpadla jsou v rozsahu od 20 mm do 125 mm. Je důležité, aby byla zvolena správná velikost průměru rotoru vůči velikosti pístu vodního čerpadla. Pokud by byl použit například velký průměr pístu vodního čerpadla na malý průměr rotoru a vál by příliš slabý vítr, nevznikl by dostatečný krouticí moment, který je potřebný ke zvednutí vody procházející širším pístem do požadované výšky. To je v důsledku toho, že vodní čerpadlo funguje jako brzda do té doby, než vítr dosáhne určité rychlosti a rotor bude schopen vytvořit dostatečný krouticí moment potřebný pro čerpání vody. Na druhou stranu, pokud by byl použit malý průměr pístu vodního čerpadla vůči rotoru s příliš velkým průměrem, čerpadlo by dodávalo jen zlomek požadovaného objemu, který by odpovídal energii větru. [12]

Na každé větrné čerpadlo o různé velikosti a typu připadá jiná optimální rychlost větru. Počet lopatek v kole čerpadla zvyšuje jeho citlivost na nízké rychlosti větru. To znamená, při jak slabém vánku se dokáže kolo uvést do pohybu. Hlavními faktory jsou průměr rotoru (kola), hloubka vodní hladiny ve studni, požadovaná výška, do které se má voda načerpat, a průměr pístu. Tyto faktory mají významný vliv na jeho výstupní kapacitu. [6, 9]

Na obr. 2.5 lze vidět jednotlivé umístění komponent.

⁵ Zde zdroj bohužel neuvádí hloubku, ze které je voda čerpána.

3 TYPY ČERPADEL POUŽITÝCH PRO VĚTRNÉ MLÝNY

V této kapitole bude uvedeno rozdělení větrných čerpadel podle typu konstrukce a podle využití. V podkapitole 3.1 budu pojednáno o jednotlivých typech čerpadel, která se používají k samotnému čerpání, jsou poháněna větrnými čerpadly a většinou jsou umístěna pod povrchem země ve studni (výše označováno jako vodní čerpadlo). Větrným čerpadlem je myšlena celá konstrukce, která tato čerpadla pohání (věž, větrné kolo).

3.1 ROZDĚLENÍ PODLE TYPU KONSTRUKCE

Používáme čerpadla objemová, která pro dopravu kapaliny využívají přímočarý nebo rotační pohyb. Drtivou většinu větrem poháněných čerpadel dnes tvoří dva základní konstrukční typy: pístové čerpadlo a šroubové čerpadlo. Méně používaný typ je zdvižné čerpadlo.

3.1.1 PÍSTOVÉ ČERPADLO

Rotor větrného čerpadla je spojen s převodovou skříní a klikovým hřídelem, který převádí rotační pohyb rotoru na vratný pohyb nahoru a dolů čerpací tyče. Ta je na dně vrtu spojena s pístem pístového čerpadla. Když se píst pomocí čerpací tyče dostane do horní polohy, vyzvedne objem vody nacházející se nad ním a ta vyteče ve vrchní části výtlačným potrubím ven. Ve stejném okamžiku se pod pístem, který se pohybuje směrem nahoru, vytvoří podtlak, díky kterému je pod něj nasáto další množství vody. [12]

V další polovině cyklu se píst pohybuje směrem dolů, což způsobí otevření zpětného ventilu. Voda skrz něj začne proudit nad píst. Jakmile píst dosáhne své dolní polohy, ventil se změnou tlaku uzavře, píst se začne pohybovat směrem nahoru a celý cyklus se opakuje. Čerpací cyklus je stabilní a pomalý, což snižuje tření a umožňuje provoz s větší účinností než je možné u odstředivých čerpadel. Odstředivá čerpadla vyžadují mnohem vyšší rychlosti, tudíž trpí vyššími ztrátami způsobenými třením. Pro nejspolehlivější provoz je nejlepší vždy umístit válec čerpadla pod nejnižší úroveň vody. [9, 12]

Pístová hydrostatická čerpadla jsou využívána pro vyvození velmi vysokých tlaků čerpaných kapalin. Objem načerpané vody během každého zdvihu pístu závisí na jeho průměru, délce jeho zdvihu, krouticím momentu a objemové účinnosti⁶. Průtok vody vytékající výtlačným potrubím z čerpadla není konstantní, ale je inherentně pulzující v důsledku pohybu pístu. Lze jej regulovat změnou zdvihu, počtu otáček a objemové účinnosti. [4, 12]

3.1.2 ŠROUBOVÉ ČERPADLO

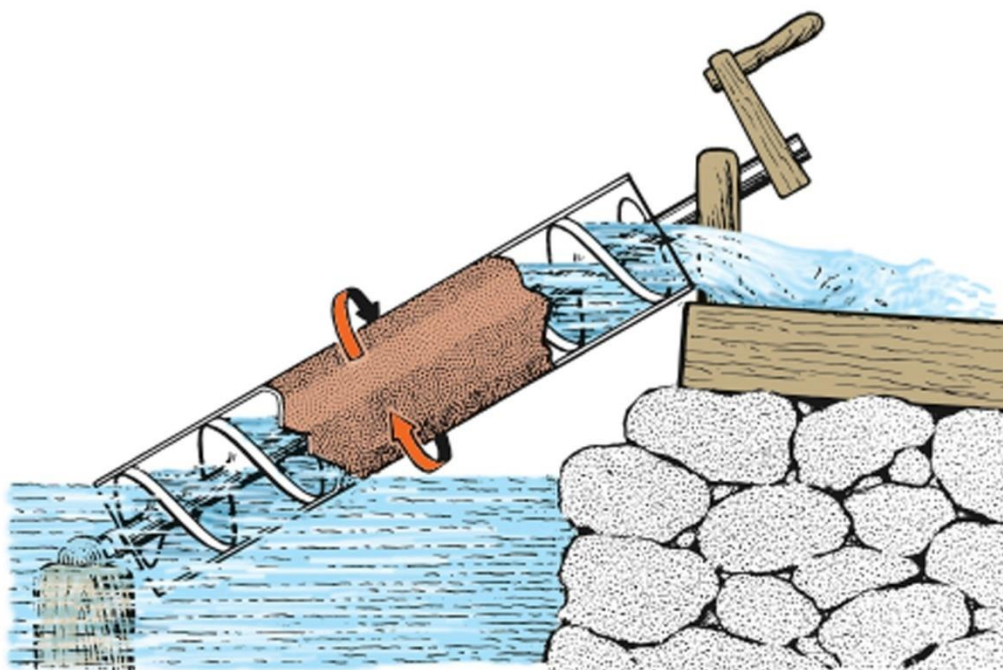
Šroubové čerpadlo je typem hydrostatického čerpadla s rotačním pohybem pracovního prvku – šnekového rotoru, který odděluje sací a výtlačný prostor čerpadla. Je mnohem jednodušší než pístové čerpadlo. Princip tohoto čerpadla je založen na dlouhém Archimedově šroubu (viz obr. 3.1). Hlavními výhodami jsou jednoduchá konstrukce, tichý chod, spolehlivost,

⁶ Příkon pístového čerpadla je dán $P = \rho \cdot Q \cdot E$, kde ρ je hustota kapaliny, Q je průtok a E měrná energie. Měrná energie je dána dopravní výškou, což je rozdíl hladin plus ztrátová energie. Průtok se počítá z rychlosti a plochy válce.

dlouhá životnost a pomalá rychlost otáčení, která je ideální pro zvedání velkého objemu kapalin. Jsou vhodná i pro čerpání kapalin s abrazivními částicemi pevné látky. Díky plynulému pohybu lopatek rotoru se šroubové čerpadlo otáčí konstantní rychlostí a tedy průtok vytékající kapaliny je také relativně konstantní. Nevýhodou je čerpání vody jen do malých výšek. [4, 12]

Šroubové čerpadlo se skládá z plně uzavřené hladké trubky, která sahá až dolů do studny pod úroveň vodní hladiny. V celé délce této trubky se nachází spojitá šroubovice (šnek) – šroub s různě formovaným závitem (závit může být jednoduchý až tříchodý). Geometrie profilů závitů je různého stupně složitosti. Závit s jednoduchou geometrií je méně náročný na výrobu, ale neumožňuje hermetické oddělení závitových mezer a tím pádem dosažení vyšší objemové účinnosti. Profily závitů se volí buď složitější (epicykloidní, evolventní) nebo jednodušší (obdélníkové, čtvercové, lichoběžníkové), čímž se vytváří zdvihací komory. Jakmile se šnek začne otáčet, spodní úroveň závitů šneku nabere malé množství vody. Při dalším pootočení je voda vyzvednuta o délku rovnou stoupání závitů na další úroveň závitů, zatímco původní spodní úroveň závitů nabere další množství vody. Tímto způsobem se voda postupně dostane až do výtlačného prostoru, kde závitů šneku vyběhnou ze záběru a zmenšováním prostoru otevřené závitové mezery je kapalina vytlačena ven z čerpadla. [4, 12]

Množství načerpané vody závisí na průměru plně uzavřené trubky a šneku, jeho délce a rychlosti otáčení. Tedy účinnost tohoto typu čerpadla je závislá na ztrátách a geometrii závitů. [12]



© 2010 Encyclopædia Britannica, Inc.

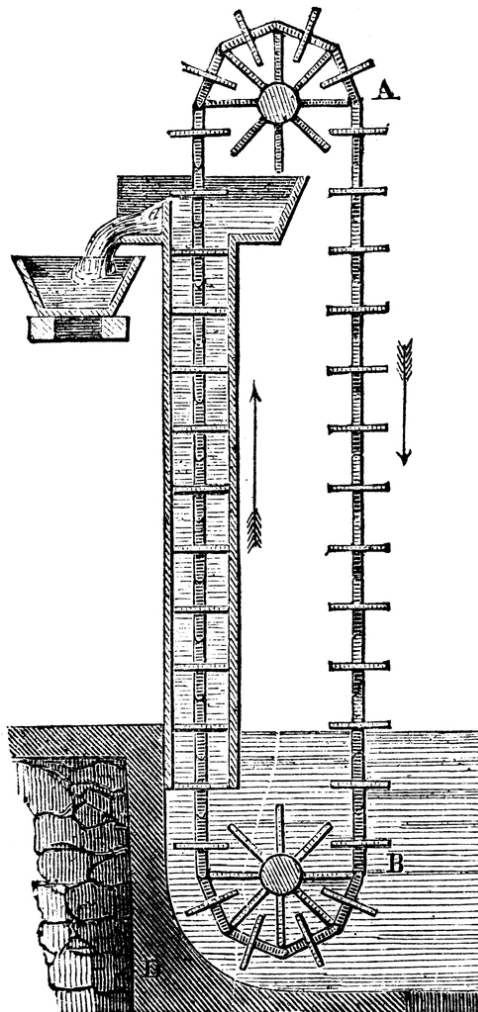
Obr. 3.1 – Archimedův šroub

3.1.3 ZDVIŽNÁ ČERPADLA

Zdvižná čerpadla přepravují kapalinu mechanickým zvedáním kapaliny přerušovaně nebo nepřerušovaně. Principem dopravy kapaliny je sbírání vody do určitých nádob, misek nebo korýtek, které vodu vynesou do požadované výšky. Jsou vhodná pro čerpání vody z hlubších studní. Dělí se na řetězová, korečková a zvedací kola. [5]

Řetězové čerpadlo (viz obr. 3.2) je typ vodního čerpadla, které se skládá z několika kruhových disků a spojeného řetězu. Jedna část řetězu je ponořena pod vodou a další část, která se vynořuje z vody, prochází trubkou, jejíž průměr je o něco málo větší než průměr disků. Jak je řetěz vytahován, voda je zachycena mezi jednotlivými disky a postupně vytahována nahoru. Řetěz je poháněn mechanismem spojeným s kolem větrného čerpadla. [13]

Pokud se odstraní trubka a místo disků se použijí nádoby (džbány, kbelíky, vědra...), vznikne korečkové čerpadlo. Nádoby, které prochází pod vodní hladinou, nabírají vodu a nahoře ji vylévají do připraveného odtokového žlabu. Jednou z výhod korečkového čerpadla je, že se nádoby plní čistou vodou s menším obsahem plovoucí vrstvy kalů, nečistot a pěny na povrchu vodní hladiny. Účinnost závisí na délce řetězu, počtu a objemu nádob. [13]



Obr. 3.2 – Řetězové čerpadlo

3.2 ROZDĚLENÍ PODLE VYUŽITÍ

Obecně existují dva odlišné způsoby využití větrných čerpadel, a to buď na zavlažování, nebo pro zásobování vodou. Tyto typy se od sebe navzájem technicky, operativně a ekonomicky liší. To ovšem neznamená, že větrné čerpadlo, které je určené pro zásobování vodou, nelze použít pro zavlažování (ve skutečnosti se to děje docela často). Ale větrné čerpadlo, které je původně určeno k zavlažování, je obecně nevhodné použít pro zásobování vodou. [2]

3.2.1 PRO ZÁSOBOVÁNÍ VODOU

Větrná čerpadla, která jsou určena pro zásobování vodou, musí být velmi spolehlivá a být schopná běžet bez dozoru po většinu času. Je tedy nezbytné automatické zařízení, aby se zabránilo překročení dovolené rychlosti při bouřích. Dalším nutným požadavkem je potřeba minimální údržby a schopnosti čerpat vodu z hloubky desítek metrů. Takové typické větrné čerpadlo by mělo být schopno běžet více než 20 let s pravidelnou údržbou prováděnou jednou ročně a bez jakýchkoliv větších výměn. To je velmi náročný technický požadavek, protože obvykle takové větrné čerpadlo vydrží v průměru 80 000 provozních hodin, což je v přepočtu 9 let, než dojde k výraznému opotřebení. To je čtyřikrát až desetkrát životnost většiny malých dieselových motorů a asi dvacetkrát životnost motoru malého vodního čerpadla. [2]

Větrná čerpadla tohoto typu jsou proto nejčastěji průmyslově vyráběna z ocelových komponentů a vzhledem k jejich výkonu a celkové velikosti konstrukce jsou tyto díly nevyhnutelně drahé. Spolehlivost a minimální potřeba zásahu je u těchto typů zařízení oproti jiným čerpacím systémům velkou předností. [2]

3.2.2 NA ZAVLAŽOVÁNÍ

Zavlažování zemědělské půdy je sezónní záležitostí, takže větrná čerpadla jsou využívána pouze omezenou část roku. V sezóně je třeba načerpat obrovské množství vody, ale celková roční spotřeba je nízká. Proto jakékoliv větrné čerpadlo vyvinuté pro zavlažování musí mít nízkou pořizovací cenu. Vzhledem k tomu, že samotné zavlažování obecně vyžaduje přítomnost zemědělců, není tak důležité, aby byl stroj schopný běžet bez dozoru. Proto větrná čerpadla používaná v minulosti na zavlažování měla tendenci mívat domácí vzhled, který byl často improvizován nebo postaven samotnými zemědělci a nebyl proto nákladný. [2]

Standardní větrná čerpadla, která se používala na zavlažování, měla obvykle nižší průtok, než bylo normální u čerpadel pro zásobování vodou. Poměrně často se vyskytovaly potíže při zajišťování pístového čerpadla dostatečného průměru, aby bylo možné získat zdvihový objem odpovídající získané energii větru. [2]

Většina zemědělských větrných čerpadel musí být umístěna přímo nad zdrojem na železobetonových základech tak, že obvykle se tyto stroje omezují na čerpání ze studní nebo vrtů, nikoliv z otevřených vodních ploch. [2]

V nedávné době byl zahájen vývoj s cílem vytvořit ocelové větrné čerpadlo s menšími náklady, které by vycházelo ze starších těžších a dražších vzorů. Vznik mnoha zemědělských větrných čerpadel, přestože jsou stále v komerční produkci, se datuje do roku 1920 nebo ještě dříve a jsou proto zbytečně těžká, nákladná na výrobu a je obtížné je správně nainstalovat v odlehlých oblastech. Dnes je snaha o revizi tradičních větrných čerpadel, aby byla lehčí a měla jednodušší a modernější formu. Taková čerpadla jsou dnes vyráběna například v Keni jako „Kijito“ (viz kap. 1.4.1) a v Pákistánu jako „Tawana“ a stojí jen asi polovinu toho, co

americké a australské stroje podobných schopností. Je tedy možné, že díky vývoji tohoto typu se budou výrobní náklady držet nízko, a tak bude umožněn marketing všech ocelových větrných čerpadel, která jsou odolná jako původní tradiční stroje a zároveň velice levná a tedy ekonomicky výhodná pro zavlažování. [2]

3.3 VĚTRNÉ ČERPADLO S TRANSFORMACÍ NA ENERGII ELEKTRICKOU

Jak již bylo výše uvedeno, jednou z hlavních nevýhod klasického větrného čerpadla je, že musí být umístěno přímo nad zdrojem vody. Větrné turbíny, které přeměňují energii větru přímo na energii elektrickou, která je následně použita pro pohon vodních čerpadel, mohou být umístěny v jakékoliv vzdálenosti od zdroje vody za účelem zvýšení dostupnosti větrné energie. [12]

Elektrické větrné čerpadlo přeměňuje energii větru nejdříve na elektrickou energii, a sice na stejnosměrné nízké napětí o velikosti 12 V nebo 24 V. Tímto napětím je napájeno vodní čerpadlo uloženo ve studni přímo pod věží větrného čerpadla nebo v blízkém dosahu. Dodávání elektřiny přímo do zátěže má výhodu v tom, že toto zařízení nevyžaduje vysoké počáteční otáčky a nízkou obvodovou rychlost. Další výhodou je, že elektrické větrné čerpadlo může být vybaveno tlakovým nebo plovákovým spínačem, který lze využít za účelem kontroly nebo k vypnutí a zapnutí vodního čerpadla. Potom vodní čerpadlo pracuje jen v případě potřeby. Dále je možné díky snímačům regulovat rychlost čerpání. [12]

Na rozdíl od klasického větrného čerpadla, které pro fungování vyžaduje vhodné povětrnostní podmínky, elektrické větrné čerpadlo může využít baterie k ukládání energie a potom čerpat vodu i během nízkého větru. Na jednu větrnou turbínu se dá napojit i více vodních čerpadel. Mezi nevýhody tohoto mechanismu patří vyšší cena, větší náročnost na údržbu a nižší účinnost. [12]

4 SPECIÁLNÍ VYUŽITÍ VĚTRNÉHO ČERPADLA

Jak již zde bylo několikrát zmíněno, větrná čerpadla byla a někde jsou stále využívána na zavlažování, odvodňování zaplavené půdy a napájení dobytka. Ideálním místem jsou oblasti, které jsou postiženy suchem. Jejich využití však může najít uplatnění i jinde.

4.1 ZMRAZENÍ ARKTIDY

Tým vědců z Arizona State University přišel s návrhem, jak obnovit zamrzání Arktidy. Návrh spočívá ve vystavění 10 milionů větrných čerpadel, která by čerpala vodu a vylévala ji na povrch ledu, čímž by se urychlilo jeho zamrzání. Profesor astrofyziky Steven Desch prohlásil, že v roce 2030 podle výpočtů na Arktidě nebude již žádný led a na omezování emisí CO₂, které tání ledu způsobují, nezbyvá čas. [11]

Větrná čerpadla by měla být upevněna na bójích plovoucích v arktických mořích. Voda nacházející se pod ledem by byla přečerpávána do zásobních tanků a následně rozstříkována na horní vrstvu ledové plochy. V této části ledu je nejchladněji, takže voda zde zamrzá rychleji než pod povrchem. Některé odhady tvrdí, že 10 milionů těchto zařízení může způsobit během jedné zimy zesílení ledu o 1 m. Běžně led v zimě zesílí o 2 až 3 m. Návrh je zatím v teoretické části a prof. Desch a jeho tým budují prototyp k vyzkoušení. [11]

Otázkou zůstává, zda by tento projekt opravdu fungoval a jestli by výroba takového obrovského množství větrných čerpadel naší planetě naopak neškodila.

4.2 PŘEČERPÁVACÍ ELEKTRÁRNY

Dala by se větrná čerpadla využít u přečerpávacích elektráren, aby čerpala vodu z dolní nádrže zpět do horní? Například větrná elektrárna Dlouhé stráně, která leží ve výšce přes 1300 m n. m., se jistě nachází v oblasti s příznivými povětrnostními podmínkami pro provoz větrných čerpadel. Ta by tak mohla ušetřit část energie potřebné k přečerpání vody z dolní nádrže zpět do horní.

Nedostatek této myšlenky je v tom, že větrná čerpadla by dokázala načerpat jen nepatrný zlomek toho, co reverzní turbína na Dlouhých stráních. Také by větrná čerpadla ovlivnila vzhled krajiny.

5 VÝHODY A NEVÝHODY TRANSFORMACE VĚTRNÉ ENERGIE

Větrná energie je obnovitelným zdrojem energie. V historii byla využívána především větrnými čerpadly k dopravě kapalin, v dnešní době je to zejména výroba elektřiny, která se dnes dá také využít k čerpání kapalin. Větrná čerpadla transformují energii větru na mechanickou energii či potenciální energii kapaliny, kdežto větrné turbíny ji transformují nejprve na energii elektrickou.

Převod větrné energie na energii elektrickou má nevýhodu v tom, že dochází k větším ztrátám. Ztráty vlivem tření a odporem lopatek rotoru vznikají jak u větrného čerpadla, tak u větrné turbíny. U ní se ale navíc vytváří další ztráty. Ty vznikají v generátoru při transformaci na energii elektrickou, a dále v elektromotoru při transformaci na energii mechanickou a následně při transformaci do potenciální energie kapaliny. Každá z těchto transformací probíhá s nějakou účinností. Potom je celková účinnost čerpacího systému těmito ztrátami ovlivněna a tedy zmenšena. Jejeho zvýšení lze dosáhnout tím, že tam, kde je to možné, se vynechá převod na energii elektrickou. Tedy energie větru se převede přímo do mechanické energie stroje a následně do energie kapaliny, tak jak je tomu u větrných čerpadel. Nevýhoda tohoto přímého převodu je právě v závislosti na místě potřeby čerpání. Elektrická energie se dá velice dobře dopravovat na různá místa, kdežto větrné čerpadlo je omezeno pouze na místo zdroje vody.

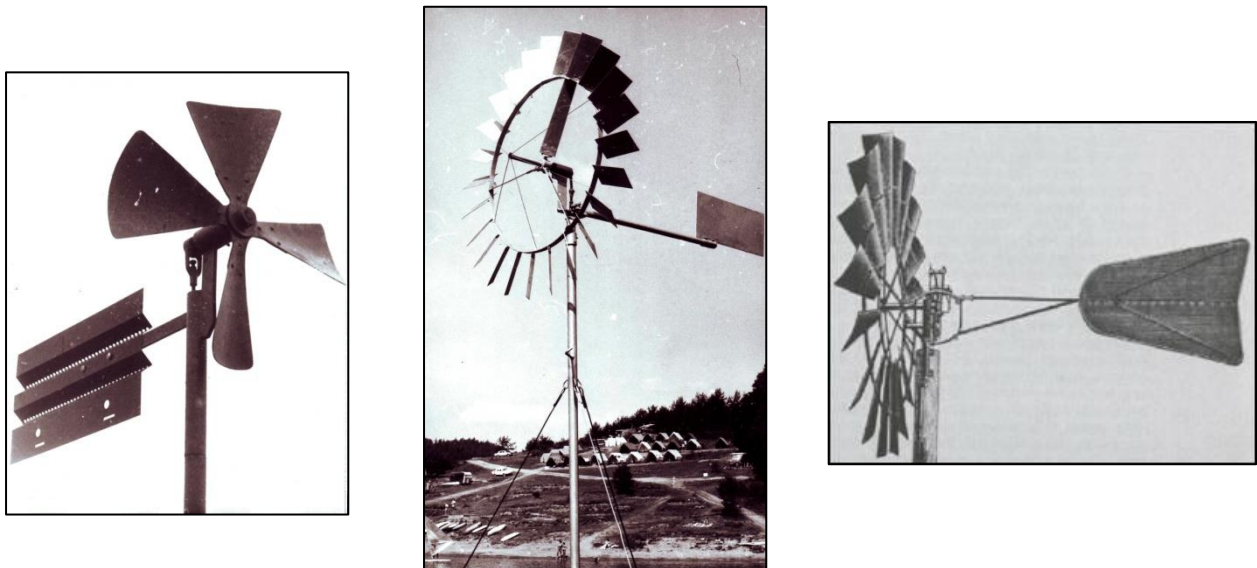
Jiným problémem je nemožnost uchování elektrické energie. Ta se dá uložit do baterií a akumulátorů, které ale mají omezenou životnost a kapacitu. Často také obsahují toxické látky, a proto bývají zařazeny do nebezpečných odpadů. Oproti tomu uchování energie ve formě potenciální energie kapaliny je velmi výhodné. Voda se větrným čerpadlem načerpá do zásobního tanku ve vyšší poloze (získá potenciální energii), kde může být uskladněna po libovolně dlouhý čas. Jejím vypouštěním dochází opět k přeměně na kinetickou energii kapaliny.

Větrné elektrárny narušují přirozený ráz krajiny, vytváří stroboskopický efekt při nízkém slunci, hlučí (způsobeno třením rotoru, zejména u starších modelů) a narušují přirozené prostředí ptáků. Také jsou mnohem náročnější na údržbu než větrná čerpadla.

6 NÁVRHY NA VYLEPŠENÍ

Od první zmínky o větrném čerpadle již uplynuly stovky let a za tu dobu byly tyto stroje přivedeny téměř k dokonalosti. Pracují s minimální potřebou údržby, s vysokou účinností a jejich cena klesla na přijatelnou hodnotu. Je diskutabilní, zda je na nich ještě co zdokonalovat.

A přece jenom by se možná něco našlo. Například směrovka (kormidlo). Ta je ve většině případů umístěna za otáčejícím se kolem větrného čerpadla. Ale co když vířivé proudy, které vznikají průchodem větru přes otáčející se lopatky, ovlivňují směrovku a ta se potom nenatáčí zcela správně tak, aby větrné čerpadlo dokázalo zachytit co největší množství energie větru? Tomu by mohlo pomoci umístění směrovky do větší vzdálenosti od větrného kola, potom by ale byl potřeba větší moment na natočení celého rotoru. Další možností je namontovat směrovku nad větrné kolo. Na dobových fotografiích se dají nalézt nejrůznější tvary a zakřivení směrovek (viz obr. 6.1).



Obr. 6.1 – Ukázka různých tvarů lopatek na dobových fotografiích

Tvar a počet lopatek záleží na konkrétním výrobcu a závisí na nich účinnost větrného čerpadla. Jak již bylo uvedeno, čím více lopatek, tím se kolo větrného čerpadla snadněji roztočí při nižších rychlostech větru. Pokud ale zvýšíme počet lopatek a tím pádem bude větrné kolo těžší, bude náročnější jej roztočit (potřeba silnějšího větru). Na druhou stranu bude mít takové kolo větší moment setrvačnosti. Jejich tvar se vybírá pomocí experimentů nebo modelových výpočtů. Je důležité, aby dokázaly zachytit co největší energii větru a zároveň byly snadné na výrobu, tedy i levné. Nejlépe z plechů, z nichž se snadno vyřízne jejich tvar, který se pak dle nutnosti různě pozohýbá nebo zůstane rovný. Mnoho větrných čerpadel sází na větší počet lopatek, ale jistě by bylo zajímavé porovnat kombinaci menšího množství, ale za to širších lopatek.

V kapitole 3.3 je pojednáno o větrném čerpadlu, které může přebytečnou energii ukládat do baterií a čerpat tak vodu i v případě nízkého větru. Jistě by byla výhodná i kombinace větrného čerpadla se solárním panelem. Solární panel by větrnému čerpadlu napomáhal s výkonem v době slabého vánku nebo v případě bezvětří (pokud by svítilo slunce) a podobně jako elektrické větrné čerpadlo by přebytečnou energii mohl ukládat do baterií. Eventuálně by mohl napájet různé senzory, které by zjišťovaly výšku hladiny ve studni a v zásobní nádrži, rychlost a směr větru a v případě nutnosti tak upravovaly rychlost čerpání. Solární panel by mohl být umístěn na vrcholu větrného čerpadla nebo poblíž paty věže.

Jistě je také co zlepšovat na zpětných ventilech v čerpadle, aby měly minimální odpory a maximální průtočnost, spolehlivost a těsnost uzavření. Dále by bylo zajímavé využít moderní technologie pro minimalizaci mechanických ztrát, jak v klikovém mechanismu, tak při těsnění pístu.

7 ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo provést co nejrozsáhlejší rešerši na využití větrné energie transformované na mechanickou energii nebo potenciální energii kapaliny. V dnešní době je tato energie měněna přímo na energii elektrickou. To ovšem má nesnáž v jejím uchování. Historicky byla energie větru měněna přímo na energii mechanickou nebo na dopravu kapalin. Tento přístup nachází uplatnění i v dnešní době.

V první kapitole byla důkladně rozebrána historie větrných čerpadel. Ta existují již od středověku a z jihozápadní Asie se postupně rozšířila do celého světa. Největší uplatnění a vývoj se odehrál v severní Americe, kde výrazně přispěla k rozšíření zemědělství na západ Spojených států a k růstu ekonomiky. Na vývoji těchto zázračných strojů se zapřičinil americký vynálezce Daniel Halladay, který v roce 1854 přišel se samoregulačním větrným čerpadlem. V Evropě byla využívána například ve Španělsku s kombinací korečkového čerpadla, v Nizozemsku, kde sloužila k odvodňování území, ve Středozeří, kde byly ocelové lopatky nahrazeny napnutými plachtami, nebo i u nás v České republice. V Africe našla uplatnění až poslední dobou a to zejména v rozvojových zemích, jako např. v Keni, kde se vyrábí Kijito. Postupem času byla větrná čerpadla na většině míst nahrazena elektrickými.

Ve druhé kapitole bylo větrné čerpadlo podrobně popsáno. Větrné čerpadlo je velmi jednoduché zařízení, jehož hlavní částí je rotor s lopatkami a směrovkou. Směrovka zajišťuje optimální natočení větrného kola proti směru vanoucího větru. Prostřednictvím ozubených kol a ojnice se převádí rotační pohyb větrného kola na přímočarý vratný pohyb táhla spojeného s pístem čerpadla na vodu. Tato větrem hnaná větrná čerpadla jsou velmi citlivá na rychlost větru.

Ve třetí kapitole byly rozebrány typy větrných čerpadel. V první části je rozdělení podle typu čerpadel, která jsou poháněna větrným kolem. Nejpoužívanější jsou pístová a šroubová čerpadla. Pístové čerpadlo pracuje na principu pohybu nahoru a dolů, kdy pohybem dolů nad sebe propouští kapalinu a pohybem nahoru ji vytlačuje výš. Šroubové čerpadlo je založeno na dlouhém Archimedově šroubu. Méně používaným typem je zdvižné čerpadlo, které se dělí na řetězové, korečkové a zvedací kola. Ve druhé části je rozdělení podle využití. Větrná čerpadla se využívají především na zavlažování a pro zásobování vodou, přičemž pro každé využití je vhodná jiná konstrukce. Pro zásobování vodou je důležitá spolehlivost a schopnost běžet dlouhou dobu bez dozoru. Pro větrná čerpadla určená na zavlažování je zase základní požadavek nízká cena. Na závěr je zmíněno elektrické větrné čerpadlo.

Ve zbylých kapitolách bylo pojednáno o speciálním využití větrného čerpadla jako možnost urychlit zamrzání Arktidy nebo u přečerpávacích elektráren k čerpání vody z dolní nádrže zpět do horní. Dále byly shrnuty výhody a nevýhody transformace energie větru na mechanickou energii či potenciální energii kapaliny oproti transformaci na elektrickou energii. Obecně větrná čerpadla vycházejí lépe, i když výkon s větrnými elektrárnami se nedá srovnávat. Závěr obsahuje zamyšlení, zda jsou dnes větrná čerpadla již dokonalá nebo je lze konstrukčně dále zdokonalovat.

8 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] *Windpump History – Water Pumping Windmills* © 2017 [online]. History of Windmills [cit. 2017-1-30]. Dostupné z: <http://www.historyofwindmills.com/windmill-history/windmill-water-pump/>
 - [2] FRAENKEL, Peter. *Water lifting devices*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1986. ISBN 9251025150.
 - [3] *Daniel Halladay – The Remarkable Connecticut Inventor...* © 2017 [online]. ValleyNewsNow [cit. 2017-2-5] Dostupné z: <http://valleynewsnow.com/2011/09/daniel-halladay-the-remarkable-connecticut-inventor-i%E2%80%99ll-bet-you-never-heard-of/>
 - [4] MELICHAR, Jan. *Hydraulické a pneumatické stroje: část čerpadla*. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04383-7.
 - [5] *Čerpadla zdvižná*. © 2010 [online]. Druhy čerpadel [cit. 2017-4-21] Dostupné z: <http://druhy-čerpadel.cz/ostatni/zdvizna>
 - [6] AINSWORTH, Dorothy. *Water pumping windmills*. [online] Backwoods Home magazine. 2004, (90) [cit. 2017-2-10] Dostupné z: <http://www.backwoodshome.com/water-pumping-windmills>
 - [7] MOORE, Kevin. *Pumping Water with the Wind*. [online] Home Power. 2008 (122) [cit. 2017-2-2] Dostupné z: <https://www.homepower.com/articles/wind-power/equipment-products/pumping-water-wind>
 - [8] *Kijito Wind Pumps Design* © 2017 [online]. Kijito Windpower [cit. 2017-2-15] Dostupné z: <http://kijitowindpowerkenya.com/products/wind-pumps.html>
 - [9] *How Water Pumping Windmills Work*. © 2017 [online]. IRONMAN WINDMILL CO.™ [cit. 2017-2-15] Dostupné z: <http://www.ironmanwindmill.com/how-windmills-work.htm>
 - [10] *Vítr čerpá vodu*. [online]. POVĚTRNÍK.CZ [cit. 2017-2-20] Dostupné z: <http://www.povetnik.cz/en/čerpadla>
 - [11] ZDANOWICZ, Christina. *These scientists think giant machines could help refreeze the Arctic*. [online] CNN. 15/2/2017 [cit. 2017-3-20] Dostupné z: <http://edition.cnn.com/2017/02/15/weather/refreezing-arctic-ice-study-trnd/>
 - [12] *Wind Water Pumping Systems*. © 2017 [online]. ALTERNATIV ENERGY TUTORIALS [cit. 2017-4-7] Dostupné z: <http://www.alternative-energy-tutorials.com/energy-articles/wind-water-pumping.html>
 - [13] *What is a Chain Pump?* © 2017 [online]. wiseGEEK [cit. 2017-4-21] Dostupné z: <http://www.wisegeek.com/what-is-a-chain-pump.htm>
 - [14] *How Do Check Valves Function, And Why...?* © 2017 [online]. EMPOWERING VALVES [cit. 2017-4-21] Dostupné z: <http://empoweringvalves.com/check-valves-function-selected-valves-types/>
 - [15] *Vítr čerpá vodu*. © 2017 [online]. POVĚTRNÍK.CZ [cit. 2017-5-12] Dostupné z: <http://www.povetnik.cz/en/čerpadla>
-

- [16] *Windmill*. © 2017 [online]. cz.pinterest.com [cit. 2017-3-5] Dostupné z: <https://www.pinterest.com/pin/335518240970847918/>
- [17] *Halladay Windmills*. © 2017 [online]. FARM COLLECTOR [cit. 2017-3-8] Dostupné z: <http://www.farmcollector.com/equipment/halladay-zmiz14julzbea>
- [18] *Indeed water draws water! Agricola 1556*. © 2017 [online]. A.C.R.E.S.T. [cit. 2017-5-10] Dostupné z: <http://www.acrest.org/domaines-d-interets/noria/?synSiteLang=2>
- [19] *Sound Tourism: Groaning Noria at Hama, Syria*. © 2017 [online]. STRANGE SOUNDS [cit. 2017-5-10] Dostupné z: <http://strangesounds.org/2014/09/sound-tourism-groaning-noria-hama-syria.html>
- [20] *Cretan windmill*. © 2017 [online]. VOYAGEVIRTUEL [cit. 2017-5-12] Dostupné z: http://www.voyagevirtuel.info/crete/bigphotos/lassithi_2404
- [21] *Ball foot valves*. © 2014 [online]. NORMEX [cit. 2017-5-12] Dostupné z: http://www.normexvalves.com/ball_foot_model_b04.html
- [22] *Check Valves Information*. © 2017 [online]. Engineering 360 [cit. 2017-5-5] Dostupné z: http://www.globalspec.com/learnmore/flow_control_flow_transfer/valves/check_valves
- [23] *Archimedes Screw*. © 2017 [online]. EDOECMO [cit. 2017-4-13] Dostupné z: <http://edecmo.org/edecmo-32-archimedes-screw-impella-future-mechanical-circulatory-support/>
- [24] *Chain-Pump*. © 2017 [online]. ClipArt ETC [cit. 2017-4-27] Dostupné z: http://etc.usf.edu/clipart/28000/28029/chain-pump_28029.htm
- [25] *Větrná čerpadla od westernů k současnosti*. © 2014 [online]. TŘÍPÓL [cit. 2017-5-14] Dostupné z: <http://www.3pol.cz/cz/rubriky/obnovitelne-zdroje/1950-vetrna-cerpadla-od-westernu-k-soucasnosti>
- [26] *Windmills*. © 2017 [online]. The University of Vermont [cit. 2017-5-14] Dostupné z: <http://www.uvm.edu/landscape/dating/windmills/>
- [27] *Wind pump Mechanism* [online] [cit. 2017-5-23] Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=BugXmDxC0WM>
- [28] *USRE4064 E* [online]. IFI CLAIMS Patent Services [cit. 2017-5-23] Dostupné z: https://www.google.cz/patents/USRE4064?dq=Halladay+1854&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwi-y9D0x_bTAhXG6CwKHUrUCi0Q6AEITAA

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1.1 – Větrné čerpadlo s dřevěnou konstrukcí a nádrží na vodu v USA [16]
- Obr. 1.2 – Reklama na Halladayovo čerpadlo z roku 1876 [17]
- Obr. 1.3 – Náčrt větrného kola s křížem uvedený v patentu Daniela Halladaye [28]
- Obr. 1.4 – Ilustrace kola nazvaného Noria s naběracími nádobami [18]
- Obr. 1.5 – Kolo Noria (zde poháněno vodním proudem, nikoliv větrnou energií) [19]
- Obr. 1.6 – Rotor krétského větrného čerpadla s typickými plachtami místo lopatek [20]
- Obr. 1.7 – Reklama nabízející Kunzovo větrné čerpadlo [15]
- Obr. 1.8 – Větrné čerpadlo Kijito v Keni [8]
- Obr. 1.9 – Pohled na větrné kolo shora zobrazující posunutí hřídele větrného kola (osy) a ocasu se směrovkou [27]
- Obr. 1.10 – Vychýlení kola na stranu vlivem silného větru [27]
- Obr. 2.1 – Kolo větrného čerpadla [9]
- Obr. 2.2 – Čerpací tyč v horní poloze [9]
- Obr. 2.3 – Kulový zpětný ventil [21]
- Obr. 2.4 – Talířový zpětný ventil [22]
- Obr. 2.5 – Větrné čerpadlo s popisky [9]
- Obr. 3.1 – Archimédův šroub [23]
- Obr. 3.2 – Řetězové čerpadlo [24]
- Obr. 6.1 – Ukázka různých tvarů lopatek na dobových fotografiích [25, 26]