

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA OCELOVÝCH A DŘEVĚNÝCH KONSTRUKCÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



Použití dřeva na konstrukce větrných elektráren

Use of Wood for Construction of Wind Power Plants

Autor: Ji Jia Hui

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Anna Kuklíková, Ph.D.

Akademický rok: 2022/2023



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

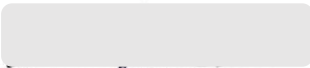



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení: Ji	Jméno: Jia Hui	Osobní číslo: 484561
Zadávající katedra: Katedra ocelových a dřevěných konstrukcí		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor/specializace: Konstrukce pozemních staveb		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Použití dřeva na konstrukce větrných elektráren	
Název bakalářské práce anglicky: Use of Wood for Construction of Wind Power Plants	
Pokyny pro vypracování: Esej zaměřená na použití dřeva na konstrukce větrných elektráren.	
Seznam doporučené literatury: [1] Kuklík: Dřevěné konstrukce, ČVUT Praha [2] Kuklík, Kuklíková, Mikeš: Dřevěné konstrukce 1, Cvičení, ČVUT Praha [3] Studnička, Holický: Ocelové konstrukce 20 - Zatížení staveb, ČVUT Praha [4] http://fast10.vsb.cz/temtis/documents/handbook_2_CZ.pdf [5] ČSN EN 1995-1-1 [6] ČSN Online Portál FSv ČVUT (cvut.cz)	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Anna Kuklíková, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 20.02.2023	Termín odevzdání BP v IS KOS: 22.05.2023 <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

20.02.2023 Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)
-------------------------------------	---



Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.



Poděkování:

Tímto bych chtěla velmi poděkovat své vedoucí bakalářské práce paní Ing. Anně Kuklíkové, Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce, za trpělivost a poskytnuté rady. Chtěla bych také poděkovat svým přátelům za podporu a důvěru, kterou ve mě vkládali nejen během studia a i během psaní této práce.



Anotace:

Tato práce se zabývá použitím dřeva na konstrukce větrných elektráren. Bakalářská práce se dá rozdělit na dvě hlavní části. První část pojednává obecněji o větrných elektrárnách, její historii, jejich typech, principech, atd. Druhá část se věnuje dřevu jako stavebnímu materiálu pro větrné elektrárny.

Klíčová slova:

Větrná elektrárna, lepené vrstvené dřevo, křížem vrstvené dřevo, Ochroma, Balzovník, balsa dřevo

Annotation:

This thesis is about the use of wood for the construction of wind farms. The bachelor thesis can be divided into two main parts. The first part talks more generally about wind power plants, their history, their types, principles, etc. The second part talks about wood as a building material for wind power plants.

Keywords:

Wind power plant, laminated veneer lumber, cross laminated timber, Ochroma, balsa tree, balsa wood



Obsah

1. Úvod	8
2. Obnovitelné zdroje energie	9
3. Větrné elektrárny	11
3.1. Historie.....	11
3.1.1. Svět.....	11
3.1.2. Česká republika	15
3.2. Zdroje větrné energie.....	19
3.3. Typy větrných turbín	20
3.3.1. Podle orientace osy otáčení lopatek.....	20
3.3.2. Podle principu fungování turbíny.....	20
3.3.3. Podle uspořádání lopatek	20
3.3.4. Podle výkonu turbíny	21
3.4. Základní rozdělení větrných elektráren	22
3.4.1. Větrné farmy na pevnině (Onshore)	23
3.4.2. Větrné farmy v pobřežních vodách (Offshore)	23
3.5. Princip přeměny větrné energie na elektrickou energii	24
3.6. Účinnost větrné turbíny	26
3.7. Požadavky na rychlost větru	26
3.8. Dopad na životní prostředí a krajinu	28
3.9. Výhody a nevýhody větrné energie.....	28
4. Dřevo pro stavbu větrných elektráren	30
4.1. Historie použití dřeva pro větrné elektrárny	30
4.2. Balzovník jihoamerický (Ochroma pyramidale).....	30
4.2.1. Zařazení do biologické rodiny	30
4.2.2. Výskyt a kultivace	30



4.2.3.	Vlastnosti dřeva z balzovníku	33
4.2.4.	Možnosti využití balsa dřeva	33
4.3.	LVL	34
4.4.	CLT	35
4.5.	Věž větrné elektrárny	38
4.6.	Lopatky větrné turbíny	41
4.7.	Provedení spojů a otvorů	44
4.8.	Povrchová úprava	44
4.8.1.	Požární odolnost	44
4.8.2.	Vliv vlhkosti a mrazu	44
4.8.3.	Vliv povětrnosti	44
4.9.	Postup výstavby	44
4.10.	Životnost dřevěné větrné elektrárny	45
4.11.	Finanční návratnost	45
4.12.	Údržba při provozu	46
4.13.	Likvidace materiálu po životnosti stavby	46
4.14.	Porovnání dřevěné konstrukce s konstrukcemi z jiných materiálů	46
4.14.1.	Ocel	46
4.14.2.	Beton	47
4.14.3.	Kompozit	47
4.15.	Budoucnost větrných elektráren ze dřeva	47
5.	Příklady staveb	49
5.1.	Německo	49
5.2.	Švédsko	49
6.	Závěr	51



7. Zdroje	52
7.1. Internetové zdroje	52
7.2. Seznam obrázků	58
7.3. Seznam grafů	60
7.4. Seznam tabulek.....	60
7.5. Zdroje použitých obrázků a fotografií	60



1. Úvod

Tématem této bakalářské práce jsou možnosti použití dřeva pro konstrukce větrných elektráren. Využití větrné energie má již dlouhou historii a do budoucna má také velký potenciál využití jako obnovitelný zdroj energie. První dochované nálezy o využití větrné energie pocházejí již z 6. století z Perské říše. [4] V dnešní době se čím dál častěji řeší ekologický dopad konstrukcí na životní prostředí. Dřevo, jelikož je recyklovatelným přírodním materiálem, je v tomto ohledu vhodnou volbou. Dřevo má široké množství způsobů zpracování a tím pádem umožňuje i rozmanité aplikace na samotnou stavbu.

Na úvod této práce se zmiňuji o obnovitelných zdrojích energie, kde v další části se zaměřuji už blíže jen na větrnou energii. Zabývám se historickými konstrukcemi větrných elektráren, jaké se v minulosti používaly materiály a jaké v současnosti. Dále se zde zmiňuji o zdrojích větrné energie a typech větrných elektráren.

Hlavní část práce pojednává o použití lepeného vrstveného dřeva na věž i lopatky větrné turbíny a nutnosti provedení nátěrů či speciálních povrchových úprav tohoto dřeva.

V poslední části jsou uvedené příklady staveb dřevěných větrných elektráren.



2. Obnovitelné zdroje energie

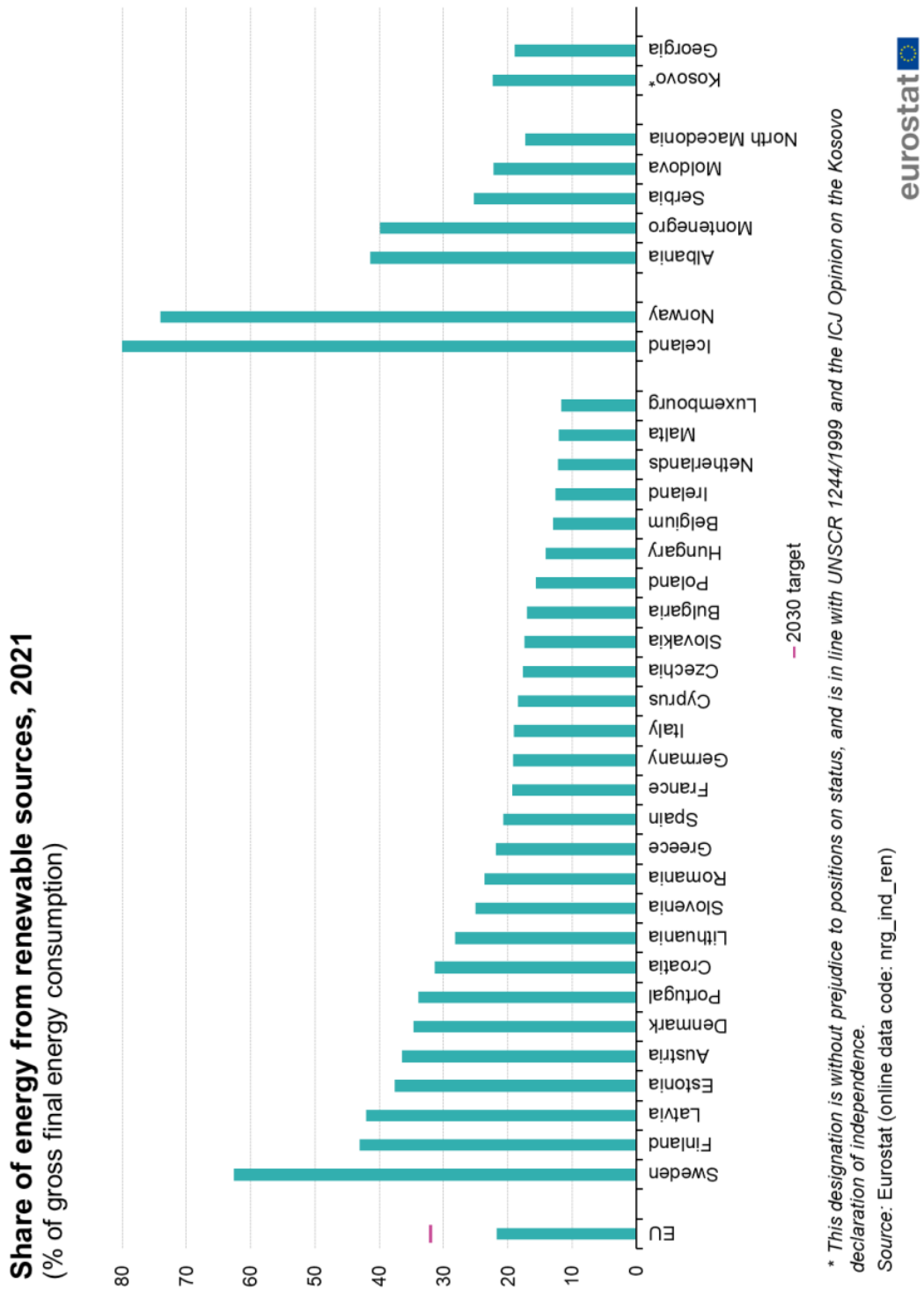
Český zákon č 17/1992 Sb. o životním prostředí definuje obnovitelné přírodní zdroje energie jako zdroje, které „(...) mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.“ [1]

Mezi obnovitelné zdroje energie se počítají takové, které lze získat z přírodních obnovitelných zdrojů. Rozdělujeme je na pět základních skupin – solární energie, větrná energie, vodní energie, geotermální energie a energie z biomasy. Využití těchto přírodních zdrojů je ovlivněné lokální dostupností, není závislé na cizí dodávce a tím pádem je víceméně soběstačné. [2]

Přibližně 80% energie, kterou dnes používáme, pochází z neobnovitelných zdrojů. Patří mezi ně hlavně fosilní paliva – uhlí, ropa a zemní plyn. Nazývají se neobnovitelné, protože jejich tvorba je sice přírodní proces, ale celý cyklus trvá přes miliony let. Mnohem pravděpodobněji se zásoby dříve vyčerpají, než se vytvoří nové. [3]

Z dnešního pohledu růstu cen energií z fosilních paliv se stávají obnovitelné zdroje energií mnohem atraktivnější. Je pravděpodobné, že nedojde ani k vyčerpání neobnovitelných zdrojů, než budou upřednostněny zdroje obnovitelné.

V současnosti pochází více než 20% spotřebované energie v Evropské unii z obnovitelných zdrojů. V roce 2020 dosahovala hodnoty 22,1% a v roce 2021 mírně klesla na 21,8%. Jedná se o více než dvojnásobný nárůst oproti roku 2004, kdy to bylo pouhých 9,6%. Do roku 2030 má Evropská unie za cíl navýšit toto číslo na 32%. [4][5] (Graf1)



Graf 1 Podíl využití energií z obnovitelných zdrojů v rámci EU, 2021

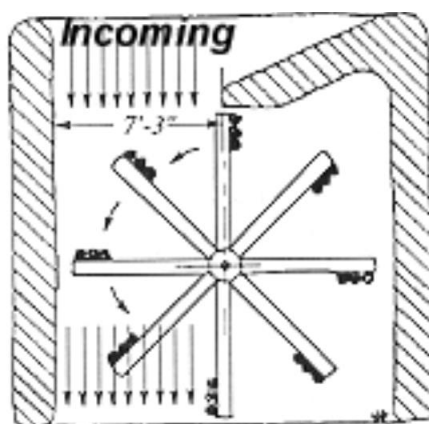


3. Větrné elektrárny

3.1. Historie

3.1.1. Svět

Předchůdci větrných elektráren, větrné mlýny, byli vyvinuti za účelem automatizace mletí obilí a čerpání vody. První design takového mlýnu pochází přibližně z období 500-900 n.l. z Perské říše. Větrný mlýn měl vertikální osový systém uspořádání plachet. (Obr.1) Jako materiál konstrukce byla použita kombinace rákosu a dřeva. [6][7]



Obr. 1 Půdorys větrného mlýnu z Perské říše – panemone design

Obdobou prvního větrného mlýnu je dodnes fungující konstrukce stojící v Nashtifan v severovýchodním Íránu. Mlýny jsou z přírodní hlíny, slámy a dřeva. Každý mlýn je složen z osmi komor a v každé komoře je šest svislých listů. Mlýny vytvoří dostatek energie na roztočení kamene, pokud by však byly připojeny ke generátoru, tak by pravděpodobně nevygenerovaly ani dostatek elektřiny na rozsvícení jedné žárovky. (Obr.2)

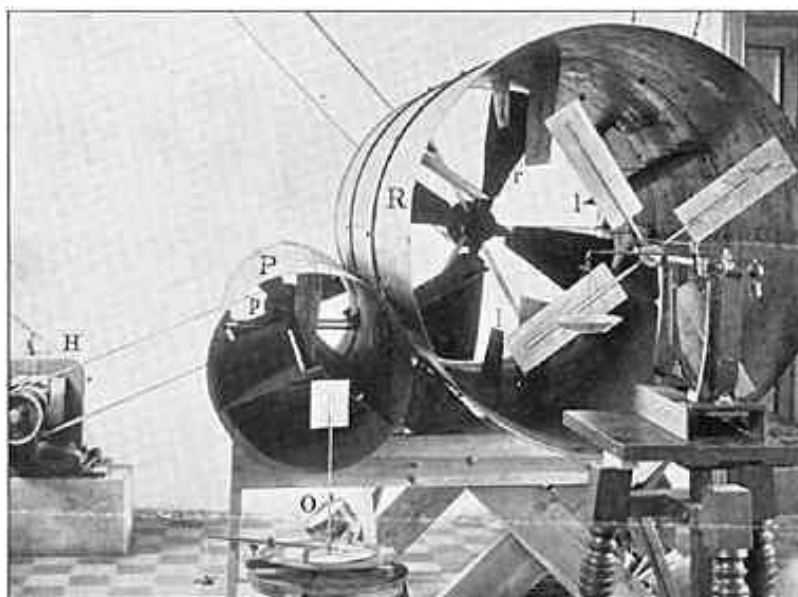
V roce 2002 byly tyto větrné mlýny zapsány na seznam národního dědictví Íránu. [8]



Obr. 2 Historické větrné mlýny v Nashtifan v severovýchodním Íránu

Nejstarší dochované záznamy o větrných elektrárnách pocházejí z Ameriky. V roce 1888 v Ohio Charles F. Brush sestavil větrnou elektrárnu s rotorem o průměru 50 stop (asi 15,24 m). Lopatky rotoru byly z cedrového dřeva, které byly uspořádány do paprskovitého tvaru. Elektrický výkon turbíny dosahoval 12 kW. Výkon stačil na pouze na pohánění světel v jeho laboratoři, proto o pár let později byla jeho větrná elektrárna upadnuta do zapomnění a nahrazena výkonnějšími a levnějšími elektrárnami. [7][9]

O tři roky později než Charles F. Brush v roce 1891 testoval dánský profesor Poul la Cour pomocí experimentů a testů na svém modelu „větrného tunelu“ účinnost turbíny s různým počtem listů. (Obr.3) Pomocí tohoto modelu později i postavil prototyp elektrárny poháněné silou větru. Díky Poul la Courovi se v Dánsku postupně dál rozvíjely větrné mlýny a elektrárny, zatímco v jiných zemích začalo převažovat využívaní fosilních paliv pro získávání energie. [10] (Obr.4)



Obr. 3 Modely Poul la Courova větrného tunelu



Obr. 4 Nalevo je vyobrazena Poul la Courova větrná turbína z roku 1897 a napravo první prototyp větrné elektrárny z roku 1891

V sedmdesátých letech 20.století zažily větrné elektrárny největší rozmach. Jak věž tak i samotná větrná turbína byly většinou z oceli. Ocel byla nejdostupnějším a zároveň mechanicky nejvhodnějším materiálem. Svět ochromila ropná krize, kdy nastala nejistota dostupnosti fosilní suroviny. Tato doba dala možnost vzniku

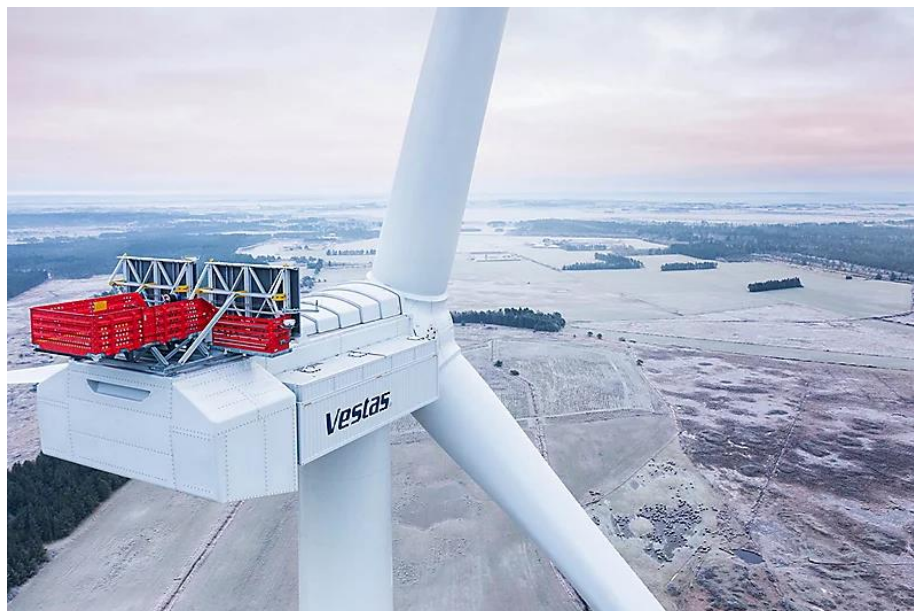


mnoha firmám, které dodnes vládnou v oblasti využívání větrné energie. Jednalo se hlavně o Dánsko a Německo. V USA probíhal vývoj pod velením NASA. [11]

Dnes najdeme největší větrné elektrárny a také jejich největší množství v Dánsku, Číně, Indii a USA. (Obr.5) První větrná turbína s výkonem až 15MW byla uvedena do provozu v prosinci roku 2022. Lopatky této turbíny vyrobila společnost Vestas a dosahují délky 115,5 metrů. [12] (Obr.6)



Obr. 5 Jedna z největších větrných farem na světě v provincii Gansu, Čína



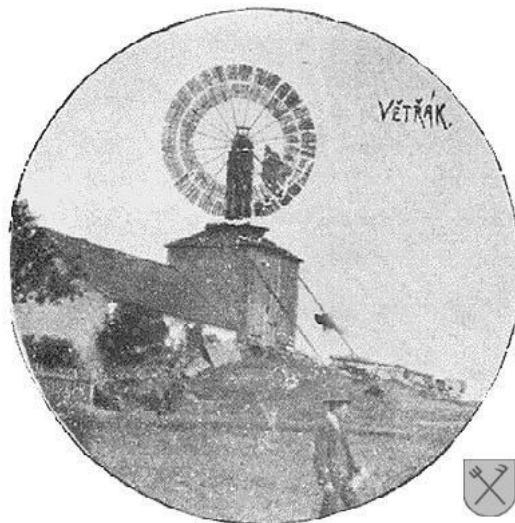
Obr. 6 Větrná turbína V236-15.0 MW™ od společnosti Vestas



3.1.2. Česká republika

Z úplně prvních větrných elektráren v České republice jsou dochované jen krátké písemné zmínky a dobové fotografie, jedna taková vznikla v roce 1910 a nacházela se na Českomoravské vrchovině, v Lipnici nad Sázavou. [10]

Další se nacházela v obci Tvarožná u Brna, kde původní konstrukcí byla kamenná budova s jednoduchým dřevěným mlýnem se čtyřmi lopatkami a v průběhu historie došlo k modernizaci této stavby. (Obr.7) Dřevěný mlýn byl nahrazen Halladayovou větrnou turbínou a byla přistavena nová dvoupatrová zděná budova. Po první světové válce nechal tehdejší majitel postavit další přístavbu, a to třípatrovou zděnou budovu. Nechal také instalovat i dynamo s třílistou vrtulí na výrobu elektrické energie. Zanedlouho však vrtuli nahradil benzínovým motorem a později motorem na plyn. Provoz skončil v roce 1950 a dnes zde nalezneme původní třípatrovou budovu, ale už pouze pozůstatky původního technického vybavení, které naznačují původní účel stavby. [13] (Obr.8)



Obr. 7 Původní dřevěný mlýn doložený do roku 1870



Obr. 8 Současný stav původních budov

První více zdokumentovaná konstrukce je dnes již neexistující větrná elektrárna na krkonošském Obřím hřebeni asi 1 kilometr od vrcholu Sněžky vedle horského hotelu Slezský dům. Dodnes tu najdeme pozůstatek původního objektu, na které stála příhradová konstrukce s lopatkovým rotorem. Vzhledem k umístění v poměrně drsných horských podmínkách konstrukce rotoru dlouho nevydržela. Pod silnými náporů větru a námrazou, která mohla způsobit i nerovnováhu samotného rotoru, se elektrárna v únoru roku 1925 zřítila. [10] (Obr. 9)

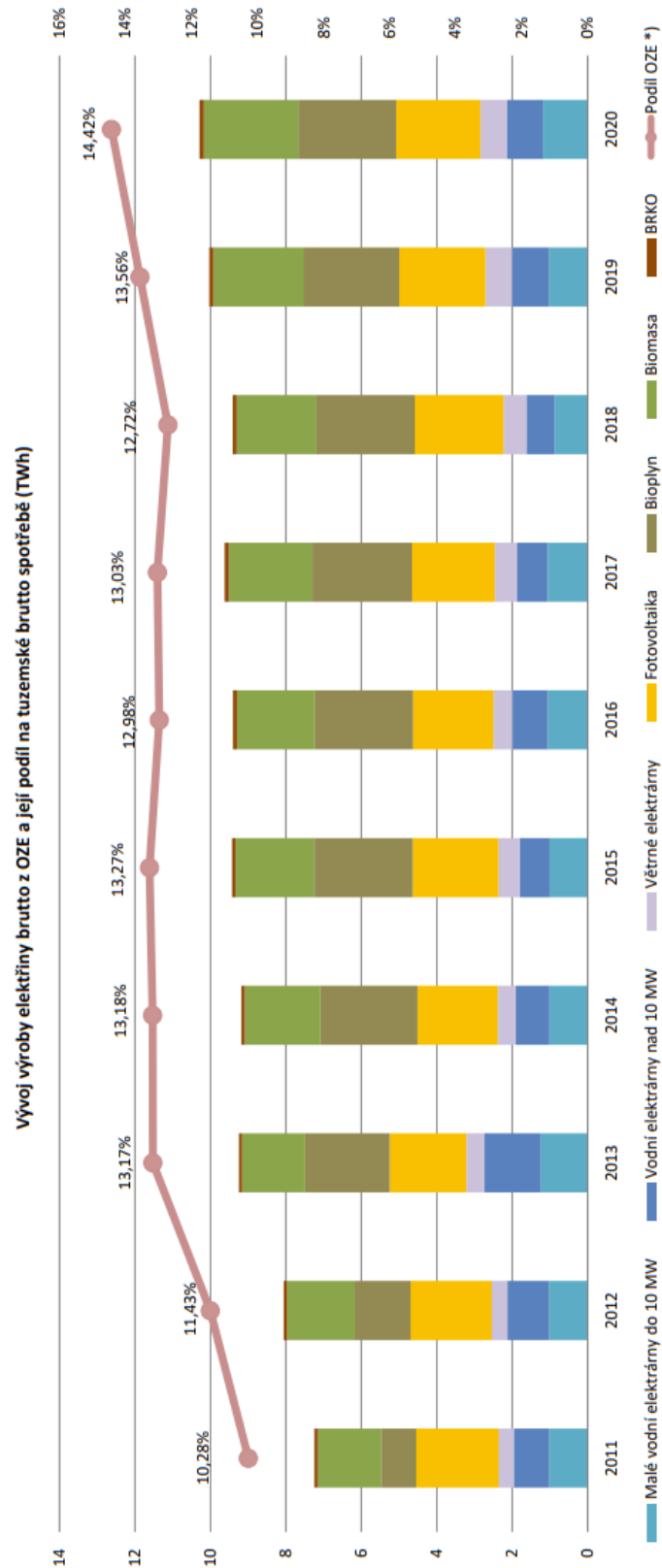


Obr. 9 Německá pohlednice, která dokazuje existenci větrné elektrárny v Krkonoších, na obrázku zvýrazněna v červeném obdélníku



Ropná krize, na rozdíl od okolních států, nenutila tehdejší Československo přejít na jiný zdroj energie. Byl zde totiž dostatek fosilní suroviny – uhlí – a tak to celkově zpomalilo přechod z fosilních paliv na obnovitelné zdroje energií.

Ke konci 20.století byly v České republice postaveny po vzoru okolních států první moderní větrné elektrárny, ale pouze část z nich jsou v provozu dodnes. Větší podpory výstavby se v ČR dostalo až po roce 2002, kdy okolní státy už zaznamenaly rychlý vývoj a několikanásobně překonaly ČR v instalovaném výkonu větrných elektráren. Na konci roku 2020 byl podíl využití větrné energie necelé 1%, nejnižší v porovnání s využitím ostatních obnovitelných zdrojů energie. [14][15] (Graf 2)(Tab. 1)



Graf 2 Vývoj výroby elektřiny brutto z OZE a její podíl na tuzemské brutto spotřebě (TWh) *BRKO=biologicky rozložitelná část komunálního odpadu



	2011	2012	2013	2014
Celkem OZE [MWh]	7 247 504	8 055 026	9 243 382	9 176 941
Malé vodní elektrárny do 10 MW	1 017 878	1 026 254	1 236 978	1 012 212
Vodní elektrárny nad 10 MW	945 276	1 102 912	1 497 762	897 549
Větrné elektrárny	397 003	415 817	480 519	476 545
Fotovoltaika	2 182 018	2 148 624	2 032 654	2 127 203
Bioplyn	932 576	1 472 142	2 241 300	2 567 857
Biomasa	1 682 563	1 802 591	1 670 327	2 008 240
BRKO	90 190	86 686	83 842	87 335
Tuzemská brutto spotřeba [MWh]	70 516 541	70 453 278	70 177 356	69 619 821
Podíl OZE *)	10,28%	11,43%	13,17%	13,18%

*) prostý podíl výroby elektřiny brutto z OZE a celkové tuzemské brutto spotřeby elektřiny

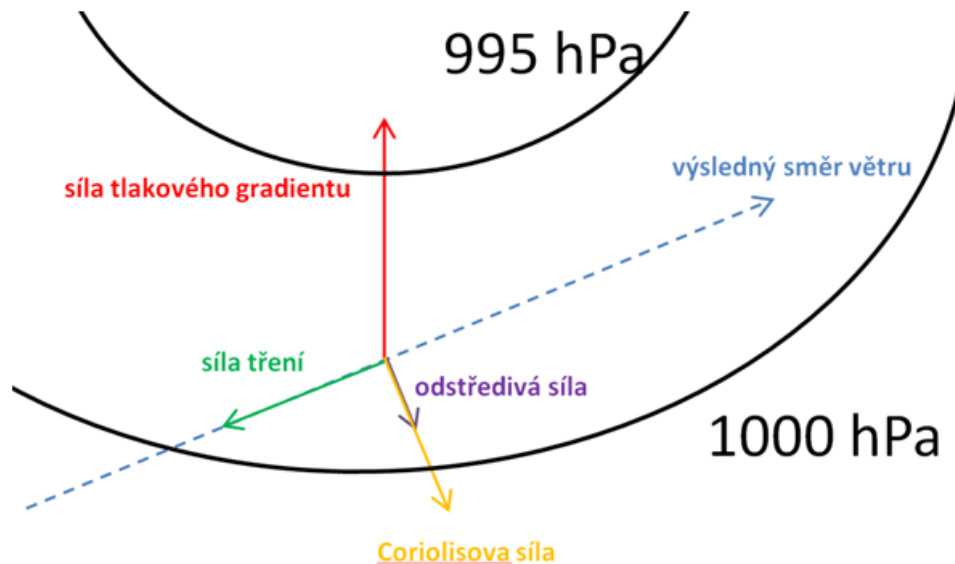
2015	2016	2017	2018	2019	2020
9 427 154	9 399 050	9 621 797	9 404 230	10 026 384	10 291 075
1 002 376	1 054 096	1 062 545	873 814	1 023 648	1 178 705
793 010	947 388	806 985	753 701	985 004	965 180
572 612	496 960	591 038	609 330	700 034	699 083
2 267 116	2 134 041	2 196 653	2 341 205	2 287 043	2 235 121
2 614 544	2 600 561	2 638 985	2 607 245	2 527 072	2 594 686
2 090 855	2 067 443	2 211 353	2 118 724	2 398 734	2 498 921
86 642	98 561	114 238	100 210	104 849	119 378
<i>zdroj dat: předchozí roční zprávy, výkaz ERÚ-E1, OTE, a.s. (od roku 2013)</i>					
71 016 159	72 419 636	73 819 323	73 941 660	73 931 632	71 353 869
13,27%	12,98%	13,03%	12,72%	13,56%	14,42%
<i>zdroj dat: předchozí roční zprávy, výkaz ERÚ-E1, ERÚ-E2, ERÚ-E3, OTE, a.s.</i>					

Tab. 1 Vývoj výroby elektřiny brutto z obnovitelných zdrojů energie (OZE)

3.2. Zdroje větrné energie

Zdrojem větrné energie je pohyb jednotlivých vzduchových molekul. Proud větru vzniká přirozeným pohybem vzduchu v zemské atmosféře. Podmínkou pro pohyb vzduchu je rozdílná hustota vzduchu způsobená nerovnoměrným ohříváním vzduchu, která má za následek vznik tlakového gradientu. Příroda se přirozeně snaží udržet rovnováhu a stejně tomu tak je i v případě tlaku větru. Síla tlakového gradientu tak nutí molekuly vzduchu se pohybovat.

Na konečný výsledný směr působení a rychlost větru má vliv mnoho dalších sil. Například Coriolisova síla, která je způsobená rotací zeměkoule. [16] (Obr.10)



Obr. 10 Schéma sil působící na vzduch v tlakovém poli v blízkosti zemského povrchu

3.3. Typy větrných turbín

Větrné turbíny můžeme dělit podle různých kritérií na několik typů: [17]

3.3.1. Podle orientace osy otáčení lopatek

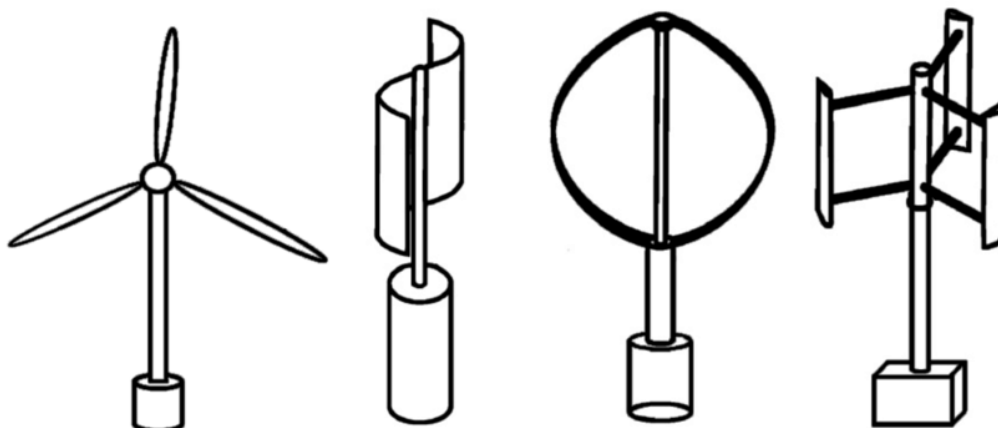
- horizontální osa otáčení
- vertikální osa otáčení

3.3.2. Podle principu fungování turbíny

- Odporové turbíny
- Vztlkové turbíny

3.3.3. Podle uspořádání lopatek

- Savoniova turbína
- Darrieova turbína
- Darrieova turbína H-rotor
- Vrtule (Obr.11)
- Halladayova (mnoholopátková) turbína (Obr.12)



Obr. 11 Schématický obrázek typů turbíny, zleva vrtule, Savoniova turbína, Darrieova turbína a Darrieova turbína H-rotor



Obr. 12 Příklad Halladayovy (mnoholopátkové) turbíny

3.3.4. Podle výkonu turbíny

Hranice výkonu, podle kterých jsou turbíny děleny, se mohou v různých publikacích trochu lišit, v této práci mám hranice nastaveny následovně: [18]

- Mikroelektrárny

Elektrárny o výkonech do 2 kW s průměrem rotoru do 2 metrů lze postavit na budovy nebo stožáry, které slouží primárně k jinému účelu. Využívají se typicky na dobíjení baterií.



- Malé větrné elektrárny

Elektrárny o výkonech do 50 kW s průměrem rotoru do 15 metrů se používají jako lokální zdroje pro místa bez připojení k elektrické síti, které se umísťují spíše už na samostatné stožáry.

- Střední větrné elektrárny

Elektrárny o výkonech do 300 kW s průměrem rotoru do 35 metrů mají poměrně omezené využití, například pouze jako sekundární zdroje menších lokalit.

- Velké větrné elektrárny

Elektrárny o výkonech nad 300 kW jsou primárním zdrojem energie v rámci elektrických sítí.

V následujících částech této práce se budu věnovat především současným moderním větrným elektrárnám – velké větrné elektrárny s vrtulí.

3.4. Základní rozdělení větrných elektráren

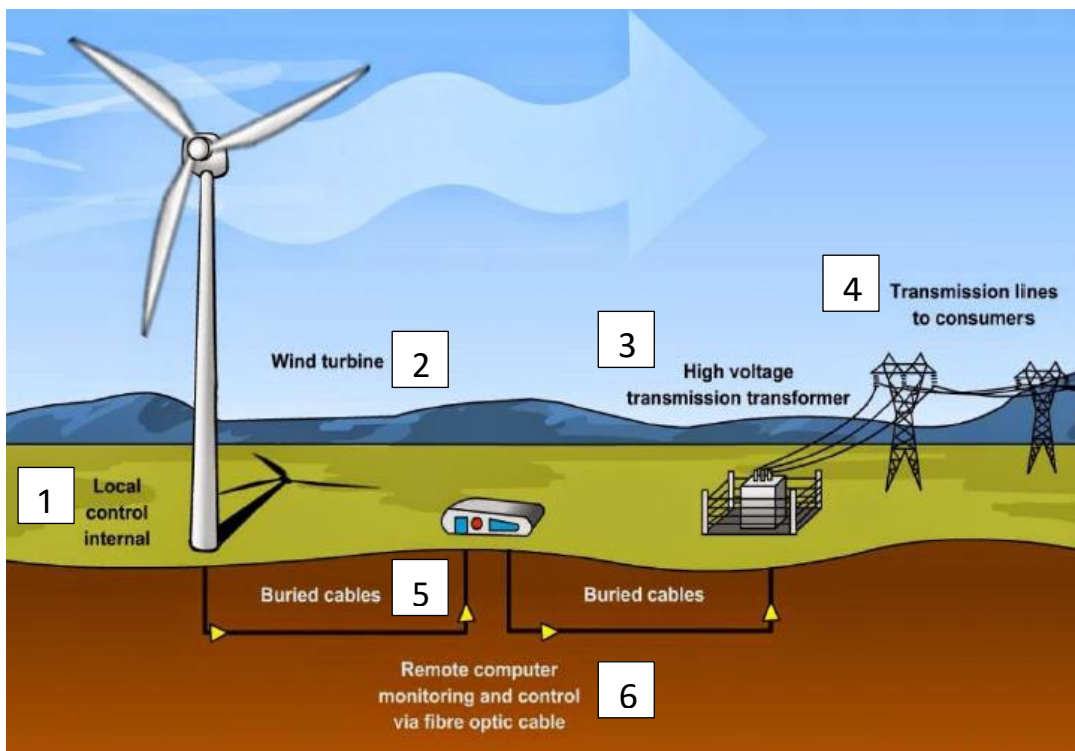
Pojem větrné farmy, někdy nazývané také větrné parky, označuje skupinu větrných elektráren umístěných ve shluku, avšak vzdálenost mezi jednotlivými turbínami musí být dostatečně velká, aby se samy sebe navzájem svým rotováním neovlivňovaly.

Zvolení vhodné vzdálenosti je jedním z důležitých parametrů, který se musí vzít v potaz při navrhování větrné farmy. V případě, že by byly umístěny příliš blízko sebe, tak nastává tzv. „wake effect.“ Tento efekt se projevuje tím, že za každou turbínou do určité vzdálenosti je rychlost větru snížena turbulencemi, které daná turbína sama vytvoří a ovlivní tak účinnost okolních turbín. Na druhou stranu musíme brát v potaz náročnost provedení delších rozvodů a omezení z hlediska dopadu na životní prostředí. Obecně se doporučuje okolo 6-10 násobku průměru turbíny. Přesná vzdálenost turbín se vždy určuje podle detailní studie s reálnými měřeními a vhodně zvoleném modelu terénu se všemi okrajovými podmínkami. [19]



3.4.1. Větrné farmy na pevnině (Onshore)

Jak už z názvu podkapitoly vyplývá, tyto větrné elektrárny jsou stavěny na pevnině, která zabírá pouze přibližně 29% zemského povrchu, což je poměrně omezený prostor. [20] Často je snaha u těchto elektráren umísťovat je při pobřeží velkých vod na horských hřebenech, kde pro to existují ideální podmínky, avšak ne vždy je to realizovatelné. Další obvyklé umístění najdeme v rovinných neobydlených oblastech. Zde navíc není nutno řešit problematiku dopadu hluku a vibrací na obydlí. (Obr.13)



Obr. 13 Schéma Onshore větrné farmy, 1 - vnitřní místní ovládní, 2 – větrná turbína, 3 – transformátor s vysokým napětím, 4 – distribuční síť vedoucí ke spotřebitelům, 5 – kabely v podzemí, 6 - vzdálené monitorování a ovládní pomocí počítače přes optický kabel

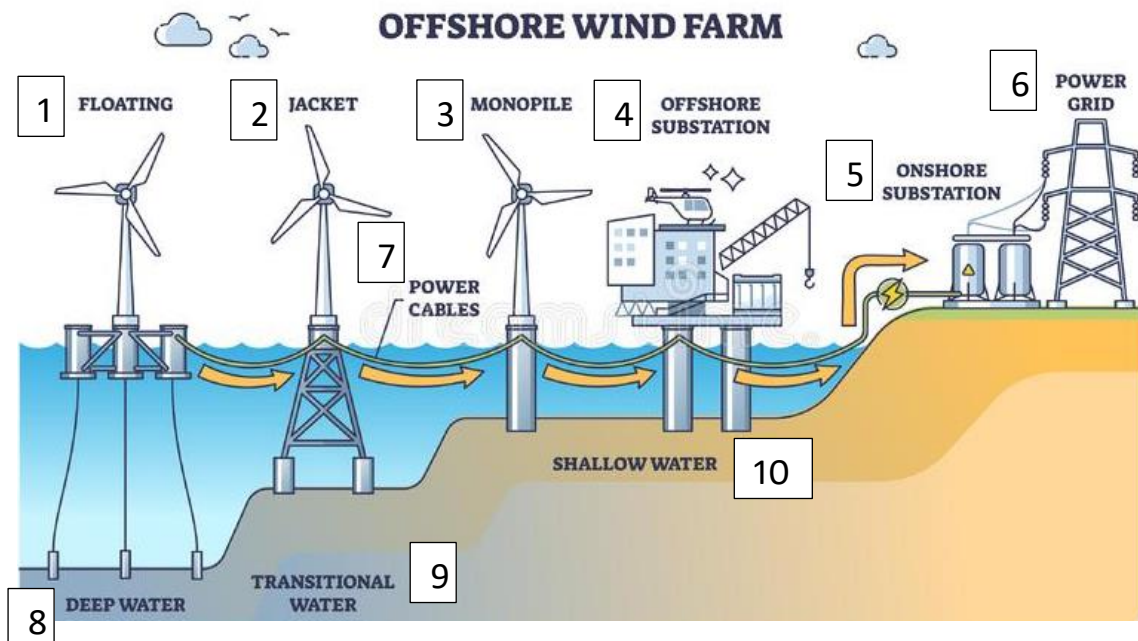
3.4.2. Větrné farmy v pobřežních vodách (Offshore)

Název Offshore už napovídá, že tyto větrné elektrárny se budou nacházet mimo pevninu, obvykle na mořích. Jedním z hlavních důvodů, proč se staví na vodní hladině, jsou častější náporů větru s mnohem vyššími rychlostmi než na pevnině, ale nese to s sebou za následek také vyšší investiční náklady a nároky na mnohem dražší údržbu během



provozu. Dalším velkým kladem je podstatně větší a volnější prostor pro umístění. [20] (Obr.14)

První Offshore větrnou farmu postavili v Dánsku v roce 1991, jelikož už neměli prostor na pevnině, a tak byli nuceni přijít s novým řešením. Tato mořská větrná farma obsahovala celkem jedenáct turbín a nacházela se u pobřeží města Vindeby na dánském ostrově Lolland. Dnes již není aktivní, protože v roce 2017 byla po 25 letech životnosti vyřazena z provozu, jelikož její další činnost by byla příliš nákladná. [21]



Obr. 14 Schéma Offshore větrné farmy, 1 – plovoucí, 2 – příhradové, 3 – pilotové, 4 – pobřežní rozvodna, 5 – pevninská rozvodna, 6 – elektrická síť, 7 – napájecí kabely, 8 – hluboké vody, 9 – brakické vody, 10 – mělké vody

3.5. Princip přeměny větrné energie na elektrickou energii

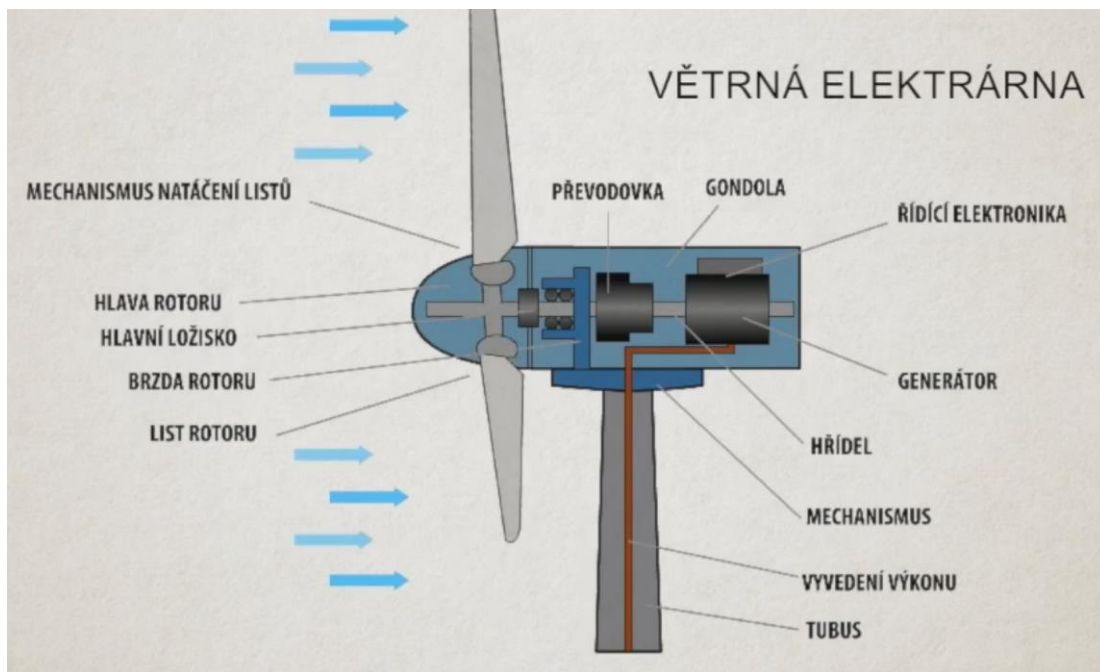
Kinetická energie vanoucího větru roztáčí lopatky rotoru a tím se aktivuje generátor, který je umístěn ve strojovně gondoly. Turbíny mají také zvlášť lopatku, která reaguje na směr proudění a automaticky natočí gondolu tak, aby docházelo k plnému využití energie. Strojovna obsahuje i brzdu, která v případě havárie nebo poruchy zabrání dalšímu nežádoucímu roztočení rotoru.

V turbíně je také převodovka, která mnohonásobně zvyšuje rychlost otáčení hřídele. Tato část je velmi náchylná k poruchám, proto



existují i bezpřevodkové systémy. Generátor pak tuto výslednou kinetickou energii pomocí magnetického pole převede na energii elektrickou.

Z turbíny je elektrická energie poslána do konvertoru umístěného v základně, který ji přemění na střídavý proud. Ten se shromažďuje v pomocné rozvodně dané větrné farmy, odkud je energie distribuována do spotřebitelské sítě odběratelům elektřiny. [22] (Obr.15)



Obr. 15 Popis hlavních částí větrné turbíny

Velikost kinetické energie, která roztáčí lopatky rotoru, závisí hlavně na rychlosti větru. Základní vztah pro kinetickou energii tělesa značená E_k je

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \text{ [J]} \quad (1),$$

kde m značí hmotnost tělesa a v značí rychlost pohybu tělesa. Vztah (1) je pro částice pevných látek, pro molekuly vzduchu je nutno tento vztah trochu upravit. Pro hmotnost vzduchu dm v daný okamžik dt platí následující vztah (2)

$$\frac{dm}{dt} = \rho \cdot A \cdot v \quad (2),$$



kde ρ značí hustotu vzduchu, A značí plochu, kterou vzduch proudí, a v značí rychlost proudění vzduchu. Bude-li A v m^2 , ρ v kg/m^3 a v m/s a poté dosadíme tento vztah (2) do předchozího vztahu (1) a upravíme, dostaneme:

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v \cdot dt \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot dt \cdot v^3 [J] \quad (3)$$

Abychom získali vztah pro výkon větru P , tak využijeme vztahu mezi P a E

$$P = \frac{E}{dt} [W] \quad (4)$$

a po úpravě dostaneme:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 [W] \quad (5)$$

Ze vztahu (3) nebo (5) můžeme vidět, že energie větru, respektive výkon turbíny je přímo úměrná hustotě vzduchu a třetí mocnině její rychlosti. Jelikož rychlost je ve třetí mocnině, stává se tak hlavním faktorem, který ovlivňuje výkon turbíny. [23][24][25]

3.6. Účinnost větrné turbíny

Účinnost turbíny určuje tzv. Betzovo pravidlo. Toto pravidlo, které formuloval německý fyzik Albert Betz, tvrdí, že maximální kinetickou energii větru, kterou turbína dokáže získat, nemůže překročit hranici 59,3% a to bez ohledu na tvar turbíny či jiného přístroje využívajícího větrnou energii.

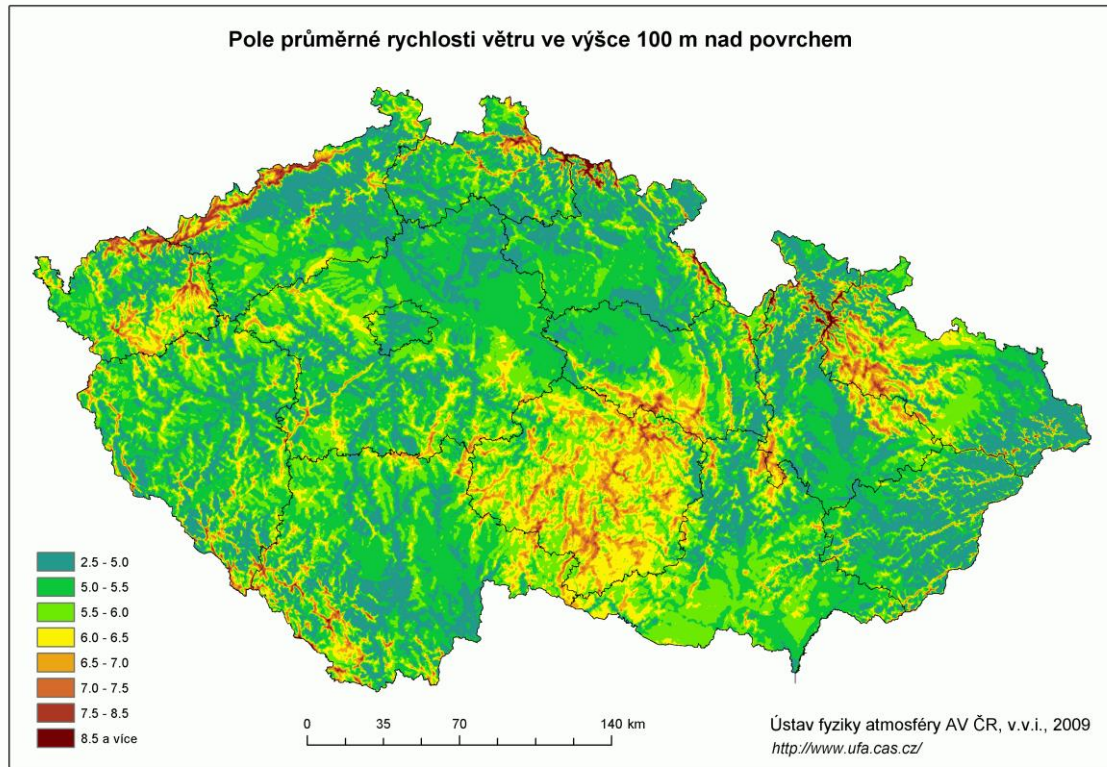
U reálné turbíny je však tato hodnota ovlivněna ještě dalšími jinými ztrátami a dosahují tak zhruba 70-80% limitu určeného Betzovým pravidlem. [26]

3.7. Požadavky na rychlost větru

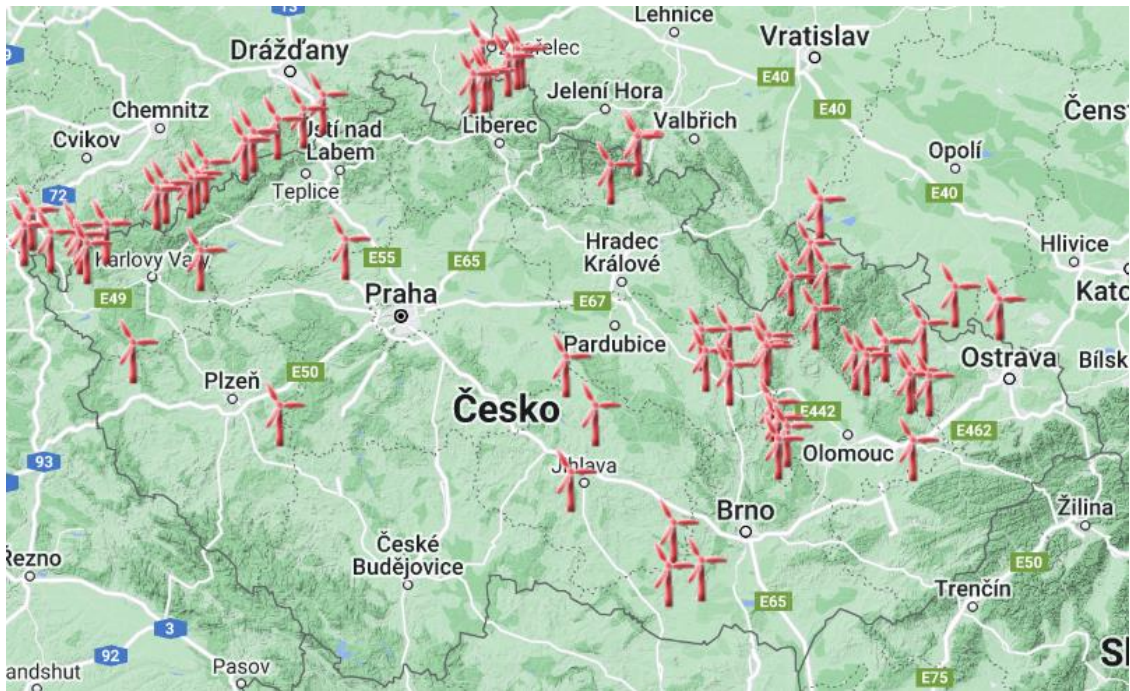
Rotor se většinou roztáčí při rychlostech větru 2-5 m/s. Zpočátku roste s rychlostí větru velmi rychle výkon turbíny, kdy při rychlosti 10-14 m/s dojde k dosažení maximálního výkonu. Hranice rychlosti větru při které se chod turbíny většinou už zastavuje je 20-25 m/s, aby nedošlo k poškození konstrukce. [18]



V České republice se nachází tři hlavní oblasti, které vyhovují podmínkám rychlosti větru ve výšce 100 metrů nad povrchem, a to v oblasti Českomoravské vrchoviny, na hranicích s Německem v Krušných horách a na hranicích s Polskem v Krkonoších a Jeseníkách. (Obr.16) Nejvíce se jich nachází po hřebenech Krušných hor. (Obr.17)



Obr. 16 Větrná mapa ČR, 2009



Obr. 17 Mapa větrných elektráren v ČR, 2023

3.8. Dopad na životní prostředí a krajinu

Moderní větrné elektrárny jsou poměrně masivní konstrukce, mohou vizuálně ovlivnit krajinu a v chráněných přírodních oblastech není vůbec povoleno větrné elektrárny stavět. Otáčení lopatek větrné turbíny a motor turbíny produkují hluk, některé lidi tento hluk obtěžuje a mohou psát stížnosti, avšak podle studií provedené v Kanadě a Austrálii nemá tento hluk a vibrace nepříznivý dopad na zdraví obyvatelstva. Ptáci a netopýři mohou být zraněni dokonce i smrtelně, když přijdou do styku s rotujícími lopatkami. Tato úmrtí mohou přispívat k úbytku populace druhu, které jsou mimo jiné již negativně ovlivněny lidskou činností. [27]

3.9. Výhody a nevýhody větrné energie

Jelikož je větrná energie přírodním zdrojem, tak je vysoce závislá na klimatických podmínkách, podmínkách povětrnosti a geografických podmínkách, tudíž větrné elektrárny má smysl postavit pouze tam, kde pro to jsou vhodné okolnosti. Vítr musí dosahovat dostatečné rychlosti a tlaku, což v oblastech jako jsou například města nebo zalesněné oblasti většinou není, zde dochází k vysokému tření větru a turbulentnímu proudění.



Na druhou stranu to, že právě je přírodním a obnovitelným zdrojem, má také velká pozitiva. Její využívání samotné neprodukuje další škodlivé látky do atmosféry (jedná se zejména o oxid uhličitý) a nepřispívá tak ke skleníkovému jevu.



4. Dřevo pro stavbu větrných elektráren

4.1. Historie použití dřeva pro větrné elektrárny

Jak bylo již zmíněno v předchozích kapitolách, tak první konstrukce využívající energii větru byly zčásti nebo kompletně ze dřeva. Většinou byly lopatky dřevěné v kombinaci s věží z jiného materiálu. Věž byla tehdy často zděná, ale to již později nedokázalo splňovat požadavky na výšku. Konstrukce se začaly stavět z oceli a betonu. To už vyhovovalo požadavkům a bylo tak vhodnou náhradou.

Pokud se jedná o stavby současných moderních větrných elektráren ze dřeva, tak to je poměrně novodobá záležitost. První takový prototyp větrné elektrárny v roce 2012 postavila německá firma TimberTower v německém městě Hannover. [28]

4.2. Balzovník jihoamerický (*Ochroma pyramidale*)

4.2.1. Zařazení do biologické rodiny

Z botanického hlediska patří balzovník jihoamerický do čeledi slézovitých (*Malvaceae*). [29]

Vědecká klasifikace:

- Říše: rostliny (*Plantae*)
- Podříše: cévnaté rostliny (*Tracheobionta*)
- Oddělení: krytosemenné (*Magnoliophyta*)
- Třída: vyšší dvouděložné (*Rosopsida*)
- Řád: slézotvaré (*Malvales*)
- Čeleď: slézovité (*Malvaceae*)
- Podčeleď: cejbovité (*Bombacoideae*) [29]

4.2.2. Výskyt a kultivace

Rostlina má původ v zemích centrální a jižní Ameriky, ale dnes je rozšířena i do mnoha jiných zemí. Najdeme ji například v Papui Nové Guinei, Indonésii, Malajsii anebo na Fidži. [30][31]

Balzovník je pionýrským druhem rostliny, což znamená, že osidlují místa, kde existuje často jen neživá příroda a připravují lokalitu pro



život ostatních organismů. Po vyklíčení semene je jejich růst rapidní, ale oproti tomu mají poměrně krátký život v porovnání s délkou života ostatních stromů, dožívají se obvykle 30 až 40 let. Takový tříletý balzovník běžně dosahuje výšky 7 metrů a obvod kmene dosahuje až 15 centimetrů. [32] (Obr.18)(Obr.19)



Obr. 18 Pohled na kmen balzovníku



Obr. 19 Kulatina z balzovníku



Strom kvete typicky na konci období dešťů, kdy okolní stromy už jsou po svém čase kvetení. Nerozkvetlý květ balzovníku tvarem připomíná špičatý zmrzlinový kornout, je 12 centimetrů dlouhý a v průměru má 9 centimetrů.(Obr.20)(Obr.21) Její květy se otevírají v pozdní odpoledne a zůstávají otevřené přes noc. [31]



Obr. 20 Nerozkvetlý květ balzovníku



Obr. 21 Pohled na korunu stromu balzovníku



4.2.3. Vlastnosti dřeva z balzovníku

Dřevo z balzovníku najdeme pod komerčním názvem balsa. Dnes přes 95% tohoto komerčního dřeva pochází ze stromů vypěstovaných v Ekvádoru. Stromy se kácí už velmi mladé, a to po šesti až deseti letech, aby zachovaly svoje optimální vlastnosti. Když stromy dosáhnou po dvanácti až patnácti letech své dospělosti, tak se zvyšuje jejich hustota a dochází ke tvoření jádrového dřeva, které má sklony k podmáčení. [30]

Balsa dřevo má velmi světlou až bílou barvu. Její hustota se nachází v rozsahu 120-220 kg/m³. Dřevo se snadno lepí, barví a leští, naopak není moc vhodné na mechanické spojování. Strom je náchylný k napadení termity a tesaříkem.

Podle Jankovy pevnostní zkoušky je její pevnost 310N a ojedinělý vzorek měl naměřenou hodnotu 98N. Následující mechanické vlastnosti platí pro dřevo při dvanáctiprocentní vlhkosti a jsou podle údajů uvedené na stránkách WoodSolutions. [33] Jedná se o australskou průmyslovou iniciativu, která poskytuje veřejnosti nezávislé a volně dostupné informace o dřevu a dřevěných produktech. Nejnižší uvedená pevnost v ohybu je 5,6 MPa. Modul pružnosti dosahuje 1,8 MPa až 6,4 MPa.

4.2.4. Možnosti využití balsa dřeva

Balsa dřevo se využívá kvůli její nízké hustotě a přitom vysoké pevnosti v porovnání s ostatními dřevinami. Používá se především na tuhé, avšak lehké konstrukce. Může se jednat o zkušební modely reálných konstrukcí mostů, budov a letadel. [30]

Dlouhou historii má v odvětví, ve kterém se balsa dřevo používá na výrobu surfovacích prken. Před vynálezem polyuretanové pěny v roce 1950 bylo toto dřevo preferovaným materiálem. [34] Používá se i v rybářství na výrobu umělých návnad, tzv. woblerů. Vzhledově vypadají jako malá barevná rybička s rybářským háčkem. (Obr.22)



Obr. 22 Ukázka wobleru

Velmi často se balsa dřevo využívá jako složka kompozitního materiálu. Obvykle je vložena jedna vrstva mezi ostatní vrstvy kompozitu. Nachází uplatnění například v pákách na stolní tenis nebo v palubních deskách menších vodních plavidel. V této práci v kapitole 4.6 se budu více věnovat použití v lopatkách větrné turbíny. [30]

4.3. LVL

LVL (laminated veneer lumber) je zkratka z anglického jazyka pro lepené vrstvené dřevo vyrobené slepením několika tenkých vrstev dýh dřeva. Dýhy vznikají krájením nebo loupáním kmenů stromů a tímto způsobem se všechny lokální defekty surového dřeva rozloží rovnoměrně skrz celý prvek. Dýhy se vyrábějí v tloušťkách od 0,3 až do 6 milimetrů a pro LVL se obvykle používá tloušťka 3 milimetry. [35][36]

Dříve než se jednotlivé vrstvy zalaminují a slepí dohromady, tak jsou vrstvy vysušeny a orientovány podle vláken do stejného směru, proto má konečný materiál různé mechanické vlastnosti v různých směrech. Takto vyrobené lepené vrstvené dřevo má výrazně vyšší tuhost a pevnost oproti normálnímu řezivu. LVL je méně náchylné k objemovým změnám a v podstatě nemá omezení ve výrobních rozměrech, omezené je spíše z hlediska následné dopravy na stavenišťě. (Obr.23)



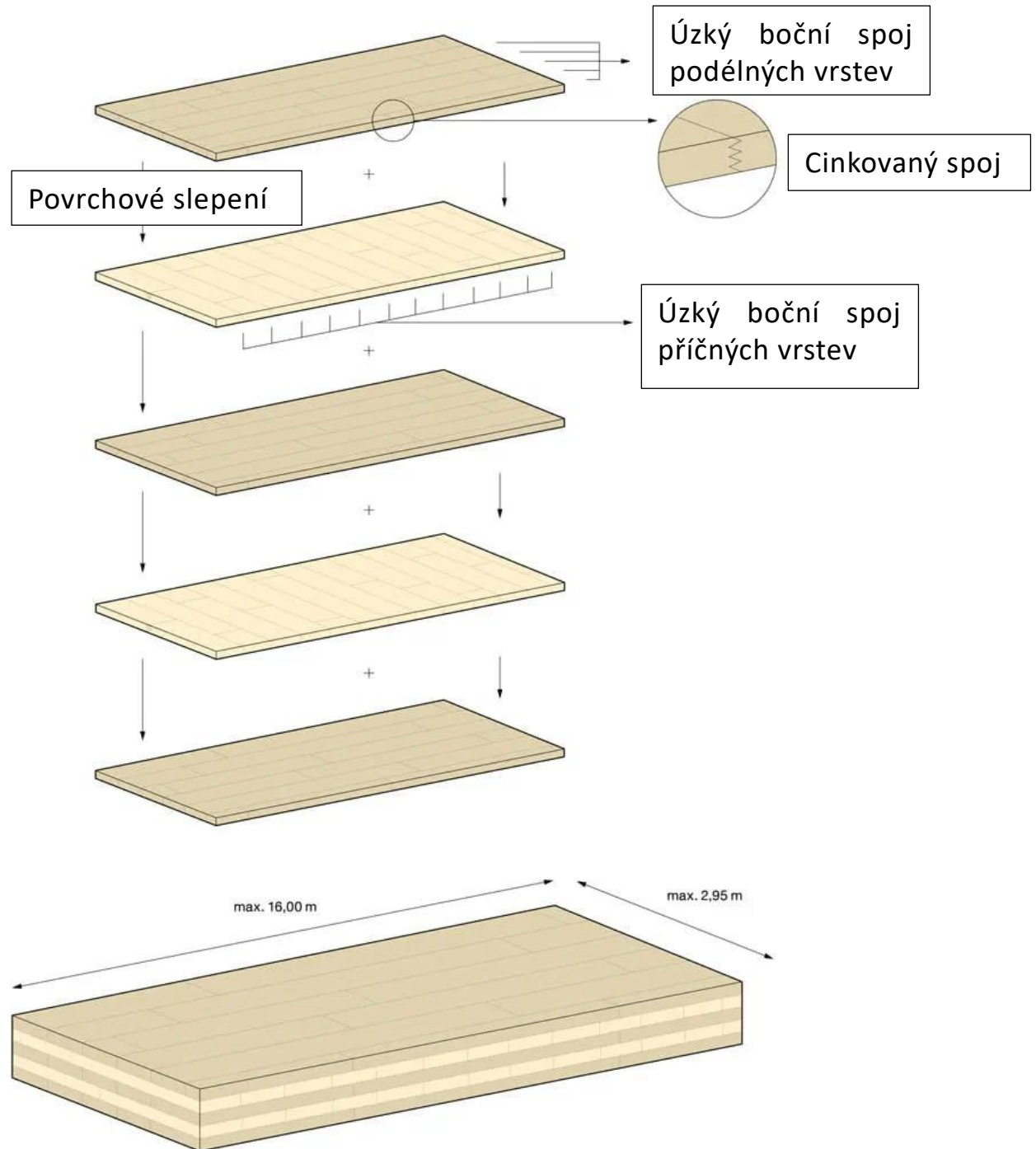
Obr. 23 Slepeneé vrstvy dýhy v LVL

Na slepení vrstev se používají polyuretanová lepidla nebo lepidla na bázi pryskyřice. U obou těchto lepidel hrozí při vysokých teplotách ztráta vlastní pevnosti, což není žádané, mohlo by totiž dojít k odlepení jednotlivých vrstev od sebe. U LVL k tomu obvykle nedochází a při požáru se vrstvené lepené dřevo chová stejně jako výrobek z masivního dřeva, kdy vytvoří zuhelnatělou vrstvu, která chrání dřevo proti dalšímu hoření. [37]

LVL je vhodné především pro nosné trámy a vazníky, dokáže překlenout i velká rozpětí. Existují i panely, které mají zhruba dvacet procent dých orientovaném v opačném kolmém směru. Tyto panely se nejčastěji používají na vyztužení stropních, střešních a stěnových konstrukcí. [38]

4.4. CLT

CLT (cross-laminated timber) je zkratka z anglického jazyka pro křížem vrstvené dřevo. Jednotlivé vrstvy jsou z prken masivního dřeva, které jsou střídavě podle vláken orientovány kolmo na sebe. Minimální počet vrstev masivního dřeva, ze kterých se CLT skládá, je tři a vyrábí se až do devíti vrstev. Z hlediska větší mechanické stability se obvykle udržuje lichý počet vrstev, aby obě vnější strany vláken byly namáhány ve stejném směru. [39](Obr.24)



Obr. 24 Orientace vláken ve vrstvách CLT

Prkna z masivního dřeva jsou vytříděna podle kvality, vysušena a nařezána na požadované rozměry. Dvě dřevěná prkna se mohou spojit tzv. cinkovaným spojem, aby se tak mohla zaručit přesná délka, kterou potřebujeme a nebyli omezeni jen na délku kulatiny. (Obr.25) U prken s cinkovaným spojem je důležité dodržet, aby nebyly spoje přímo vedle

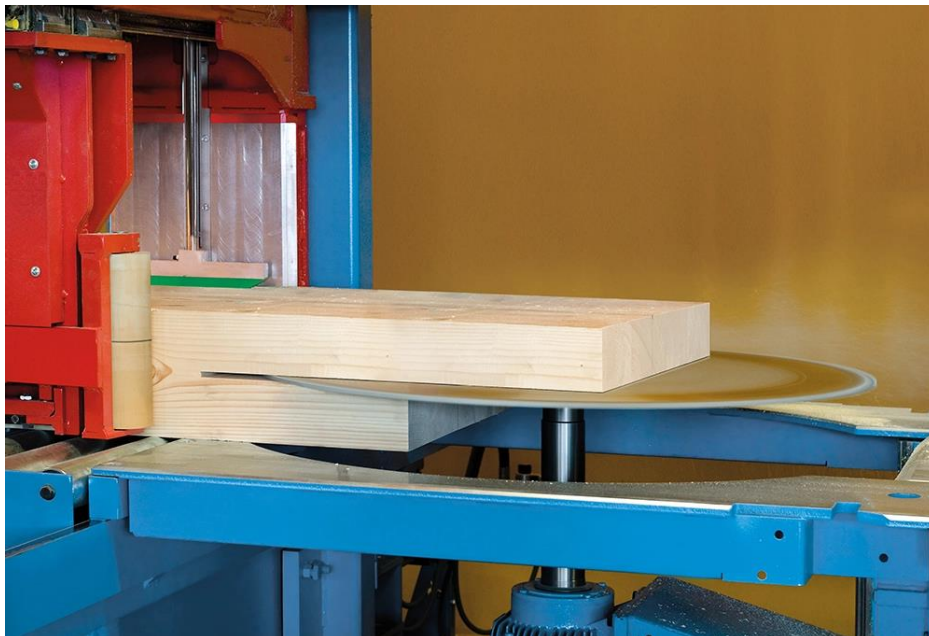


sebe nebo přímo nad sebou. Na výrobu jedné desky z CLT jsou obvykle potřeba dvě různé délky prken, kdy se prostřídá vrstva z kratších a vrstva z delších prken kladena kolmo na sebe. Jelikož se směry vláken po vrstvách prostřídají, tak výsledný produkt má v obou směrech skvělé mechanické vlastnosti. Na slepení se používá lepidlo na stejné bázi jako při výrobě LVL. [40]



Obr. 25 Cinkovaný spoj

Do finální slepené a slisované desky CLT lze podle předem navrženého designu pomocí CNC stroje vyřezat veškeré otvory, speciální tvary a drážky pro instalační rozvody. CNC stroj mnohonásobně urychluje celý proces výroby a také minimalizuje nepřesnosti, které způsobuje lidská práce. (Obr.26)



Obr. 26 Ukázka CNC stroje s horizontální pilou řady K2-Industry od firmy Hundegger



CLT je vhodnou alternativou, čím nahradit beton ve stropěch, stěnách a střechách budov. Takové panely mohou mít uvnitř tepelnou izolaci a z vnějšku již finální povrchovou úpravu. Dalším místem použití je například prefabrikované schodišťové rameno z CLT panelu. Jednotlivé schodišťové stupně lze s vysokou přesností automatizovaně vyřezat pomocí CNC stroje. [41](Obr.27)



Obr. 27 Schodišťový panel z CLT

4.5. Věž větrné elektrárny

V tuto chvíli jsou reálně postaveny jen dvě konstrukce větrných elektráren, kde celá věž je ze dřeva s ocelovými spojovacími prostředky. Obě elektrárny najdeme v Evropě, jednu v Německu a druhou ve Švédsku.

V prosinci roku 2012 byla v Německu dokončena stavba věže větrné elektrárny z příhradové konstrukce, která byla opláštěna panely z CLT. Stožár se skládá z několika segmentů složené ze čtyř příhradových konstrukcí postavené na výšku, který je zaklopen osmihrannou CLT deskou s instalačními otvory a průlezovým otvorem pro údržbu. (Obr.28) Samotná příhradová konstrukce je z rostlého dřeva. Segmenty se na stavbu přiváží jako hotové prefabrikované části a stačí je jen pouze sestavit dohromady. Po sestavení se příhradová konstrukce opláští CLT panely, které mají na vnější straně ochranou



vrstvu především proti povětrnostním podmínkám. (Obr.29) Ocelové spojovací prostředky jsou v HSK systému vlastněna společností TimberTower, která tuto stavbu prováděla. [28]



Obr. 28 Montáž příhradové konstrukce stožáru



Obr. 29 Opláštování příhradoviny CLT panely pomocí jeřábu

Další stavba věže větrné elektrárny ze dřeva byla dokončena ve Švédsku v květnu roku 2020. Dutý tubus této věže je složen kompletně celý z ohýbaných LVL panelů, ty se ohýbají pod vysokým tlakem podle předem připravené formy. (Obr.30) Spojením čtyř panelů vznikne jedna výšková úroveň tubusu, který směrem do výšky zmenšuje svůj průměr. Jedna výšková úroveň může mít 16 až 24 metrů. (Obr.31) Veškeré velikosti panelů jsou v modulových výrobních rozměrech pro lepší reference budoucích staveb. [42]

U obou věží tvoří základovou konstrukci železobetonová patka.



Obr. 30 Ohnutý LVL panel připravený k obrábění



Obr. 31 Pohled dovnitř třicetimetrového segmentu

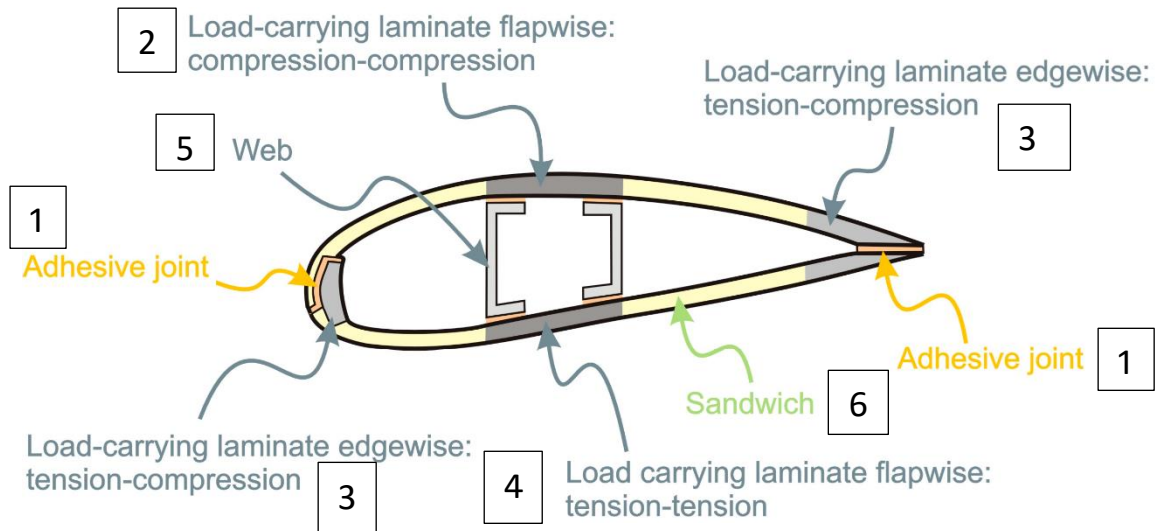
4.6. Lopatky větrné turbíny

V současnosti zatím neexistuje žádná instalace moderní dřevěné větrné elektrárny komplet i s dřevěnými lopatky větrné turbíny, avšak finská lesnická společnost Stora Enso ve spolupráci s německou startup firmou Voodin Blade Technology už teď má plány v dohledné budoucnosti postavit větrnou elektrárnu kompletně celou z dřevěných prvků vyjma strojních komponentů. Listy turbíny plánuje firma provést



z ohýbaného lepeného vrstveného dřeva, víc o tom nebylo podrobněji publikováno. [43]

Lopatky jsou nejdůležitější a nejdražší částí celé větrné turbíny. Nejčastěji se dnes vyrábějí lopatky z kompozitního materiálu. (Obr.32)



Obr. 32 Schématický příčný řez lopatkou, 1 – lepený spoj, 2 – nosný laminát stlačení-stlačení, 3 – nosný laminát pnutí-stlačení, 4 – nosný laminát pnutí-pnutí, 5 – vnitřní výztuha, 6 – sendvičová konstrukce

Nejstarší metodou produkce lopatek větrné turbíny z kompozitního materiálu je metodou otevřené formy. Výztužná vlákna (skelná) se ručně impregnovala pomocí válečků a malířských štětců do předpřipravené formy, po vyjmutí z formy se vrchní a spodní skořápka slepí dohromady i s vnitřními výztužnými nosníky. Tato technologie se používala především pro malé a střední lopatky (do 35 metrů). Velkým mínusem této technologie jsou vysoké náklady na lidskou pracovní sílu a relativně nízká kvalita finálního produktu. [44]

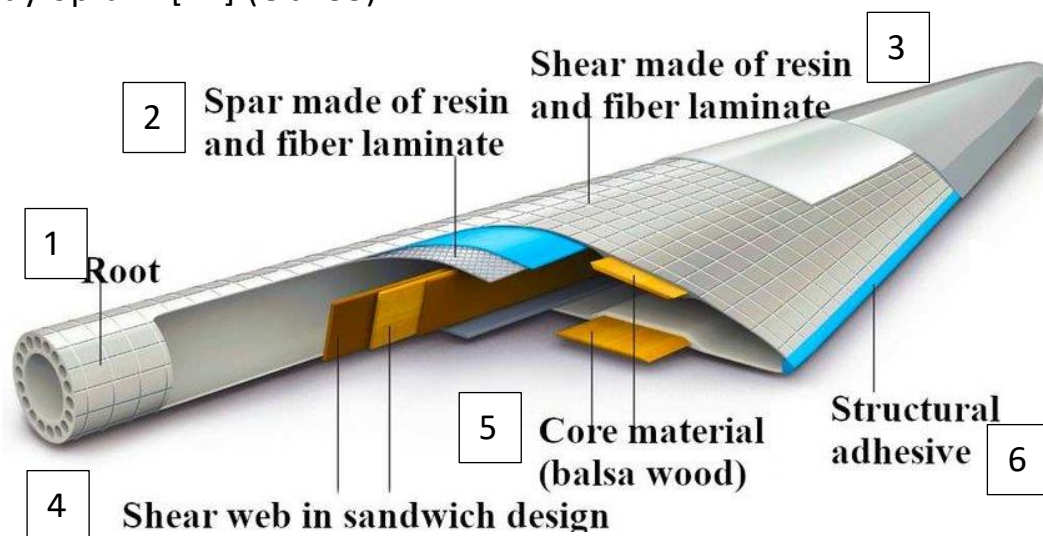
Po vynálezu technologie zvané prepreg, která byla přejata z leteckého průmyslu, bylo umožněno zvýšit kvalitu produktu. Prepreg funguje na principu „před-impregnovaných“ kompozitních vláken, které v sobě již obsahují matici (epoxidová nebo fenolická), která drží vlákna pohromadě. Průmyslově před-impregnovaná vlákna umožňují vytváření složitějších tvarů, využívá toho například dánský výrobce větrných turbín Vestas. [44]

Nejrozšířenější metodou výroby je metoda infuze pryskyřice. Vlákna jsou umístěna v uzavřené a vzduchotěsné formě, do které se



pod tlakem vstřikuje pryskyřice, po vyplnění všech dutin se celý výrobek vytvrzuje teplem. Existují dva druhy infuze pryskyřice: „Resin Transfer Molding“ (RTM), kdy se pryskyřice vstřikuje pod tlakem vyšším než je atmosférický, a „Vacuum Assisted Resin Transfer Molding“ (VARTM) neboli proces vakuové infuze, kdy je pryskyřice vstřikována ve vakuu (typicky ve vakuovém sáčku) nebo při tlaku nižším než je atmosférický. [44]

Z těchto dvou metod infuze pryskyřice se využívá více vakuová infuze pro výrobu lopatek větrné turbíny. Při vakuové infuzi se vrstvy tkanin ze suchých vláken zarovnají ve směru po délce lopatky, do formy mezi tyto dvě vrstvy vláken se dávají také polymerové pěny nebo balsa dřevo pro sendvičovou strukturu. Laminát je tlustší u kořene a směrem ke špičce se postupně ztenčuje. Vrstvy jsou zakryté vzduchotěsným vakuovým sáčkem a poté se aplikuje nízkoviskózní pryskyřice. Vytvrzování pryskyřice probíhá obvykle při pokojové teplotě. Po vytvrzení se provádí kontrola kvality, jestli nevznikly vzduchové bubliny nebo oblasti s nesmáčenými vlákny, pokud ano, tak se tyto výrobní vady opraví. [44] (Obr.33)



Obr. 33 Schéma jednotlivých vrstev skořápky, 1 – kořen lopatky, 2 – vzpěr vytvořený pryskyřičným a vláknitým laminátem, 3 – smyk vytvořený pryskyřičným a vláknitým laminátem, 4 – sendvičová konstrukce smykové výztuhy, 5 – jádrový materiál, 6 – strukturální lepidlo

Dají se formovat i z oceli, avšak reálně by to nebylo moc produktivní. Při používaných velikostech je hmotnost ocelové lopatky už příliš vysoká.



4.7. Provedení spojů a otvorů

Spojovací prostředky se používají mechanické ocelové, které dokážou odolat vysokému mechanickému namáhání způsobené silnými povětrnostními podmínkami. Veškeré dodatečné instalační otvory nebo speciální vrtání do prvku musí být provedeny podle doporučení výrobce, aby se zabránilo porušení funkčnosti prvku.

4.8. Povrchová úprava

4.8.1. Požární odolnost

V podmínkách, ve kterých jsou větrné elektrárny umístěny, je riziko požáru velmi nízké, mnohem více je namáhána vlhkostí, mrazem a větrem. Navíc pro masivní dřevo (v tomto případě jde o lepené dřevo, ale při hoření se chová stejně) je typické, že při požáru vytvoří na povrchu zuhelnatělou vrstvu, která chrání dřevo proti dalšímu prohořívání.

4.8.2. Vliv vlhkosti a mrazu

Vlhkost zde hraje velkou roli, jelikož konstrukce je vystavena dešti, sněhu i mrazu, proto je nutno bezpodmínečně dřevěnou proti těmto vlivům ochránit.

Při nekvalitně provedené nebo nevhodné povrchové úpravě může dojít ke hnilobě nebo růstu plísní na dřevěných prvcích. Nejvíce náchylné oblasti jsou rohy, hrany a místa se spoji.

4.8.3. Vliv povětrnosti

Jak už pojem větrné elektrárny napovídá, vítr zde hraje největší roli. Proti větru se provádí povrchová úprava ve formě fólie nebo tlustého nátěru, která vytvoří ochranou vrstvu. Tato vrstva je také vodotěsná a chrání proti průniku vlhkosti.

4.9. Postup výstavby

Z výroby se na stavbu vezou modulové části věže, jelikož to jsou mnohem menší celky než kompletní konstrukce, je přeprava urychlena a zjednodušena. (Obr.34)



Obr. 34 Způsob dopravy ohnutých LVL panelů

Samotná montáž na stavbě je poměrně rychlá díky prefabrikaci, která připraví veškeré potřebné otvory pro spoje a pomocí jeřábu jsou segmenty věže vyzdviženy a smontovány. Po dokončení věže se nainstaluje turbína a na ni poté rotor s lopatky.

4.10. Životnost dřevěné větrné elektrárny

Předpokládaná životnost dřevěné větrné elektrárny je stejná jako u běžné ocelové nebo betonové elektrárny, a to přibližně 25 až 30 let, avšak na potvrzení nebo vyvrácení tohoto předpokladu si musíme ještě počkat nějaký čas. [42]

4.11. Finanční návratnost

Z finanční stránky nelze v tuto chvíli úplně objektivně hodnotit, protože bude nutné rozsáhlejší ověření v praxi, kde se získá více informací a zkušeností po provedení více konstrukcí větrných elektráren ze dřeva. Již teď je však patrné, že se z hlediska vykazování uhlíkové stopy jedná o šetrnější volbu. Zároveň by mohlo dojít k finančním úsporám, pokud by na konstrukci byl větší podíl dřeva než oceli. Současně může zdroj dřeva pocházet od lokálního dodavatele s certifikací udržitelného zdroje této suroviny a ušetří se tak i na dopravě surového materiálu. [45][46]

Obecně o nákladech na výstavbu větrných elektráren lze konstatovat, že počáteční investice jsou poměrně vysoké a jejich výnos



se vrátí až v průběhu několika let po uvedení do provozu. Během celé její životnosti se musí ještě počítat s náklady na běžnou údržbu a různé drobné či rozsáhlejší opravy.

4.12. Údržba při provozu

Prakticky lze způsob údržby rozdělit na dva druhy, a to na preventivní a nápravnou. U první z nich se jedná o pravidelné kontroly aktuálního stavu, jestli došlo k nějakým trhlinám nebo jiným vadám a poruchám. Obvykle se dnes provádí nejprve kontrola na dálku, kdy člověk nemusí vylézat do výšek na elektrárnu. Po skenování se počítačově zpracují data, pokud je nalezena porucha či vada, tak se poté provádí bližší inspekce poškozené oblasti. Následuje pak další krok, kde se poškozená oblast opraví, nebo dojde k jejímu kompletnímu nahrazení. Obecně je dnes snaha omezit nutnost vylézání na turbínu a provádět manuální kontrolu. [47]

4.13. Likvidace materiálu po životnosti stavby

Dřevěný materiál použitý na stavbu věže větrné elektrárny lze po životnosti recyklovat. Dřevo lze znovu použít v konvenčních budovách a několika dalších aplikacích mnohem déle, než je cyklus opětovného růstu lesů, ze kterých se materiál získává. Zajistí se tak účinné zachycení oxidu uhličitého z atmosféry a dostatek času na opětovnou produkci přírodního zdroje materiálu. [42]

4.14. Porovnání dřevěné konstrukce s konstrukcemi z jiných materiálů

4.14.1. Ocel

Ocelová konstrukce stožáru v porovnání s dřevěnou má horší odolnost proti požáru a také hrozí koroze materiálu. Při požáru ocel ztrácí velmi rychle svoji pevnost a dojde ke kolapsu konstrukce rychleji než u dřeva. Menší ocelové lopatky turbíny lze použít, ale musí se často obměňovat za nové, protože rychle korodují. Zároveň při výrobě oceli vzniká přibližně osm procent globálních emisí uhlíku, což z ní dělá největšího producenta skleníkového plynu. Vědci se snaží tyto produkované emise při výrobě snížit a jednou z nich je Harrieta Kildahlová a její tým z britské univerzity v Birminghamu. Moderní



technologie, kterou vyvinuli, by mohla snížit emise uhlíku až o 94 procent, ale bude nutno tuto modernizaci ještě v praxi ověřit. [48]

4.14.2. Beton

V České republice je beton jeden z nejpoužívanějších materiálů a téměř každá konstrukce má minimálně základy ze železobetonu nebo prostého betonu. Velkou nevýhodou betonové konstrukce v porovnání se dřevěnou je pravděpodobně proces na stavbě a její doprava na staveniště. U betonové konstrukce je vždy nějaká dobetonávka, která mírně prodlouží proces stavby. Beton u moderních větrných elektráren najdeme jen v základových konstrukcích.

Proces výroby složky betonu – cementu – produkuje vysoké množství oxidu uhličitého, který prakticky nelze z chemické reakce vyloučit a přispívá tím k produkci skleníkového plynu.

4.14.3. Kompozit

Kompozit je současně nejpraktičtější materiál pro lopatky turbíny. Existuje ověřená a známá technologie výroby na rozdíl od dřevěných lopatek, které jsou ještě ve fázi testování a výzkumu. V porovnání s ostatními materiály vyhovuje kompozit nejlépe všem požadavkům na dostatečnou pevnost a odolnost ve ztížených klimatických podmínkách, ale zároveň při větších rozměrech nemá příliš vysokou hmotnost.

4.15. Budoucnost větrných elektráren ze dřeva

Momentálně lze s jistotou počítat s tím, že nejen využití větrné energie, ale i všech ostatních zdrojů obnovitelné energie se bude pomalu více prosazovat do popředí. Ať už budeme nuceni nedostatkem fosilních paliv anebo z ekonomických důvodů přejít na jiné zdroje než neobnovitelné, tak lze předpokládat, že obnovitelné zdroje jsou budoucností energetiky.

Dřevo jako materiál má velmi dobré výhledy do budoucna. Při zpracování produkuje téměř nulové emise oxidu uhličitého, na rozdíl od jiných materiálů. Recyklovatelnost dřevěné konstrukce po její životnosti umožní druhotné použití toho stejného dřeva bez nutnosti



přímé likvidace. Snažíme se překonat výškové rekordy dřevěných budov a pro dřevěné elektrárny to platí dvojnásob, jelikož celková výška je jedním z důležitých parametrů při návrhu.



5. Příklady staveb

5.1. Německo

- Umístění: Hannover, Německo (Obr.35)
- Výška stavby: samotná věž má 100 metrů + turbína
- Datum dokončení: 20. prosinec 2012
- Projekční společnost: TimberTower GmbH a TiComTec GmbH [28]



Obr. 35 Větrná elektrárna v Hannoveru, Německo

5.2. Švédsko

- Umístění: ostrov Björkö v blízkosti města Göteborg, Švédsko (Obr.36)
- Výška stavby: samotná věž má 30 metrů + turbína
- Datum dokončení: 2020
- Projekční společnost: Modvion a Moelven [49]



Obr. 36 Větrná elektrárna na ostrově Björkö, Švédsko

Momentálně má společnost Modvion ve spolupráci s firmou Varberg Energi v plánu ve třetím kvartálu tohoto roku dokončit stavbu první komerční větrné elektrárny se stometrovou dřevěnou věží. [50](Obr.37)



Obr. 37 Dokumentace ze stavby stometrové věže



6. Závěr

Závěrem bych ráda shrnula hlavní myšlenky a poznatky z této práce.

Na počátku se dřevo používalo na stavby jednoduchých větrných mlýnů, které nahrazovaly mechanickou lidskou práci. S příchodem nových technologií a jiných ekonomicky výhodnějších možností se však od dřevěných staveb pro větrné mlýny či elektrárny postupně upouštělo.

V současné době se zvyšuje podíl využití dřeva jako stavebního materiálu oproti ostatním materiálům, což je velmi pozitivní situace. Není tedy důvod proč do budoucna dřevo nevyužít i pro konstrukce větrných elektráren. Dřevo má velkou rozmanitost způsobů zpracování ve finální produkt. V tomto případě se jedná především o lepené lamelové dřevo a křížem vrstvené dřevo. Výroba v modulových velikostech umožňuje snadnější a efektivnější dopravu a na stavenišť. Následný montážní proces dřevěných prvků na staveništi je suchým procesem a prakticky se dá říct, že principiálně funguje jako skládačka ve velkém měřítku.

Využití větrné energie má dobré výhledy do budoucna a v kombinaci s použitím dřeva na její konstrukci se můžeme z velké části zbavit závislosti na fosilních palivech. Celý proces od pokácení stromu do dokončení stavby produkuje nízké emise uhlíku a přispívá tak pouze minimálně ke tvorbě skleníkových plynů. Plánovaná životnost dřevěné elektrárny je stejná jako u běžných ocelových elektráren a dřevěný materiál lze po její životnosti recyklovat.

Aktuálně jsou tyto konstrukce velkou raritou a ve fázi pilotního testování, na rozšířenější komerční využití si musíme ještě nějakou dobu počkat.



7. Zdroje

7.1. Internetové zdroje

[1] Zákon o životním prostředí 17/1992 Sb. In: . 1991, 17/1992 Sb.

Dostupné z:

<https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/%24%24OpenDominoDocument.xsp?documentId=5B17DD457274213EC12572F3002827DE&action=openDocument>

[2] *Onovitelné zdroje energie: Ambiciózní cíle pro Evropu i Česko* | Zpravodajství | Evropský parlament. Evropský parlament: Zpravodajství [online]. 28-11-2017 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z:

<https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/economy/20171124STO88813/onovitelne-zdroje-energie-ambiciozni-cile-pro-evropu-i-cesko>

[3] *Nonrenewable Resources*. National Geographic [online]. National Geographic Society, 1996 -, May 20, 2022 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://education.nationalgeographic.org/resource/nonrenewable-resources/>

[4] *Obnovitelné zdroje energie*. Obnovitelné zdroje energie - Ministerstvo životního prostředí [online]. Ministerstvo životního prostředí, 2008– [cit. 2023-04-15]. Dostupné z:

https://www.mzp.cz/cz/obnovitelne_zdroje_energie

[5] *Jak EU podporuje obnovitelné zdroje energie* | Zpravodajství | Evropský parlament. Evropský parlament: Zpravodajství [online]. 29-11-2022 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z:

<https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20221128STO58001/jak-eu-podporuje-obnovitelne-zdroje-energie>

[6] SHAHAN, Zachary. *History of Wind Turbines. The Latest in Clean Energy News* | Renewable Energy News [online]. CLARION ENERGY MEDIA, 2019 -, 21.11.2014 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z:

<https://www.renewableenergyworld.com/storage/history-of-wind-turbines/>

[7] *Early History Through 1875. Wind Power--An Illustrated History of its Development* [online]. Darrell Dodge and TelosNet Web



Development, 2015 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z:
<https://web.archive.org/web/20181002082917/http://www.telosnet.com/wind/early.html>

[8] HOWARD, BRIAN CLARK. *Iran's Centuries-Old Windmills May Soon Stop Turning: An ancient cultural site is in danger of falling into disrepair*. National Geographic [online]. National Geographic Partners, 2015-, JANUARY 13, 2017 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z:
<https://www.nationalgeographic.com/science/article/nashtifan-iran-windmills>

[9] *The history of Wind Turbines*. The Renewable Energy Hub [online]. The Renewable Energy Hub, 2023, APRIL 21, 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://renewableenergyhub.co.uk/main/wind-turbines/history-of-wind-turbines>

[10] KOČ, Břetislav. *Větrné elektrárny I. – Historie do roku 1975 - TZB-info*. TZB-info – Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov. [online]. Topinfo, 2001 -, 16.11.2015 [cit. 2023-05-15]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/13452-vetrne-elektrarny-i-historie-do-roku-1975>

[11] KOČ, Břetislav. *Větrné elektrárny II. – Od průkopníků k výrobě větrných elektráren – TZB-info*. TZB-info – Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov. [online]. Topinfo, 2001 -, 28.12.2015 [cit. 2023-05-15]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/13625-vetrne-elektrarny-ii-od-prukopniku-k-vyrobe-vetrnych-elektraren>

[12] *V236-15.0 MW™ prototype | Vestas*. Global Leader in Sustainable Energy | Vestas [online]. Vestas, 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.vestas.com/en/products/offshore/V236-15MW/prototype>

[13] *Větrný mlýn – Tvarožná*. Obec Tvarožná [online]. Synetix, 2006 - [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.tvarozna.cz/obec/vyznamne-pamatky-a-krajinne-prvky/vetrny-mlyn>

[14] *Přehled o provozu ES v ČR: ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD VYDÁVÁ ZPRÁVU O PROVOZU ES V ČR*. Energetický regulační úřad



- [online]. Energetický regulační úřad, 2023, 16.07.2021 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/prehled-o-provozu-es-v-cr>
- [15] KOČ, Břetislav. Větrné elektrárny III. – větrná energie v ČR do roku 2000 - TZB-info. TZB-info – Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov. [online]. Topinfo, 2001 -, 25.1.2016 [cit. 2023-05-15]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/13730-vetrne-elektrarny-iii-vetrna-energie-v-cr-do-roku-2000>
- [16] ŽÁK, Michal. Proč fouká a jak vzniká vítr? | In-počasí. Počasí – předpověď počasí, aktuální informace | In-počasí [online]. InMeteo, 2023, 30.03.2015 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/vitr-jak-vznika/>
- [17] VOBOŘIL, David. Větrné elektrárny – princip, rozdělení, elektrárny v ČR. OM Solutions s.r.o. [online]. OM Solutions, 2016 -, 28. únor 2015 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/typy-elektraren/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni>
- [18] Informační portál: Větrné elektrárny. Informační portál [online]. Program EFEKT 2, 2017–2021 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.informacni-portal.cz/clanek/vetrne-elektrarny>
- [19] Wake Effect – BLOG: Do you know what the 'wake effect' is in a wind farm? Renewable Energy Consulting | Vector Renewables [online]. Vector Renewables, 2023, 01 February 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.vectorenrenewables.com/en/media-en/blog/do-you-know-what-the-wake-effect-is-in-a-wind-farm>
- [20] Wind energy: How it works, advantages, and applications | Repsol. Repsol, a global energy company [online]. Madrid, Španělsko: Confianza Online, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.repsol.com/en/energy-and-the-future/energy-transition/wind-energy/index.cshtml>
- [21] World's First Offshore Wind Farm being Decommissioned. The Maritime Executive: Maritime News | Marine News [online]. The Maritime Executive, LLC., 2023, MAR 19, 2017 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://maritime-executive.com/article/worlds-first-offshore-wind-farm-being-decommissioned>



- [22] *Jak funguje větrná elektrárna | Skupina ČEZ – O Společnosti. Skupina ČEZ [online]. ČEZ, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/obnovitelne-zdroje/vitr/jak-funguje-vetrna-elektrarna>*
- [23] *Větrná Energie [online]. Tábor: Střední průmyslová škola strojní a stavební, 2013, 29–33 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: http://zelenymost.cz/files/vetrna_energie.pdf*
- [24] *Kinetic energy – Wikipedia. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 25 July 2004 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Kinetic_energy*
- [25] *Power (physics) - Wikipedia. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 25 May 2003 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Power_\(physics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Power_(physics))*
- [26] *Betz' Law. Danish Wind Industry Association [online]. Danish Wind Industry Association, 2003 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <http://drømstørre.dk/wp-content/wind/miller/windpowerweb/en/tour/wres/betz.htm>*
- [27] *Environmental Impacts of Wind Power | Union of Concerned Scientists. [online]. Cambridge MA, USA: Union of Concerned Scientists, Mar 5, 2013 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.ucsusa.org/resources/environmental-impacts-wind-power>*
- [28] *Timbertower Special Construction, Germany – TiComTec GmbH. TiComTec GmbH [online]. TiComTec, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://ticomtec.de/en/referenzen/timbertower-special-construction-germany/?portfolioCats=95>*
- [29] *Balzovník jihoamerický – Wikipedie. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 14. 4. 2017 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Balzovn%C3%ADk_jihoamerick%C3%BD*
- [30] *Ochroma – Wikipedia. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-, 25 June*



2005 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z:
https://en.wikipedia.org/wiki/Ochroma#cite_note-AngierZieqler2011-4

[31] ANGIER, NATALIE. *Open All Night*. National Geographic [online]. National Geographic Partners, 2005 -, May 2011 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z:
<https://www.nationalgeographic.com/magazine/article/panama-ochroma>

[32] *Ochroma pyramidale* [online]. Nov 22, 2010 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z:
<https://web.archive.org/web/20101122130918/http://www.cds.ed.cr/teachers/harmon/page21.html>

[33] *Balsa* | WoodSolutions. Home | WoodSolutions [online]. Forest and Wood Products Australia, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z:
<https://www.woodsolutions.com.au/wood-species/hardwood/balsa>

[34] *The Unmatched Beauty of Balsa* | Almond Surfboards & Designs. Almond Surfboards [online]. USA: Almond Surfboards, 2007 - [cit. 2023-05-16]. Dostupné z:
<https://almondsurfboards.com/blogs/news/the-unmatched-beauty-of-balsa>

[35] *Laminated Veneer Lumber (LVL)* | WoodSolutions. Home | WoodSolutions [online]. Forest and Wood Products Australia, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z:
<https://www.woodsolutions.com.au/wood-species/wood-products/laminated-veneer-lumber-lvl>

[36] *Dýha* | Expedo.cz. Nábytek pro váš každodenní život | Expedo.cz [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z:
<https://www.expedo.cz/slovník-pojmu/dyha-135/>

[37] *Laminated veneer lumber (LVL) - Wood products* | Stora Enso. Home | Stora Enso [online]. Stora Enso, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/building-products/lvl#T562e3114-ff4a-4ffb-9f95-71ac9c0ec254>



- [38] *Konstrukční systém STEICO: Lepené vrstvené dřevo LVL. STEICO – Stavební systém z přírody [online]. STEICO SE, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://web.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/Czech/Konstruktionshefte/Konstrucni_system_STEICO_LVL_i.pdf*
- [39] *Cross Laminated Timber Construction | CLT Panel | Think Wood. Building with Wood – Think Wood [online]. Think Wood campaign, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.thinkwood.com/mass-timber/cross-laminated-timber-clt>*
- [40] *Cross-laminated timber (CLT) - Mass timber construction | Stora Enso. Home | Stora Enso [online]. Stora Enso, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.storaenso.com/en/products/mass-timber-construction/building-products/clt#T68e15e43-1f51-4df8-b48d-7f8a753dd1b0>*
- [41] *What Is Cross-Laminated Timber (CLT)? | naturally:wood. Naturally:wood | British Columbia Sustainable Forestry Resource [online]. British Columbia: Forestry Innovation Investment, naturally:wood, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.naturallywood.com/products/cross-laminated-timber/>*
- [42] *The Product – Modvion - We build wind turbine towers. In wood. Modvion - We build wind turbine towers. In wood [online]. Göteborg, Švédsko: Modvion, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://modvion.com/the-product/>*
- [43] *Stora Enso forms partnership with Voodin Blades to develop sustainable wind turbine blades from wood. Home | Stora Enso [online]. Stora Enso, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.storaenso.com/en/newsroom/press-releases/2022/11/stora-enso-forms-partnership-with-voodin-blades-to-develop-sustainable-wind-turbine-blades-from-wood>*
- [44] *MISHNAEVSKY, Leon, Kim BRANNER, Helga Nørgaard PETERSEN, Justine BEAUSON, Malcolm MCGUGAN a Bent F. SØRENSEN. Materials | Free Full-Text | Materials for Wind Turbine Blades: An Overview. MDPI – Publisher of Open Access Journals [online]. Basel, Switzerland: MDPI, 1996 -, 9 November 2017 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1944/10/11/1285/htm>*



[45] *Renewable materials make renewable energy – Wood Products | Stora Enso. Home | Stora Enso [online]. Stora Enso, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.storaenso.com/en/products/wood-products/renewable-materials-make-renewable-energy>*

[46] JANKŮ, Josef. *Když elektrárnu, tak dřevěnou: emovio.cz. Emovio.cz: portál udržitelné mobility [online]. Brain feed education, 2 května, 2021 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://emovio.cz/2021/05/02/kdyz-elektrarnu-tak-drevenou/>*

[47] *All about wind turbine blades – Iberdrola. A global leader in renewables energy – Iberdrola [online]. Iberdrola, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.iberdrola.com/sustainability/wind-turbines-blades>*

[48] MIHULKA, Stanislav. :: OSEL.CZ :: - *Nový modernizační systém slibuje snížit emise při výrobě oceli o 94 procent. OSEL (Objective Source E – Learning) [online]. Telč: Osel, 2002, 30.01.2023 [cit. 2023-05-16]. ISSN 1214-6307. Dostupné z: <https://www.osel.cz/12709-novy-modernizacni-system-slibuje-snizit-emise-pri-vyrobe-oceli-o-94-procent.html>*

[49] *VKV Björkö – Modvion – We build wind turbine towers. In wood. Modvion – We build wind turbine towers. In wood [online]. Göteborg, Švédsko: Modvion, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://modvion.com/projekt/bjorko/>*

[50] *Wind Of Change – Modvion – We build wind turbine towers. In wood. Modvion – We build wind turbine towers. In wood [online]. Göteborg, Švédsko: Modvion, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://modvion.com/projekt/wind-of-change/>*

7.2. Seznam obrázků

OBR. 1 PŮDORYS VĚTRNÉHO MLÝNU Z PERSKÉ ŘÍŠE – PANEMONE DESIGN	11
OBR. 2 HISTORICKÉ VĚTRNÉ MLÝNY V NASHTIFAN V SEVEROVÝCHODNÍM ÍRÁNU	12
OBR. 3 MODELY POUL LA COUROVA VĚTRNÉHO TUNELU	13



OBR. 4 NALEVO JE VYOBRAZENA POUL LA COUROVA VĚTRNÁ TURBÍNA Z ROKU 1897 A NAPRAVO PRVNÍ PROTOTYP VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY Z ROKU 1891.....	13
OBR. 5 JEDNA Z NEJVĚTŠÍCH VĚTRNÝCH FAREM NA SVĚTĚ V PROVINCI GANSU, ČÍNA	14
OBR. 6 VĚTRNÁ TURBÍNA V236-15.0 MW™ OD SPOLEČNOSTI VESTAS	14
OBR. 7 PŮVODNÍ DŘEVĚNÝ MLÝN DOLOŽENÝ DO ROKU 1870	15
OBR. 8 SOUČASNÝ STAV PŮVODNÍCH BUDOV	16
OBR. 9 NĚMECKÁ POHLEDNICE, KTERÁ DOKAZUJE EXISTENCI VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY V KRKONOŠÍCH, NA OBRÁZKU ZVÝRAZNĚNA V ČERVENÉM OBDÉLNÍKU	16
OBR. 10 SCHÉMA SIL PŮSOBÍCÍ NA VZDUCH V TLAKOVÉM POLI V BLÍZKOSTI ZEMSKÉHO POVRCHU	20
OBR. 11 SCHÉMATICKÝ OBRÁZEK TYPŮ TURBÍNY, ZLEVA VRTULE, SAVONIOVA TURBÍNA, DARRIEOVA TURBÍNA A DARRIEOVA TURBÍNA H-ROTOR.....	21
OBR. 12 PŘÍKLAD HALLADAYOVY (MNOHOLOPATKOVÉ) TURBÍNY.....	21
OBR. 13 SCHÉMA ONSHORE VĚTRNÉ FARMY, 1 - VNITŘNÍ MÍSTNÍ OVLÁDÁNÍ, 2 – VĚTRNÁ TURBÍNA, 3 – TRANSFORMÁTOR S VYSOKÝM NAPĚTÍM, 4 – DISTRIBUČNÍ SÍŤ VEDOUcí KE SPOTŘEBITELŮM, 5 – KABELY V PODZEMÍ, 6 - VZDÁLENÉ MONITOROVÁNÍ A OVLÁDÁNÍ POMOCÍ POČÍTAČE PŘES OPTICKÝ KABEL.....	23
OBR. 14 SCHÉMA OFFSHORE VĚTRNÉ FARMY, 1 – PLOVOUCÍ, 2 – PŘÍHRADOVÉ, 3 – PILOTOVÉ, 4 – POBŘEŽNÍ ROZVODNA, 5 – PEVNINSKÁ ROZVODNA, 6 – ELEKTRICKÁ SÍŤ, 7 – NAPÁJECÍ KABELY, 8 – HLUBOKÉ VODY, 9 – BRAKICKÉ VODY, 10 – MĚLKÉ VODY	24
OBR. 15 POPIS HLAVNÍCH ČÁSTÍ VĚTRNÉ TURBÍNY	25
OBR. 16 VĚTRNÁ MAPA ČR, 2009	27
OBR. 17 MAPA VĚTRNÝCH ELEKTRÁREN V ČR, 2023	28
OBR. 18 POHLED NA KMEN BALZOVNÍKU	31
OBR. 19 KULATINA Z BALZOVNÍKU.....	31
OBR. 20 NEROZKVELÝ KVĚT BALZOVNÍKU	32
OBR. 21 POHLED NA KORUNU STROMU BALZOVNÍKU	32
OBR. 22 UKÁZKA WOBLERU	34
OBR. 23 SLEPENÉ VRSTVY DÝHY V LVL	35
OBR. 24 ORIENTACE VLÁKEN VE VRSTVÁCH CLT.....	36



OBR. 25 CINKOVANÝ SPOJ.....	37
OBR. 26 UKÁZKA CNC STROJE S HORIZONTÁLNÍ PILOU ŘADY K2- INDUSTRY OD FIRMY HUNDEGGER	37
OBR. 27 SCHODIŠŤOVÝ PANEL Z CLT	38
OBR. 28 MONTÁŽ PŘÍHRADOVÉ KONSTRUKCE STOŽÁRU	39
OBR. 29 OPLÁŠŤOVÁNÍ PŘÍHRADOVINY CLT PANELY POMOCÍ JEŘÁBU	40
OBR. 30 OHNUTÝ LVL PANEL PŘIPRAVENÝ K OBRÁBĚNÍ	41
OBR. 31 POHLED DOVNITŘ TŘICETIMETROVÉHO SEGMENTU	41
OBR. 32 SCHÉMATICKÝ PŘÍČNÝ ŘEZ LOPATKOU, 1 – LEPENÝ SPOJ, 2 – NOSNÝ LAMINÁT STLAČENÍ-STLAČENÍ, 3 – NOSNÝ LAMINÁT PNUTÍ-STLAČENÍ, 4 – NOSNÝ LAMINÁT PNUTÍ-PNUTÍ, 5 – VNITŘNÍ VÝZTUHA, 6 – SENDVIČOVÁ KONSTRUKCE	42
OBR. 33 SCHÉMA JEDNOTLIVÝCH VRSTEV SKOŘÁPKY, 1 – KOŘEN LOPATKY, 2 – VZPĚR VYTVOŘENÝ PRYSKYŘIČNÝM A VLÁKNITÝM LAMINÁTEM, 3 – SMYK VYTVOŘENÝ PRYSKYŘIČNÝM A VLÁKNITÝM LAMINÁTEM, 4 – SENDVIČOVÁ KONSTRUKCE SMYKOVÉ VÝZTUHY, 5 – JÁDROVÝ MATERIÁL, 6 – STRUKTURÁLNÍ LEPIDLO	43
OBR. 34 ZPŮSOB DOPRAVY OHNUTÝCH LVL PANELŮ	45
OBR. 35 VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA V HANNOVERU, NĚMECKO	49
OBR. 36 VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA NA OSTROVĚ BJÖRKÖ, ŠVÉDSKO	50
OBR. 37 DOKUMENTACE ZE STAVBY STOMETROVÉ VĚŽE	50

7.3. Seznam grafů

GRAF 1 PODÍL VYUŽITÍ ENERGIÍ Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ V RÁMCI EU, 2021	10
GRAF 2 VÝVOJ VÝROBY ELEKTŘINY BRUTTO Z OZE A JEJÍ PODÍL NA TUZEMSKÉ BRUTTO SPOTŘEBĚ (TWH) *BRKO=BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÁ ČÁST KOMUNÁLNÍHO ODPADU	18

7.4. Seznam tabulek

TAB. 1 VÝVOJ VÝROBY ELEKTŘINY BRUTTO Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ ENERGIE (OZE)	19
--	----

7.5. Zdroje použitých obrázků a fotografií

Obr.1 – Early History Through 1875. Wind Power--An Illustrated History of its Development [online]. Darrell Dodge and TelosNet Web



Development, 2015 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z:
<https://web.archive.org/web/20181002082917/http://www.telosnet.com/wind/early.html>

Obr.2 – HOWARD, BRIAN CLARK. Iran's Centuries-Old Windmills May Soon Stop Turning: An ancient cultural site is in danger of falling into disrepair. National Geographic [online]. National Geographic Partners, 2015-, JANUARY 13, 2017 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z:
<https://www.nationalgeographic.com/science/article/nashtifan-iran-windmills>

Obr.3 – Gallery History: Poul la cour Museet. Poul la cour Museet [online]. 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z:
<https://www.poullacour.dk/en/gallery-histor/>

Obr.4 – Gallery History: Poul la cour Museet. Poul la cour Museet [online]. 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z:
<https://www.poullacour.dk/en/gallery-histor/>

Obr.5 – 世界最大风电场在甘肃酒泉开工建设-中华人民共和国科学技术部. 中华人民共和国科学技术部 [online]. 北京: 中华人民共和国科学技术部 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z:
https://www.most.gov.cn/dfkj/qs/zxdt/201009/t20100916_81014.htm
!

Obr.6 – V236-15.0 MW™ prototype | Vestas. Global Leader in Sustainable Energy | Vestas [online]. Vestas, 2023 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.vestas.com/en/products/offshore/V236-15MW/prototype>

Obr.7 – Větrný mlýn – Tvarožná. Obec Tvarožná [online]. Synetix, 2006 - [cit. 2023-05-15]. Dostupné z:
<https://www.tvarozna.cz/obec/vyznamne-pamatky-a-krajinne-prvky/vetrny-mlyn>

Obr.8 – Větrný mlýn – Tvarožná. Obec Tvarožná [online]. Synetix, 2006 - [cit. 2023-05-15]. Dostupné z:
<https://www.tvarozna.cz/obec/vyznamne-pamatky-a-krajinne-prvky/vetrny-mlyn>



Obr.9 – KOČ, Břetislav. *Větrné elektrárny I. – Historie do roku 1975 - TZB-info. TZB-info – Stavebnictví. Úspory energií. Technická zařízení budov.* [online]. Topinfo, 2001 -, 16.11.2015 [cit. 2023-05-15]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/13452-vetrne-elektrarny-i-historie-do-roku-1975>

Obr.10 – ŽÁK, Michal. *Proč fouká a jak vzniká vítr? | In-počasí. Počasí – předpověď počasí, aktuální informace | In-počasí* [online]. InMeteo, 2023, 30.03.2015 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.in-pocasi.cz/clanky/teorie/vitr-jak-vznika/>

Obr.11 – MEHRPOOYA, Payam. *IMPROVEMENT OF VERTICAL-AXIS WIND TURBINE PERFORMANCE VIA TURBINE COUPLING* [online]. July 2014 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/265126459_IMPROVEMENT_OF_VERTICAL-AXIS_WIND_TURBINE_PERFORMANCE_VIA_TURBINE_COUPLING

Obr.12 – *Halladayova turbína* – *Wikipedie*. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Halladayova_turb%C3%ADna

Obr.13 – LOTUSARISE. *Wind Energy In India & Wind Power Plants - UPSC. LotusArise – Ultimate UPSC IAS Exam Preparation* [online]. LotusArise, 2023, October 20, 2021 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://lotusarise.com/wind-energy-in-india-upsc/>

Obr.14 – *Offshore Wind Farm with Turbine Stations at Sea or Ocean Outline Diagram Stock Vector – Illustration of windmill, electricity: 260539640. Stock Photos & Images, Vectors, Video & Audio - Dreamstime* [online]. Dreamstime, 2000 - [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.dreamstime.com/offshore-wind-farm-turbine-stations-sea-ocean-outline-diagram-labeled-educational-scheme-floating-jacket-monopile-image260539640>

Obr.15 – *Technická problematika větrných elektráren. EPubli webová knihovna* [online]. Code Creator, 2011 - [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://publi.cz/books/90/08.html>



Obr.16 – *Větrná energie – Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i. Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v. v. i. [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.ufa.cas.cz/struktura-ustavu/oddeleni-meteorologie/projekty/vetrna-energie/>*

Obr.17 – *ČSVE – Větrné elektrárny | Větrná energie. ČSVE – Větrné elektrárny | Větrná energie [online]. Česká společnost pro větrnou energii, 2021 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.csve.cz/cz/aktualni-instalace>*

Obr.18 – *Ochroma pyramidale [online]. Nov 22, 2010 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://web.archive.org/web/20101122130918/http://www.cds.ed.cr/teachers/harmon/page21.html>*

Obr.19 – *Raw balsa wood LOGS or trees or branches – Riley Balsa Wood Surfboards. Balsa wood surfboards riley hand made timber boards eco friendly earth [online]. Riley Balsa Wood Surfboards, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://balsawoodsurfboardsriley.com/en-es/products/copy-of-600mm-raw-balsa-wood>*

Obr.20 – *ANGIER, NATALIE a CHRISTIAN ZIEGLER. Open All Night. National Geographic [online]. National Geographic Partners, 2015 - [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.nationalgeographic.com/magazine/article/panama-ochroma>*

Obr.21 – *ANGIER, NATALIE a CHRISTIAN ZIEGLER. Open All Night. National Geographic [online]. National Geographic Partners, 2015 - [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.nationalgeographic.com/magazine/article/panama-ochroma>*

Obr.22 – *Wobbler Rapala Original Floating 09 SSH – Limited Edition | VELKA-RYBA.CZ. Fishing Shop | VELKA-RYBA.CZ [online]. VELKA-RYBA.CZ, 2019 - [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.velka-ryba.cz/en/wobblers/11889-wobbler-rapala-original-floating-09-ssh-limited-edition-022677132945.html>*



Obr.23 – *Laminate Veneer Lumber – The Canadian Wood Council - CWC. Home – The Canadian Wood Council - CWC [online]. Canadian Wood Council, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://cwc.ca/en/how-to-build-with-wood/wood-products/structural-composite/laminate-veneer-lumber/>*

Obr.24 – *Cross Laminated Timber Construction | CLT Panel | Think Wood. Building with Wood – Think Wood [online]. Think Wood campaign, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.thinkwood.com/mass-timber/cross-laminated-timber-clt>*

Obr.25 – *Mokrý stavební řezivo nebo sušené KVH hranoly? – ZAKÁZKOVÉ TRUHLÁŘSTVÍ FUTO. ZAKÁZKOVÉ TRUHLÁŘSTVÍ FUTO – TRUHLÁŘSTVÍ PLZEŇ [online]. [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <http://www.truhlarstvi-futo.cz/mokre-stavebni-rezivo-nebo-susene-kvh-hranoly/>*

Obr.26 – *K2-Industry | Hans Hundegger AG. K2-Industry | Hans Hundegger AG [online]. Hans Hundegger, 2020 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.hundegger.com/en-us/machines/joinery-machines/k2-industry>*

Obr.27 – *XLam AirStair by XLam Cross Laminated Timber Panels – EBOSS. EBOSS: Architecture Product Library [online]. Quad Concepts [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.eboss.co.nz/library/x-lam-cross-laminated-timber/xlam-airstair>*

Obr.28 – *Timbertower Special Construction, Germany – TiComTec GmbH. TiComTec GmbH [online]. TiComTec, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://ticomtec.de/en/referenzen/timbertower-special-construction-germany/?portfolioCats=95>*

Obr.29 – *Timbertower Special Construction, Germany – TiComTec GmbH. TiComTec GmbH [online]. TiComTec, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://ticomtec.de/en/referenzen/timbertower-special-construction-germany/?portfolioCats=95>*

Obr.30 – *Press – Modvion – We build wind turbine towers. In wood. Modvion – We build wind turbine towers. In wood [online]. Göteborg, Švédsko: Modvion, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://modvion.com/press>*



Obr.31 – Press – Modvion – We build wind turbine towers. In wood. Modvion – We build wind turbine towers. In wood [online]. Göteborg, Švédsko: Modvion, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://modvion.com/press>

Obr.32 – MISHNAEVSKY, Leon, Kim BRANNER, Helga Nørgaard PETERSEN, Justine BEAUSON, Malcolm MCGUGAN a Bent F. SØRENSEN. Materials | Free Full-Text | Materials for Wind Turbine Blades: An Overview. MDPI – Publisher of Open Access Journals [online]. Basel, Switzerland: MDPI, 1996 -, 9 November 2017 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/1996-1944/10/11/1285/htm>

Obr.33 – OLIVEIRA, Moises Araujo a Eduardo Furtado DE SIMAS FILHO. Ultrasound-based identification of damage in wind turbine blades using novelty detection [online]. June 2020 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/344660999_Ultrasound-based_identification_of_damage_in_wind_turbine_blades_using_novelty_detection

Obr.34 – Press – Modvion – We build wind turbine towers. In wood. Modvion – We build wind turbine towers. In wood [online]. Göteborg, Švédsko: Modvion, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://modvion.com/press>

Obr.35 – Timbertower Special Construction, Germany – TiComTec GmbH. TiComTec GmbH [online]. TiComTec, 2023 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://ticomtec.de/en/referenzen/timbertower-special-construction-germany/?portfolioCats=95>

Obr.36 – Press – Modvion – We build wind turbine towers. In wood. Modvion – We build wind turbine towers. In wood [online]. Göteborg, Švédsko: Modvion, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://modvion.com/press>

Obr.37 – Press – Modvion – We build wind turbine towers. In wood. Modvion – We build wind turbine towers. In wood [online]. Göteborg, Švédsko: Modvion, 2022 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://modvion.com/press>



Graf 1 – Renewable energy statistics – Statistics Explained. Statistics Explained [online]. January 2023 [cit. 2023-05-16]. ISSN 2443-8219. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable energy statistics#Share of renewable energy more than doubled between 2004 and 2020](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Renewable_energy_statistics#Share_of_renewable_energy_more_than_doubled_between_2004_and_2020)

Graf 2 – Přehled o provozu ES v ČR: ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD VYDÁVÁ ZPRÁVU O PROVOZU ES V ČR. Energetický regulační úřad [online]. Energetický regulační úřad, 2023, 16.07.2021 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/prehled-o-provozu-es-v-cr>

Tab 1 – Přehled o provozu ES v ČR: ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD VYDÁVÁ ZPRÁVU O PROVOZU ES V ČR. Energetický regulační úřad [online]. Energetický regulační úřad, 2023, 16.07.2021 [cit. 2023-05-15]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/prehled-o-provozu-es-v-cr>