



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

Využití větru pro zásobování energií malé obce

**The use of wind for energy supply of small
village**

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Ekonomika a řízení energetiky

Vedoucí práce: Ing. Vítek Miroslav, CSc.

Michal Palanský

Praha 2015

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Michal Palanský

Studijní program: elektrotechnika, energetika a management
Obor: ekonomika a řízení energetiky

Název tématu: Využití větru pro zásobování energií malé obce

Pokyny pro vypracování:

- varianty využití větru pro vytápění a dodávku elektřiny pomocí elektrických vedení
- odhad investičních a provozních výdajů
- výběr optimální varianty

Seznam odborné literatury:

Mrkvička, J.: Finanční analýza, Ministerstvo financí ČR, Praha 1997
Pivrnec, J.: Finanční management, Grada, Praha 1995

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miroslav Vítek, CSc. – ČVUT FEL, K 13116

Platnost zadání: do konce letního semestru akademického roku 2015/2016

Doc.Ing. Jaroslav Knápek, CSc.
vedoucí katedry



Prof.Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 4.11.2014

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů pro vypracování závěrečných prací, a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Praze dne 30. dubna 2015

Michal Palanský

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Miroslavu Vítkovi, CSc, vedoucímu mé diplomové práce, za jeho vstřícnost, cenné rady a připomínky, které mi při jejím zpracování poskytl. Dále bych chtěl poděkovat své rodině a přítelkyni za podporu a pochopení během mého studia.

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá výrobou, distribucí a využitím větrné energie. V první části jsou popsány principy výroby elektrické energie z větru a způsoby jejího využití. Dále práce klade důraz na vztahy mezi subjekty na trhu s elektřinou v České republice a na legislativní rámec výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Získané poznatky jsou využity a aplikovány v druhé části práce na konkrétní projekt výstavby větrné elektrárny v malé obci v kraji Vysočina. Práce se zabývá výběrem optimální varianty při volbě větrné elektrárny a způsobu dopravy vyrobené energie pro účely vytápění domů v obci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Větrná energie, větrná turbína, investiční náklady, výroba elektrické energie, obnovitelné zdroje, doprava elektrické energie, vytápění, Zbilidy

ABSTRACT

The master thesis is focused on production, distribution and usage of wind energy. In first part principles of electrical energy production and distribution are described. The thesis points out relationships between participants of energy market in the Czech Republic and legislative frame of energy production from renewable sources. Gained knowledge is applied to specific case of building-up wind power plant in a small village in Vysocina area. The work deals with choice of optimal variant in order to ensure wind energy production and its transport for heating purposes.

KEY WORDS

Wind energy, wind turbine, capital expenditure, production of electrical energy, renewable sources, transport of electrical energy, heating, Zbilidy

OBSAH

Seznam obrázků	9
Seznam tabulek	10
Použité zkratky	11
Úvod	12
Cíl práce	12
1 Větrná energetika v České republice	13
1.1 Počátky využití větrné energie	13
1.2 Současný stav větrné energetiky v České republice.....	14
1.3 Podpora větrné energetiky	16
1.3.1 Výkupní cena.....	16
1.3.2 Zelený bonus.....	17
1.3.3 Dotace EU	18
1.4 Zákonné podmínky pro výrobu elektrické energie z POZE	18
2 Trh s elektřinou v České republice	21
2.1 Model obchodu s elektřinou	21
2.2 Výrobce elektrické energie.....	21
2.3 Provozovatel přenosové soustavy	22
2.4 Provozovatel distribuční soustavy.....	22
2.5 Operátor trhu s elektřinou (OTE).....	23
2.6 Obchodníci s elektřinou.....	24
2.7 Zákazníci.....	24
2.8 Ostatní subjekty na trhu	24
2.8.1 Energetický regulační úřad (ERÚ).....	24
2.8.2 Burza	25
2.8.3 Subjekty zúčtování	25
2.9 Cena elektrické energie pro koncového zákazníka	25
3 Princip větrné elektrárny	27
3.1 Princip přeměny energie větru	29
3.2 Způsoby využití větrné elektrárny jako zdroje elektrické energie	32
3.2.1 Větrná elektrárna s připojením k rozvodné síti	32

3.2.2	Větrná elektrárna bez připojení k rozvodné síti	33
4	Projekt výstavby větrné elektrárny v obci Zbilidy	34
4.1	Obecné informace o lokalitě.....	34
4.2	Analýza rychlosti větru v obci Zbilidy.....	35
4.3	Umístění větrné elektrárny	38
4.4	Volba větrné turbíny	39
4.5	Výpočet potřeby tepla obce Zbilidy	45
4.5.1	Tepelná čerpadla.....	48
4.5.2	Elektrokotle.....	49
5	Varianty projektu výstavby větrné elektrárny v obci Zbilidy	50
5.1	Vztahy použité pro ekonomické hodnocení.....	50
5.2	Větrná elektrárna s připojením k distribuční soustavě – zelený bonus.....	52
5.2.1	Varianta 1 A.....	56
5.2.2	Varianta 1 B.....	58
5.2.3	Varianta 1 C	58
5.2.4	Varianta 1 D	60
5.3	Větrná elektrárna s připojením k distribuční soustavě – nové podmínky podpory.....	60
5.3.1	Varianta 1 E.....	61
5.3.2	Varianta 1 F	62
5.4	Větrná elektrárna v ostrovním systému.....	62
5.4.1	Varianta 2 A.....	67
5.4.2	Varianta 2 B.....	68
6	Ekonomické vyhodnocení a doporučení.....	69
6.1	Vyhodnocení variant	69
6.2	Citlivostní analýza	72
6.3	Doporučení	75
7	Závěr.....	76
	Použité zdroje.....	78

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Instalovaný výkon ES ČR k 31.12.2013.....	15
Obrázek 2: Instalovaný výkon větrných elektráren v ČR v jednotlivých letech.....	16
Obrázek 3: Srovnání výkupních cen elektrické energie z OZE v ČR v Kč/kWh	17
Obrázek 4: Model obchodu s elektřinou.....	21
Obrázek 5: Přehled distribučních oblastí.....	23
Obrázek 6: Orientační složení ceny elektřiny pro domácnost v roce 2014 bez daňových položek	26
Obrázek 7: Schéma větrné elektrárny.....	28
Obrázek 8: Instalovaný výkon větrných elektráren v ČR dle výrobců.....	29
Obrázek 9: Průběh proudícího vzduchu přes turbínu.....	30
Obrázek 10: Závislost součinitele výkonnosti C_p na poměru rychlostí před a za rotorem.....	31
Obrázek 11: Mapa rychlosti větru ve výšce 100 m nad zemským povrchem	36
Obrázek 12: Detail mapy rychlosti větru pro obec Zbilidy	37
Obrázek 13: Velkoplošná chráněná území vs. území s dostatečně velkým větrným potenciálem	37
Obrázek 14: Mapa obce Zbilidy s naznačeným umístěním větrné elektrárny	38
Obrázek 15: Schéma větrné turbíny v zapojení s převodovkou a generátorem.....	39
Obrázek 16: Roční produkční charakteristika turbíny Vestas V90-2.0 MW	40
Obrázek 17: Schéma strojovny turbíny VESTAS V90 – 2.0 MW.....	41
Obrázek 18: Výkonová charakteristika turbíny Vestas V90-2.0 MW	42
Obrázek 19: Schéma větrné turbíny v zapojení se synchronním generátorem.....	43
Obrázek 20: Výkonová charakteristika turbíny Enercon E53/800 kW	44
Obrázek 21: Schéma strojovny turbíny Enercon E53 / 800 kW.....	44
Obrázek 22: Schéma principu fungování tepelného čerpadla	49
Obrázek 23: Mapa obce Zbilidy s naznačeným připojením elektrárny do sítě	52
Obrázek 24: Zapojení elektrárny při získání podpory formou zeleného bonusu	55
Obrázek 25: Mapa obce Zbilidy s naznačeným ostrovním systémem.....	63
Obrázek 26: Diagram průměrných měsíčních potřeb tepla rozlišených dle účelu	65
Obrázek 27: Srovnání výkonu větrné elektrárny s potřebným tepelným výkonem ve variantě s elektrokotli.....	66

Obrázek 28: Srovnání výkonu větrné elektrárny s potřebným tepelným výkonem ve variantě s tepelnými čerpadly	66
Obrázek 29: Přehled ročních nákladů jednotlivých zdrojů vytápění	72
Obrázek 30: Graf ročních nákladů koncového zákazníka v závislosti na dotaci	73

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Technická data větrné turbíny V90-2.0 MW	42
Tabulka 2: Technická data větrné turbíny E53/800 kW	45
Tabulka 3: Analýza nákladů varianty 1 A	56
Tabulka 4: Seznam vstupních parametrů projektu	57
Tabulka 5: Struktura výnosů varianty 1 A.....	57
Tabulka 6: Analýza nákladů varianty 1 C	59
Tabulka 7: Struktura výnosů varianty 1 C	59
Tabulka 8: Struktura výnosů varianty 1E.....	61
Tabulka 9: Struktura výnosů varianty 1F	62
Tabulka 10: Analýza nákladů varianty 2 A	67
Tabulka 11: Analýza nákladů varianty 2 B	68
Tabulka 12: Přehled výsledků jednotlivých variant.....	69
Tabulka 13: Roční náklady koncového zákazníka v závislosti na dotacích.....	73
Tabulka 14: Výše ročních nákladů koncových zákazníků v závislosti na úrokové míře úvěru a diskontu.....	74
Tabulka 15: Výše ročních nákladů koncových zákazníků v závislosti na investičních a provozních nákladech.....	74

POUŽITÉ ZKRATKY

CF	Cash flow
ČR	Česká republika
ČSVE	Česká společnost pro větrnou energii
DPH	Daň z přidané hodnoty
DS	Distribuční soustava
ERÚ	Energetický regulační úřad
ES	Elektrizační soustava
EU	Evropská unie
EUR	Euro
FC	Fixed cost
Kč	Koruna česká
kV	Kilovolt
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MWh	Megawatthodina
MW	Megawatt
NPV	Net present value
NT	Nízký tarif
OTE	Operátor trhu s elektřinou
OZE	Obnovitelné zdroje energie
POZE	Podporované zdroje energie
TUV	Teplá užitková voda
VTE	Větrná elektrárna
VC	Variable cost
VT	Vysoký tarif

ÚVOD

Elektrická energie je už neodmyslitelnou součástí lidského života a její spotřeba se každým rokem zvětšuje. Lidstvo užívá mnoho rozmanitých zdrojů pro výrobu elektrické energie. Největší podíl mají zdroje využívající fosilní paliva a energii jádra, které mají bohužel nepříznivý vliv na životní prostředí, ať už se jedná o znečištění ovzduší či množství produkce dalších odpadních látek. Společnost si to celosvětově začíná postupně uvědomovat a ke slovu se stále více dostávají obnovitelné zdroje. Zdroje, jejichž vliv na životní prostředí je minimální. Produkci takzvané zelené energii snižují podíl tradičních zdrojů a tím i závislost lidstva na nerostných surovinách. Mezi obnovitelné zdroje využívané v České republice řadíme biomasu a sluneční, větrnou a vodní energii. V našich podmínkách jsme ochuzeni o energii mořského přílivu a také plné využití geotermální energie. V současné době však obnovitelné zdroje, vzhledem ke svému charakteru a ekonomickým vlastnostem, nemohou tradiční zdroje nahradit. Se zvyšujícím se podílem intermitentních obnovitelných zdrojů, které se vyznačují obtížně předvídatelným výkonem, roste význam akumulace. Elektřina se však v tomto směru jeví neekonomicky a nabízí se její snazší a levnější akumulace v podobě tepelné energie.

CÍL PRÁCE

Hlavním cílem této práce je ekonomické hodnocení projektu návrhu výstavby větrné elektrárny s následným využitím vyrobené elektrické energie k vytápění rodinných domů v obci Zbilidy v kraji Vysočina a výběr optimální varianty tohoto projektu při respektování technických a legislativních nároků. Prvním dílčím cílem je analýza současné situace větrné energetiky v České republice a popis tuzemského trhu s elektřinou s důrazem na obnovitelné zdroje energie. Jako druhý dílčí cíl jsem zvolil popis fungování větrné elektrárny ve smyslu její konstrukce a přeměny větrné energie na elektrickou.

1 VĚTRNÁ ENERGETIKA V ČESKÉ REPUBLICE

1.1 POČÁTKY VYUŽITÍ VĚTRNÉ ENERGIE

Větrná energie se řadí spolu s vodní energií či slunečním zářením k obnovitelným zdrojům energie. Počátky využívání větrné energie sahají do dávné minulosti. Již v době kolem roku 5 000 před naším letopočtem lidé využívali vítr k pohánění lodí, později k čerpání vody a také k mletí obilí. Využití větrné energie pro výrobu elektřiny se však poprvé objevilo koncem 19. století, kdy skotský univerzitní profesor a vědec James Blyth jako první sestrojil větrný mlýn na výrobu elektřiny. Desetimetrová konstrukce byla postavena na zahradě jeho chaty a vygenerovaná elektřina nabíjela akumulátory, které zajišťovaly napájení osvětlení uvnitř příbytku. Ačkoliv později sestrojil ještě podobné stavby, jeho vynález se nikdy neuchytil, neboť technologie nebyla považována za ekonomicky výhodnou.

V roce 1891 dánský vědec Poul la Cour sestrojil větrnou elektrárnu, která využívala vyrobenou elektrickou energii k produkci vodíku pomocí elektrolýzy. Vodík byl uskladňován a použit k napájení osvětlení střední školy. Později tento vědec vyřešil problém stálé dodávky elektřiny pomocí regulátoru, který dal základ pozdějším konstrukcím vyžitých u větrných elektráren ve Skandinávii a v Německu.

Poul la Cour však měl svého nástupce a tím byl Johannes Juul, který navázal na jeho práci a sestrojil větrnou elektrárnu nedaleko dánského města Getser. Zařízení pracovalo velmi dobře a bylo schopno dodávat kvalitní elektřinu do sítě, ta však byla více než dvakrát dražší než u klasické uhelné elektrárny. Juul byl ovšem velkým vizionářem a věřil, že elektrická energie vyrobená z větru bude mít při dalším rozvoji materiálů a technologií budoucnost. Zasloužil se tak o to, že se dánský energetický průmysl stal jedním z největších dodavatelů větrných elektráren na světě.

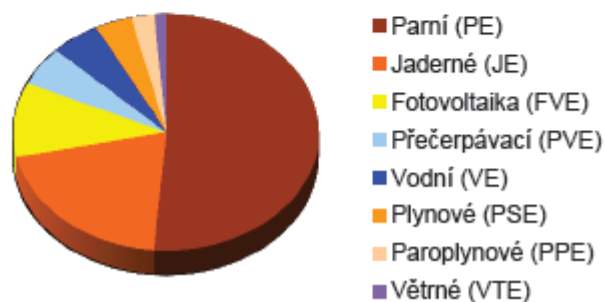
Na území dnešní České republiky se historicky první použití větrného mlýna datuje k roku 1277, kdy se tyčil v zahradě Strahovského kláštera. Avšak využití větru k výrobě elektrické energie a počátek výroby větrných elektráren tak, jak je známe dnes, se objevilo až na konci 80. let 20. století. Do roku 1995 jich bylo postaveno 24, nicméně mnoho z nich bylo vysoce poruchových, nevyhovujících a některé byly dokonce postaveny na místech s nedostatečnými větrnými podmínkami. Proto byla u nás výstavba moderních elektráren, například ve srovnání s Německem, zahájena se zpožděním.

1.2 SOUČASNÝ STAV VĚTRNÉ ENERGETIKY V ČESKÉ REPUBLICE

Instalovaný výkon ve větrných elektrárnách ve světě je v současné době necelých 320 GW. V Evropě je to 120 GW, přičemž vévodí Německo s instalovanou kapacitou 34,5 GW. Česká republika se i díky své poloze řadí s instalovaným výkonem 270 MW až na 24. místo v Evropě. Vzhledem ke struktuře zdrojů elektrické energie zaujímá větrná energie v České republice podíl pouze 1,3 % instalovaného výkonu, přičemž výroba v roce 2013 byla 479 GWh.

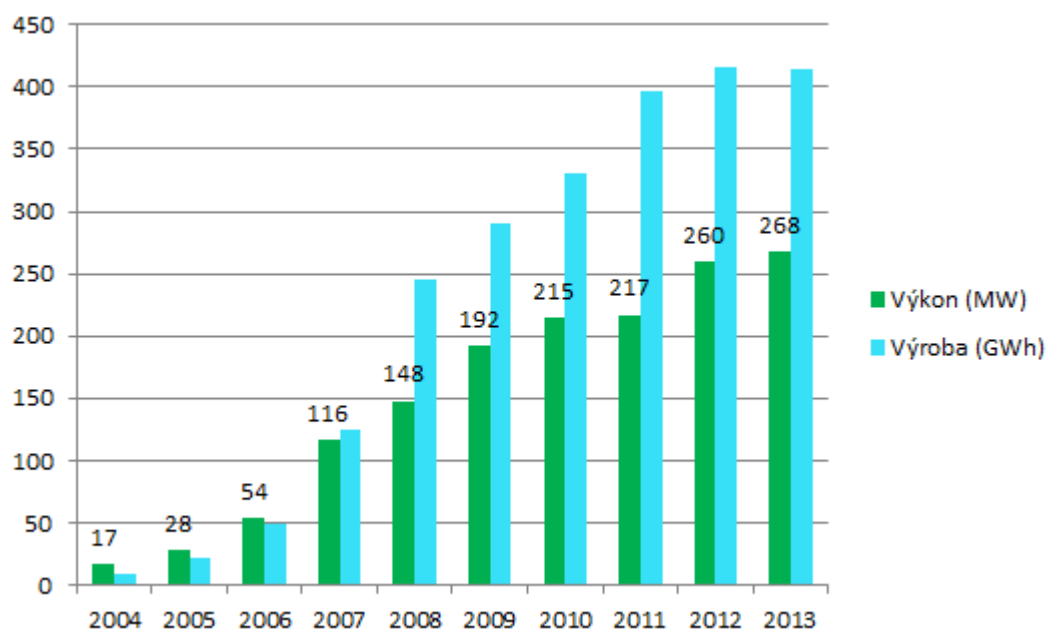
Druh elektrárny	[MW]	Podíl [%]
Parní (PE)	10 819	51,3%
Jaderné (JE)	4 290	20,4%
Fotovoltaika (FVE)	2 132	10,1%
Přečerpávací (PVE)	1 147	5,4%
Vodní (VE)	1 083	5,1%
Plynové (PSE)	820	3,9%
Paroplynové (PPE)	518	2,5%
Větrné (VTE)	270	1,3%
Celkem ČR	21 079	100,0%

Instalovaný výkon ES ČR za rok 2013
[MW]



Obrázek 1: Instalovaný výkon ES ČR k 31.12.2013 [1]

Počet instalovaných větrných elektráren stále roste a za posledních deset let se instalovaný výkon zvětšil více než patnáctinásobně, jak můžeme vidět na následujícím grafu. V roce 2014 bylo nainstalováno 14 MW a potenciál pro další růst to bezpochyby stále je. Studie Ústavu fyziky atmosféry AV ČR pro ČSVE ve svém středním odhadu realizovatelného potenciálu uvádí celkový možný instalovaný výkon až 2 277 MW, což by zajistilo téměř 6 000 GWh ročně.



Obrázek 2: Instalovaný výkon větrných elektráren v ČR v jednotlivých letech [2]

1.3 PODPORA VĚTRNÉ ENERGETIKY

Stát podporuje výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů dvěma způsoby a to podle zákona č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. Jedná se o podporu formou výkupních cen a formou zeleného bonusu. Tyto dvě podpory nelze kombinovat a výrobce si volí pouze jednu variantu, přičemž své rozhodnutí může jednou ročně změnit. Podpora pro nové zdroje je již omezena, pro zařízení vyrábějící elektřinu ze slunečního záření byla zrušena od 1. ledna 2014 a od počátku roku 2016 postihne stejný osud i větrné elektrárny. Existujících zdrojů, které již dodávají energii do sítě, se zastavení podpory nedotkne.

1.3.1 VÝKUPNÍ CENA

Výkupní cenou rozumíme cenu, za kterou povinně vykupující musí od výrobce OZE vykoupit veškerou vyrobenou elektrickou energii naměřenou v předávacím místě výroby a distribuční či přenosové soustavy. Podpora se

tedy nevztahuje na technologickou vlastní spotřebu. Povinně vykupujícím je pro rok 2015 dodavatel poslední instance, což jsou dle regionální příslušnosti E.ON Energie, a.s., ČEZ Prodej, s.r.o., a Pražská energetika, a.s. Cena je určována rozhodnutím Energetického regulačního úřadu a při splnění všech technických a ekonomických parametrů je garantována patnáctiletá prostá doba návratnosti. Dle § 8 zákona č. 165/2012 Sb. však „právo zvolit podporu elektřiny formou výkupních cen má pouze výrobce elektřiny z obnovitelných zdrojů využívající energii vody, a to ve výrobě elektřiny o instalovaném výkonu do 10 MW včetně a ostatní výrobci elektřiny z obnovitelných zdrojů ve výrobě elektřiny o instalovaném výkonu do 100 kW včetně.“ [3] Výkupní ceny jsou poté fakturovány přímo povinně vykupujcímu a účtovány s DPH. Následující tabulka ukazuje vývoj výkupních cen pro různé druhy obnovitelných zdrojů. Pro větrnou energii je výše výkupní ceny pro rok 2015 1,98 Kč za kWh. [4]

Zdroj	Cena 2007	Cena 2008	Cena 2009	Cena 2010	Cena 2011	Cena 2012	Cena 2013	Cena 2014	Cena 2015
Fotovoltaika	13,46	13,46	12,79	12,15	5,5	6,16	2,83	0	0
VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY	2,46	2,46	2,34	2,23	2,23	2,23	2,12	2,014	1,980
Malé vodní elektrárny	2,39	2,6	2,70	3,00	3,00	3,19	3,23	3,23	3,23
Biomasa	3,37	4,21	4,49	4,58	4,58	4,58	3,73	3,335	3,263
Bioplyn z BPS	3,04	3,9	4,12	4,12	4,12	4,12	3,55	0	0

Obrázek 3: Srovnání výkupních cen elektrické energie z OZE v ČR v Kč/kWh[5]

1.3.2 ZELENÝ BONUS

Zelený bonus je druhou formou podpory obnovitelných zdrojů energie a jeho výši opět každoročně stanovuje Energetický regulační úřad. Zelené bonusy jsou vypláceny operátorem trhu a nesou větší riziko než podpora formou výkupních cen, neboť nejsou fixovány po dobu životnosti výroby. Elektřinu je možné buď prodat anebo spotřebovat. Při této formě podpory si musí výrobce

najít sám svého koncového zákazníka, přičemž má možnost přebytek vyrobené energie prodat do sítě za cenu dohodnutou s účastníkem trhu s elektřinou. [4]

1.3.3 DOTACE EU

Další zajímavou možností získat finanční podporu projektu je získání dotací v rámci operačního programu Ministerstva průmyslu a obchodu pro čerpání finančních prostředků z Evropského fondu pro regionální rozvoj. Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost se dle Ministerstva průmyslu a obchodu má stát klíčovým nástrojem pro podporu českých podnikatelů z fondů EU v období 2014 – 2020. Program je dle MPO mimo jiné zaměřen „na posun k energeticky účinnému, nízkouhlíkovému hospodářství spočívajícím především ve zvyšování energetické účinnosti podnikatelského sektoru, využívání obnovitelných zdrojů energie, modernizaci energetické infrastruktury a zavádění nových technologií v oblasti nakládání energií a druhotných surovin.“ [6] Česká republika chce s podporou Evropské unie dosáhnout úrovně 13 % podílu energie z obnovitelných zdrojů ve smyslu konečné spotřeby, s čímž souvisí i podpora rozvoje podnikatelských aktivit u výrobních zdrojů.

1.4 ZÁKONNÉ PODMÍNKY PRO VÝROBU ELEKTRICKÉ ENERGIE Z POZE

Legislativní rámec pro výrobu elektřiny z podporovaných zdrojů energie je velmi široký a je spjat s mnoha předpisy. Řídicími orgány jsou Ministerstvo průmyslu a obchodu a Energetický regulační úřad. Podporovaných zdrojů energie se dle ERÚ [4] týkají tyto právní předpisy:

Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů ve znění pozdějších předpisů.

Vyhláška ERÚ č. 541/2005 Sb., o pravidlech trhu s elektřinou, zásadách tvorby cen za činnosti operátora trhu s elektřinou a provedení některých dalších ustanovení energetického zákona, ve znění pozdějších předpisů.

Vyhláška ERÚ č. 51/2006 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě, ve znění pozdějších předpisů.

Vyhláška ERÚ č. 347/2012 Sb., kterou se stanoví technicko-ekonomické parametry obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny a doba životnosti výroben elektřiny z podporovaných zdrojů, ve znění pozdějších předpisů.

Vyhláška ERÚ č. 346/2012 Sb., o termínech a postupech výběru formy podpory, postupech registrace podpor u operátora trhu, termínech a postupech výběrů a změn režimů zeleného bonusu na elektřinu a termínu nabídnutí elektřiny povinně vykupujícím, ve znění pozdějších předpisů.

Vyhláška ERÚ č. 436/2013 Sb. o způsobu regulace cen a postupech pro regulaci cen v elektroenergetice a teplárenství a o změně vyhlášky č. 140/2009 Sb., o způsobu regulace cen v energetických odvětvích a postupech pro regulaci cen, ve znění pozdějších předpisů.

Vyhláška ERÚ č. 193/2014 Sb., o způsobech a termínech účtování a hrazení ceny na úhradu nákladů spojených s podporou elektřiny a o provedení některých dalších ustanovení zákona o podporovaných zdrojích energie.

Dále se provoz podporovaných zdrojů energie řídí také dle vyhlášek Ministerstva průmyslu a obchodu:

Vyhláška MPO č. 82/2011 Sb., o měření elektřiny a o způsobu stanovení náhrady škody při neoprávněném odběru, neoprávněné dodávce, neoprávněném přenosu nebo neoprávněné distribuci elektřiny, ve znění novely č. 476/2012 Sb.

Vyhláška MPO č. 477/2012 Sb., o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů, způsob využití obnovitelných zdrojů energie pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a uchovávání dokumentů

Vyhláška MPO č. 441/2012 Sb., o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny nebo tepelné energie.

Vyhláška MPO č. 478/2012 Sb., o vykazování a evidenci elektřiny a tepla z podporovaných zdrojů a biometanu, množství a kvality skutečně nabytých a využitých zdrojů a k provedení některých dalších ustanovení zákona o podporovaných zdrojích energie.

Vyhláška MPO č. 453/2012 Sb., o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů. [7]

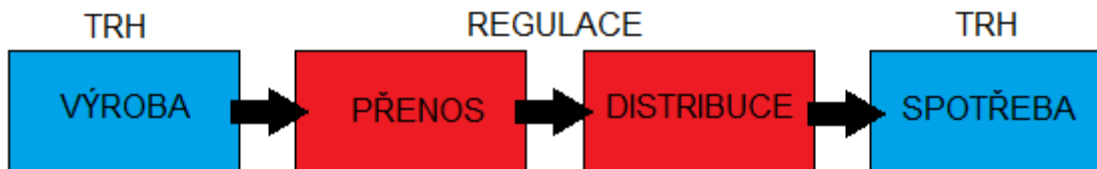
Nejdůležitějším předpisem je zákon **č. 165/2012 Sb.**, který od 1. 1. 2013 nahradil zákon **č. 180/2005 Sb.**, o podpoře využívání obnovitelných zdrojů, ve znění pozdějších předpisů. Do zákona nově vstupují dva subjekty. Společnost OTE, a.s. je dle zákona nově zodpovědná za evidenci všech výrobních zdrojů, které mají nárok na podporu a dále za vyplácení podpory formou zeleného bonusu těmto výrobcům. Povinně vykupující je druhým novým subjektem určený daným zákonem nebo vybraný Ministerstvem průmyslu a obchodu. [4]

2 TRH S ELEKTŘINOU V ČESKÉ REPUBLICE

2.1 MODEL OBCHODU S ELEKTŘINOU

V dnešní době se při obchodování s elektrickou energií uplatňuje model na obrázku 4. Celý proces přenosu elektřiny od výrobce až ke spotřebiteli můžeme z hlediska obchodu rozdělit na dvě části, kde první je regulovaná. Regulací máme na mysli zásah vnějšího činitele, kterým je Energetický regulační úřad. Dle obrázku vidíme, že se jedná o úsek přenosu a distribuce energie. V druhé části vládne volná ruka trhu a spadá do ní úsek výroby a spotřeby elektrické energie.

Jelikož je celý proces rozdělen na tyto dvě části, je pochopitelné, že i výsledná cena elektrické energie pro konečného zákazníka se bude skládat z regulované a neregulované složky.



Obrázek 4: Model obchodu s elektřinou, vlastní zpracování dle [8]

Do celého procesu sahajícího od výroby elektrické energie až po její spotřebu však vstupuje více subjektů, tzv. účastníků trhu.

2.2 VÝROBCE ELEKTRICKÉ ENERGIE

Výrobcem elektrické energie může být dle zákona jak právnická, tak fyzická osoba, která na základě oprávnění provozuje zařízení na výrobu elektřiny. Toto zařízení může buď vlastnit, nebo je jí svěřeno jeho provozování. Výrobnou elektřiny nazýváme takové energetické zařízení, které se používá pro

přeměnu různých forem energie na energii elektrickou. Výrobce musí dále splňovat důležité technologické a legislativní požadavky. Takřka nejdůležitějším legislativním požadavkem je samotná licence k provozování zařízení na výrobu elektřiny, kterou vydává Energetický regulační úřad ve lhůtě 30 dnů od podání žádosti. V České republice je v současné době největším registrovaným výrobcem skupina ČEZ.

2.3 PROVOZOVATEL PŘENOSOVÉ SOUSTAVY

Přenosová soustava je vzájemně propojený soubor vedení a zařízení 400 kV, 220 kV a vybraných vedení a zařízení 110 kV sloužících k zajištění přenosu elektřiny pro celé území České republiky. Dále do přenosové soustavy spadá propojení s elektrizačními soustavami sousedních států, včetně systémů měřicích, ochranných, řídicích, zabezpečovacích, informačních a telekomunikačních technik. [8] Provozovatelem přenosové soustavy je v České republice akciová společnost ČEPS, a. s., která je 100% vlastněná státem, přičemž výkon akcionářských práv je prováděn Ministerstvem průmyslu a obchodu. Společnost má za úkol zajišťovat přenos elektřiny, rovnováhu mezi výrobou a spotřebou elektrické energie v každém okamžiku, údržbu, obnovu a v neposlední řadě také rozvoj zařízení přenosové soustavy. [9]

2.4 PROVOZOVATEL DISTRIBUČNÍ SOUSTAVY

Provozovatel distribuční soustavy má za úkol zajišťovat rozvoj a provoz distribuční soustavy v přiděleném území, čímž se mimo jiné rozumí doprava elektrické energie ke konečným odběratelům. Distribuční soustava je v České republice vzájemně propojeným souborem vedení a zařízení 110 kV, s výjimkou vybraných vedení a zařízení 110 kV, která jsou součástí přenosové soustavy a vedení i zařízení s napětím 0,4/0,23 kV, 3 kV, 6 kV, 10 kV, 22 kV nebo 35 kV, které slouží k zajištění distribuce elektřiny na vymezeném území České republiky. Distribuční soustava také obsahuje prvky měřicích, ochranných, řídicích,

zabezpečovací, informační a telekomunikační techniky. V České republice působí tři hlavní velké distribuční společnosti: E.ON Distribuce, a.s., PRE Distribuce, a.s. a ČEZ Distribuce, a.s., jejichž působnost vidíme na následujícím obrázku. [9]



Obrázek 5: Přehled distribučních oblastí [10]

2.5 OPERÁTOR TRHU S ELEKTRINOU (OTE)

Jedná se o akciovou společnost založenou a vlastněnou státem, přičemž vykonavatelem vlastnických práv OTE, a.s. je Ministerstvo průmyslu a obchodu. Úkolem Operátora trhu s elektřinou je provádět sběr sjednaných naměřených obchodních dat od účastníků trhu a tato data potom předávat dále provozovateli přenosové soustavy a provozovatelům distribučních soustav. OTE, a.s. organizuje krátkodobý trh s elektřinou a plynem a podílí se také na organizaci vyrovnávacího trhu s regulační energií ve spolupráci s provozovatelem přenosové soustavy. Zabývá se administrací vyplácení podpory obnovitelných zdrojů energie. Zajišťuje zúčtování a vypořádání odchylek subjektu zúčtování a provádí celou řadu dalších činností spojených s funkcí operátora trhu. [11]

2.6 OBCHODNÍCI S ELEKTŘINOU

Obchodník s elektřinou je právnická či fyzická osoba, která vlastní licenci na obchodování s elektřinou vydanou Energetickým regulačním úřadem. Obchodník s elektrickou energií nebo také dodavatel nakupuje elektřinu za účelem dalšího prodeje. Díky liberalizaci trhu s elektřinou si v dnešní době každý konečný zákazník může svobodně vybrat svého dodavatele elektrické energie.

2.7 ZÁKAZNÍCI

Konečným zákazníkem je opět právnická nebo fyzická osoba, která nakupuje elektrickou energii pro své vlastní užití a nakoupenou energii pouze spotřebovává. Dle zákona má každý zákazník právo na připojení svého odběrného elektrického zařízení k přenosové či distribuční soustavě.

2.8 OSTATNÍ SUBJEKTY NA TRHU

Mezi ostatní subjekty, které mají na trhu velký vliv, řadíme regulační úřad, burzu a subjekty zúčtování.

2.8.1 ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD (ERÚ)

Energetický regulační úřad sídlící v Jihlavě byl zřízen 1. ledna 2001 a vyznačuje se širokou působností v oblasti energetiky. Vykonává dohled nad trhy v jednotlivých energetických odvětvích a má taktéž na starosti vydávání licencí pro podnikání v energetických odvětvích. Zabývá se regulací cen elektřiny a podporou využívání obnovitelných a druhotných zdrojů energie a kombinované výroby elektřiny a tepla. Vydáváním cenových rozhodnutí reguluje cenu elektřiny a stará se také o ochranu zájmů zákazníků, spotřebitelů a držitelů licencí. V čele úřadu, který je jediným správním úřadem pro výkon regulace v energetice, je Ing. Alena Vitásková. [12]

2.8.2 BURZA

Power Exchange Central Europe, a.s. (PXE) je název burzy sídlící v České republice, umožňující obchodování s elektrickou energií s místem dodání v České republice, na Slovensku, v Maďarsku, Polsku a Rumunsku. Jedná se o dceřinou společnost Burzy cenných papírů Praha. Obchoduje se zde jak s elektřinou, tak od 1. září 2014 také s plynem. Koncem roku 2014 proběhla první elektronická aukce elektřiny pro koncové spotřebitele. Obchodování probíhá především v podobě komoditních futures na roční, čtvrtletní a měsíční bázi. [13]

2.8.3 SUBJEKTY ZÚČTOVÁNÍ

Subjektem zúčtování může být fyzická či právnická osoba. Jedná se o specifický subjekt na trhu, který v podstatě spojuje více účastníků trhu do jedné skupiny, většinou se jedná o výrobce, obchodníky a konečné zákazníky. Subjekt zúčtování přejímá odpovědnost za odchylku a uzavírá smlouvu s Operátorem trhu s elektřinou o zúčtování odchylek v elektroenergetice. [8]

2.9 CENA ELEKTRICKÉ ENERGIE PRO KONCOVÉHO ZÁKAZNÍKA

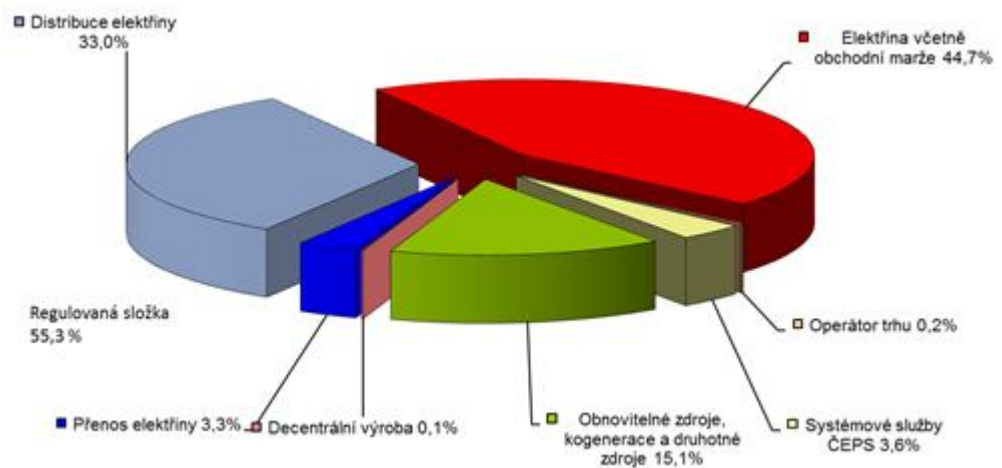
Výsledná cena dodané elektřiny pro konečného zákazníka se skládá z neregulované a regulované složky. Neregulovanou složkou je silová elektřina, jejíž cena se řídí poptávkou a nabídkou na spojeném evropském trhu. Regulovanou složkou je cena za dopravu, kterou stanovuje Energetický regulační úřad rozhodnutími na základě podkladů získaných od provozovatelů sítí, a za další regulované platby. Výsledná platba koncového zákazníka je navýšena o daň z elektřiny a daň z přidané hodnoty. Regulovaná složka tvoří více než polovinu výsledné ceny elektřiny.

Položky ceny silové elektřiny:

- Pevná měsíční cena
- Cena elektřiny ve vysokém tarifu (VT) příp. cena elektřiny v nízkém tarifu (NT)

Položky ceny za dopravu a regulovaných plateb:

- Měsíční plat za rezervovaný příkon
- Plat za distribuované množství elektřiny
- Poplatek za systémové služby
- Cena na podporu výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů a kombinované výroby elektřiny a tepla
- Cena za činnost Operátora trhu s elektřinou, a.s. [14]



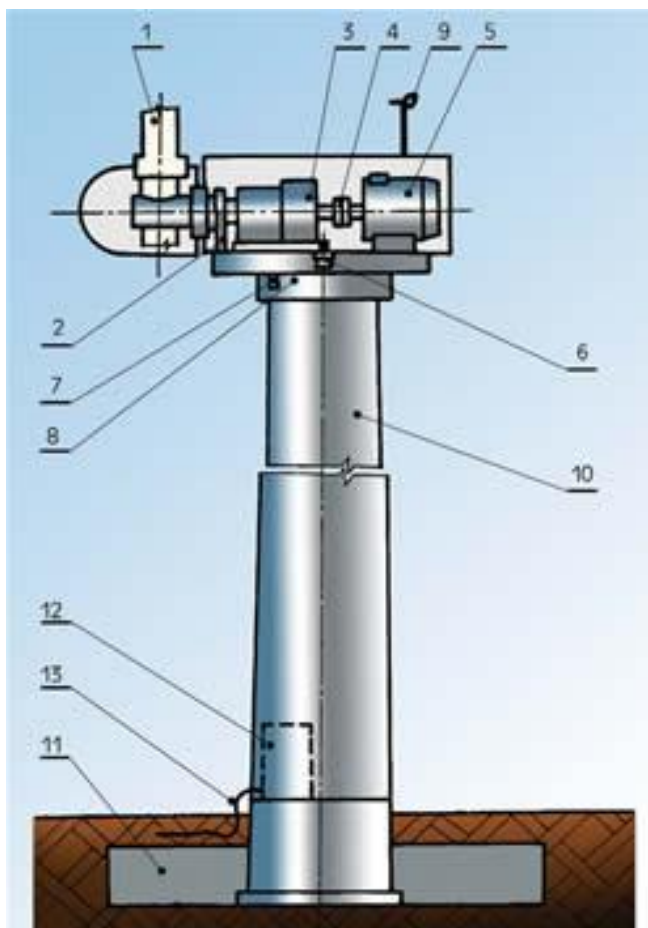
Obrázek 6: Orientační složení ceny elektřiny pro domácnost v roce 2014 bez daňových položek [15]

3 PRINCIP VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY

Jednou z největších předností větrné energie je fakt, že kromě výstavby elektrárny, která jen zčásti narušuje krajinu, je jinak naprosto ekologicky čistá. Neprodukuje do ovzduší škodlivé plyny či tuhé emise a nezatěžuje životní prostředí žádnými odpady. Dále ke svému fungování nepotřebuje vodu a její údržba je minimální. Za svoji životnost vyrobí až 50 krát více energie, než je potřeba na její výrobu a likvidaci. Největší nevýhodu naopak můžeme vidět v tom, že dodávky energie jsou závislé na povětrnostních podmínkách, a tedy nestálé. Dále také k negativní stránce přispívají vysoké investiční náklady.

Moderní větrné turbíny můžeme rozdělit do dvou kategorií dle horizontální či vertikální osy rotace. Budu se dále zabývat pouze turbínami s horizontální osou rotace, neboť bude dále příhodná pro praktické použití. Větrná elektrárna se skládá z rotoru, který je tvořen lopatkami, z gondoly, kde je umístěna strojovna a ze stožáru neboli tubusu.

Principem větrné elektrárny je přeměna kinetické energie větru na energii mechanickou, která se projeví rotací hřídele. Využíván je zde zpravidla třílistý rotor, kde tvar lopatek způsobuje, že na ně působící tlak větru je rozložen nerovnoměrně a vyvolává jejich otáčení. Rotor je spojen s hlavní hřídelí a generátorem za účelem vytvoření elektromagnetického pole a následně elektrické energie. Na svrchní zadní části tubusu je zpravidla malý větrný senzor, který je připojen k počítači, vyhodnocuje současné větrné podmínky a řídí chování turbíny. Řídí například natáčení gondoly tak, aby rotor byl nasměrován kolmo na směr proudění větru, ale také se stará o pozici natočení jednotlivých listů.



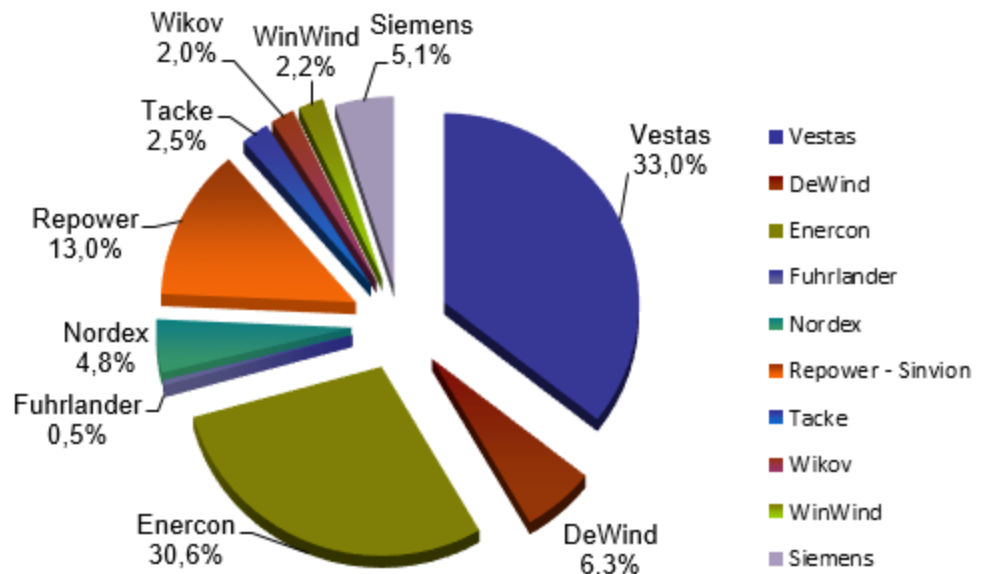
Obrázek 7: Schéma větrné elektrárny [16]

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

Lopatky rotoru se točí rychlostí přibližně 15 otáček za minutu, což ani zdaleka není rychlost pro vytvoření dostatečného elektromagnetického pole. Proto se zde používá převodovka, která dokáže zajistit mnohem vyšší rotační rychlost generátoru. Právě tato část turbíny je však nejnáchylnější na poruchy, a proto někteří výrobci již praktikují technologii, která převodovku neobsahuje.

Ve světě je kolem padesáti výrobců větrných turbín, přičemž vévodí dánská společnost Vestas. V České republice tomu není jinak, její podíl na instalovaném výkonu je 33 %. Na druhém místě se nachází německá

společnost Enercon, která se specializuje na turbíny bez převodovky. Kompletní strukturu výrobců můžeme vidět na následujícím grafu.



Obrázek 8: Instalovaný výkon větrných elektráren v ČR dle výrobců [2]

3.1 PRINCIP PŘEMĚNY ENERGIE VĚTRU

Primárním komponentem větrné elektrárny je turbína, která transformuje kinetickou energii obsaženou ve větru na energii mechanickou. Získání mechanické energie z proudícího vzduchu pomocí turbíny, v našem případě vrtule, má však svoje specifická pravidla.

Zásluhy na zjištění jaký je princip této přeměny nese německý fyzik Albert Betz. Betz mezi roky 1922 a 1925 publikoval studii, kde ukazuje pomocí základních fyzikálních principů, jak je mechanická energie získávána ze vzduchu proudícího určitou plochou, úměrná energii obsažené ve vzduchu. Zjistil, že optimální množství energie obsažené ve vzduchu může být získáno pouze za předpokladu ideálního poměru mezi rychlostí vzduchu před a za turbínou.

Energie obsažená v pohybujícím se vzduchu může být vyjádřena vztahem:

$$E = \frac{1}{2}mv^2,$$

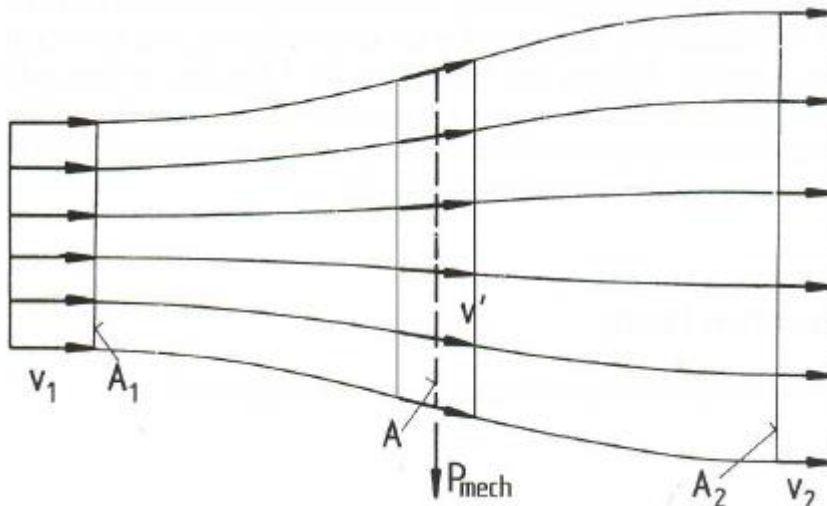
kde v je rychlost vzduchu a m hmotnostní tok, který může být vyjádřen jako součin rychlosti v , plochy větrné turbíny A a hustoty vzduchu ρ :

$$m = \rho v A$$

Takto vyjádřená energie je prakticky rovna výkonu P :

$$P = \frac{1}{2}\rho v^3 A$$

Mechanická energie může být získána pouze z energie kinetické, která je obsažena v proudícím vzduchu. To znamená, že při nezměněném hmotnostním toku by rychlost vzduchu na druhé straně turbíny musela klesnout. Avšak snížení rychlosti má při nezměněném hmotnostním toku za následek rozšíření plochy, kterou vzduch proudí. Proto je třeba porovnat podmínky na obou stranách turbíny. Názorně vidíme celou situaci na následujícím obrázku.



Obrázek 9: Průběh proudícího vzduchu přes turbínu [17]

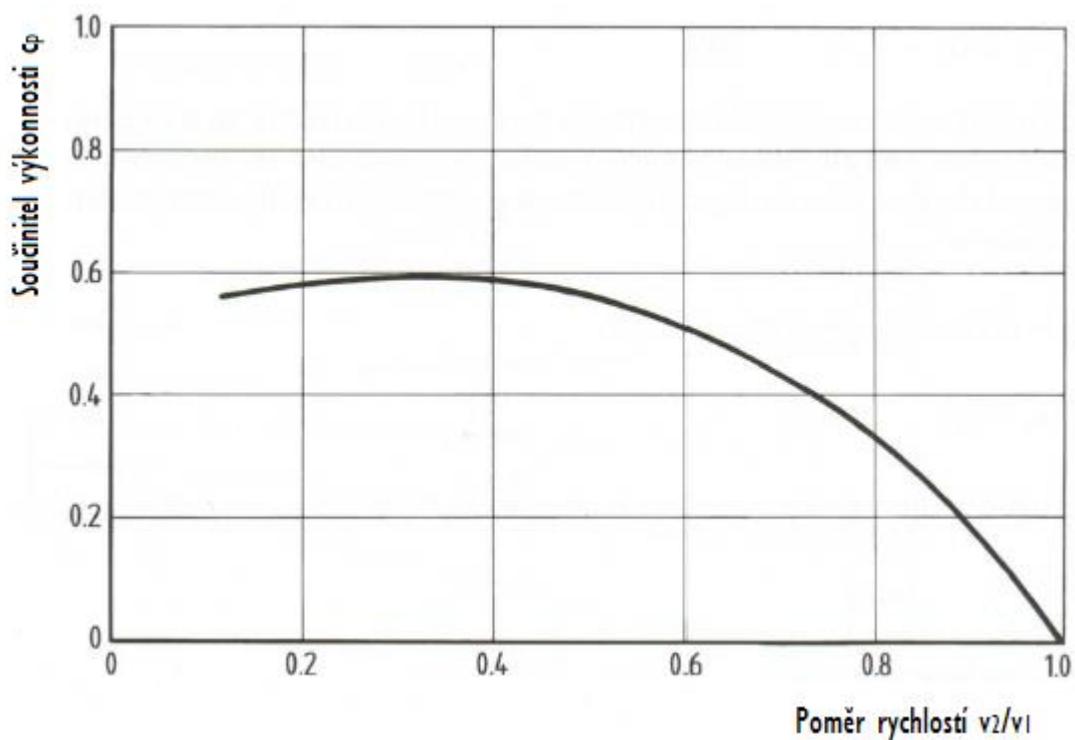
Po úpravách dostáváme rovnice výkonů pro médium před turbínou P_1 a za turbínou P_2 .

$$P_1 = \frac{1}{2} \rho v_1^3 A$$

$$P_2 = \frac{1}{4} \rho A (v_1^2 - v_2^2) (v_1 + v_2)$$

$$C_p = \frac{P_2}{P_1}$$

Poměr P_2 a P_1 nazýváme součinitelem výkonnosti C_p . Ten nám udává jaké maximální množství energie je možno získat pomocí rotoru z pohybujícího se média. V grafu závislosti součinitele výkonnosti na poměru rychlostí vidíme, že koeficient C_p dosahuje v určitém bodě svého maxima. Toto maximum je rovno hodnotě 0,593 a nastává při poměru rychlostí $v_2/v_1 = 1/3$. [17]



Obrázek 10: Závislost součinitele výkonnosti C_p na poměru rychlostí před a za rotorem [17]

3.2 ZPŮSOBY VYUŽITÍ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY JAKO ZDROJE ELEKTRICKÉ ENERGIE

Vzhledem k nestálosti a nepředvídatelnosti výkonu větrné elektrárny se volí takové řešení připojení, které počítá s časově nepodmíněným užitím energie, ale zároveň se snaží o její maximální využití. Existují tedy v zásadě tyto možnosti: první možností je připojení větrné elektrárny na rozvodnou síť tzv. on grid a druhou variantou je realizace bez připojení k rozvodné síti tzv. off grid. Nejdokonalejší tzv. hybridní systémy jsou systémy, které jsou připojeny na síť, ale mají zároveň svoji akumulátorovnu, a tedy již z názvu vidíme, že kombinují obě dvě základní varianty.

3.2.1 VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA S PŘIPOJENÍM K ROZVODNÉ SÍTI

S připojením větrné elektrárny na rozvodnou síť se opět dostáváme k problému, kterým trpí téměř všechny obnovitelné zdroje a to je nestálá dodávka elektrické energie. Tato nestálá dodávka může mít samozřejmě nepříznivé vlivy na elektrickou síť a to:

- přetěžování sítě - přípojné místo je nutno pro vyvedení výkonu patřičně dimenzovat,
- kolísání napětí – zdrojem kolísání může být, jak kompenzace samostatných strojů, tak soustavy více větrných elektráren,
- vyšší zkratové poměry - při připojení větrné elektrárny na síť se mění její zkratové poměry,
- kvalita elektřiny - větrná elektrárna je řízena výkonovou elektronikou, která může být v elektrické síti zdrojem rušení,
- zajištění takové množství regulačního výkonu, aby pokrylo výkyvy nestabilní dodávky elektrické energie z větrné elektrárny. [18]

3.2.2 VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA BEZ PŘIPOJENÍ K ROZVODNÉ SÍTI

Zřízení ostrovního systému, tedy systému bez připojení k rozvodné síti, přináší řadu výhod. První z nich je minimalizace ztrát způsobených distribucí energie, neboť tam, kde se energie vyrobí, se i spotřebuje. Dále se potom vyhneme poplatkům za přenos elektrické energie a případné zdražování cen energií se nás díky energetické nezávislosti nedotkne.

Elektrickou energii můžeme v ostrovním systému využít k nabíjení akumulátorů nebo jako zdroj pro akumulční kamna a pro ohřev vody. V současné době se již setkáváme s ostrovními systémy, kde můžeme kombinovat tyto dvě varianty a například v zimě používat větrnou elektrárnu jako zdroj pro vytápění a v létě pro dobíjení baterií.

4 PROJEKT VÝSTAVBY VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY V OBCI ZBILIDY

V této práci se budu zabývat konkrétním reálným problémem instalace větrné elektrárny a následným přenosem a využitím vyrobené elektrické energie. Větrná elektrárna bude situována do obce Zbilidy, která se nachází v kopcích Českomoravské vrchoviny přibližně 650 m n. m. v okrese Jihlava v kraji Vysočina. Kraj Vysočina je obecně velmi vhodným místem pro výstavbu větrných elektráren. V současné době však disponuje pouze třemi velkými větrnými elektrárnami a čtyřmi menšími určenými spíše pro vlastní spotřebu. Potenciál je však v tomto kraji mnohem větší. Dle studie realizovatelného potenciálu větrné energie v České republice, která byla zpracována Ústavem fyziky atmosféry Akademie věd ČR, je v kraji Vysočina prostor pro 140 větrných elektráren s celkovým výkonem 420 MW a s následnou možností výroby více než 1000 GWh za rok. Po Ústeckém kraji se jedná v tomto směru o kraj s druhým největším potenciálem v ČR. [19]

4.1 OBECNÉ INFORMACE O LOKALITĚ

Obec Zbilidy je menší obcí, která má přibližně 200 obyvatel. Přešlé studie shledaly okolí obce velice příznivým místem pro výstavbu větrné elektrárny z hlediska síly a průměrné rychlosti větru. V obci se kromě 95 domů nachází zemědělské družstvo, penzion, truhlářství, obchod smíšeného zboží, dílna a hostinec. Na obrázku číslo 14 vidíme, že do obce vedou čtyři elektrická vedení na napěťové hladině 22 kV. V obci se dále nacházejí tři transformátory, které transformují elektrickou energii z hladiny 22 kV na hladinu 0,4 kV.

4.2 ANALÝZA RYCHLOSTI VĚTRU V OBCI ZBILIDY

Nejdůležitějším faktorem při volbě lokality pro výstavbu větrné elektrárny je průměrná rychlost větru v daném místě. Obecně se za ekonomickou hranici pro využití větrné energie považuje 5 m/s, vždy je však potřeba jednotlivé případy posuzovat individuálně. Pro praktické využití jsou nejzajímavější výšky mezi 40 až 100 metry nad zemským povrchem. V tomto rozmezí závisí také na členění terénu, přičemž platí, že čím hladší terén, tím je rychlost větší a neprojevují se zde turbulence způsobené nerovnostmi. Rychlost větru je zásadní veličinou ovlivňující výsledný výkon elektrárny. Orientačně můžeme pro okamžitý výkon elektrárny P [W] použít vzorec:

$$P = k * D^2 * v^3$$

Vidíme, že výkon je závislý na koeficientu k , který se odvíjí od typu členění krajiny a pohybuje se průměrně od 0,2 do 0,5. Veličina D [m] je délka lopatky větrné elektrárny a v [m/s] znázorňuje rychlost větru. Vidíme, že výkon závisí na třetí mocnině rychlosti, a tedy i malá chyba při jejím určení má výrazný vliv na stanovení instalovaného výkonu. [20]

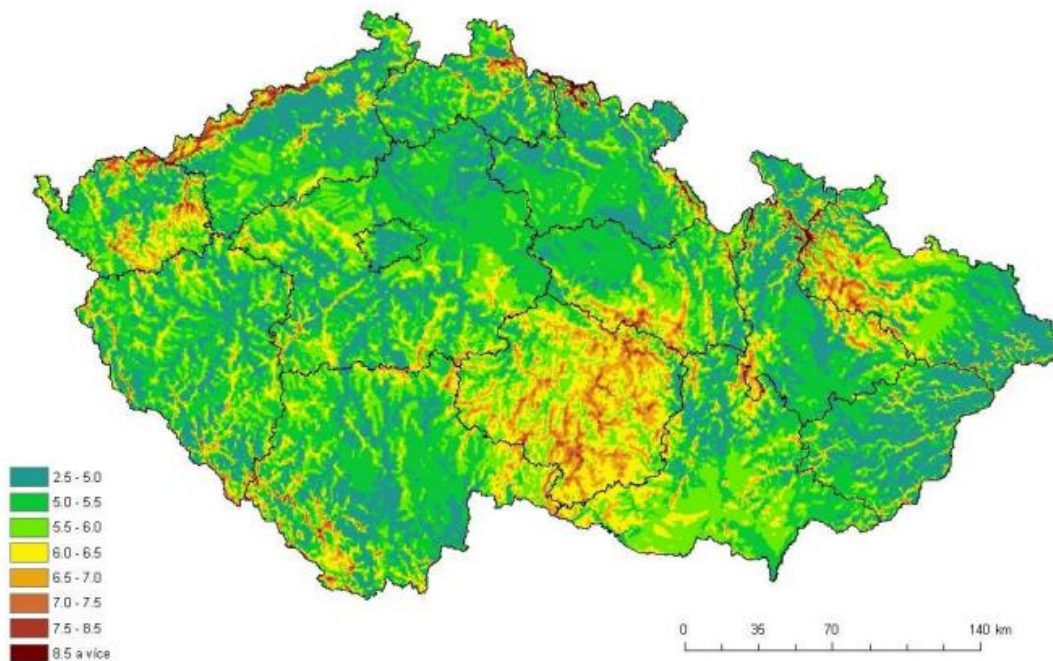
Pro potřeby této práce je využita studie vypracovaná Ústavem fyziky atmosféry AV ČR: Odhad realizovatelného potenciálu větrné energie na území ČR. V této studii byl realizován výpočet rychlosti větru ve výšce 100 m nad zemským povrchem, což je typická výška osy rotoru větrných elektráren, pomocí kombinace tří dlouhodobě používaných modelů na ÚFA AV ČR. Jedná se o modely VAS, WAsP a PIAP.

Model VAS neboli “větrný atlas“ vychází z dat naměřených meteorologickými stanicemi a interpoluje průměrné hodnoty rychlosti větru a jiných veličin mezi těmito stanicemi. Využívá k tomu trojrozměrný systém popsaný kartézskými souřadnicemi.

Model WAsP byl vyvinut zvláště pro potřeby větrné energetiky a je využíván pro jeho dobré prostorové rozlišení a realistickou kalkulaci vertikálního proudění větru. Avšak pro jeho nepřesnosti při větších vzdálenostech mezi

místa měření byl vytvořen hybridní systém VAS/WasP, který kombinuje výhody obou modelů.

Model PIAP, který je modelem vyvíjeným Ústavem fyziky atmosféry AV ČR, se snaží o přesnější popis skutečnosti a disponuje velkou matematickou náročností. K výpočtu tohoto modelu bylo využito pět profesionálních měřicích stanic. [21]



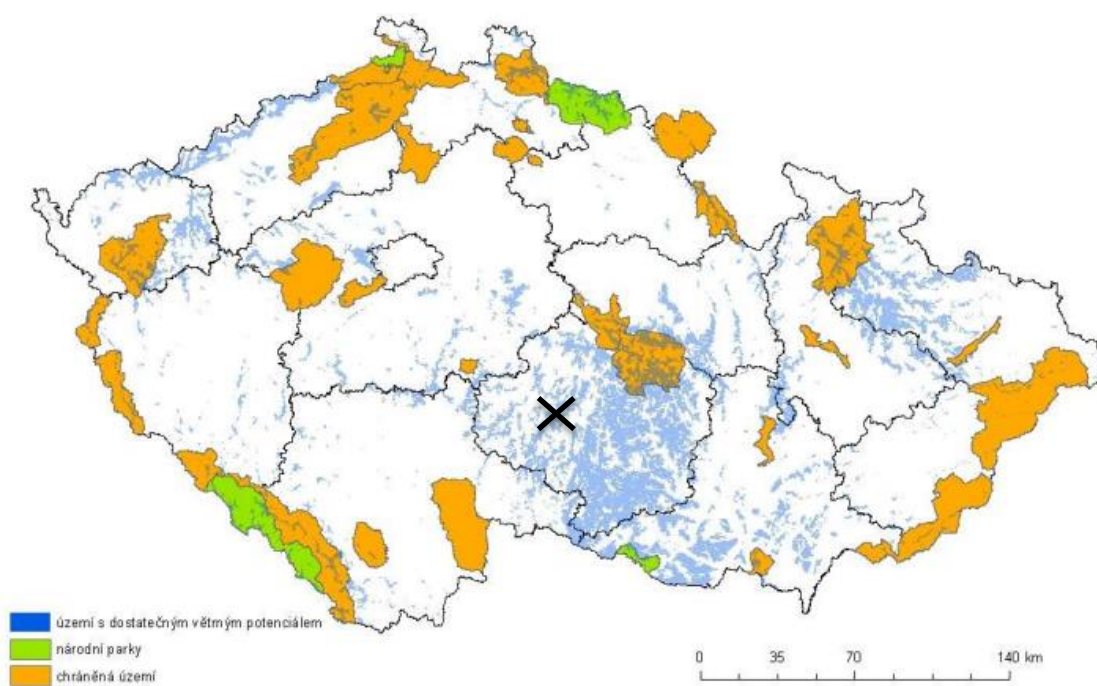
Obrázek 11: Mapa rychlosti větru ve výšce 100 m nad zemským povrchem [21]

Výsledná mapa je vytvořena pomocí kombinací těchto sofistikovaných modelů a dává nám reálnou představu o rychlostech větru v jednotlivých částech České republiky. Pro větší větrné elektrárny s připojením do sítě je nezbytné kvalitní měření rychlosti větru, neboť je zásadní pro ekonomiku projektu. Na obrázku 11 vidíme výsledné pole rychlosti větru ve výšce 100 m nad zemským povrchem. Můžeme se přesvědčit, že právě kraj Vysočina patří k oblastem s velkým potenciálem nejen kvůli větrným dispozicím, ale i kvůli poloze uprostřed republiky, která je ideální pro distribuci energie do sítě.

Vidíme, že obec Zbilidy se nachází v oblasti s dostatečným větrným potenciálem mimo chráněná území či národní parky a průměrná rychlost větru ve výšce 100 m nad zemským povrchem se zde pohybuje kolem 7 m/s.



Obrázek 12: Detail mapy rychlosti větru pro obec Zbilidy, upraveno z [21]



Obrázek 13: Velkoplošná chráněná území vs. území s dostatečně velkým větrným potenciálem [21]

4.3 UMÍSTĚNÍ VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY

Elektrárna bude situována nedaleko lesa v části s místním názvem Na Kubíkově. Místo je názorně naznačeno na obrázku. Jedná se o místo s nadmořskou výškou okolo 670 m n. m. a příhodným reliéfem pro provoz větrné turbíny. Větrná elektrárna se nachází ve vzdálenosti 200 metrů od současného vedení, které se od tohoto místa táhne dále v délce 1 kilometr k jednomu ze tří transformátorů v obci. Při dané situaci se budu věnovat otázce dopravy elektrické energie do obce a volbě vhodné větrné turbíny, která je v tomto případě stěžejním prvkem. Posledním problémem bude samotné koncové využití vyrobené elektrické energie.

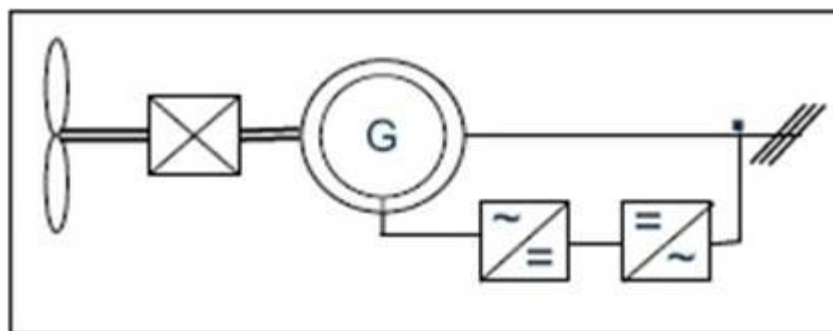


Obrázek 14: Mapa obce Zbilidy s naznačeným umístěním větrné elektrárny [22]

4.4 VOLBA VĚTRNÉ TURBÍNY

Při volbě větrné turbíny budu volit mezi dvěma technologiemi od dvou světových dodavatelů, dánské společnosti Vestas a německé společnosti Enercon. Tyto dvě technologie se liší celou řadou konstrukčních uspořádání. Nejzásadnějším rozdílem je však přítomnost převodovky, která je jednou z nejsložitějších částí turbíny. Obě varianty mají bezpochyby svoje výhody a nevýhody, kterými se dále budu zabývat.

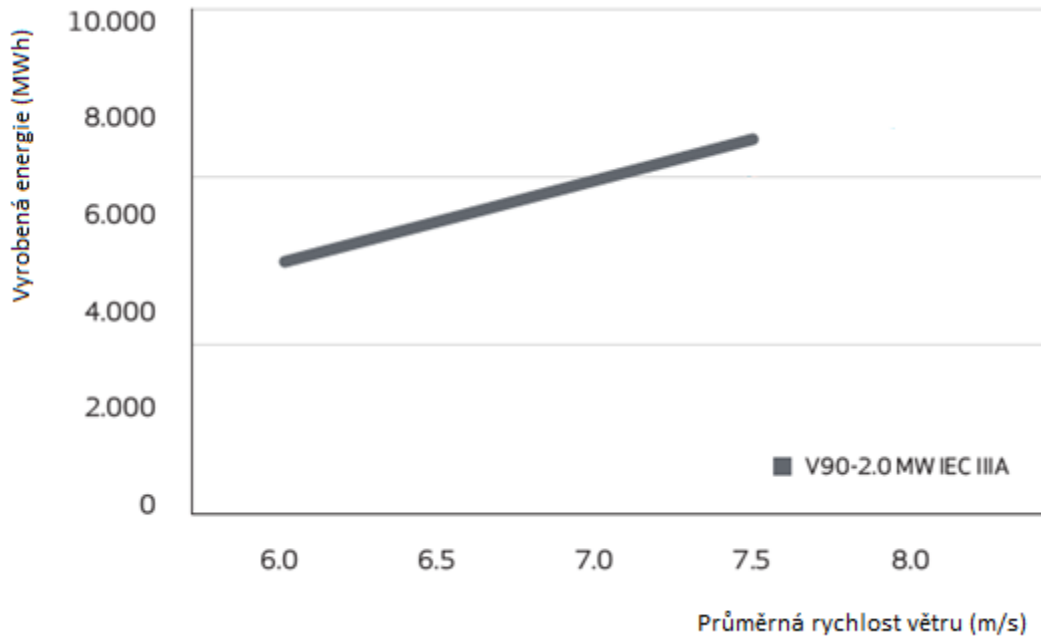
Společnost Vestas je největší společností světa zabývající se výrobou, prodejem a instalací větrných elektráren. Ve svých konstrukcích, jak je vidět na obrázku 15, používá zapojení rotor – převodovka – generátor.



Obrázek 15: Schéma větrné turbíny v zapojení s převodovkou a generátorem [23]

Z celé škály větrných turbín nabízených společnostmi Vestas byla zvolena větrná elektrárna VESTAS V90. Společnost již od roku 2004, kdy byla tato turbína uvedena na trh, nainstalovala více než 1500 větrných elektráren tohoto typu po celém světě. Pro Evropu se vyrábí ve dvou provedeních o výkonech 1,8 a 2,0 MW. Upřednostněn je v tomto případě typ elektrárny VESTAS V90 – 2 MW, která velmi dobře pracuje již při slabších větrných podmínkách a je velmi vhodná pro námi zvolenou lokalitu. Při průměrné rychlosti větru mezi 6,5 až 7 m/s dokáže dle výrobce v ideálních podmínkách ročně vyrobit 5 – 6 GWh, avšak z tuzemských údajů je odhadnuto roční využití elektrárny kolem 27 %, což odpovídá produkci 4,7 GWh. Tento odhad je proveden na základě

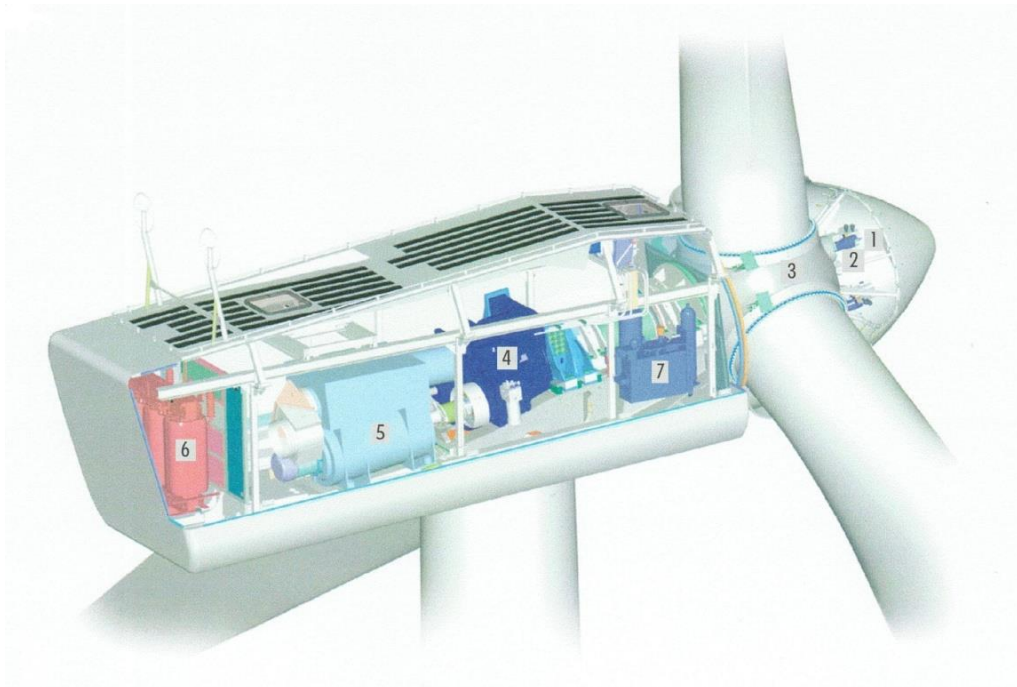
elektrárny Pavlov, která disponuje také turbínou V90 - 2 MW a nachází se necelých 30 kilometrů od obce Zbilidy.



Obrázek 16: Roční produkční charakteristika turbíny Vestas V90-2.0 MW [24]

VESTAS V90 – 2.0 MW disponuje 45 m dlouhými lopatkami, které se otáčejí s rychlostí od 8 do 17 otáček za minutu, jedná se tedy o pomaloběžný stroj. Na obrázku 15 vidíme schéma strojovny turbíny. Mechanická energie je přenášena od rotorové hlavy pomocí hlavní hřídele přes převodovku pomocí bezúdržbové kompozitní spojky až ke generátoru, kde je vyráběná energie transformována vysokonapěťovým transformátorem. Větrná elektrárna je regulována pomocí natáčení listů rotoru v závislosti na rychlosti větru a využívá k tomu zařízení OptiTip, které je speciálním regulačním systémem společnosti Vestas. Zařízení OptiTip neustále kontroluje, vyhodnocuje a případně upravuje polohu natočení listů primárně za účelem optimalizace výkonu, ale také kvůli minimalizaci hluku. Asynchronní generátor s vinutým rotorem je čtyřpólový a je vybaven zařízením OptiSpeed, které dovoluje pracovat s proměnlivou rychlostí otáček rotoru v rozmezí 60 % vzhledem ke jmenovitým otáčkám. To znamená, že systém OptiSpeed umožní rotoru pracovat s otáčkami až 30 % pod nebo nad

synchronními otáčkami. Systém OptiSpeed přispívá k lepší a rychlejší synchronizaci a snižuje činitel harmonického zkreslení. V90 také obsahuje tzv. Vestas Converter System, který zajišťuje lepší a přesnější spojení s rozvodnou sítí pomocí regulace proudu v rotorovém proudovém obvodu generátoru.



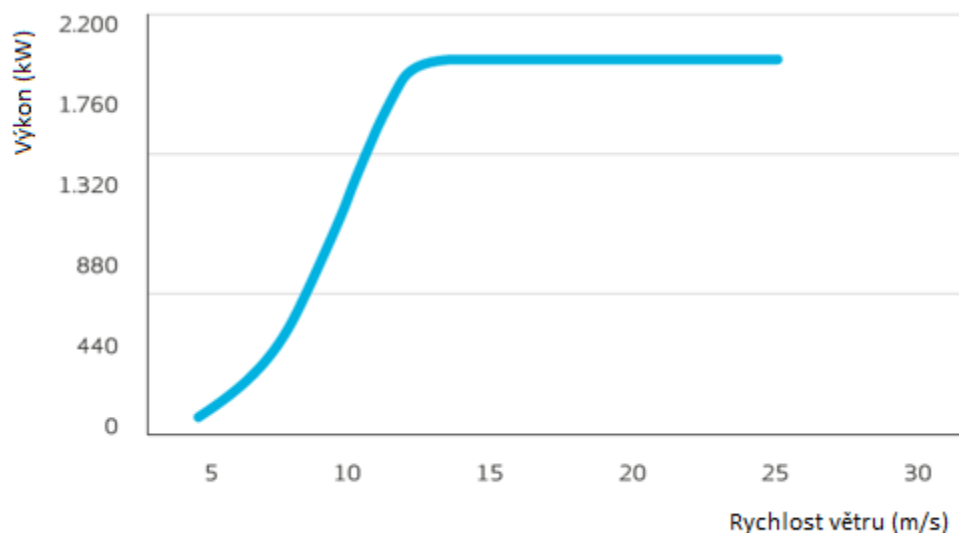
Obrázek 17: Schéma strojovny turbíny VESTAS V90 – 2.0MW [25]

1 – řídicí centrum rotoru, 2 – systém natáčení rotorových listů, 3 – rotorová hlava, 4 – převodovka, 5 – generátor, 6 – vysokonapěťový transformátor, 7 – hydraulická jednotka

Tabulka 1: Technická data větrné turbíny V90-2.0MW, vlastní zpracování z [25]

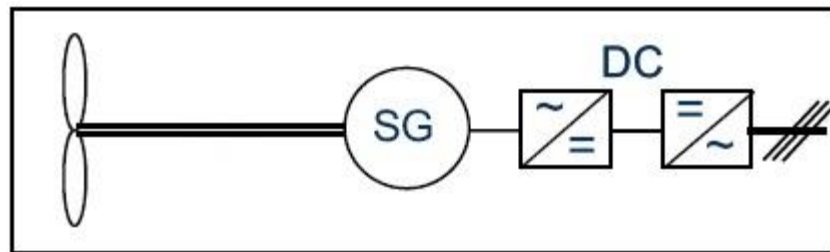
Jmenovitý výkon	2 MW
Generátor	4 pólový, 50 Hz
Převodovka	planetární/šroubovitá
Regulace výkonu	naklápění listů rotoru
Hlavní brzdový systém	natočení listů do praporu
Vedlejší brzdový systém	kotoučové brzdy
Natáčení gondoly	4 elektrické motory
Jmenovitá rychlost větru	14 m/s
Připojovací rychlost větru	4 m/s
Odpojovací rychlost větru	25 m/s
Průměr rotoru	90 m
Plocha rotoru	6 362 m ²
Počet listů rotoru	3
Otáčky generátoru	1680 ot/min
Napětí	690 V
Výška ocelového tubusu	80 m, 90 m nebo 105 m

Elektrárna začíná produkovat elektrickou energii již při rychlosti větru 4 m/s, přičemž maxima výkonu dosahuje při rychlostech mezi 14 až 25 m/s, kde se z bezpečnostních důvodů provoz zastavuje. Výkonovou charakteristiku turbíny můžeme vidět na následujícím grafu.



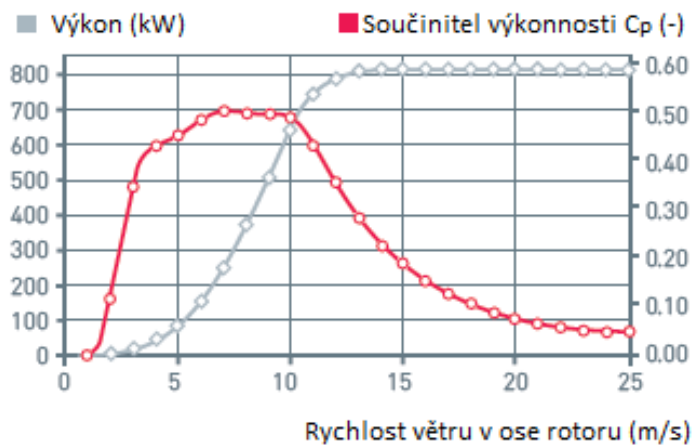
Obrázek 18: Výkonová charakteristika turbíny Vestas V90-2.0 MW [25]

Druhou variantou větrné elektrárny je produkt společnosti Enercon, která je lídrem na trhu v oblasti bez převodkových větrných elektráren. Toto zapojení, tak jak je znázorněno na příslušném schématu, má výhodu v tom, že eliminuje možnost potenciálních poruch, snižuje hmotnost, hluk a také ztráty, které na převodovce vznikají. Principem je mnohapólový synchronní generátor, kde jeden prsteneček cívek je umístěn na rotoru a druhý na statoru, přičemž se dle povětrnostních podmínek zapínají jednotlivé pólové dvojice. S rostoucí rychlostí větru je zapojeno více pólových dvojic. Vyrobená energie se ještě upravuje pomocí výkonové elektroniky, aby měla příslušné parametry pro síť.



Obrázek 19: Schéma větrné turbíny v zapojení se synchronním generátorem [26]

Pro projekt budu také uvažovat elektrárnu Enercon E53 / 800 kW, která při průměrné rychlosti 6,5 – 7 m/s a ročním využití kolem 22 % vyrobí 1,5 GWh. Roční využití pro elektrárnu Enercon je nižší než u V90 z důvodu kratší délky tubusu. Dle výkonové charakteristiky je vidět, že elektrárna vyrábí elektrickou energii již při rychlosti větru 2 m/s. Nejeftivnějšího provozu dosahuje při rychlosti větru 7 m/s, kdy přeměňuje téměř 50 % energie větru na energii elektrickou.



Obrázek 20: Výkonová charakteristika turbíny Enercon E53/800kW [27]

Jak lze vidět už ze schématu gondoly elektrárny, je výrazně menší než v případě provedení s převodovkou. Generátor je umístěn těsně za lopatkami a hlavou rotoru. Elektrárna je vybavena bouřkovým kontrolním systémem, který se dostává ke slovu v případě velmi vysokých rychlostí větru a dokáže za těchto podmínek snížit výkon natočením listů rotoru tak, že ji není třeba odstavit.



Obrázek 21: Schéma strojovny turbíny Enercon E53 / 800 kW [27]

1 – nosič strojovny, 2 – motor pro natáčení gondoly, 3 – generátor, 4 – adaptér pro natáčení listu, 5 – hlava rotoru, 6 – list rotoru

Tabulka 2: Technická data větrné turbíny E53/800kW, vlastní zpracování z [27]

Jmenovitý výkon	800 kW
Generátor	synchronní, 50 Hz
Převodovka	-
Regulace výkonu	naklápění listů rotoru
Hlavní brzdový systém	natočení listů do praporu
Vedlejší brzdový systém	rotorový zámek
Natáčení gondoly	4 elektrické motory
Jmenovitá rychlost větru	13 m/s
Připojovací rychlost větru	2 m/s
Odpojovací rychlost větru	34 m/s
Průměr rotoru	53 m
Plocha rotoru	2 198 m ²
Počet listů rotoru	3
Otáčky generátoru	1680 ot/min
Napětí	400 V
Výška tubusu	60 m, 73 m nebo 75 m

4.5 VÝPOČET POTŘEBY TEPLA OBCE ZBILIDY

V důsledku proměnlivé produkce elektrické energie z větrného zdroje, která je závislá na počasí, je omezení také při využití vyrobené energie. V tomto případě se bude elektrická energie přeměňovat na teplo a využívat k vytápění. Proto je nutno zjistit celkovou potřebu tepla občanů Zbilid.

V současné době v obci Zbilidy v drtivé většině převažuje vytápění tuhými palivy, jako je uhlí a dřevo. Akumulační kamna ani elektrokotle nejsou ve větším rozsahu použity. Pro náš projekt potřebujeme znát celkovou velikost potřeby tepla obce za rok. V obci se nachází celkově 101 budov s průměrnou plochou obytné oblasti 80 m².

Výpočet potřeby tepla na vytápění budu provádět Denostupňovou metodou dle vzorce [28]:

$$Q_{VYT,r} = 24 * Q_c * \frac{d * (t_{is} - t_{es})}{(t_{is} - t_{ev})} * e_i * e_t$$

$Q_{VYT,r}$ – teoretická roční potřeba tepla na vytápění [Wh]

Q_c – celková tepelná ztráta objektu [W]

d – počet dnů otopného období [dny]

t_{es} – průměrná venkovní teplota [°C]

t_{is} – průměrná vnitřní teplota objektu [°C]

t_{ev} – oblastní venkovní výpočtová teplota [°C]

e_i – opravný součinitel vyjadřující vliv nesoučasnosti přírážek

pro výpočet tepelných ztrát objektu [–]

e_t – opravný součinitel na snížení teploty při přerušování vytápění [–]

K výpočtu je nutné znát průběh venkovních teplot z meteorologických dat a také stanovit počet topných dnů (d). Výpočet vychází ze současné legislativy, konkrétně vyhlášky č. 152/2001 Sb. Pro naši lokalitu je počet topných dnů roven 257 a dále dle meteorologických dat je průměrná venkovní teplota rovna 3,5°C a oblastní venkovní výpočtová teplota rovna -15°C. Jako průměrnou vnitřní teplotu objektu zvolím 20°C. Na základě těchto dat, dále z průměrných rozměrů obytných prostor a z faktu, že drtivá většina budov byla postavena před rokem 1993, a tudíž disponují odpovídajícími tepelnými vlastnostmi, odhadnu tepelnou ztrátu objektu na 9,3 kW. Dále určím potřebné koeficienty – pro e_i zvolím hodnotu 0,85, která odpovídá hodnotě pro rodinný dům, koeficient e_t udává snížení teploty v místnostech například během noci, zde bude roven 0,95. [29]

$$Q_{VYT,r} = 24 * 9300 * \frac{257 * (20 - 3,5)}{(20 - (-15))} * 0,85 * 0,95$$

$$Q_{VYT,r} = 21,8 \text{ MWh/rok}$$

Vyšlo mi, že pro jeden průměrný rodinný dům v obci Zbilidy je roční spotřeba tepla na vytápění rovna 21,8 MWh. V obci se nachází celkem 101 domů, a tedy celková spotřeba obce na vytápění činí 2,2 GWh.

Nyní určím denní spotřebu tepla na ohřev teplé vody dle vztahu:

$$Q_{TUV,d} = (1 + z) * \frac{\rho * c * V_{2p} (t_2 - t_1)}{3600}$$

$Q_{TUV,d}$ – denní potřeba tepla na ohřev teplé vody [Wh]

z – koeficient energetických ztrát systému [–]

ρ – hustota vody [kg/m³]

c – měrná tepelná kapacita vody [J/kgK]

V_{2p} – celková potřeba teplé vody za 1 den $\left[\frac{m^3}{den} \right]$

t_2 – teplota ohřáté vody [°C]

t_1 – teplota studené vody [°C]

$$Q_{TUV,d} = (1 + 0,8) * \frac{1000 * 4186 * 15,28 * (55 - 10)}{3600} = 1439,1 \text{ kWh}$$

Celková roční potřeba je potom rovna:

$$Q_{TUV,r} = Q_{TUV,d} * d + 0,8 * Q_{TUV,d} * \frac{t_2 - t_{svl}}{t_2 - t_{svz}} * (N - d)$$

d – počet dnů otopného období [dny]

t_{svl} – teplota studené vody v létě

t_{svz} – teplota studené vody v zimě

N – počet pracovních dnů soustavy v roce

$$Q_{TUV,r} = 1439,1 * 257 + 0,8 * 1439,1 * \frac{55 - 15}{55 - 5} * (365 - 257)$$

$$Q_{TUV,r} = 469,3 \cong 0,5 \text{ GWh/rok}$$

K výpočtu jsem opět použil údaje z meteorologických dat a z tabulek. Teplotu ohřáté vody jsem stanovil na 55°C. Teplotu studené vody na 10°C. Pro roční potřebu energie na ohřev teplé vody jsem kalkuloval se spotřebou 80 l na osobu za den. Roční potřeba na ohřev vody je tedy 0,5 GWh.

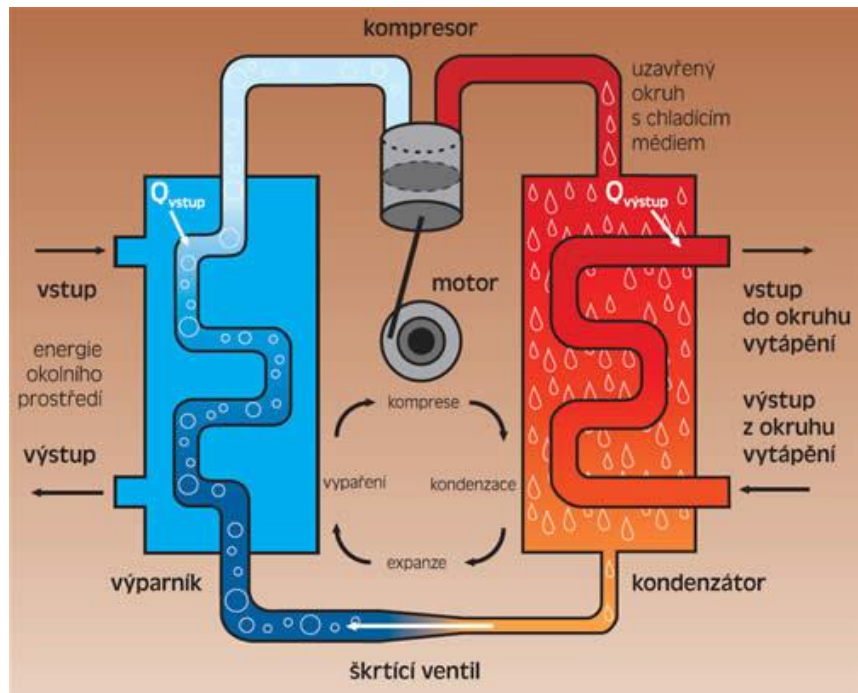
Celková potřeba energie na vytápění a na ohřev teplé vody v obci bude:

$$Q_{celk} = 2129,1 + 469,3 = 2598,4 \cong \mathbf{2,6 \text{ GWh/rok}}$$

Pro zdroj vytápění pomocí elektřiny vyrobené větrnou elektrárnou se bude rozhodovat mezi elektrokotli a tepelnými čerpadly.

4.5.1 TEPELNÁ ČERPADLA

Princip tepelného čerpadla je vidět na následujícím obrázku. Podstatou je využití energie okolí předávané pracovnímu médiu, kapalnému chladivu, které se zahřátím odpařuje a po stlačení par na vysoký tlak předává své teplo při kondenzaci do otopného systému. Jednou z důležitých charakteristik tepelného čerpadla je topný faktor, což je schopnost využití energie získané z okolí pro svůj pohon. Pro tento projekt se bude kalkulovat s čerpadly typu vzduch-voda s akumulací nádrží.



Obrázek 22: Schéma principu fungování tepelného čerpadla [30]

4.5.2 ELEKTROKOTLE

Druhou možností je použití elektrokotlů, které obecně disponují vysokou účinností a také cenovou přijatelností. Elektrické kotle se snadno regulují, jsou nenáročné na obsluhu a nepotřebují komín. Jmenovité výkony se pohybují od 4 do 60 kW. Elektrokotle jsou trvale připojené k pevnému třífázovému elektrickému rozvodu. V současné době drtivá většina domů v obci využívá jako topné médium vodu. Elektrokotel ohřívá topné médium buď přímo, anebo přes akumulární vodní výměník, a je tedy také vhodnou náhradou za kotel na tuhá paliva.

Ve variantě připojení elektrárny na síť je možné vybavit přístroje dálkově řízeným spínacím zařízením, které sepne v případě, že turbína pracuje a dodává tedy elektrický výkon, čímž se zajistí maximální využití vystavěné větrné elektrárny.

5 VARIANTY PROJEKTU VÝSTAVBY VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY V OBCI ZBILIDY

Při využití elektrické energie z větrné elektrárny jsem limitován jak technicky, tak legislativně. Cílem je vybrat vhodné varianty jak pro obec Zbilidy jako investora, tak pro občany obce, jako koncové zákazníky. Vybrané varianty budou vyhodnoceny a porovnány.

5.1 VZTAHY POUŽITÉ PRO EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Varianty porovnávám dle čisté současné hodnoty (NPV), což je ukazatel, který udává hodnotu součtu diskontovaných toků cash flow. Vybírám variantu, při níž je NPV kladné. V případě více variant s kladnou NPV se volí varianta s vyšší čistou současnou hodnotou. Pro hodnocení pomocí NPV je potřeba určit diskontní sazbu d .

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+d)^t}$$

Diskontní sazba vyjadřuje míru ušlé příležitosti s ohledem na riziko projektu. Jako alternativní investici беру státní dluhopis ČR 2013-2028 s výnosem 2,5% [31], což bude v tomto případě reální diskontní sazba r_r . Dále je třeba brát v úvahu inflaci α , která taktéž ovlivňuje finanční toky. Jako míru inflace budu uvažovat dlouhodobý průměr České republiky 2,4%. Nominální diskontní míra se vypočítá dle vztahu:

$$r_n = (1 + r_r) * (1 + \alpha) - 1$$

Po dosazení příslušných hodnot je nominální diskontní míra $r_n = 4,96\%$. Pro výpočty budu tedy uvažovat diskont $d = 5\%$, což je také předpokládaná výše úrokové sazby úvěru.

Jelikož je investice financována z komerčního úvěru, je třeba vypočítat výši splátky, úrok a úmor. Úvěr s úrokem $r = 5\%$ bude splácen anuitně po dobu $T = 15$ let. Anuitu vypočítám dle vztahu:

$$a_T = \frac{(1+r)^T * r}{(1+r)^T - 1}$$

Pro výpočet množství vyrobené energie použiji vzorec:

$$W_{vyr} = P_{inst} * 8760 * k_v$$

P_{inst} je výkon elektrárny vynásobený počtem hodin v roce a koeficientem ročního využití výkonu k_v . Koeficient ročního využití výkonu byl určen dle stávajícího větrného parku Pavlov nacházející se 30 km od Zbilid a obsahující elektrárny V90 - 2MW a V52 - 850 kW. Dle odhadu vyrobeného množství energie vypočítám zelený bonus, bonus na decentralní výrobu a příjmy z prodeje energie obchodníkovi s elektřinou.

Pro výpočet peněžních toků využiji následujícího vztahu:

$$CF = V - N_p - N_ú - S_{pl} - D$$

kde V jsou výnosy hodnocené varianty

N_p jsou provozní náklady

$N_ú$ jsou finanční náklady v podobě úroků z úvěru

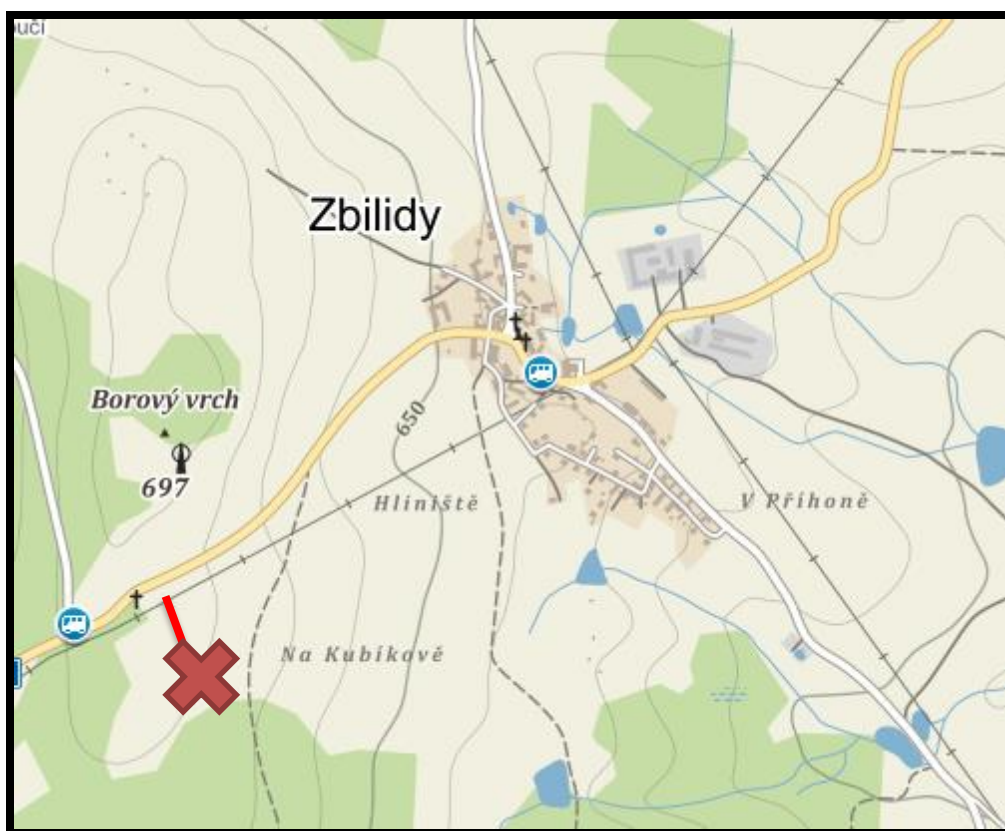
S_{pl} je úmor úvěru

D je daň z příjmu

Všechny výpočty byly provedeny v programu Microsoft Excel a jsou přiloženy na CD.

5.2 VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA S PŘIPOJENÍM K DISTRIBUČNÍ SOUSTAVĚ – ZELENÝ BONUS

Problematika přenosu energie do obce je stěžejní záležitostí, která úzce souvisí s celkovou ekonomickou efektivností projektu. Jelikož elektrárna bude situována v blízkosti dosavadního vedení s napětovou hladinou 22 kV, nabízí se možnost připojit výstup větrné elektrárny na síť a elektrickou energii dopravovat po současném vedení provozovaném společností E.ON. V tomto zapojení je však možno elektrickou energii prodávat pouze do sítě obchodníkovi s elektřinou a koneční zákazníci ji budou nakupovat klasickým způsobem jako do teď, jen s tím rozdílem, že nyní budou díky elektrokotlům, respektive tepelným čerpadlům využívat levnější sazby D25d či D56d. Na takto provozovanou elektrárnu, uvedenou do provozu ještě do konce roku 2015, se vztahuje zelený bonus, který je důležitým zdrojem příjmu.



Obrázek 23: Mapa obce Zbilidy s naznačeným připojením elektrárny do sítě [22]

Náklady investice je možno rozdělit na náklady jednorázové (investiční), které jsou spojené s výstavbou elektrárny, distribucí energie, pořízením elektrokotlů popř. tepelných čerpadel a montáží všech komponent a na náklady roční, vynaložené během provozu. Roční náklady dělíme: 1) Náklady stálé (FC), což jsou náklady, které slouží k udržení pohotovosti zařízení. Řadíme do nich například odpisy, úroky či údržbu a opravy. 2) Náklady proměnné (VC), které jsou závislé na produkci.

JEDNORÁZOVÉ NÁKLADY

Investiční náklady jsou spojené s projektovými pracemi, výstavbou a uvedením větrné elektrárny do provozu. Dále s pořízením elektrokotlů respektive tepelných čerpadel a montáží těchto kompaktních celků do jednotlivých domů. Pro všechny varianty budu uvažovat shodnou cenu elektrokotlů, případně tepelných čerpadel. Cena elektrokotlů je i s akumulací nádrží, montáží a dalšími doplňky stanovena na hranici 40 000 Kč. Pořizovací cenu kvalitních tepelných čerpadel s průměrným topným faktorem 3, budu uvažovat na hranici 250 000 Kč, přičemž se do ceny opět započítává montáž, akumulací nádrž a další nezbytné prvky sloužící k běžnému provozu. Ceny se odvíjí od běžných nabídek na trhu.

Mezi projektové práce se řadí vypracování studie proveditelnosti projektu, která zahrnuje prošetření dané lokality, odhad větrného zdroje, předběžný návrh projektu, detailní odhad nákladů a závěrečnou zprávu. Vypracování této studie je nezbytnou součástí žádosti o licenci pro výrobce elektřiny. S tím je spojen i posudek EIA o vlivu na životní prostředí. Dále je zapotřebí energetický audit, který je nutný k žádosti o úvěr či dotaci.

Cena větrné elektrárny vychází z cen obvyklých na trhu a tvoří největší část investičních nákladů, je v ní zahrnut také transformátor zvyšující napětí na 22kV. Pozemek, na kterém by plánovaná elektrárna měla stát, patří Zemědělskému družstvu Zbilidy a je zapotřebí počítat také s jeho částečným odkupem. Mezi další náklady spojené s výstavbou větrné elektrárny jsou příprava staveniště a zajištění přístupových cest, výstavba základů, montáž

technologie VTE a náklady na uvedení VTE do provozu. Řízení stavebních prací a ostatní náklady spojené se zaškolováním personálu či nepředvídatelnými výdaji jsou neméně důležitou složkou investičních nákladů spojených s výstavbou větrné elektrárny.

Cena za připojení k distribuční síti se řídí vyhláškou č. 51/2006 Sb. o podmínkách připojení k elektrizační soustavě. Po předložení žádosti o připojení a studii připojitelnosti se uzavírá smlouva mezi žadatelem o připojení a v našem případě provozovatelem distribuční soustavy. Měrný podíl žadatele o připojení na oprávněných nákladech spojených s připojením a zajištěním požadovaného příkonu a výkonu je určen danou vyhláškou. Pro projekt se jedná o připojení k distribuční soustavě vysokého napětí dle způsobu připojení typu A, kdy provozovatel rozšíří distribuční soustavu až do předávacího místa. [32]

ROČNÍ PROVOZNÍ NÁKLADY

Mezi roční stálé náklady budeme řadit pojištění, jehož výše se pohybuje na hranici 0,5% z investičních výdajů. Další položkou stálých nákladů bude údržba, která je nezbytnou součástí provozu elektrárny. Jsou v ní zahrnuty náklady na náhradní díly a náklady na práci, jež je nutná na rutinní a pohotovostní údržbu. Dále do ní spadá také monitoring a pravidelná inspekce zařízení. Roční náklady jsou počítány jako průměrné po celou dobu živostnosti.

Jelikož větrná elektrárna bude pro obec kompletně novou stavbou a pro někoho nemusí být příjemnou skutečností, vyhradíme určitou částku ročních nákladů na podporu projektu, abychom si zajistili přijetí v rámci místní komunity. Peníze budou použity na podporu různých kulturních, sportovních či vzdělávacích akcí, mohou být například použity na výstavbu dětského hřiště či na jiné benefity pro obyvatele.

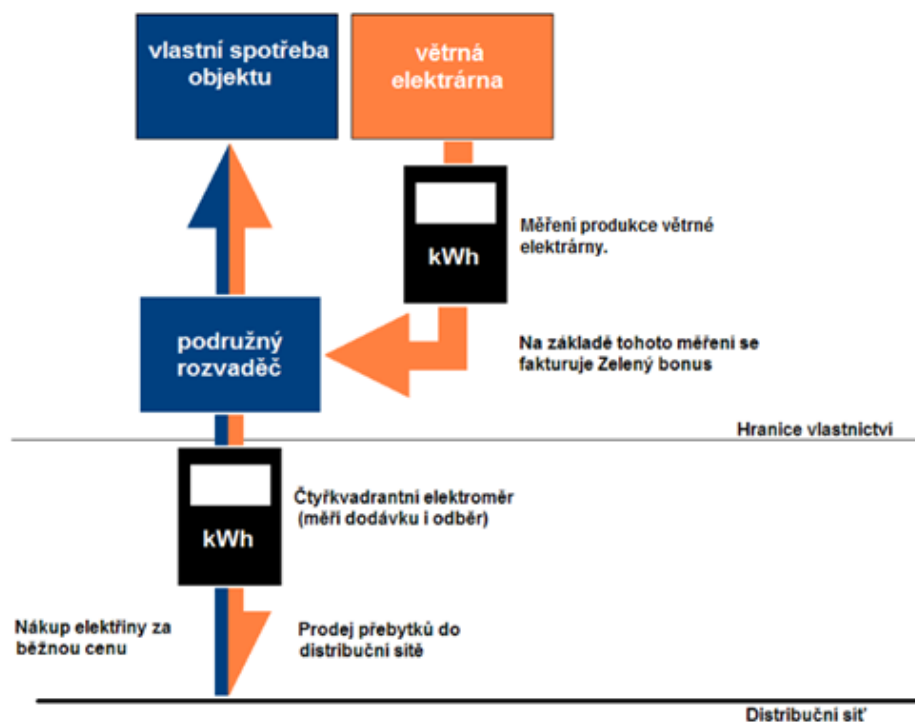
Projekt nemá žádné roční proměnné náklady, neboť “palivem“ je zde vítr.

PRINCIP OBCHODOVÁNÍ

Vyráběná energie bude prodávána do sítě obchodníkovi s elektrickou energií. Současná výše ceny na trhu je 700 Kč/MWh (Centropol Energy a.s.). Na celkovou vyrobenou energii se bude vztahovat podpora zelených bonusů, která je pro rok 2015 rovna 1450 Kč/MWh. V projektu budu počítat s průměrným růstem zeleného bonusu ve výši 0,5% ročně. [33]

FINANCOVÁNÍ PROJEKTU

Jelikož obec Zbilidy nemá takové množství finančních prostředků, za něž by si mohla dovolit výstavbu větrné turbíny, zdrojem financování bude úvěr. Lze využít možnosti úvěru pro financování projektů v oblasti obnovitelných zdrojů energie. Úrok se pohybuje kolem 5 % a je nabízen celou řadou tuzemských bank právě pro účely projektů výroby energie z obnovitelných zdrojů. Zároveň zde bude snaha pro získání dotace Ministerstva průmyslu a obchodu v rámci programu Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost, která se u podobných projektů v minulosti pohybovala na úrovni 15 milionů korun.



Obrázek 24: Zapojení elektrárny při získání podpory formou zeleného bonusu [34]

5.2.1 VARIANTA 1 A

VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA VESTAS V90 / 2 MW V KOMBINACI S ELEKTROKOTLI

V první variantě budu počítat s větrnou turbínou Vestas V90 – 2,0 MW, která při ročním využití 27 % vyrobí 4,7 GWh za rok, přičemž vlastní spotřeba je přibližně 2 % z vyrobené energie – tedy 95 MWh. Na vlastní technologickou spotřebu si nelze nárokovat zelený bonus.

Celkový přehled nákladů je vidět v následující tabulce:

Tabulka 3: Analýza nákladů varianty 1 A, [vlastní zpracování]

INVESTIČNÍ NÁKLADY (v tis. Kč)	
1 PROJEKTOVÉ PRÁCE	
1.1 Studie proveditelnosti včetně posudku EIA	300
1.2 Projektová dokumentace	800
1.3 Energetický audit	35
2 VÝSTAVBA	
2.1 Větrná elektrárna VESTAS V90-2.0MW	66 000
2.2 Měrný podíl žadatele za rezervaci příkonu	1 600
2.3 Měrný podíl žadatele za rezervaci výkonu	1 280
2.4 Pozemek	100
2.5 Zařízení staveniště a vytvoření příjezdové cesty	100
2.6 Výstavba železobetonových základů	2 500
2.7 Výstavba VTE a montáž technologie	4 500
2.8 Náklady uvedení do provozu (kolaudační řízení, rekultivace staveniště)	400
2.9 Řízení stavebních prací	250
2.10 Elektrokotle včetně příslušenství a montáže	4 040
3 OSTATNÍ	
3.1 Náklady na zaškolení personálu	80
CELKEM	81 885
ROČNÍ PROVOZNÍ NÁKLADY (v tis. Kč)	
4.1 Pojištění	500
4.2 Marketingová podpora projektu	100
4.3 Údržba	500
4.4 Režie	150
CELKEM	1 250

Odepisovat se bude větrná turbína a elektrokotle po dobu jejich životnosti udávanou výrobcem, tedy 20 let. Všechny položky se řadí do odpisové skupiny 4 a budou se odepisovat dle příslušných sazeb pro rovnoměrné, respektive zrychlené odepisování. Sazba daně z příjmu pro rok 2015 je 19 %.

Tabulka 4: Seznam vstupních parametrů projektu, [vlastní zpracování]

Vstupní parametr	Hodnota
Cena prodané energie obchodníkovi [Kč / MWh]	700
Zelený bonus [Kč / MWh]	1 450
Bonus na decentrální výrobu [Kč / MWh]	13
Vyrobená energie za rok [MWh]	4 700
Životnost elektrárny [roky]	20
Požadovaná míra výnosnosti	5 %
Míra inflace (průměr za posledních 15 let)	2,4 %
Růst zeleného bonusu	0,5 %

Vyrobená elektřina bude v celém rozsahu prodávána do sítě obchodníkovi s elektrickou energií, jenž v průměru nabízí cenu 700 Kč za MWh. Další význačnou složkou příjmů bude zelený bonus, který se bude stejně jako bonus na decentrální výrobu vztahovat na všechnu vyrobenou elektřinu.

Tabulka 5: Struktura výnosů varianty 1 A, [vlastní zpracování]

VÝNOSY (v tis. Kč)	
Tržby za prodanou energii obchodníkovi s elektřinou	3 245
Zelený bonus	6 721
Bonus na decentrální výrobu	60
CELKEM	10 026

Pro variantu výstavby větrné elektrárny Vestas V90 v kombinaci s elektrokotli vychází projekt lépe při rovnoměrném odepisování. Výše úvěru je ve výši investičních nákladů. **NPV je 23 753 883 Kč**, což činí projekt ekonomicky efektivním.

5.2.2 VARIANTA 1 B

VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA VESTAS V90 / 2 MW V KOMBINACI S TEPELNÝMI ČERPADLY

Tato varianta se od první liší jen ve zdroji vytápění pro obyvatele obce Zbilidy, čímž budou tepelná čerpadla. Celková částka pořízení tepelných čerpadel pro obyvatele obce je 25 250 000 Kč. Výhodou pro obyvatele je snížení výdajů za elektrickou energii, neboť princip tepelného čerpadla uspoří obyvatelům téměř dvě třetiny nákladů na elektřinu.

Pro variantu výstavby větrné elektrárny Vestas V90 v kombinaci s tepelnými čerpadly je třeba úvěr ve výši 104 milionů Kč. **NPV této varianty je 5 870 909 Kč.**

5.2.3 VARIANTA 1 C

VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA ENERCON E53 / 800kW V KOMBINACI S ELETKROKOTLI

Pro variantu 1 C zvolíme levnější elektrárnu od firmy Enercon s nižším výkonem a nižšími investičními výdaji. Cena elektrárny E53/800 kW je 28 milionů Kč. Větrná elektrárna vyrobí přibližně 1,5 GWh za rok. Roční využití této elektrárny je menší v důsledku nižšího tubusu.

Tabulka 6: Analýza nákladů varianty 1 C, [vlastní zpracování]

INVESTIČNÍ NÁKLADY (v tis. Kč)	
1 PROJEKTOVÉ PRÁCE	
1.1 Studie proveditelnosti včetně posudku EIA	300
1.2 Projektová dokumentace	800
1.3 Energetický audit	35
2 VÝSTAVBA	
2.1 Větrná elektrárna Enercon E53/800kW	28 000
2.2 Měrný podíl žadatele za rezervaci příkonu	640
2.3 Měrný podíl žadatele za rezervaci výkonu	512
2.4 Pozemek	100
2.5 Zařízení staveniště a vytvoření příjezdové cesty	100
2.6 Výstavba železobetonových základů	1 700
2.7 Výstavba VTE a montáž technologie	3 500
2.8 Náklady uvedení do provozu (kolaudační řízení, rekultivace staveniště)	400
2.9 Řízení stavebních prací	250
2.10 Elektrokotle včetně příslušenství a montáže	4 040
3 OSTATNÍ	
3.1 Náklady na zaškolení personálu	80
CELKEM	40 357
ROČNÍ PROVOZNÍ NÁKLADY (v tis. Kč)	
4.1 Pojištění	400
4.2 Marketingová podpora projektu	100
4.3 Údržba	400
4.4 Režie	150
CELKEM	1 000

Tabulka 7: Struktura výnosů varianty 1 C, [vlastní zpracování]

VÝNOSY (v tis. Kč)	
Tržby za prodanou energii obchodníkovi s elektřinou	1 056
Zelený bonus	2 188
Bonus na decentralní výrobu	19
CELKEM	3 264

Výnosy dosahují téměř 3,3 mil. Kč. Jen výše splátky úvěru ve výši 42 milionů Kč však dosahuje téměř 4 mil. Kč. Tudiž se **NPV rovná -11 286 678 Kč** a projekt realizovaný touto variantou je neprofitabilní.

5.2.4 VARIANTA 1 D

VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA ENERCON E53/800 kW V KOMBINACI S TEPELNÝMI ČERPADLY

Pro variantu tepelných čerpadel se není třeba projektem více zabírat. Z předešlé varianty je patrné, že projekt není výhodný při stejných podmínkách ani pro variantu s elektrokotli, které jsou výrazně levnější.

NPV v této variantě vychází -32 242 944 Kč

5.3 VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA S PŘIPOJENÍM K DISTRIBUČNÍ SOUSTAVĚ – NOVÉ PODMÍNKY PODPORY

Od roku 2016 se mění podmínky podpory a výrobce energie z nové větrné elektrárny již nebude mít nárok na zelený bonus. Tato skutečnost se v minulosti dotkla elektráren využívající solární energii.

Pro daný případ to znamená, že vyrobená energie bude přímo prodávána koncovým zákazníkům, tedy občanům obce Zbilidy, kteří si potom dále budou muset zaplatit všechny poplatky za regulované služby včetně distribuce. Zbytek vyrobené elektřiny bude prodán obchodníkovi s elektrickou energií, přičemž se předpokládá, že zaplatí stejnou cenu jako v současné době, tedy 700 Kč/MWh. Tento způsob má však nevýhodu v tom, že elektrárna nepokryje celou spotřebu elektrické energie odběrného místa, a tedy zákazník musí mít stále svého dodavatele elektřiny, který pokryje zbytek potřeby a bude zodpovídat za odchylku tohoto odběrného místa. [4]

Investiční a provozní náklady zůstanou stejné jako při nároku na podporu v předchozím případě. Bude lišit pouze z obchodního hlediska. Za těchto podmínek budu uvažovat pouze dvě varianty a to kombinaci elektrárny Vestas V90/2MW s elektrokotly a Enercon E53/800 kW s tepelnými čerpadly, neboť od

konečného zákazníka se předpokládají vyšší příjmy za silovou energii než od obchodníka s elektřinou.

5.3.1 VARIANTA 1 E

VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA VESTAS V90/2 MW V KOMBINACI S ELEKTROKOTLI – NOVÉ PODMÍNKY PODPORY

Za předpokladu potřeby tepla ve výšce 2,6 GWh/rok je potřeba při variantě elektrokotlů zahrnout do výpočtu také účinnost rozvodů vytápění a účinnost zdroje. Účinnost rozvodů vytápění se v uvedeném prostředí pohybuje kolem 95 %, účinnost elektrokotlů je 98 %.

$$Q_{\text{elektrokotle}} = \frac{2600}{0,98 * 0,95} = 2,8 \text{ GWh}$$

Elektrárna V90/2MW vyrobí netto 4,7 GWh, přičemž 2,8 GWh bude prodáno koncovým zákazníkům a zbytek 1,9 GWh bude prodán obchodníkovi s elektrickou energií. Minimální cenu, za kterou bude možno silovou elektřinu prodat při udržení požadované míry výnosnosti, jsem vyřešil pomocí řešitele v softwaru MS Excel. V této variantě je minimální cena 2 347 Kč.

Tabulka 8: Struktura výnosů varianty 1E, [vlastní zpracování]

VÝNOSY (v tis. Kč)	
Tržby za prodanou energii obchodníkovi s elektřinou	1 290
Tržby za prodanou energii konečnému zákazníkovi (MINIMÁLNÍ CENA)	6 556
Bonus na decentralní výrobu	60
CELKEM	7 905

5.3.2 VARIANTA 1 F

VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA ENERCON E53 / 800kW V KOMBINACI S TEPELNÝMI ČERPADLY – NOVÉ PODMÍNKY PODPORY

Pro projekt s tepelnými čerpadly je třeba počítat s topným faktorem čerpadel a taktéž s účinností rozvodů vytápění. Budu počítat s topným faktorem pořizovaných čerpadel v hodnotě 3, a tudíž potřebné teplo je vypočítáno dle vztahu:

$$Q_{t. \text{čerpadla}} = \frac{2600}{3 * 0,95} = 0,9 \text{ GWh}$$

Elektrárna E53/800 kW vyrobí netto 1,5 GWh, přičemž 0,9 GWh bude prodáno koncovým zákazníkům a zbytek 0,6 GWh bude prodán obchodníkovi s elektrickou energií. Minimální cena je v tomto případě rovna 6 195 Kč. Strukturu výnosů této varianty lze sledovat v následující tabulce.

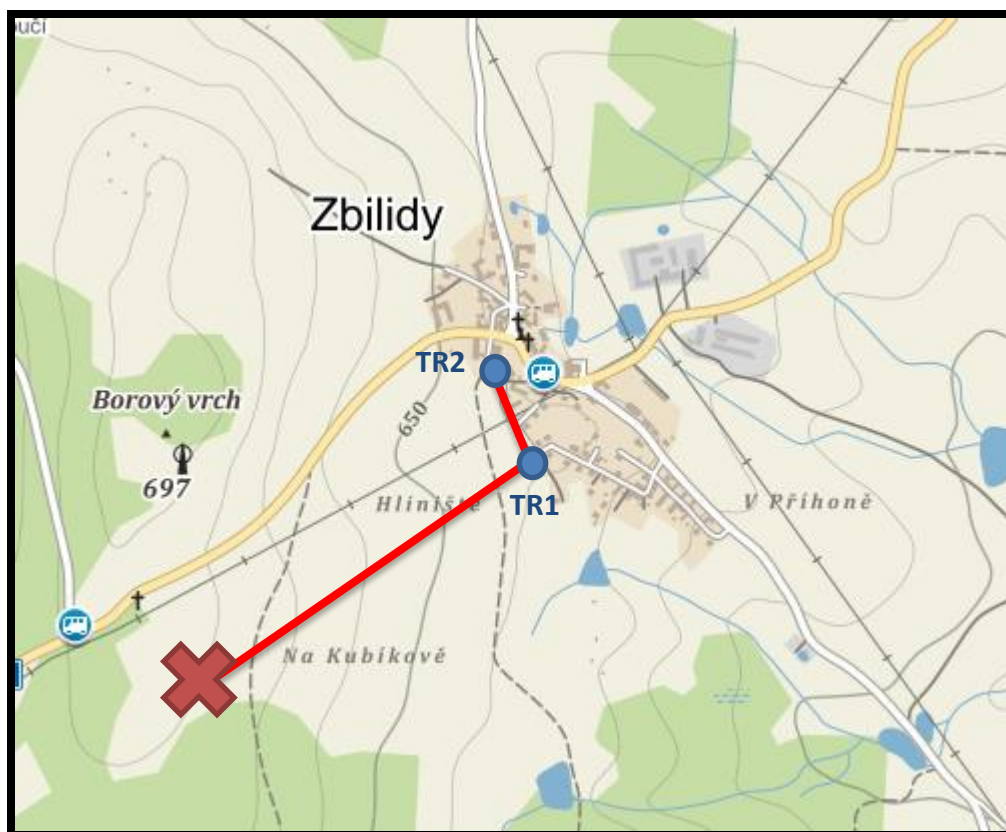
Tabulka 9: Struktura výnosů varianty 1F, [vlastní zpracování]

VÝNOSY (v tis. Kč)	
Tržby za prodanou energii obchodníkovi s elektřinou	418
Tržby za prodanou energii konečnému zákazníkovi (MINIMÁLNÍ CENA)	5 650
Bonus na decentralní výrobu	19
CELKEM	6 087

5.4 VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA V OSTROVNÍM SYSTÉMU

Dalším způsobem jak dopravit vyrobenou energii do obce, je vytvoření ostrovního systému a propojení větrné elektrárny přímo se spotřebiči v obci. V případě nepříznivých povětrnostních podmínek by zdroje pro vytápění byly napájeny ze sítě dle cen příslušného tarifu. Na vyrobenou energii v ostrovním

provozu se opět nevztahuje žádná podpora. Při vyvedení výkonu z elektrárny bude využito zvyšovacího transformátoru a energie bude přenášena na napěťové hladině 22 kV ke dvěma transformátorům (TR1, TR2), vzdálených zhruba 1 km od elektrárny. Zde bude energie transformována na napěťovou hladinu 0,4 kV a distribuována dále ke spotřebičům.



Obrázek 25: Mapa obce Zbilidy s naznačeným ostrovním systémem [22]

JEDNORÁZOVÉ NÁKLADY

Investiční jednorázové náklady na výstavbu elektrárny budou mít stejnou strukturu jako v předchozím případě. Při tomto způsobu distribuce elektřiny však odpadnou náklady na připojení do sítě. Naopak zde je nutno počítat s výdaji na výstavbu rozvodné sítě. Cena transformátorů a kabelového vedení se odvíjí od výkonu větrné elektrárny.

ROČNÍ PROVOZNÍ NÁKLADY

Stálé provozní náklady budou opět spjaté s provozem větrné elektrárny tak, jak jsou rozepsané v tabulce níže. Vyšší náklady na údržbu oproti předchozí variantě se objevují v důsledku provozu jak transformátorů, tak v podstatě celého ostrovního systému.

PRINCIP OBCHODOVÁNÍ

Elektřina bude prodávána obyvatelům obce Zbilidy. Dle Cenového rozhodnutí ERÚ č. 5/2014 ze dne 25. listopadu 2014, kterým se stanovují regulované ceny související s dodávkou elektřiny, jsou zákazníci v ostrovním provozu povinni platit poplatek za činnost operátora trhu 6,94 Kč/MWh.

Ve chvíli, kdy obyvatelé nebudou využívat elektrickou energii z větrného zdroje, ale ze sítě, budou platit cenu, která odpovídá jejich sazebním podmínkám. [35]

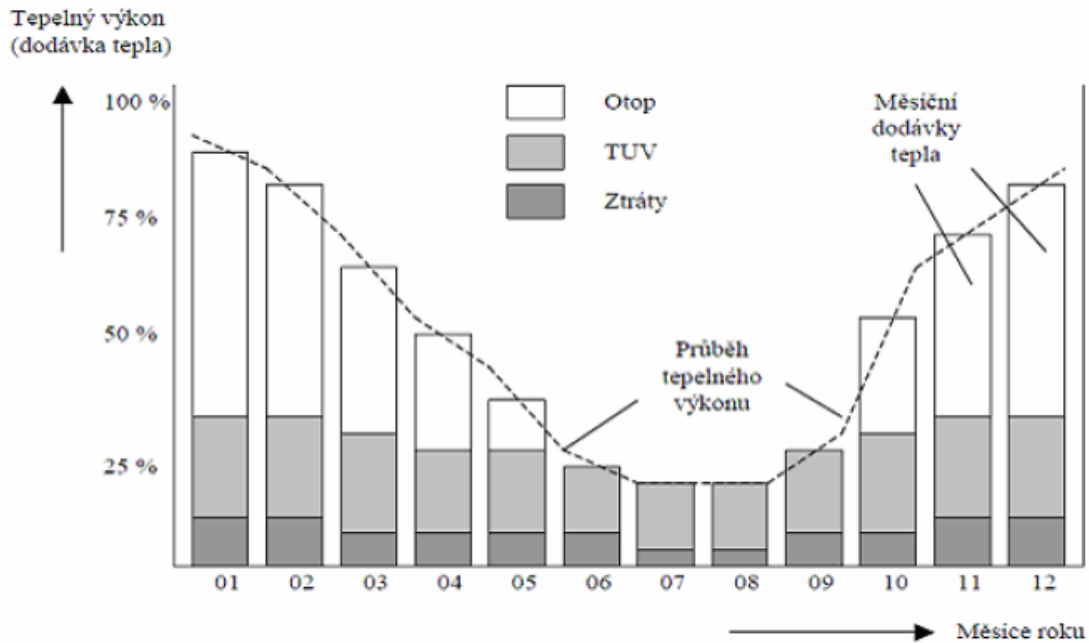
FINANCOVÁNÍ PROJEKTU

Investice bude opět financována pouze za použití cizího kapitálu stejně jako u předchozích variant s připojením do sítě.

VOLBA ZDROJE

Vlastní technologická spotřeba je odhadnuta na 5 % z celkové produkce elektřiny. Skládá se ze ztrát na transformátoru, ve vedení a rozvodech a samotné spotřeby větrné elektrárny nutné k výrobě elektřiny.

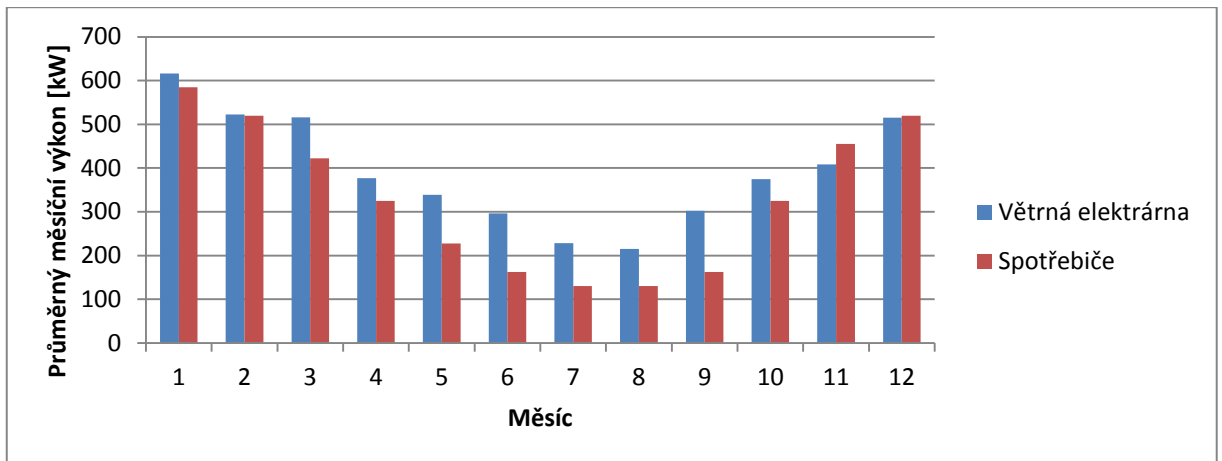
Při provozu v ostrovním systému je důležité dimenzování velikosti zdroje elektřiny, který by měl odpovídat poptávce. Celkový průběh potřeby tepla lze znázornit diagramem měsíčních průměrných hodnot.



Obrázek 26: Diagram průměrných měsíčních potřeb tepla rozlišených dle účelu [36]

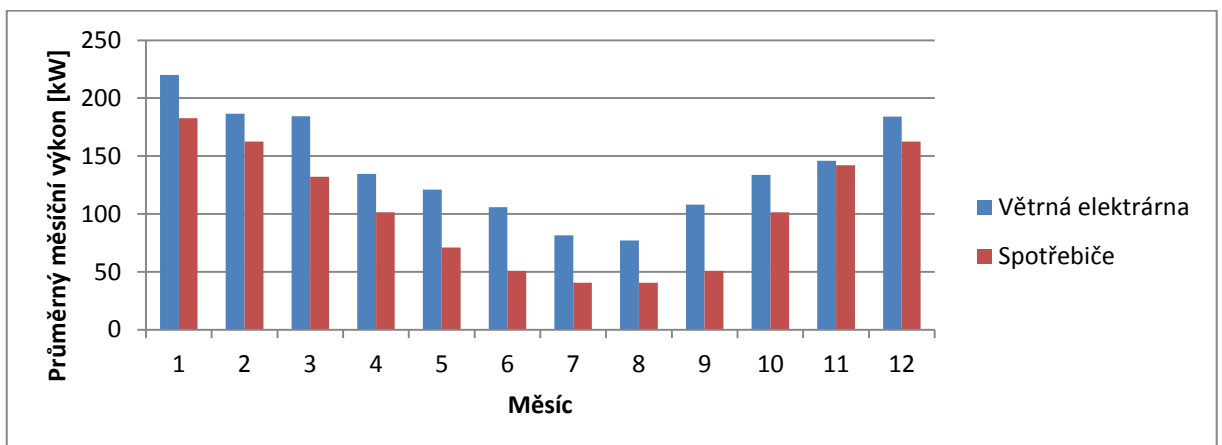
Z obrázku 26 lze vidět, že charakter potřeby tepla odpovídá faktu, že v zimě fouká více než v létě. Pro potřeby stanovení výkonu elektrárny využijeme sezónní strukturu síly větru dle naměřených výkonů větrného parku Krupka.

Pro realizaci v zapojení s elektrokotlí zvolím elektrárnu s výkonem 1,5 MW, která při ročním využití 25 % dokáže vyrobit 3,3 GWh. Na následujícím diagramu uvádím porovnání potřeb tepla s výkonem elektrárny. Elektrárna s výkonem 1,5 MW po drtivou většinu roku pokrývá danou poptávku. Listopad a prosinec jsou měsíce, kdy bude s největší pravděpodobností využito elektrické energie ze sítě. V letních měsících, kdy se elektrická energie bude využívat pouze pro účely ohřevu teplé vody je patrná vyšší rezerva. Vybraná varianta od španělského výrobce Acciona model AW/1500 kW je stejně jako elektrárny společnosti Vestas vybavena převodovkou.



Obrázek 27: Srovnání výkonu větrné elektrárny s potřebným tepelným výkonem ve variantě s elektrokotlí, [vlastní zpracování]

Tepelná čerpadla spotřebují menší množství energie a v tomto případě stačí elektrárna s výkonem 0,5 MW, která vyrobí až 1,1 GWh. Je možno zvolit například elektrárnu od německé společnosti EWT model 54 – 500 kW. Z následujícího diagramu je patrné, že elektrárna s výkonem 0,5 MW pokryje požadovanou potřebu tepla i s rezervou.



Obrázek 28: Srovnání výkonu větrné elektrárny s potřebným tepelným výkonem ve variantě s tepelnými čerpadly, [vlastní zpracování]

5.4.1 VARIANTA 2 A

VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA V OSTROVNÍM SYSTÉMU V KOMBINACI S ELEKTROKOTLI

Celková potřeba elektřiny pro vytápění pomocí elektrokotlů je přibližně 2,8 GWh. Vypočítám minimální cenu, za kterou je nutno silovou elektřinu prodat, aby byl projekt rentabilní. Minimální cena je v tomto případě rovna 2 539 Kč.

Investiční a provozní náklady jsou dále rozepsané v tabulce:

Tabulka 10: Analýza nákladů varianty 2 A, [vlastní zpracování]

INVESTIČNÍ NÁKLADY (v tis. Kč)	
1 PROJEKTOVÉ PRÁCE	
1.1 Studie proveditelnosti včetně posudku EIA	400
1.2 Projektová dokumentace	1 000
1.3 Energetický audit	50
2 VÝSTAVBA	
2.1 Větrná elektrárna AW1500kW	52 000
2.2 Pozemek	300
2.3 Zařízení staveniště a vytvoření příjezdové cesty	100
2.4 Výstavba železobetonových základů	2 500
2.5 Výstavba VTE a montáž technologie	4 500
2.6 Náklady uvedení do provozu (kolaudační řízení, rekultivace staveniště)	400
2.7 Řízení stavebních prací	250
2.8 Elektrokotle včetně příslušenství a montáže	4 040
2.9 Výkopové práce	600
2.10 Kabeláž	2 200
2.11 Transformátory	1 300
3 OSTATNÍ	
3.1 Náklady na zaškolení personálu	80
CELKEM	69 420
ROČNÍ PROVOZNÍ NÁKLADY (v tis. Kč)	
4.1 Pojištění	400
4.2 Marketingová podpora projektu	100
4.3 Údržba	700
4.4 Režie	150
CELKEM	1 350

5.4.2 VARIANTA 2 B

VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA V OSTROVNÍM SYSTÉMU V KOMBINACI S TEPELNÝMI ČERPADLY

Při variantě ostrovního systému s vytápěním pomocí tepelných čerpadel se sníží příjmy od konečných zákazníků, neboť potřeba tepla je menší než v předchozím případě. Do ceny elektřiny se výrazně promítne cena samotných tepelných čerpadel. Sníží se však také investiční náklady na zdroj. Potřeba tepla na vytápění pomocí elektrokotlů je 0,9 GWh. Minimální cena je 6 528 Kč.

Tabulka 11: Analýza nákladů varianty 2 B, [vlastní zpracování]

INVESTIČNÍ NÁKLADY (v tis. Kč)	
1 PROJEKTOVÉ PRÁCE	
1.1 Studie proveditelnosti včetně posudku EIA	400
1.2 Projektová dokumentace	1 000
1.3 Energetický audit	50
2 VÝSTAVBA	
2.1 Větrná elektrárna EWT 54 - 500kW	22 000
2.4 Pozemek	300
2.5 Zařízení staveniště a vytvoření příjezdové cesty	100
2.6 Výstavba železobetonových základů	1 900
2.7 Výstavba VTE a montáž technologie	3 700
2.8 Náklady uvedení do provozu (kolaudační řízení, rekultivace staveniště)	400
2.9 Řízení stavebních prací	250
2.10 Tepelná čerpadla včetně příslušenství a montáže	25 250
2.8 Výkopové práce	600
2.9 Kabeláž	2 000
2.10 Transformátory	1 100
3 OSTATNÍ	
3.1 Náklady na zaškolení personálu	80
CELKEM	58 830
ROČNÍ PROVOZNÍ NÁKLADY (v tis. Kč)	
4.1 Pojištění	400
4.2 Marketingová podpora projektu	100
4.3 Údržba	600
4.4 Režie	150
CELKEM	1 250

6 EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ A DOPORUČENÍ

Při výběru vhodné varianty používám ukazatele čisté současné hodnoty popř. minimální ceny. Dále bylo vycházeno z těchto předpokladů:

- potřebné pozemky budou bezproblémově odkoupeny
- náklady na práci a zaměstnance jsou zahrnuty v údržbě a režii
- získají se potřebné licence
- potřeba tepla bude pokryta z vyrobené energie v plném rozsahu
- obyvatelé obce souhlasí s projektem a instalací komponentů do jejich domácností

6.1 VYHODNOCENÍ VARIANT

Tabulka 12: Přehled výsledků jednotlivých variant, [vlastní zpracování]

	INVESTIČNÍ NÁKLADY (V TIS. KČ)	NPV (V KČ)	MINIMÁLNÍ CENA (V KČ)
VARIANTA 1A	81,885	23,753,884	-
VARIANTA 1B	103,095	5,870,910	-
VARIANTA 1C	40,357	-11,286,678	-
VARIANTA 1D	61,567	-32,242,944	-
VARIANTA 1E	81,885	0	2,347
VARIANTA 1F	61,567	0	6,195
VARIANTA 2A	69,420	0	2,539
VARIANTA 2B	58,830	0	6,528

V tabulce 12 je vidět shrnutí výsledků pro jednotlivé varianty. První čtyři varianty jsou hodnoceny za současných podmínek podpory formou zeleného bonusu a další čtyři za nových podmínek platných od 1.1.2016 bez nároku na podporu.

U stávajících podmínek je patrné, že kladné NPV vychází pouze v prvních dvou variantách, což znamená při výstavbě turbíny Vestas V90/2MW. Lze tedy říci, že se vyplatí investovat větší částku do elektrárny o větším výkonu, než do menší, levnější varianty.

Z pohledu obce Zbilidy, jakožto investora, vychází nejlépe varianta s elektrokotli, kde NPV přesahuje 23 milionů korun. Avšak v případě, že se vezmou v úvahu všechny souvislosti, vyplatí se investorovi přemýšlet také o variantě 1B. V obou variantách si totiž koneční zákazníci kupují elektřinu ze sítě dle sjednaných podmínek příslušného tarifu. V druhé variantě se využívají jako zdroj vytápění tepelná čerpadla a koneční zákazníci, občané obce Zbilidy, tedy zaplatí díky principu tepelného čerpadla pouze zhruba třetinovou cenu za spotřebu elektrické energie nežli by zaplatili v případě elektrokotlů. Záleží tedy na Zastupitelstvu obce Zbilidy, jestli by upřednostnilo menší zisk pro blaho občanů. Pro občany bude ve všech variantách přínosné nejen to, že v rámci projektu získají zdroje tepla zcela zdarma, ale také to, že budou spadat do výhodnějších tarifů a ušetří i za elektřinu nevyužívanou k vytápění.

V případě nových podmínek jsem u všech variant položil hodnotu NPV rovnu nule, přičemž jsem prováděl hodnocení z pohledu ceny za MWh, za kterou se musí silová energie prodávat. Tuto cenu jsem označil pojmem minimální cena. Zde jsem porovnával varianty s připojením do sítě a ostrovního provozu. Z tabulky 12 je vidět, že jak ve variantách s elektrokotli (1E, 2A), tak s tepelnými čerpadly (1F, 2B), vychází o trochu lépe realizace s připojením do sítě. Avšak je zřejmé, že v případě připojení elektrárny do sítě jsou občané povinni platit navíc ještě poplatek za distribuci, který v NT činí 30 Kč/MWh, za OZE 495 Kč/MWh a za systémové služby 105 Kč/MWh. Tímto se dané dvě varianty stávají dražšími a je možno je zavrhnout. [35]

Zbývají tedy dvě varianty realizace ostrovního systému. Pro výpočet výsledné ceny pro konečného zákazníka se musí ještě přičíst poplatek za činnost OTE 6,94 Kč/MWh a DPH 21%. Výsledná cena pro zákazníka ve variantě 2A bude:

$$(2539 \text{ Kč/MWh} + 6,94 \text{ Kč/MWh}) * 1,21 = 3\ 080 \text{ Kč}$$

Výsledná cena pro zákazníka ve variantě 2A je 3 080 Kč/MWh.

Varianta 2B vypadá následovně:

$$(6528 \text{ Kč/MWh} + 6,94\text{Kč/MWh}) * 1,21 = 7 907 \text{ Kč/MWh}$$

Výsledná cena je rovna 7 907 Kč/MWh.

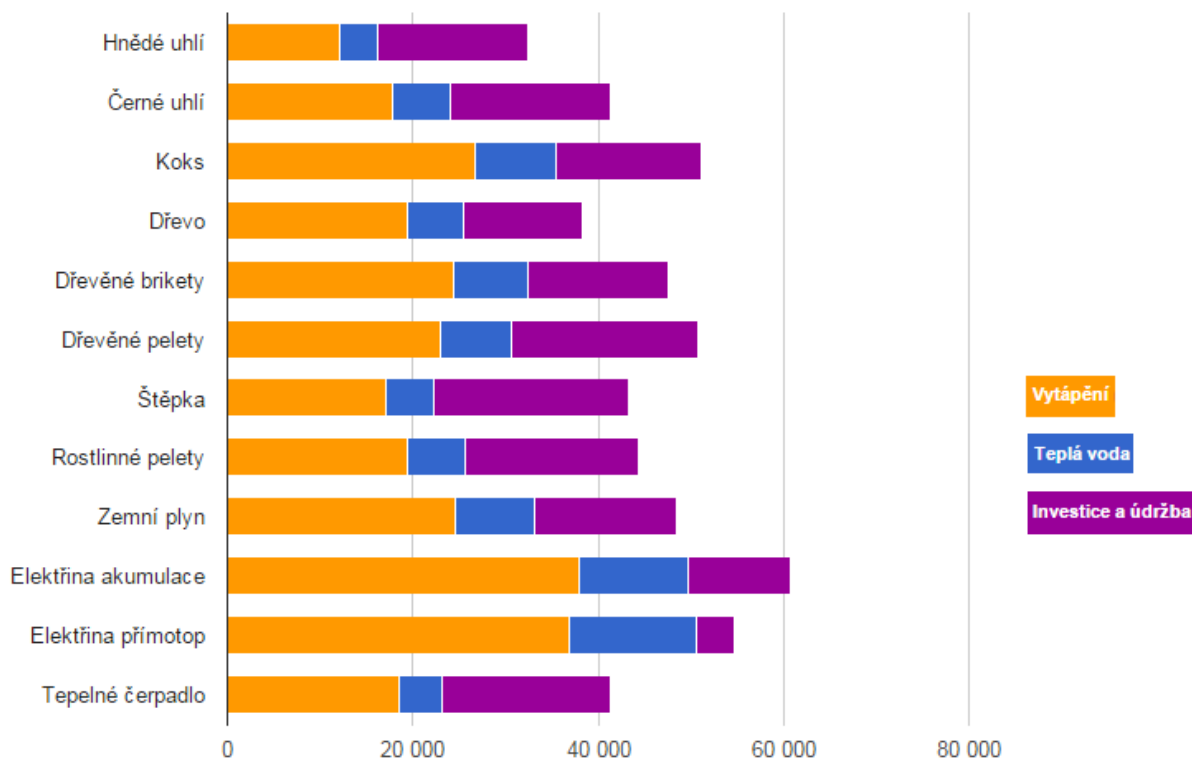
Tyto ceny však nemůžeme jednoduše porovnat, neboť si musíme uvědomit, že každá varianta potřebuje jiné množství energie. Ve variantě s elektrokotli to je:

$$3 080 \text{ Kč/MWh} * 2 793 \text{ MWh} = 8 602 440 \text{ Kč}$$
 a u varianty s tepelnými čerpadly:

$$7 907 \text{ Kč/MWh} * 912 \text{ MWh} = 7 211 184 \text{ Kč}.$$

Celkové náklady zákazníků na vytápění tedy vycházejí levněji pro variantu 2B s tepelnými čerpadly v ostrovním systému. V průměru na jednu domácnost vychází roční platba rovna 71 396 Kč.

Pro porovnání s ostatními možnostmi vytápění uvádím následující tabulku, která odpovídá průměrnému rodinnému domu v obci Zbilidy, stejnému, pro který se kalkulovala potřeba tepla v kapitole 4. Investice a údržba jsou vyjádřeny ročními náklady.



Obrázek 29: Přehled ročních nákladů jednotlivých zdrojů vytápění [37]

Je vidět, že námi navrhovaná varianta s náklady 71 396 Kč by byla jednoznačně nejdražším zdrojem. Pro tepelné čerpadlo realizované samostatně vychází, při stejné investici do čerpadla, roční náklady na vytápění a teplou vodu přibližně 40 000 Kč, což je možno brát jako hranici, kdy se projekt stává proveditelným. K jakým hodnotám se dostávám při změně jednotlivých parametrů projektu, ukazuje následující citlivostní analýza.

6.2 CITLIVOSTNÍ ANALÝZA

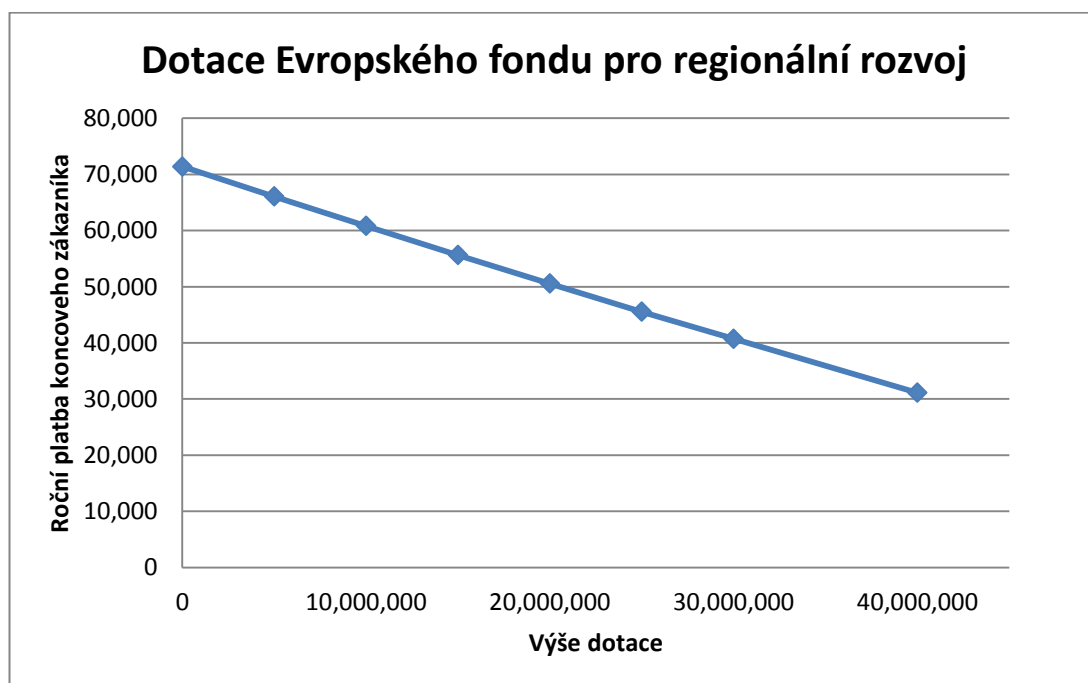
Pro nejhodnější variantu za nových podmínek, tedy pro variantu výstavby ostrovního systému v kombinaci s tepelnými čerpadly, provedu citlivostní analýzu na parametry, které mohou být v projektu nestálé a v určitých situacích variabilní.

V následující tabulce je uvedeno, jak by náš projekt vypadal při dotaci z programu Ministerstva průmyslu a obchodu pro čerpání finančních prostředků

z Evropského fondu pro regionální rozvoj. Projekt se stává konkurenceschopným při dotaci přes 30 milionů korun. Roční náklady pro koncového zákazníka na vytápění se pohybují pod 40 000 Kč.

Tabulka 13: Roční náklady koncového zákazníka v závislosti na dotacích, [vlastní zpracování]

Dotace z fondu pro regionální rozvoj	Roční náklady koncového zákazníka
0	71,396
5,000,000	66,076
10,000,000	60,820
15,000,000	55,633
20,000,000	50,551
25,000,000	45,551
30,000,000	40,727
40,000,000	31,114



Obrázek 30: Graf ročních nákladů koncového zákazníka v závislosti na dotaci, [vlastní zpracování]

Dále jsem provedl citlivostní analýzu také na diskont a výši úrokové sazby úvěru. Roční náklady koncových zákazníků samozřejmě klesají se snížením jak diskontu, tak úrokové sazby úvěru. V tabulce je zvýrazněna aktuální situace a zeleně označeny všechny levnější varianty, červeně dražší varianty. Je patrné, že úroková míra úvěru má na roční náklady větší vliv než diskont. Ani změna diskontu či úrokové míra však neovlivní projekt takovou měrou, aby náklady koncového zákazníka klesly na přijatelnou úroveň.

Tabulka 14: Výše ročních nákladů koncových zákazníků v závislosti na úrokové míře úvěru a diskontu, [vlastní zpracování]

úrok úvěru/diskont	2%	3%	4%	5%	6%	7%
2%	57 343	58 363	59 322	60 216	61 047	61 826
3%	60 786	61 832	62 818	63 745	64 612	65 418
4%	64 229	65 301	66 314	67 275	68 178	69 010
5%	67 673	68 769	69 809	71 396	71 743	72 602
6%	71 116	72 238	73 305	75 518	75 309	76 194
7%	74 559	75 707	76 801	79 639	78 874	79 786

Další parametry, které budu analyzovat, budou investiční a provozní náklady. V projektu jsou právě vysoké investiční náklady nepříznivým faktorem, který vyhání cenu elektrické energie tak vysoko. Následující tabulka je barevně rozlišena stejně jako v předchozím případě.

Tabulka 15: Výše ročních nákladů koncových zákazníků v závislosti na investičních a provozních nákladech, [vlastní zpracování]

výše investice/provozní náklady	800,000	1,000,000	1,250,000	1,500,000	1,750,000
30,000,000	38 500	40 896	43 891	46 886	49 881
40,000,000	48 369	50 765	53 760	56 755	59 750
50,000,000	56 051	59 047	62 042	65 037	67 827
58,830,000	65 406	68 401	71 396	74 391	77 386
65,000,000	72 059	75 054	78 049	81 044	84 040

Citlivostní analýza investičních a provozních nákladů ukazuje, že projekt se dostává k hranici 40 000 Kč pro investiční náklady nižší než 30 milionů při současných provozních nákladech 1 milion korun.

6.3 DOPORUČENÍ

Změna legislativy a nemožnost získání zeleného bonusu pro nové zdroje uvedené do provozu od 1.1.2016 velmi komplikuje ekonomickou stránku výstavby nových větrných elektráren. Za současných podmínek pro elektrárny uvedené do provozu do konce roku 2015 se pro projekt vyplatí výstavba 2MW větrné elektrárny v kombinaci jak s elektrokotli, tak s tepelnými čerpadly. Je zřejmé, že elektrárna do konce roku 2015 v obci Zbilidy stát nebude. V nových podmínkách je velmi složité udržet ekonomickou efektivnost i bez zeleného bonusu, který tvořil významnou část příjmů. Z hodnocených variant vychází nejlépe možnost vybudování ostrovního systému v kombinaci s tepelnými čerpadly, ale náklady vyhnějí cenu elektřiny tak vysoko, že se její využití koncovému zákazníkovi nevyplatí. Z citlivostní analýzy je vidět, že jedinou možností, jak by byl projekt konkurenceschopný, je získání dotace z evropských fondů nejméně ve výši 30 milionů korun.

7 ZÁVĚR

Cílem práce bylo ekonomické hodnocení návrhů výstavby větrné elektrárny s následným využitím vyrobené elektrické energie k vytápění. Projekt byl situován v obci Zbilidy v kraji Vysočina. Práce se zabývá celkem osmi variantami, přičemž čtyři varianty jsou počítány s podporou obnovitelných zdrojů energie, která se týká zdrojů uvedených do provozu do konce roku 2015, a čtyři varianty byly kalkulovány pro nové podmínky bez podpory. Zdroji pro vytápění byly elektrokotle, případně tepelná čerpadla. Jelikož investorem projektu je obec Zbilidy, bylo cílem nastavit projekt tak, aby byl co nejvýhodnější i pro občany obce jako pro konečné zákazníky.

Analýza celkové situace umožňovala realizovat projekt ve dvou provedeních. Prvním bylo připojení větrné elektrárny do sítě a doprava elektrické energie po současném vedení, které se táhne zhruba dvě stě metrů od zamýšlené větrné elektrárny. V druhém případě se jednalo o vytvoření ostrovního systému a dopravě elektrické energie po vlastním vedení kompletně odděleném od elektrizační soustavy. V případech připojení do sítě jsem vybíral mezi dvěma typy větrných elektráren od světových dodavatelů. V ostrovním systému jsem použil zdroje dimenzované dané poptávce.

Z výsledků ekonomického hodnocení vzešlo, že změna legislativy má na celý projekt zásadní vliv. Za současné situace s podporou obnovitelných zdrojů formou zelených bonusů vyšla kladně realizace 2 MW elektrárny Vestas V90 za použití jak elektrokotlů, tak tepelných čerpadel. Čistá současná hodnota varianty s elektrokotli přesahovala 23 milionů, s tepelnými čerpadly se vyšplhala na 5,8 milionů. Jelikož si však občané v těchto variantách kupují elektrickou energii ze sítě sami, je pro ně příhodnější ta s tepelnými čerpadly, kde v konečném důsledku zaplatí za elektrickou energii přibližně třetinovou cenu. Zastupitelstvo obce Zbilidy by se v této situaci muselo z pozice investora rozhodnout, jestli upřednostní vyšší příjmy do obecní kasy nebo nižší náklady občanů na elektrickou energii. V realizaci projektu za nových podmínek s téměř nulovou podporou obnovitelných zdrojů se však situace výrazně mění. Tyto projekty jsem řešil takovým způsobem, že jsem položil čistou současnou

hodnotu nule a projekt hodnotil dle minimální ceny, za kterou je možno silovou elektřinu prodávat. Porovnával jsem právě možnosti využití současného vedení distribuční soustavy a výstavbu ostrovního systému. Ačkoliv cena silové elektřiny vycházela pro variantu s připojením do sítě nižší, než v ostrovním systému, konečná cena pro zákazníka se započítáním poplatků za distribuci a regulované služby ji výrazně převyšovala. Nejlépe vychází z hodnocených variant výstavba ostrovního systému s použitím tepelných čerpadel jako zdroje vytápění, kde by celkové roční náklady na vytápění rodinného domu činily 71 400 Kč. Lze tedy jednoznačně říci, že i při této realizaci je cena za vytápění pro konečného zákazníka stále vysoká. Pomocí citlivostní analýzy jsem zjistil, že by výstavba dávala smysl pouze za předpokladu dotace ve výši 30 milionů korun. Náklady vytápění by se poté pohybovaly na hranici 40 000 Kč.

Změna legislativy a vysoké investiční náklady, zvláště cena samotné větrné elektrárny, mají za následek to, že v nových podmínkách již není realizace projektu bez vysoké dotace s využitím elektrokotlů ani tepelných čerpadel ekonomicky výhodná.

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] Energetický regulační úřad, “Roční zpráva provozu ES 2013.” [Online]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2013.pdf/20c3f587-a658-49f7-ace9-56be8a66b7b9. [vid. 19.4.2015].
- [2] Česká společnost pro větrnou energii, “Grafy - ČSVE - Větrné elektrárny | Větrná energie.” [Online]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/grafy/280> [vid.19.4.2015].
- [3] Zákon č. 165/2012 Sb. ze dne 31.1.2012 o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, [Online]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/-/zakon-c-165-2012-sb->
- [4] Energetický regulační úřad, “ERÚ - Často kladené dotazy.” [Online]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/poze/casto-kladene-dotazy#6> [vid. 19.4.2015]
- [5] Česká společnost pro větrnou energii, “Vývoj výkupních cen větrné energie a ostatních obnovitelných zdrojů - ČSVE - Větrné elektrárny | Větrná energie.” [Online]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/clanky/vyvoj-vykupnich-cen-vetrne-energie-a-ostatnich-obnovitelnych-zdroju/278>. [vid. 19.4.2015].
- [6] Ministerstvo průmyslu a obchodu, “MPO | Operační program Podnikání a inovace pro konkurenceschopnost (OPPIK) ” [Online]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument15583.4.html>. [vid. 21.4.2015].
- [7] Ministerstvo průmyslu a obchodu, “MPO | Právní předpisy v eko energetice | Přehled vyhlášek k zákonu č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie.” [Online]. Dostupné z: <http://www.mpo.cz/dokument118537.html>. [vid. 21.4.2015].
- [8] Chemišinec, I. *Obchod s elektřinou*. Praha: Conte, 2010.
- [9] Palanský, M. “Obchodování na trhu s elektřinou,” České vysoké učení technické v Praze, Praha, 2012.
- [10] Bechyně, I. M. “Jak změnit dodavatele plynu nebo elektřiny? - TZB-info.” [Online]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/8257-jak-zmenit-dodavatele-plynu-nebo-elektriny>. [vid. 19.4.2015].
- [11] OTE a.s., “Základní údaje — OTE, a.s.” [Online]. Dostupné z: <http://www.ote-cr.cz/o-spolecnosti/zakladni-udaje>. [vid. 21.4.2015].

- [12] Energetický regulační úřad, “ERÚ - O úřadu.” [Online]. Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/o-uradu>. [vid. 21.4.2015].
- [13] “Co je PXE ? - Power Exchange Central Europe, a. s.” [Online]. Dostupné z: <https://www.pxe.cz/dokument.aspx?k=Co-Je-PXE>. [vid. 19.4.2015].
- [14] “Cena elektřiny: Z čeho je složena? | Ceny energie.” [Online]. Dostupné z: <http://www.cenyenergie.cz/cena-elektriny-z-ceho-je-slozena/>. [vid. 19.4.2015].
- [15] “Z čeho se skládá cena elektřiny? Za co platíme na faktuře? - Měsíc.cz.” [Online]. Dostupné z: <http://www.mesec.cz/clanky/z-ceho-se-sklada-cena-elektriny-za-co-platime-na-fakture/>. [vid. 21.4.2015].
- [16] “Jak na to - Větrné elektrárny.” [Online]. Dostupné z: <http://www.wodasound.com/jaknato/wind/wdsvitr.htm>. [vid. 19.4.2015].
- [17] E. Hau a E. Hau, *Wind turbines: fundamentals, technologies, application, economics*, Third, translated edition. Heidelberg ; New York: Springer, 2013.
- [18] Sýkora, I. T. “Problematika připojování větrných elektráren do distribuční sítě - TZB-info.” [Online]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4279-problematika-pripojovani-vetrnych-elektraren-do-distribucni-site>. [vid. 19.4.2015].
- [19] Komora obnovitelných zdrojů energie - ČSVE, “Analýza větrné energetiky v ČR”. Dostupné z: http://www.csve.cz/img/wysiwyg/file/KomoraOZE_analyza-potencial-OZE_dilci-VTE.pdf
- [20] EkoWATT, “Energie větru - alternativní a obnovitelné zdroje.” ČEZ, a.s., 2000.
- [21] Hanslian, Mgr.D. J., Mgr. Hošek, a J., RNDr., CSc. Štekl, “Odhad realizovatelného potenciálu větrné energie na území ČR.” .
- [22] “Zbilidy,” *Zbilidy*. [Online]. Dostupné z: <https://www.google.cz/maps/place/Zbilidy/data=!4m2!3m1!1s0x470d1d0b546b9f35:0x400af0f661634e0?sa=X&ei=j50zVc25MeT-ywPBu4GoAQ&ved=0CCsQ8gEwAQ>. [vid. 19.4.2015].
- [23] Česká společnost pro větrnou energii, “Strojovna větrné elektrárny s převodovkou a asynchronním generátorem (výrobce VESTAS) - ČSVE - Větrné elektrárny | Větrná energie.” [Online]. Dostupné z: [http://www.csve.cz/cz/clanky/strojovna-vetrne-elektrarny-s-prevodovkou-a-asynchronnim-generatorem-\(vyrobce-vestas\)/332](http://www.csve.cz/cz/clanky/strojovna-vetrne-elektrarny-s-prevodovkou-a-asynchronnim-generatorem-(vyrobce-vestas)/332). [vid. 19.4.2015].

- [24] Vestas Wind Systems A/S, "V90-1.8/2.0 MW®." [Online]. Dostupné z: http://www.vestas.com/en/products_and_services/turbines/v90-2_0_mw#!power-curve-and-aep. [vid. 19.4.2015].
- [25] Vestas Wind Systems A/S, "Product brochure V90-2.0 MW." [Online]. Dostupné z: http://www.vestas.com/files%2Ffiler%2Fen%2Fbrochures%2Fproductbrochurev901_8_2_0_uk.pdf.
- [26] Česká společnost pro větrnou energii, "Strojovna větrné elektrárny bez převodovky s multipólovým synchronním generátorem (výrobce ENERCON) - ČSVE - Větrné elektrárny | Větrná energie." [Online]. Dostupné z: [http://www.csve.cz/cz/clanky/strojovna-vetrne-elektrarny-bez-prevodovky-s-multipolovym-synchronnim-generatorem-\(vyrobce-enercon\)/333](http://www.csve.cz/cz/clanky/strojovna-vetrne-elektrarny-bez-prevodovky-s-multipolovym-synchronnim-generatorem-(vyrobce-enercon)/333). [vid. 19.4.2015].
- [27] Enercon GmbH, "Enercon Wind energy converters - product overview." [Online]. Dostupné z: http://www.enercon.de/p/downloads/EN_Productoverview_0710.pdf. [vid. 19.4.2015].
- [28] Vavříčka, R., Ing, Ph.D. "Vytápění - cvičení č.2, Výpočet potřeby tepla a paliva Denostupňová metoda." ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí.
- [29] Topinfo s.r.o., "Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody - TZB-info." [Online]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/47-potreba-tepla-pro-vytapani-a-ohrev-teple-vody>. [vid. 19.4.2015].
- [30] EkoWATT, "i-EKIS: Internetové energetické konzultační a informační středisko." [Online]. Dostupné z: <http://www.i-ekis.cz/?page=prostredi>. [vid. 19.4.2015].
- [31] "Emisní kalendář střednědobých a dlouhodobých státních dluhopisů - březen 2015 | 2015 | Ministerstvo financí ČR." [Online]. Dostupné z: <http://www.mfcr.cz/cs/verejny-sektor/hospodareni/rizeni-statniho-dluhu/emise-statnich-dluhopisu/emisni-kalendare-sdd/2015/emisni-kalendar-strednedobych-2-2015-2055.4>. [vid. 19.4.2015].
- [32] "Příloha č. 6 k vyhlášce č. 51/2006 Sb." [Online]. Dostupné z: http://www.eru.cz/documents/10540/474307/Priloha_6_51.pdf/85539fb3-7b8d-42c7-9aee-43b8ea9ba178

- [33] Centropol Energy, a.s., "Nabídka výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů, Centropol." [Online]. Dostupné z: <http://www.centropolenergy.cz/obnovitelne-zdroje-energie/vykup-elekriny/nabidka-vykupu-elekriny/page/nabidka-vykupu-elekriny-z-obnovitelnych-zdroju>. [vid. 19.4.2015].
- [34] Isofenenergy, "Fotovoltaické elektrárny - výkupní ceny." [Online]. Dostupné z: <http://www.isofenenergy.cz/Vykupni-ceny-fotovoltaika.aspx>. [vid. 19.4.2015].
- [35] Energetický regulační úřad, "Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 2/2014 ze dne 25. listopadu 2014."
- [36] Kolektiv autorů, "Topenářská příručka", GAS s.r.o., Praha 2001.
- [37] Topinfo s.r.o., "Porovnání nákladů na vytápění TZB-info - TZB-info." [Online]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/138-porovnani-nakladu-na-vytapani-tzb-info>. [vid. 19.4.2015].