



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky manažerství a humanitních věd

Spolupráce větrné a vodní elektrárny
Cooperation of Wind and Hydro power plants

Bakalářská práce

Studijní program: EEM

Studijní obor: Elektrotechnika a management

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Vítek CSc.

Jan Kroneisl

Praha 2015

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Kroneisl Jan**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektrotechnika a management

Název tématu:

Spolupráce větrné a vodní elektrárny

Pokyny pro vypracování:

1. Definice variant.
2. Investiční a provozní výdaje variant, kvantifikace efektů.
3. Ekonomické vyhodnocení variant z hlediska projektu.

Seznam odborné literatury:

1. Ryčetník V.: Větrné motory a elektrárny 1. ČVUT, 1997.
2. Kolektiv autorů: Obnovitelné zdroje energie. ČEZ, 2010.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miroslav Vítek, CSc.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2015/2016

L.S.

Doc.Ing. Jaroslav Knápek, CSc.

vedoucí katedry

Prof.Ing. Pavel Řípka, CSc.

děkan

V Praze dne 10.2.2015

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Ing. Miroslava Vítka CSc. a použil jsem pouze podklady uvedené v příloženém seznamu literatury

V Praze dne

podpis

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkovat svému vedoucímu Ing. Miroslavu Vítkovi CSc. za cenné rady, věcné připomínky a odborné vedení, které vedly k vytvoření této práce.

Anotace

Tato práce se zabývá spoluprací vodní a větrné elektrárny.

V první části jsou shrnuty obecné informace o vodních a větrných elektrárnách. Dále je řešeno technické provedení projektu v konkrétní lokalitě vodní elektrárny Dalešice a jejím okolím, kde měl vzniknout větrný parky o celkovém výkonu 10 MW. Také se v této části vypočítává množství elektrické energie, jež může být větrnými elektrárnami vyrobena a následně její další využití/ distribuce do sítě.

Druhá část bakalářské práce se věnuje ekonomickému posouzení různých variant spolupráce vodní a větrné elektrárny. Hlavními ukazateli budou NPV (čistá současná hodnota) a IRR (vnitřní výnosové procento).

Klíčová slova: Vodní elektrárna, větrná elektrárna, hodnocení investic, spolupráce

Annotation

The aim of this thesis is determine best way of cooperation between wind and hydro power station.

The first part summarizes the knowledge of hydro and wind power plants. Follows the technical solution of realizing project in the area of power plant Dalešice and its surrender, where is a plan to build wind power plant of total power 10 MW. The among of electrical energy produced by wind power station and its connection to distribution network is calculated as well.

The second part is devoted to estimate costs of different possibilities of coordination between the power plants. The most important economic indicators NPV (net present value) and IRR (internal rate of return) will be calculated.

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Energetické špičky a jejich eliminace díky OZE.....	8
3	Ukládání elektřiny.....	8
3.1	Přečerpávací nádrž	8
3.2	Baterie	8
3.3	Vodík.....	9
3.3.1	Parní reforming zemního plynu.....	9
3.3.2	Elektrolýza vody.....	9
3.3.3	Termochemické cykly	9
3.4	Výběr nejvhodnější varianty	10
4	Větrné elektrárny.....	10
4.1	Historie získávání energie z větru	10
4.2	Proudění větru, fyzikální popis přeměny.....	11
4.3	Druhy Rotorů	12
4.4	Druhy podle přeměny mech. energie na elektrickou.....	14
5	Vodní elektrárny.	16
5.1	Historie	16
5.2	Princip.....	16
5.3	Druhy	16
5.4	Typy turbín.....	17
5.4.1	Francisova turbína	17
5.4.2	Kaplanova turbína	17
5.4.3	Peltonova turbína.....	17
6	Technický popis lokality a VtE.....	18

7	Varianta síť.....	19
8	Varianta voda a kombi.....	20
8.1	Popis	20
8.2	Ztráty na vedení.....	21
8.3	Čerpadlo	23
9	Ekonomické hodnocení variant	24
9.1	Varianty	24
9.2	Voda.....	25
9.2.1	Čerpadlové motory 100%.....	25
9.2.2	Čerpadlové motory 90%.....	25
9.2.3	Čerpadlové motory 80%.....	26
9.2.4	Výběr varianty	26
10	Metody hodnocení investice	26
10.1	Metoda výnosnosti (rentabilita) investic.....	27
10.2	Metoda doby splacení	27
10.3	Metoda čisté současné hodnoty	28
10.4	Metoda vnitřního výnosového procenta.....	28
11	Příjmy za elektřinu	29
11.1	Počáteční předpoklady	29
11.2	Provozní výnosy	29
11.3	Provozní výdej.....	29
11.4	Odpisy	30
12	NPV v závislosti na změně vnějších faktorů.....	31
12.1	Citlivostní analýza	31
12.2	Zpracování grafů citlivostní analýzy.....	32
12.3	Interpretace grafů.....	33
13	Analýza variant	34
14	Závěr	36
15	Zdroje.....	38
16	Přílohy.....	40
16.1	Příloha č. 1 Výpočet NPV a IRR pro variantu Voda	40
16.2	Příloha č. 1 Výpočet NPV a IRR pro variantu Síť	41
16.3	Příloha č. 1 Výpočet NPV a IRR pro variantu Kombi	42

1 Úvod

Tato práce se zabývá spoluprací vodní a větrné elektrárny z úhlu technického provedení a ekonomické efektivity. Tato problematika je aktuální z hlediska masivního nástupu obnovitelných zdrojů energie na trh. Vliv obnovitelných zdrojů na výrobu a distribuci elektřiny je značný a dnes stojíme před otázkou jejich ideální integrace do rozvodné sítě.

Pro projekt je vyžadovaný soulad umístění, kde je možno postavit a provozovat vodní elektrárnu a místa, které je vhodné ke stavbě větrné elektrárny. Jako lokalita byla vybrána oblast Dalešic. V této oblasti odpadá problém hledání umístění vodního díla, jejichž potenciál je v ČR již značně vyčerpán a také jeho výstavba, která je velmi nákladná. Nedaleko Dalešické vodní elektrárny byl společností ČEZ vyprojektován větrný park u Rešic. K jeho kompletní výstavbě zatím nedošlo, ale ne z důvodů, že by byl ekonomicky nevýhodný. Vybrané místo tedy splňuje obě podmínky. Nedaleko Dalešické elektrárny již stojí první větrná elektrárna (VtE), kterou provozuje firma V-STAV s r.o., která byla tak laskava a poskytla mi data o výrobě již fungujícího zařízení.

V práci budu vybírat mezi 3 variantami, které jsou:

- a) Varianta Síť - zde budou uvažovány obě elektrárny jako 2 zcela na sobě nezávisle pracující zdroje elektrické energie.
- b) Varianta Voda - zde bude větrná elektrárna (VtE) propojena s vodní elektrárnou (VE). Veškerý výkon z VtE bude přeměněn na potenciální energii vody, kterou přečerpá do horní nádrže VE pomocí speciálních čerpadel. Později bude tato energie přeměněna VE zpět na elektrickou energii.

- c) Varianta Kombi - tato varianta se zabývá možností propojení větrné a vodní elektrárny a distribuční sítě. Idea je, že v době špiček pracuje VtE přímo do sítě a tudíž s větší účinností, než když nejdříve přečerpává vodu, která je následně využita zpět k výrobě elektřiny. V dobách mimo špičky, pracuje VtE jako pohon čerpadla pro vodní elektrárnu.

2 Energetické špičky a jejich eliminace díky OZE

Výkon elektráren lze korigovat pouze v určitém omezeném rozsahu a ne dostatečně rychle. Oproti tomu stojí spotřeba elektřiny, která v průběhu dne klesá a stoupá podle aktuální poptávky na trhu. Tento jev je nutné eliminovat, aby nedocházelo k přebytkům resp. nedostatkům elektřiny v síti (a v následku kolísání frekvence). V praxi se realizuje řešení pomocí vodních zdrojů elektřiny, které se dají snadno a rychle výkonově regulovat a mohou pokrýt tuto zvýšenou poptávku, jež relativně krátký časový interval. Větrné elektrárny jsou problémové z hlediska nárazovosti výroby. Podle síly větru vyrábí variabilní množství energie, což má nechtěné následky na stabilní chod sítě. [1]

3 Ukládání elektřiny

3.1 Přečerpávací nádrž

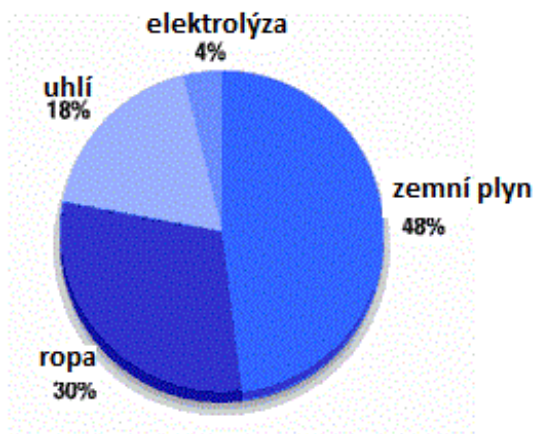
V dnešní době není největším problémem nedostatečná produkce elektrické energie v OZE, ale spíše její přebytek a obtížnost takto nárazově vyrobenou elektřinu uskladnit. Pro velké výkony připadá v úvahu myšlenka přečerpávací elektrárny. Další možnostmi jsou krátkodobé - baterie (např. Siestorage od společnosti Siemens) nebo jiné metody na chemické bázi - ukládání energie do vodíku popř. do tavných solí. Pro metody odlišné od přečerpávání vody je též nezbytné brát v potaz, že je nutné postavit technickou budovu pro zařízení, která bude splňovat přísné požadavky na vlhkost, větrání, teplotu atd.

3.2 Baterie

U všech uvažovaných variant je nutné zhodnotit jejich přínosy a negativa. U baterie lze skladovat elektřinu takto jen po omezený čas než se vlivem chemických a termických jevů přemění v chemickou energii. Tato vlastnost není problém, když chceme nashromážděnou elektřinu použít jednou až dvakrát denně k pokrytí špiček. Spíše zde narazíme na limit finanční. Baterie takového rozsahu mají vysoké měrné investiční výdaje. Akumulátory se nejeví jako ideální řešení pro projekt našeho typu, z důvodů životnosti, která bývá obvykle v řádech tisíců až desetitisíců nabíjecích cyklů. Což i při velmi hrubém odhadu vychází velmi nepříznivě.

3.3 Vodík

Další zmíněnou cestou jak uložit energii je na bázi vodíku. Ten se může vyrobit několika



Obrázek 1 Výroba vodíku [19]

způsoby.

3.3.1 Parní reforming zemního plynu

Nejrozšířenější a dnes i nejlevnější metodou je parní reforming zemního plynu. Účinnost je kolem 80 % ale také je vysoká produkce CO₂ - na 1 kg vodíku připadá 7 kg CO₂. Výroba probíhá ve 2 fázích: reformní a konverzní. Ve fázi reformní dochází k zavedení metanu do vodní páry, která má teplotu 500-950°C a tlak 0,3 - 2,5 MPa. Výsledkem reakce těchto dvou složek je vodík a CO₂. Poté přichází fáze konverzní, kdy zvyšujeme produkci vodíku konverzí získaného CO₂ s další párou. Avšak již za nižších teplot. [2] Tato možnost není však příliš vhodná k akumulaci elektřiny do vodíku.

3.3.2 Elektrolýza vody.

Varianta, která je naopak velmi vhodná se nazývá elektrolýza. Elektrolýza je jev, kdy z vody při průchodu usměrněného proudu štěpením je získán vodík a kyslík. Tento proces probíhá při pokojové teplotě, jediné nutné složky jsou elektřina a voda.

3.3.3 Termochemické cykly

Hlavní nevýhodou není ani tak fakt, že vodík je velmi výbušný a tudíž náročný na skladování, ale že účinnost celkového procesu je velmi nízká. (kolem 40 %). Do budoucna se s možnostmi, které vodík nabízí, počítá hlavně pro automobilový průmysl. Ovšem pouze pokud vývoj bude pokračovat dostatečně rychle a dokáže konkurovat Ni-Li bateriím a jiným technologiím, které se dnes jeví jako perspektivnější. Velkou výhodou vodíku je jeho skladovatelnost v kapalném stavu po velmi dlouhé časové období. [3]

3.4 Výběr nejvhodnější varianty

Z nabízených současných možností vychází nejlépe vodní nádrže. Princip funguje jednoduše - v době nízké poptávky (a tedy i nízké výkupní ceny) se voda čerpá ze spodní nádrže do horní a naopak v době vysoké poptávky jsem schopen proces otočit a dodávat elektřinu do sítě. Výhodou je rychlost s jakou je možno přejít z režimu čerpání na plný výkon generace elektřiny. Malou vadou je nutnost dvou nádrží, kde lze daný princip aplikovat. Nutnost velkého zásahu do krajiny je obvykle přijímán s nevolí obyvatel. Vedle demografického aspektu nesmíme zapomenout na výběr vhodného místa. Sloučit tyto dvě kritéria je dnes už v ČR téměř nemožné a proto se již nedá očekávat boom vodních elektráren jakéhokoliv typu. Jedinou výjimku tvoří malé vodní elektrárny (do 10 kW), které určitý potenciál ještě mají.

Přečerpávací elektrárny mají nezastupitelnou roli v energetickém mixu a jsou významným zdrojem elektrické energie. Jejich výhody a funkce lze rozdělit na 4 hlavní [4]:

1) **Kompenzační funkce**

- slouží k regulaci napětí v soustavě

2) **Obnovovací funkce**

- po případném black-outu jsou schopné nejen zprovoznit samy sebe, ale i oživit celou soustavu

3) **Statická funkce**

- v době přebytku elektrické energie v soustavě (hlavně v noci) se voda přečerpává do horní nádrže, odkud je v době největší poptávky (ve špičkách) opět přepouštěna do spodní nádrže a generuje elektrickou energii

4) **Dynamická funkce**

- poskytují podpůrnou službu pro síť jako rychlá rezerva. Jsou schopny dosáhnout plného výkonu v rozmezí 1-2 minut, na pokyn dispečera elektrické sítě

4 Větrné elektrárny

4.1 Historie získávání energie z větru

První seriózní informace o využití větrné energie pochází z Mezopotámie z doby cca 500 př. Kr., kdy se síly větru používalo k čerpání vody. V Evropě došlo k masivnímu rozvoji zhruba v 11. století po. Kr., použitím větrných mlýnů a protože byly stavěny hlavně v dnešním Holandsku, tak se taktéž používaly k odvodnění bažin u moře, které pak sloužily jako úrodná zemědělská půda.

Zásadní rozmach větrných mlýnů přišel v druhé polovině 19. století. V roce 1852 Daniel Halladay setrojil první větrník na čerpání vody a skrze svou společnost U.S. Wind Engine and

Pump Company uvedl na trh větrník, jehož charakteristika se dodnes nezměnila a udává krajinný ráz USA. V roce 1887 sestrojil profesor James Blyth ve Skotsku turbínu, která byla schopná zásobovat jeho dům elektřinou po celých 25 let. Ve stejném roce, ale na jiném místě (v Ohiu) postavil profesor Charles Brush 12 kW větrnou turbínu, která fungovala 20 let. [5]

Tím, kdo objevil, že malý počet lopatek zvyšuje účinnost při výrobě elektřiny byl vědec Paul la Cour. Po první světové válce Albert Betz dokázal, že maximální teoretická účinnost výroby elektřiny z větru je rovna 59,35 %. [6] Dodnes je používána jeho teorie k tvaru listu větrných mlýnů jako základní znalost při projektování turbín.

V průběhu času větrné elektrárny neobstály konkurenci jiných druhů elektráren a jediného většího nasazení se jim dostalo v průběhu 2. světové války, kdy v americkém Vermontu turbína jménem „Grandpa’s knob“ po dobu několika měsíců zásobovala okolí až do výše svého jmenovitého výkonu 1,25 MW. Ovšem po válce došlo opět k úpadku zájmu o tento zdroj elektřiny.

Nový rozvoj nastal až s příchodem ropné krize, kde roku 1978 americký kongres rozhodl o nutnosti zavést vyšší podíl elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů jako povinnou složku do energetického mixu. Díky zapojení NASA do vývoje se podařilo vyvinout metody a principy používané dodnes. Nejen NASA se podílela na rehabilitaci výroby elektřiny z větru. Např. ve stejné době byl v Dánsku vyvinut konstrukční model, takzvaný „Dánský koncept“ [10], který spočívá v konstrukci 3 listového rotoru s horizontální rotační osou na jednoduché konstrukci (sloup).

4.2 Proudění větru, fyzikální popis přeměny

Když přistupujeme k energii větru musíme si uvědomit, že se vlastně jedná o nepřímé využívání sluneční energie. Sluneční záření, které dopadá na zemi je rovno $5,6 \times 10^{24} \text{ J} \cdot \text{rok}^{-1}$. Většina tohoto záření je pro nás nevyužitelná. Ale zhruba 9 % paprsků, které dopadnou na vnější plochu atmosféry se „spotřebuje“ na rozpohybování masy vzduchu. Celková teoretická energie větru je zhruba $4,3 \cdot 10^{15} \text{ W}$ (cca 100 000 $\text{EJ} \cdot \text{a}^{-1}$). Pro nás je směrodatný údaj o technickém potenciálu větru, který se odhaduje na 100 $\text{EJ} \cdot \text{a}^{-1}$. Pro srovnání lze snad jen udat, že světová spotřeba elektrické energie se v posledních letech pohybuje okolo hodnoty 75 $\text{EJ} \cdot \text{a}^{-1}$. [7]

Z fyzikálního hlediska můžeme vyjádřit energii proudícího větru pomocí rovnice

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Kde

E = celková energie

m = hmotnost masy

v = rychlost větru

Z tohoto vzorce můžeme odvodit pro nás užitečnější formuli

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_{\text{rot}} \cdot v^3$$

Kde

P_w = výkon větru,

A_{rot} = plocha listů (rotoru)

ρ = hustota proudícího vzduchu ca $1,18 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Výkon turbíny je přímo závislý na třetí mocnině rychlosti větru. Pro hrubou představu při $v = 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} : 0,6 \text{ W}\cdot\text{m}^2$ ale při $v = 12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} : 1020 \text{ W}\cdot\text{m}^2$. [8]



Graf 1 Závislost výkonu větru na rychlosti

4.3 Druhy rotorů

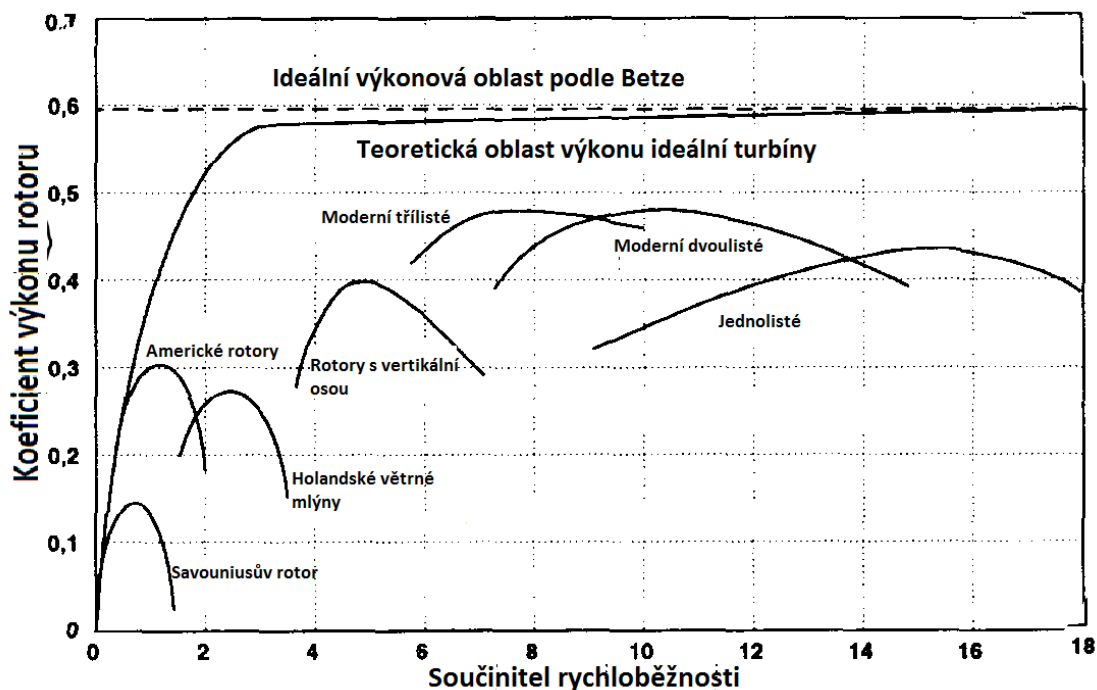
Zjednodušeně rozlišujeme 2 druhy, a to typ s horizontální osou otáčení a typ s vertikální osou. Do skupiny vertikálních řadíme např. Savoniusův, Darrieusův a H-Darrieusův rotor. Do skupiny horizontálních patří vrtulové typy. Oba mají své výhody a nevýhody, jak je vidět z následující tabulky:

Horizontální	Vertikální
<ul style="list-style-type: none"> + cena/výkon + lepší účinnost (až 48 %) + nízká rozběhová rychlost - vrhá stín - nutné natáčet za větrem - při vysokých rychlostech hluk 	<ul style="list-style-type: none"> + mech. i elek. komponenty jsou pod zemí + nezávislé na směru větru + provoz v extrémních podmínkách + jednoduchá a robustní konstrukce + nevrhá stíny - nutná vyšší rychlost větru - nižší účinnost (max. 43%) - cena/výkon - nízká max. výška

Tabulka 1 Dělení druhů rotorů

Ze srovnání vyplývá, že záleží hlavně na účelu, za kterým elektrárnu stavíme. Vertikální typ použijeme ve velmi náročných podmínkách např. v Antarktidě nebo je taktéž vhodný pro oblasti hustě obydlené, protože nejčastějšími námitkami proti stavbě větrné elektrárny ze strany občanů jsou zpravidla hluk, vrhání stínů, odletování ledu a „kažení“ krajinného rázu. Všechny tyto námitky jsou sníženy, či zcela eliminovány použitím vertikálního typu VtE. Ten vrhá minimální stín, jeho výška je udávána na max. 47 metrů a díky nízkým max. otáčkám, které jsou oproti horizontálním turbínám zhruba pětinové je také vytvářena nižší hluková zátěž a nižší pravděpodobnost odlétajícího ledu. [9]

Pro horizontální typy hovoří zcela jasně ekonomická čísla. Vyšší účinnost v kombinaci s vyšší možnou konstrukcí (dnes běžně kolem 150m) způsobují, že z investičního hlediska je bezkonkurenčně nejvýhodnější.



Obrázek 2 Teoretické výkonové oblasti rotorů [7]

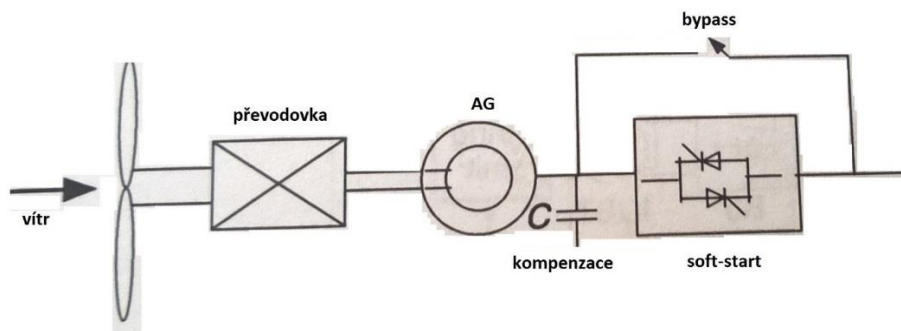
Graf závislosti účinnosti na součiniteli rychloběžnosti λ , kde $\lambda = \frac{v_{otáčení}}{v_{vítr\ na\ rotoru}}$. Tento graf ukazuje při jakém součiniteli rychloběžnosti má který typ turbíny nejlepší účinnost. Z grafu lze odečíst, že při nízkém λ , jenž je charakteristické pro vertikální typy rotorů, je energie větru používána především pro mechanické pohony (čerpadla). Pokud ovšem máme vysoký součinitel rychloběžnosti, tak jsou zařízení horizontálního typu vhodná pro generování elektrické energie. Ideální velikost λ se pohybuje mezi 6-8. Pro $\lambda > 8$ rapidně stoupá hluchost rotoru. V dnešní době jsou nejrozšířenější 3-lopátkové větrníky, které poskytují maximální účinnost právě při zmíněném rozsahu $\lambda = 6-8$. [7]

4.4 Druhy podle přeměny mech. energie na elektrickou

V praxi se můžeme setkat se třemi druhy větrných elektráren. Každý typ je něčím charakteristický a vyráběn jinou firmou.

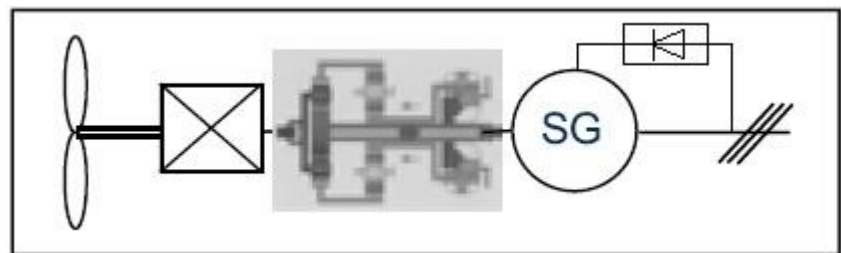
Prvním typem je elektrárna vyráběná firmou Vestas nebo německým Siemensem. Jedná se o typ s převodovkou a asynchronním generátorem. Soft-startér zajišťuje, že startovací proud nepřesáhne hodnotu rovnou dvojnásobku jmenovitého proudu. Kvůli možnému poškození soft-startéru přehřátím může být po startu překlenut by-passem. Asynchronní motor odebírá jalový

proud ze sítě, pokud je ovšem kontakt se sítí přerušen, může být motor buzen z kondenzátorů.
[11][12]



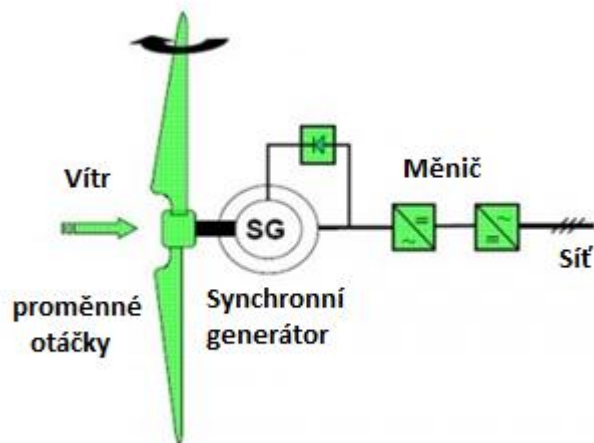
Obrázek 3 Schéma turbíny s převodovkou [27]

Druhým typem je zařízení vyráběné českou firmou Wikov. Ta používá synchronního generátoru ve spolupráci s planetovou převodovkou. Převodovka díky širokému převodovému poměru 1:125 – 1:78 (model W2000 86 TCIIA) umožňuje bezproblémový chod synchronního generátoru. Nevýhodou může být, že se stroje v gondole přehřívají a případná složitá oprava převodovky v gondole elektrárny. Tento typ poskytuje teoreticky nejvyšší účinnost. [13]



Obrázek 4 Schéma turbíny s převodovkou a syn. generátorem [20]

Poslední typ je od firmy Enercon. Strojovna tohoto typu má mnohapólový přepínatelný generátor, který generuje elektřinu na různých hladinách frekvence a napětí. Tyto faktory jsou závislé na rychlosti otáčení. Abychom mohli tuto energii poslat do sítě, musíme ji přes usměrňovač a střídač upravit na správné parametry (na frekvenci sítě). Výhodou tohoto uspořádání je absence převodovky. Na druhou stranu jsou nutné silnoproudé elektronické prvky jako usměrňovač a střídač. V případě poruchy je jejich výměna velmi rychlá, protože jsou uloženy v zemi vedle věže. [14]



Obrázek 5 Schéma turbíny bez převodovky se syn. generátorem [10]

5 Vodní elektrárny

5.1 Historie

Vodních elektráren jsou využívány podobně jako větrné mlýny již přes 3500 let. Nejdříve vodní kola sloužila k zavlažování a poté k pohonu vodních mlýnů. Zásadní vývoj přišel v 19. století s vynálezem vodních turbín. Roku 1849 Francisova, později r. 1880 Peltonova a naposled r.1913 Kaplanova. S vynálezem elektrodynamického generátoru Wernerem Siemensem v roce 1866 se mohlo začít rozvíjet nové využití vodních turbín - a to k výrobě elektřiny. 1. velká elektrárna byla zapojena v blízkosti Niagarských vodopádů v roce 1895. Od té doby jsou vodní elektrárny v podstatě ve stejné formě využívány dodnes.

5.2 Princip

U vodních elektráren je elektřina získávána přeměnou kinetické nebo potenciální energie vody. Typ turbíny se instaluje podle výšky spádu a podle rychlosti vody. Při velkých výškových rozdílech a menším průtok se využívá potenciální energie vody. Při malém spádu a velkém průtoku se pro výrobu elektřiny primárně využije kinetická energie.

5.3 Druhy

Způsobů dělení existuje mnoho. Základní může být podle použití:

- a) Přílivová
- b) Přečerpávací
- c) Průtoková

A dále dle výšky spádu lze zavést tyto kategorie:

- a) Nízkotlaká - výška přepadu do 25m
- b) Střednětlaká - výška přepadu do 100m
- c) Vysokotlaká - výška přepadu od 100m

5.4 Typy turbín

Základní typy používaných turbín jsou 3: Francisova, Kaplanova a Peltonova. Všechny další modely vychází konstrukčně z jednoho z těchto typů.

5.4.1 Francisova turbína

Autorem je vynálezce J.B. Francis, který ji sestrojil v r. 1849. Turbína je přetlaková. Voda v potrubí mění tlak, projde spirálou (šnekem) a odevzdá svou energii na lopatkách. Turbína může být instalována vertikálně nebo horizontálně. Pomocí natočení regulačních lopatek lze regulovat účinnost, která dosahuje až 90 %. Ovšem této účinnosti dosahuje až při relativně vysokém průtoku (cca od 60 % max. průtoku). Proto není vhodná pro oblasti s kolísavým stavem průtoku. Její konstrukce umožňuje i reverzní režim pro čerpání vody a tudíž je často využívána pro přečerpávací elektrárny. Obvyklá výška spádu je 60-600 m.

5.4.2 Kaplanova turbína

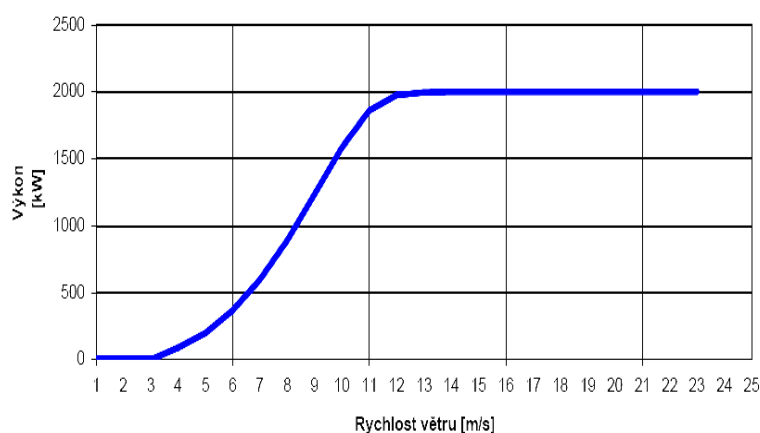
Zkonstruována V. Kaplanem r.1913. Princip vychází z Francisovy turbíny. Je také přetlaková, avšak lépe regulovatelná pomocí nastavitelných oběžných lopatek. Díky tomu je její maximální účinnost dosažena dříve než u Francisovy turbíny. Kvůli složitější konstrukci je finančně náročnější. Použití je v rozmezí spádu 2-70 metrů. Je tedy instalována hlavně na vodních tocích s malým spádem, ale velkým průtokem, který se mění.

5.4.3 Peltonova turbína

Vynalezena L.A. Peltonem v r. 1880. Rovnotlaká turbína, která využívá kinetickou energii vody. Voda je přivedena na dýzu, odkud je pouštěna na turbínu. Má nízkou možnost regulace jen prostřednictvím regulační jehly v dýze. Výhodou je max. účinnost v širokém spektru průtoku. Nevýhodou nižší maximální účinnost, která se udává mezi 80-90 %. Není možný přečerpávací režim. Je používána pro malé vodní elektrárny a vodní díla s velkým spádem 30-2000 m. [7][15]

6 Technický popis lokality a VtE.

V katastrálním území Rešic a Horních Dubňan měly vzniknout 2 parky VtE. Nejdříve se mělo jednat o 6-7 větrníků v každé oblasti, později bylo číslo zredukováno na 5 stožárů. V této práci budu pracovat s teoretickou dostavbou 5 větrných elektráren u Rešic. Každá z nich by měla mít instalovaný výkon 2 MW. Dohromady to znamená 10 MW instalovaného výkonu. Bude se jednat o zařízení firmy VESTAS typ V90 - 2,0 MW. Tento typ má převodovku, čtyřpólový asynchronní generátor a na konci stroje v gondole je umístěn zvyšovací transformátor na bázi suché pryskyřice. Životnost se počítá na 20 let. Díky meteorologické stanici v Dukovanech byla získána velmi přesná data o proudění vzduchu ve výšce 100m. Průměrná rychlost vzduchu v této výšce činí $6.3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Níže můžeme vidět závislost výkonu na rychlosti větru u větrníku V90 - 2,5 MW. [12][21]



Graf. 2 Výkonová charakteristika VE V90 - 2,5 MW [12]

Roční využití výkonu větrné elektrárny můžeme nalézt v datech ERÚ. Tento údaj je sice vztažen pro všechny instalované elektrárny, nicméně nám dá přibližnou hodnotu, ke které můžeme vztahovat využití výkonu v našem konkrétním případě.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
inst. výkon [MW]	113,1	150	193,2	217,8	218,9	263	270
výroba [MWh]	125 098	244 661	288 067	335 493	390 003	415 817	480 519
max.roční využití [h]	1 106,08	1 631,07	1 491,03	1 540,37	1 813,63	1 581,05	1 779,70
max roční využití [%]	12,63	18,62	17,02	17,58	20,70	18,05	20,32

Tabulka 2 Vybrané údaje o výrobě větrných elektráren v ČR, zdroj [16]

Roční využití výkonu bylo dostáno jako podíl vyrobené elektřiny a instalovaného výkonu. Toto číslo je nutno brát s jistou rezervou, protože v některých letech docházelo k rychlému nárůstu instalovaného výkonu během roku a toto není v tabulce zohledněno. Za relevantní údaje lze považovat hodnotu z roku 2011 a 2013 kdy je meziroční nárůst nově postavených elektráren minimální. Vidíme tedy, že roční využití výkonu se v České Republice pohybuje kolem 20 % ($1800\text{h}\cdot\text{a}^{-1}$). U novějších strojů se uvádí hodnoty až do 25 %. [16]

Nyní spočítáme roční dobu využití maxima zdroje pro náš typ VTE. Tento ukazatel vyjadřuje, jak dlouhou dobu by zdroj potřeboval při maximálním výkonu k dodání energie, kterou dodá při proměnném výkonu za rok.

$$T_{mvte} = \frac{E_V}{P_m} = \frac{P_a \cdot 24 \cdot 365}{P_m} = \frac{0,4 \cdot 8760}{2} = 1752 [h \cdot a^{-1}]$$

Kde	T_{mvte}	= roční doba využití maxima v $\text{h}\cdot\text{rok}^{-1}$
	E_V	= vyrobená elektřina za rok [MWh]
	P_m	= max.(instalovaný) výkon zdroje [MW]
	P_a	= výkon VTE při průměrné rychlosti větru [MW]
	P_a	odečteme z grafu pro průměrnou rychlost $6,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \rightarrow 0,4 \text{ MW}$

Z údajů stejného typu nedaleké VtE v Tulešicích za rok 2014 vychází doba maxima 1724 hodin. Tyto údaje nám ukazují, že teoretický výpočet se od reality odchyluje minimálně. Pro další výpočty budou použity pouze data z reálné výroby.

Roční účinnost je tedy přesně 20 %. Tudíž se s touto elektrárnou lokalizovanou u obce Rešice pohybujeme na republikovém průměru.

7 Varianta síť

Nejprve se budeme zabývat možnostmi, kde budou stávající vodní elektrárna a nově postavené větrníky fungovat zcela nezávisle na sobě. K této variantě bude potřeba větrných elektráren i se všemi prvky, které zajišťují přenos elektřiny do sítě (měniče). Z technologického hlediska se jedná o nejjednodušší variantu. Není nijak třeba regulovat provoz elektráren. Nevýhodou bude, že regulovatelnost výroby je v podstatě nulová a tudíž je závislá jen na větru. Kvůli tomu bude vykupována za nižší cenu, protože nelze dopředu odhadnout, kdy bude vítr vát. Zde můžeme jen konstatovat, že vyrobená elektřina bude dodávána nárazově a odkupována za dohodnutou cenu s obchodníkem + zelený bonus stanovený ERÚ.

Teoretickou hodnotu vyrobené elektřiny lze vypočítat pomocí vzorce:

$$E_{vte} = n \cdot P_a \cdot t_{vte} \cdot (1 - P_{ztr}) \cdot \eta_{tr}$$

Kde

E_{vte} = vyrobená energie za rok

n = počet instalovaných elektráren

P_a = výkon větrné elektrárny při průměrné rychlosti větru

t_{vte} = doba práce VTE do distribuční sítě za rok

p_{ztr} = poměrné ztráty ve vedení [%]

η_{tr} = účinnost transformátoru

P_a odečteme z grafu pro průměrnou rychlost $6,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1} \rightarrow 400 \text{ kW}$

$$E_{vte} = 5 \cdot 0,4 \cdot 8760 \cdot (1 - 0,048) \cdot 0,95$$

$$E_{vte} = 15845 \text{ MWh}$$

Pro další výpočty bude použit údaj o výrobě z reálné VtE stejného typu, která je provozována v Tulešicích. Z dat o výrobě bylo odečteno, že za rok se v 1 VtE o instalovaném výkonu 2 MW vyrobilo 3 448 MWh elektřiny, což odpovídá zhruba množství energie pro náš větrný park:

$$E_{vte-real} = 17 \text{ GWh}$$

8 Varianta voda a kombi

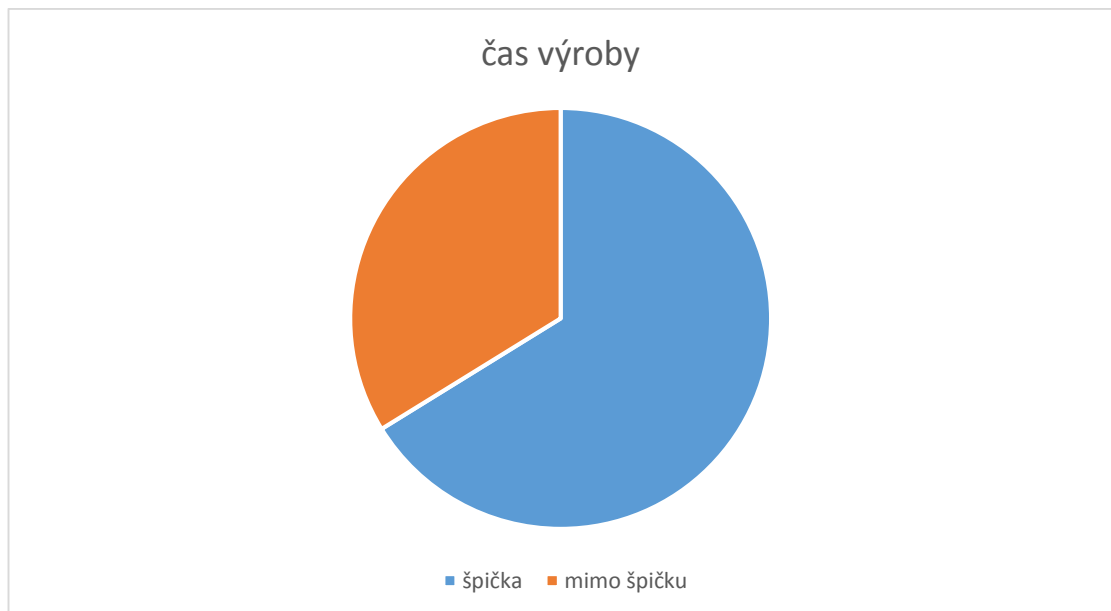
8.1 Popis

Druhou variantou je propojení VTE s přečerpávací nádrží v Dalešicích. Jedná se v podstatě o izolovaný ostrov od ES. Při této variantě by bylo nutné dostavět elektrické vedení mezi větrným parkem a hrází v Dalešicích. Dále čerpací systém, který by nezávisle na vodní turbíně mohl čerpat vodu z vodní nádrže Mohelno do vodní nádrže Dalešice. Tato varianta nabízí zajímavé možnosti využití, protože po připojení čerpadla k síti by mohla nabízet dynamické, statické a kompenzační služby. Také z ekonomického hlediska je varianta zajímavá, protože v době levného proudu použijí energii na čerpací cyklus a v době špiček vyprodukují více elektřiny. Nevýhodou této varianty je značná vstupní investice. Dále zbytečné ztráty energie, která mohla být dodána hned do přenosové soustavy.

Třetí varianta kombi uvažuje rozšíření varianty voda o možnost propojení se sítí a v době špiček dodávat elektřinu z VtE přímo do sítě bez nutnosti čerpání vody a zpětného získávání elektřiny. Tímto se zvýší množství elektřiny dodané do sítě, protože elektřina dodaná přímo ve špičkách nebude mít takové ztráty jako elektřina vyrobená z akumulované vody. Tato varianta vyžaduje kromě propojení se sítí také systém řízení.

mimo špičku		špička	
práce [GWh]	výkon [%]	práce [GWh]	výkon [%]
11,4	66,2	5,8	33,8

Tabulka 3 Rozdělení výroby dle času výroby [23]



Graf 3 Podíl výroby dle času

Z grafu vyčteme, že třetina vyrobené elektřiny je vyrobená v časovém pásmu špiček, tedy v hodinách od 6 do 10 a od 16 do 20. Objem vyrobené elektřiny je tedy v čase rovnoměrně rozprostřen.

8.2 Ztráty na vedení

Spočítáme, zda bude potřeba do našeho projektu zařadit kompenzaci. Předpokládejme vedení o kmenovitém napětí 22kV s impedancí $Z_k = 0,32 + j0,34 \Omega/\text{km}$ a délka instalovaného vedení je stanovena na 7,5 km. Při uvažovaném přenášeném výkonu $S = 10 \text{ MVA}$ s účinníkem

$\cos\varphi = 0.8$ se budeme snažit zmenšit úbytek napětí na $\frac{1}{2}$ oproti úbytku, který dostaneme bez zapojení kondenzátoru. Počáteční napětí je stanoveno na $U_1 = 1,05 U_n$. [22]

Úbytek napětí bez kondenzátoru :

$$\Delta u = \frac{1}{U_n} (R_k \cdot I \cdot l + X_k \cdot I \cdot I_j) = \frac{1}{U_n^2} (R_k \cdot I \cdot P + X_k \cdot I \cdot Q)$$

$$\Delta u = \frac{1}{22^2} (0,32 \cdot 7,5 \cdot 8 + 0,34 \cdot 7,5 \cdot 6) = 0,07 \text{ kV}$$

S kondenzátorem:

$$\Delta u_k = \frac{\Delta u}{2} = \frac{1}{U_n^2} (R_k \cdot l \cdot P + (X_k - X_c) \cdot l \cdot Q)$$

$$X_c = \frac{2R_k \cdot l \cdot P - \Delta u \cdot U_n^2}{2 \cdot Q} + X_k \cdot l$$

$$X_c = \frac{2 \cdot 0,32 \cdot 7,5 \cdot 8 - 0,07 \cdot 22^2}{2 \cdot 6} + 7,5 \cdot 0,34 = 2,88 \Omega$$

Napětí na konci vedení bez kompenzace:

$$U_2 = U_1 - \Delta u \cdot U_n = 1,05 \cdot 22 - 0,07 \cdot 22 = 21,53 \text{ kV}$$

Proud:

$$I_2 = I_1 = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 21,53} = 0,27 \text{ kA}$$

Ztráty :

$$\Delta S_z = 3 \cdot R_k \cdot l \cdot I_2^2 = 3 \cdot 0,32 \cdot 7,5 \cdot 0,27^2 = 0,52 \text{ MVA}$$

S kompenzací:

Napětí:

$$U_{2k} = U_1 - \Delta u_k \cdot U_n = 1,05 \cdot 22 - \frac{0,07}{2} \cdot 22 = 22,32 \text{ kV}$$

Proud:

$$I_{2k} = I_{1k} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U_{2k}} = \frac{10}{\sqrt{3} \cdot 22,715} = 0,26 \text{ kA}$$

Ztráty ve vedení:

$$\Delta S_z = 3(R_k \cdot l) \cdot I_{2k}^2 = 3 \cdot 0,32 \cdot 7,5 \cdot 0,26^2 = 0,48 \text{ MVA}$$

$$\Delta S_z = \frac{\Delta S_z}{S} \cdot 100 = \frac{0,48}{10} \cdot 100 = 4,8\%$$

Trojfázový výkon kondenzátoru:

$$Q_c = 3 \cdot X_c \cdot I_{2k}^2 = 0,58 \text{ MVar}$$

Napětí 22kV je zbytečně předimenzované z hlediska velikosti přenášeného výkonu. Ale vzhledem k uvažované možnosti vyvedení výkonu do distribuční soustavy ve variantě kombi je použito z hlediska kompatibility s distribuční soustavou.

8.3 Čerpadlo

Pro případ vodní elektrárny musíme vybrat čerpadlo, které splňuje tyto požadavky: maximální výtlačná výška, max. příkon, průtok.

výška spádu hráze h_f [17]:

$$h_f = 90,7 \text{ m}$$

Maximální příkon je dán maximálním výkonem, který je možno k vodní elektrárně přenést.

$$P_w = P \cdot \eta_{trafo} \cdot \eta_{trafo} \cdot \eta_{vedení} = 8,6 \text{ MW}$$

kde $\eta_{trafo} = 0,95$

$\eta_{cedení} = 0,952$

Orientační maximální průtok zjistíme ze vzorce

$$P_w = c_p \cdot Q \cdot h_f$$

kde c_p konstanta výkonu pro střední VE do 50 MW = 8,5

$$Q = 11,16 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Těmto požadavkům vyhovuje vertikální čerpadlo od rakouské firmy Andritz

Vertikální čerpadlo	
h_m	100 m
Q_m	19.4 m ³ /s
P_m	10 MW

Obr. 8 Vlastnosti čerpadla od firmy Andritz [18]

Účinnost se pohybuje kolem 80%. Přesné výkonnostní grafy závislé na zatížení nejsou v této době dostupné, protože se jedná o nový model a firma Andritz ho momentálně testuje. [18]

$$\text{Celková účinnost } \eta_C = \eta_{tr} \cdot \eta_{vedeni} \cdot \eta_{čerpadlo} \cdot \eta_{turbina} \cdot \eta_{tr}$$

$$\eta_C = 0,995 \cdot 0,952 \cdot 0,8 \cdot 0,85 \cdot 0,995 = 64 \%$$

$$\text{kde } \eta_{tr} = 0,995$$

$$\eta_{vedeni} = 0,952$$

$$\eta_{čerpadlor} = 0,8$$

$$\eta_{turbina} = 0,85$$

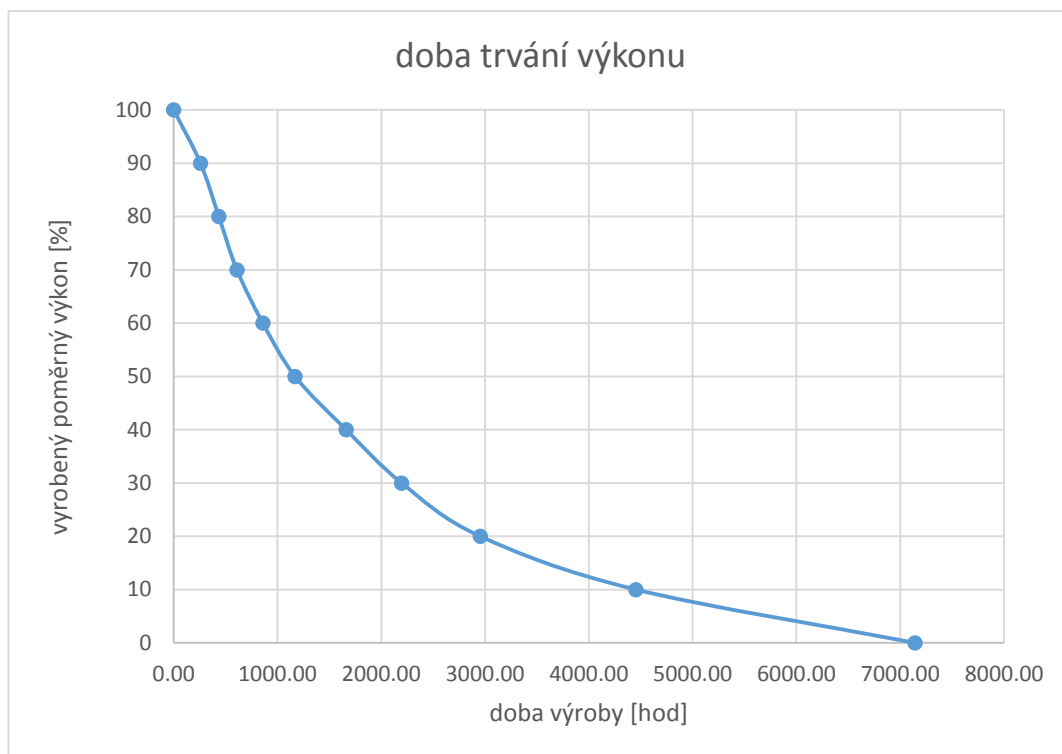
9 Ekonomické hodnocení variant

V druhé části mé práce se zaměřím na ekonomická hlediska realizace variant uvedených již dříve. Varianta Voda bude rozdělena na podkapitoly, kde čerpadlové motory budou dimenzovány na různé výkony vůči maximálnímu uvažovanému výkonu celé soustavy větrných elektráren

9.1 Varianty

Díky výrobním datům od firmy V-STAV s.r.o. za období leden až listopad 2014 můžeme zjistit, jak skutečná výroba odpovídá instalovanému maximálnímu výkonu elektrárny. Tyto údaje jsou klíčové pro uvažování subvariant k variantě Voda. Lze z nich odečíst, kolik vyrobené energie bychom ztratili, pokud by se přistoupilo redukci maximálního výkonu čerpadel. Tyto subvarianty mají nevýhodu zbytečné eliminace jistého množství vyrobené elektřiny. Jenže plný výkon větrné elektrárny není využíván příliš často a poddimenzování motorů by přineslo úspory počáteční

investice. Pro přehlednost následujících variant byl na základě výrobních údajů zpracován graf, který ukazuje procentuální využití instalovaného výkonu větrné elektrárny po dobu 1 roku.



Graf 4 doba trvání výkonu

9.2 Voda

9.2.1 Čerpadlové motory 100%

Zde je uvažována nezměněná varianta Voda, kdy na základě údaje o maximálním instalovaném výkonu Větrného parku budou také dimenzovány výkony čerpadel.

9.2.2 Čerpadlové motory 90%

V této podkapitole jsou motory dimenzovány na 90% maximálního výkonu, který lze získat z větrných elektráren.

Více jak 90 %			
čas [%]	poměrná práce [%]	čas [h]	práce [GWh]
2.95	14.24	237.00	2,3

Tabulka 3 Výroba v rozsahu 90-100% jmenovitého výkonu VtE, zdroj [23]

Z tabulky můžeme vyčíst, že i když byl maximální instalovaný výkon v rozsahu 90 – 100% využíván v rámci sledovaného období jen zlomkově a to necelými třemi procenty (v absolutních číslech 237 hodin) bylo množství energie vyrobené v tomto exponovaném rozsahu mnohonásobně větší – a to 14,2 procenta celkového objemu vyrobené elektřiny. Můžeme tedy říci, že při dimenzování čerpadlových motorů na 90% vůči instalovanému výkonu větrného parku ztratíme možnost využít 14,2% (2270 MWh) energie vyrobené větrnými elektrárnami.

9.2.3 Čerpadlové motory 80%

Tato subvarianta uvažuje použití motorů, které budou dimenzovány na 80% maximálního instalovaného výkonu VtE.

<u>Více jak 80 %</u>			
čas [%]	poměrná práce [%]	čas [h]	práce [GWh]
7.91	37.10	399.00	0,36

Tabulka 2 Výroba v rozsahu 80-100% jmenovitého výkonu VtE, zdroj [23]

Tabulka nám ukazuje, že v této variantě je čas, kdy elektrárny vyrábějí elektřinu na více než 80% za sledované období, o hodně vyšší, než v předchozí podkapitole. Jedná se téměř o 8 % celkového času provozu VTE. Ještě více ovšem stoupl podíl vyrobené elektřiny. Ten činí 37 % z celkově vyprodukované energie větrným parkem. Pokud bychom tedy čerpadlové motory dimenzovali na 80% instalovaného výkonu větrného parku, tak bychom nevyužili 37% celkově vyprodukované elektřiny. V absolutních číslech se jedná o 3645 MWh.

9.2.4 Výběr varianty

Vzhledem k omezenému rozsahu této práce budou varianty 80% a 90% zanedbány. Dále bude počítáno pouze se subvariantou, která uvažuje dimenzování čerpadel na maximální instalovaný výkon VtE.

10 Metody hodnocení investice

Posuzování všech uvažovaných variant může být provedeno několika způsoby. Celkově může být hodnocení efektivnosti investice vyhodnoceno metodami, které jsou jednoduché z hlediska jejich výpočtu, protože stačí získat jeden ukazatel. Další jsou složitější a komplexnější a k jejich řešení je potřeba použít úrokový počet.

Dle odborné literatury můžeme hodnocení investic dělit na dvě skupiny:

Metody statické - neberou v úvahu faktor času

Metody dynamické - berou v úvahu faktor času

Statické metody, do nich patří například metoda výnosnosti investic nebo metoda doby splacení jsou jednoduché na spočítání, ovšem při hodnocení významnějších dlouhodobých projektů už jsou nedostatečné a až příliš zjednodušující. Pro náročnější projekty se tedy používají metody dynamické, které aktualizují (diskontují) vstupní data a uvažují tedy časový faktor. Mezi ně patří například metoda čisté současné hodnoty a vnitřního výnosového procenta.

10.1 Metoda výnosnosti (rentabilita) investic

Výsledek, který posuzují, je zisk. Je to nejjednodušší metoda, která nabízí rychlé a názorné zobrazení rentability investice:

Výnosnost investice (ROI Return of Investment)

$$r_1 = \frac{Z_r}{IN}$$

Kde: Z_r = průměrný čistý roční zisk plynoucí z investice

IN = náklady na investici

10.2 Metoda doby splacení

„Dobou splacení je takové období (počet let), za které tok výnosů (cash flow) přinese hodnotu rovnající se původním nákladům na investici.“ [24] Doba splacení (DS) se spočítá v případě konstantních výnosů v průběhu let dle vzorce:

$$DS = \frac{\text{investiční výdaje}}{\text{roční cash flow}}$$

Pokud jsou výnosy variabilní, pak sčítáme roční cash flow do okamžiku, kdy se součet rovná investičním nákladům.

Vybírám vždy nejnižší dobu splacení. Nutná podmínka je, že doba splacení je menší než celková doba životnosti investice. Největší nevýhodou této metody je, že nebere v úvahu výnosy po době splacení. Nabízí však jinou důležitou informaci – riziko investice a míra likvidity investice. Kratší doba splacení je menším rizikem a původní kapitál v ní bude vázán kratší dobu než v investici s delší dobou splacení.

10.3 Metoda čisté současné hodnoty

Čistá současná hodnota investice (Net Present Value of Investment = NPV) patří mezi dynamické metody hodnocení, které uvažují časově proměnnou hodnotu peněz. Spočítáme jí rozdílem současnou hodnotou cash flow a náklady na investici:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} - IN \stackrel{!}{=} MAX$$

CF – očekávaná hodnota cash flow v období t

IN – investiční výdaje

k – kapitálové náklady na investici (podniková diskontní sazba)

n- doba životnosti

t – období 1 až n

Posouzení NPV: Je-li výsledek kladný, pak můžeme investici přijmout (resp. zvolit tu s větším NPV). Při výsledku NPV=0 jsme dosáhli chtěného výnosnosti investovaných peněz, tudíž se pořád vyplatí do projektu investovat. Pokud je NPV záporné, pak výnosnost projektu nedosahuje našich požadavků na výnosnost a do projektu neinvestujeme. [28]

10.4 Metoda vnitřního výnosového procenta

Stejně jako metoda čisté současné hodnoty spadá do kategorie dynamických metod a při svém výpočtu vychází ze současné hodnoty. Do výpočtu vnitřního výnosového procenta (Internal rate of Return = IRR) se oproti předešlé metodě ovšem nezadává diskontní míra, ale naopak se hledá její hodnota, kdy se investice na výstavbu budou rovnat současné hodnotě očekávaných výnosů:

$$\sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} = IN \quad IRR \stackrel{!}{=} MAX$$

Neboli chci získat NPV = 0. Metoda tedy udává předpokládanou výnosnost investice. Tu lze porovnat s požadovanou výnosností. Pokud byla na krytí investice vzata půjčka, pak IRR musí být vyšší než úroková míra. Pokud se porovnávají investice z hlediska IRR, volíme tu s vyšším vnitřním výnosovým procentem. Spolu s NPV patří mezi nejlepší metody na hodnocení efektivnosti investic. [24][25]

11 Příjmy za elektřinu

11.1 Počáteční předpoklady

Při srovnání všech uvažovaných variant se bude vycházet ze stejných počátečních podmínek. Ekonomické předpoklady budou upřesněny takto:

- Ekonomická životnost všech variant je počítána na dobu životnosti VtE , která je stanovena na 20 let.
- Výkupní cena elektřiny z větrných elektráren bez veškerých podpor je odhadnuta na 800 Kč/MWh a z vodních elektráren na 3600 Kč/MWh
- Cizí kapitál bude tvořit 80% bude půjčen na dobu deseti let s úrokem 2,5%.
- Nepředpokládá se meziroční růst výkupních cen.
- Společnost provozující obě elektrárny nebude podnikat v jiných oborech, a tudíž nebude aplikován daňový štít.

11.2 Provozní výnosy

Veškeré provozní výnosy u všech variant jsou dány pouze prodejem elektrické energie. U varianty Voda, tedy elektřinou vyrobenou vodní elektrárnou. U varianty Sít' a Sít' špička bude část výnosů tvořena prodejem elektřiny vyrobené vodní elektrárnou a druhá část vytvářena prodejem elektrické energie generované větrným parkem.

Roční provozní výnosy lze stanovit:

$$PV = (E_{mve} \cdot c_{voda} + E_{vte} \cdot c_{vitr}) \text{ (Kč)}$$

Kde

c_{voda} = výkupní cena elektřiny z vodní elektrárny

c_{vitr} = výkupní cena elektřiny z větrné elektrárny

x = rok, pro který počítám PV

11.3 Provozní výdej

Druhou nezbytnou složkou pro zjištění provozního zisku je stanovení provozních výdajů, které budou uvažovány v roční výši 1% z investičních výdajů a z jejich dvouprocentním růstem každý rok.

$$PN_x = IV \cdot 0,01 \cdot 1,02^{x-2015} \text{ (Kč)}$$

Kde

PN_x = provozní výdaje daného roku v Kč

IV = investiční výdaje v Kč

Investiční výdaje jsou patrné z následující tabulky

Zařízení	Cena [mil Kč]
VTe	70
Vedení	5
Trafo	1,5
Řídící systém	1,5
Čerpadlo	15
Kompence	0,5

Tabulka 5 Investiční výdaje jednotlivých zařízení

11.4 Odpisy

Daňové odpisy budou rozděleny do odpisových skupin, dle zákona o daních č.586/1992 Sb. VTe a vedení jsou skupina č. 4 s časem odpisování 20 let, čerpadlo je ve druhé skupině a ostatní stroje a zařízení spadají pod skupinu č.3. Všechna zařízení kromě systému řízení, které bude po 10 letech vyměněno, budou po uplynutí odpisové doby ponechány v zařízení. Jejich výměna není po technické stránce nutná. [26]

Odpisovat majetek lze lineárně (rovnoměrně či zrychleně). Zrychlené odpisování se v našem případě použije pro počítání variant, kde se bude uvažovat daňový štít.

Vzorec pro lineární odpisy je: $O_n = \frac{PC \cdot k}{100}$

Kde: O = odpis v daném roce

PC = pořizovací cena

k = koeficient dle tabulky

n = odpisový rok

Lineární odpisování

zařízení	skupina	doba odpisování [roky]	1. rok [%]	následující roky [%]
čerpadlo	2	5	11,0	22,25
transformátor 1	3	10	5,5	10,5
transformátor 2	3	10	5,5	10,5
systém řízení	3	10	5,5	10,5
vedení	4	20	2,15	5,15
větrná elektrárna	4	20	2,15	5,15
kompence	3	10	5,5	10,5

Tabulka 6 Odpisové skupiny zařízení, zdroj [26]

Vzorec pro zrychlené odpisování:

$$\text{V prvním roce: } O_n = \frac{PC}{k}$$

$$\text{V dalších letech: } O_n = \frac{2*ZC}{k-n}$$

Kde: PC = pořizovací cena

ZC = zůstatková cena

k = koeficient dle tabulky

n = rok odepisování

Zrychlené odpisování

zařízení	skupina	doba odpisování [roky]	koeficient 1. rok	koeficient následující roky
čerpadlo	2	5	5	6
transformátor 1	3	10	10	11
transformátor 2	3	10	10	11
systém řízení	3	10	10	11
vedení	4	20	20	21
větrná elektrárna	4	20	20	21
kompence	3	10	10	11

Tabulka 7 Zrychlené odpisy

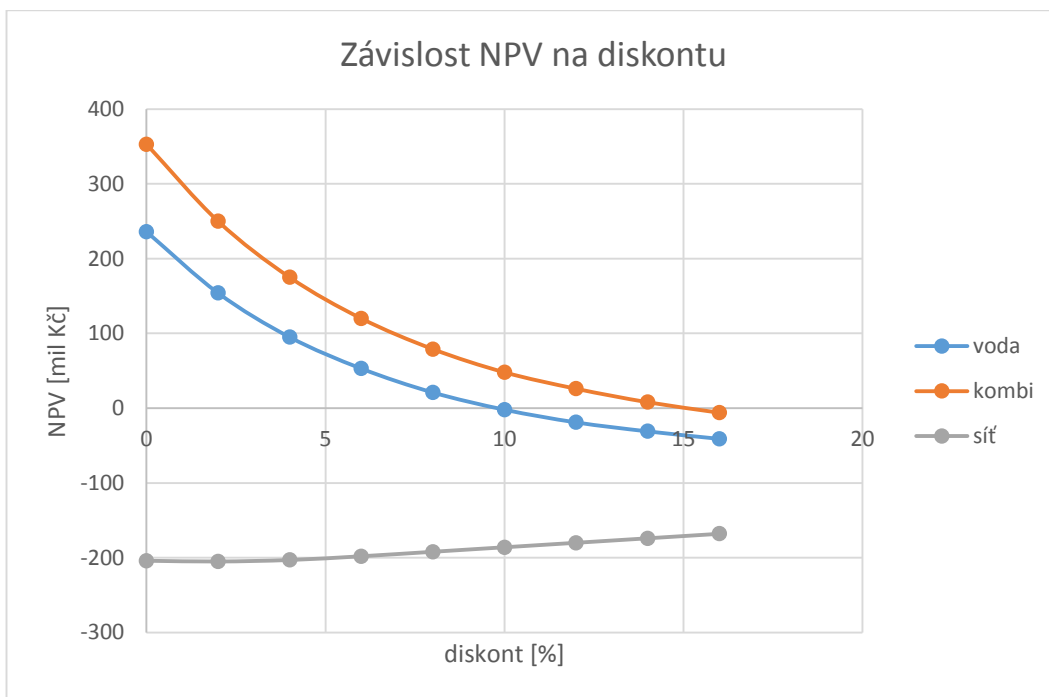
12 NPV v závislosti na změně vnějších faktorů

12.1 Citlivostní analýza

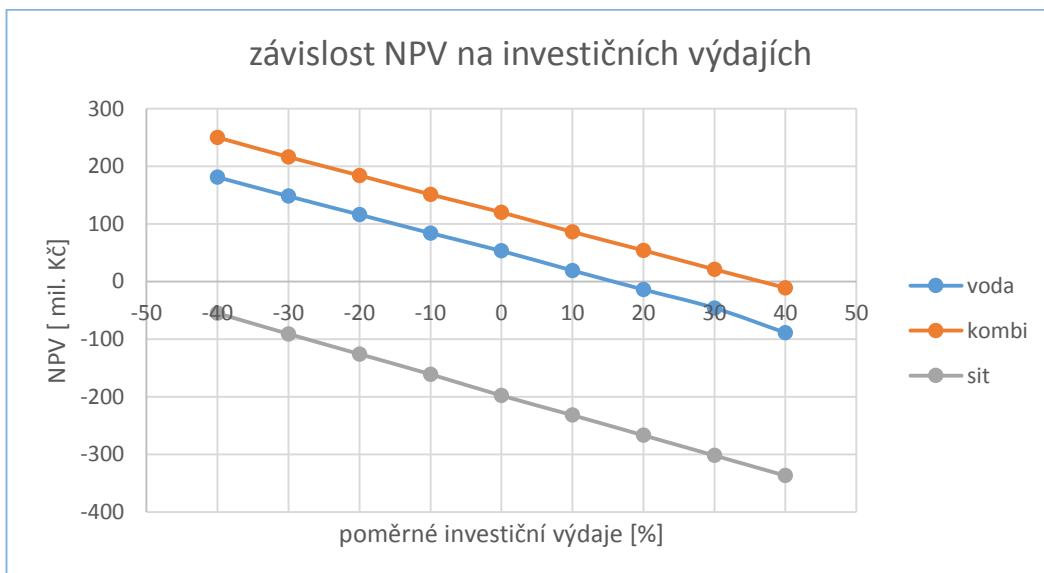
Cílem citlivostní analýzy je sledování citlivosti daného kritéria hodnocení rizikových variant (v našem případě NPV) na změny hodnot faktorů rizika, které mohou nastat a které přímo ovlivňují dané kritérium. [30]

12.2 Zpracování grafů citlivostní analýzy

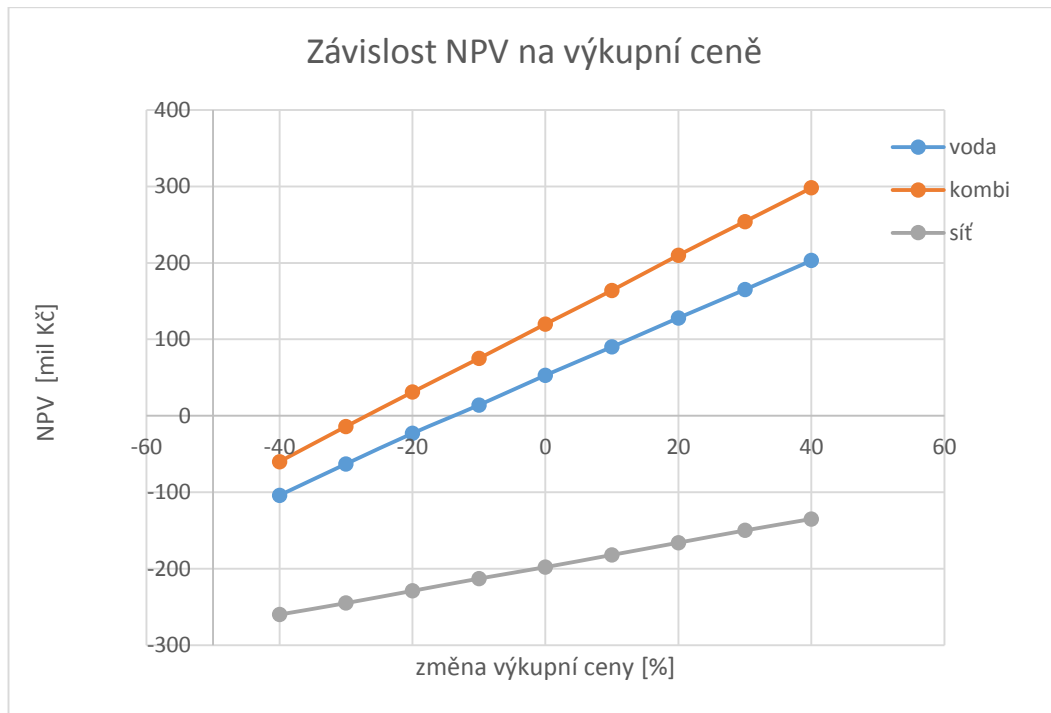
Pro všechny tři uvažované varianty budou citlivostní analýzy NPV na různých proměnných faktorech. První z nich je závislost čisté současné hodnoty na míře diskontu. Druhý graf zachycuje závislost NPV na investičních výdajích na stavbu. Poslední graf ukazuje, jak je NPV ovlivněno výkupní cenou elektřiny vyrobené z VE.



Graf 5 Závislost NPV na míře diskontu



Graf 3 Závislost NPV na investičních výdajích



Graf 4 Závislost NPV na výkupní ceně

12.3 Interpretace grafů

Z prvního grafu lze vyčíst, že závislost NPV na míře diskontu není lineární. S přibývajícím hodnotou míry diskontu klesá hodnota NPV (u variant Voda a Kombi). Tam, kde se křivka protne s x-ovou osou lze odečíst hodnotu IRR. U varianty Kombi při míře diskontu = 15% a u varianty voda při diskontní míře = 10%. Varianta Síť ve sledovaném rozsahu diskontní míry od 0 do 16% vodorovnou osu neprotíná.

V druhém grafu je znázorněno, jak investiční výdaje ovlivňují velikost NPV v různých variantách. Diskontní míra je v tomto případě stanovena na 6%. Výkupní cena elektřiny z vody je odhadnuta na 3.6 Kč/kWh a cena elektřiny z VtE je stanovena na 0.8 Kč/kWh. Z tohoto srovnání vychází nejlépe varianta kombi, která dosahuje nejvyššího NPV při jakékoli uvažované změně investice. Varianta Voda bude rentabilní (vykazovat kladné NPV) až do nárůstu investičních výdajů o 16%.

Poslední graf zachycuje změnu čisté současné hodnoty variant na výši výkupní ceny elektřiny. Diskontní míra je stanovena na 6%. Nejlépe se jeví z tohoto grafu varianta kombi. Dále varianta voda a nejhůře vychází varianta síť, která pomaleji reaguje na změnu výše výkupních cen, z důvodů její několikanásobně nižší výkupní ceny, než která je uvažována pro ostatní dvě varianty.

13 Analýza variant

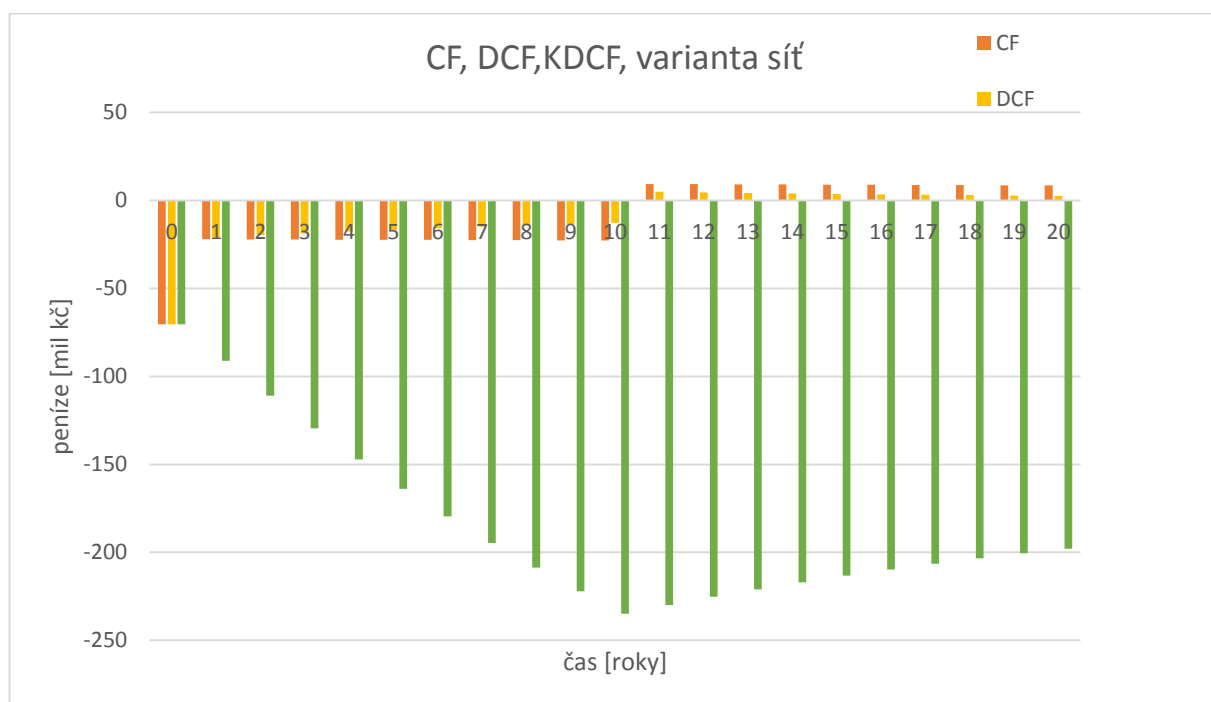
Podrobný výpočet variant je uveden tabulkách, které jsou přiloženy v příloze. Diskontní míra pro výpočet čisté současné hodnoty byla uvažována 6 % a výkupní cena elektřiny z VE 3,6 Kč/kWh a VtE 0.8 Kč/kWh. Půjčka byla počítána s úrokem 2,5 % na dobu 10 let. Ve všech variantách tvoří cizí kapitál 80% investičních výdajů. Daň z příjmu pro právnické osoby je uvažován 19 %.

	NPV [mil. Kč]	IRR [%]
voda	-41	10
sít	-198	-10
kombi	120	15

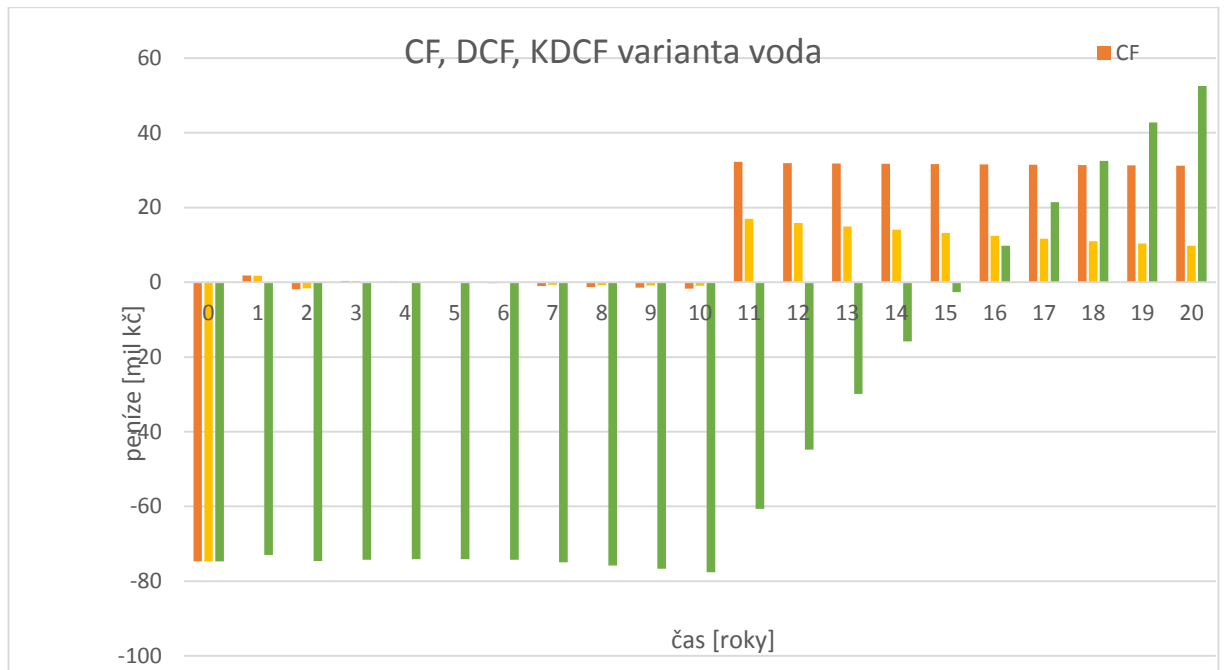
Tabulka 5 Srovnání ekonomických ukazatelů pro různé varianty bez daňového štítu

	NPV [mil]	IRR [%]
voda	60	11
sít	-168	-9
kombi	127	16

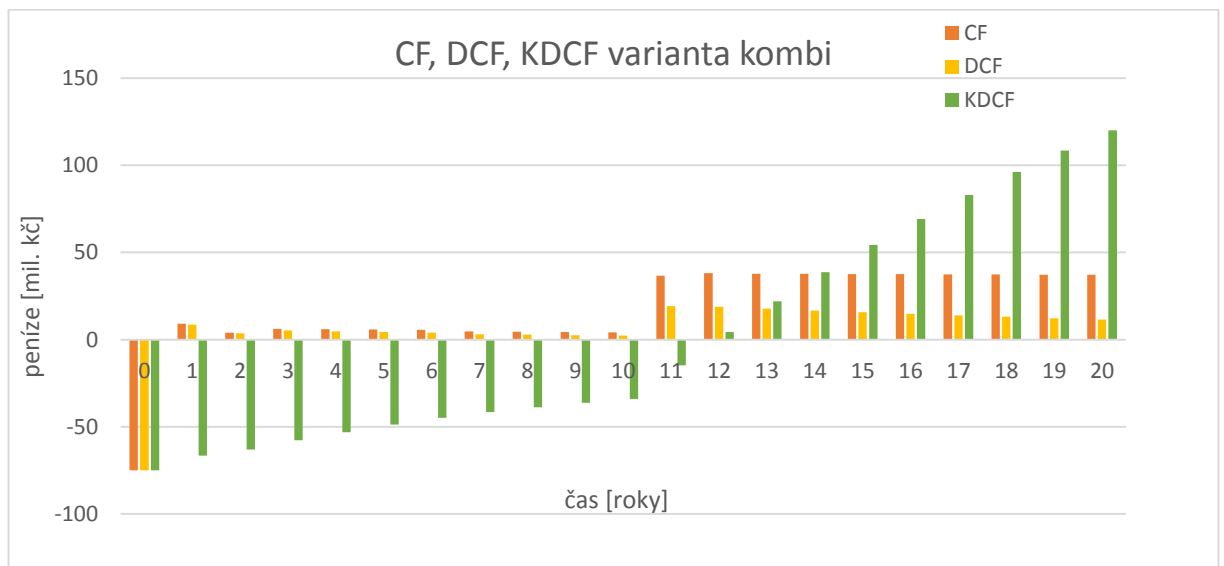
Tabulka 6 srovnání ekonomických ukazatelů s daňovým štítem



Graf 8 Cashflows varianta síť



Graf 9 Cashflows varianta voda



Graf 10 Cashflows varianta kombi

Po provedení výpočtu NPV a IRR pro všechny tři varianty můžeme zhodnotit investice z hlediska NPV nebo z hlediska IRR. Pořadí vyhodnocených variant je stejné u obou variant. Ukazatel NPV je kladný pro variantu Kombi (120 mil. Kč) a Voda (53 mil. Kč). Varianta Síť má NPV záporné. Dle NPV lze doporučit jen varianty s kladným výsledkem – varianty Kombi a Voda.

Vyhodnocením dle ukazatele vnitřního výnosového procenta vychází kladně varianty Kombi (15 %) a Voda (10 %), poslední varianta Síť má hodnotu IRR zápornou (-10 %). V případě,

kdy si na projekt vezmu půjčku, mělo by platit $IRR > \text{úroková míra}$, pak lze doporučit investovat do varianty Kombi nebo Voda. [25]

Pro všechny tři varianty byl proveden výpočet ekonomických ukazatelů za předpokladu uvažování daňového štítu. To pro případ, že by investice byla realizována firmou s větším portfoliem. Z tabulky č.9 lze vidět, že daňový štít nejvíce pomůže nejnevýhodnější variantě Síť. Dle ukazatele IRR si všechny varianty polepší o jeden procentní bod.

14 Závěr

Po technické stránce byly zváženy tři varianty pro způsob provozování vodní a větrné elektrárny.

V první variantě (Síť) bylo spočítáno, že 5 VtE při průměrné rychlosti větru vyrobí teoreticky za rok 16 *GWh*. Tato spočítaná hodnota se neliší o tolik oproti reálné hodnotě z již fungující VtE – 17 *GWh*. Nicméně lze očekávat, že hodnoty se budou mírně lišit v závislosti na roku měření.

V druhé variantě s názvem Voda bylo uvažováno připojení VtE na čerpadlo, které přečerpává vodu do horní nádrže vodní elektrárny. Výpočtem byla zjištěna účinnost procesu 64%. Tyto ztráty mohou být zcela kompenzovány rozdílnými výkupními cenami elektřiny ve špičce a mimo špičku a také možností poskytování dynamických, statických a obnovovacích služeb.

Třetí varianta, která uvažuje propojení prvních dvou variant, je sice z hlediska technického nejvíce náročná – oproti variantě voda je nutné zařídit možnost vyvedení vyrobené elektřiny přímo do sítě a také propojení elektráren bude řešeno na vyšší napěťové hladině z důvodů možnosti napojení k distribuční síti, tudíž je nutná instalace transformátorů a naddimenzování propojovacího vedení.

Pro ekonomické zhodnocení projektu byly uvažovány varianty Voda, Síť a jejich kombinace nazvaná Kombi. Z důvodů absence údajů o výkupní ceně elektřiny z vodních a větrných zdrojů byl proveden odhad cen na 3,6 Kč/kWh z VE a 0,8 Kč/kWh z VTe. Dále byly dopočítány ukazatelé hodnocení efektivnosti investice pro všechny varianty.

Z dynamických metod NPV a IRR vyplynulo, že při námi stanovených výchozích podmínkách se vyplatí dvě z uvažovaných variant. Nejvýhodnější by byla investice do varianty Kombi (NPV = 120 mil. Kč a IRR = 15 %), poté do Vody (NPV = 53 mil Kč a IRR = 10 %) a nejhůře z hodnocení

vyšla varianta Síť (NPV = -198 mil. Kč a IRR = -10 %). Lze tedy říci, že spolupráce elektráren ve variantě Kombi a Voda by byla za daných podmínek ekonomicky výhodná i bez podpor státu na obnovitelné zdroje.

15 Zdroje

[1] TOMAN, P. *Provoz distribučních soustav*. Europrint, 2011 Praha 1. vydání, 264 s. ISBN 978-80-01-04935-8

[2] HOVORKA, F. *Technologie chemických látek*. VŠCHT v Praze, Praha 2005, ISBN 80-7080-588-9

[3] ENERGY STORAGE ASSOCIATION [online] [cit. 2014-12-6] dostupné z: <http://energystorage.org/energy-storage/technologies/hydrogen-energy-storage>

[4] SKUPINA ČEZ [online] [cit. 2014-12-6] tisková zpráva z 13. ledna 2014 dostupná z: <http://www.cez.cz/cs/pro-media/tiskove-zpravy/4528.html>

[5] WIND ENERGY FOUNDATION [online] [cit. 2014-12-6] dostupné z: <http://www.windenergyfoundation.org/about-wind-energy/history>

[6] U.S. DEPARTMENT OF ENERGY [online] [cit. 2014-12-6] dostupné z: <http://energy.gov/eere/wind/history-wind-energy>

[7] JÄGER, J. *Skript zur Vorlesung Regenerative Energiesysteme*, FAU Oktober 2013, Lehrstuhl für Elektrische Energiesysteme

[8] THE EUROPEAN WIND ENERGY ASSOCIATION [online] [cit. 2014-11-30] dostupné z: http://www.ewea.org/uploads/pics/EWEA_Wind_energy_factsheet.png

[9] THE RENEWABLE ENERGY WEBSITE [ONLINE] [cit. 2014-11-30] dostupné z: <http://www.reuk.co.uk/Savonius-Wind-Turbines.htm>

[10] BUNDESVERBAND WINDENERGIE [online] [cit. 2014-12-6] dostupné z: <http://www.wind-energie.de/infocenter/technik/anlagenkonzepte/konzepte-mit-doppelt-gespeisten-asynchrongenerator>

[11] SIEMENS [online] [cit. 2014-12-4] *Die Siemens G2 Platform* dostupné z: http://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/power-generation/renewables/wind-power/platform%20brochures/G2%20Onshore%20Platform%20brochure_German_Apr2014.PDF

[12] VESTAS, *2MW brochure* [online] [cit. 2014-12-6] dostupné z: <http://nozebra.ipapercms.dk/Vestas/Communication/Productbrochure/2MWbrochure/2MWPProductBrochure/>

[13] WIKOV [online] [cit. 2014-12-6] dostupné z: http://www.wikov.com/wind/index_cz.php?page=produkty-w2000_86tcia

[14] ENERCON [online] [cit. 2014-12-6] dostupné z: <http://www.enercon.de/de-de/ringgenerator.htm>

[15] MELICHAR, J. *Hydraulické a pneumatické stroje: část vodní turbíny*, ČVUT v Praze 2013, 1. vydání 145 s ISBN 978-80-01-05283-9

[16] ERÚ [online] [cit. 2014-12-6] dostupné z: www.eru.cz

[17] DALEŠICKÁ PŘEHRADA [online] [cit. 2014-12-6] dostupné z: <http://www.dalesickaprehrada.cz/vodni-elektrarna-dalesice/>

- [18] ANDRITZ, *Pumps portfolio* [online] [cit. 2014-12-4] dostupné z: http://grz.g.andritz.com/c/com2011/00/01/23/12391/1/1/0/772436328/oi-andritz-centrifugal_pumps_portfolio_en.pdf
- [19] ČESKÁ VODÍKOVÁ TECHNOLOGICKÁ PLATFORMA *Výroba vodíku* [online] [cit. 2014-12-6] dostupné z: <http://www.hytep.cz/cz/vodik/informace-o-vodiku/vyroba-vodiku/491-vyroba-vodiku>
- [20] ČESKÁ SPOLEČNOST PRO VĚTRNOU ENERGII [online] [cit. 2014-12-6] dostupné z: <http://www.csve.cz/>
- [21] ČESKÁ INFORMAČNÍ AGENTURA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ [online] [cit. 2014-12-6] dostupné z: http://portal.cenia.cz/eiasea/detail/EIA_JHM623
- [22] TOMAN, DRÁPALA, MIŠÁK, ORSÁGOVÁ, PARA, TOPOLANEK A KOL., *Provoz distribučních soustav*, ČVUT v Praze 2011, 1.vydání, 264 s, ISBN 978-80-01-04935-8
- [23] V-STAV a spol s.r.o. interní data
- [24] SOUKOPOVÁ, V. *Podniková ekonomika*, vydavatelství VŠCHT v Praze 2009, 2. vydání 135 s, ISBN 978-80-7080-711-8
- [25] SYNEK, M. A KOL., *Podniková ekonomika*, C.H.Beck Praha 1999 1.vydání 456 s, ISBN 80-7179-228-4
- [26] ZÁKON č.586/1992 Sb o daních z příjmů dostupné např. [online] [cit. 2015-3-21]: <http://www.podnikatel.cz/zakony/zakon-c-586-1992-sb-o-danich-z-prijmu/uplne/#p-30>
- [27] RYCHETNÍK, JANOUŠEK, PAVELKA. *Větrné motory a elektrárny*, ČVUT v Praze 1997, vydání 1., 199s, ISBN 80-01-01563-7
- [28] KOLEKTIV AUTORŮ. *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice* [online] [cit. 2015-3-21]: <https://www.cez.cz/edee/content/file/energie-a-zivotni-prostredi/oze-cr-all-17-01-obalka-in.pdf>
- [29] SORENSEN, John, SORENSEN, Jens. *Wind energy systems Optimising design and construction for safe and reliable operation*, 1st published 2011 Philadelphia, 598 pages, ISBN 978-1-84569-580-4
- [30] FOTR, ŠVECOVÁ a KOL., *Manažerské rozhodování postupy, metody a nástroje*, Praha 4, 2010, 2. Přepřacované vydání, ISBN 978- 80-86929-59-0

16 Přílohy

16.1 Příloha č. 1 Výpočet NPV a IRR pro variantu Voda

		VARIANTA VODA																				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
investice																						
rok		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
VTE		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vedení		350,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
trafa 1+2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
kompenzace		0,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
čerpadlo		15,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
suma		373,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Odpisy																						
rok		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
VTE		0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00
vedení		0,00	7,53	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03
trafa 1+2		0,00	0,11	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
kompenzace		0,00	0,17	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
čerpadlo		0,00	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
suma		0,00	1,85	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34
zisky																						
rok		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
investice		373,50																				
Prodej																						
půjčka		298,80																				
splatná částka		341,41	34,14	34,14	34,14	34,14	34,14	34,14	34,14	34,14	34,14	34,14	34,14	34,14	34,14	34,14	34,14	34,14	34,14	34,14	34,14	34,14
úrok		7,47	6,80	6,12	5,42	4,70	3,97	3,21	2,44	1,65	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
úmor		26,67	27,34	28,02	28,72	29,44	30,18	30,93	31,70	32,50	33,31	34,14	35,00	35,87	36,75	37,64	38,54	39,44	40,34	41,24	42,14	43,04
odpisy		9,48	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99	21,99
Provozní výnosy		39,72	39,72	39,72	39,72	39,72	39,72	39,72	39,72	39,72	39,72	39,72	39,72	39,72	39,72	39,72	39,72	39,72	39,72	39,72	39,72	39,72
Provozní výdaje		3,74	3,81	3,89	3,96	4,04	4,12	4,21	4,29	4,38	4,46	4,55	4,64	4,74	4,83	4,93	5,03	5,13	5,23	5,33	5,44	5,54
EBT		19,04	7,12	7,73	8,35	8,99	12,98	13,65	14,34	15,05	15,77	16,89	16,79	16,70	16,61	16,51	16,41	16,31	16,21	16,10	16,00	16,00
Dan 19%		0,00	3,62	1,35	1,47	1,59	1,71	2,47	2,59	2,73	2,86	3,00	3,21	3,19	3,17	3,16	3,14	3,12	3,10	3,08	3,06	3,06
EAT		19,04	3,50	6,37	6,88	7,40	11,27	11,19	11,75	12,32	12,92	13,89	13,59	13,51	13,43	13,35	13,27	13,19	13,11	13,02	12,94	12,94
CF		-74,70	1,85	-1,85	0,34	0,15	-0,05	-0,25	-1,09	-1,30	-1,52	-1,74	32,17	31,87	31,79	31,72	31,64	31,56	31,48	31,39	31,31	31,22
DCF		-74,70	1,74	-1,64	0,29	0,12	-0,04	-0,18	-0,73	-0,82	-0,90	-0,97	16,95	15,84	14,91	14,03	13,20	12,42	11,69	11,00	10,35	9,73
KDCF		-74,70	-72,96	-74,60	-74,32	-74,20	-74,24	-74,41	-75,14	-75,96	-76,86	-77,83	-80,88	-85,05	-90,14	-16,11	-2,91	9,51	21,20	32,20	42,55	52,28
NPV		52,28																				
IRR		9,10																				

16.2 Příloha č. 1 Výpočet NPV a IRR pro variantu Síť

investice	VARIANTA SÍŤ																				
	rok	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
VTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
kompence	350,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
trafo 1	0,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
trafo 1	1,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
suma	352,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Odpisy																					
rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
VTE	0,00	7,53	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03
kompence	0	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
trafo 1	0,00	0,08	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
suma	0,00	7,64	18,24	18,24	18,24	18,24	18,24	18,24	18,24	18,24	18,24	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03
zisky																					
rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
investice	352,00																				
vlastní kapitál	70,40																				
Prodej																					
půjčka	281,60																				
splacená částka	321,75	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18
úrok	7,04	6,41	5,77	5,11	4,43	3,74	3,03	2,30	1,55	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
úmor	25,14	25,76	26,41	27,07	27,74	28,44	29,15	29,88	30,62	31,39	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18	32,18
odpisy	7,64	18,24	18,24	18,24	18,24	18,24	18,24	18,24	18,24	18,24	18,24	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03
Provozní výnosy	13,65	13,65	13,65	13,65	13,65	13,65	13,65	13,65	13,65	13,65	13,65	13,65	13,65	13,65	13,65	13,65	13,65	13,65	13,65	13,65	13,65
Provozní výdaje	3,52	3,59	3,66	3,74	3,81	3,89	3,96	4,04	4,12	4,21	4,29	4,36	4,46	4,55	4,64	4,74	4,83	4,93	5,03	5,13	5,13
EBT	-4,54	-14,58	-14,01	-13,42	-12,82	-12,20	-11,57	-10,92	-10,26	-9,57	-8,66	-7,5	-6,84	-6,11	-5,36	-4,61	-3,86	-3,11	-2,36	-1,61	-0,86
Dan 19%	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EAT	-4,54	-14,58	-14,01	-13,42	-12,82	-12,20	-11,57	-10,92	-10,26	-9,57	-8,66	-7,5	-6,84	-6,11	-5,36	-4,61	-3,86	-3,11	-2,36	-1,61	-0,86
CF	-70,40	-22,04	-22,11	-22,18	-22,26	-22,33	-22,41	-22,49	-22,56	-22,65	-22,73	9,36	9,28	9,19	9,10	9,01	8,92	8,82	8,73	8,63	8,53
DCF	-70,40	-20,79	-19,68	-18,63	-17,63	-16,69	-15,80	-14,95	-14,16	-13,40	-12,69	4,93	4,61	4,31	4,03	3,76	3,51	3,28	3,06	2,85	2,66
KDCF	-70,40	-91,19	-110,87	-129,50	-147,13	-163,82	-179,61	-194,57	-208,72	-222,13	-234,82	-229,89	-225,27	-220,37	-216,94	-213,18	-209,67	-206,40	-203,34	-200,49	-197,83
NPV	-197,83																				
IRR	-0,10																				

16.3 Příloha č. 1 Výpočet NPV a IRR pro variantu Kombi

investice	VARIANTA KOMBI																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
VTE	350,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
vedení	5,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
trafo 1+2	3,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
systém řízení	1,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
kompensace	0,50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
čerpadlo	15,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
suma	375,00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Odpisy																					
rok	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00
VTE	0,00	7,53	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03	18,03
vedení	0,00	0,11	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
trafo 1+2	0,00	0,17	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32	0,32
systém řízení	0,00	0,08	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
kompensace	0,00	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
čerpadlo	0,00	1,85	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34	3,34
suma	0,00	9,56	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15
zisky																					
rok	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
investice	375,00											150									
Prodej																					
půjčka	300,00																				
splatná částka	342,78	34,28	34,28	34,28	34,28	34,28	34,28	34,28	34,28	34,28	34,28	34,28	34,28	34,28	34,28	34,28	34,28	34,28	34,28	34,28	34,28
úrok	7,50	6,83	27,45	28,13	28,84	29,56	30,30	31,05	31,83	32,63	33,44	34,28	35,14	36,01	36,89	37,78	38,68	39,59	40,51	41,44	42,38
úmor	26,78	27,45	28,13	28,84	29,56	30,30	31,05	31,83	32,63	33,44	34,28	35,14	36,01	36,89	37,78	38,68	39,59	40,51	41,44	42,38	43,32
odpisy	9,56	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15	22,15
Provozní výnosy	47,06	47,06	47,06	47,06	47,06	47,06	47,06	47,06	47,06	47,06	47,06	47,06	47,06	47,06	47,06	47,06	47,06	47,06	47,06	47,06	47,06
Provozní výdaje	3,75	3,83	3,90	3,98	4,06	4,14	4,22	4,31	4,39	4,48	4,57	4,66	4,75	4,84	4,93	5,02	5,11	5,20	5,29	5,38	5,47
EBT	26,25	14,26	14,87	15,50	16,14	20,13	20,81	20,81	21,50	22,21	22,94	22,71	24,12	24,02	23,93	23,83	23,73	23,63	23,53	23,42	23,32
Dan 19%	0,00	4,99	2,71	2,83	2,94	3,07	3,83	3,83	3,95	4,08	4,22	4,36	4,51	4,58	4,66	4,75	4,84	4,93	5,02	5,11	5,20
EAT	26,25	9,27	12,16	12,67	13,19	17,07	16,98	17,54	18,12	18,72	18,72	18,35	19,80	19,44	19,36	19,28	19,20	19,12	19,04	18,95	18,86
CF	-75,00	9,03	3,97	6,17	5,98	5,78	5,58	4,73	4,52	4,30	4,08	3,63	3,808	3,72	3,65	3,57	3,49	3,40	3,32	3,23	3,15
DCF	-75,00	8,52	3,53	5,18	4,74	4,32	3,93	3,15	2,84	2,55	2,28	1,930	1,893	1,769	1,665	1,568	1,476	1,389	1,307	1,231	1,158
KDCF	-75,00	-66,48	-62,95	-57,76	-53,03	-48,71	-44,78	-41,63	-38,79	-36,24	-33,96	-14,67	4,26	21,95	38,60	54,27	69,03	82,92	95,99	108,30	119,88
NPV																					
IRR																					