



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta elektrotechnická**

**Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**

# **Využití větru pro vytápění**

## **Wind use for heating**

Bakalářská práce

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student: **Grygarová Johana**

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

Název tématu:

### Využití větru pro vytápění

*Pokyny pro vypracování:*

1. Rešerše možností využití větru pro vytápění
2. Problematika dopravy a akumulace tepla
3. Problematika měření větrných poměrů
4. Návrh variant využití větru a jejich hodnocení z hlediska projektu

*Seznam odborné literatury:*

1. Kohout P.: Peníze, výnosy a rizika. Praha: Ekopress, 1998.
2. Rychetník V.: Větrné motory a elektrárny 1. ČVUT, 1997.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Miroslav Vitek, CSc.

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015

*Doc. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.*

*Vedoucí katedry*



*Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.*

děkan

V Praze dne 10.2.2014

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala sama a veškeré použité zdroje informací jsem uvedla v seznamu na konci této práce. Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu zákona §60 Zákona č.121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

*„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“*

V Praze dne 19.5.2014

  
Johana Grygarová

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala především vedoucímu své práce za cenné rady, ochotu a pomoc. Mé díky patří také rodině a přátelům, s jejichž morální podporou šlo vše snáze.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou využití větru pro vytápění. Její náplní je rešerše možností využití větrné energie, následné navržení a technicko-ekonomické porovnání variant kombinujících větrnou elektrárnu s topným systémem. Rozhodujícími prvky jsou potřebný výkon, výběr větrné elektrárny a způsobu vytápění.

**Klíčová slova:** větrná elektrárna, vítr, vytápění, tepelné čerpadlo, ekonomické vyhodnocení

## **Abstract:**

This thesis deals with the wind use for heating. The goal is the research of possibility of the use of the wind energy, then proposal and techno-economic comparison of several variants combining wind turbine with heating system. Determining elements are the necessary power, the choice of the turbine and the manner of heating.

**Keywords:** wind turbine, wind, heating, heat pump, economic evaluation

# 1 Obsah

1	Obsah .....	6
2	Úvod.....	8
3	Rešerše možností využití větru pro vytápění .....	10
3.1	Savoniův rotor .....	11
3.2	Darrierův rotor .....	12
3.3	Rotory s horizontální osou rotace .....	14
4	Problematika dopravy a akumulace energie .....	16
4.1	Elektrické vytápění do odporu .....	16
4.2	Tepelné čerpadlo s elektrickým generátorem .....	17
4.3	Tepelný generátor.....	19
4.4	Mechanický pohon tepelného čerpadla .....	20
5	Problematika měření větrných poměrů .....	21
5.1	Vítr .....	21
5.2	Měření větrných poměrů .....	22
5.3	Větrné podmínky v dané lokalitě .....	23
6	Návrh variant využití větru a jejich hodnocení z hlediska projektu .....	26
6.1	Kalkulace variant .....	26
6.1.1	Tepelné čerpadlo napájené z elektrizační soustavy .....	27
6.1.2	Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch v kombinaci s větrnou elektrárnou .....	29
6.1.3	Tepelné čerpadlo vzduch-voda v kombinaci s větrnou elektrárnou .....	30
6.1.4	Elektrické podlahové vytápění napájené generátorem větrné elektrárny .....	32
6.1.5	Větrná elektrárna pohánějící kompresor tepelného čerpadla.....	33
6.2	Ekonomické vyhodnocení jednotlivých variant.....	35
6.3	Citlivostní analýza.....	37
6.3.1	Diskont.....	37
6.3.2	Cena elektřiny .....	38
6.3.3	Nárůst či pokles ceny za kWh.....	39
7	Závěr .....	40

8	Zdroj.....	42
9	Seznam obrázků.....	44
10	Seznam tabulek.....	45
11	Seznam grafů .....	45

## 2 Úvod

Vítr se stal pomocníkem člověka už v dávné historii. Vyspělé starověké civilizace se naučily využívat jeho sílu – Peršané, Číňané i Egypťané jím poháněli své jednoduché stroje k mletí obilí či čerpání vody. V Evropě se první větrné mlýny objevují až ve druhém tisíciletí našeho letopočtu, jejich užití mělo však ve své době poměrně zásadní význam – vždyť bez nich si kupříkladu holandskou krajinu nedokážeme představit ani dnes! Tato zařízení však byla v průběhu 20. století nahrazována stroji poháněnými energií elektrickou získanou zejména spalováním fosilních paliv. Nabízí se tedy otázka: proč dnes využívat energii větru?

Je zřejmé, že mezi hlavní pozitiva řadíme skutečnost, že větrné elektrárny patří mezi dnes velmi žádané obnovitelné zdroje. Takzvaná zelená politika se snaží podporovat využívání zdrojů, které prakticky nelze vyčerpat, a mezi ně právě vítr patří. Při jeho využívání není nutné čerpat omezené zásoby paliv, navíc nedochází k produkci škodlivých zplodin.

Pro tuto práci je však stěžejní další aspekt: vítr lze považovat za samostatný, nezávislý zdroj energie, kterou je možné využít – v našem případě – k vytápění obytného objektu. Cílem je tedy vymyslet nejvhodnější způsob pro temperaci nepravidelně navštěvované rekreační chaty. Pod pojmem temperace se rozumí udržování v místnosti teploty tak vysoké, aby nedošlo k jejímu vymrznutí, i když pro pobyt nebude dostačující.

Tato konstrukce musí přitom splňovat několik požadavků. Ačkoliv pravděpodobně nebude investice do domácí větrné elektrárny výnosná, výběr kompozit by měl být co nejušpornější. Dále by se nemělo stát, že v případě bezvětrí rázem klesne teplota pod požadovanou hodnotu - uvažovaný výkon by měl zajistit spolehlivou ochranu před nežádoucím mrazem. Vzhledem k dlouhodobé nepřítomnosti obsluhy je neopominutelnou podmínkou samostatnost, tedy dostatečná automatizace celého procesu temperace. Ačkoliv v literatuře bývají často zmiňovány vlivy větrných motorů na okolní krajinu, ve své práci se takovými problémy nebudu zabývat. Vzhledem k rozměrům zařízení neočekávám, že instalace výrazně poškodí terén a že provoz bude



mít zásadní vliv na mikroklima, bylo by však vhodné brát v úvahu estetickou stránku a případně i hlasitost mechanismu.

K lepšímu porozumění tématu si můžeme práci rozdělit do několika celků. Nejprve se budu zabývat možnostmi využití větru pro vytápění, dále se zaměřím na problematiku dopravy a akumulace tepla. Poté se podívám na měření větrných poměrů a v závěru zvážíme jednotlivé varianty využití větru a pokusím se je vyhodnotit z hlediska projektu.

### 3 Rešerše možností využití větru pro vytápění

Volba správného větrného rotoru při využití větru k temperaci objektu má zásadní význam. Vítr, vznikající cirkulací teplého a studeného vzduchu v atmosféře, působí na listy rotoru a tím mu dodává svou kinetickou energii. Roztočením rotoru dojde k její přeměně na energii mechanickou, kterou lze dále využít ke generování tepla. Jeho množství se bude odvíjet od výkonu dodaného pohybujícím se rotorem do celého systému. Výkon rotoru je dán vztahem:

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

kde:

$\rho$ – hustota vzduchu	$[kg \cdot m^{-3}]$
$C_p$ – výkonový součinitel	$[-]$
$A$ – velikost plochy rotoru	$[m^2]$
$v$ – rychlost větru	$[m \cdot s^{-1}]$

Při výběru rotoru je tedy pro výkon rozhodující jeho poloměr ( $A = \pi R^2$ , kde  $R$  je poloměr rotoru) a výkonový součinitel (poměr výkonu rotoru k výkonu větru)<sub>[4]</sub>. V následující tabulce (Tab. 1) můžeme vidět porovnání přibližných dosahovaných hodnot  $C_p$  jednotlivých druhů rotorů:

Typ rotoru	$C_{p \text{ opt}}$	$\lambda_{\text{opt}}$
Mnoholistý rotor (Americký)	0,35	1,1
Třílistý rotor	0,18 - 0,39	2,5 - 6
Dvoulistý rotor	0,2 - 0,48	6 - 10
Savoniův rotor	0,23	0,85
Darrierův rotor třílistý	0,362	4,66
Darrierův rotor jednolistý	0,236	6,1

Tab. 1 – Dosahované hodnoty výkonových součinitelů  $C_p$  a rychloběžnosti u některých typů větrných motorů (Zdroj: [4] strana 49)

V této tabulce se objevuje ještě další veličina. Jedná se o rychlostní poměr:

$$\lambda = \frac{2\pi Rn}{60v}$$

kde  $n$  jsou otáčky rotoru [ $min^{-1}$ ].

Průměr rotoru  $D$  stanovíme podle požadovaného výkonu a předpokládané rychlosti větru:

$$D = \sqrt{\frac{8P}{C_p \pi \rho v^3}}$$

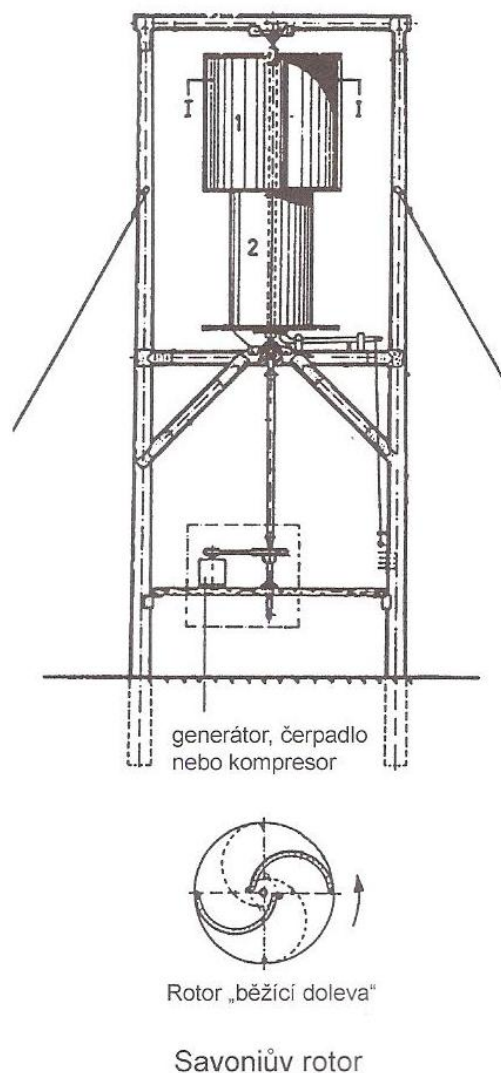
Vzhledem k tomu, že očekávaný výkon potřebný k temperaci objektu by se řádově mohl pohybovat v jednotkách kW, budu volit mezi malými větrnými elektrárnami s nevelkými průměry rotorů.

Dále je podstatné, že konstrukce musí být odolná vůči extrémním povětrnostním podmínkám, aby nedošlo k jejímu poškození, nebo dokonce k poškození samotné budovy, a musí splňovat také ekonomické požadavky. Hlavním prvkem rozdělujícím větrné turbíny do dvou velkých skupin je aerodynamický princip fungování – větrné elektrárny mohou pracovat buď na odporovém, nebo vztakovém principu. Další rozdělení umožňují odlišné polohy osy rotace – horizontální nebo vertikální. Nyní se podíváme na bližší specifikaci některých typů rotorů.

### 3.1 Savoniův rotor

Prvním uvažovaným bude rotor Savoniův. Jedná se o typ větrné elektrárny s vertikální osou rotace pracující na odporovém principu – to znamená, že plocha lopatek klade větru aerodynamický odpor a působením sil dochází ke vzniku rotačního pohybu. Základ samotného Savoniova rotoru je tvořen dvěma půlválcovými, zpravidla plechovými, plochami. Ty jsou vzájemně předsunuty – když začnou aerodynamické síly působit na vypouklou a vydutou část, začne se systém otáčet. Rozběh motoru z každé polohy zajistí tzv. dvoustupňové řešení - pootočení dvou částí poloviční výšky o  $90^\circ$  (Obr. 1).

Tento rotor je pomaluběžný, nízkootáčkový, je tedy vhodný k použití pro jednotky malých výkonů; další relativní nevýhodou těchto rotorů je i jejich vysoká hmotnost. Ačkoliv toto zařízení může svým výkonem i účinností jen stěží konkurovat ostatním typům, v některých případech se může jevit jako vhodné řešení hned pro několik důvodů: jeho konstrukce je nenáročná, vzhledem k hmotnosti je dostatečně stabilní a pevné, po dobrém vyvážení může být i odolné vůči vírům a turbulencím větru. Zároveň je schopné generace i při nízkých otáčkách, kdy rotory s horizontální osou už nejsou aktivní, navíc jsou všesměrové a není nutné zohledňovat, odkud vane vítr. Především je však jeho konstrukce finančně nenáročná a dokonce je možné ji realizovat svépomocí – k tomu se zpravidla používají svisle rozřezané barely. Takovéto řešení však vyžaduje dbát zvýšené pozornosti při vyvažování, aby rotor nebyl příliš hlučný či aby nedošlo k jeho poškození při vysokých rychlostech větru. Tyto rotory bývají využívány spíše zřídka, kombinují se s nízkootáčkovými generátory po převodu například ozubenými koly, nebo přímo k pohonu vodních čerpadel či k ohřevu vody přes vířivou brzdu [3].

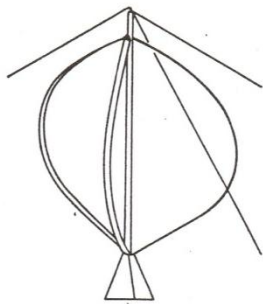


Obr. 1 – Dvojstupňový Savoniův rotor (Zdroj [3] strana 4)

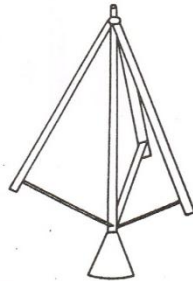
### 3.2 Darrierův rotor

Darrierův rotor je dalším typem s vertikální osou rotace. Na rozdíl od Savoniova rotoru však pracuje na tzv. vztakovém principu – na profilu lopatek (rotorových listů) vzniká vztaková a odporová síla. Tyto rotory mívají dvě nebo tři profilovaná křídla upevněna kolem svislé rotační osy (jejich nízký počet podporuje pevnost systému),

tvary těchto křídel se však mohou lišit (Obr. 2). Osa bývá přímo připojena na generátor umístěný ve spodní části zařízení.



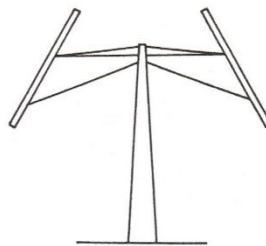
Rotor Darrieus se svislou osou se zakřivenými lopatkami ve tvaru  $\Phi$



Rotor Darrieus se svislou osou ve tvaru  $\Delta$  s přímými lopatkami



Rotor Darrieus se svislou osou podle současných konstrukčních řešení ve tvaru H



Rotoru Darrieus s prizmatickými listy s regulací výkonu změnou sklonu listů

Se Savoniiovým rotorem toho má Darrieův hodně společného. Není schopen dosáhnout vysokých otáček, nepoužívá se ani k dosažení vysokých výkonů. I jeho výhodou je však všesměrovost. Problémový je ale rozběh – k uvedení do chodu bývá za potřeby užít buď elektrický zdroj, nebo jiný typ větrného rotoru s vertikální osou dodávající dostačující moment síly. Příhodným řešením může být právě dvoustupňový Savoniův rotor umístěný na stejné rotační ose.

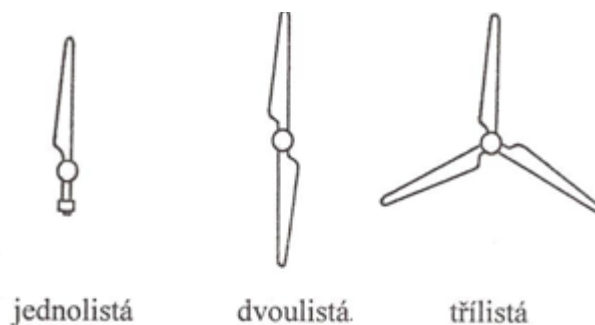
Obr. 2 – Typy Darrierových rotorů (Zdroj [4] strana 35)

Tyto rotory mohou být poměrně účinné, ale pouze v úzké škále otáček, proto je vhodné je regulovat podle rychlosti větru. Důležité je také správné dimenzování lopatek - při změnách směru působení větru jsou totiž zatěžovány vznikajícími vibracemi a zanedbatelný není ani vliv odstředivých sil, určený volbou tvaru rotoru. V tomto ohledu se jeví nejlepší oválný tvar [4]. I přesto že nevýhody převažují nad výhodami, využití Darrieova rotoru se kupříkladu v místech s vysokými přízemními rychlostmi větru může ukázat jako nejlepší možné řešení.

### 3.3 Rotory s horizontální osou rotace

Rotory s horizontální osou rotace jsou velkou skupinou větrných rotorů pracujících na vztlakovém principu. Patří mezi ně vrtule a větrná kola, jejichž rovina otáčení je orientována kolmo ke směru větru.

Základním prvkem dělicím vrtule do podskupin je počet jejich listů (Obr. 3). Nejčastěji se používají rotory se dvěma, třemi nebo pěti listy, připomínající vzhledem letecké vrtule. Můžeme se ale setkat i s jednolistými s protizávažím a výjimečně i čtyřlístými. Některé druhy disponují listy natáčecími, usnadňujícími regulaci otáček při různých rychlostech větru, jiné jsou na společné hřídeli uchyceny pevně a otáčky pomáhají řídit aerodynamické brzdy [2]. Tyto typy rotorů se vyznačují rychloběžností, tudíž je krom využití při pohonu pracovních strojů vhodný i na výrobu elektrické energie. Problematický však bývá jejich samostatný rozběh – ani při mírném větru o rychlosti zhruba do 5m/s se rotor nespustí bez pomocného zařízení. Proto je jejich užití vhodnější v místech, kde průměrná rychlost větru dosahuje vyšších hodnot.

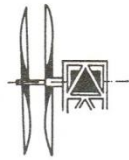


Obr. 3 – Obvyklá schémata uspořádání vrtulí větrných motorů (Zdroj [4] strana 32)

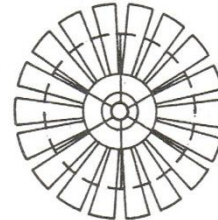
Větrná kola (Obr. 4) nemají pečlivě propracovaný aerodynamický profil jako vrtule, otáčejí se působením větru na vyšší počet jednodušších plechových lopatek. Jejich množství se odvíjí od požadované frekvence otáčení; je-li lopatek více, rotor se otáčí pomaleji, o to snazší je však jeho rozběh a větší moment síly. Tyto větrné motory jsou pomaluběžné, jejich hmotnost je vysoká, a vzhledem k působení axiální síly i při zastavení rotoru musí být dimenzovány na maximální rychlosti větru.

Aby bylo dosaženo maximálního výkonu rotoru s horizontální osou rotace, je důležité dodržet správnou orientaci jeho osy vzhledem ke směru větru, tedy aby vítr působil kolmo na rotor. U menších zařízení, jakými se v této práci zabývám, se k těmto

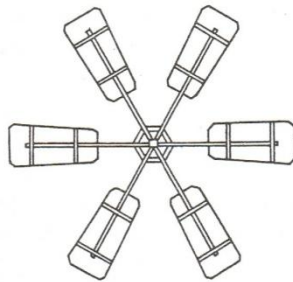
účelům používá tzv. kormidlo (Obr. 5). Je-li jeho plocha příliš velká, stává se mechanismus velmi citlivým i na drobné změny směru větru, proto se u rotorů o průměru větším 6 m používají natáčecí zařízení s elektromotorem, zabezpečující plynulou změnu orientace.



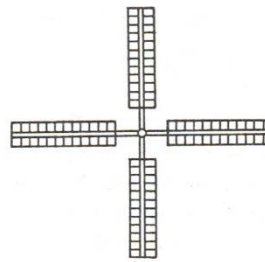
Obr. 3.5. Uspořádání protiběžných rotorů větrné elektrárny



Obr. 3.6. Větrné kolo tzv. amerického větrného motoru s větším počtem lopatek

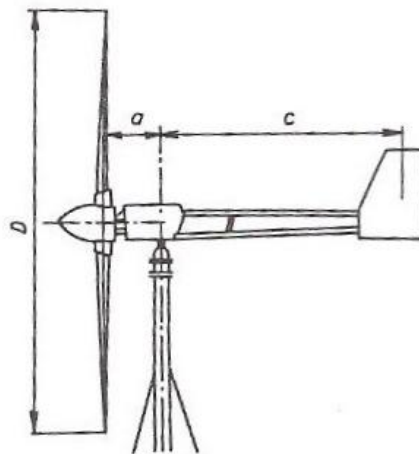


Obr. 3.7. Rotor moderního větrného čerpadla se šesti plechovými lopatkami



Obr. 3.8. Jeden z typických rotorů větrného mlýna

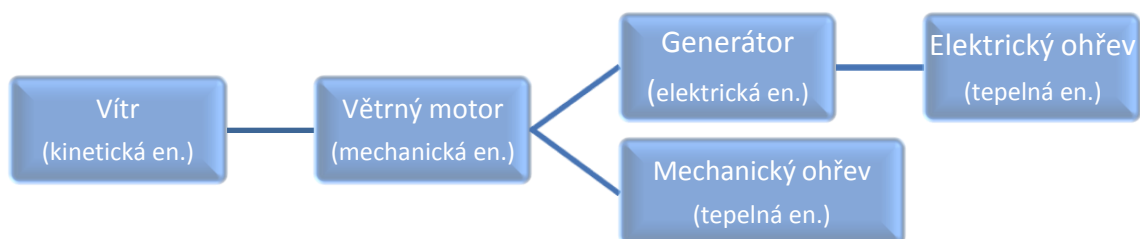
Obr. 4 – Typy větrných rotorů motorů s horizontální osou rotace ( Zdroj [4] strana 33)



Obr. 5 – Orientační zařízení s kormidlem ( Zdroj [4] strana 85)

## 4 Problematika dopravy a akumulace energie

Větrné rotory nachází uplatnění v různých aplikacích. Mechanická energie, vznikající působením větru na větrný motor, bývá nejčastěji využívána k výrobě všestranně využitelné elektrické energie. Přenosem rotačního pohybu hřídele bývají poháněny generátory různých výkonů. Zařízení větších rozměrů mohou dodávat do rozvodné sítě, malé větrné elektrárny bývají využívány spíše k přímému nabíjení baterií nebo napájení elektrických strojů. Takový mechanismus je možné nazývat větrnou elektrárnou. Ačkoliv jsou dnes využívány větrné rotory k přímému pohonu mechanických strojů spíše zřídka, není vyloučena ani možnost generovat teplo takovýmito zařízeními.



### 4.1 Elektrické vytápění do odporu

První variantou, která by přicházela v úvahu, je elektrické odporové vytápění. Vzhledem k tomu, že cílem této práce není navrhnout zařízení, které by dodávalo získanou elektrickou energii do rozvodné sítě (jeho funkcí je tedy pouze zajistit vlastní spotřebu vytápěcí jednotky), dojde ke značnému zjednodušení, protože tomu není nutné přizpůsobovat přesné hodnoty napětí a kmitočtu. Nebudu se ani zabývat přepínáním na jiný zdroj vytápění – navržený výkon větrné elektrárny by měl stačit k udržení teploty v nepřítomnosti lidí, v jejich přítomnosti se bude vytápět pomocí nezávislého zdroje, například krbových kamen.



Základem tohoto zařízení je elektrický generátor spojený s větrným motorem. Pro výkony, pohybující se řádově v kW, se používají nejčastěji trojfázové synchronní generátory s 8 až 24 póly bez převodovky<sup>[4]</sup>. Otáčky jsou proměnné, tím pádem i kmitočet. Napětí je možné regulovat změnou budicího proudu. Je možné také použít synchronní generátor s permanentními magnety, jehož regulaci zajistí přerušování proudu.

Na rozdíl od mechanických principů však řešení s elektrickým generátorem umožňuje navíc i akumulaci energie. Budu-li chtít pomocí větrné elektrárny nabíjet baterii, zavedu navíc blok úpravy napětí - střídavé napětí usměrníme neřízeným polovodičovým můstkovým usměřňovačem. Za baterii pak umístím polovodičový střídač. K ohřevu pak dojde například říditelnými odporovými topnými články. Ty mohou být umístěny přímo ve vytápěných prostorách, nebo v nádrži s kapalinou cirkulující v ústředním topení.

Možnost zařazení akumulátoru za elektrický generátor zvyšuje využitelnost celého zařízení i ve chvílích, kdy není nutné objekt vytápět, případně je možné využít akumulovanou energii k dodání tepla ve chvílích, když nejsou optimální větrné podmínky.

## **4.2 Tepelné čerpadlo s elektrickým generátorem**

V této variantě bude rovněž topné zařízení napojeno na větrnou elektrárnu. Úkolem tepelného čerpadla bude odebírat z chladnějšího okolního prostředí teplo k tomu, aby bylo dodáno do místa teplejšího, tedy do místnosti vytápěné budovy. Kompresor tepelného čerpadla, napájen generátorem větrné elektrárny, bude stlačovat vhodné teplotně schopné médium schopné efektivně odebírat teplo z okolního prostředí (může jím být např. směsné chladivo R 4070A/B/C nebo R134a <sup>[13]</sup>) a zajistí jeho cirkulaci v systému tepelného čerpadla.

Primárním výměníkem bude teplo odebíráno ze vzduchu, pomocí kompresoru na sekundárním výměníku bude převedeno na vyšší teplotní hladinu <sup>[14]</sup>. Ohřev bude zajištěn systémem komprese a expanze plynu – teplotně schopného média. Sekundární výměník bude umístěn ve vytápěné místnosti (Obr. 8).

Tato soustava je schopna získat energii i ve chvílích, kdy venkovní teplota klesne pod bod mrazu – místo, ze kterého je teplo čerpáno, ještě více „ochladí“, a zajistí tak spolehlivou dodávku i za nepříznivých podmínek.

Ukazatelem efektivnosti tepelných čerpadel je topný faktor. Topný faktor (také COP, Coefficient of performance) udává poměr vyprodukovaného tepla a spotřebované energie: [15]

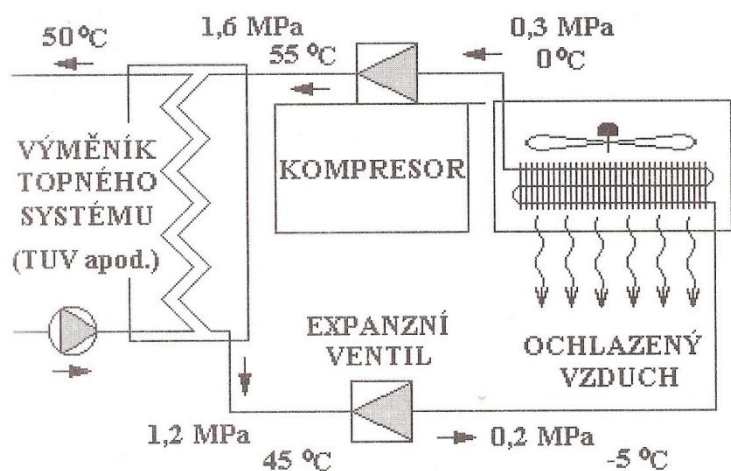
$$COP = \frac{|\Delta Q|}{\Delta W}$$

$|\Delta Q|$  ... změna tepla

$\Delta W$  ... mechanická práce spotřebovaná tepelným čerpadlem

Pokud nejsou venkovní teploty příliš nízké, topný faktor se pohybuje okolo tří až čtyř.

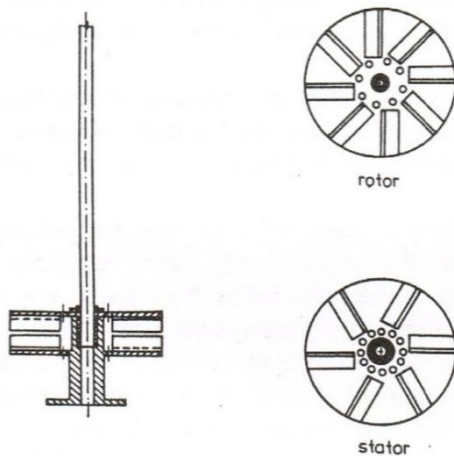
Existuje více druhů tepelných čerpadel, odlišují se způsobem získávání tepla. Nejjednodušší jsou ty, které pracují na principu vzduch-vzduch. Umístění primárního výměníku nevyžaduje žádnou složitou instalaci, podobně jako to, které odebírá teplo z vody, jejich problémem však je kolísavost odvíjející se od vnější teploty. S klesající teplotou topný faktor klesá. Podstatně účinnější bývají zařízení čerpající energii ze země, jejich pořízení je však nákladnější a složitější, jelikož bývají zavedeny hloubkovým vrtem. Způsob dopravy tepla se pak odvíjí od druhu tepelného čerpadla. Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch ohřívá místnost prouděním teplého vzduchu, tepelné čerpadlo vzduch-voda zase ohřívá teplou vodu proudící v potrubí topného systému. To může být navíc napojeno na zásobník, tím se zajistí i případná akumulace tepla.



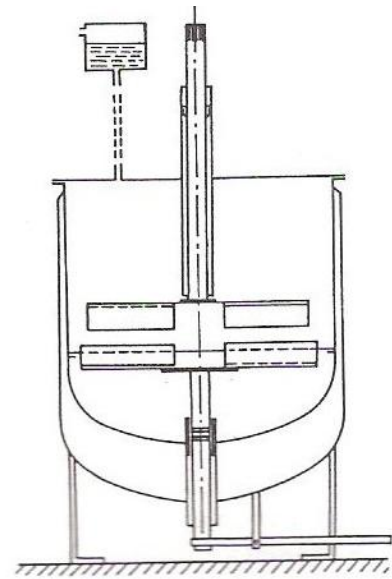
Obr. 6 – Příklad realizace – tepelné čerpadlo vzduch - voda (Zdroj [13] strana 9)

### 4.3 Tepelný generátor

První možnost temperace obytného objektu, která se obejde bez výroby elektrické energie, pracuje na principu přímé výroby tepla s použitím odporové zátěže. Pokud se větrný motor nachází v blízkosti vytápěných prostor, je možné společným svislým hřídelem otáčet rotor generátoru tepla. Jedná se o neobvyklé, ale jednoduché zařízení, není nutné uvažovat žádné převody otáček rotoru a zcela se obejde bez výroby elektrické energie. Zařízení může buď mít podobu prosté nádrže s rotorem a statorem (Obr. 7) – hydraulického generátoru s regulovatelným výkonem prostřednictvím nastavitelné výšky hladiny nad rotorem [4], nebo generátoru s dvojitou nádrží. Voda či olej ve vnitřní nádrži je ohříván pohybem rotoru, přičemž celý proces opět může být řízen přetlakem, a ohřívá vodu ve vnějším plášti. Ta poté může cirkulovat v topné soustavě, jelikož na rozdíl od kapaliny v nádobě s rotorem neobsahuje vzduch (Obr. 8). Bylo by však možné umístit zařízení přímo do temperovaného prostoru a předávalo mu veškeré akumulované teplo.



Obr. 8 - Ukázka provedení statoru a rotoru hydraulického generátoru tepla (Zdroj [4] strana 171)



Obr. 7 – Jedno z možných uspořádání generátoru tepla na principu vodní brzdy (Zdroj [4] strana 171)

## **4.4 Mechanický pohon tepelného čerpadla**

Mechanický pohon tepelného čerpadla je další teoretickou možností kombinace větrného rotoru s mechanickým zařízením. Pokud by byl kompresor tepelného čerpadla umístěn v blízkosti hřídele rotoru s vertikální osou rotace, po převodu otáček by mohla být energie větru přímo využita k zajištění cirkulace teplotního média v systému (vizte bod 4.2).

## 5 Problematika měření větrných poměrů

Neopominutelnou podmínkou pro úspěch celého projektu je krom volby správného větrného rotoru, způsobu dopravy a akumulace tepla také správné vyhodnocení větrných podmínek. Právě tomu se budu věnovat v následující kapitole. Nejprve se zaměřím na obecný popis větru, poté na jeho měření a v závěru se budu věnovat větrným podmínkám v dané lokalitě.

### 5.1 Vítr

Vítr je pohyb vzduchu vzhledem k zemskému povrchu, který vzniká působením síly tlakového gradientu tíhy, síly tření a Coriolisovy síly [5]. Při popisu je nejdůležitější jeho horizontální složka. Lze jej charakterizovat rychlostí a směrem, případně i nárazovostí. Vzhledem k tomu, že aktuální hodnota rychlosti větru je velmi proměnlivá, hovoří se nejčastěji o její průměrné hodnotě, a udává se zpravidla v m/s či km/h. Jednotkou směru větru bývají stupně:  $360^\circ$  (také  $0^\circ$ ) znamená vítr severní,  $90^\circ$  východní,  $180^\circ$  jižní, a západnímu větru přiřadíme hodnotu  $270^\circ$ . Rychlosti se člení do dvanácti skupin podle Beaufortovy stupnice (Tab. 2).

Větrné poměry jsou ovlivněny mnoha faktory: závisí nejen na rozdílném prohřívání zemského povrchu v závislosti na zeměpisné šířce, ale i na struktuře zemského povrchu. Na rozsáhlých územích bude pro vítr směrodatná všeobecná cirkulace atmosféry, oproti tomu na pobřezích či na horách se jedná o tzv. místní cirkulaci. Vítr je také ovlivněn prohříváním zemského povrchu – jinak se bude prohřívát povrch písčité pouště, travnaté pláně nebo hlubokého lesa. Svou roli také hraje výška; pro spodní troposféru zpravidla platí, že rychlost větru ve větších výškách narůstá.

Stupeň	Označení	Rozpoznávací znaky	Rychlost [m/s]
0	Bezvětří	Kouř stoupá kolmo vzhůru	0,0-0,2
1	Vánek	Směr větru poznatelný podle pohybu kouře, vítr neúčinkuje na větrnou korouhev	0,3-1,5
2	Slabý vítr	Vítr je cítit ve tváři, listy stromu šelestí	1,6-3,3
3	Mírný vítr	Listy stromů a větvičky jsou v trvalém pohybu	3,4-5,4
4	Dostí čerstvý vítr	Vítr zdvihá prach, pohybuje slabšími větvemi	5,5-7,9
5	Čerstvý vítr	Listnaté keře se začínají hýbat, na vodních plochách se tvoří menší vlny	8,0-10,7
6	Silný vítr	Vítr pohybuje silnějšími větvemi, je těžké používat deštník	10,8-13,8
7	Prudký vítr	Vítr pohybuje celými schody, chůze proti větru je obtížná	13,9-17,1
8	Bouřlivý vítr	Vítr ulamuje větve, chůze proti větru je téměř nemožná	17,2-20,7
9	Vichřice	Vítr způsobuje menší škody na stavbách	20,8-24,4
10	Silná vichřice	Vyvrací stromy, způsobuje větší škody na stavbách	24,5-28,4
11	Mohutná vichřice	Působí rozsáhlá zpusťování	28,5-32,6
12	Orkán	Ničivé účinky	32,7 a více

Tab. 2 – Beaufortova stupnice (Zdroj [6])

## 5.2 Měření větrných poměrů

Problematika měření větrných poměrů spadá do specifické vědecké disciplíny zabývající se měřením jevů v atmosféře – do meteorologie. Ta má pro větrnou energetiku zásadní význam, jelikož nám na základě všestranné analýzy proudění vzduchu v dané oblasti může pomoci určit nejvhodnější místo pro konstrukci větrného motoru.

Měření rychlosti a směru větru by mělo být prováděno podle určitých standardů. Dána je kupříkladu výška měření 10 metrů, tříhodinový nebo sedmihodinový interval odečítání hodnot k získání průměrných rychlostí.

Zjišťování směru větru není nutné provádět žádnými složitými přístroji. Používá se k němu obvykle větrná směrovka, svislá deska otáčející se kolem svislé osy v určité

vzdálenosti od těžiště její plochy, ale postačí i tzv. větrný pytel, který můžeme zahlédnout v blízkosti letišť a dálnic [4]. K měření rychlosti větru se nejčastěji využívají anemometry.

Anemometr (Obr. 9) je přístroj k měření rychlosti, popřípadě i směru větru [7]. Existuje více druhů anemometrů, v České republice se však nejvíce používají miskové otáčivé anemometry, nebo také Robinsonovy kříže. Jsou konstrukčně velice jednoduché – sestávají zpravidla ze tří dutých polokoulí, „misek“, otáčejících se kolem společné osy. Na základě rychlosti otáčení ústrojí se stanovuje rychlost větru. Patří do skupiny měřicích zařízení pracujících na mechanickém principu, do které se řadí také například anemometr vrtulový podobající se větrnému rotoru.



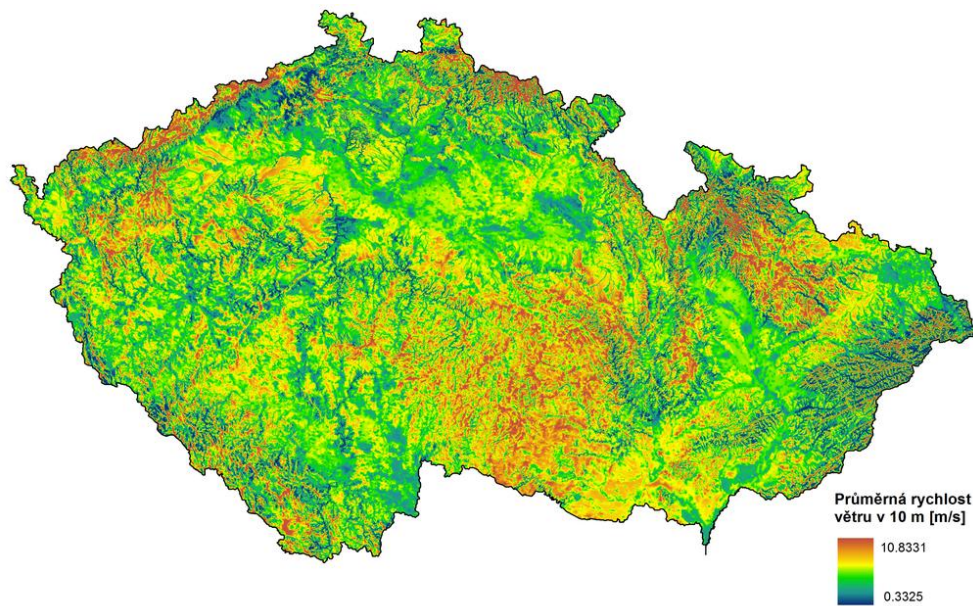
Obr. 9 – Anemometer (Zdroj [8])

Další možnost měření rychlosti větru je použití rychloměru založeného na měření dynamického tlaku potřebného k úplnému zastavení proudu vzduchu. Jejich výhodou je větší citlivost na změny větru.

Třetím způsobem měření větrných poměrů je měření anemometrem se žhaveným drátkem. Se zvyšující se rychlostí větru se drátek ochlazuje a měřením jeho elektrického odporu či napětí a následným převodovým výpočtem můžeme vypočítat žádanou veličinu [4].

### 5.3 Větrné podmínky v dané lokalitě

Při výstavbě větrné elektrárny je nutné se zamyslet, zda bude tento záměr v dané lokalitě vůbec realizovatelný. Ačkoliv je možné přihlížet k hodnotám průměrným, vztahujícím se na území celé České republiky, musíme brát v potaz skutečnost, že se podmínky v různých oblastech výrazně liší, což znázorňuje následující mapa (Obr. 10).

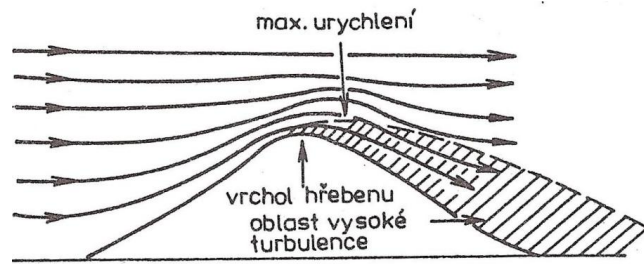


Obr. 10 – Pole průměrné rychlosti větru ve výšce 10 m (Zdroj [9])

Vstupní data, na základě kterých bývají větrné atlasy vytvářeny, vznikají hodnotami naměřenými sítí meteorologických ústavů ve standardní výšce 10m. Přibližná průměrná hodnota rychlosti větru se pro tuto zemi pohybuje okolo 3-3,5 m/s.

Rychlost větru dosahuje vyšších hodnot na místech exponovaných vůči větru a ve vyšších polohách. Na horských hřebenech a vrcholcích (Obr. 11) může být znatelně vyšší. Například roční průměrná rychlost větru na Lysé hoře je 6,7 m/s. V zimních měsících se zvýší – pohybuje se okolo 8m/s, v letních měsících klesá až na 5m/s [10]. Na takových místech však výstavba větrné elektrárny z environmentálních důvodů nepřipadá v úvahu. Nízkých rychlostí však vítr dosáhne na územích uzavřených, jako jsou údolí, kotliny. Tam průměrná rychlost nemusí dosáhnout ani 2 m/s. Blízkost stromů, aglomerací či jiných objektů navíc zvyšují tzv. drsnost zemského povrchu a opakovaně mění sílu a proudění větru - větrné rotory bývají ovlivněny točivými víry narážejícího větru. Zatímco blízkost stínících předmětů rychlost větru snižuje, umístění na vyvýšenině může přidat větrnému rotoru na otáčkách, protože se dostane výše a navíc dojde k urychlení vlivem obtékání přes horizont.





Obr. 11 – Urychlení větru na horském hřebenu (Zdroj [4] strana 25)

Důležitou roli hraje také legislativa. V zónách národních parků a chráněných krajinných oblastí s nejcennějšími prvky je jakákoliv výstavba zakázána, a i na ostatních chráněných územích je poměrně problematická a určuje se na základě posouzení vlivu na životní prostředí. Musí být také v souladu s územním plánem obce a podléhá územnímu a stavebnímu řízení [12].

# 6 Návrh variant využití větru a jejich hodnocení z hlediska projektu

## 6.1 Kalkulace variant

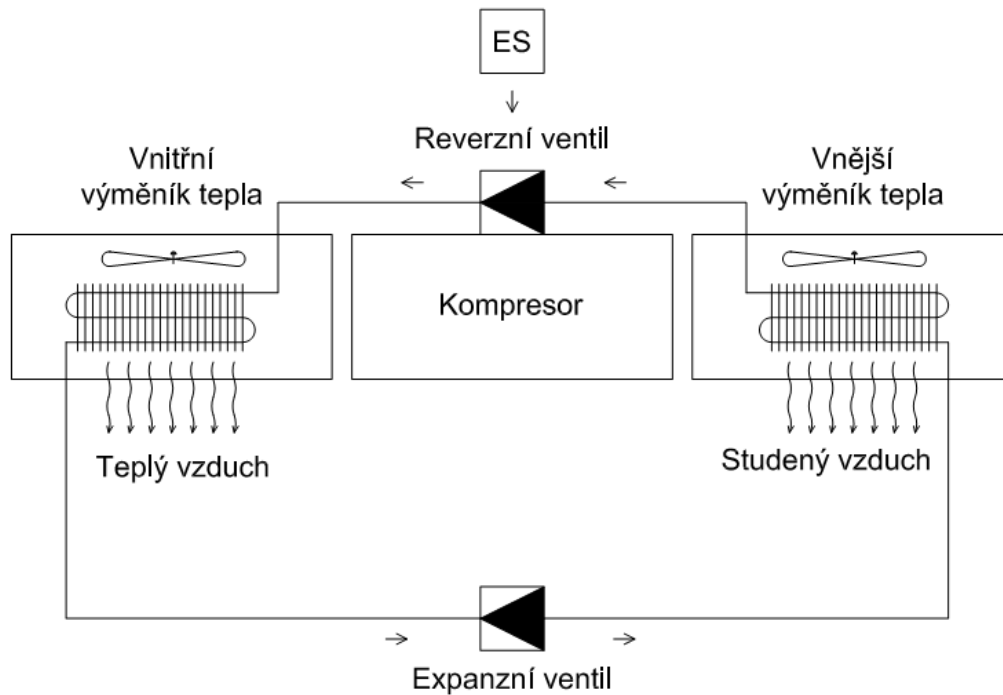
K tomu, abychom dokázali vybrat konkrétní zařízení, bude nejprve nutné odhadnout výkon potřebný k temperaci zřídka obývaného objektu, tedy tepelné ztráty budovy. Ty budou záviset na mnoha okolnostech: v první řadě na vytápěném objemu, dále ale také na počtu oken a dveří, na tloušťce a typu zdiva a případné tepelné izolace. Důležitá je také požadovaná vnitřní teplota a venkovní výpočtová teplota, poloha a druh budovy (nakolik je budova chráněna, na okolní zástavbě...).

Vzhledem ke složitosti výpočtu tepelných ztrát pomocí všech těchto ukazatelů je možno konečné číslo odhadnout pomocí přibližné měrné potřeby tepla ke krytí tepelných ztrát obytných místností. Modelová budova této práce má plochu  $70 \text{ m}^2$  a jedná se o stávající stavbu nově izolovanou se ztrátou zhruba  $40 \text{ W/ m}^2$  [16]. Uvažovaný potřebný výkon je tedy  $2800 \text{ W}$ .

Ačkoliv tato ztráta vychází z požadavku vytopení na teplotu vhodnou k obývání, je nutné brát ohledy na to, že skutečný výkon vybraného zařízení nebude vždy dosahovat jmenovitých hodnot, protože větrná energie není stabilním zdrojem energie. Je tedy lepší počítat s vyšším výkonem a zajistit tak jisté udržení teploty i ve velmi nepříznivých větrných podmínkách. Tento problém se týká i tepelných čerpadel, jejichž topný faktor se za hlubokých mrazů snižuje.

V této části práce se budu zabývat kalkulací jednotlivých variant vytápění pomocí větru a budu je srovnávat s tzv. nulovou variantou. Po provedení přibližné kalkulace uvažovaných možností provedu finanční analýzu.

### 6.1.1 Tepelné čerpadlo napájené z elektrizační soustavy



Obr. 12 - Schéma – nulová varianta

Tepelné čerpadlo napájené z elektrizační soustavy tvoří nulovou variantu, se kterou budu srovnávat následující možnosti využití větru pro vytápění.

Při návrhu této varianty použiji tepelné čerpadlo IVT NordicInverter PHR-N pracující na principu vzduch-vzduch. Jeho výhodou je snadná instalace, relativně nízká pořizovací cena a hlavně skutečnost, že vzhledem ke jmenovitému topnému faktoru 3,2 zatěžuje uživatele menšími provozními náklady než například elektrické topení. Nevýhodou však je, že výkon je poměrně ovlivnitelný venkovní teplotou a není tedy natolik stabilním zdrojem tepla.

Tepelné čerpadlo IVT NordicInverter PHR-N<sub>[21]</sub> je zařízení účelně vyráběné k teplotě chat a chalup. Nepřestává fungovat ani při -30°C, jeho topný faktor pouze klesne na 2,9. V létě navíc umožňuje i chod klimatizace. Výkony a topné faktory dané výrobcem při relevantních teplotách jsou uvedeny v následující tabulce (viz technický list):



Obr. 13 – Tepelné čerpadlo NordicInverter (Zdroj [21])

<b>Teplota [°C]</b>	2	-7	-18
<b>Výkon [kW]</b>	3,5	3,2	2,1
<b>Topný faktor [-]</b>	2,9	2,7	2,3

Tab. 3 – Topný faktor tepelného čerpadla při různých teplotách

Při nízkých teplotách tedy bude topný výkon tohoto tepelného čerpadla zhruba 2,9 kW s topným faktorem 2,6. Potřebný příkon poté bude přibližně 1,1 kW.

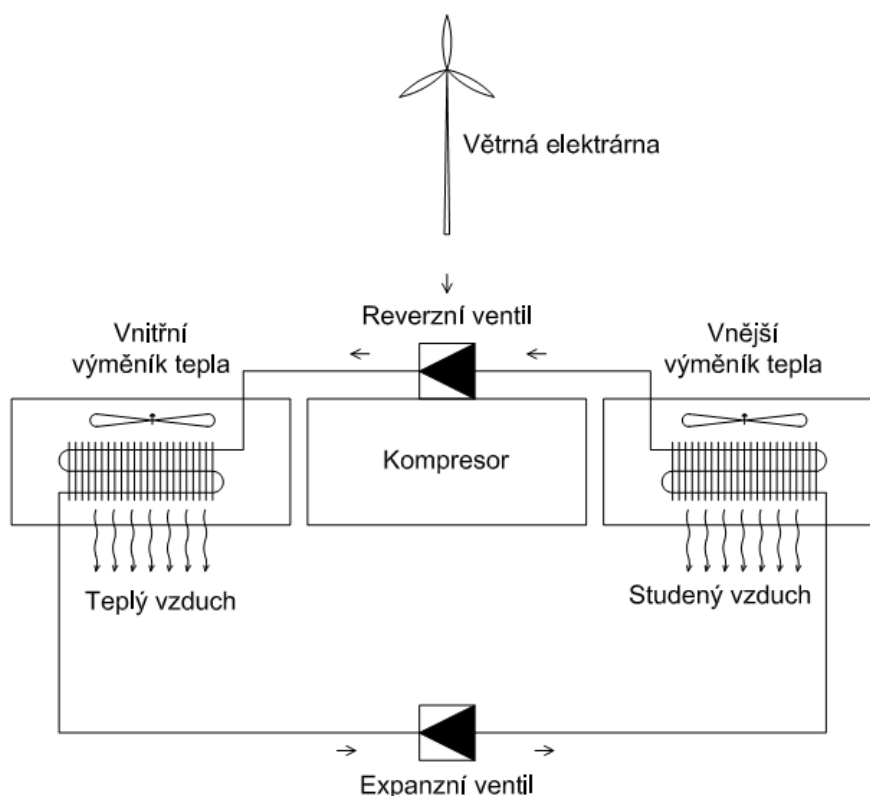
Nejvhodnější sazbou elektřiny je D56d, jejíž nízký tarif pokryje denně 22 hodin; cena za kWh je 2,75 Kč.

<b>Hodiny/rok</b>	150*22
<b>kWh/rok</b>	3630
<b>Kč/rok</b>	10 000

Tab. 4 – Roční výdaje za elektřinu

Cena tohoto tepelného čerpadla je 59 000 Kč, s cenou instalačních prací asi 62 000 Kč, roční výdaje však budou podstatně nižší než u elektrického vytápění, s přičtením poplatku za jistič přibližně 11 000 Kč.

## 6.1.2 Tepelné čerpadlo vzduch-vzduch v kombinaci s větrnou elektrárnou



Obr. 14 – Schéma – varianta 1

Při návrhu této varianty využijí informace z předchozího bodu. Pořízení tepelného čerpadla bude stát 62 000 Kč, jeho výkon 2,9 kW při topném faktoru 2,6. Příkon tohoto tepelného čerpadla bude 1,1 kW.

Dalším úkolem však bude vybrat větrnou elektrárnu o dostatečném výkonu pro napájení kompresoru tepelného čerpadla. Většina výrobců nabízí malé větrné elektrárny o výkonech 1,5 kW, 3kW a 5kW. Ovšem vzhledem k tomu, že dosahují těchto jmenovitých výkonů až při silném větru, je vhodné uvažovat dostatečnou rezervu.

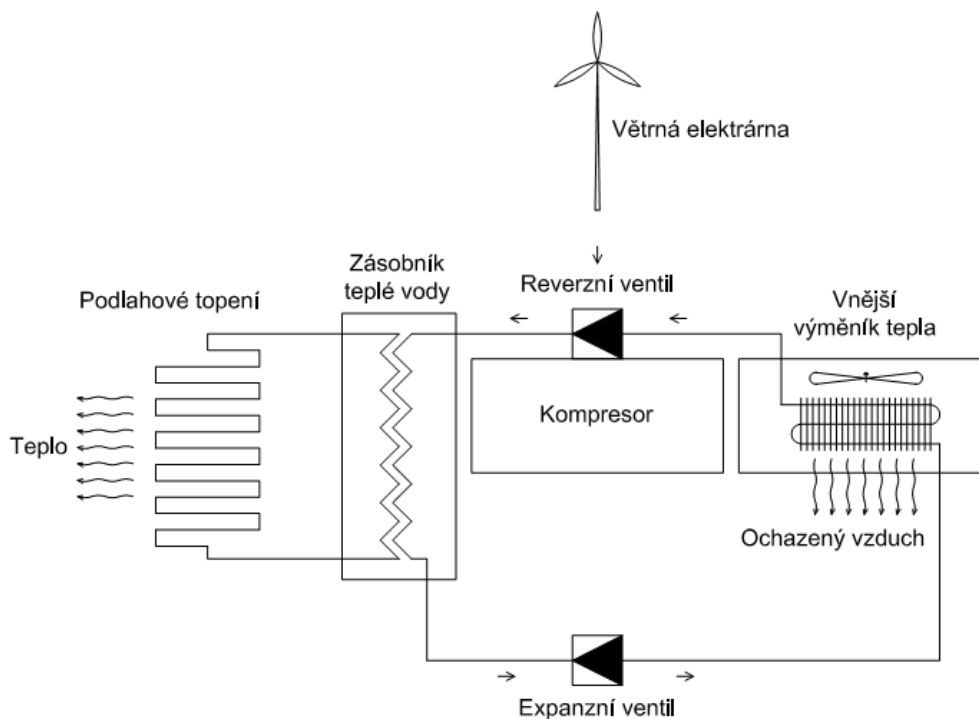
Vhodnou se jeví například větrná elektrárna ANERN 3000 W 5BLADE společnosti Dasty<sub>[22]</sub>. Jedná se o pětistou vrtuli, tedy rotor s horizontální osou rotace. Ve větrných oblastech s průměrnou rychlostí větru okolo 6m/s dosahuje kýženého výkonu a její užití je tedy možné; příznivá je i rychlost větru pro rozběh – 2 m/s. Jmenovitá rychlost větru je 9m/s, což umožňuje i případnou akumulaci elektrické energie a její další využití<sub>[22]</sub>.



Obr. 15 – Větrná elektrárna ANERN 3000 W 5BLADE (Zdroj [22])

Cena této elektrárny je 74 594 Kč, cena tepelného čerpadla je dle předchozího bodu přibližně 62 000 Kč. S rezervou na montáž a uvedení do provozu pořízení této varianty vyjde zhruba na 150 000 Kč.

### 6.1.3 Tepelné čerpadlo vzduch-voda v kombinaci s větrnou elektrárnou



Obr. 16 – Schéma – varianta 2

Tepelné čerpadlo pracující na principu vzduch-voda odnímá teplo okolního vzduchu, aby ohřálo vodu v topném systému či zásobníku teplé vody. Stejně jako tepelné čerpadlo pracující na principu vzduch-vzduch má nižší provozní náklady než elektrické vytápění. Jejich společnou výhodou je také jednoduchost instalace ve srovnání s tepelnými čerpadly odebírajícími energii ze země, které mají sice vyšší topný faktor, ale jejichž zapojení je nákladnější o výkopové práce či hlubinné vrty. Nároky na prostor jsou rovněž minimální. Tepelné čerpadlo IVT Air 50 je určeno pro výkon vyšší, než je nutné dodat k teplotě; při vyšších venkovních teplotách dodává přes 5kW, při teplotách nižších bodu mrazu více než 3 kW. Příkon tohoto čerpadla je zhruba 1,5 kW, topný faktor se pohybuje v rozmezí 3 až 4.

Cena tohoto tepelného čerpadla je 130 000 Kč, příslušná regulace stojí 27 000 Kč, zásobník vody zajišťující akumulaci ohřáté vody (tedy dodávku tepla i ve chvíli, kdy nefouká vítr) je možné pořídit za 22 000 Kč. Tato kombinace tvoří jádro systému ohřevu topné vody [21] a je možné jej regulovat podle potřeb.



Obr. 17 - Tepelné čerpadlo IVT Air 50 (Zdroj [22])

Ačkoliv má tento typ tepelného čerpadla dle technického listu vyšší příkon, jeho výkon zdaleka převyšuje potřeby pro teplotu daného objektu. Vhodným zdrojem by tak mohla být opět větrná elektrárna z předchozího bodu ANERN 3000 W 5BLADE, dodávající při průměrné rychlosti větru výkon o přibližné hodnotě 1 kW. Tab. 5 naznačuje souhrn pořizovací ceny celé této varianty, položka ostatní zahrnuje odhadovou cenu montážních prací provedených odbornou firmou.

Vzhledem k tomu, že tepelné čerpadlo pracující na principu vzduch-voda slouží k ohřevu vody, vhodným topným systémem by mohlo být teplovodní podlahové vytápění. Předností podlahového vytápění je především rovnoměrné rozložení sálavého tepla; ve srovnání s přímotopy, zdroji proudění ohřátého vzduchu, nevznikají v místnosti velké teplotní rozdíly, i při pouhé teplotě tak bude v místnosti „pocitově“ tepleji.

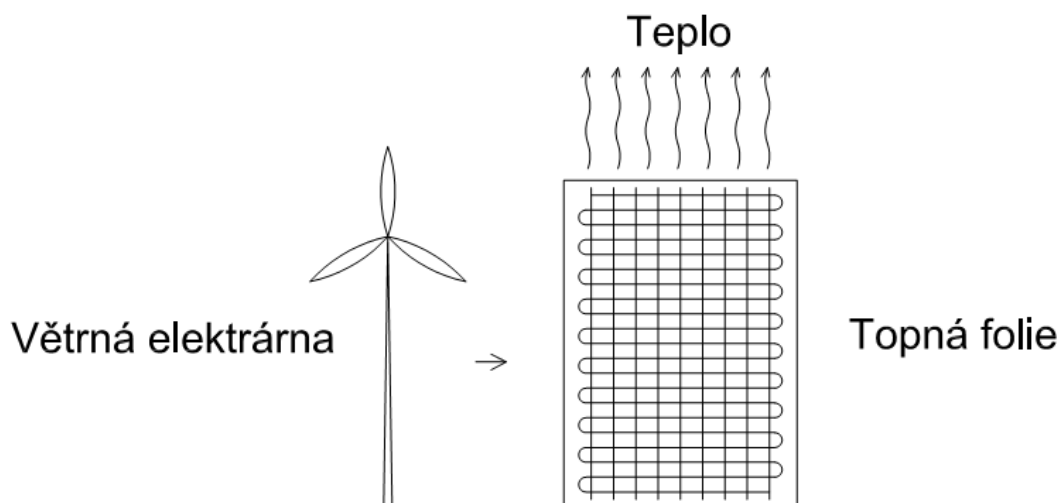
Tohle řešení však vyžaduje poměrně náročnou instalaci zahrnující mokré procesy, proto bude nejspíš pouze přibližně odhadnout cenu vycházející ze vzorové

kalkulace ceny uvedené například firmou HST [23], která uvádí cenu za 98 m<sup>2</sup> 43 029 Kč bez DPH. Po přičtení DPH a přepočtu na 70 m<sup>2</sup> vyjde pořízení teplovodního podlahového vytápění zhruba na 37 000 Kč, tedy na 530 Kč/ m<sup>2</sup>.

Podlahové topení [Kč]	37 000
Tepelné čerpadlo [Kč]	179000
Větrná elektrárna [Kč]	75000
Ostatní [Kč]	15 000
<b>Celkem [Kč]</b>	<b>306 000</b>

Tab. 5 – Kalkulace varianty 1

#### 6.1.4 Elektrické podlahové vytápění napájené generátorem větrné elektrárny



Obr. 18 – Schéma – varianta 3

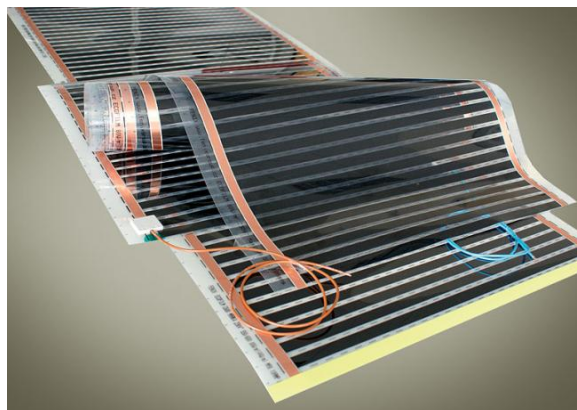
Další variantou je elektrické podlahové vytápění, jehož zdrojem bude větrná elektrárna. Na rozdíl od možností využívajících tepelné čerpadlo, dodané teplo bude závislé pouze na rychlosti větru, nikoliv na venkovní teplotě.

Vhodnými by tak mohly být například topné folie, jejichž instalace je poměrně snadná a obejde se bez mokřých procesů. Zakoupená folie musí být položena na



kročejovou (a zároveň i tepelnou) izolaci, z bezpečnostních důvodů je zakryta parozábranou. Na tyto vrstvy se může přímo položit podlaha, při nižších výkonech i dřevěná.

Cena topné folie Ecofilm-f-1004 začíná na 540 Kč/m<sup>2</sup><sub>[17]</sub>, její příkon je 40 W/m<sup>2</sup>, balení parozábrany (PE folie o tloušťce 0,2mm) o 100m<sup>2</sup> stojí zhruba 1000 Kč<sub>[18]</sub>, kročejová izolace Mirelon vyjde zhruba na 15 Kč/m<sup>2</sup>. Pro 70m<sup>2</sup> počítám se 100 m<sup>2</sup> parozábrany i kročejové izolace (pro přesahy u zdí a spojů a případně odpad). Cenu pořízení 70 m<sup>2</sup> podlahového vytápění uvádím v následující tabulce:



Obr. 19 – Topná folie (Zdroj [28])

Topná folie	37800	540 Kč/m <sup>2</sup>
Parozábrana	1000	balík - 100m <sup>2</sup>
Izolace	1500	
Ostatní	4000	Fixační pásky, termostat...
<b>Celkem</b>	<b>44300</b>	

Tab. 6 – Kalkulace – podlahové vytápění, topné folie

V tomto případě větrná elektrárna ANERN 3000 W 5BLADE už ale nebude dostačující, jelikož zvolený tepelný zdroj vyžaduje vyšší výkon, než může být tímto zařízením dodán při běžných rychlostech větru.

Katalog větrných elektráren společnosti Dasty však nabízí také větrnou elektrárnu o výkonu 5kW. Tato třílistá vrtule ANERN 5000 W 3BLADE pokrývá spotřebu topných folií. Její cena je 187 190 Kč, po přičtení topného systému včetně montáže bude pořízení této varianty stát zhruba 250 000 Kč.

### 6.1.5 Větrná elektrárna pohánějící kompresor tepelného čerpadla

Cirkulace teplonosného média v tepelném čerpadle by teoreticky mohla být zajištěna propojením jeho kompresoru s větrným rotorem společným hřídelem.

Kompresor by musel být umístěn přímo pod rotorem s vertikální osou rotace. Vzhledem k tomu, že tyto rotory výrobci nabízí pouze v kombinaci s elektrickým generátorem a jejich cena značně převyšuje ceny větrných vrtulí předchozích variant, nabízí se alternativní řešení: vlastní výroba zařízení. K ekonomickému vyhodnocení je tak potřeba odhad množství potřebného materiálu, dále jeho ceny a výdajů spojených s výrobou. Pro domácí výrobu je nejvhodnější Savoniův rotor, protože je konstrukčně jednoduchý a nevyžaduje aerodynamicky profilované lopatky. V bodě 3 uvádím vzorec pro výpočet výkonu rotoru:

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

Neznámou veličinou je v tomto případě plocha rotoru  $A$ , na kterou působí vítr; počítáme se známými parametry:

$$P = 1kW$$

$$\rho = 1,29kg/m^3$$

$$v = 6m/s$$

$$C_p = 0,23$$

Vyjádřená plocha je:

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

Po dosazení vyjde  $A = 31,2 \text{ m}^2$ . V případě Savoniova rotoru je  $A$  součinem výšky  $H$  a průměru rotoru  $D$ ; pokud by poměr  $H:D$  byl 2:1, znamenalo by to, že napájení daného tepelného čerpadla by vyžadovalo rotor o výšce 8m a průměru 3,9m. Myšlenka domácí konstrukce bezpečného funkčního zařízení o takových rozměrech je tedy spíše utopií, navíc by pravděpodobně nesplňovalo požadavek tichého chodu.

V oblastech s vysokou průměrnou rychlostí větru by však potřebná plocha byla značně menší. Například pro průměrnou rychlost 10 m/s by bylo  $A = 6,7 \text{ m}^2$ . V oblastech

České republiky však nelze s touto variantou počítat. Savoniův rotor je používán spíše v kombinaci s Darrierovým rotorem, jehož konstrukce už není tak snadná.

## 6.2 Ekonomické vyhodnocení jednotlivých variant

K tomu, abych mohla jednotlivé varianty vyhodnotit z ekonomického hlediska, budu je porovnávat jako investice s příslušnými finančními toky v jednotlivých letech. Velikost investic je dána tím, o kolik bude daná varianta stát více než nulová, další otázkou však zůstávají provozní výdaje větrných elektráren. Ty ve výpočtech stanovím na 3% pořizovací ceny ročně. Peněžní toky (cash flow) v každém roce se budou rovnat rozdílu výdajů nulové varianty za elektřinu a výdajů na provoz větrné elektrárny, tím tedy zjistím částku, kterou ušetřím oproti výchozí variantě.

Vzhledem k tomu, že jsou všechny možnosti výkonem srovnatelné, je možné použít k hodnocení výnosnosti investic metodu NPV [25] (net present value nebo také čistá současná hodnota) vyjadřující diskontovanou hodnotu peněžních toků. Žádoucí hodnota NPV je kladná, rovná-li se nule, přesně splňuje očekávání. Vypočítá se pomocí následujícího vzorce:

$$NPV = \sum_0^t \frac{CF_t}{(1+r)^t}$$

$$NPV = \sum_1^t \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN$$

t ... doba životnosti                      CF ... peněžní tok

r ... diskontová míra                      IN ... investice

Ve vzorci se však vyskytuje ještě další neobjasněný parametr, a to diskontová míra. Ta nám v tomto případě reprezentuje cenu ušlé příležitosti, jejíž stanovení není snadné a vypovídá zejména o tom, jak dokáže investor zhodnotit své peníze. Obvykle platí, že investice s vyššími výnosy, jako jsou například akcie, jsou spojené také s vyšším rizikem<sub>[26]</sub>. Pro velmi pesimistického a opatrného investora by tak mohly být spodní hranicí diskontu méně rizikové finanční instrumenty, jako jsou spořicí účty v bankách, termínované vklady či státní obligace. Úroky na spořicí účtech se

zpravidla pohybují do 1,5% ročně<sup>[27]</sup>, pro zjištění NPV tedy použijí hodnotu o něco vyšší, a to 2%. Pro výpočty použijí tabulkový procesor Microsoft Excel.

Varianta	0	1	2	3	4	...	19	20
<b>0</b>	-62000	11000	11000	11000	11000	...	11000	11000
<b>1</b>	-212000	1500	1500	1500	1500	...	1500	1500
<b>CF 1</b>	-150000	9500	9500	9500	9500	...	9500	9500
<b>NPV 1</b>	5500							

Varianta	0	1	2	3	4	...	19	20
<b>0</b>	-62000	11000	11000	11000	11000	...	11000	11000
<b>2</b>	-306000	2250	2250	2250	2250	...	2250	2250
<b>CF 2</b>	-244000	8750	8750	8750	8750	...	8750	8750
<b>NPV 2</b>	-101000							

Varianta	0	1	2	3	4	...	19	20
<b>0</b>	-62000	11000	11000	11000	11000	...	11000	11000
<b>3</b>	-246500	5500	5500	5500	5500	...	5500	5500
<b>CF 3</b>	-184500	5500	5500	5500	5500	...	5500	5500
<b>NPV 3</b>	-97000							

Tab. 7 – NPV variant 1,2 a 3

Z výše vypočtených hodnot NPV je už snadné určit, která z variant je nejvýhodnější. Čistá současná hodnota varianty 1 je jediná nezáporná a navíc značně převyšuje ostatní možné investice, proto se v dalších úvahách zaměřím právě na ni.

Dalším důležitým finančním ukazatelem je IRR – vnitřní výnosové procento (internal rate of return). Jeho výpočtem lze zjistit, kolik procent na projektu vyděláme s ohledem na časovou hodnotu peněz. <sup>[25]</sup> Zároveň je IRR diskontem, pro které se NPV rovná nule.

$$\sum_1^t \frac{CF_t}{(1+r)^t} - IN = 0$$

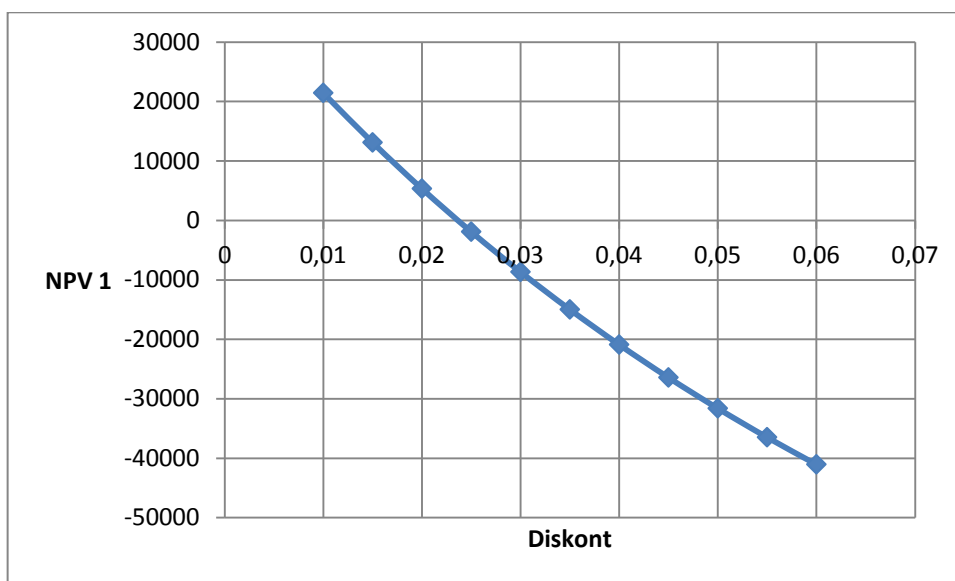
Výpočet IRR je možné provést odhadem, ale také pomocí editoru Microsoft Excel funkcí MÍRA.VÝNOSNOSTI. Vnitřní výnosové procento varianty č. 1 je rovno 0,0237.

## 6.3 Citlivostní analýza

Z výše uvedených vzorců je patrné, že výstupní hodnoty NPV závisí na několika faktorech. Citlivostní analýza má za úkol zobrazit nuance vznikající právě na základě změny vstupních parametrů.

### 6.3.1 Diskont

Nejprve se zaměřím na změnu NPV v závislosti na změně diskontu. Jak už je uvedeno výše, diskont ukazuje, jak ocení investor zhodnocení peněz. Z následujícího grafu vyplývá, že hodnota diskontu může zásadně ovlivnit rozhodnutí, zda se vyplatí do daného projektu investovat. Při diskontu větším než 2,5 se teoreticky realizace projektu nevyplatí, je však vhodné zohlednit i další aspekty, jako jsou osobní preference či zájmy.



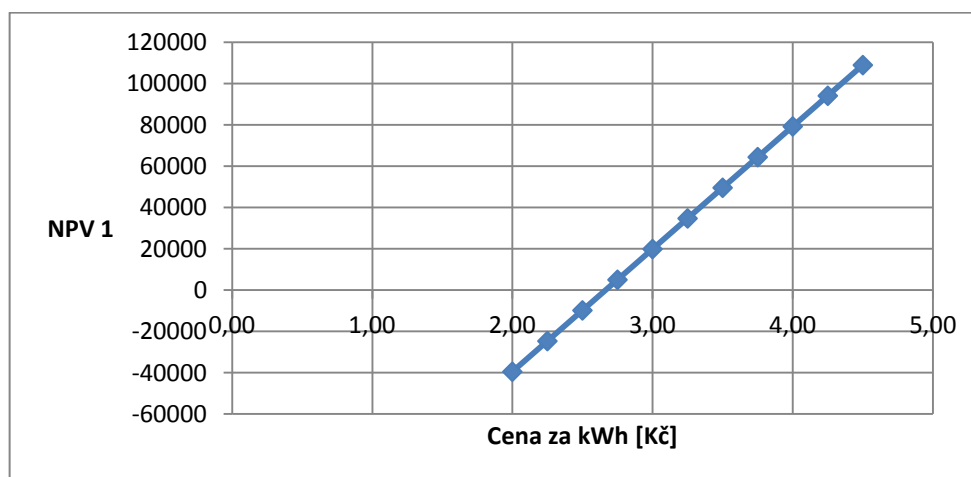
Graf 1 – Změna NPV v závislosti na diskontu

Diskont	0,01	0,015	0,02	0,025	0,03	0,035	0,04	0,045	0,05	0,055	0,06
NPV 1	21400	13100	5500	-1900	-8700	-15000	-20900	-26400	-31600	-36500	-41000

Tab. 8 – Změna NPV v závislosti na diskontu

### 6.3.2 Cena elektřiny

Dále hodnotu NPV ovlivňuje cena elektřiny. Při vyšší ceně za kWh vzroste i cash flow v jednotlivých letech, tím pádem i konečná hodnota NPV, při nižší ceně tomu bude naopak. Ve výpočtech ročních výdajů počítám se sazbou 2,75 Kč/kWh, která přísluší tarifu pro tepelná čerpadla, jehož výhody lze čerpat pouze po splnění daných podmínek – tepelný výkon čerpadla např. musí pokrýt minimálně 60% tepelných ztrát budovy – a pokud by nebyly splněny, bude cena za kWh znatelně vyšší. Následující graf zobrazuje hodnoty NPV při různých cenách za kWh (r je opět 2%):



Graf 2 – Změna NPV v závislosti na změně ceny za kWh

Při vyšších cenách elektrické energie však dosahují příznivějších hodnot i NPV 2. a 3. varianty:

Kč/kWh	Kč/rok	NPV1	NPV2	NPV3
2,00	8300	-39500	-145700	-141300
2,25	9100	-24600	-130900	-126500
2,50	10000	-9800	-116100	-111600
2,75	11000	5000	-101200	-96800
3,00	12000	19900	-86400	-81900
3,25	12800	34700	-71500	-67100
3,50	13700	49600	-56700	-52300
3,75	14600	64400	-41900	-37400
4,00	15500	79200	-27000	-22600
4,25	16500	94000	-12200	-7800
4,50	17300	108900	2700	7100

Tab. 9 – NPV 1,2 a 3 při různých cenách za kWh

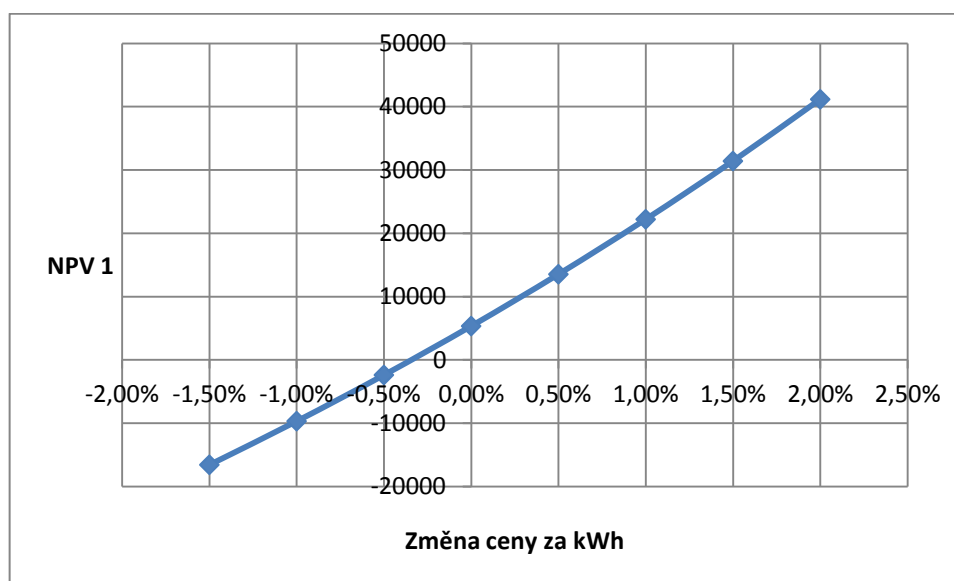
Z výše uvedené tabulky lze odhadnout, že při ceně vyšší než 4,40 Kč/kWh by měla realizace všech uvažovaných možností využití větru pro vytápění smysl.

### 6.3.3 Nárůst či pokles ceny za kWh

Poslední posuzovanou změnou bude roční nárůst cen energie. Spolehlivá prognóza cen elektřiny je prakticky nemožná, poněvadž se odvíjí jak od státní politiky, regulací či dotací, tak od záměrů investorů nebo přírodních katastrof. Následující tabulka zobrazuje čistou současnou hodnotu projektu pro různé možnosti konstantního poklesu nebo nárůstu ceny za kWh.

Změna	-1,50%	-1%	-0,50%	0%	0,50%	1%	1,50%	2%
NPV 1	-16572	-9684	-2389	5338	13526	22204	31404	41159

Tab. 10 – Změna NPV při různých změnách ceny za kWh



Graf 3 – Změna NPV 1 v závislosti na změně ceny za kWh

Na grafu je znázorněna závislost NPV varianty 1 na změně ceny elektrické energie. Pokud by cena elektřiny ročně klesala řádově o desetiny procenta, nebylo by pořízení malé domácí větrné elektrárny výhodné. Při nárůstu ceny za kWh však bude hodnota NPV narůstat.

## 7 Závěr

V teoretické části této práce jsem nastínila několik možností využití větru k vytápění. Základním dělítkem bylo, zda bude energie větru využita k výrobě elektrické energie, která bude následně přeměněna na teplo, nebo bude větrný rotor vytvářet mechanický pohon topného zařízení.

Některé zdroje zmiňují generátor tepla, v němž dochází k ohřevu třením kapaliny v systému, realizace této varianty by však byla velmi náročná, neboť se na našem trhu neobjevuje žádný výrobce nabízející podobné zařízení. Na podobný problém narazíme i u možnosti pohonu kompresoru tepelného čerpadla společným hřídelem větrného rotoru. Ačkoliv by úprava tepelného čerpadla nebyla náročná, je problém sehnat větrný rotor s vertikální osou rotace za cenu srovnatelnou s cenou větrných vrtulí; realizace svépomoci by připadala v úvahu, ne však pro výkony dostatečné pro temperaci objektu - konstrukce Savoniova rotoru není náročná, jeho nízkou účinnost je ale potřeba kompenzovat rozměry.

V úvahu tak přichází zejména kombinace větrné elektrárny s topným zařízením – tepelným čerpadlem či elektrickým vytápěním. Všechny varianty jsem porovnávala s variantou nulovou, kterou tvoří tepelné čerpadlo pracující na principu vzduch-vzduch napájené z elektrizační soustavy. Varianta kombinující tento typ tepelného čerpadla s větrnou elektrárnou je ekonomicky srovnatelná s variantou nulovou, při vyšší ceně elektřiny dokonce výhodná. Pokud bych upřednostnila tepelné čerpadlo na principu vzduch-voda, byly by výdaje podstatně vyšší, nespornou výhodou tohoto tepelného čerpadla je však rovnoměrný spolehlivý ohřev celého prostoru v kombinaci s uvažovaným teplovodním podlahovým vytápěním. Téměř stejné výsledky vyšly i u třetí varianty – elektrického podlahového vytápění. Ve skutečném provedení však potřebuje dodat vyšší výkon než tepelné čerpadlo, proto bych raději volila tepelné čerpadlo (byť je druhá varianta o něco dražší); potřebný průměr větrné elektrárny by byl téměř poloviční a esteticky únosnější.



Nejlepší možností využití větru k vytápění je tak kombinace tepelného čerpadla vzduch-vzduch s větrnou elektrárnou. Další možnosti s podlahovým vytápěním mají při nižší ceně elektřiny NPV záporné, při požadavku vyššího komfortu však ob stojí lépe. Mé výpočty však nemusí přesně odrážet realitu, jelikož v nich počítám s dobou životnosti 20 let, což je doba, pro kterou je předpovídatelnost výnosů špatná. Neopominutelným faktorem ovlivňujícím zájmy investora je také riziko. Nulová varianta reprezentuje velmi spolehlivou dodávku energie, přizpůsobitelnou aktuálním potřebám vytápění. Na druhou stranu domácí větrná elektrárna nabízí jistou formu samostatnosti a splňuje ekologické představy moderního člověka.

V závěru je ještě vhodné dodat, že jakýkoliv z projektů spojení větrné elektrárny s topným systémem otevírá další možnosti: v zimním období systém plní funkci temperace domu či chaty, v letních měsících může být získaný výkon využit k jiným účelům. Nabízí se například ohřev teplé užitkové vody, napájení domácích spotřebičů nebo ohřev vody v bazénu.

## 8 Zdroj

- [1] ŠTEKL, Josef, RNDr. Větrná energie, 1/98, ISSN 1211-0531
- [2] KAPPEL, Jindřich, Ing. Větrná energie, 1/98, ISSN 1211-0531
- [3] SCHULZ, Heinz. Savoniův rotor: návod na stavbu. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2005, 77 s. ISBN 80-861-6726-7
- [4] RYCHETNÍK, Václav. Větrné motory a elektrárny. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1997, 199 s. ISBN 80-010-1563-7
- [5] Ilustrovaný encyklopedický slovník. 1. vyd. Editor Miroslav Štěpánek. Praha: Academia, 1981, 957 s.
- [6] Encyklopedie meteorologie a klimatologie. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.meteocentrum.cz/encyklopedie/vitr.php>
- [7] Anemometr. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://sisyfos.zcu.cz/fyzika/predf131/Anemometr.pdf>
- [8] Anemometr. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:Anemometer.jpg>
- [9] Větrné podmínky v ČR. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/9770-vetrne-podminky-v-ceske-republice-ve-vysce-10-m-nad-povrchem-i>
- [10] Meteorologická stanice Lysá hora. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.lysa.hora.cz/encyklopedie/objekty1.phtml?id=107685>
- [11] Větrné elektrárny a kulturní krajina. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.4-construction.com/cz/clanek/vetrne-elektrarny-a-kulturni-krajina/>
- [12] Česká společnost pro větrnou energii. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/cz/detail-kategorie/studijni-materialy/126>
- [13] NAVRÁTIL, Jan. Domácí kotel a ... tepelné čerpadlo: návod na stavbu. 1. vyd. Praha: Vlastím nákladem, 1997, 153 s. ISBN 80-902-2441-5
- [14] Tepelná čerpadla. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://digiroom.digizone.cz/clanky/tepelna-cerpadla-vzduch-vzduch-a-vzduch-voda-jak-funguji-a-kam-se-hodi/>
- [15] Topný faktor. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Topn%C3%BD\\_faktor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Topn%C3%BD_faktor)

- [16] Výpočet potřebného výkonu. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.nejlevnejsikrby.cz/cz-clanky-13.html>
- [17] Topná folie. In: [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.shopelektro.cz/elektricke-vytapeni/topne-folie/podlahove-topne-folie/fenix-41v6652308-ecofilm-f-1004-40w-m2>
- [18] PE folie. In: [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://dektrade.cz/produkty/detail/2635101010-pe-folie-tl-0-2mm-50m-x-2m-100m2-bal>
- [19] *Technická zařízení budov* [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz>
- [20] Distribuční sazby elektřiny. In: [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.penize.cz/spotrebitel/256691-distribucni-sazby-elektřiny-mate-tu-spravnou>
- [21] Tepelná čerpadla IVT. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.cerpadla-ivt.cz>
- [22] *Katalog větrných elektráren* [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: [http://www.dasty.eu/katalog-produktu?page=shop.product\\_details&flypage=flypage\\_default.tpl&product\\_id=133&category\\_id=28](http://www.dasty.eu/katalog-produktu?page=shop.product_details&flypage=flypage_default.tpl&product_id=133&category_id=28)
- [23] *Porovnání cen podlahové topení vs. radiátory* [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.hst-zichlinek.cz/porovnani-cen-podlahove-topeni-vs.-radiatory,356.html>
- [25] *Hodnocení investic* [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.businessvize.cz/rizeni-a-optimalizace/hodnoceni-investic-cista-soucasna-hodnota-npv-strucne-a-jasne>
- [26] Pen KOHOUT, Pavel. *Peníze, výnosy a rizika: příručka investiční strategie*. 2. rozš. vyd. Praha: Ekopress, 2002, 214 s. ISBN 80-861-1948-3.
- [27] Spořicí účty. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.mesec.cz/produkty/sporici-ucty/>
- [28] Topná folie. [online]. [cit. 2014-05-20]. Dostupné z: <http://www.podlahove-topeni.eu/ecofilm-f-60655-60wm2-topna-folie-pro-podlahove-vytapeni-p292>

## 9 Seznam obrázků

<i>Obr. 1 – Dvojstupňový Savoniův rotor (Zdroj [3] strana 4) .....</i>	<i>12</i>
<i>Obr. 2 – Typy Darrierových rotorů (Zdroj [4] strana 35) .....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 3 – Obvyklá schémata uspořádání vrtulí větrných motorů (Zdroj [4] strana 32) ...</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 4 – Typy větrných rotorů motorů s horizontální osou rotace ( Zdroj [4] strana 33)</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 5 – Orientační zařízení s kormidlem ( Zdroj [4] strana 85) .....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 6 – Příklad realizace – tepelné čerpadlo vzduch - voda (Zdroj [13] strana 9).....</i>	<i>18</i>
<i>Obr. 8 – Jedno z možných uspořádání generátoru tepla na principu vodní brzdy (Zdroj [4] strana 171) .....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 7 - Ukázka provedení statoru a rotoru hydraulického generátoru tepla (Zdroj [4] strana 171).....</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 9 – Anemometer (Zdroj [8]) .....</i>	<i>23</i>
<i>Obr. 10 – Pole průměrné rychlosti větru ve výšce 10 m (Zdroj [9]).....</i>	<i>24</i>
<i>Obr. 11 – Urychlení větru na horském hřebenu (Zdroj [4] strana 25) .....</i>	<i>25</i>
<i>Obr. 12 - Schéma – nulová varianta.....</i>	<i>27</i>
<i>Obr. 13 – Tepelné čerpadlo NordicInverter (Zdroj [21]).....</i>	<i>28</i>
<i>Obr. 14 – Schéma – varianta 1.....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 16 – Schéma – varianta 2.....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 15 – Větrná elektrárna ANERN 3000 W 5BLADE (Zdroj [22]) .....</i>	<i>30</i>
<i>Obr. 17 - Tepelné čerpadlo IVT Air 50 (Zdroj [22]) .....</i>	<i>31</i>
<i>Obr. 18 – Schéma – varianta 3.....</i>	<i>32</i>
<i>Obr. 19 – Topná folie (Zdroj [28]) .....</i>	<i>33</i>

## 10 Seznam tabulek

<i>Tab. 1 – Dosahované hodnoty výkonových součinitelů <math>C_p</math> a rychloběžnosti u některých typů větrných motorů (Zdroj: [4] strana 49) .....</i>	<i>10</i>
<i>Tab. 2 – Beaufortova stupnice (Zdroj [6]) .....</i>	<i>22</i>
<i>Tab. 3 – Topný faktor tepelného čerpadla při různých teplotách .....</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 4 – Roční výdaje za elektřinu .....</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 5 – Kalkulace varianty 1 .....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 6 – Kalkulace – podlahové vytápění, topné folie .....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 7 – NPV variant 1,2 a 3 .....</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 8 – Změna NPV v závislosti na diskontu .....</i>	<i>37</i>
<i>Tab. 9 – NPV 1,2 a 3 při různých cenách za kWh .....</i>	<i>38</i>
<i>Tab. 10 – Změna NPV při různých změnách ceny za kWh .....</i>	<i>39</i>

## 11 Seznam grafů

<i>Graf 1 – Změna NPV v závislosti na diskontu .....</i>	<i>37</i>
<i>Graf 2 – Změna NPV v závislosti na změně ceny za kWh .....</i>	<i>38</i>
<i>Graf 3 – Změna NPV 1 v závislosti na změně ceny za kWh .....</i>	<i>39</i>