

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

**Fakulta elektrotechnická  
Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd**

## **Větrná elektrárna jako zdroj pro vytápění obce**

### **Wind turbin for heat source of village**

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Ekonomika a řízení energetiky

Vedoucí práce: Ing. Miroslav Vítek, CSc.

**Bc. Tomáš Komrška**

---

**Praha 2015**

České vysoké učení technické v Praze  
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Komrska Tomáš

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

Název tématu: Větrná elektrárna jako zdroj pro vytápění obce

Pokyny pro vypracování:

- sestavení variant
- stanovení investičních a provozních nákladů variant
- výběr optimální varianty

Seznam odborné literatury:

Podle pokynů vedoucího DP.

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

Platnost zadání: do konce letního semestru akademického roku 2014/2015



Doc.Ing. Jaroslav Knápek, CSc.  
vedoucí katedry

Prof.Ing. Pavel Ripka, CSc.  
děkan

V Praze dne 8.11.2013

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a veškeré podklady a zdroje jsou uvedené v příloženém seznamu.

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).

V Praze dne 5. 1. 2015

.....

Podpis

## **Poděkování**

Tímto bych rád poděkoval zejména Ing. Miroslavu Vítkovi, CSc. za jeho odbornou pomoc a čas, který věnoval vedení mé diplomové práce, a všem ostatním, kteří mi poskytli cenné rady a podněty k sepsání této práce.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zabývá možnostmi ekologického zásobování tepelnou energií obce Zbilidy na Českomoravské vrchovině. Uvádí srovnání tří variant projektu, které by mohly zajistit přísun tepelné energie. Varianty jsou: peletové kotle, kogenerační jednotka, palivový článek. Práce obsahuje stručný popis výroby elektřiny větrnou elektrárnou. Dále funkci jednotlivých zařízení, ze kterých se vodíkové hospodářství skládá. Jde zejména o elektrolyzér, zásobník vodíku, palivový článek a kogenerační jednotku. Práce zároveň hodnotí ekonomickou stránku jednotlivých navrhovaných řešení a srovnává je. Závěr obsahuje shrnutí výsledků a doporučení.

**Klíčová slova:** vítr, věrná elektrárna, vodík, elektrolyzér, palivový článek, kogenerační jednotka, ekonomické hodnocení, peletový kotel

## **Abstract**

This diploma thesis discusses ecological supplying by thermal energy in village Zbilidy, which is situated on Českomoravská vrchovina. It shows a comparison of 3 projects alternatives that could ensure the supply of thermal energy. The presented variants are pellet boilers, cogeneration units and fuel cells. The thesis contains description of electricity production using wind plant. The thesis describes function of devices used in hydrogen management such as electrolyzer, hydrogen storage device, fuel cell and cogeneration unit. There are also economic calculations of suggested solutions and comparison. At the end of the thesis is summary and recommendation.

**Keywords:** wind, wind power plant, hydrogen, electrolyzer, fuel cell, cogeneration unit, economical evaluation, pellet boiler

## Obsah

Seznam použitých zkratk	9
Úvod	10
1 Větrná energetika	11
1.1 Historie větrné energetiky	11
1.2 Energie větru	13
1.3 Větrné elektrárny	15
1.3.1 Odporové motory	15
1.3.2 Vztlkové motory	16
1.3.3 Elektrická zařízení větrných elektráren	17
1.3.4 Rozdělení dle velikosti	18
1.4 Větrná energetika v ČR	23
1.4.1 Větrná mapa	23
1.4.2 Potenciál větrné energie	24
2 Vodík	27
2.1 Vlastnosti	27
2.2 Výroba	29
2.2.1 Výroba z uhlovodíkových paliv	30
2.2.2 Výroba z biomasy	32
2.2.3 Výroba z vody	33
2.3 Skladování a transport vodíku	36
2.3.1 Plynné skupenství	37
2.3.2 Kapalné skupenství	37
2.3.3 Transport vodíku	38
3 Potřeba tepelné energie pro obec Zbilidy	38
4 Technická část	44

4.1	Návrh výroby vodíku a jeho transportu ke spotřebitelům .....	44
4.1.1	Větrná elektrárna .....	45
4.1.2	Elektrolyzér .....	46
4.1.3	Kompresor .....	46
4.1.4	Vysokotlaký zásobník .....	47
4.1.5	Plynojem.....	47
4.2	Návrh výroby tepla pro obec .....	48
4.2.1	Varianta 1 – peletové kotle.....	48
4.2.2	Varianta 2 – kogenerační jednotky.....	49
4.2.3	Varianta 3 – palivové články.....	50
5	Ekonomické vyhodnocení .....	51
5.1	Metodika hodnocení .....	51
5.2	Použité vztahy a vzorce .....	51
5.3	Předpoklady .....	56
6	Výpočty .....	58
6.1.1	Varianta 1 – peletové kotle.....	58
6.1.2	Varianta 2 – kogenerační jednotky.....	60
6.1.3	Varianta 3 – palivové články.....	64
6.2	Shrnutí a doporučení.....	67
	Závěr.....	69
	Zdroje .....	70
	Přílohy .....	74
	Příloha 1.....	74
	Příloha 2.....	75
	Příloha 3.....	77
	Příloha 4.....	78
	Příloha 5.....	79

Příloha 6 - výpočty .....	80
---------------------------	----



## Seznam použitých zkratek

cca – z latinského „circa“, přibližně

ČR – Česká republika

FC – z anglického „fuel cell“, palivový článek

Nm<sup>3</sup> – normálový metr krychlový

PEMFC – z anglického „proton exchange membrane fuel cell“, výměna protonu přes membránu palivového článku

ppm – z anglického „parts per milion“, částic na milion

SOEC – z anglického „solid oxide electrolyzer cell“, elektrolyzér s pevnými oxidy

TUV – teplá užitková voda

VTE – větrná elektrárna

# Úvod

V dnešní době je kladen velký důraz na ekologii a využití čistých zdrojů pro výrobu energie. Navíc se ve výhledu předpokládá vyčerpání některých přírodních fosilních paliv jako např. uhlí, a proto je nutné zajistit jiný zdroj energie. Větrná energie patří společně se slunečním zářením a vodní energií ke zdrojům, které teoreticky vyčerpát nelze. V souvislosti s omezováním používání fosilních paliv na vytápění si tato práce klade za cíl najít a posoudit ekologický zdroj vytápění pro celou obec Zbilidy na Vysočině.

V zájmu trvale udržitelného rozvoje a eliminace negativních vlivů energetiky na životní prostředí je snaha využít v rozumné míře potenciál obnovitelných zdrojů. Současně je kladen důraz na to, aby tyto alternativní zdroje byly jak technicky, tak i ekonomicky konkurenceschopné. V České republice se nabízí možnost použití biomasy a ve vhodné lokalitě také větrné energie.

Využití větrné energie by spočívalo v akumulaci energie větru pomocí elektrolýzy vody do vodíku a jeho následným využitím k získání tepelné a elektrické energie. K tomu by sloužily kogenerační jednotky a palivové články. Tyto varianty budou následně porovnány s konvenční technologií ekologického vytápění – paletovými kotli spalující biomasu. V závěru práce budou shrnuty výsledky a učiněna doporučení.

Práce je rozdělena do dvou hlavních částí. První část se zabývá literární rešerší, která obsahuje základní pojmy související s větrnými elektrárnami a pojednává o potenciálu větrné energetiky na území ČR. Dále se první část zaměřuje na základní vlastnosti vodíku jako chemického prvku a jako nosiče energie. Následují obecné charakteristiky a principy zařízení používaných k výrobě a skladování vodíku. Druhá část je věnována návrhu variant vodíkového hospodářství, popisu variant a následně jejich ekonomickému posouzení.

# 1 Větrná energetika

## 1.1 Historie větrné energetiky

Historie využití energie větru sahá daleko do lidských dějin. První zmínky o využití větru se dají najít ve starověkém Egyptě z období okolo roku 300 před. n. l. [1]. Do Evropy se stroje poháněné větrem začaly dostávat v 13. století díky Arabům. Na území dnešního Holandska tato technologie zažila rozmach a používala se k mletí obilí, čerpání vody a zpracování dřeva.

Nejdůležitějším strojem využívající energii větru byl od této doby a až do 19. století větrný mlýn. Toto zařízení pracuje na principu přeměny síly větru v mechanickou práci. Na počátku se budovaly jako pevné budovy. Ve 14. století Brit Rex Wailles přišel na to, že konstrukce větrných mlýnů se dá upravit tak, aby se střecha dala otáčet podle směru větru [2]. Počet větrných mlýnů v následujících stoletích stoupal a svoji zlatou éru prožil v 18. století. Stavěly se mlýny ve dvou základních provedeních. Buďto se větrné mlýny proti větru natáčely celé (tzv. sloupové větrné mlýny) nebo se natáčela jen jejich střešní část s křídly (tzv. holandské mlýny). Natáčení bylo realizováno pomocí jednoduchých vnějších nebo vnitřních mechanismů ručně, pouze v poslední etapě jejich existence byly holandské mlýny vybaveny i automatickým natáčením střešní části. Výkon větrných mlýnů se reguloval přidáváním nebo ubíráním výplně křídel [3].



Obrázek 1: Větrný mlýn holandského typu v Jalubí, převzato z [4]



Obrázek 2: Větrné čerpadlo Kunz v obci Višňové na Znojemsku, převzato z [5]

Dalším významným strojem využívající energii větru jsou větrná čerpadla. Tato zařízení se používají převážně k čerpání vody a jsou typická zejména pro Severní Ameriku. Jedná se o poměrně jednoduchá zařízení. Hlavní částí je rotor s lopatkami a kormidlem, které zajišťuje jeho natáčení proti směru vanoucího větru. Rotor je poháněn větrem a prostřednictvím excentru na své ose dává pohyb táhlu spojenému s pístem čerpadla. To je umístěno přímo na trubce, která bývá současně i hlavním nosným elementem celého zařízení, spolu se skládací trojnožkou nebo s uchycením kotvenými lanky [6]. Větrná čerpadla se až do 20. let dvacátého století vyráběla i u nás. Specializovala se na ně firma Kunz z Hranic. Některá jejich čerpadla se dochovala dodnes jako technické památky<sup>1</sup> [3].

1.1.1. K využívání větrné energie jako zdroje pro výrobu elektrické energie došlo v 80. letech 19. století na dvou místech současně. Američan Charles F. Brush sestavil v Clevelandu v Ohiu první automatickou větrnou turbínu napojenou na generátor elektrického proudu. Rotor elektrárny měl průměr 17 m a skládal se ze 144 paprskovitě uspořádaných lopatek z cedrového dřeva. Výkon generátoru byl až 12 kW [3]. V Evropě realizoval první aplikace Dán Poul la Cour. Roku 1891 postavil první větrnou elektrárnu se čtyřmi až šesti lopatkami tvořenými plachtami napnutými na rámové konstrukci v obci Askov na jihu Jutského poloostrova. Celá konstrukce se podobala klasickému větrnému mlýnu [3]. Avšak vzhledem k objevení a vývoji parního stroje došlo v závěru 19. století k útlumu rozvoje využívání větrné energie.

Vývoj větrných elektráren dále spíše stagnoval. Do popředí zájmu se vrátily během světových válek z důvodu nedostatku energetických surovin. O jejich inovaci a vývoj se staralo především Dánsko. Větší impuls k vývoji a použití větrných elektráren byl způsoben především „ropnou krizí“ v 70. letech 20. století. Od 80. let se výkon elektráren postupně zvyšoval a to z desítek kW na stovky kW. Koncem 90. let sériově vyráběné elektrárny dosahovaly výkonu 1 MW [3].

V současnosti dochází k obnově zájmu o využívání větrné energie a to především pro výrobu elektrické energie. Tento „boom“ větrné energetiky souvisí se snahou omezit nepříznivé vlivy při využívání fosilních paliv pro výrobu energie a s tím související snaha o snížení emisí skleníkových plynů v atmosféře [1].

---

<sup>1</sup> Např. v obci Višňové na Znojemsku, viz obrázek 2.

## 1.2 Energie větru

Vítr vzniká vlivem nerovnoměrného ohřevu zemského povrchu slunečním zářením. Od ohřátého povrchu se ohřívá přilehlá vrstva vzduchu a teplý vzduch stoupá vzhůru. Celý děj je silně ovlivněn rotací Země a střídáním dne a noci. To má za důsledek vznik tlakových rozdílů v zemské atmosféře. Vyrovnaním tlakových rozdílů vzniká vítr, který vane vždy od tlakové výše k tlakové níži.

Z hlediska využívání větrné energie je nejdůležitějším faktorem rychlost větru, která má nejvýraznější vliv na celkový i využitelný výkon větru. Rychlost větru je ovlivňována členitostí zemského povrchu a platí, že směrem k němu klesá [1]. Poblíž zemského povrchu je proudění vzduchu ovlivňováno členitostí terénu – vítr je zpomalován terénními překážkami – stavbami, kopci, a také druhem povrchu (tráva, les, vodní hladina, sníh apod.). S rostoucí výškou se rychlost větru logaritmicky zvyšuje [8]. Je tedy rozdíl mezi rychlostí větru ve výšce 10 m a 100 m nad terénem.

Energie pohybující se hmoty vzduchu je možno vyjádřit následujícím vztahem (1):

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

kde  $v$  představuje rychlost [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ] vzduchu a  $m$  hmotu [kg]

hmotu  $m$  můžeme vyjádřit vztahem (2) pomocí objemu  $V$  a hustoty vzduchu  $\rho$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot A \cdot s \quad (2)$$

kde  $A$  je plocha, kterou daný objem protéká

$s$  je dráha, kterou urazí pohybující se vzduch

Z výše uvedených vztahů je možno odvodit rovnici pro výkon větru protékajícího jednotkovou plochou  $P_v$ .

$$P_v = \frac{E}{A \cdot t} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{A \cdot s}{A \cdot t} \cdot v^2 \quad (3)$$

Tento vztah (3) můžeme dále upravit výrazem  $v = s/t$  na

$$P_v = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \quad (4)$$

Z výsledné rovnice (4) vyplývá, že výkon větru  $P_v$  [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ ] protékající jednotkovou plochou  $1 \text{ m}^2$  je přímo úměrný hustotě vzduchu a třetí mocnině rychlosti větru. Tento vztah jinak řečeno říká, kolik wattů protéká plochou  $1 \text{ m}^2$ .

### 1.3 Větrné elektrárny

Základní částí větrných elektráren jsou větrné motory, které slouží k přeměně kinetické energie větru na mechanickou energii. Ve větrných elektrárnách se nejprve kinetická energie větru přeměňuje v mechanickou energii, která je následně transformována v elektrickou energii. Rozdělení větrných elektráren může být provedeno podle mnoha různých hledisek. Základní je však rozdělení podle aerodynamického principu funkce větrného motoru, a to na:

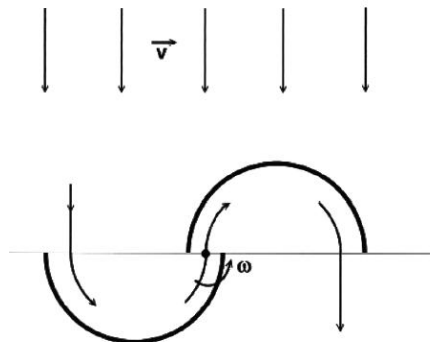
- odporové motory
- vztlakové motory

#### 1.3.1 Odporové motory

Z pohledu využití patří tento typ větrných motorů mezi nejstarší. Jejich podstatou je plocha, která při nastavení proti větru vytváří aerodynamický odpor. Tím se na této ploše vytváří síla, která se mechanicky přeměňuje na rotační pohyb. Aby mohl u tohoto typu větrného motoru vzniknout hnací krouticí moment, musí být obvodová rychlost vždy menší než rychlost větru. Bez odběru energie z hřídele jsou otáčky úměrné rychlosti větru a při zdvojnásobení rychlosti větru se i otáčky zvýší dvojnásobně [1].

Účinnost těchto větrných motorů je v rozmezí 15 – 23 %, což je jedním důvodů jejich nízkého výskytu v moderní energetické koncepci.

Mezi klasické představitele daného typu větrného motoru patří například Savoniův motor (viz obrázek 3).



Obrázek 3: Savoniův větrný motor, převzato z [1]

Savoniův motor je v základním provedení sestaven ze dvou svislých lopatek, které jsou uprostřed přibližně o 20 % průměru rotoru předsazeny do protisměru. V této konfiguraci je část energie větru ze zadní strany „pasivní“ lopatky směřována na přední stranu „aktivní“ lopatky.

Výhody Savoniova motoru (a všeobecně odporových motorů) se dají shrnout do několika bodů [1; 6]:

- jednoduchá konstrukce, a proto nízké investiční náklady
- nezávislost na směru větru – není potřeba otáčení rotoru do směru větru
- přímý přenos krouticího momentu na hřídel
- nízká hlučnost
- využití širokého pásma síly větru – využitelná rychlost větru již od  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

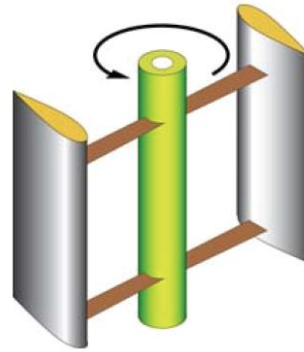
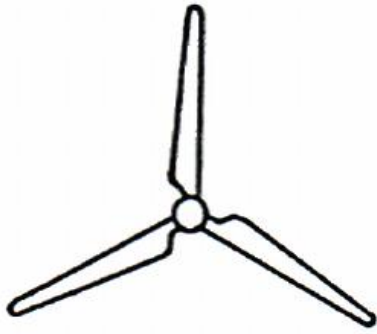
Za hlavní nevýhody při využití větrných motorů na odporovém principu lze považovat:

- malou rychloběžnost a nízké otáčky
- vysoké hodnoty točivého momentu
- nízký součinitel využití energie větru a z toho plynoucí malý dosažitelný elektrický výkon
- existenci mrtvého úhlu

### 1.3.2 Vztlkové motory

Mezi větrné motory pracující na vztlkovém principu patří rotory a větrná kola s vodorovnou osou otáčení, které jsou orientovány rovinou otáčení kolmo ke směru větru. Na takovém principu pracovaly již historické větrné mlýny, nebo tak pracují větrná kola vodních čerpadel. Nejčastěji jsou vztlkové rychloběžné motory konstruovány jako dvou nebo třílisté. Méně často i jako v jednolistém nebo čtyřlístém provedení. Na vztlkovém principu pracují také větrné motory s vertikální osou. Příkladem takového motoru je například motor Darrieus.





Obrázek 4: Vztlakový motor s vodorovnou osou otáčení    Obrázek 5: Vztlakový motor s vertikální osou otáčení [1]

Účinnost vztlakových motorů je vyšší než motorů odporových. Dosahuje hodnoty okolo 45 %. Přitom maximální dosažitelná účinnost je 59,3 % [7]. Obecně platí, že frekvence otáčení při stejném průměru rotoru nepřímo závisí na počtu lopatek. Při větším počtu lopatek se větrný motor zase snadněji rozbíhá a má při rozběhu větší moment síly.

### 1.3.3 Elektrická zařízení větrných elektráren

K přeměně kinetické energie větru na elektrickou energii slouží generátory. K tomu se používají tyto dva druhy:

- asynchronní generátor
- synchronní generátor

Asynchronní generátor je v porovnání se synchronním jednodušší a finančně méně náročný, z hlediska provozu je také spolehlivější. Nevýhodou asynchronního generátoru je malé rozpětí otáček. Naopak výhodou asynchronního generátoru je jeho jednoduchý rozběh, připojení na síť a regulace výkonu [1].

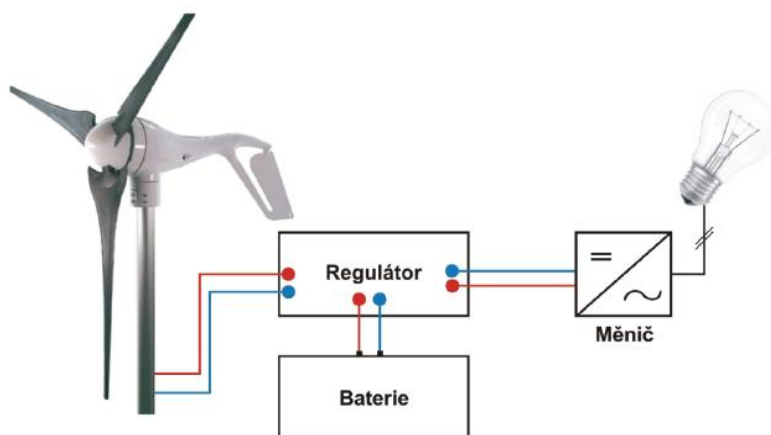
Synchronní generátor může být provozován pouze při synchronních otáčkách větrné turbíny. Aby bylo možné synchronní generátor provozovat v širším rozmezí otáček, je potřeba vyrobenou elektrickou energii usměrnit a následně opět s využitím střídače převést na frekvenci sítě [1].

#### 1.3.4 Rozdělení dle velikosti

Větrné elektrárny lze dle instalovaného výkonu dělit na:

- elektrárny malých výkonů
- elektrárny středních výkonů
- elektrárny velkých výkonů

Elektrárny malých výkonů nejčastěji slouží jako autonomní systémy (grind-off). Jejich výkon se pohybuje do 10 kW a pro výrobu elektrické energie využívají vícepólové synchronní generátory s permanentními magnety [1]. Součástí autonomního systému bývají i akumulátory a řídicí elektronika. V objektu pak může být buď rozvod stejnosměrného proudu s nízkým napětím (12 nebo 24 V), nebo je v systému zapojen ještě střídač pro dodávku střídavého proudu 230 V. Podle toho je nutno objekt vybavit energeticky úspornými spotřebiči. Autonomní systémy bývají často doplněny fotovoltaickými panely pro letní období, kdy je méně větru, ale více sluníčka [8]. Praktickým využitím malých větrných elektráren je například česká vědecká stanice J. G. Mendela v Antarktidě [9] (viz obrázek 7).



Obrázek 6: Návrh zapojení malé větrné elektrárny, převzato z [1]

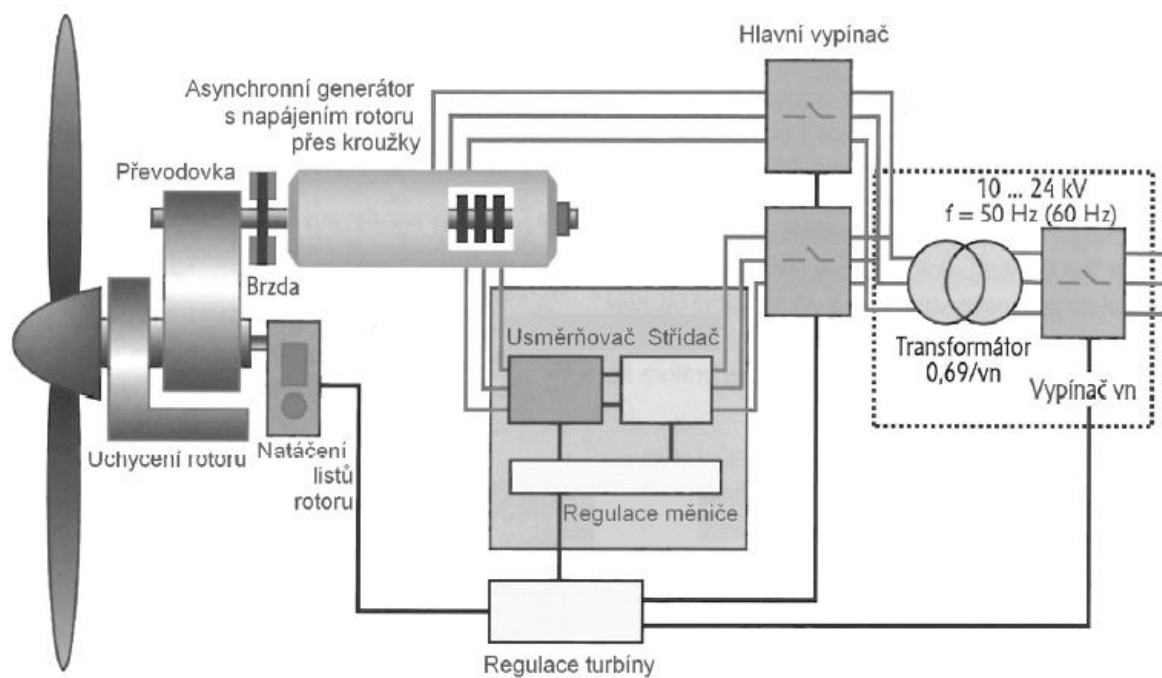


Obrázek 7: Malé větrné elektrárny v Antarktidě, převzato z [8]

Elektrárny středních výkonů pracují nejčastěji s výkonem do 100 kW. Dodávají již elektrickou energii do sítě (systémy grind-on). Pro její produkci využívají asynchronní motory s kotvou nakrátko pracující v generátorickém chodu. Výhodou asynchronních generátorů je jejich vysoká provozní spolehlivost, nenáročná údržba a nízké pořizovací náklady [1].

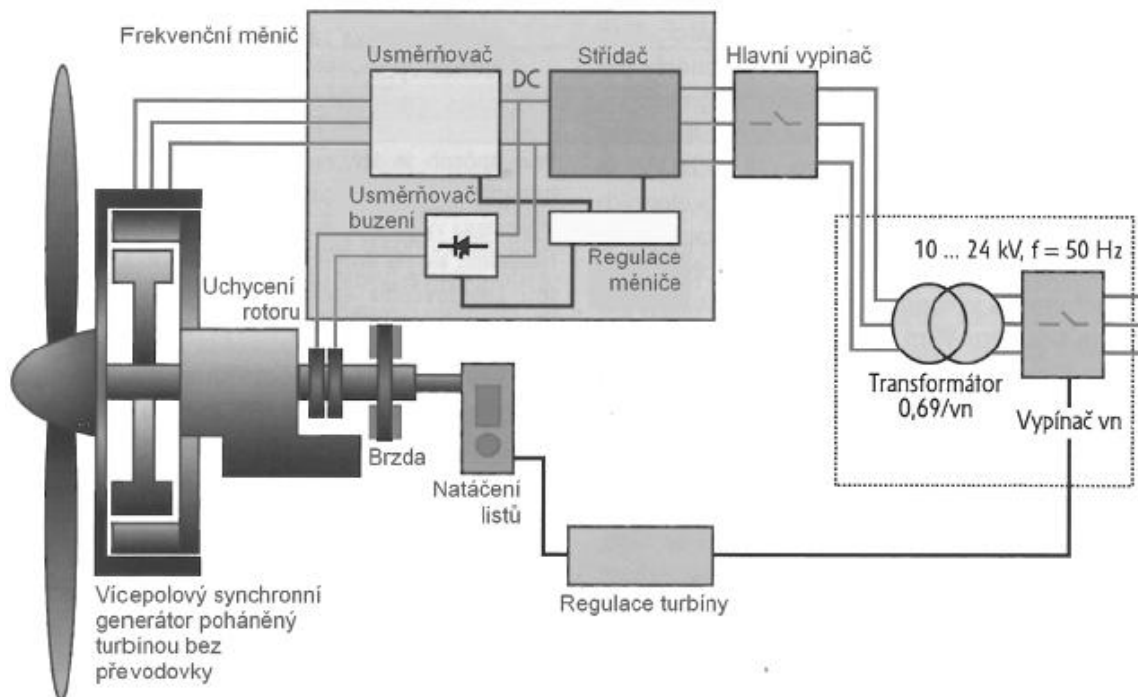
Elektrárny velkých výkonů pracují s výkonem stovek kW až jednotek MW. Stejně jako elektrárny středních výkonů dodávají elektřinu do sítě a používají asynchronní i synchronní generátory. „Nevýhodu při využití asynchronního generátoru, která plyne z malého regulačního rozpětí otáček generátoru, můžeme potlačit využitím asynchronního generátoru s napájeným rotorem (podsynchronní kaskáda), tzv. double-fed induction generator.“ [1]

Toto zapojení se používá u vyšších instalovaných výkonů generátorů a umožňuje jejich provoz i při nižších otáčkách turbíny – nízkých rychlostech větru. „Toto zapojení umožňuje provoz bez napájení rotoru v případě spojení rotorového vinutí nakrátko nebo v případě, že se do rotoru zapojí přídavné odpory, které umožní zvýšení rozsahu skluzu v generátorickém provozu sklonem momentové charakteristiky generátoru.“ [1] Příklad takového zapojení je na obrázku 8.



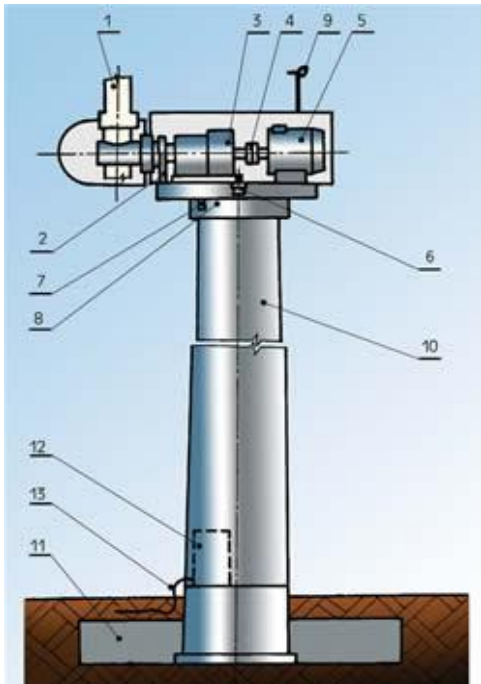
Obrázek 8: Asynchronní generátor s napájeným rotorem, převzato z [1]

V současnosti jsou poměrně často využívány synchronní generátory poháněné přímo turbínou bez převodovky. Konstrukčně jsou provedeny jako synchronní generátory s budícím vinutím na rotoru. Výhoda tohoto řešení spočívá ve snížení hmotnosti gondoly větrné elektrárny, ale na druhou stranu se zvětší rozměry generátoru, ke kterému je dále připojen měnič frekvence s možností regulace celého jeho výkonu [1]. Elektrárny v tomto provedení tak mohou pracovat v širokém rozpětí otáček turbíny. Příklad zapojení je na obrázku 9.



Obrázek 9: Synchronní generátor poháněný přímo turbínou, převzato z [1]

Strukturou se střední a velké větrné elektrárny o mnoho neliší a skládají se z níže uvedených částí. Rozdíly jsou často jen ve velikosti a dimenzování mechanických částí a pak v provedení gondoly/strojovny a samotné věže. Velké elektrárny mají dutý tubus věže se schody či výtahem a velkou strojovnu (viz obrázek 10).



Obrázek 10: Schéma větrné elektrárny, převzato z [8]

Základní části zařízení:

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

Technologie větrných elektráren prodělaly od 80. let 20. století velký rozvoj. Ten se projevil především následujících oblastech:

- zvětšováním jednotkového výkonu VTE
- růstem průměru rotorů
- zvětšováním výšky stožárů VTE a tím snížením nepříznivého vlivu drsnosti zemského povrchu
- snížením měrných nákladů na vyrobenou energii
- snižováním poruchovosti, hlučnosti a nárokům na provoz [12]

## 1.4 Větrná energetika v ČR

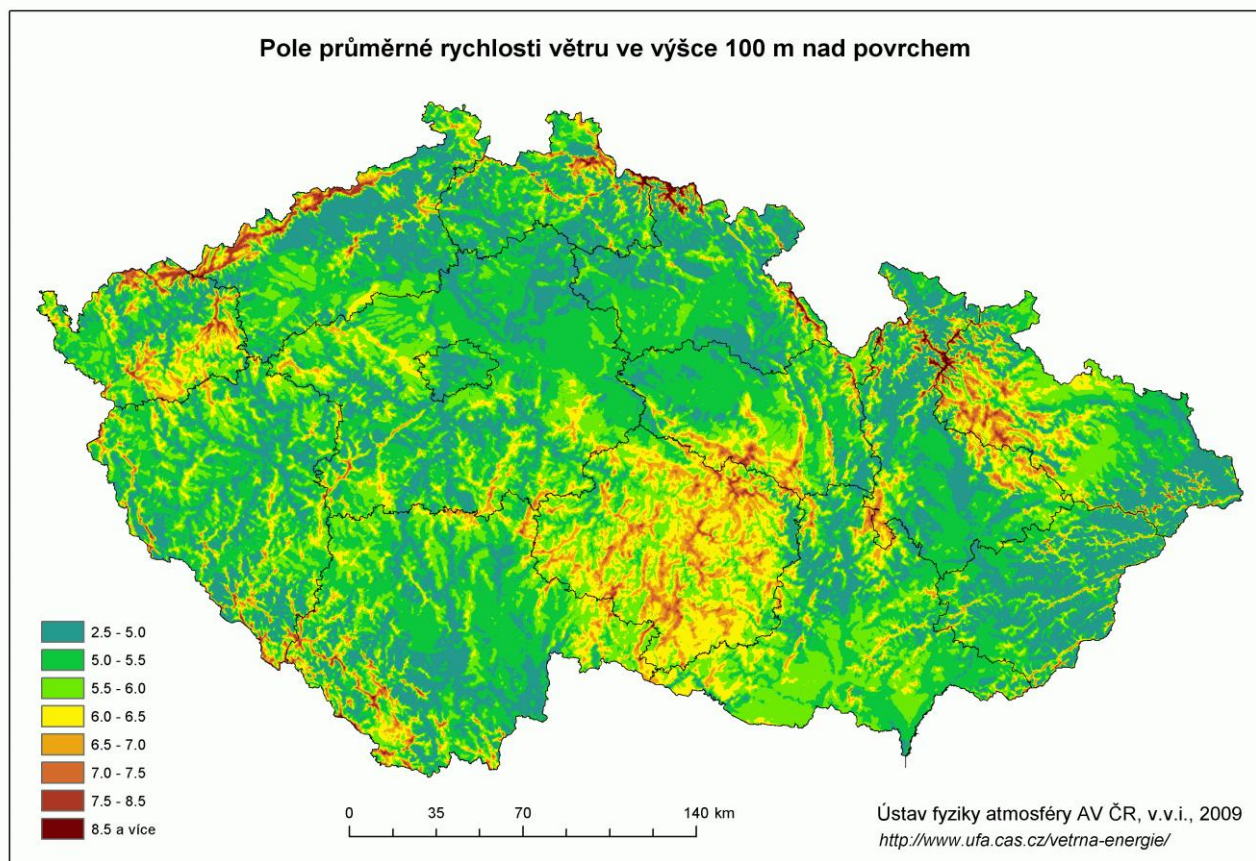
Větrné podmínky v zemích střední Evropy nejsou příliš příznivé, proto se zde větrné elektrárny používají jen v menším rozsahu. V ČR jsou vhodné větrné podmínky převážně pouze v horských oblastech a na vrchovinách, zejména v Krušných a Lužických horách, Krkonoších, Beskydech a Jeseníkách. Tato území jsou navíc chráněné oblasti nebo součástí národních parků. Potenciál větrné energie se v ČR odhaduje na 4 000 GWh ročně. To je asi 4 % naší celkové spotřeby elektřiny [8].

Česká republika není přímořskou zemí, proto je v našich geografických podmínkách problém s intenzitou větru a výběrem správné lokality pro výstavbu větrné elektrárny. Ve vybrané české lokalitě by se průměrná roční rychlost větru měla pohybovat nad hranicí  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Dolní hranice energetického využití větru se pohybuje okolo rychlosti  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a horní hranice se pohybuje okolo hodnoty  $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Při rychlostech větru nad  $25 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  jsou obvykle větrné elektrárny z bezpečnostních důvodů odstavovány. [1]

### 1.4.1 Větrná mapa

Zhodnocení výpočtů matematických modelů větrných poměrů na území České republiky se provádí do tzv. větrné mapy. Výsledkem takových modelů jsou různé parametry větru. Mezi nejjednodušší a nejlépe pochopitelné parametry patří průměrná rychlost větru v dané výšce nad zemským povrchem. Právě vzdálenost od zemského povrchu je klíčová, protože v menších výškách je rychlost větru více ovlivněna lokálními podmínkami. Větrná mapa není vhodný zdroj pro plánování konkrétního projektu kvůli své omezené přesnosti. Poskytuje však náhled teoretického větrného potenciálu daného území.

Větrné mapy byly dříve vztahovány k výšce 10 m nad zemským povrchem. Právě v této výšce se totiž měří rychlost a směr větru. Se zvětšující se výškou větrných elektráren se změnila i výška ve větrných mapách. Její poslední verzi vydal Ústav fyziky atmosféry AV ČR v. i. i. v roce 2009. Zobrazuje rychlosti větru ve výšce 100 m nad povrchem (viz obr. 11) [10]. Na mapě je vidět, že oblasti s nadprůměrnou rychlostí větru jsou Krušné hory, Českomoravská vrchovina a Nízký Jeseník. Nejvyšších rychlostí větru je pak dosahováno v Hrubém Jeseníku a Krkonoších.



Obrázek 11: Větrná mapa ČR, převzato z [10]

#### 1.4.2 Potenciál větrné energie

Větrným potenciálem se uvažuje množství a výkon (výroba) větrných elektráren, které lze instalovat na daném území. Rozlišuje se potenciál klimatologický, technický a realizovatelný [15].

Klimatologický potenciál udává celkové množství energie, které je možné z větru získat za určitých předem definovaných podmínek. Jedná se o teoretickou hodnotu, která je v porovnání s ostatními nejvyšší. Nejsou v ní totiž zahrnuty reálné technické možnosti větrné energetiky ani legislativa.

Technický potenciál ukazuje maximální možný rozvoj větrné energetiky při úplném využití současných technických možností. I zde se jedná o teoretickou hodnotu, protože není reálné využít technický potenciál maximálně.

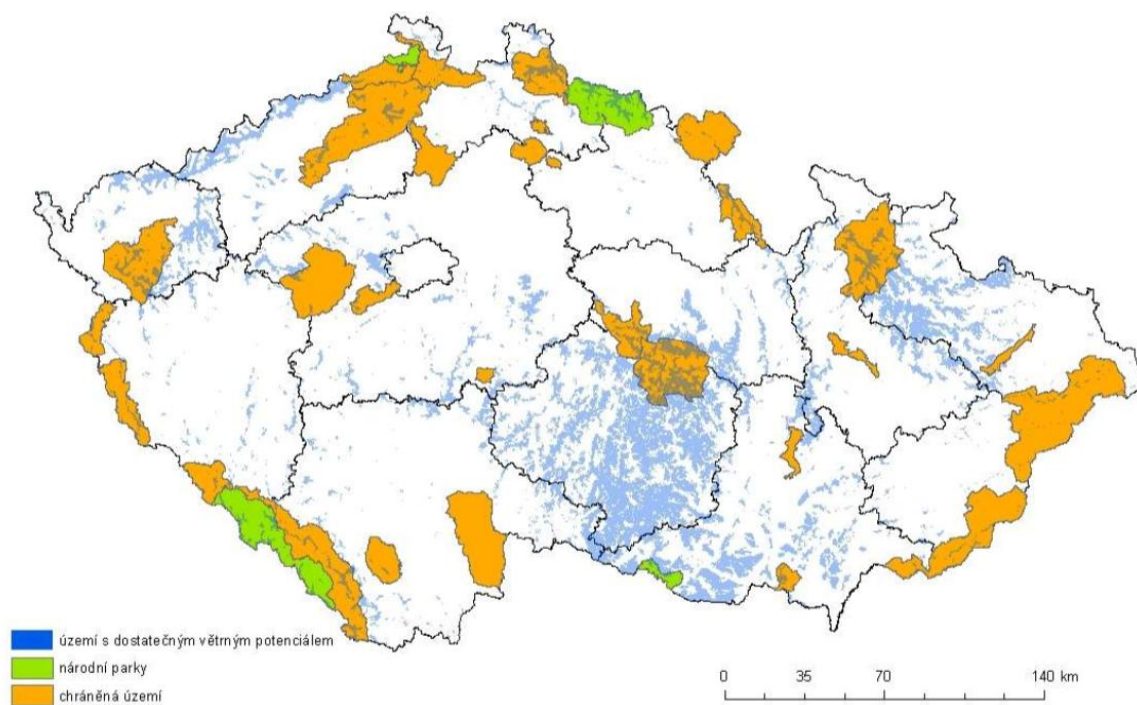
Realizovatelný potenciál udává celkové množství energie, které lze za současných podmínek skutečně získat.



Ústav fyziky atmosféry AV ČR provedl výpočet technického a realizovatelného potenciálu větrné energie v rámci studie navazující na výpočet větrné mapy [16]. Nejprve byla vymezena území umožňující ekonomicky rentabilní výstavbu větrných elektráren dostatečnou rychlostí větru. Následně byly vyloučeny lokality, v nichž vlivem současné legislativy nelze uvažovat o výstavbě VTE. Dalším krokem bylo umísťování jednotlivých větrných elektráren při dodržení jejich minimálního odstupu. Cílem tohoto omezení bylo umístit maximální počet větrných elektráren na co nejpříznivější pozice.

Vypočtený technický potenciál na území České republiky představuje přibližně 10 000 VTE o výkonu 2 MW a 3 000 VTE o výkonu 3 MW [15].

Zahrnutím dalších omezení, například dostupností, dopravní infrastrukturou, kapacitou elektrické sítě a zejména postojem společnosti k VTE, lze obtížně předvídat realizovatelný potenciál. Proto Ústav fyziky atmosféry AV ČR uvažoval tři různé scénáře – nízký, střední a vysoký. Tyto scénáře představovali různé postoje společnosti k VTE jako takové, kdy nízký scénář znamenal nízkou podporu pro větrnou energetiku a opačně. Jako výsledný scénář se použil střední, odpovídající racionálnímu přístupu k větrné energetice. Očekávaný realizovatelný potenciál odpovídá řádově 2 500 MW instalovaného výkonu na 1188 VTE o roční výrobě elektrické energie okolo 5,6 TWh [16].



Obrázek 12: Území s dostatečným větrným potenciálem pro výstavbu VTE [16]

Z obrázku 12 je patrné, že z hlediska krajského rozložení má největší větrný potenciál kraj Vysočina, následují kraje Ústecký, Moravskoslezský a Jihomoravský.

I přes omezený počet vhodných lokalit množství větrných elektráren každý rok stoupá. To dokládá tabulka 1.

<b>Rok</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>
Výkon [MW]	19,6	21,9	43,5	113,1	150	193,2	217,8	218,9	263	270
Výroba [GWh]	9,9	21,3	49,4	125,1	244,7	288,1	335,5	396,8	417,3	478,3

**Tabulka 1: Instalovaný výkon a výroba VTE v jednotlivých letech, zdroj [12]**

Výroba elektrické energie pomocí VTE je v České republice na vzestupu. V roce 2013 měly větrné elektrárny instalovaný výkon 270 MW. Výroba elektřiny brutto za tento rok činila 478 GWh. To ovšem činilo pouze 0,5 % z celkové výroby elektřiny v roce 2013 (viz tabulka 2).

<b>Druh elektrárny</b>	<b>2013</b>	
	absolutně	%
Parní	44 737,0	51,4
Jaderné	30 745,3	35,3
Paroplynové a plynov	5 272,4	6,1
Vodní	3 761,7	4,3
Fotovoltaika	2 070,2	2,4
Větrné	478,3	0,5
Celkem [GWh]	87 064,9	100,0

**Tabulka 2: Výroba elektřiny brutto za rok 2013 [12]**

## 2 Vodík

Jako technický plyn se využívá už několik desítek let. Oblasti jeho využití se stále rozšiřují a v budoucnu se možná stane hlavním nositelem energie. Následující kapitola se zaměřuje na jeho vlastnosti, způsoby výroby, možnosti skladování a přepravy a nakonec i na jeho uplatnění.

### 2.1 Vlastnosti

Vodík pochází z nejranějšího období vesmíru z doby před deseti miliardami let. Z vodíku byly později ve hvězdách vytvořeny všechny ostatní prvky. Je nejjednodušším, nejrozšířenějším a nejstarším prvkem ve vesmíru a třetím nejrozšířenějším prvkem na Zemi po kyslíku a křemíku [17]. V chemii je označován symbolem H, podle latinského hydrogenium, tj. "tvořící vodu". Jádrem vodíkového atomu je proton, obal tvoří jediný elektron.

Vodík má pět izotopů, z nichž nejznámější jsou první tři. Každý ze tří vodíkových izotopů má své vlastní jméno. Vodík je jediný prvek, jehož izotopy, ale i jádra izotopů mají svá vlastní jména:

Protium –  ${}^1\text{H}$  – „obyčejný vodík“, který má ve svém v jádru pouze jeden proton

Deuterium –  ${}^2\text{H}$  – „těžký vodík“, v jádru má spolu s protonem i jeden neutron

Tritium –  ${}^3\text{H}$  – „velmi těžký vodík“, jeho jádro obsahuje proton a dva neutrony

Zbylé dva izotopy  ${}^4\text{H}$  a  ${}^5\text{H}$  se podařilo vyrobit, ale nemají uplatnění a ani v přírodě se nevyskytují, protože se rychle rozpadají na helium. V přírodě je deuterium zastoupeno velmi málo (156 ppm) a tritium nepatrně ( $10^{-12}$  ppm) [17].

Deuterium má využití v jaderném průmyslu jako moderátor. V budoucnu by spolu s tritiem mohl být novým palivem pro termojaderné reaktory, v nichž by probíhaly jaderné fúze.

Elementární vodík je v přírodě na Zemi velmi vzácný. Dá se např. najít v sopečných plynech a v nejhornějších vrstvách atmosféry. V plynném skupenství se vyskytuje

v dvouatomových molekulách H<sub>2</sub> (divodík). Ve vesmíru v mezihvězdném prostoru je přítomen jako atomární vodík H.

Nejvýznamnější a nejhojnější sloučenina vodíku je voda. Dále je na Zemi významně zastoupen v organických sloučeninách. Je nazýván tzv. biogenním prvkem. Tvoří základní stavební kameny všech živých organismů společně s uhlíkem, kyslíkem a dusíkem. Díky tomu se dá najít prakticky ve všech fosilních palivech, které tvoří základ současné energetiky a ze kterých se v současné době vodík také převážně získává.

Divodík je nejlehčím existujícím plynem bez barvy, chuti a zápachu, nerozpustný ve vodě. Je velmi difuzní. To znamená, že se rychleji rozředí na nižší koncentrace a rychleji proniká i zdánlivě kompaktními materiály [19]. Reakce vodíku jsou provázeny uvolňováním tepla (exotermní reakce) a hořením. Vodík tvoří výbušnou směs s kyslíkem a se vzduchem v širokém koncentračním rozmezí (4 až 95 % objemu vodíku v kyslíku, 4 až 77 % objemu vodíku ve vzduchu) [20]. Na vzduchu je lehce zápalný a hoří neviditelným plamenem s teplotou okolo 2 400 °C. Z toxikologického hlediska je vodík fyziologicky netečný plyn, který může jen ve vysokých koncentracích způsobit zadušení tím, že sníží obsah kyslíku ve vdechovaném vzduchu.

<b>Vlastnost</b>	<b>Hodnota</b>
Hustota (0,1 MPa, 20 °C)	0,089 88 kg·m <sup>-3</sup>
Výhřevnost	120 MJ·kg <sup>-1</sup>
Teplota varu (0,1 MPa)	-252,8 °C
Teplota tání	-259,1 °C
Trojný bod	-259,2 °C; 7,205 kPa
Kritický bod	-239,96 °C; 1,315 MPa
Kritická hustota	30,12 kg·m <sup>-3</sup>

**Tabulka 3: Vlastnosti vodíku [19][21]**

Vodík svými vlastnostmi způsobuje významné poškozovací jevy v kovových materiálech. Jedná se o tzv. vodíkovou křehkost a vodíkovou korozi.

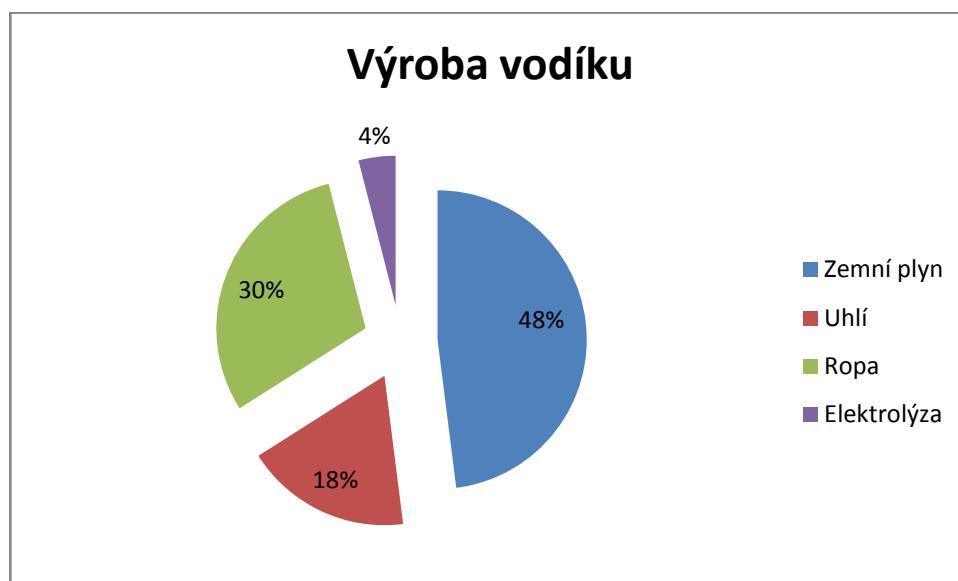
Při teplotách pod 190 °C během tavení či při technologických procesech (moření, pokovování atd.) vodík difunduje do oceli. Rekombinace difundujícího atomárního vodíku

v místech poruch struktury oceli má za následek vznik velkých vnitřních tlaků (desítky až stovky MPa), které bez přítomnosti dalšího napětového pole vedou k mechanickému porušení. Toto porušení se může projevit jako dutiny, trhliny, popř. jako lokální nebo i celkové ztráty plastických vlastností oceli. Takové poškození se nazývá vodíková křehkost. Nebezpečí tohoto jevu spočívá v tom, že jeho v počáteční fázi není možné pozorovat jakékoliv vnější projevy, neboť celý proces probíhá uvnitř materiálu. Poškození vodíkovou křehkostí je ale vratné a lze jej odstranit třeba dalším vhodným tepelným zpracováním [27]. Vodík dokáže narušit i strukturu kovů jako jsou titan nebo tantal. K degradaci těchto korozi odolných materiálů dochází během vzniku hydridů ve struktuře kovu [28].

K vodíkové korozi dochází za vyšších teplot od 200 °C. Difundující atomární vodík reaguje s uhlíkem z oceli za vzniku metanu. Molekuly metanu ale nemohou v oceli difundovat. V místech vzniku metanu dochází k hromadění metanu, které vyvolává místní pnutí. To následně vede ke vzniku trhlinek, k porušení homogenity materiálu a tím ke snížení mechanických vlastností oceli. Vodíková koroze je nevratný děj [29].

## 2.2 Výroba

Vodík může být vyráběn mnoha způsoby z širokého spektra vstupních zdrojů. Další možné způsoby jsou ve fázi výzkumu. V celosvětové produkci vodíku dominuje v současné době výroba z fosilních paliv.



Obrázek 13: Zastoupení surovin k výrobě vodíku [22]

Celosvětová produkce vodíku činí okolo 600 mld. nm<sup>3</sup>, což odpovídá 50 mil. tun [22]. K výrobě vodíku z fosilních paliv se využívají převážně termochemické procesy. Jedná se o parní reforming zemního plynu, parciální oxidaci ropných uhlovodíků a zplyňování uhlí.

Využívání takto vyrobeného vodíku by mělo pomoci lokálně snížit produkci některých zdraví poškozujících látek. Z globálního pohledu by však vedlo pouze k méně hospodárnému využívání primární energie a s tím souvisejícímu nárůstu produkce oxidu uhličitého.

Další možností je výroba vodíku z obnovitelných zdrojů. Z nich se vodík získává pomocí elektrolýzy vody, vysokoteplotního rozkladu vody anebo zplyňováním či pyrolýzou biomasy.

Další část stručně popíše metody používané k průmyslové výrobě vodíku. Popis těchto metod pochází z [23] a [24].

## 2.2.1 Výroba z uhlovodíkových paliv

### *Parní reforming zemního plynu*

Tato technologie je v současné době nejlevnějším a nejrozšířenějším způsobem výroby vodíku. Teplo pro reformní reakci i následnou konverzi oxidu uhelnatého je dodáváno z přímého spalování části zemního plynu.

Proces se skládá ze dvou fází. V první fázi se za přítomnosti katalyzátoru do vodní páry (500 – 950 °C, 0,3 – 2,5 MPa) přivádí metan. Směs metanu a páry reaguje za vzniku vodíku a oxidu uhelnatého a menšího podílu oxidu uhličitého. Vzniklý oxid uhličitý se ze směsi plynů odstraní vypíráním vodou, ve které se na rozdíl od vodíku dobře rozpouští.



V druhé fázi následuje navýšování množství produkovaného vodíku konverzí CO s další přidanou párou. Reakce probíhá již za nižších teplot.

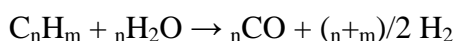
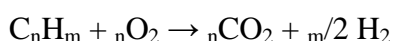
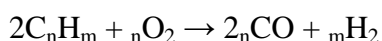


Účinnost produkce vodíku je značně závislá na poměru páry a uhlíku ve směsi. Dá se dosáhnout účinnosti až okolo 80 %. Značnou nevýhodou je produkce vysokého množství oxidu uhličitého – na 1 kg vodíku se vyprodukuje 7,05 kg CO<sub>2</sub>.

### ***Parciální oxidace uhlovodíků***

Parciální oxidace konvertuje uhlovodíky na vodík částečnou oxidací (nekatalytickým spalováním) uhlovodíků s kyslíkem. Teplo je poskytováno, tzv. "řízeným spalováním“.

Surovina (obecně  $C_nH_m$ ) je zplyňována kyslíkem a vodní parou při teplotách 1300 až 1500 °C a tlacích 3 až 8 MPa.



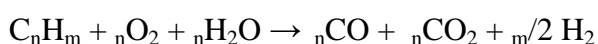
Typickou výchozí surovinou je těžký ropný zbytek, zejména s výhodnějším poměrem H:C, protože množství vznikajícího vodíku je závislé na výši obsahu vodíku v surovině. Jako surový produkt vzniká syntézní plyn, který je po vyčištění přiváděn do reaktoru, v němž dochází ke konverzi oxidu uhelnatého a vodní páry na vodík a oxid uhličitý.

Parciální oxidací různých surovin se vždy tvoří plynná směs obsahující CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> a ze sirných sloučenin H<sub>2</sub>S a COS. Jako vedlejší produkt vznikají saze, které jsou nežádoucí.

Vodík vytvořený parciální oxidací uhlovodíků je využíván opět především v petrochemii a rafinériích.

### ***Zplyňování uhlí***

Vodík lze získat i z uhlí redukcí vodní páry uhlíkem. Jedná se o analogii parciální oxidace uhlovodíkových frakcí. Základem zplyňování je reakce uhlí s kyslíkem a vodní parou. Proces probíhá při vysokých teplotách a zvýšeném tlaku. Provozní teploty se liší dle zplyňovací technologie a pohybuje se od 600 °C do 1200 °C se zvýšeným tlakem 2 MPa. Při teplotě zplyňování vyšší než 1300 °C je produktem syntézní plyn s nízkým obsahem methanu a dalších uhlovodíků.



Nejvyššího výtěžku vodíku v primárním zplyňovacím kroku se dosahuje zplyněním práškového hnědého uhlí s ideálním poměrem uhlíku a vodíku. V černém uhlí je kvůli vysokému prouhelnění obsah vodíku nižší.

Zplyňování uhlí v minulosti sloužilo především jako zdroj syntézního plynu pro plynové turbíny či jako palivo pro tepelně náročné procesy. S nástupem spalovacích motorů se získaný syntézní plyn začal používat k výrobě kapalných paliv procesem Fischer–Tropsch. V některých zemích se jedná o jedinou možnost k získání kapalných uhlovodíkových paliv. S rostoucí spotřebou vodíku se syntézní plyn reformoval na vodík. Vodní konverze plynu a vypírací procesy umožňují získat vodík o čistotě až 95 %.

## **2.2.2 Výroba z biomasy**

### ***Zplyňování biomasy***

Zplyňování alternativních paliv umožňuje transformovat málo hodnotné palivo na plynnou formu, která je použitelná pro další energetické účely. Procesní teplota se liší dle použitého zplyňovacího generátoru a pohybuje se od 800 °C do 1200 °C. Vstupující surovina ovlivňuje složení produkovaného plynu obsahující především CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, dehtové látky, sloučeniny síry a chlor. Biomasa je zplyňována kyslíkem a vodní parou. Ojediněle je zplyňovací médium obohaceno o CO<sub>2</sub>. Po ochlazení plynu vykondenzují výše vroucí složky. Plyn je dále dočištěván vypíracími nebo adsorpčními procesy. Vodík vyrobený z biomasy dosahuje čistoty až 95 %. Substráty zpracovatelné touto metodou tvoří široké spektrum od pevného komunálního odpadu, přes odpady z potravinářského průmyslu, oleje, cíleně pěstovanou nebo odpadní zemědělskou biomasu.

### ***Vodíková fermentace***

Vodíková fermentace v nepřítomnosti světla je přirozený děj, ke kterému dochází za anoxických nebo anaerobních podmínek. Organické látky jsou v tomto případě využívány jako primární zdroj vodíku a také jako zdroj energie. Různé druhy bakterií využívají v nepřítomnosti kyslíku redukci protonů na vodík k uložení elektronů z oxidace organických látek.



Ideální surovinou je potravinářský odpad s vysokým obsahem sacharidů (škrob, celulóza). Průběh fermentace je ovlivněn hodnotou pH a použitými anaerobními mikroorganismy. Produktem fermentace je vodík a  $\text{CO}_2$ . V menší míře fermentační plyn obsahuje i sulfan a metan.

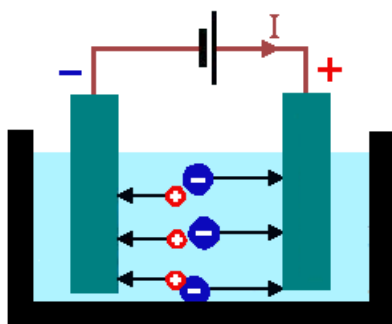
Výroba tímto způsobem probíhá pouze v laboratořích. Zabývá se jí genetické inženýrství, aby se tato metoda dala uplatnit i ve velkém měřítku.

### 2.2.3 Výroba z vody

#### *Elektrolýza*

Elektrolýza obecně je děj, při kterém průchodem elektrického proudu elektrolytem dochází k látkovým změnám na elektrodách [25].

Vložení dvou kovových elektrod do elektrolytu a jejich připojením ke svorkám vnějšího stejnosměrného zdroje napětí, vznikne uvnitř elektrolytu mezi elektrodami elektrické pole. To vyvolá usměrněný pohyb iontů v roztoku. Kladné ionty (kationty) se začnou pohybovat ke katodě (elektrodě připojené k záporné svorce zdroje), záporné ionty (anionty) se pohybují k anodě (elektrodě připojené ke kladné svorce zdroje). Při průchodu elektrického proudu elektrolytem dochází, na rozdíl od kovového vodiče, k přenosu látky.



Obrázek 14: Princip elektrolýzy [25]

Chemické změny, které probíhají na elektrodách průchodem proudu, se v praxi využívají různým způsobem. Při elektrolýze se na katodě vylučuje vodík nebo kov. Toho se využívá k výrobě hliníku, elektrolytickému čištění kovů, galvanickému pokovování či rozkladu různých chemických látek.

Elektrolytické štěpení vody představuje snadnou výrobu vodíku. Jedná se o konverzi elektrické energie na energii chemickou ve formě vodíku a vedlejšího produktu kyslíku.

K výrobě vodíku elektrolýzou se používají tyto technologie:

- alkalická elektrolýza
- elektrolýza s výměnou protonů přes membránu (PEMFC)
- elektrolýza s pevnými oxidy (SOEC)

Jakákoliv elektrolýza produkuje vysoce čistý vodík. Ve srovnání s výrobou vodíku z fosilních paliv, neprodukuje elektrolýza žádné CO<sub>2</sub>. Zařízení, ve kterém probíhá elektrolýza, se nazývá elektrolyzér.

### **Alkalické elektrolyzéry**

Skládají se z elektrod, diafragmy (membrány) a alkalického roztoku 30 % KOH nebo NaOH. Katoda je z niklu s platinovou katalytickou vrstvou. Z niklu bývá i anoda, ale používá se i měď s vrstvou manganu, ruthenia nebo wolframu. Na katodě se voda štěpí na vodík a OH<sup>-</sup>. Vodík zůstává v alkalickém roztoku a iont OH<sup>-</sup> je přitahován k anodě, kde dochází ke vzniku kyslíku. Vodík je oddělen v separátoru mimo elektrolyzér. Čistota vodíku dosahuje 99,5 % s menším obsahem vodní páry a kyslíku. K jeho následnému dočištění se využívá katalytické spálení kyslíku a sušení. Jde o nejrozšířenější elektrolytickou metodu.

### **Elektrolýza s pevnými oxidy**

Část elektrické energie potřebné k rozložení vodní molekuly je nahrazena energií tepelnou. S rostoucí teplotou se zvyšuje účinnost elektrolýzy, protože je snižováno rovnovážné napětí anody a katody. To způsobuje snížení požadavku na elektrickou energii. Například zvýšením teploty ze 100 °C na 800 °C se sníží spotřeba energie o téměř 35 %. Iontově vodivý keramický materiál je používán jako elektrolyt. Pro elektrody se používají sintrované (spékané) materiály na bázi niklu nebo vysoce porézní struktury s LaMnO<sub>3</sub>. Článek špatně snáší opakované změny teplot, kdy může dojít k trvalému poškození. Vysoké operační teploty kladou důraz na kvalitní konstrukční materiály. Výhodou elektrolýzy s pevnými oxidy

je absence vodného roztoku a s tím spojené nedostatky. Čistota vodíku v tomto případě dosahuje až 99,9 %. Tato technologie má nejvyšší elektrickou účinnost, ale kvůli vysoké korozi, netěsnostem, tepelný ztrátám a migraci chromu je nejméně vyvinutou technologií.

### **Elektrolyzéry s protonovou výměnou.**

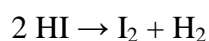
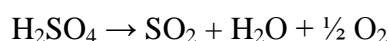
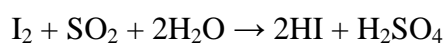
Používají elektrody převážně z platiny. Jednotka je doplněna o membránu, která nejen odděluje elektrody, ale plní i funkci rozdělování kyslíku a vodíku. Na anodě dochází k rozštěpení vody na protony a kyslík. Protony migrují skrze membránu k záporné katodě, kde vlivem redukce protonů s elektrony z vnějšího zdroje dochází ke vzniku vodíku. Účinnost elektrolýzy dosahuje až 70 %. Čistota vodíku opět dosahuje hodnot až 99,9 %.

Elektrolýza s výměnou protonů je účinnější než alkalická elektrolýza, ale zároveň dražší než alkalické systémy. Navíc zde nehrozí koroze jako v případě elektrolýzy s pevnými oxidy.

### ***Termochemické štěpení vody***

Termochemické cykly jsou známy a studovány od 70. a 80. let 20. století. Při termochemickém štěpení vody je voda rozdělena na kyslík a vodík pomocí série chemických reakcí, které jsou iniciované teplem nebo v případě hybridních cyklů teplem a elektrickou energií.

Tato termolýza využívá vysokých teplot k rozdělení vody na vodík a kyslík přes sled po sobě jdoucích reakcí. Celková účinnost systému se přibližuje k 50 %. Příkladem termochemického cyklu je jód-sírový cyklus. Vstupní surovinou je voda a teplo. Vzniklé SO<sub>2</sub> a I<sub>2</sub> se recyklují a vrací zpět do procesu s menšími ztrátami. Nejvíce energie spotřebuje endotermický (1000 °C) rozklad H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Posledním krokem cyklu je rozklad HI na vodík a jód. Ten je problematický v separaci neobvyklé azeotropní směsi HI, H<sub>2</sub>, I<sub>2</sub> a vody, tzv. HI<sub>x</sub>. Řešení nalézá v kombinované technologii elektrodialýzy a membránové separace. Poté lze získat vodík o čistotě nad 99 %.



Cykly popisované výše jsou cykly uzavřené, tj. použité chemické látky jsou v průběhu reakcí recyklovány a znovu vstupují do procesu. Doplněnou vstupní surovinou je tedy pouze voda a výsledným produktem vodík a kyslík. Nevýhodou tohoto cyklu je požadavek vysokých vstupních teplot a agresivita kyselin sírové a jodovodíkové, které vedou k vysokým nárokům na chemickou odolnost použitých materiálů.

### ***Fotoelektrolýza***

Využívá sluneční světlo k přímému rozkladu vody na vodík a kyslík. Tato technologie používá dotované polovodičové materiály podobné těm, které jsou používány v oblasti fotovoltaiky. Ve fotovoltaice jsou spojeny dva polovodičové materiály (p-typu a n-typu) a tvoří p-n přechod. U přechodu se tvoří trvalé elektrické pole. Při dopadu fotonu s energií dojde k její absorpci v přechodové vrstvě a dojde k uvolnění elektronu a vznikne po něm mezera. V přítomnosti elektrického pole jsou elektron i mezera nuceny pohybovat se v opačných směrech, což v případě připojení vnějšího zatížení bude vytvářet elektrický proud. Podobná situace nastane při fotoelektrolýze, když fotokatoda (p-typ materiálu s nadbytkem děr), nebo fotoanoda (n-typ materiálu s nadbytkem elektronů) je ponořena do vodného elektrolytu, ale místo vytváření elektrického proudu je štěpena voda na vodík a kyslík. Efektivita výroby vodíku je omezena nedokonalostmi v krystalické struktuře, povrchovými vlastnostmi fotoelektrod, odolností materiálu proti korozi. Aktuálně používané fotoelektrody mají nízkou účinnost využití fotonů, která nepřekračuje 16 % přeměny sluneční energie na vodík.

Mezi výhody těchto systémů patří použití nízkonákladových materiálů a potenciálu pro vysokou efektivitu v překonání nízké adsorpce světelného záření. Čistota vodíku dosahuje úrovně jako v případě alkalické elektrolýzy.

## **2.3 Skladování a transport vodíku**

Kvůli svým vlastnostem jsou na skladovací systémy vodíku kladeny zvýšené konstrukční a bezpečnostní požadavky.

Technologii pro skladování vodíku lze v zásadě rozdělit na konvenční a alternativní. Ke konvenčním technologiím patří především tlakové nádoby pro plynný vodík a kryogenní nádoby pro zkapalněný vodík. Mezi zástupce alternativních technologií se řadí např.

skladování vodíku v metalydridech, komplexních hydridech, v nanostrukturách uhlíku a jako součást chemických látek [55].

### **2.3.1 Plynné skupenství**

Pro statické skladování plynného vodíku se používají tlaky mezi 40 až 200 MPa. Zásobníky se vyrábí obvykle nízkouhlíkové oceli bez použití svaru. V mobilních aplikacích se obvykle používají kompozitní tlakové nádoby. Vyrábějí se v objemech od desítek litrů až přibližně do 300 l. Typickým provozním tlakem je 350 bar, v nejnovějších aplikacích potom 450 až 700 bar (současný technologický limit je 1000 bar). Vnitřní povrch kompozitních lahví tvoří obvykle tenká vrstva kovu případně speciálního polymeru, která zabraňuje úniku plynu přes strukturu kompozitu.

Energetická náročnost skladování stlačeného plynného vodíku je nižší než v případě uchování vodíku v kapalně formě. Energie potřebná na stlačení vodíku na 350 bar dosahuje přibližně 30 % energie v palivu [55]. Jedná se o nejčastěji používanou variantu skladování vodíku.

Dále se vodík v plynné formě skladuje v podzemních úložištích typu vytěžených solných dolů nebo jeskyní zemního plynu. Používá se k tomu tlak maximálně 11 MPa. Ve světě se tato metoda používá např. v Amarillo v Texasu (850 mil. m<sup>3</sup>), ve francouzském Beynes (330 mil. m<sup>3</sup>) či anglickém Billingtonu (2,2 mil m<sup>3</sup>) [54].

### **2.3.2 Kapalně skupenství**

Oproti plynnému skupenství je kapalně vodík skladován při teplotě -253 °C. S tím souvisejí zvýšené nároky na použité materiály a vysoké energetické nároky na zkapalnění. Pro uskladnění se používají vícevrstvé nádoby s velmi dobrými izolačními vlastnostmi. Tyto nádoby musejí být vybaveny přetlakovým mechanismem, kterým je regulován maximální přípustný přetlak. Při skladování vodíku v kryogenních nádobách dochází vlivem přestupu tepla z okolí k postupnému odpařování a tedy zvyšování tlaku uvnitř této nádoby. Aby nedošlo k destrukci nádrže, musí být nádoby regulovány odpouštěním odpařeného vodíku. Pro běžně používané nádrže dosahují ztráty až 3 % z obsahu na den [55]. Takto unikající vodík je možné jímat a stlačovat do přídatných tlakových lahví.

### 2.3.3 Transport vodíku

Vodík je běžně přepravován buď pomocí dálkových plynovodů anebo jako uskladněný v tlakových nádobách.

Přeprava plynovody je výhodná při kumulaci mnoha výrobců a spotřebitelů v jedné lokalitě. Významná je například síť v Německu o délce cca 200 km, provozním tlaku 2,5 MPa průměr potrubí činí 20 cm a přepravní kapacita sítě je 50 mil. m<sup>3</sup> za hodinu [54]. Provozní ztráty se pohybují kolem 1 %. Další, i když menší sítě, se nacházejí v USA, Francii a Velké Británii. U přepravy plynovody způsobuje největší problémy vodíkové křehnutí a vodíková koroze materiálu spolu s požadavky na těsnost zařízení.

Přeprava v tlakových nádobách probíhá v plynném nebo kapalném skupenství. Pro přepravu vodíku v plynném stavu se používá bateriových vozů s tlakem nejčastěji 20 - 60 MPa. Pro přepravu v kapalném stavu se obvykle používají dvouplášťové vakuové zásobníky. Kvalita izolace musí být taková, aby vodík v kapalném stavu vydržel po dobu několika dní.

## 3 Potřeba tepelné energie pro obec Zbilidy

Obec Zbilidy se nachází v oblasti Českomoravské vrchoviny v kraji Vysočina, vzdálena 18 km severozápadním směrem od Jihlavy (viz obrázek 12). Obec má zvlněný reliéf s průměrnou nadmořskou výškou okolo 650 m. n. m. Jedná se o menší obec zemědělského charakteru.



Obrázek 15: Mapa kraje Vysočina

Počet obyvatel a jeho vývoj za posledních 10 let zobrazuje tabulka 2.

Rok	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Počet obyvatel	166	173	180	186	187	190	186	192	185	182

Tabulka 4: Počet obyvatel obce Zbilidy [13]

V obci se v současnosti nachází 79 domů a tyto podnikatelské subjekty: zemědělské družstvo, obchod, penzion, kulturní dům, truhlářství a krejčovské dílny.

K zásobování teplem se v celé obci používají lokální topeniště převážně na uhlí a dřevo. V malé míře se užívají elektrické přímotopy a akumulátory. Plyn do obce není zaveden.

### Potřeba tepla

Pro výpočty se bude uvažovat 200 obyvatel a 80 rodinných domů. Dále také všechny podnikatelské subjekty uvedené výše.

Celkovou potřebu tepelné energie pro obec Zbilidy zobrazuje tabulka 5. Data o potřebě tepla vychází z [26] a jsou přepočítána pro 80 domů a 200 obyvatel. Délka otopného období činí 257 dní.

Objekt	Plocha vytápěného prostoru [m <sup>2</sup> ]	Výška místností [m]	Potřeba tepla	
			[GJ/rok]	[MWh/rok]
<b>Bytové prostory</b>				
průměrný dům	80	2,8	78,34	21,76
<b>Bytové prostory celkem</b>	-	-	<b>6 267,20</b>	<b>1 740,89</b>
<b>Nebytové prostory</b>				
kulturní dům	350	3,5	428,41	119,00
obchod	50	2,7	47,21	13,11
penzion	200	2,7	188,85	52,46
zemědělské družstvo (kanceláře)	30	2,7	28,33	7,87
dílna	100	3,5	122,4	34,00
truhlářství	80	3	83,93	23,31
<b>Nebytové prostory celkem</b>	-	-	<b>899,13</b>	<b>249,76</b>
<b>Vytápěné prostory celkem <math>Q_{vyt,r}</math></b>	-	-	<b>7 166,33</b>	<b>1 990,65</b>
<b>Příprava TUV <math>Q_{tuv,r}</math></b>	-	-	<b>1 172,06</b>	<b>325,57</b>
<b>Celková potřeba tepla <math>Q_{cel,r}</math></b>	-	-	<b>8 338,39</b>	<b>2 316,22</b>

Tabulka 5: Potřeba tepelné energie v obci Zbilidy [26]

Potřeba tepla na vytápění  $Q_{vyt,r}$  je součet bytových a nebytových prostor a odpovídá 7166,33 GJ/rok. Po přičtení potřeby na přípravu TUV  $Q_{tuv,r} = 1172,06$  GJ/rok vychází celková potřeba tepelné energie  $Q_{cel,r}$  rovna 8338,39 GJ/rok.

V následujících kapitolách bude počítáno s touto potřebou tepla pro každý rok. Uvažovaná množství tepelné energie by v budoucnu mohlo spíše klesat vlivem lepšího hospodaření s energií a jejím úsporou. Většina domů je totiž dosud nezateplená.



## Výkony kotlů

Ke stanovení výkonu kotlů k vytápění budov se používá několik metod nebo odborný odhad. Jedna z metod spočívá v určení tepelných ztrát objektu za nejnižší venkovní teploty. Podle této ztráty lze získat představu o maximálním výkonu kotle, který by ji měl svým výkonem trochu převyšovat. Většinu topné sezóny je potřeba nižšího výkonu. Je tedy třeba, aby kotel měnil plynule výkon podle potřeby tepla. Přibližný maximální výkon kotlů na vytápění je převzat ze [26] a zobrazuje ho tabulka 6.

Objekt	Max. tepelný příkon [kW]
<b>Bytové prostory</b>	
průměrný dům	10,08
80 domů	806,4
<b>Nebytové prostory</b>	
kulturní dům	55,13
potraviny	6,08
penzion	24,3
zemědělské družstvo (kanceláře)	3,65
dílna	15,75
truhlářství	10,8
<b>Celkový příkon na vytápění <math>Q_{vyt,max}</math></b>	<b>922,11</b>

Tabulka 6: Výkony kotlů na vytápění dle tepelných ztrát

Ohřev TUV bude zajištěn také kotli určených pro vytápění. Proto je k celkovému příkonu na vytápění  $Q_{vyt,max}$  potřeba připočítat průměrný tepelný příkon  $Q_{tuv} = 0,1536$  GJ/hod, což po převodu odpovídá 42,66 kW/hod. Jeho výpočet ukazuje příloha 1 a vychází z dat z [26]. Celkový tepelný příkon pro zásobování Zbilid:

$$Q_{cel} = Q_{vyt,max} + Q_{tuv} = 964,77 \text{ kW}$$

## Možnosti vytápění

Jak je uvedeno výše, nejrozšířenějším způsobem vytápění v obci Zbilidy je kotel na tuhá paliva. Především na uhlí a dřevo. V zimních měsících jsou tato topeniště zdrojem kouře a zápachu, který omezuje obyvatele zmíněné obce. Je proto nasnadě navrhnout takové řešení, které odstraní tyto neduhy a zároveň bude ekonomicky dostupné.

V souvislosti s plánováním nového zdroje tepla je třeba sledovat i legislativu. V ČR se jedná především o Zákon o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. a Směrnici o Ekodesignu 2009/125/ES (bude teprve přijata) [30]. Jsou zde uvedena pravidla pro výrobce a prodejce kotlů na tuhá paliva a pro uživatele i pravidla pro jejich užívání. Tabulka 7 zobrazuje nové povinnosti a pravidla pro kotle na tuhá paliva.

Zahájení platnosti	Popis nařízení
1.1.2014	Zákaz prodeje kotlů 1. a 2. emisní třídy (možnost legálně zakoupit a uvést do provozu pouze kotle 3., 4. a 5. emisní třídy).
1.1.2017	Povinnost předložit revizi kotle (včetně označení emisní třídy).
1.1.2018	Zákaz prodeje kotlů 3. emisní třídy (možnost legálně zakoupit a uvést do provozu pouze kotle 4. a 5. emisní třídy).
1.1.2020	Zákaz prodeje kotlů 4. emisní třídy (možnost legálně zakoupit a uvést do provozu pouze kotle 5. emisní třídy).
1.9.2022	Zákaz používání kotlů 1. a 2. emisní třídy (bez ohledu na to, kdy byly pořízeny).

Tabulka 7: Povinnosti související s prodejem a provozem kotlů na tuhá paliva [30]

Z výše popsaného je patrné, jakou cestou se vydává český a evropský trh s kotli na tuhá paliva. V současné době lze legálně zakoupit pouze kotle 3. až 5. emisní třídy (čím nižší emisní třída, tím více emisí při spalování). Do kotlů 1. a 2. emisní třídy je možné přikládat i odpady a nevyhovující či zakázaná paliva. To u moderních kotlů s automatickým přikládáním nelze nebo je to velmi složité. Již v současné době jsou povinné revize na plynové kotle. Nově budou povinné i pro kotle na tuhá paliva. Povinnost předložit revizi kotle včetně emisní třídy kotle bude moci obecní úřad s rozšířenou působností. Pokud ji majitel kotle nepředloží, bude mu hrozit pokuta až 20 000 Kč [31]. První revize je povinná do 31. 12. 2016.

Současné kotle na uhlí dosahují 3. a 4. emisní třídy. Uhelné kotle prozatím nedosahují parametrů nejvyšší 5. emisní třídy. To je zapříčiněno povahou paliva vzhledem k tvorbě

škodlivých emisí. Výrobci tak mají jen pár let na snížení emisí z uhelných kotlů. Je tak možné, že se pomalu ustoupí od spalování uhlí v malých spalovacích zdrojích.

Oproti tomu kotle na biomasu splňují i limity 5. emisní třídy. Jedná se především o dřevozplynující kotel na kusové dřevo nebo automatické kotle na dřevní pelety.

Za rok 2013 bylo prodáno přes 107 tis. kotlů [32]. Nejprodávanější zůstaly kotle na plyn. Poprvé se prodalo méně kotlů na uhlí než na biomasu. Právě kotle na biomasu prodávaly největší nárůst prodeje a to o 24 % v porovnání s předchozím rokem. Na vzestupu prodeje bude mít podíl již zmiňovaný zákon o ochraně ovzduší a komfort plynoucí z používání automatických kotlů. Jejich bezobslužnost je při dostatečně velkém zásobníku srovnatelná s plynovými kotli.

Jako zástupce ekologického způsobu vytápění na pevná paliva byl vybrán automatický kotel na dřevěné pelety. Jedná se po technické stránce o velmi dobře zvládnutou technologii, která je ekonomicky dostupná a legislativně podporovaná. V ČR je několik výrobců těchto kotlů a i v produkci dřevních pelet je ČR soběstačná. Dokonce víc než 2/3 u nás vyrobených pelet končí v zahraničí [33].

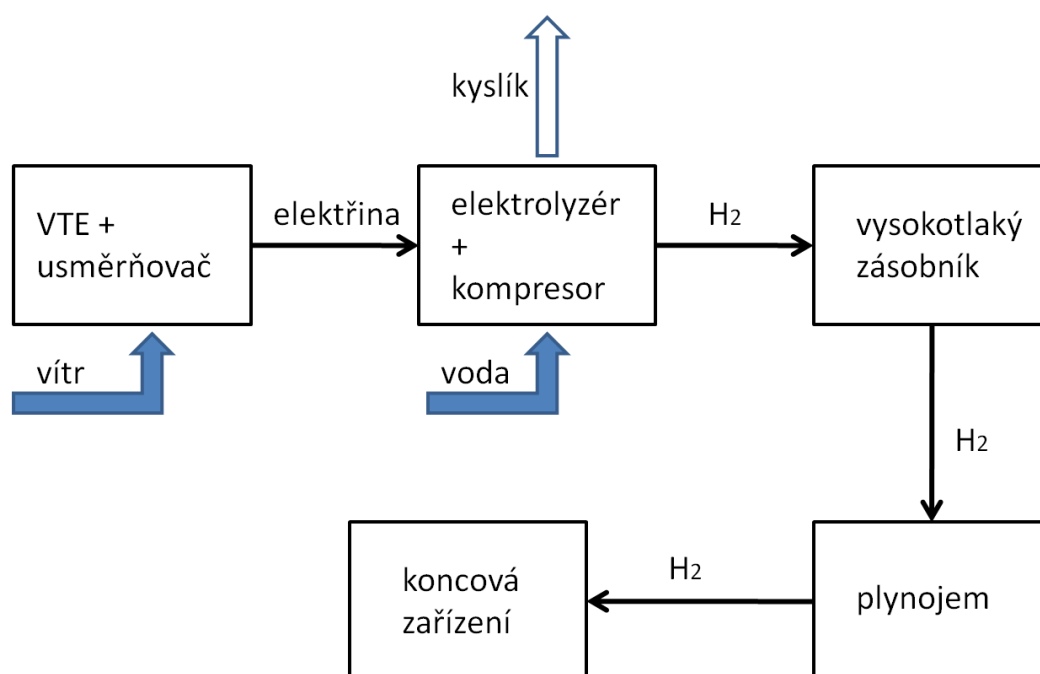
## 4 Technická část

### 4.1 Návrh výroby vodíku a jeho transportu ke spotřebitelům

Navrhovaný model zobrazuje způsob využití větrné energie a její akumulaci ve formě vodíku. Návrh pochází ze zdroje [43]. Řešení se skládá z následujících zařízení:

- větrná elektrárna
- výkonový usměrňovač
- elektrolyzátor
- kompresor
- vysokotlaký zásobník
- středotlaká potrubní síť
- plynojem
- nízkotlaká potrubní síť
- koncová zařízení

Navrhovaný model je schématicky znázorněn na obrázku 17.



Obrázek 16: Schéma výroby a transportu vodíku

Následuje popis a výběr jednotlivých komponent modelu.

#### 4.1.1 Větrná elektrárna

Pro výběr větrné elektrárny je potřeba znát povětrnostní podmínky v dané lokalitě. Jelikož v lokalitě Zbilid neproběhlo dlouhodobé měření rychlostí větru, bude se vycházet z cca 30 km vzdálené obce Pavlov, u které jsou nainstalované větrné elektrárny Pavlov I. a Pavlov II. Předpokládá se, že větrné podmínky v Pavlově budou stejné jako ve Zbilidech. Obě obce totiž leží v přibližně stejné nadmořské výšce.

Pavlov I. se skládá z VTE typu Vestas V90 2x 2 MW s výškou stožáru 105 m. Pavlov II. se skládá z typu Vestas V52 2x 0,85 MW s výškou stožáru 65 m [44]. Jejich roční využití výkonu pro roky 2007 až 2009 zobrazuje tabulka 8.

rok	Roční využití výkonu		
	2007	2008	2009
Pavlov I.	0,29	0,26	0,25
Pavlov II.	-	0,17	0,14

Tabulka 8: Roční využití výkonu VTE Pavlov, zdroj [45]

Pro stanovení instalovaného výkonu VTE podle vztahu (18) se vychází z předpokladů:

VTE dodá ročně množství energie  $W_r$ , které v sobě zahrne potřebu tepla  $Q_{cel,r} = 2,3$  GWh a navíc se uvažuje rezerva ve výši 3 GWh.

Roční využití výkonu  $k_r$  bude podobné jako u Pavlova I. Uvažuje se průměrný větrný rok, pro který bude  $k_r$  roven průměru hodnot pro Pavlov I. Pavlov II. v tomto případě se zanedbá, protože se uvažuje o výstavbě VTE s vyšším stožárem, než má Pavlov II. Průměr ročních využití výkonu Pavlova I. je cca 0,27.

Pro tyto předpoklady podle vztahu (18) vychází potřebná VTE o minimálním instalovaném výkonu 2,25 MW.

Na základě těchto údajů byla vybrána VTE typu Enercon E-92/2,350 kW s výškou stožáru alespoň 104 m. Uvažuje se tento typ, protože není vybaven mechanickou převodovkou. Technické specifikace vybrané VTE jsou v příloze 2 [46]. V pořízení VTE se neuvažuje zvyšující transformátor 6/22 kV, automatika pro fázování a ochrany pro synchronní spolupráci s elektrizační soustavou. Naopak je uvažováno pořízení k VTE výkonového usměrňovače jmenovitého napětí generátoru  $U_n = 6$  kV [43]. K němu by byl připojen elektrolyzér vody.

### 4.1.2 Elektrolyzér

Za vhodný elektrolyzér byl vybrán venkovní elektrolyzér HySTAT 60 outdoor od kanadské společnosti Hydrogenics. Jde o alkalický elektrolyzér s 30% roztokem KHO. Elektrolyzér je v kontejnerovém provedení a vyrobí za hodinu 60 Nm<sup>3</sup> vodíku. Technické specifikace vybraného elektrolyzéro jsou v příloze 2 [47].



Obrázek 17: Elektrolyzér HySTAT 60, převzato z [47]

Elektrolyzér by byl umístěn v blízkosti VTE. Do elektrolyzéro by se čerpala voda z nedalekého obecního vodojemu, který je napájen z lesních studní [43]. Spotřebovávaná voda by patřila obci. Ta by ji do nákladů spojených s výrobou nezapočítávala. Elektrolyzér by rozkládal vodu na vodík a kyslík. Kyslík by se dále nezpracovával a byl by vypouštěn do ovzduší. Účinnost elektrolýzy odpovídá 75 %.

### 4.1.3 Kompresor

Výstupní tlak vodíku z elektrolyzéro je 10 barů (1 MPa). Vodík by byl pomocí pístového kompresoru, poháněného asynchronním motorem elektřinou z generátoru před usměrněním, stlačován do tlakového zásobníku vodíku. Pro uskladnění je vhodné tlak zvýšit, aby se pro stejnou kapacitu zásobníku dosáhlo menších rozměrů.

Při výběru kompresoru je třeba dbát na to, aby byl navržen a konstruován na vodíkový provoz. Pozornost musí být věnována zvláště prevenci vniknutí vzduchu do systému.

Takové kompresory vyrábí například americká společnost Hydro-Pac Inc. Pro naše potřeby by se použil model C03-40-140/300LX [48]. Ten má vstupní tlak 10 barů a výstupní 200 barů (20 MPa). Jeho výkon činí 29,83 kW.

#### **4.1.4 Vysokotlaký zásobník**

Vodík pod tlakem 20 MPa by byl přiveden do vysokotlakého zásobníku. Ten by mohl být umístěn v betonovém základovém bloku větrné elektrárny. Jeho kapacita by byla navržena tak, aby množství uskladněného vodíku dokázalo pokrýt jeden den bezvětří při uvažované maximální spotřebě tepelné energie. Pro výpočet kapacity je použit vztah (19). Uvažovaný vysokotlaký zásobník by měl kapacitu cca 61 m<sup>3</sup>. Uvažovaný zásobník by mohla dodat například německá společnost Linde Gas.

Z vysokotlakého zásobníku by byl vodík dále dopravován potrubím o tlaku 0,4 MPa do plynojemu v obci. Toto středotlaké potrubí by bylo z oceli pokryté antikorozií vrstvou z lineárního polyetylenu s vnějším průměrem 120 mm o délce 1200 m [43].

#### **4.1.5 Plynojem**

Centrální plynojem v obci by sloužil k vyrovnávání okamžitých výkyvů spotřeby. Jeho kapacita by byla navržena tak, aby pokryl půlhodinovou potřebu vodíku při plném tepelném zatížení. Pro výpočet kapacity je stejně jako pro vysokotlaký zásobník použit vztah (19). Požadovaný plynojem by měl kapacitu cca 64 m<sup>3</sup>.

V obci by byla vybudována plynovodní síť z LPE trubek DN 50 o celkové délce 2550 m [43], která by přiváděla vodík k jednotlivým objektům v obci.

## 4.2 Návrh výroby tepla pro obec

### 4.2.1 Varianta 1 – peletové kotle

V této variantě se uvažuje o decentrálním spalování biomasy u konečných spotřebitelů. Neuvažuje se výstavba VTE a vodíkové infrastruktury. Každý dům a hospodářský subjekt bude vybaven vlastním automatickým kotlem na dřevní pelety. Potřebné palivo by se nakupovalo z externích zdrojů.

Byly vybrány kotle výrobce OPOP, které jsou konstruovány jako komplet, který se skládá z kotle, nerezového hořáku, šnekového podavače pelet, elektronické řídicí jednotky a násypky na 220 kg pelet. Tyto kotle mají dlouhou životnost, nebudou se proto v průběhu ekonomické doby životnosti projektu obnovovat. Případné opravy a náhradní díly by platili majitelé objektů ze svého.



Obrázek 18: Kotel OPOP Black Star 20, převzato z [42]

Provozní náklady se budou skládat jen z ceny paliva. Jako palivo se budou používat dřevní pelety ze smrkového dřeva bez příměsí o průměru 6 mm. Nakupovaly by se balené v 15 kg sáčcích, které jsou dodávány na paletách po 1 tuně. Cena 1 t pelet se na trhu pohybuje od cca 5200 do 7300 Kč [38]. Uvažuje se nákup pelet za cenu 6700 Kč/t od společnosti CDP IVORY, s.r.o., která nabízí dopravu po ČR zdarma od objednávky ve výši 4 t [39]. Nákup pelet by se tak mohl rozdělit na několik menších objednávek místo jedné velké, která by kladla velké nároky na uskladnění.

Ostatní provozní náklady ponесou sami odběratelé. Jedná se o spotřebu elektrické energie a náklady na běžnou údržbu kotle. Tyto náklady nebudou do výpočtu zahrnuty.

Obec jakožto investor by prodávala teplo konečným spotřebitelům.



#### 4.2.2 Varianta 2 – kogenerační jednotky

V této variantě se bude již jednat o využití vodíkové technologie. Vodík bude vyroben a distribuován podle uvažovaného modelu ke konečným spotřebitelům. Každý dům a hospodářský subjekt bude vybaven vlastní kogenerační jednotkou. V tomto případě půjde spíše o mikrokogenerační jednotky.

Jako vhodné mikrokogenerační jednotky byly vybrány výrobky od německé společnosti Vaillant.



Obrázek 19: Mikrokogenerační jednotka ecoPOWER 1.0, převzato z [49]

Životnost zařízení je odhadnuta na 10 let a po této době bude obnovena. Technické specifikace kogeneračních jednotek jsou v příloze 4.

Kogenerační jednotky by primárně sloužily k výrobě tepelné energie.

Obec jakožto investor by prodávala teplo konečným spotřebitelům. Navíc by uplatnila dotaci Zelený bonus na vyrobenou elektřinu z VTE.

### 4.2.3 Varianta 3 – palivové články

Tato varianta je velmi podobná variantě s kogeneračními jednotkami. Jediná změna je u zařízení využívající vodík u konečných spotřebitelů. Každý dům a hospodářský subjekt bude vybaven vlastním palivovým článkem.

Vhodný palivový článek pochází od německé společnosti Viessmann. Uvažuje se užití typu Vitovalor 300-P do všech objektů.



Obrázek 20: Palivový článek Vitovalor 300-P, převzato z [52]

Jedná se o palivový článek s polymerovým elektrolytem (PEFC). Systém Vitovalor 300-P se skládá z palivového článku, boileru a zásobníku horké vody. V případě, že není výkon palivového článku dostatečný, dojde k automatickému zapojení integrovaného kondenzačního boileru.

Elektrický výkon palivové článku je 0,75 kW a tepelný výkon 1 kW. Kondenzační boiler má tepelný výkon 19 kW [52].

Životnost palivového článku je 10 let a po této době bude obnoven. Technické specifikace kogeneračních jednotek jsou v příloze 5.

Stejně jako u varianty 2 by obec teplo konečným spotřebitelům a opět by uplatnila dotaci Zelený bonus na vyrobenou elektřinu z VTE.

## 5 Ekonomické vyhodnocení

### 5.1 Metodika hodnocení

V této práci bude nejprve provedeno ekonomické hodnocení z pohledu projektu. To je takové hodnocení projektu bez ohledu na financování a rozdělení efektů realizace projektu. V další části bude provedeno ekonomické vyhodnocení z pohledu investora.

Jako investor ve všech variantách vystupuje obec Zbilidy.

Doba životnosti  $T_z$  bude pro všechny varianty 20 let. Průměrná inflace pro toto období je zvolena ve výši 2 %, což odpovídá dlouhodobému cíli České národní banky [34].

### 5.2 Použité vztahy a vzorce

Volba správné diskontní sazby není jednoduchá a liší se podle typu investora. Diskontní sazba je výnosová míra, kterou je možné stanovit z hlediska rizika se srovnatelnou investiční alternativou. Odráží se v ní tedy cena ušlé příležitosti. Jelikož investora představuje obec a jejím cílem není z investice získávat peněžní zisk, bude i hodnota diskontu poměrně nízká. Jako alternativní investice byl zvolen dlouhodobý státní dluhopis ČR na 15,5 let s výnosem 2,5 % [35]. Dalším krokem je odlišení reálné a nominální hodnoty. Pro respektování budoucí inflace a prémie za riziko je třeba použít nominální diskontní míru. Při znalosti reálné diskontní míry a inflace lze spočítat nominální diskontní sazbu  $r_n$  podle vzorce [36]:

$$r_n = (1 + r_r) \cdot (1 + \alpha) - 1 \quad (5)$$

kde  $r_r$  je reálná diskontní sazba

$\alpha$  je inflace

Po dosazení do vzorce (5), kde  $r_r = 2,5 \%$  a  $\alpha = 2 \%$ , vychází nominální diskontní sazba  $r_n = 4,55 \%$ . Z toho důvodu se bude ve výpočtech počítat s diskontní sazbou  $r = 5 \%$  před zdaněním.

Měrné výrobní náklady se budou počítat anuitně, kdy náklady budou zahrnovat odpisy i úroky a nezanedbají cenu ušlé příležitosti. Poměrná roční anuita  $a_{T\dot{z}}$  se vypočte podle vzorce [40]:

$$a_{T\dot{z}} = \frac{(1+r)^{T\dot{z}} \cdot r}{(1+r)^{T\dot{z}} - 1} \quad (6)$$

kde  $r$  je diskont

$T\dot{z}$  je ekonomická doba životnosti [roky]

Hodnota poměrné roční anuity  $a_{T\dot{z}}$  v sobě zahrnuje poměrný účetní odpis  $p_o$  a poměrný anuitní úrok  $p_a$ , který odpovídá průměrné částce ušlých úroků ze zůstatkové hodnoty vložených investic. [40]

Výrobní náklady pak  $N_{vyr}$  se vypočítají podle vzorce:

$$N_{vyr} = N_p + N_i \cdot a_{T\dot{z}} \quad (7)$$

kde  $N_p$  jsou konstantní provozní náklady [Kč]

$N_i$  jsou investiční náklady [Kč]

$a_{T\dot{z}}$  je poměrná anuita [-]

Provozní náklady  $N_p$  se vypočítají podle vzorce:

$$N_p = N_{pp} + N_{ps} \quad (8)$$

kde  $N_{pp}$  jsou proměnné provozní náklady [Kč]

$N_{ps}$  jsou stálé provozní náklady [Kč]

U proměnných provozních nákladů  $N_{pp}$  uvažují náklady na palivo  $N_{pal}$  a ostatní proměnné provozní náklady  $N_{ost}$ :

$$N_{pp} = N_{pal} + N_{ost} \quad (9)$$

Náklady na palivo  $N_{pal}$  se vypočítají podle vzorce:

$$N_{pal} = M_{pal} \cdot c_{pal} \quad (10)$$

kde  $M_{pal}$  je množství paliva [kg]

$c_{pal}$  je jednotková cena za palivo [Kč·kg<sup>-1</sup>]

Množství paliva  $M_{pal}$  potřebného k dodání tepla  $Q_{cel,r}$  se vypočte podle následujícího vzorce:

$$M_{pal} = \frac{Q_{cel,r}}{q \cdot \eta_s} \quad (11)$$

kde  $Q_{cel,r}$  je celková potřeba tepla, kterou je potřeba vyrobit [GJ]

$q$  je výhřevnost paliva [MJ·kg<sup>-1</sup>]

$\eta_s$  je účinnost stroje

$M_{pal}$  je množství paliva [kg]

Stálé provozní náklady  $N_{ps}$  se vypočítají podle vzorce:

$$N_{ps} = n_{ps} \cdot N_i \quad (12)$$

kde  $n_{ps}$  jsou měrné stálé provozní náklady [%]

$N_i$  jsou investiční náklady [Kč]

Minimální cena tepla  $C_{min}$  [Kč/GJ] z pohledu projektu se vypočte podle následujícího vzorce:

$$C_{min} = \frac{N_{vyr}}{Q_{cel,r}} \quad (13)$$

Minimální cena tepla  $C_{min}$  [Kč/GJ] z pohledu investora se vypočte podle vztahu:

$$NPV = 0 \quad (14)$$

kde  $NPV$  je čistá současná hodnota investice [Kč] a  $C_{\min}$  je jedna z proměnných, která vstupuje do jeho výpočtu

Čistá současná hodnota (NPV) je ukazatel, který udává součet budoucích peněžních toků v současnosti. Pokud porovnáváme dva nebo více různých projektů a volíme jeden z nich, vždy volíme ten, pro který vyšlo vyšší NPV. Výhodné investice jsou všechny s čistou současnou hodnotou vyšší nebo rovnou 0, tedy takové investice, které přinášejí příjem alespoň ve výši diskontní sazby. Čistá současná hodnota je metoda, která bere v úvahu časovou hodnotu peněz, avšak je obtížná na výpočet a určení hodnoty diskontní sazby.

Vypočítá se podle vzorce:

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (15)$$

kde  $r$  je diskont

$t$  je počet let

$CF_t$  je cash flow v roce  $t$  [Kč]

Peněžní tok investora (cash flow) je vytvořený podle vztahu [41]:

$$CF = V - N_p - N_{\dot{u}} - D_z - Z_s - S_{pl} - N_{ivl} \quad (16)$$

kde  $V$  jsou výnosy (příjmy) z realizace hodnocené varianty

$N_p$  jsou provozní výdaje (materiál, palivo, energie, voda, opravy a údržba, ostatní)

$N_{\dot{u}}$  jsou úroky placené z úvěru

$D_z$  je daň z příjmu investora

$Z_s$  jsou jednorázové výdaje na změnu stavu pracovního kapitálu (např. zásob paliva, náhradních dílů)

$S_{pl}$  je úmor úvěru a obligací v době jejich splácení

$N_{ivl}$  jsou investiční výdaje z vlastních zdrojů

Daň z příjmu investora  $D_z$  je vypočítaná podle vztahu:

$$D_z = d_z \cdot (V - N_p - N_{od} - N_{ú} \pm P, O) \quad (17)$$

kde  $d_z$  je sazba daně z příjmu

$N_{od}$  jsou odpisy (amortizace) zařízení

$P, O$  jsou připočitatelné (+) resp. odpočitatelné (-) položky při výpočtu základu daně z příjmů (např. poplatky a penále)

Množství vyrobené energie z VTE se spočítá podle vztahu [45]:

$$W_r = P_{inst} \cdot t_r \cdot k_r \quad (18)$$

kde  $W_r$  je množství vyrobené elektřiny za rok [MWh]

$P_{inst}$  je instalovaný výkon VTE [MW]

$t_r$  je délka roku [h]

$k_r$  je koeficient ročního využití výkonu [%]

Kapacita zásobníku na vodík  $V_H$  [m<sup>3</sup>] se spočítá podle vztahu [43]:

$$V_H = \frac{W_H}{q \cdot \eta_s \cdot \rho} \cdot \frac{p_a}{p} \quad (19)$$

kde  $W_H$  je množství energie na den topného maxima [MWh]

$q$  je výhřevnost vodíku [MJ·kg<sup>-1</sup>]

$\eta_s$  je účinnost přeměny vodíku spotřebičem

$\rho$  je hustota vodíku [kg·m<sup>-3</sup>]

$p_a$  je hodnota normálního tlaku [MPa]

$p$  je hodnota tlaku v zásobníku [MPa]

Množství energie na den topného maxima  $W_H$  je vyjádřen vztahem:

$$W_H = h \cdot (P_{t,max}) \quad (20)$$

kde  $h$  je počet hodin dne [h]

$P_{t,max}$  je maximální tepelný příkon [MW]

Celkové množství vyrobené energie kogenerační jednotkou  $W_{kog,c}$  [GJ] je vyjádřeno vztahem:

$$W_{kog,c} = \frac{\eta_{kog,c} \cdot Q_{cel,r}}{\eta_{kog,t}} \quad (21)$$

kde  $Q_{cel,r}$  je celková potřeba tepla, kterou je potřeba vyrobit [GJ]

$\eta_{kog,c}$  je celková účinnost kogenerační jednotky

$\eta_{kog,t}$  je účinnost přeměny kogenerační jednotky na teplo

### 5.3 Předpoklady

Navrhované varianty jsou modelové případy, a proto jde vždy o určité zjednodušení. Ekonomické posouzení se bude provádět za následujících předpokladů, pokud nebude řečeno jinak:

- neřeší se nákup či pronájem pozemků
- předpokládá se schválení příslušnými orgány
- neuvažují se ztráty
- účinnost všech zařízení je v čase konstantní, nezávislá na opotřebení



- náklady na zaměstnance, údržbu a revize jsou započítány do stálých provozních nákladů, které jsou stanoveny procentem z investice
- kyslík vzniklý při elektrolýze se dále nevyužívá
- předpokládá se přístup k vodě
- náklady na čerpání a spotřebu vody se neuvažují
- VTE vyrábí v čase konstantní množství energie
- potřeba tepelné energie pro obec je v čase konstantní
- sazba daně z příjmu je 19 %
- uvažuje se zrychlené odepisování
- délka roku v hodinách je 8760 hodin

## 6 Výpočty

### 6.1.1 Varianta 1 – peletové kotle

Investiční náklady v této variantě se skládají pouze z ceny kotlů a jejich instalace. Typ kotle, výkon a účinnost pro každý objekt v obci zobrazuje tabulka 8. Technické parametry kotlů jsou v příloze 3.

Objekt	Kotel	Výkon kotle [kW]	Cena [Kč]	Účinnost
<b>Bytové prostory</b>	-	-	-	-
průměrný dům	Black Star 30	2 až 26	56 180	0,92
80 domů	-	-	4 494 400	-
<b>Nebytové prostory</b>	-	-	-	-
kulturní dům	Woody 60	6 až 60	116 820	0,92
potraviny	Black Star 10	2 až 10	50 256	0,91
penzion	Black Star 40 COMFORT	4 až 50	103 431	0,91
zemědělské družstvo (kanceláře)	Black Star 10	2 až 10	50 256	0,91
dílna	Black Star 30	2 až 26	56 180	0,92
truhlářství	Black Star 20	2 až 16	53 218	0,93
<b>Cena za kotle</b>	-	-	<b>4 925 000</b>	
Montáž a doprava [Kč]/ks	20 000			
Cena za montáž a dopravu celkem	1 720 000			
<b>Investiční náklady celkem [Kč]</b>	<b>6 645 000</b>			

Tabulka 9: Investiční náklady pro variantu 1

K ceně kotlů je připočtena cena za dopravu a montáž, která se pohybuje okolo 20 000 Kč. [37] Tato částka je vynásobena počtem instalací, kterých je 86. Celkové investiční náklady  $N_i$  se skládají z ceny kotlů a ceny za montáže a dopravu. Po sečtení těchto dvou hodnot a zaokrouhlení na tisíce vychází  $N_i = 6\,645\,000$  Kč.

Provozní náklady jsou tvořeny pouze palivem. Jsou uvažované pelety s výhřevností  $q_p = 17,9 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Množství paliva se spočítá podle vzorce (11). Počítá se s účinností peletového kotle 0,91. Potřebné množství paliva na rok pro pokrytí potřeby tepla  $Q_{\text{cel,r}}$  je  $M_{\text{pal}} = 512 \text{ t}$ .

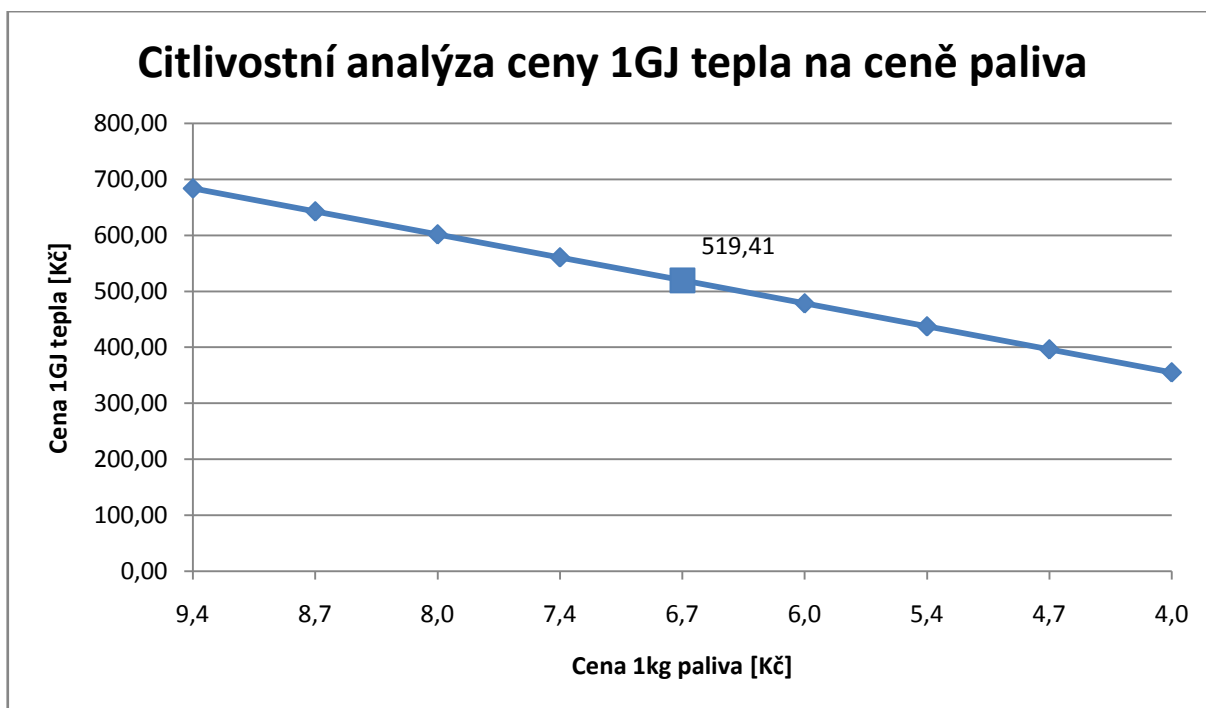
Po dosazení do vztahů (13) pro zjištění minimální ceny tepla  $C_{\text{min}}$  z pohledu projektu vyšla cena za 1 GJ rovna 475,27 Kč.

Předpokládaný roční nárůst ceny paliva je uvažován ve výši 2 %. Stejně se zvýší cena prodávávaného tepla.

Na financování této varianty by si obec sjednala úvěr ve výši 5 mil Kč s úrokovou sazbou 5 % na 10 let. Zbylé investiční náklady by kryla vlastním kapitálem.

Pro nalezení minimální ceny tepla z pohledu investora je použit vztah (14), kdy  $NPV = 0$ . Pro výpočet byla použita funkce Hledání řešení v programu Microsoft Excel. Cena 1 GJ prodávávaného odběratelům by za daných ekonomických předpokladů činila v prvním roce 519,41 Kč.

Cena dodávaného tepla se odvíjí od ceny nakupovaného paliva. Citlivostní analýza zobrazuje vztah minimální ceny prodávávaného tepla na ceně paliva – pelet. Citlivostní analýza říká, že změna ceny pelet o 10 % se projeví 7,9 % změnou ceny prodávávaného 1 GJ.



Graf 1: Citlivostní analýza ceny tepla na ceně pelet

### 6.1.2 Varianta 2 – kogenerační jednotky

Investiční náklady v této variantě se skládají kromě ceny kogeneračních jednotek i z ceny VTE, elektrolyzéry, vysokotlakého zásobníku, kompresoru, redukce tlaku, plynojemu, potrubní sítě na vodík a vodu. Tyto investiční náklady (až na kogenerační jednotky) budou stejné i pro variantu 3. Investiční náklady, poměrné stálé provozní náklady a životnost jednotlivých zařízení jsou převzata z [43] a zobrazuje je tabulka 10.

Zařízení	Cena [tis Kč]	Poměrné roční provozní stálé náklady [% Ni]	Životnost [r]
Větrná elektrárna	65 000	2,5	20
Elektrolyzér	12 500	5	10
Kompresor	150	2	10
Redukce tlaku	10	1	20
Tlakový zásobník	200	0,5	20
Potrubí DN 120 1200 m	1 200	0,5	20
Plynojem	150	1	20
Potrubní síť LPE DN 50	1 800	2	30
Zásobování vodou	61	1	15
<b>Celkem</b>	<b>81 071</b>	-	-

Tabulka 10: Ekonomické parametry zařízení

Kogenerační jednotky do jednotlivých objektů jsou uvedeny níže v tabulce 11.

Objekt	Kogenerační jednotka	Cena [tis. Kč]	Cena [Euro]
<b>Bytové prostory</b>	-	-	
průměrný dům	ecoPOWER 1.0	196	7000
80 domů		15 680	560 000
<b>Nebytové prostory</b>	-	-	
kulturní dům	ecoPOWER 4.7	448	16000
obchod	ecoPOWER 1.0	196	7000
penzion	ecoPOWER 3.0	392	14000
zemědělské družstvo (kanceláře)	ecoPOWER 1.0	196	7000
dílna	ecoPOWER 1.0	196	7000
truhlářství	ecoPOWER 1.0	196	7000
<b>Cena za kog. jednotky</b>	-	<b>17 304</b>	<b>618 000</b>
Instalace [% Ni]	30		
Instalace [tis. Kč]	5 191		
<b>Investiční náklady celkem [tis. Kč]</b>	<b>22 495</b>		

Tabulka 11: Investiční náklady kogeneračních jednotek pro variantu 2

K ceně kogeneračních jednotek je připočtena cena za jejich instalaci. Ta je spočítána jako 30 % z ceny kogenerační jednotky. V této částce je zahrnuta i úprava elektroinstalace, aby se vyrobená elektřina mohla spotřebovávat v místě výroby.

Celkové investiční náklady  $N_i$  se skládají z ceny kogeneračních jednotek, jejich instalace a nákladů vodíkové výroby, skladování a přepravy. Po sečtení těchto hodnot a zaokrouhlení na tisíce vychází  $N_i = 103\,566\,000$  Kč. Po deseti letech by došlo k obnově kogeneračních jednotek, elektrolyzéro a kompresoru.

Předpokládá se, že provozní náklady jsou tvořeny pouze stálými provozními náklady. Není potřeba zvenčí nakupovat žádné palivo. Pouze v případě bezvětřného roku, nebo v případě, když by se projevil nedostatek vodíku, by se elektřina na jeho výrobu odebírala ze sítě. Tato možnost se ale neuvažuje. Předpokládá se každý rok dostatek větrné energie.

Celkové výrobní náklady tak závisí jen na stálých provozních nákladech. Ty zobrazuje tabulka 12. Poměrné stálé náklady pro kogenerační jednotky byly odhadnuty na 6 %.

<b>Poměrné stálé provozní náklady</b>	<b><math>N_{ps}</math></b>
Větrná elektrárna	1625
Elektrolyzér	625
Kompresor	3
Redukce tlaku	0,1
Tlakový zásobník	1
Potrubí DN 120 1200 m	6
Plynojem	1,5
Potrubní síť LPE DN 50	36
Zásobování vodou	0,61
kogenerační jednotky	1038
<b>Celkem <math>N_{ps}</math> [tis. Kč]</b>	<b>3336,45</b>

**Tabulka 12: Stálé provozní náklady varianty 2**

Po dosazení do vztahů (13) pro zjištění minimální ceny tepla  $C_{min}$  z pohledu projektu vyšla cena za 1 GJ rovna 1 396,78 Kč.

Na financování této varianty by si obec sjednala úvěr ve výši 101 921 tis. Kč s úrokovou sazbou 5 % na 15 let. Zbylé investiční náklady by kryla vlastním kapitálem.

Roční výroba elektřiny  $W_r$  ve VTE by v průměrném větrném roce podle vzorce (18) činila cca 5 558 MWh. Na takto vyrobenou elektřinu by byl uplatněn Zelený bonus, který pro

nově uvedený zdroj v roce 2015 činí 1 450 Kč/MWh [50]. Uvažuje se, že pro rok 2016 se bude jednat o stejnou částku a v dalších letech se bonus bude zvyšovat o 1 %. U výroby elektřiny z kogeneračních jednotek je počítáno s tím, že se nedosáhne na podmínky pro přiznání Zeleného bonusu z KVET. Vyrobená elektřina by se rovnou spotřebovávala v místě výroby a tato spotřeba elektřiny by se projevila jako úspora na odebrané elektřině od dodavatele elektřiny.

Roční výroba vodíku v průměrném větrném roce bude činit 125,06 t vodíku. Na takové množství vyrobeného vodíku připadá přibližně 1 250 t spotřebované vody.

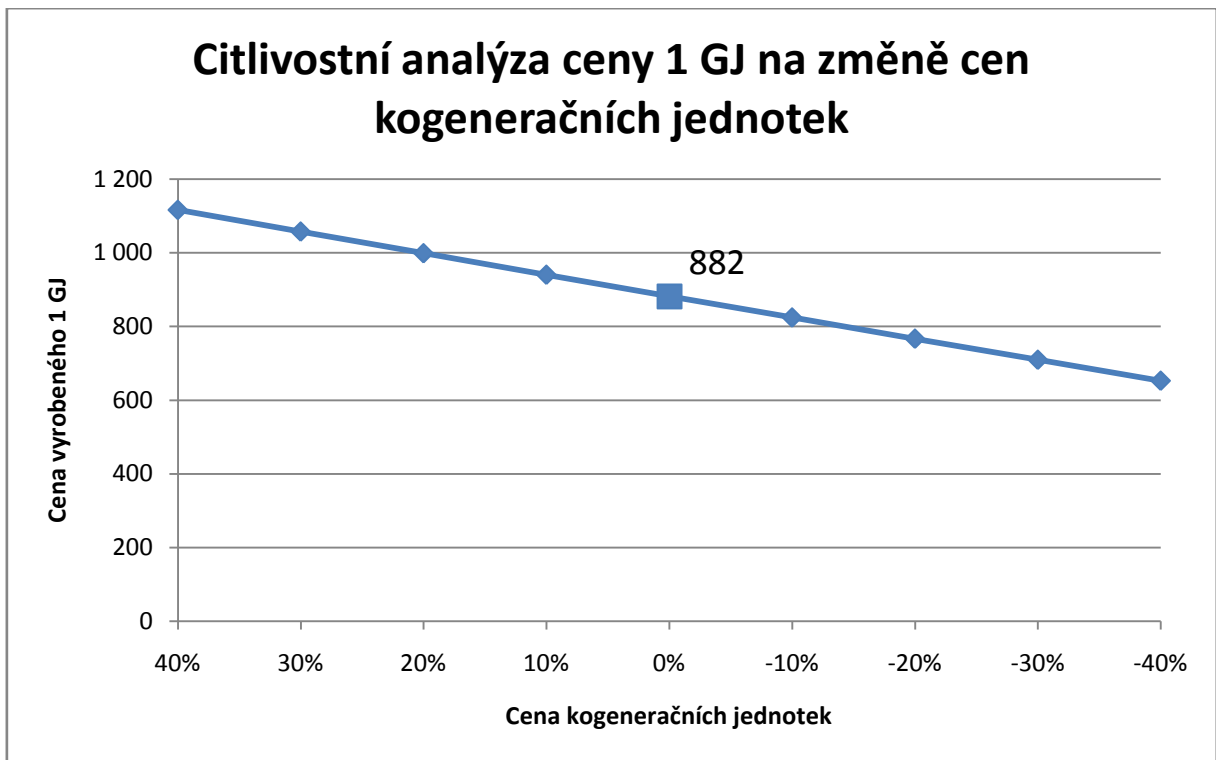
Celková účinnost kogenerační jednotky  $\eta_{\text{kog,cel}}$  je 92 %. Účinnost přeměny na elektřinu  $\eta_{\text{kog,e}}$  činí 26,3 % a účinnost přeměny na teplo  $\eta_{\text{kog,t}}$  65,7 %.

Na dodání tepla  $Q_{\text{cel,r}} = 8838,39$  GJ by kogenerační jednotka vyrobila  $W_{\text{kog,c}} = 11\,676,3$  GJ energie podle vztahu (21). Tomuto množství energie odpovídá spotřeba  $M_{\text{v,kog}} = 105,76$  t vodíku. Ročně by se tedy průměrně vyrobilo o cca 20 t vodíku více. Tento přebytek by se mohl například využít k plnění do tlakových lahví a následoval by jejich prodej.

Roční výroba elektřiny v kogeneračních jednotkách by činila  $W_{\text{kog,e}} = 927,19$  kWh. Při uvažované ceně elektřiny 4331,94 Kč/MWh pro tarif D 02d [51] by odběratelé dohromady ročně ušetřili 4 016 544 Kč za elektřinu. Tato částka by se projevila jako úspora a bude s ní počítáno ve výpočtu cash flow. Uvažuje se roční růst ceny elektřiny o 2 %.

Pro nalezení min. ceny tepla z pohledu investora je použit vztah (14), kdy  $NPV = 0$ . Pro výpočet byla použita funkce Hledání řešení v programu Microsoft Excel. Cena 1 GJ prodávající odběratelům by za daných ekonomických předpokladů (včetně Zeleného bonusu a úspory elektřiny) činila v prvním roce 881,86 Kč.

Citlivostní analýza na grafu 2 zobrazuje ceny prodávajícího 1 GJ na změně pořizovací ceny kogeneračních jednotek o 10 %. Z citlivostní analýzy vyplývá, že změna ceny kogeneračních jednotek o 10 % se projeví 6,6 % změnou ceny prodávajícího 1 GJ.



Graf 2: Citlivostní analýza ceny 1 GJ na změně cen kogeneračních jednotek

### 6.1.3 Varianta 3 – palivové články

Investiční náklady v této variantě budou stejné jako ve variantě 2. Kogenerační jednotky nahradí palivové články. Cena jednoho systému Vitovalor 300-P se pohybuje v rozmezí 30 až 35 tis. Euro [53] včetně ceny montáže. Pro stanovení investičních nákladů se uvažuje se cena 891 tis. Kč. V objektech s velkou potřebou tepla se uvažuje použití více jednotek palivového článku. V penzionu by se použily 2 jednotky a v kulturním domě 4. Celkem by se pořídilo 90 jednotek palivových článků. Investiční náklady jen na palivové články by činily 80 190 tis. Kč.

Celkové investiční náklady spolu s vodíkovou infrastrukturou činí 161 261 tis. Kč.

Celkové výrobní náklady opět budou záviset jen na stálých provozních nákladech. Ty zobrazuje tabulka 13. Poměrné stálé náklady pro palivové články byly odhadnuty na 2 %.

<b>Poměrné stálé provozní náklady</b>	<b>N<sub>ps</sub></b>
Větrná elektrárna	1625
Elektrolyzér	625
Kompresor	3
Redukce tlaku	0,1
Tlakový zásobník	1
Potrubí DN 120 1200 m	6
Plynojem	1,5
Potrubní síť LPE DN 50	36
Zásobování vodou	0,61
Palivový článek	1604
<b>Celkem N<sub>ps</sub> [tis. Kč]</b>	<b>3902,01</b>

Tabulka 13: Poměrné stálé provozní náklady varianty 3

Po dosazení do vztahů (13) pro zjištění minimální ceny tepla  $C_{\min}$  z pohledu projektu vyšla cena za 1 GJ rovna 2 019,82 Kč.

Na financování této varianty by si obec sjednala úvěr ve výši 159 616 tis. Kč s úrokovou sazbou 5 % na 20 let. Zbylé investiční náklady by kryla vlastním kapitálem.

Roční výroba elektřiny  $W_r$  ve VTE by v průměrném větrném roce byla stejná jako ve variantě 2 a činila by cca 5 558 MWh. Na vyrobenou elektřinu by byl uplatněn Zelený bonus, který pro nově uvedený zdroj v roce 2015 činí 1 450 Kč/MWh [50]. Uvažuje se, že pro rok 2016 se bude jednat o stejnou částku a v dalších letech se bonus bude zvyšovat o 1 %. U výroby elektřiny palivového článku je počítáno s tím, že se nedosáhne na podmínky pro přiznání Zeleného bonusu z KVET. Vyrobená elektřina by se rovnou spotřebovávala v místě



výroby a tato spotřeba elektřiny by se projevila jako úspora na odebrané elektřině od dodavatele elektřiny.

Roční výroba vodíku bude rovněž činit 125,06 t vodíku.

Celková účinnost palivového článku je  $\eta_{\text{pal,cel}}$  je 90 %. Účinnost přeměny na elektřinu  $\eta_{\text{pal,e}}$  činí 37 % a účinnost přeměny na teplo  $\eta_{\text{pal,t}}$  53 %. Účinnost bojleru je 109 %.

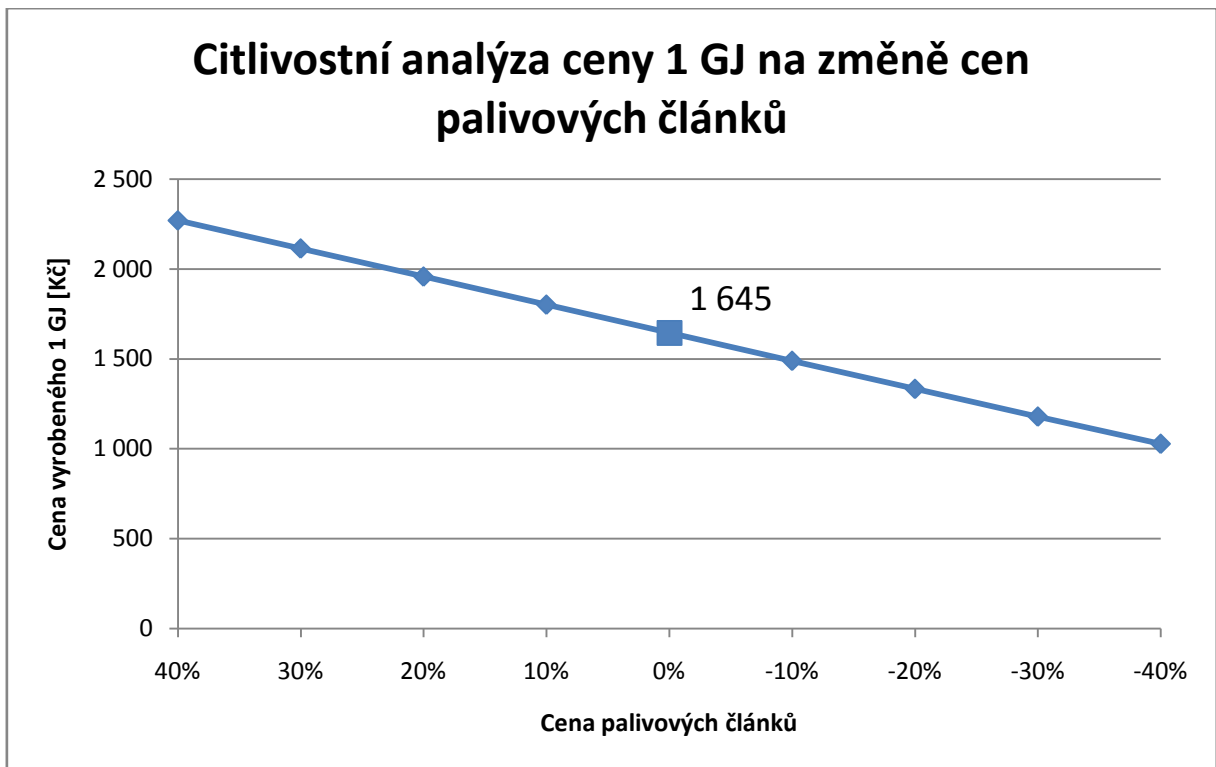
Předpokládá se, že 75 % potřebného tepla vyrobí palivový článek. Zbylých 25 % pak bojler.

Na dodání tepla  $Q_{\text{cel,r}} = 8838,39$  GJ by palivové články včetně bojlerů vyrobily  $W_{\text{pal,c}} = 12\,704,2$  GJ energie podle vztahu (21). Tomuto množství energie odpovídá spotřeba  $M_{\text{v,kog}} = 114,3$  t vodíku. Ročně by se tedy průměrně vyrobilo o cca 10 t vodíku více.

Roční výroba elektřiny v palivových člancích by činila  $W_{\text{pal,e}} = 1212,74$  kWh. Při uvažované ceně elektřiny 4331,94 Kč/MWh pro tarif D 02d [51] by odběratelé dohromady ročně ušetřili 5 253 506 Kč za elektřinu. Tato částka by se projevila jako úspora a bude s ní počítáno ve výpočtu cash flow. Uvažuje se roční růst ceny elektřiny o 2 %.

Minimální cena tepla z pohledu investora se vypočítá podle vztahu (14) kdy NPV = 0. Pro výpočet je použita funkce Hledání řešení v programu Microsoft Excel. Cena 1 GJ prodávaného odběratelům by za daných ekonomických předpokladů (včetně Zeleného bonusu a úspory elektřiny) činí v prvním roce 1 645,49 Kč.

Citlivostní analýza na grafu 3 zobrazuje ceny prodávaného 1 GJ na změně pořizovací ceny palivových článků o 10 %. Z provedené analýzy plyne, že změna ceny palivových článků o 10 % se projeví 9,5 % změnou ceny prodávaného 1 GJ.



Graf 3: Citlivostní analýza ceny 1 GJ na změně ceny palivových článků

## 6.2 Shrnutí a doporučení

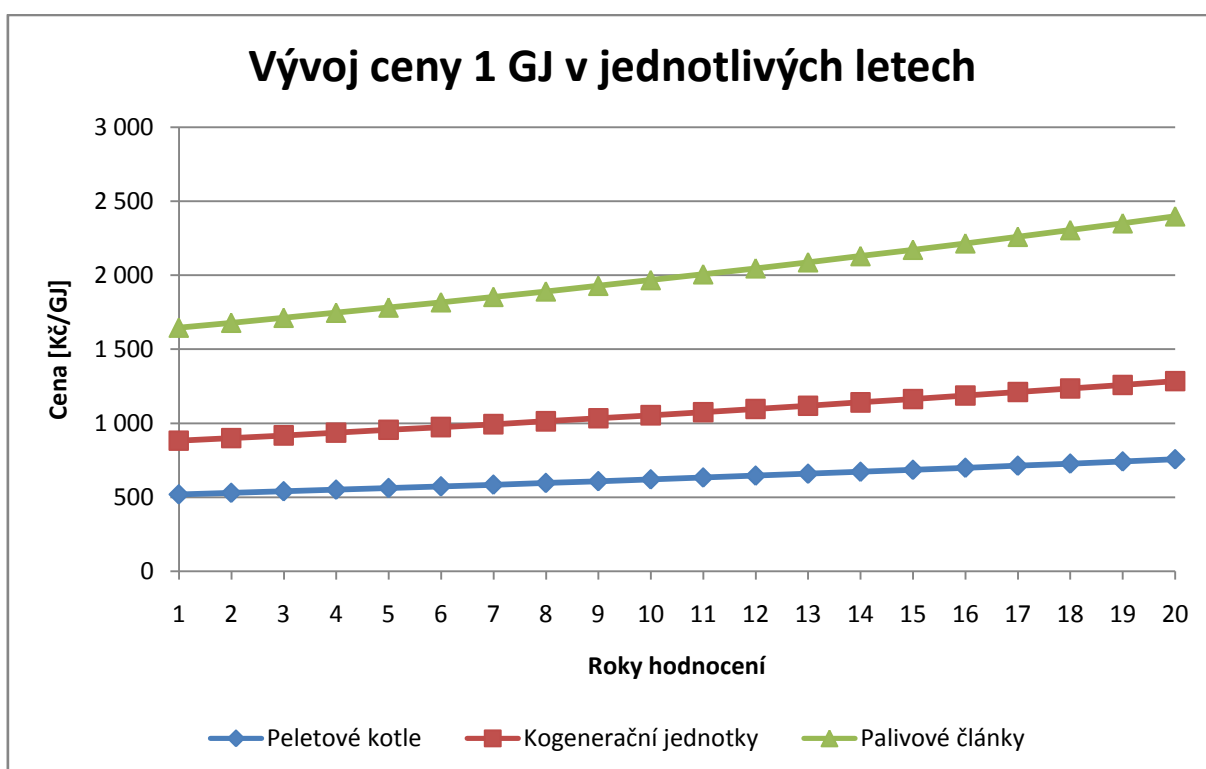
Ceny v Kč za 1 GJ prodávané energie v prvním roce pro všechny varianty zobrazuje tabulka 14. Mezi cenami jsou výrazné rozdíly. Cena za GJ vyrobeného peletovým kotlem je akceptovatelná, což ovšem neplatí pro zbylé dvě varianty.

Varianta	Cena 1 GJ v prvním roce [Kč]
Peletové kotle	519,41
Kogenerační jednotky	881,86
Palivové články	1 645,49

Tabulka 14: Vypočítané ceny 1 GJ

Cena pro peletové kotle nezahrnuje cenu za čas nutnou k obsluze a provozuschopnosti peletového kotle (k naplnění zásobníku peletami, údržba, uskladnění pelet). Tento prostor a čas by mohl být využit jiným způsobem, který by mohl případně přinášet i ekonomické výnosy. Kogenerační jednotky a palivové články jsou uživatelsky přívětivější. Nevyžadují extra prostor na skladování paliva a jejich obsluha je méně časově náročná.

Vývoj jednotlivých cen v letech při stejném konstantním růstu ceny o 2 % zobrazuje graf 4.



Graf 4: Vývoj cen jednotlivých variant

Investiční náklady jednotlivých variant obsahuje tabulka 15.

Varianta	Investiční náklady [tis. Kč]
Peletové kotle	6 645
Kogenerační jednotky	103 566
Palivové články	161 261

**Tabulka 15: Investiční náklady variant**

Všechny navržené varianty zásobování tepelnou energií jsou technicky realizovatelné. Problém ale spočívá v jejich ekonomické efektivnosti. V případě použití vodíku je největší překážka vysoká cena zařízení využívající vodík. Jedná se většinou o prototypy a zařízení vyrobená v malých sériích. Navíc takováto zařízení často obsahují drahé kovy, které rovněž neumožňují výrazné snížení jejich výroby.

Z ekonomické analýzy vyplývá, že doporučit lze pouze realizaci varianty peletových kotlů. V porovnání s touto variantou nemá smysl v současné době uvažovat o ekonomickém využití zbylých dvou variant využívajících vodík tedy o variantách kogeneračních jednotek a palivových článků.

Z pohledu energetické nezávislosti obce mají varianty využívající vodík výhodu. Produkce tepla a elektřiny by byla nezávislá na vnějších zdrojích. Obec by tak mohla fungovat prakticky v ostrovním režimu. Ovšem za předpokladu dostatečného výskytu větru. V případě peletových kotlů by obec byla zcela závislá na vnějším dodavateli.

Po zhodnocení všech kritérií jednotlivých variant je doporučena realizace peletových kotlů. Důvodem je nejnižší cena tepla a nejmenší investiční náročnost, která obec v porovnání s ostatními variantami zadluží jen minimálně.

## Závěr

Tato diplomová práce se zabývá hodnocením možností ekologického zásobování tepelnou energií obce Zbilidy na Vysočině. Obec se v převážně v chladných obdobích potýká se zhoršenou kvalitou ovzduší. Ta je způsobena nevhodným způsobem vytápění objektů. Stanoveny byly tři možné varianty po technické i ekonomické stránce. Jedná se o peletové kotle, kogenerační jednotky a palivové články. Poslední dvě varianty se zabývají možnostmi akumulace větrné energie do vodíku a jeho dalšího využití ve výrobě elektřiny a tepla.

První část práce nabízí pohled do technologie větrných elektráren. Pojednává o jejich historii, základním rozdělení a v neposlední řadě se zabývá potenciálem větrné energetiky na území České republiky.

Druhá část se zaměřuje na poskytnutí poznatků o vodíku. Pojednává hlavně o vlastnostech vodíku, o širokých možnostech výroby, jeho skladování a transportu. Tyto znalosti jsou dále využity v praktické části práce.

Třetí část se týká samotné obce Zbilidy. Je zde především popsána její potřeba tepelné energie za rok, což je stěžejní informace pro další části práce.

Čtvrtá část představuje návrh vodíkové infrastruktury od výroby vodíku po jeho přivedení ke spotřebitelům. Jsou navrženy jednotlivé komponenty od větrné elektrárny, elektrolyzér, vysokotlaký zásobník po plynovod. Dále jsou v této části popsány jednotlivé varianty.

Pátá část se týká ekonomické stránky projektu. Popisuje použité vzorce, ekonomické ukazatele a předpoklady podle kterých došlo k posouzení jednotlivých variant. Na jednotlivé varianty jsou vypracována ekonomická posouzení. Z těchto výpočtů vychází shrnutí a doporučení.

Všechny navrhované varianty jsou technicky realizovatelné. Výsledky potvrdily očekávání. Využitím vodíku jako nosného média lze eliminovat většinu nepříznivých jevů, které větrná energetika přináší. Na druhou stranu se potvrdil i předpoklad, že zařízení na přeměnu elektřiny na energii vodíku a naopak na přeměnu tepla a elektřiny mají v současnosti vysoké investiční náklady a poměrně krátkou životnost. Vyrobená energie z těchto zařízení nemůže svou cenou konkurovat variantě spalování biomasy v peletách.

## Zdroje

- [1] MASTNÝ, Petr, Jiří DRÁPELA, Stanislav MIŠÁK, Jan MACHÁČEK, Michal PTÁČEK, Lukáš RADIL, Tomáš BARTOŠÍK a PAVELKA. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 254 s. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [2] S větrem v lopatkách. [online]. [cit. 2013-10-11]. Dostupné z: [http://www.czech-press.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=2843:s-vtrem-v-lopatkach&catid=1672:2006-11&Itemid=148](http://www.czech-press.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=2843:s-vtrem-v-lopatkach&catid=1672:2006-11&Itemid=148)
- [3] KOČ, Břetislav. *Z historie větrných elektráren* [online]. [cit. 2013-10-11]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=26559](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26559)
- [4] *Jalubí-větrný mlýn* [online]. [cit. 2013-10-11]. Dostupné z: <http://foto.mapy.cz/56195-Jalubi-vetrny-mlyn>
- [5] KOČ, Břetislav. Vítr čerpá vodu - aneb ožije tradice?. [online]. [cit. 2013-10-11]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/4204-vitr-cerpa-vodu-aneb-ozije-tradice>
- [6] KLEČKA, Jiří. *Větrná elektrárna se Savoniovým rotorem pro výrobu elektrické energie*. 2009. Diplomová práce. Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně. Vedoucí práce Ing. Petr Mastný, Ph.D.
- [7] Větrné elektrárny: Nejčastější typy, experimentální projekty a zajímavosti. [online]. [cit. 2013-11-08]. Dostupné z: <http://www.ekobonus.cz/vetrne-elektrarny-nejcastejsi-typy-experimentalni-projekty-a-zajimavosti>
- [8] *Energie větru* [online]. 2007 [cit. 2013-11-08]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-vetru>
- [9] HANSLIAN, David. Malé větrné elektrárny pro lokální aplikace -2. *Energie 21: časopis obnovitelných zdrojů energie* /. roč. 2012, č. 1. ISSN: 1803-0394.
- [10] Větrná mapa. *Ústav fyziky atmosféry AV ČR v. i. i.* [online]. 2009 [cit. 2013-12-19]. Dostupné z: <http://www.ufa.cas.cz/struktura-ustavu/oddeleni-meteorologie/projekty-egp/vetrna-energie/vetrna-mapa.html>
- [11] Větrná energie. [online]. [cit. 2013-12-19]. Dostupné z: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/vetrna-energie>
- [12] *Roční zpráva o provozu ES ČR pro rok 2013*. Praha: Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ, 2014, 29 s. Dostupné z: [http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni\\_zprava\\_provoz\\_ES\\_2013.pdf/20c3f587-a658-49f7-ace9-56be8a66b7b9](http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2013.pdf/20c3f587-a658-49f7-ace9-56be8a66b7b9)
- [13] Počty obyvatel v obcích. *Ministerstvo vnitra České republiky* [online]. [cit. 2014-04-13]. Dostupné z: <http://www.mvcr.cz/clanek/statistiky-pocty-obyvatel-v-obcich.aspx>
- [14] CROME, Horst. *Technika využití energie větru: svépomocná stavba větrných zařízení*. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 2002. ISBN 80-861-6719-4.

- [15] CETKOVSKÝ, Stanislav, Bohumil FRANTÁL a Josef ŠTEKL. *Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, environmentálních aspektů a socioekonomických souvislostí*. Brno: Ústav geoniky Akademie věd České republiky, 2010, 208 s. Studia Geographica, 101. ISBN 978-808-6407-845.
- [16] HANSLIAN, David, Jiří HOŠEK a Jozef ŠTĚKL. ÚSTAV FYZIKY ATMOSFÉRY AV Č R, v.v.i. Akademie věd Č R. *Odhad realizovatelného potenciálu větrné energie na území ČR*. Praha, 2008. Dostupné z: [http://www.ufa.cas.cz/files/OMET/potencial\\_ufa.pdf](http://www.ufa.cas.cz/files/OMET/potencial_ufa.pdf)
- [17] MASARYKOVA UNIVERZITA. *Vodík jako prvek* [online]. [cit. 2014-09-01]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/1431/podzim2004/C1441/skripta/kapitola0201.html>
- [18] KLECZEK, Josip. Povídání o vodíku I. [online]. 2003 [cit. 2014-09-01]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/1367-povidani-o-vodiku-i>
- [19] KOTEK, Luboš. FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ, VUT v Brně. Specifika analýzy rizik vodíku. [online]. [cit. 2014-09-01]. Dostupné z: [http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id\\_document=31466](http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=31466)
- [20] TUČEK, Vít, Ludmila DVOŘÁKOVÁ a Jiří HANZAL. ČESKÁ ASOCIACE TECHNICKÝCH PLYNŮ. *Vodík*. Praha, 2004. Dostupné z: <http://www.catp.cz/publikace/vodik.pdf>
- [21] Teplota tání prvků. VŠCHT Praha [online]. [cit. 2014-09-01]. Dostupné z: [http://old.vscht.cz/ach/pub/ReseneUlohy-2B-Teplota\\_tani\\_prvku.pdf](http://old.vscht.cz/ach/pub/ReseneUlohy-2B-Teplota_tani_prvku.pdf)
- [22] DOUCEK, Aleš. ÚJV ŘEŽ, a. s. *Praktické zkušenosti s provozem zařízení pro akumulaci energie do vodíku*. 2014.
- [23] SOMOLOVÁ, Markéta a Petr DLOUHÝ. Výroba vodíku. *Výroba vodíku* [online]. 2007 [cit. 2014-09-01]. Dostupné z: <http://www.hytep.cz/cz/vodik/informace-o-vodiku/vyroba-vodiku/491-vyroba-vodiku>
- [24] HADRAVA, Jan, Roman VOKATÝ, Tomáš HLINČÍK a Daniel TENKRÁT. *Porovnání kvality vodíku z různých technologií výroby*. Praha: Fakulta technologie ochrany prostředí Vysoké školy chemicko-technologické v Praze, 2013. ISSN 1804-2058. Dostupné z: <http://paliva.vscht.cz/download.php?id=95>
- [25] KUSALA, Jaroslav. ČEZ. *Miniencyklopedie elektřina* [online]. 2003 [cit. 2014-09-01]. Dostupné z: <http://www.cez.cz/edee/content/microsites/elektrina/fyz4.htm>
- [26] Kováč, P.: *Varianty ekologického zásobování obce tepelnou energií*. Diplomová práce ČVUT FEL, Praha 2006.
- [27] Vodíková křehkost. *CoJeCo* [online]. [cit. 2014-09-01]. Dostupné z: [http://www.cojeco.cz/index.php?detail=1&s\\_lang=2&id\\_desc=104308&title=vod%EDkov%E1%20k%F8ehkost](http://www.cojeco.cz/index.php?detail=1&s_lang=2&id_desc=104308&title=vod%EDkov%E1%20k%F8ehkost)
- [28] Poškození vodíkem. VŠCHT Praha [online]. [cit. 2014-09-01]. Dostupné z: [http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni\\_inzenyrstvi\\_se/koroze/d\\_vodik.htm#obr2](http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/korozni_inzenyrstvi_se/koroze/d_vodik.htm#obr2)

- [29] Vodíková koroze. *CoJeCo* [online]. [cit. 2014-09-01]. Dostupné z: [http://www.cojeco.cz/index.php?s\\_term=&s\\_lang=2&detail=1&id\\_desc=104307](http://www.cojeco.cz/index.php?s_term=&s_lang=2&detail=1&id_desc=104307)
- [30] STUPAVSKÝ, Vladimír. Směrnice o Ekodesignu pro kotle a kamna na tuhá paliva. *TZB-info* [online]. 2014 [cit. 2014-09-01]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/11937-smernice-o-ekodesignu-pro-kotle-a-kamna-na-tuha-paliva>
- [31] STUPAVSKÝ, Vladimír. Novela zákona o ochraně ovzduší. *TZB-info* [online]. 2014 [cit. 2014-09-01]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9515-novela-zakona-o-ochrane-ovzdusi>
- [32] Kotlů na biomasu se loni poprvé prodalo více než kotlů na uhlí. Češi volí čistší vytápění. ČESKÁ PELETA, z.s.p.o. *TZB-info* [online]. 2014 [cit. 2014-09-02]. Dostupné z: <http://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/11406-kotlu-na-biomasu-se-loni-poprve-prodalo-vice-nez-kotlu-na-uhli-cesi-voli-cistsi-vytapani>
- [33] Pelety. ČESKÁ PELETA, z.s.p.o. *Klaster Česká peleta – Česká peleta, z.s.p.o.* [online]. [cit. 2014-09-02]. Dostupné z: <http://www.ceska-peleta.cz/pelety-brikety-drevo/pelety/>
- [34] Cílování inflace v ČR. *Česká národní banka* [online]. [cit. 2014-09-02]. Dostupné z: [http://www.cnb.cz/cs/menova\\_politika/cilovani.html](http://www.cnb.cz/cs/menova_politika/cilovani.html)
- [35] Emisní kalendář střednědobých a dlouhodobých státních dluhopisů - duben 2014. *Ministerstvo financí ČR* [online]. 2014 [cit. 2014-09-02]. Dostupné z: <http://www.mfcr.cz/cs/verejny-sektor/hospodareni/rizeni-statniho-dluhu/emise-statnich-dluhopisu/emisni-kalendare-sdd/2014/emisni-kalendar-strednedobych-4-2014-17330>
- [36] STARÝ, Oldřich. „Finanční management - přednáška téma 6,“ Praha, 2013.
- [37] Změna otopného systému - vyplatí se?. GRYGGERA, Filip. *EnviWeb* [online]. 2009 [cit. 2014-09-02]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/topeni/78983/zmena-otopneho-systemu-vyplati-se>
- [38] Přehled cen pelet. *TZB-info* [online]. 2014 [cit. 2014-09-02]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/ceny-paliv-a-energii/prehled-cen-pelet>
- [39] IVORY PELLETS Premium. *CDP IVORY* [online]. 2014 [cit. 2014-09-06]. Dostupné z: <http://www.cdp.cz/pelety/drevene-pelety-normovane-15kg-ecovestlatop/>
- [40] VASTL, Jaromír. „Management a ekonomika energetických soustav- přednáška téma 2,“ Praha, 2013.
- [41] VAŠÍČEK, Jiří. „Finanční účetnictví - přednáška téma 6,“ Praha, 2013.
- [42] OPOP BLACK STAR 20. In: *BKS obchod* [online]. 2014 [cit. 2014-09-03]. Dostupné z: <http://www.bksobchod.cz/default-nav-det-exe-6-m1-2-m2-130-m3-0-bezobr-0-id-5298-st-htm>
- [43] VÍTEK, Miroslav a Milan JÄGER. Vyplatí se využívat vodík v energetice?. In: *PRO-ENERGY magazín*. Mečeříš, 2014, roč. 8, č. 1., s. 5. ISSN 1802-4599.
- [44] Vysočina: Pavlov I. a II. *Česká společnost pro větrnou energii* [online]. 2014 [cit. 2014-09-03]. Dostupné z: <http://www.csve.cz/mapa-vetrnych-elektren/vysocina>



- [45] BECHNIK, Bronislav. Roční využití výkonu větrných elektráren v České republice. In: *TZB-info* [online]. 2014 [cit. 2015-01-03]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/11077-rocni-vyuziti-vykonu-vetrnych-elektren-v-ceske-republice>
- [46] ENERCON Product overview. *Enercon* [online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: [http://www.enercon.de/p/downloads/ENERCON\\_TuS\\_en\\_web\\_032014\\_2.pdf](http://www.enercon.de/p/downloads/ENERCON_TuS_en_web_032014_2.pdf)
- [47] HySTAT™ 60 Outdoor. *Hydrogenics* [online]. 2013 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: [http://www.hydrogenics.com/docs/default-source/pdf/2-1-1-industrial-brochure\\_english.pdf?sfvrsn=2](http://www.hydrogenics.com/docs/default-source/pdf/2-1-1-industrial-brochure_english.pdf?sfvrsn=2)
- [48] High-Pressure Hydrogen Compressors. *Hydro-Pac, Inc.* [online]. 2013 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: <http://www.hydropac.com/HTML/capacity140-300.html>
- [49] Mikro-BHKW ecoPOWER 1.0. *Valliant* [online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: [http://www.vaillant.de/Produkte/Kraft-Waerme-Kopplung/Blockheizkraftwerke/produkt\\_vaillant/mikro-KWK-System\\_ecoPOWER\\_1.0.html](http://www.vaillant.de/Produkte/Kraft-Waerme-Kopplung/Blockheizkraftwerke/produkt_vaillant/mikro-KWK-System_ecoPOWER_1.0.html)
- [50] Cenové rozhodnutí 1/2014. *ERÚ* [online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: [http://www.eru.cz/documents/10540/613886/ERV\\_4\\_2014/4f60ee4b-5bfa-4636-846f-5c7dee3d8683](http://www.eru.cz/documents/10540/613886/ERV_4_2014/4f60ee4b-5bfa-4636-846f-5c7dee3d8683)
- [51] Ceník dodávky elektřiny. *E.ON* [online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: <http://www.eon.cz/file/edee/cs/domacnosti/produkty-a-ceny-elektřiny/eon-cenik-elektřina-082014-domacnost-eon.pdf>
- [52] Vitocalor 300-P. *Viessmann* [online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: [http://www.viessmann.de/content/dam/internet-global/pdf\\_documents/brochures/ppr-Brennstoffzellen-Heizgeraet\\_Vitocalor\\_300-P.pdf](http://www.viessmann.de/content/dam/internet-global/pdf_documents/brochures/ppr-Brennstoffzellen-Heizgeraet_Vitocalor_300-P.pdf)
- [53] Vitocalor 300-P: palivočlánková mikrokogenerační jednotka pro obytné domy na evropském trhu. *Proelektrotechniky.cz* [online]. 2014 [cit. 2014-10-03]. Dostupné z: <http://www.proelektrotechniky.cz/inteligentni-budovy/28.php>
- [54] ŠVÁB, Michal. Trendy ve vývoji vodíkového hospodářství. *Česká energetická agentura* [online]. 2006 [cit. 2015-01-05]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/01.pdf>
- [55] DLOUHÝ, Petr a Luděk JANÍK. Skladování vodíku. *Česká vodíková technologická platforma* [online]. 2007 [cit. 2014-10-05]. Dostupné z: <http://www.hytep.cz/cz/vodik/informace-o-vodiku/transport-a-skladovani-vodiku/495-skladovani-vodiku-i>

## Přílohy

### Příloha 1

#### Příprava TUV

- 1) Průměrný tepelný příkon  $Q_{tuv}$  [GJ/h]

$$Q_{tuv} = \frac{K}{T} \cdot a \cdot b \cdot c_w \cdot (60 - t_{svz}) \cdot 10^{-6}$$

koeficient tepelného příkonu - K	1
počet prov. hodin zařízení - T	24 hod
spotřeba TUV na obyvatele o teplotě 60 °C	
- a	80
počet obyvatel - b	200
měrná tepelná kapacita TUV - $c_w$	4,19 kJ/kg, °C
teplota studené vody - $t_{svz}$	5 °C
$Q_{tuv}$ =	153633,3333 kJ/h
<b><math>Q_{tuv}</math> =</b>	<b>0,1536 GJ/h</b>

- 2) celková roční potřeba na ohřev TUV  $Q_{tuv,r}$  [GJ/h]

$$Q_{tuv,r} = 24 \cdot Q_{tuv} \cdot n + 0,8 \cdot 24 \cdot Q_{tuv} \cdot \frac{(60 - t_{tvl})}{(60 - t_{vz})} \cdot (350 - n)$$

$Q_{tuv}$	0,1536 GJ/h
počet dní v topném období - n	257 dny
teplota studené vody v letním období - $t_{tvl}$	15 °C
teplota studené vody v zimním období -	
$t_{vz}$	5 °C
<b><math>Q_{tuv,r}</math> =</b>	<b>1172,06 GJ/h</b>

# E-92

## 2,350 kW

Technical specifications E-92

**Rated power:** 2,350 kW  
**Rotor diameter:** 92 m  
**Hub height in meter:** 84 / 85 / 98 / 104 / 108 / 138  
**Wind zone (DIBT):** WZ III  
**Wind class (IEC):** IEC/EN IIA  
**WEC concept:** Gearless, variable speed, single blade adjustment

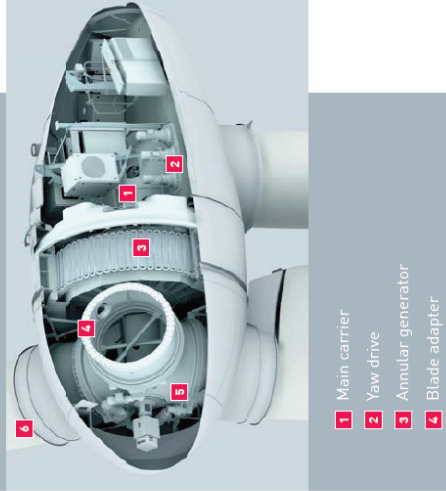
**Rotor**  
 Type: Upwind rotor with active pitch control  
 Rotational direction: Clockwise  
 No. of blades: 3  
 Swept area: 6,648 m<sup>2</sup>  
 Blade material: GRP (epoxy resin); Built-in lightning protection  
 Rotational speed: Variable, 5 - 16 rpm  
 Pitch control: ENERCON single blade pitch system; one independent pitch system per rotor blade with allocated emergency supply

**Drive train with generator**

**Main bearing:** Double row tapered/cylindrical roller bearings  
**Generator:** ENERCON direct-drive annular generator  
**Grid feed:** ENERCON inverter  
**Brake systems:** - 3 independent pitch control systems with emergency power supply  
 - Rotor brake  
 - Rotor lock

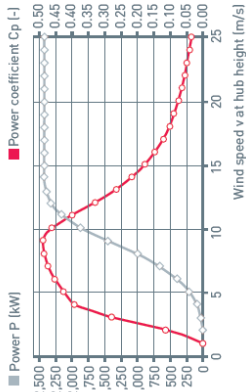
**Yaw system:** Active via yaw gear, load-dependent damping  
**Cut-out wind speed:** 28 - 34 m/s (with ENERCON storm control\*)

**Remote monitoring:** ENERCON SCADA



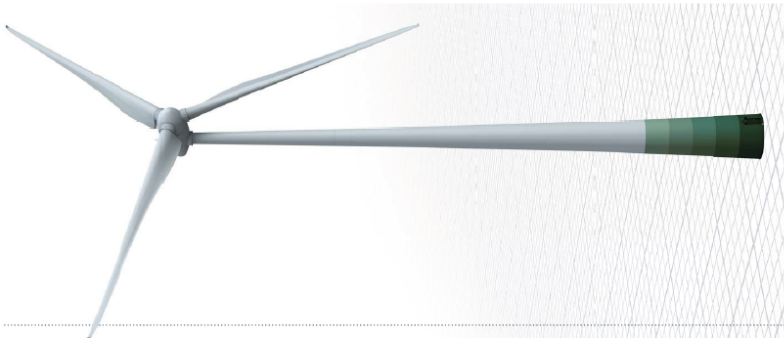
- 1 Main carrier
- 2 Yaw drive
- 3 Annular generator
- 4 Blade adapter

Calculated power curve



Wind (m/s)	Power P (kW)	Power-coefficient Cp (-)
1	0.0	0.00
2	3.6	0.11
3	29.9	0.27
4	98.2	0.38
5	208.3	0.41
6	384.3	0.44
7	637.0	0.46
8	975.8	0.47
9	1,403.6	0.47
10	1,817.8	0.45
11	2,088.7	0.39
12	2,237.0	0.32
13	2,300.0	0.26
14	2,350.0	0.21
15	2,350.0	0.17
16	2,350.0	0.14
17	2,350.0	0.12
18	2,350.0	0.10
19	2,350.0	0.08
20	2,350.0	0.07
21	2,350.0	0.06
22	2,350.0	0.05
23	2,350.0	0.05
24	2,350.0	0.04
25	2,350.0	0.04

$\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$



# Technical specifications






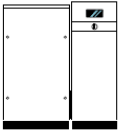

MODEL	HySTAT <sup>®</sup> -10-10	HySTAT <sup>®</sup> -15-10	HySTAT <sup>®</sup> -30-10	HySTAT <sup>®</sup> -45-10	HySTAT <sup>®</sup> -60-10
Operating Pressure	10 barg				
Nominal hydrogen flow	10 Nm <sup>3</sup> /h	15 Nm <sup>3</sup> /h	30 Nm <sup>3</sup> /h	45 Nm <sup>3</sup> /h	60 Nm <sup>3</sup> /h
Nr. of cell stacks	1	1	2	3	4
Hydrogen flow range	40 - 100% (25 - 100% as an option)				
Hydrogen Purity (before HPS)*	99,99%; H <sub>2</sub> O saturated; O <sub>2</sub> < 1,000 ppm				
Hydrogen Purity (after HPS)	99,998% (99,999% as an option); O <sub>2</sub> < 2ppm; N <sub>2</sub> < 12ppm; Atm. Dew point: -60°C or -76°F (-75°C or -103°F as an option)				
Estimated AC power consumption (all included)	5,4 kWh/Nm <sup>3</sup> at full capacity				
Voltage	3 x 400 VAC ± 3% (3 x 480 or 575 VAC ± 3% as an option)				
Frequency	50 Hz ± 3% / 60 Hz ± 3% (option)				
Installed power	100 + 35KVA	120 + 35KVA	240 + 35KVA	120 + 240 + 35KVA	2 x 240 + 35KVA
Max. cooling water temperature (electrolyte)	Closed loop cooling circuit installed				
Design flow cooling water (electrolyte)	Chiller gas colling circuit installed				
Max. cooling water temperature (gas cooling)	Feed water purification system installed				
Design flow cooling water (gas cooling)	1,5 - 2 liters/Nm <sup>3</sup> H <sub>2</sub>				
Demineralized water consumption	H <sub>2</sub> O + 30% wt. KOH				
Tap water consumption	220 L	240 L	360 L	480 L	610 L
Electrolyte	Outdoor, general purpose area (optional indoor)				
Electrolyte Quantity	-20°C to +40°C (-40°C or +50°C as an option)				
Installation area	6,10m x 2,44m x 2,90m (+1,60m with dry cooler)				
Ambient Temperature Range	Approx. 16 Tons				
Dimensions (L X W X H)					
Empty weight					

## Příloha 3

Charakteristika kotlů BLACK STAR		Technické parametry		Příslušenství		
Typ kotle		Black Star 10	Black Star 20	Black Star 30	Black Star 40	Black Star 40 COMFORT
Jmenovitý výkon	kW	8,5	14,8	26,6	39,8	48,2
Minimální výkon	kW	2				4
Maximální výkon	kW	10	16	26	40	50
<b>Záruční palivo</b>		<b>dřevní pelety 6-10 mm</b>				
Průměrná spotřeba paliva	kg/hod	0,53 - 1,88	0,79 - 3,22	1,6 - 5,63	2,5 - 8,9	2,5-8,9
<b>Účinnost</b>	%	<b>91</b>	<b>93</b>	<b>92</b>	<b>92</b>	91,4
Vodní objem kotle	l	35	35	45	45	67
Provozní tah komína	Pa	15-20	15-20	15-20	15-20	
Maximální pracovní tlak vody	Bar	2				
Maximální teplota topné vody	°C	85				
Maximální teplota vratné vody	°C	65				
Maximální elektrický příkon/napětí	W/V	50/220	50/220	50/220	60/220	60/220
Hmotnost	kg	160	160	210	210	
<b>Rozměry</b>						
Výška kotle	mm	984	984	984	1084	1130
Šířka kotle	mm	428	428	528	658	665
Hloubka kotle	mm	728	728	792	895	950
Umístění kouřovodu od země na střed vyústění	mm	635	635	635	635	760
Umístění nátrubku vstupní vody od země na střed vyústění	mm	105	105	105	105	128
Umístění nátrubku výstupní vody od země na střed vyústění	mm	795	795	795	895	918
Připojovací nátrubky	DN	5/4"	5/4"	5/4"	5/4"	G1 1/4"
Průměr kouřovodu	mm	130	130	150	150	150

Charakteristika kotlů WOODY		Technické parametry		Příslušenství	
Technické parametry - typ		Woody 60	Woody 80		
Maximální výkon	kW	60	80		
Minimální výkon	kW	10 % z výkonu hořáku			
<b>Záruční palivo</b>	/	<b>dřevní peletky 6-8 mm</b>			
<b>Účinnost kotle</b>	%	<b>92</b>	<b>93</b>		
Průměrná spotřeba paliva	kg/h	6,5	8		
Vodní objem kotle	l	95	130		
Provozní tah komína	Pa	10-15			
Maximální pracovní tlak vody	Bar	2			
Maximální teplota topné vody	°C	85			
Minimální teplota vratné vody	°C	65			
Maximální elektrický příkon/napětí	W/V	160/220	160/220		
Hmotnost	kg	385	480		
<b>Rozměry</b>					
Výška kotle	mm	1272	1271		
Šířka kotle	mm	643	743		
Hloubka kotle	mm	896	997		
Umístění kouřovodu od země na střed vyústění	mm	998	997,5		
Umístění nátrubku vstupní vody od země na střed vyústění	mm	270	283		
Umístění nátrubku výstupní vody od země na střed vyústění	mm	1121	1154		
Připojovací nátrubky	DN	1"	5/4"		
Průměr kouřovodu	mm	150	180		

## Příloha 4

	Název	Výkon			Oblast použití
		elektrický	tepelný	spotřeba tepla	
	mikro-BHKW ecoPOWER 1.0	1 kW	2,5 kW	od 15 000 kWh/r	 rodinný dům, dvojdomek
	mini-BHKW ecoPOWER 3.0	1,5–3 kW	4,7–8 kW	od 25 000 kWh/r	 bytový dům
	mini-BHKW ecoPOWER 4.7	1,5–4,7 kW	4,7–12,5 kW	od 45 000 kWh/r	 úřad, malá firma
	mini-BHKW ecoPOWER 20.0	7–20 kW	12–42 kW	od 150 000 kWh/r	 sídliště, hotel, škola

mikro-BHKW ecoPOWER	Einheit	1.0
Heizleistung bei Erdgas E, Erdgas LL (Min)	kW	2,5
Elektrische Leistung	kW	1
Gesamt-Wirkungsgrad	%	92
Elektrischer Wirkungsgrad	%	26,3
Stromkennzahl		0,38
Spannungsversorgung		230 V/50 Hz
Motor-Klassifizierung		Gas-Ottomotor
Abgasvolumen	cm <sup>3</sup>	163
Drehzahl	min <sup>-1</sup>	1.950
Anschlusswert bei Erdgas E <sup>(1,2)</sup>	m <sup>3</sup> /h	0,4
Anschlusswert bei Erdgas LL <sup>(1,2)</sup>	m <sup>3</sup> /h	0,47
Abgastemperatur (Max bei Volllast)	°C	90
Abgasmassenstrom (Max)	g/s	1,45
Kondenswassermenge bei Volllast	l/h	0,50
Schalldruck <sup>3)</sup>	dB(A)	41, Entfernung bei gemessenem Schalldruck 2 m
Mündungsschall <sup>3)</sup>	dB(A)	54, Entfernung bei gemessenem Schalldruck 3 m
Schallleistungspegel	dB(A)	58
Temperatur Heizung (Vorlauf, Max / Rücklauf, Max)	°C	80/70
Maße unverpackt (Höhe / Breite / Tiefe)	mm	1132/1180/320
Gewicht unverpackt	kg	100

<sup>1)</sup>Bei Gas-Wärmeerzeugern dient dieser Wert zur Dimensionierung der Gas-Anschlussleitung (nach TRGI)

<sup>2)</sup>Bezogen auf 15 °C und 1013 mbar <sup>3)</sup>Im Freifeld bei kugelförmiger Ausbreitung; Abweichung in Räumen in der Regel +10 dB(A)

mini-BHKW ecoPOWER	Einheit	3.0	4.7
Heizleistung bei Erdgas E, Erdgas LL (Min–Max)	kW	4,7–8,0	4,7–12,5
Heizleistung bei Flüssiggas (Min–Max)	kW	5,2–9,0	5,2–13,8
Elektrische Leistung bei Erdgas E, Erdgas LL	kW	1,5–3,0	1,5–4,7
Elektrische Leistung bei Flüssiggas	kW	1,6–3,0	1,6–4,7
Gesamt-Wirkungsgrad	%	> 90	> 90
Spannungsversorgung		400V/50 Hz	400V/50 Hz
Motor-Klassifizierung		Gas-Ottomotor	Gas-Ottomotor
Kompressionsvolumen	cm <sup>3</sup>	272	272
Schalldruck <sup>1)</sup>	dB(A)	< 47 Schalldruckpegel in 2 m Abstand	< 51 Schalldruckpegel in 2 m Abstand
Höhe/Breite/Tiefe	mm	1085/762/1370	1085/762/1370
Gewicht	kg	395	395
Anschluss Gas		R 1/2	R 1/2
Entsorgung Kondenswasser		Ø 40 mm	Ø 40 mm
Anschluss Luft, Abgas		Ø 75 mm	Ø 75 mm

<sup>1)</sup>Im Freifeld bei kugelförmiger Ausbreitung; Abweichung in Räumen in der Regel +10 dB(A)

## Příloha 5

### Specification Vitovalor 300-P



<b>Fuel cell module electrical output</b>	kW <sub>el</sub>	0.75
<b>Fuel cell module thermal output</b>	kW <sub>th</sub>	1
<b>Peak load boiler thermal output</b>	kW <sub>th</sub>	19
<b>Power index</b>		0.75
<b>Electrical efficiency (H<sub>e</sub>) of the fuel cell module</b>	%	37
<b>Overall efficiency (H<sub>e</sub>) of the fuel cell module</b>	%	90
<b>Thermal efficiency (H<sub>t</sub>) of the peak load boiler</b>	%	109
<b>Sound emissions/sound level</b>	dB(A)	< 45
<b>Fuel Natural</b>		gas H
<b>Dimensions</b>		
Length (depth)	mm	600
Width	mm	1080
Height	mm	1950
<b>Weight of fuel cell module</b>	kg	125
<b>Weight of peak load boiler with DHW cylinder</b>	kg	170
<b>Footprint</b>	m <sup>2</sup>	0.65
<b>Electrical connection</b>	V AC	230
<b>Frequency</b>	Hz	50
<b>Heating water buffer cylinder volume</b>	l	170
<b>DHW cylinder volume</b>	l	46

## **Příloha 6 - výpočty**



# PELETY

Vstupy		
palivo		
výhřevnost q		17,9 MJ/kg
účinnost kotle		0,91
teplo Q <sub>cel,r</sub>		8338,39032 GJ
Cena pelet		6,7 Kč/kg
doba životnosti	Tž	20 let
diskont	r	0,05
vlastní kapitál		1 645 000 Kč
tempo růstu nákladů		0,02
daň z příjmu		0,19

Výpočty		
množství paliva	Mpal	511903,144 kg
Cena paliva	Cpal	3 429 751 Kč
palivové náklady	Npal	3 429 751 Kč
ostatní prov. náklady	Nost	0 Kč
proměnné prov. náklady	Npp	3 429 751 Kč
stálé provozní náklady	Nps	0 Kč
provozní náklady	Np	3 429 751 Kč
investiční náklady	Ni	6 645 000 Kč
poměrná roční anuita	aTž	0,08024259
výrobní náklady	Nvyr	3 962 963 Kč
<b>min. cena tepla projekt</b>	<b>Cmin</b>	<b>475,27 Kč/GJ</b>

úvěr		
hodnota úvěru		5 000 000 Kč
úrok		0,05
počet let		10 let

## Výpočet NPV

Roky	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
úvěr - pevný úmor																					
úmor		500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	500 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
dluh pro výpočet úroku		4 500 000	4 000 000	3 500 000	3 000 000	2 500 000	2 000 000	1 500 000	1 000 000	500 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
úrok		250 000	225 000	200 000	175 000	150 000	125 000	100 000	75 000	50 000	25 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
splátka		750 000	725 000	700 000	675 000	650 000	625 000	600 000	575 000	550 000	525 000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
investiční náklady	Ni	6 645 000																			
odpisy		0	492 500	886 500	788 000	689 500	591 000	492 500	394 000	295 500	197 000	98 500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
cena za 1 GJ			519	530	540	551	562	573	585	597	609	621	633	646	659	672	685	699	713	727	742
provozní výnosy		0	4 331 033	4 417 654	4 506 007	4 596 127	4 688 050	4 781 811	4 877 447	4 974 996	5 074 496	5 175 986	5 279 505	5 385 095	5 492 797	5 602 653	5 714 706	5 829 000	5 945 580	6 064 492	6 185 782
provozní náklady	Np	0	3 429 751	3 498 346	3 568 313	3 639 679	3 712 473	3 786 722	3 862 457	3 939 706	4 018 500	4 098 870	4 180 847	4 264 464	4 349 754	4 436 749	4 525 484	4 615 993	4 708 313	4 802 480	4 898 529
provozní zisk		0	408 782	32 808	149 694	266 948	384 577	502 588	620 990	739 790	858 996	978 615	1 098 658	1 120 631	1 143 044	1 165 904	1 189 223	1 213 007	1 237 267	1 262 012	1 287 253
daň, základ		0	158 782	-192 192	-50 306	91 948	234 577	377 588	520 990	664 790	808 996	953 615	1 098 658	1 120 631	1 143 044	1 165 904	1 189 223	1 213 007	1 237 267	1 262 012	1 287 253
daň k zaplacení		0	30 169	0	0	17 470	44 570	71 742	98 988	126 310	153 709	181 187	208 745	212 920	217 178	221 522	225 952	230 471	235 081	239 782	244 578
CF		-6 645 000	121 113	194 308	237 694	263 978	281 007	298 346	316 002	333 980	352 286	370 929	889 913	907 711	925 865	944 383	963 270	982 536	1 002 186	1 022 230	1 042 675
DCF		-6 645 000	115 346	176 243	205 329	217 175	220 176	222 631	224 577	226 051	227 087	227 718	520 314	505 447	491 006	476 977	463 349	450 111	437 251	424 758	412 622
Kumulované DCF		-6 645 000	-6 529 654	-6 353 411	-6 148 082	-5 930 907	-5 710 731	-5 488 100	-5 263 523	-5 037 473	-4 810 386	-4 582 668	-4 062 354	-3 556 907	-3 065 900	-2 588 923	-2 125 574	-1 675 463	-1 238 212	-813 454	-400 833

## Minimální cena tepla bez daní z hlediska investora

Cmin	519,41 Kč/GJ
růst ceny tepla	0,02

NPV	0 Kč
IRR	5%

Vstupy

Table with input parameters for cogeneration, including fuel type (páливо - vodík), efficiency (výhřevnost), and other technical specifications.

KOGENERACE

Výpočty

Summary table for cogeneration calculations, showing maximum capacity (Qd,max), fuel consumption (Wkog,c), and production volume (Mpal).

Table detailing gas boiler (Objem vysokotlakého zásobníku) parameters such as capacity (h), maximum power (Ptm), and pressure (p).

Table detailing gas boiler (Objem plynojemů) parameters, including capacity (h), maximum power (Ptm), and pressure (p).

Table listing various costs (Cena piva, Mpal, Ngal, Nost, Npp, Nps, Np, Ni, aTz, Nvyr) and their corresponding values.

Table showing interest (úvěr) and interest rate (hodnota úvěru, úrok) details.

Table showing NPV (Výpočet NPV) for different years from 2015 to 2035.

Table showing interest rate (úvěr - pevný úmor) and interest (úmor) for different years.

Large table showing investment costs (investiční náklady) and other financial metrics across multiple years.

Table showing minimum price (Minimální cena tepla bez daní z hlediska investora) and NPV/IRR calculations.

Vstupy

palivo - vodík		1 kWh = 3,6 MJ	
výhřevnost q	120 MJ/kg	33,3 kWh/kg	
hustota	0,09 kg/m <sup>3</sup>		
celková účinnost palivového článku	0,9		
účinnost na teplo	0,53		
účinnost na elektřinu	0,37		
účinnost bodové	1,09		
teplo Qcečr	8338,4 GJ/r	2316,219533 MWh/r	
doba životnosti	20 let		
úložití	T2		
vlastní kapitál	r	1 645 000 Kč	
tempo růstu nákladů		0	
daň z příjmu		0,19	
účinnost elektrolýzéry		0,75	
Zelený bonus pro VTE		1450 Kč/MWh	
tempo růstu Zeleného bonusu		0,01	
pena elektřiny - tarif D OZD	Cel	4331,94 Kč/MWh	
tempo růstu cen elektřiny		0,02	

# Palivový článek

Vypočty

na den topného maxima	Qd,max	24 MWh	86,4 GJ
	Wkoq,c	146,7 GJ/den	
množství paliva	Mpal	1 358,5 m <sup>3</sup>	
min. výroba vodíku v elektrolýzéry		56,6 m <sup>3</sup> /h	

<b>Objem vysokotlakého zásobníku</b>			
počet hodin dne	h	24 h	
maximální teplený příkon	Ptm	1 MWt	
potřeba energie na den maxim WH		24 MWh	
tlak v zásobníku	p	20 MPa	
atmosférický tlak	pa	0,1 MPa	
predpokládaná účinnost přeměny H2 na teplo		0,53	
<b>objem zásobníku</b>	<b>VH</b>	<b>75,5 m<sup>3</sup></b>	

<b>Objem plynojemů</b>			
počet hodin dne	h	0,5 h	
maximální teplený příkon	Ptm	1 MWt	
potřeba energie na den maxim WH		0,5 MWh	
tlak v plynojemů	p	0,4 MPa	
atmosférický tlak	pa	0,1 MPa	
predpokládaná účinnost přeměny H2 na teplo		0,53	
<b>objem zásobníku</b>	<b>VH</b>	<b>78,6 m<sup>3</sup></b>	

množství paliva	Mpal	0 kg
Cena paliva	Cpal	0 Kč
palivové náklady	Npal	0 Kč
ostatní prov. náklady	Nost	0 Kč
proměnné prov. náklady	Nsp	0 Kč
stálé provozní náklady	Nps	302,01 Kč
provozní náklady	Np	3 902 Kč
investiční náklady	Ni	161 261 Kč
komunální roční anuita	AT2	0,080242587
výrobní náklady	Nvr	16 842 Kč
<b>min. cena tepla projekt</b>	<b>Cmin</b>	<b>2019,82 Kč/GJ</b>

úvěr		
hodnota úvěru	159 616 000 Kč	
úrok	0,05	
počet let	20 let	

<b>Vypočet NPV</b>	
Roky	2015 2016 2017 2018 2019 2020 2021 2022 2023 2024 2025 2026 2027 2028 2029 2030 2031 2032 2033 2034 2035
	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20

<b>úvěr - pevný úmor</b>		
úmor	7980800 7980800 7980800 7980800 7980800 7980800 7980800 7980800 7980800 7980800 7980800 7980800 7980800 7980800 7980800 7980800 7980800 7980800 7980800 7980800	
důh pro výpočet úroku	151635200 143664400 135673600 127692800 119712000 111731200 103750400 95769600 87788800 79808000 71827200 63846400 55865600 47884800 39904000 31923200 23942400 15961600 7980800 0	
úrok	15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600	
společa	15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600 15961600	
investiční náklady	Ni	161 261 000
odpisy		92 840
cena za 1 GJ tepla		12220,27
roční výroba elektřiny VTE	W [MWh]	8 221 413
Zelený bonus	[Kč]	11 720 736
roční výroba elektřiny kog. jed. Wpale [MWh]		1 213
roční úspora elektřiny		5 253 506
provozní náklady	Np [Kč]	3 902 010
provozní zisk	[Kč]	0
daň z příjmu	[Kč]	0
daň k zaplacení	[Kč]	0
Kuf		-161 261 000
DCF		-161 261 000
Kumulované DCF		-161 261 000

<b>Minimální cena tepla bez daní z hlediska investora</b>	
Cmin	1645,49 Kč/GJ
růst ceny tepla	0,02
<b>NPV</b>	<b>0 Kč</b>
<b>IRR</b>	<b>5%</b>