

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra jakosti a spolehlivosti strojů**



**Bakalářská práce**

**Alternativní zdroje energie**

**Jaroslav Konopásek**

© 2023 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jaroslav Konopásek

Zemědělské inženýrství  
Inženýrství údržby

Název práce

**Alternativní zdroje energie**

Název anglicky

**Alternative energy sources**

---

### Cíle práce

Cílem bakalářské práce je popsat různé druhy obnovitelných zdrojů energie a princip různých zařízení pro transformaci energie, a především jejich potenciál pro Českou republiku. Praktická část práce bude zaměřena na posouzení alternativních zdrojů vhodných pro domácnosti.

### Metodika

Bakalářská práce se bude v první části zaměřovat na popis energetiky v České republice a zaměří se především na popis obnovitelných zdrojů energie, k čemuž využije rozbor literárních zdrojů. Praktická část práce bude řešen formou literárního rozboru doplněného o zkušenosti uživatelů vybraných alternativních zdrojů energie.

### Osnova

1. Úvod
2. Energetika v ČR (vyhodnocení současného Energetického mixu pro ČR. požadavky Evropské unie, dopady na hospodářství v ČR)
3. Druhy obnovitelných zdrojů energie (výhody, nevýhody, transformace a akumulace energie, současné využití v ČR a potenciál pro budoucí využití)
4. Praktická část (dostupnost, instalace, údržba a účinnost zařízení pro transformaci obnovitelného zdroje energie v domácnosti)
5. Závěr

---

**Doporučený rozsah práce**

30-40

**Klíčová slova**

zdroje energie, údržba, transformace, akumulace

---

**Doporučené zdroje informací**

BENDA, V. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.

LIBRA, M. – POULEK, V. *Zdroje a využití energie*. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 978-80-213-1647-8.

MAREŠ, J. – LIBRA, M. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. TECHNICKÁ FAKULTA. *Ostrovní a síťové fotovoltaické systémy a akumulace vyrobené elektrické energie [rukopis] Jan Mareš ; vedoucí práce Martin Libra*. Disertační práce. Praha: 2011.

Periodika, předpisy a firmení literatura

SMIL, V. *Energy in nature and society general energetics of complex systems Vaclav Smil*. Cambridge: Cambridge, 2008. ISBN 978-0-262-19565-2.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2022/2023 LS – TF

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra jakosti a spolehlivosti strojů

---

Elektronicky schváleno dne 7. 1. 2022

**doc. Ing. Martin Pexa, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 25. 3. 2022

**doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 07. 03. 2023

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Alternativní zdroje energie" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 27.03.2023

---

### **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval prof. Ing. Martinu Pexovi, Ph.D. za jeho cenné rady, doporučení a trpělivost při vedení mé bakalářské práce.

# Alternativní zdroje energie

## Abstrakt

První část bakalářské práce je věnována popisu současného využití alternativních zdrojů energie na území České republiky a rekapitulaci státní energetické koncepce, která má naplnit požadavky klimaticko-energetické politiky Evropské unie. Dále je práce zaměřena na vymezení pojmu alternativní zdroj energie a na popis zařízení, která jsou schopna generovat energii bez spalování fosilních paliv. U každého obnovitelného zdroje energie byl naznačen vývoj jeho aplikace v sektoru energetiky a potenciál, který je možno využít pro postupnou dekarbonizaci české energetiky. V závěru jsou posouzeny výhody a nevýhody integrace obnovitelných zdrojů energie pro krytí energetických potřeb domácností a zhodnocení investice, která byla vynaložena na pořízení, instalaci a provoz malé větrné elektrárny.

**Klíčová slova:** alternativní zdroje energie, obnovitelné zdroje energie, transformace, akumulace, diverzifikace, udržitelnost, soběstačnost

# **Alternative energy sources**

## **Abstract**

The first part of the bachelor thesis is devoted to the description of the current use of alternative energy sources in the Czech Republic and a recapitulation of the state energy concept, which is to meet the requirements of the climate and energy policy of the European Union. Furthermore, the thesis focuses on the definition of the term alternative energy source and on the description of devices that can generate energy without burning fossil fuels. For each renewable energy source, the development of its application in the energy sector and the potential that can be used for the gradual decarbonisation of the Czech energy sector is outlined. Finally, the advantages and disadvantages of integrating renewable energy sources to cover the energy needs of households are assessed, as well as an evaluation of the investment that has been made to acquire, install and operate a small wind power plant.

**Keywords:** alternative energy sources, renewable energy sources, transformation, accumulation, diversification, sustainability, self-sufficiency

## Obsah

<b>1 Úvod .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Cíl práce a metodika .....</b>	<b>2</b>
<b>3 Energetika v České republice .....</b>	<b>3</b>
3.1 Energetický mix České republiky .....	3
3.2 Státní energetická koncepce .....	3
3.3 Dekarbonizace české energetiky .....	4
3.4 Energie z alternativních zdrojů .....	4
<b>4 Alternativní zdroje energie .....</b>	<b>6</b>
4.1 Obnovitelné zdroje energie v ČR .....	6
4.2 Větrná energetika .....	7
4.2.1 Vznik energie větru .....	7
4.2.2 Aktuálně instalovaný výkon .....	7
4.2.3 Potenciál v České republice .....	8
4.2.4 Větrné elektrárny .....	9
4.2.5 Alternativní zařízení pro využití energie větru .....	12
4.3 Energie Slunce .....	15
4.3.1 Sluneční záření .....	15
4.3.2 Nepřímé využití energie slunce .....	15
4.3.3 Přímé využití energie slunce .....	15
4.3.5 Aktuálně instalovaný výkon solárních systémů .....	24
4.3.6 Technologický potenciál v České republice .....	24
4.4 Energie vody .....	25
4.4.1 Vodní elektrárny .....	25
4.4.2 Aktuálně instalovaný výkon VE .....	27
4.5 Biomasa (fytoenergetika) .....	28
4.5.1 Energetický potenciál .....	28
4.5.2 Energetické plodiny .....	28
4.5.3 Spalování biomasy .....	29
4.5.4 Bioplyn .....	30
4.5.5 Bioplynové stanice .....	30
4.5.6 Biogenní pohonné hmoty (biopaliva) .....	31
4.5.7 Aktuálně využitý potenciál bioenergetiky v České republice .....	32
4.6 Energie prostředí a geotermální energie .....	33
4.6.1 Tepelné čerpadlo .....	33
4.6.2 Topný faktor .....	34
4.6.3 Řešení voda-voda .....	34
4.6.4 Řešení země-voda .....	34



4.6.5	Řešení vzduch-voda .....	34
4.6.6	Aktuální trendy v sektoru TČ .....	35
<b>5</b>	<b>Vyhodnocení alternativních zdrojů energie .....</b>	<b>36</b>
5.1	Bilance OZE .....	36
5.2	Konfigurace energeticky pozitivní domácnosti .....	37
5.3	Malá větrná elektrárna .....	38
5.3.1	Parametry malé větrné elektrárny .....	38
5.3.2	Povětrnostní podmínky .....	38
5.3.3	Výkon malé větrné elektrárny .....	39
<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použitých zdrojů .....</b>	<b>43</b>

## Seznam obrázků

Obrázek 1	Roční zpráva o provozu ES ČR, ERÚ, 2020 [1] .....	3
Obrázek 2	Predikovaný vývoj podílu OZE do roku 2030 [8] .....	5
Obrázek 3	Hrubá výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů [13] .....	6
Obrázek 4	Aktuálně instalované větrné elektrárny [10] .....	7
Obrázek 5	Aktuální zastoupení větrných elektráren v krajích [13] .....	8
Obrázek 6	Vývoj výroby elektřiny a instalovaný výkon větrných elektráren [13] .....	8
Obrázek 7	Větrná mapa ČR nad 100 m [19] .....	9
Obrázek 8	Náklon lopatek ozubením [30] .....	11
Obrázek 9	Ložiska větrné turbíny [31] .....	11
Obrázek 10	Vortex větrný generátor [42] .....	13
Obrázek 11	Aeromine [44] .....	14
Obrázek 12	Schéma solárního kolektoru [49] .....	17
Obrázek 13	Dvouokruhový solární systém [49] .....	18
Obrázek 14	Mapa sluneční aktivity ČR [50] .....	18
Obrázek 15	Vznik fotovoltaického napětí s přechodem PN [52] .....	20
Obrázek 16	Roční světová produkce čistého křemíku v tunách [54] .....	21
Obrázek 17	Rozvrstvený fotovoltaický panel [55] .....	22
Obrázek 18	Vývoj výroby elektřiny a instalovaný výkon fotovoltaických elektráren [13] .....	24
Obrázek 19	Schéma peltonovy turbíny [57] .....	27
Obrázek 20	Vývoj výroby elektřiny ve vodních elektrárnách [13] .....	27
Obrázek 21	Kotel BioLyt Hoval spol. s.r.o. [60] .....	29
Obrázek 22	Vývoj spotřeby energie z bioplynu [61] .....	32
Obrázek 23	Schéma vnitřního okruhu tepelného čerpadla [69] .....	33
Obrázek 24	Vývoj prodeje tepelných čerpadel [72] .....	35
Obrázek 25	Větrná růžice [81] .....	39
Obrázek 26	Malá větrná elektrárna .....	40

## Seznam tabulek

Tabulka 1	Bilance OZ .....	45
-----------	------------------	----

# 1 Úvod

Energie je jedním z nejdůležitějších aspektů lidského bytí, a právě nyní na vrcholu technologického vývoje je schopnost její udržitelné transformace do potřebné formy dalším důležitým milníkem v historii lidstva. Technologie je hlavním aktérem v procesu propojení světa, je producentem dostupné a kvalitní zdravotnické péče, je partnerem v každodenním životě člověka, který má jedinečnou schopnost darovat čas a vytvářet příležitosti. Bohužel, jak závislost na technologiích dnešní civilizace roste, roste i spotřeba energie, která je jejich základní podmínkou fungování.

Velká část technologického vzestupu je postavena na bedrech nerostných surovin, které vznikly biologickým rozkladem organické hmoty před milionem let a jejich spalováním se opět vrací do atmosféry, tak dlouho akumulované zásoby skleníkových plynů. Současné odlesňování a konzumní způsob života společnosti byly zárodkem krize, která je hrozbou pro dnešní společnost a možnou katastrofou pro budoucí generace.

Zdroje jako energie slunce, energie vody, energie větru, geotermální energie, energie prostředí, energie biomasy a jaderná energie jsou uhlíkově neutrální a obnovitelnou alternativou k fosilním palivům.

Alternativní zdroje energie nejsou pouze možnou odpovědí na problémy způsobené vlivy klimatické změny, ale jsou také impozantním odvětvím technologického vývoje a důkazem lidské důmyslnosti. Růst využití alternativních zdrojů energie má kromě příznivého dopadu na klima a životní prostředí, také potenciál pro tvorbu nových zajímavých pracovních míst v oblasti vývoje transformačních zařízení, jejich instalaci a údržbě.

Alternativní zdroje energie jsou spojovány s ekonomickými, enviromentálními a sociálními problémy, proto je důležité nepostupovat vpřed pouze ve směru produkce energie, ale i v oblasti její akumulace, její distribuce a minimalizace její mnohdy neopodstatněné vysoké spotřeby.

## **2 Cíl práce a metodika**

V bakalářské práci budou shrnuty dostupné alternativní zdroje energie pro uspokojení lokální energetické spotřeby a vytvoření energeticky nezávislých domácností či regionů. Stěžejním bodem práce bude popsání způsobů transformace sluneční energie, energie vody, akumulované energie v biologicky rozložitelném materiálu, geotermální energie, energie prostředí a energie větru na energii elektrickou či tepelnou. Mimo jiné bude práce zaměřena na schopnost České republiky nahradit spalování fosilních paliv, jako hlavního zdroje krytí energetických potřeb ve veřejném i soukromém sektoru, alternativními zdroji. Bude uvedena účinnost, dostupnost a udržitelnost jednotlivých zdrojů alternativní energie a budou vyzdvihnuty přínosy a rizika vyplývající z expanze jejich aplikací. Na závěr bude vyhodnoceno použití malého větrného generátoru jako zdroje obnovitelné energie pro napájení osvětlení zahradního domku.

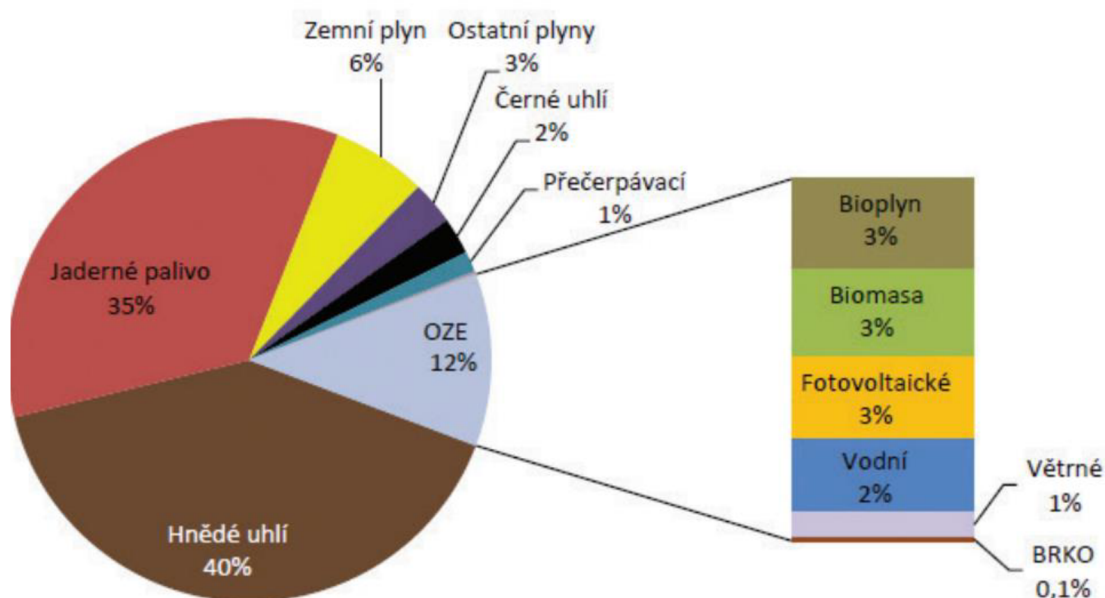
Metodami k naplnění cílů bakalářské práce bude literární rozbor odborné literatury zaměřené na dané téma, průzkum aktuálních vládních strategií ve vývoji české energetiky a využití studií nebo odborných článků, které jsou věnovány tématu alternativních zdrojů energie. Pro posouzení smysluplnosti koupě větrného generátoru, bude proveden výzkum větrného potenciálu v místě jeho instalace a posouzení výkonu při různých hladinách síly větru.

### 3 Energetika v České republice

#### 3.1 Energetický mix České republiky

Energetický mix České republiky, tedy přehled jednotlivých využívaných zdrojů energie na českém území, ukazuje vysoký podíl výroby elektrické energie pomocí spalování fosilních paliv. Nejvyužívanějším fosilním palivem je hnědé uhlí (44 %). Zbytek z podílu fosilních zdrojů v Energetickém mixu je tvořen zemním plynem (10 %).

Hlavním alternativním zdrojem v České republice je spalování biomasy, biologicky rozložitelného tuhého komunálního odpadu a bioplynu. Dále to jsou obnovitelné zdroje jako vodní, fotovoltaické a větrné elektrárny [1].



Obrázek 1 Roční zpráva o provozu ES ČR, ERÚ, 2020 [1]

#### 3.2 Státní energetická koncepce

Státní energetická koncepce, kterou vydalo ministerstvo průmyslu a obchodu roku 2004, si dává za cíl, vytvořit předvídatelné a spolehlivé prostředí pro obyvatelstvo České republiky a jeho ekonomiku z hlediska produkce **bezpečné, konkurenceschopné a udržitelné energie** [2].

Ministerstvo průmyslu a obchodu se na základě vyhodnocení naplňování a aktuálnosti státní energetické koncepce, které probíhá alespoň jedenkrát za pět let, rozhodlo, pozměnit vývoj české energetiky do roku 2040 a to v rámci aktualizace státní energetické koncepce z května

roku 2015. Další vyhodnocení strategie proběhlo v roce 2021 a prokázalo její nedostatky. Z tohoto důvodu je další aktualizace energetické koncepce nutná nejpozději do roku 2023 [3].

Tato nová státní energetická koncepce by měla naplňovat cíle klimaticko-energetické politiky Evropské unie, která byla představena zejména v roce 2019 sdělením s názvem „Zelená dohoda pro Evropu“. Ta představuje ambice Evropské unie vytvořit z Evropy klimaticky neutrální kontinent (tj. rovnováha mezi emisemi uhlíku a jeho pohlcováním) a to do roku 2050, s tím, že do roku 2030 by měla produkce skleníkový plynů klesnout nejméně o 55 % na rozdíl od roku 1990. Česká republika reaguje postupnou dekarbonizací energetiky, rozvojem energetické infrastruktury a snahou vytvořit vyvážený energetický mix, který bude postaven na energii jádra, obnovitelných zdrojích a zemním plynem, který by měl pocházet z diverzifikovaných zdrojů [4].

### 3.3 Dekarbonizace české energetiky

Ukončení těžby hnědého uhlí a jeho využívání v oblasti energetiky by podle Uhelné komise, která funguje jako poradní orgán vlády České republiky od roku 2019, mělo proběhnout do roku 2038 [5]. Vláda má ovšem snahu o vytvoření vhodného prostředí pro naplnění tohoto cíle již před rokem 2033. Toho chce docílit *Operačním plánem spravedlivé transformace 2021–2027*, který má poskytnout dostatečnou podporu z veřejných zdrojů krajům nejvíce společensky zasaženým odklonem od uhlí. Jedná se o Moravskoslezský, Karlovarský a Ústecký kraj. Celková výše investic do transformačního procesu je skrze potřeby jednotlivých regionů odhadnuta na 179 mld. Kč. V oblasti energetiky bude sloužit jako primární zdroj financí *Modernizační fond* [6].

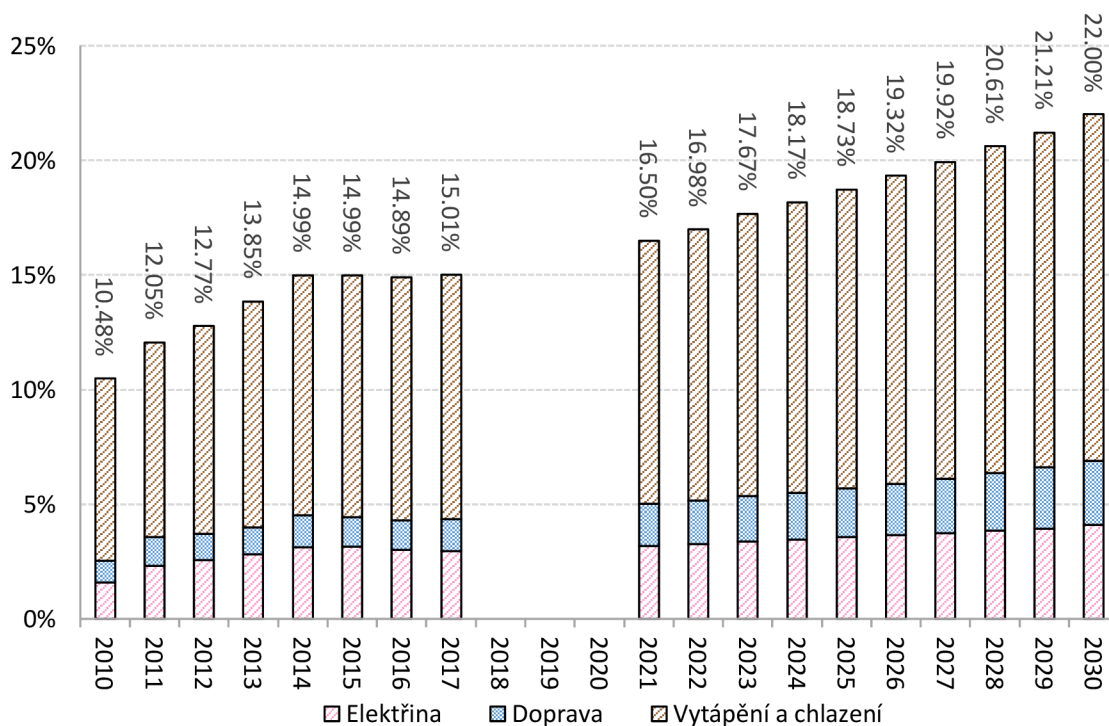
Peníze budou přerozděleny do několika různých sektorů a budou se lišit podle konkrétních potřeb daných regionů. Obecně jde o oblasti rozvoje podnikání (malé a střední podniky) a tvorby nových pracovních míst, instalaci obnovitelných zdrojů energie a podílení se na vývoji technologií nebo investic do vzdělávání za účelem specializace ve specifickém předmětu zájmu daného kraje [6].

### 3.4 Energie z alternativních zdrojů

Dne 13.1.2020 byl vládou České republiky schválen *Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu*, který byl vytvořen Ministerstvem průmyslu a obchodu v kooperaci s ostatními příslušnými orgány [7]. Tento dokument byl sepsán jako ucelená

zpráva o směřování české energetiky pro Evropskou komisi s cílem jasně definovat budoucí kroky k naplnění závazků ohledně snižování emisí skleníkových plynů, pro snadnější spolupráci mezi jednotlivými členskými státy Evropské unie a vytvoření příležitosti spolehlivých investic i z veřejného sektoru [8]. Ve zprávě je nutné zohlednit hlavní cíle Energetické unie, kterými jsou zaručení **bezpečné, cenově dostupné a udržitelné energie** pro celé území Evropské unie [9].

Vnitrostátní plán obsahuje strategii na navýšení podílu obnovitelných zdrojů energie na konečné hrubé spotřebě energie, a to v oblasti dopravy, energetiky a vytápění na 22 % do roku 2030. Cíl pro rok 2020 činil 13 % energie z alternativních zdrojů, tohoto cíle bylo dosaženo již v roce 2013. V posledních letech byl nárůst využívání energie z obnovitelných zdrojů dán především instalací nových fotovoltaických elektráren a využívání bioplynových stanic v oblasti výroby elektřiny, přimíchávání bionafty a bioetanolu do pohonných hmot v oblasti dopravy a v oblasti vytápění je dán nárůst především spalováním biomasy, stanicemi pro bioplyn a instalací tepelných čerpadel [8]. Odhad podle současných politik ukazuje že se oblast výroby elektřiny bude v budoucnu nejvíce projevovat na navýšení podílu využívání obnovitelných zdrojů na celkové spotřebě viz. Obrázek 2 [8].



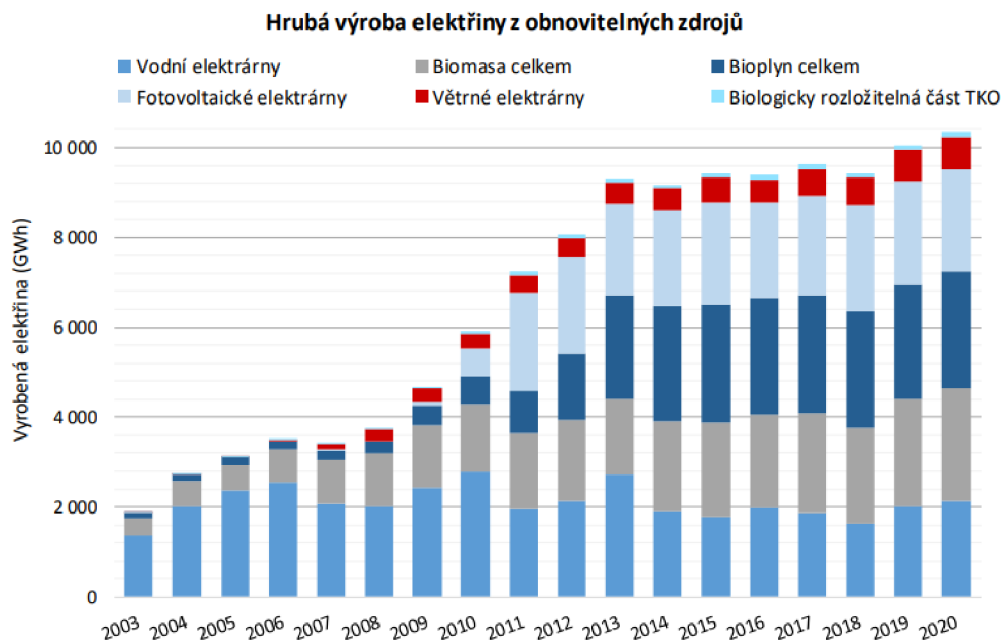
Obrázek 2 Predikovaný vývoj podílu OZE do roku 2030 [8]

## 4 Alternativní zdroje energie

Alternativní zdroje energie jsou takové zdroje energie, které nahrazují fosilní paliva (uhlí, ropu a zemní plyn) v oblastech dopravy, vytápění a výroby elektrické energie [10]. Obvykle jsou alternativní zdroje energie chápány jako obnovitelné a jednotlivé názvy jsou chápány stejným způsobem. Jedná se například o zdroje energií slunečního záření, energie větru, vodní energie, geotermální energie, energie bioplynu, energie biomasy, energie skládkového plynu nebo energie půdy. Výjimkou je využití jaderného materiálu jako zdroje energie, to se dá považovat za zdroj alternativní ale ne za zdroj obnovitelný [11]. Ze zákona jsou obnovitelné zdroje vymezeny jako „*Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebování částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.*“ [12].

### 4.1 Obnovitelné zdroje energie v ČR

Rozsah využití alternativních zdrojů energie v České republice byl nastíněn již v podkapitole 3.1. Energetický mix České republiky. Vývoj podílů jednotlivých obnovitelných zdrojů na celkové hrubé výrobě elektřiny od roku 2003 do roku 2020 je zobrazeno na Obrázku 3 níže.



Obrázek 3 Hrubá výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů [13]

## 4.2 Větrná energetika

### 4.2.1 Vznik energie větru

Vznik větru neboli horizontální složky proudu vzduchu je způsobený nerovnoměrným ohřevem povrchu Země. Vzduch, který se ohřeje se stává lehčím, klesá jeho hustota a tlak. Chladnější vzduch s vyšším tlakem a nižší teplotou, proudí do míst s nižším tlakem a vyšší teplotou. Síla větru není dána pouze rozdílem tlaků v atmosféře ale i rotací země kolem své osy a reliéfem krajiny [14]. Stavby nebo přírodní překážky vytvářejí víry. Podle charakteru krajiny je určena třídy drsnosti zemského povrchu, s kterými je pracováno při výběru vhodné lokality pro instalaci větrné elektrárny [15].

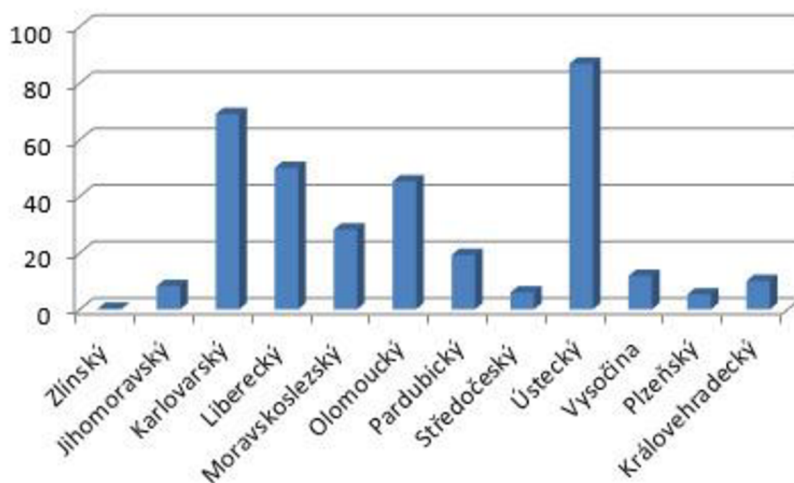
### 4.2.2 Aktuálně instalovaný výkon

Nejvyšší počet větrných elektráren v České republice má Ústecký kraj, v němž se také nalézá největší větrná farma na českém území, která stojí u obce Kryštofovy Hamry v Krušných horách viz. Obrázek 4 a 5. Tento větrný park se skládá z 21 samostatně stojících větrných elektráren ve výšce 800-850 metrů nad mořem o celkovém výkonu 42 MW (21 x 2 MW) [16]. Výška jedné elektrárny je 119 m, náboj vrtule je ve výšce 78 m a průměr rotoru je 82 m [17]. Park se do distribuční sítě napojil v roce 2007 od té doby byly provedeny výzkumy v oblasti hygieny v důsledku zvýšeného hluku v okolí obce i zoologické výzkumy z hlediska ochrany ptactva, oba byly vyhodnoceny jako vyhovující. Celkové počáteční investice se odhadují na 1.6 miliardy korun a provozní náklady na půl miliardy korun [18].



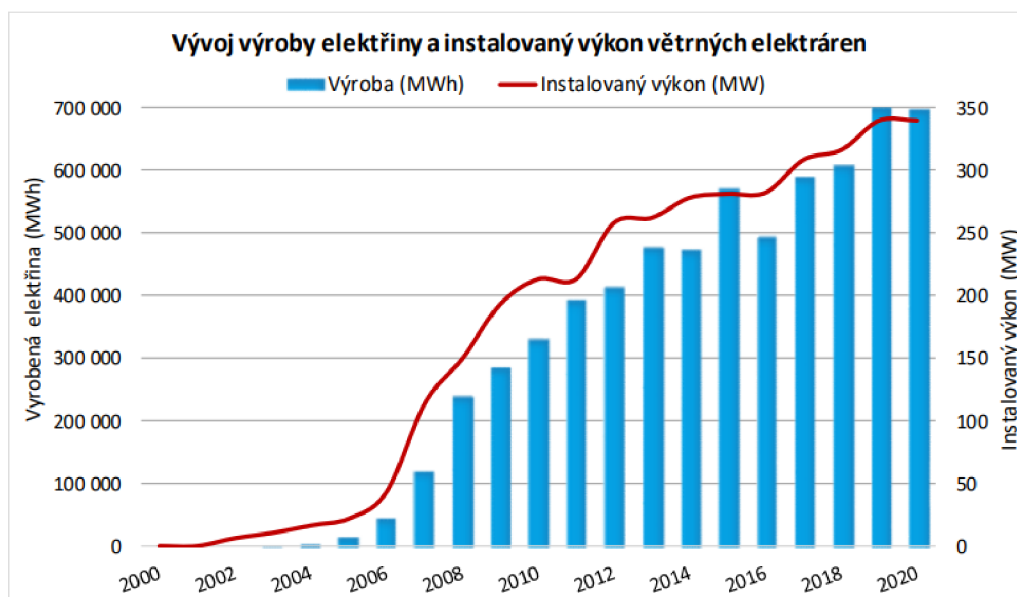
Obrázek 4 Aktuálně instalované větrné elektrárny [10]





Obrázek 5 Aktuální zastoupení větrných elektráren v krajích [13]

Vývoj instalovaného výkonu a vyrobené elektřiny za pomoci větrných elektráren od roku 2000 do roku 2020 je zobrazen na Obrázku 6. Mírný pokles v roce 2020 byl způsoben postupným koncem provozuschopnosti některých větrných elektráren.



Obrázek 6 Vývoj výroby elektřiny a instalovaný výkon větrných elektráren [13]

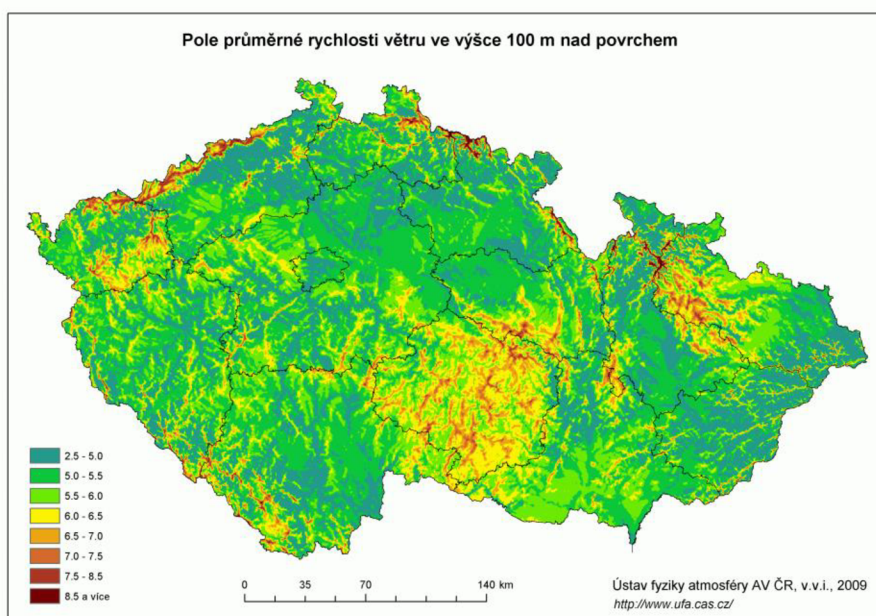
#### 4.2.3 Potenciál v České republice

Podle výzkumu akademie věd má využití energie větru potenciál pokrýt až 28 % roční spotřeby elektřiny České republiky, a to do roku 2040.

Tento výzkum probíhal ve dvou fázích. První fáze je výpočet takzvaného *Technologického potenciálu*, který je založen na využití větrné mapy České republiky ve výšce nad 100 m, která je zobrazena na Obrázku 7, a jsou zjištěny vhodné lokality podle průměrné rychlosti

větru. Následně jsou odečteny lokality podle zákonných omezení pro stavbu větrných elektráren jako například stavba blízko obydlené oblasti, v národním parku, v blízkosti letišť, a jiné. Na konci první fáze je spočteno maximální množství možných instalací, tak aby byl dodržen nutný odstup mezi stožáry, a zároveň by neměl počet větrných elektráren přesáhnout 30 instalací na  $700 \text{ km}^2$  kvůli kapacitě přenosové soustavy a společenské přijatelnosti.

Ve druhé fázi dochází k redukci lokalit podle faktorů, které ovlivňují realizovatelnost projektů, jako nutnost dostatečné infrastruktury, souhlas s výstavbou od místních obyvatel, nenarušení zdejší přírody nebo kulturního a estetického významu lokality. Tímto vzniká takzvaný *odhad realizovatelnosti scénářů*, a to scénáře konzervativního a optimistického [19].



Obrázek 7 Větrná mapa ČR nad 100 m [19]

#### 4.2.4 Větrné elektrárny

Činnost větrné turbíny spočívá ve využití kinetické energie větru k rotačnímu pohybu rotoru. Ten přenáší rotační mechanickou energii na generátor, který ji transformuje na energii elektrickou [20]. Typy větrných turbín se dělí podle druhu síly, která uvádí listy rotoru do rotačního pohybu na turbíny **odporové** a **vztlakové**. Dále podle směru osy jejich rotace na turbíny **horizontální (HAWT)** a **vertikální (VAWT)** [21].

Názorným příkladem odporové horizontální turbíny je samoregulační větrné čerpadlo, které v roce 1854 navrhl inženýr ze Spojených států Daniel Halladay pro získání pitné vody ze studní v suchých zemědělských oblastech [22]. Jedná se o důležitý milník v novodobé

historii využívání energie větru. Otáčky větrného čerpadla je možno regulovat natočením lopatek podle směru větru [23].

### **VAWT (vertical-axis wind turbine)**

Nejběžnějšími typy větrné turbíny s vertikální osou rotoru vůči směru proudu vzduchu jsou **Savoniova a Darrieova turbína**.

Savoniova turbína je v posledních dekádách instalována v obytných oblastech díky jejím schopnostem zahájení provozu bez potřeby vnějšího zásahu, vydávání minimálního hluku při chodu a přijímání proudu vzduchu s poměrně nízkou rychlostí oproti větrným turbínám s horizontální osou, a to z libovolného směru [24]. Turbína je tvořena rotorem tvaru S, který se skládá ze dvou půl válců. Poměr ( $\alpha = H/d$ ) mezi výškou H a průměrem půl válce d, je rozhodující pro hodnotu účinnosti turbíny. Ideální hodnota poměru pro obvyklé využití turbíny je  $\alpha=4.00$  [25]. Nevýhodou je malá účinnost, která v běžných podmínkách dosahuje maximálně 15 %, tedy pouze 15 % energie větru se transformuje na mechanickou rotační energii připojené hřídele generátoru [25].

Darrieova turbína není schopna zahájení provozu bez využití vnějšího zdroje energie. Na rozdíl od Savoniovi turbíny, která využívala akumulaci síly větru ve válcích rotoru, Darrieova turbína využívá vztlakové síly působící na lopatky rotoru s aerodynamickým tvarem. Účinnost Darrieovi turbíny se pohybuje mezi 30 % až 40 % [26].

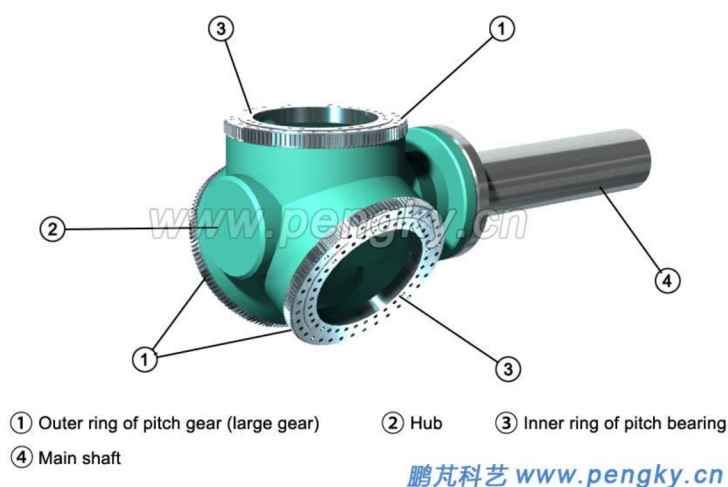
Větrné turbíny VAWT jsou sice méně účinné než větrné turbíny HAWT, ale lze je využít v místech s turbulentními větry, tedy v obydlených oblastech, kde není reliéf krajiny plochý. Další výhodou je konstrukční provedení, které umožňuje umístit generátor a převodovou skříň na zem. Tedy vznikají úspory finančních prostředků vynaložených na opravy a celkovou údržbu zařízení. Z pohledu dopadu na lokální životní prostředí jsou VAWT větrné turbíny díky své poměrně nízké startovací a provozní rychlosti šetrnější a je tak vyřešen problém v oblasti nadměrného hluku a ohrožení ptactva [27].

### **HAWT (horizontal-axis wind turbine)**

Větrná elektrárna s horizontální osou rotace se obvykle skládá z **věže, základny, rotoru a gondoly**, která obsahuje **generátor, spojku, převodovku, hlavní hřídel a ložiska** [28].

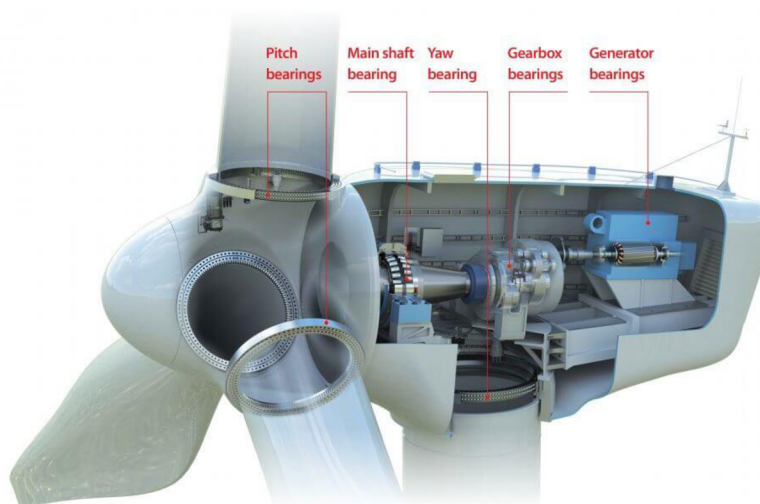
Ložisek je v systému větrné elektrárny několik a vysoké procento selhání celého zařízení je způsobeno právě jejich nedostatečnou údržbou nebo nesprávnou montáží. Roztečná ložiska (pitch bearing) jsou využívána pro spojení lopatek rotoru k jeho náboji a zároveň umožňují

rotační pohyb lopatek kolem své vlastní osy [29]. Náklon lopatek je prováděn za účelem zvýšení účinnosti zařízení a jeho regulace v případě překročení bezpečné hranice výkonu generátoru. Natočení listů je realizován buď pomocí hydraulického systému nebo využitím ozubení, které je zobrazeno na Obrázku 8 [30]. Dále se mezi věží a gondolou nachází vychylovací ložisko (yaw bearing), někdy hlavní ložisko, které umožňuje natočení celé gondoly s rotorem také za účelem dosažení maximální možné účinnosti. Zbylá ložiska, jsou ložiska hlavního hřídele, převodovky a generátoru viz. Obrázek 9 [31]



Obrázek 8 Náklon lopatek ozubením [30]

1 = vnější prstavec ozubeného kola, 2 = náboj, 3 = vnitřní prstavec roztečného ložiska, 4 = hlavní hřídel



Obrázek 9 Ložiska větrné turbíny [31]

Pitch bearings = roztečná ložiska, Main shaft bearing = ložiska hlavního hřídele, yaw bearing = vychylovací ložisko, gearbox bearings = ložiska převodové skříně, generator bearings = ložiska generátoru

Počet lopatek větrných turbín může být libovolný, ale třílístá varianta se uchytila jako nejlepší možný kompromis mezi využitím energie větru, veřejným míněním a vyrovnaností systému [32]. Listy větrné elektrárny HAWT jsou uváděny do rotačního pohybu za působení aerodynamické vztlakové síly, proto je důležitý tvar jejich profilu [33].

Jak rostou požadavky na produkci elektřiny z obnovitelných zdrojů, tak roste i délka listů pro větrné elektrárny. Výkon generátoru je závislý na velikosti rotoru. Lopatky současné největší větrné elektrárny Haliade-X, která dosahuje výkonu až 14 MW mají délku 107 metrů [34].

Kvůli stále extrémnějším okolním vlivům prostředí a nerovnoměrným namáháním lopatek dochází s jejich prodlužováním také ke zkrácení životnosti v důsledku jejich rychlejší degradace. V současnosti se pro zmírnění eroze hran lopatek větrných turbín používají (LEP) ochranné polymerní povlaky se speciálními mechanickými a chemickými vlastnostmi [35]. Základ pro větrnou elektrárnu typu onshore, tedy tu, která se vyskytuje na pevnině, je většinou betonová deska, která je zapuštěna do země. U větrné elektrárny, která se vyskytuje ve větrném parku u obce Křištofovy Hamry, se jedná o hloubku základu 2,6 m [36]. Složitější provedení vytvoření základu mají elektrárny typu offshore tedy ty, které se nalézají mimo pevninu. U hlubších oblastí (nad 50 metrů) se používají plovoucí plošiny, které jsou zařazovány pomocí lan a kotev k mořskému dnu [37]. V oblastech s menší hloubkou se používají například základy tvořeny dutým ocelovým válcem (Monopile) nebo vyztuženým rámem příhradového typu (Jacket/Tripod), které jsou ukotveny k pilotům na mořském dně Obrázek 10 [38].

Věž větrné elektrárny se dá realizovat buď jako ocelový tubus, příhradová konstrukce nebo jako věž hybridní. Varianta ocelového tubusu je v současnosti nejvyužívanější. Tubus je sestaven z ocelových prstenců, které jsou obvykle vysoké 20 metrů a jejich průměr se zmenšuje od paty k umístění strojovny větrné elektrárny. Příhradová konstrukce se používala spíše v minulosti, ale se stále rostoucími parametry větrných elektráren se počítá s jejím opětovným nástupem [39].

#### 4.2.5 Alternativní zařízení pro využití energie větru

##### **EWICON**

EWICON (Elesctrostatic WInd energy CONventor) jedná se o zařízení, které generuje elektrickou energii za působení větru, bez využití pohyblivých mechanických částí, které přeměňují kinetickou energii větru na energii mechanickou. Výroba elektřiny spočívá v

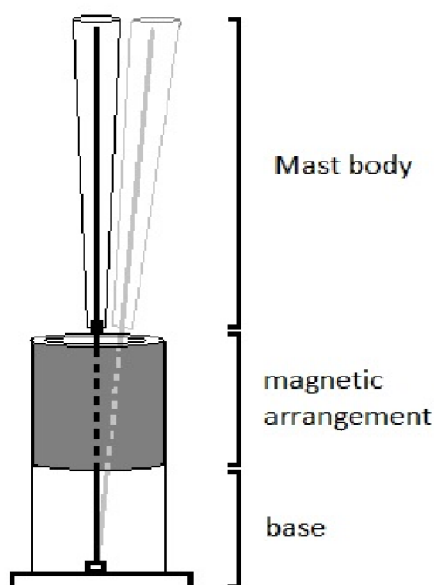
pohybu kladně nabytých částic vody ke kladně nabytým elektrodám. Tento pohyb je vybuzen právě působící silou větru. Systém se skládá z rámu a jeho výplně, která je tvořena z ocelových trubek. Na ocelové trubky jsou pomocí trysek aplikovány kladně nabyté kapky vody, které jsou vlivem působení větru nuceny k pohybu ke kladně nabytým elektrodám místo záporných a tím vzniká potenciální a následně elektrická energie.

Technologie nabízí možné řešení problémů souvisejících s běžnými větrnými elektrárnami, jako nadměrný hluk, ohrožení ptactva, vysoké peněžní výdaje na instalaci a údržbu nebo narušení rázu krajiny [40].

### **Vortex**

Zařízení se skládá ze dvou válců, které jsou vzájemně spojeny a zafixovány k povrchu kolmo ke směru proudění vzduchu. První válec je pevně ukotven a je základnou na které je elasticky podepřen válec druhý (viz. Obrázek 10), ten obsahuje cívku a dva vzájemně odpuzující se magnety, které díky oscilačnímu pohybu zařízení vytvářejí nestacionární magnetické pole a generují elektrickou energii. Kmitání zařízení je způsobeno víry, které vznikají při proudění tekutiny kolem kruhového tělesa, přičemž frekvence jejich uvolňování se musí podobat přirozené frekvenci kmitání kruhového tělesa na které působí. Takto indukované vibrace tělesa jsou nazývány VIV (Vortex-Induced Vibration) fenoménem.

Výhodou použití Vortex větrného generátoru, je nízká pořizovací cena, nízké náklady na údržbu v souvislosti s absencí nutného brzdícího systému, mazacího systému a systému



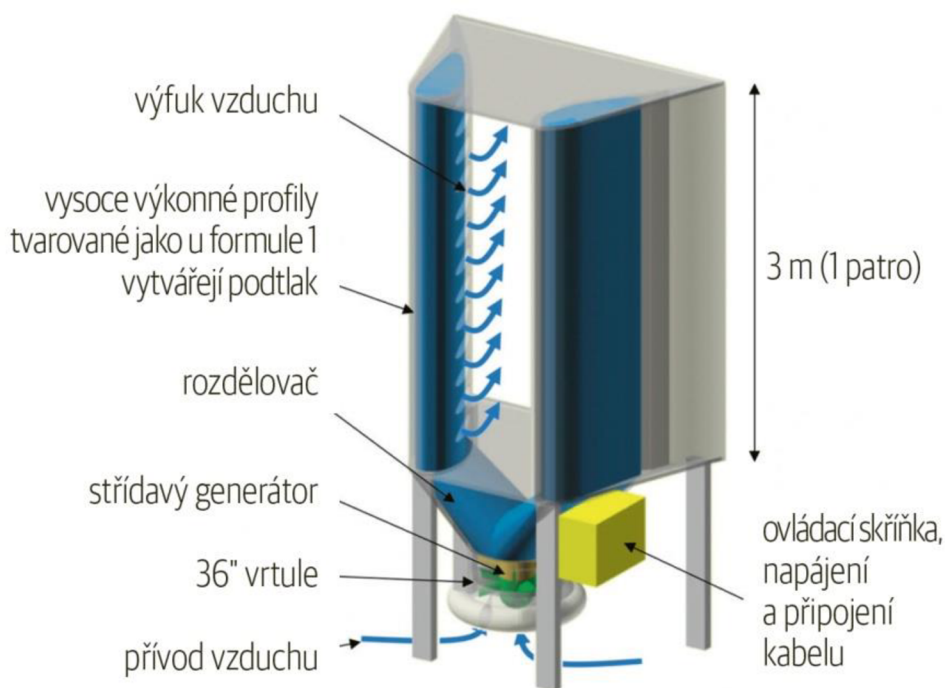
Obrázek 10 Vortex větrný generátor [42]

nutného k orientaci podle směru větru. Dále to je vyšší účinnost zařízení oproti tradičním větrným elektrárnám a téměř nulové dopady na životní prostředí [41].

### Aeromine

Stěžejní částí větrného generátoru Aeromine jsou dvě zrcadlově natočená křídla aerodynamického tvaru, která jsou dutá a obsahují výfukové potrubí. Při proudění vzduchu prostorem mezi profily vzniká podtlak, který nasává vzduch skrze konstrukci generátoru a je jím uváděná do provozu turbína, která vykonává rotační pohyb.

Turbína je částečně chráněna před vlivem okolního prostředí. Další výhodou je vysoká účinnost, výrobce deklaruje využití energie z obnovitelných zdrojů 1,5 x vyšší než u ostatních dostupných technologií při totožných investicích. Z toho důvodu, že zařízení produkuje dostatečný výkon již při rychlosti větru 2,2 m/s, je jeho umístění možné na nízkých budovách s plochou střechou [43]. Celý systém je znázorněn na Obrázku 11 [44].



Obrázek 11 Aeromine [44]

### 4.3 Energie Slunce

Slunce je naše nejbližší hvězda a energie, která vzniká jadernou fúzí atomů vodíku při extrémních teplotách v jejím nitru, je jednou ze základních podmínek života na Zemi. Hodnota energetické toku, který dopadá na jednotku vnějšího plynného obalu planety, při střední vzdálenosti Země od Slunce se nazývá solární konstanta a její velikosti je  $1367 \text{ W/m}^2$ . Část energie se odráží zpět do vesmírného prostoru a část proniká atmosférou, ta je přímo nebo nepřímo přeměňována na jiný druh energie. Původ drtivého počtu zdrojů energie, které se vyskytují na Zemi (kromě jaderné energie), je stejný, Slunce je v počátku téměř každé přeměny [45].

#### 4.3.1 Sluneční záření

Energie slunce, která dopadá na plynný obal země, se skládá z elektromagnetického záření v širokém spektru vlnových délek. Každé záření je charakterizováno rozpětím vlnové délky a energií fotonů, která je na něm závislá. Jednotlivé druhy záření mají význam v technologické a fyzikální praxi [45].

Sluneční záření, které dopadá na povrch Země se skládá z přímého a difuzního (rozptýleného) záření. Přímé záření je tvořeno svazkem téměř rovnoběžných paprsků a vychází pouze ze slunečního disku. Difuzní záření je záření přímé, které bylo rozptýleno prvky vyskytujícími se v atmosféře, jedná se o světlo oblohy [46].

#### 4.3.2 Nepřímé využití energie slunce

Při dopadu slunečního záření na povrch vodních hladin, dochází ke změně skupenství vody a její následné kondenzaci, která vede k přesunu vody do vyvýšených míst a zvýšení její potenciální energie. Nerovnoměrný ohřev povrchu země vede vlivem rozdílných teplot a tlaků k pohybu vzduchu. V biomase a ve fosilních palivech je naakumulována energie z produktů biochemické přeměny [46].

#### 4.3.3 Přímé využití energie slunce

Iniciátorem přímého využití energie slunce je člověk. Sluneční záření lze přeměnit na teplo, a to použít pro ohřev tekutin (nejčastěji vody a vzduchu). Touto přeměnou se zabývá fototermální přeměna.

Technologie fotovoltaiky se zabývá přímou přeměnou slunečního záření na elektrickou energii, a to pomocí fotovoltaických článků nebo solárně termicky [47].



## **Fototermální přeměna**

Tepelnou energii ze slunečního záření lze získat pasivním nebo aktivním způsobem.

### Pasivní způsob

Pasivní solární systém využívá vhodného architektonického řešení nově vzniklých budov nebo důmyslné rekonstrukce budov stávajících tak, aby byli schopny efektivně zachytit sluneční záření a přeměnit jej na teplo. Zásadní je optimální orientace stavby, volba použitých materiálů konstrukce, tvar budovy a instalace prvků, které předcházejí riziku tepelné zátěže (odvětrávání, absorpce tepla stavební konstrukcí atd.). Rekonstrukce starších staveb se týká vytvoření zimní zahrady, uzavřené verandy a jiné skleněné přístavky [46].

### Aktivní způsob

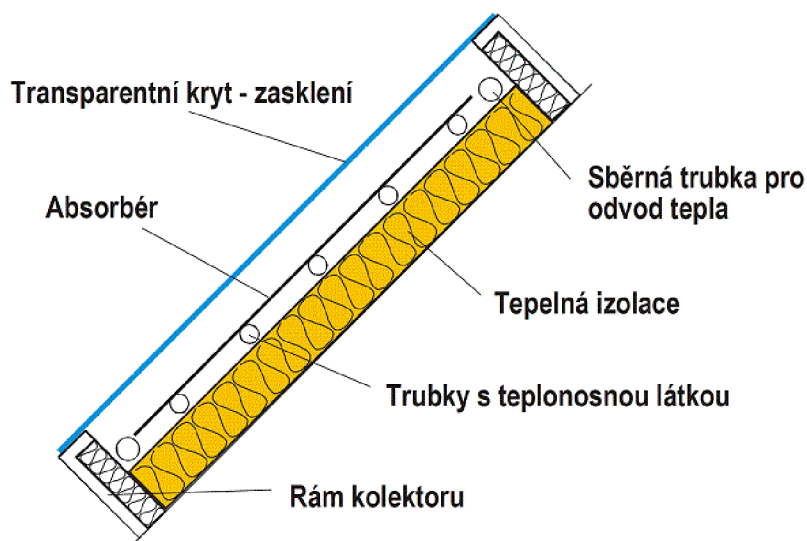
Aktivní solární systém přeměňuje sluneční záření na teplo pomocí kapalinových nebo vzduchových solárních kolektorů [47].

Významnou částí slunečního tepelného jímače (kolektoru) je **absorbér**. Jedná se o plochý povrch, který je upraven tak, aby jeho odrazivost byla minimální a schopnost absorbovat energii slunečního záření maximální. Vhodná úprava absorbéru je zvolena podle účelu použití solární soustavy [46].

Nejpříznivější a nejjednodušší aplikací solárního kolektoru je ohřev bazénové vody během sezóny v letním období. Jako absorbér lze použít plast, který má nižší investiční náklady než kov a jeho úprava spočívá v prostém natření tmavou disperzní barvou. Počet hodin slunečního svitu je v letních měsících optimální a voda je ohřívána pouze na teplotu okolního vzduchu. Kolektor může být využit i jako izolace proti úniku tepla mimo dobu provozu bazénu [32].

Pro ohřev teplotnosného média budovám nebo průmyslovým jsou používány modifikované solární kolektory (Obrázek 12). Absorbér je opatřen izolací z jedné strany (pěna, minerální vaty atd.) a skleněnou deskou ze strany druhé. Sklo funguje jako ochrana absorbéru proti větru, který by jej ochlazoval, a zároveň způsobuje skleníkový efekt uvnitř kolektoru [46]. Dále je možné opatřit absorbér **spektrálně selektivní vrstvou**, která je charakteristická přírůpkem svého chování k různým vlnovým délkám záření. Tato vrstva na rozdíl od běžného černého povlaku, který absorbuje 50 % slunečního záření a 45 % ztratí ve formě tepelného záření, absorbuje 90 % slunečního záření (i difúzní záření) a její ztráty činí pouhé

4 %. To díky odlišné reakci na vlnové délky pod (vlnové délky sluneční energie) a nad (vlnové délky tepelného záření při 100 °C) hranicí 2,5  $\mu\text{m}$  [48].

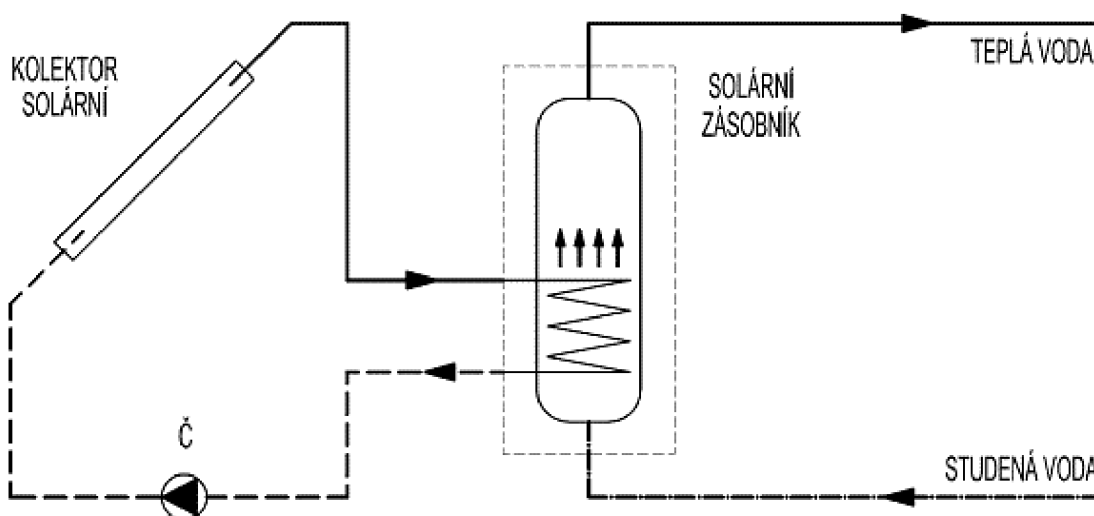


Obrázek 12 Schéma solárního kolektoru [49]

Kolektor dále obsahuje trubky pro přenos teplotnosného média, kterým může být voda, nemrznoucí směs na bázi roztoku vody a propylenglykolů s inhibitory koroze (pro solární systémy pracující i v zimním období) nebo vzduch [47]. Kolektory jsou děleny z hlediska jejich tvaru na ploché (viz. Obrázek 12) nebo trubkovité. Trubkovité i ploché solární kolektory využívají uložení absorpčního vrstvy do vakua, to vede ke zvýšení účinnosti při vyšších provozních teplotách a k nižším teplotním ztrátám [46].

Kromě kolektoru je další důležitou částí solárního systému zásobník vody. Pokud má voda, ohřátá díky slunečnímu záření, okamžité využití a je přesouvána přímo ke zdroji spotřeby, jedná se pouze o zásobník teplé užitkové vody a jednookruhové solární systému. Takováto varianta je méně technologicky náročná. Cirkulaci teplotnosného média lze realizovat oběhovým topenářským čerpadlem nebo využitím rozdílu hustot teplé a studené vody (samotížní systém). Jednookruhové řešení se využívá pouze pro ohřev užitkové vody nebo bazénů v měsících, kdy nehrozí zamrznutí média, kvůli nemožnosti využití nemrznoucí směsi z hygienických důvodů [47].

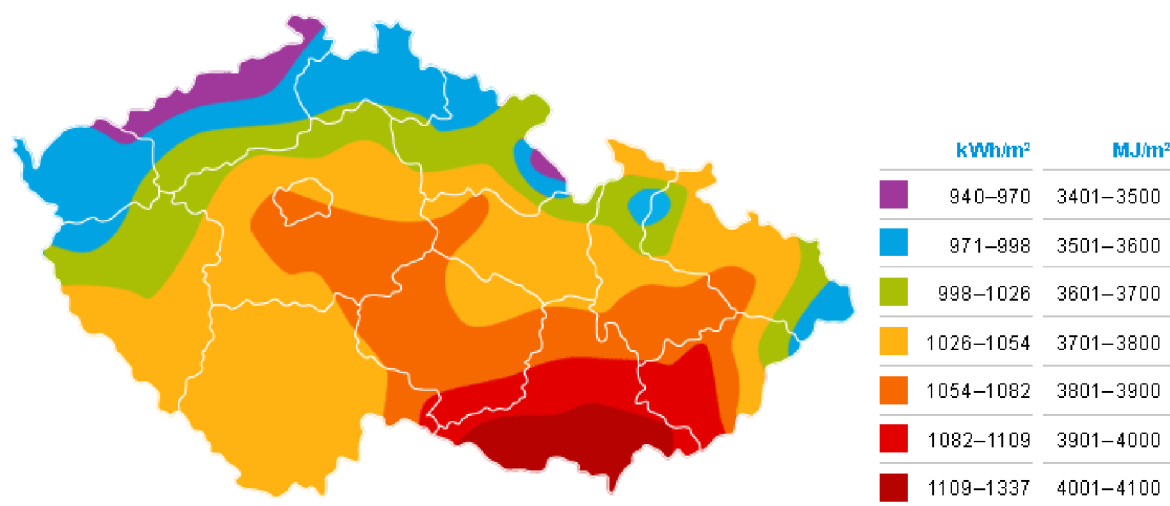
Ve dvouokruhové solární systému funguje zásobník kapaliny hlavně jako výměník tepla. Systém je rozdělen na primární a sekundární okruh (Obrázek 14). V primárním okruhu cirkuluje médium (většinou nemrznoucí směs) ohřáté pomocí slunečního záření absorbovaného kolektorem. Sekundární okruh se skládá z přívodu studené vody, které ve výměníku předává proudící médium část své energie a vývodu teplé vody [46]



Obrázek 13 Dvouokruhový solární systém [49]

### Volba uložení kolektoru

Výběr vhodné instalace solárního systému je závislý na několika faktorech. Intenzita slunečního záření dopadajícího na jednotku plochy ( $1 \text{ m}^2$ ) a průměrná roční délka trvání slunečního svitu ve sledované oblasti, jsou parametry, které pomohou zhodnotit smysluplnost a dobu návratnosti investice [49]. Průměrné roční hodnoty dopadající sluneční energie na jednotku plochy v České republice, jsou znázorněny na Obrázku 14.



Obrázek 14 Mapa sluneční aktivity ČR [50]

Intenzita sluneční aktivity je závislá na znečištění atmosféry v regionu, nadmořské výšce a stupni oblačnosti. Při vyšší oblačnosti roste poměr difuzního záření a klesá výkon solárních systémů [32].

Průměrný počet hodin slunečního svitu se v České republice pohybuje kolem  $1460 \text{ h} \cdot \text{rok}^{-1}$ . Přičemž nejvyšších hodnot dosahují lokality na východě a jihovýchodě země [46]. Pro efektivní zachycení slunečního záření je potřeba zvolit správnou orientaci a náklon solárního systému. Optimální orientace kolektoru či fotovoltaiky, je směrem na jih – jihozápad, vyhovující orientace je, popřípadě jih – jihovýchod [46]. Správný sklon zařízení je odlišný pro různé druhy provozu, které jsou rozdílné délkou své práce. Pro provoz pouze v letních měsících je zvolen sklon  $30^\circ$  (slunce je v tomto čase vysoko), v zimním období je to sklon  $60^\circ$ - $75^\circ$  (slunce je v tomto čase nízko). Pokud, jsou solární systémy využívány po celý rok, je vhodný sklon  $45^\circ$ , je tak dosaženo kompromisu mezi letním a zimním obdobím, a navíc v měsících s nejintenzivnější sluneční aktivitou nedochází k překročení tepelné kapacity prvků zařízení [47].

## **Fotovoltaická přeměna**

### Fotoelektrický jev

Rovnici fotoelektrického jevu (Rovnice 1), zformuloval na počátku 20. století (1905) německý teoretický fyzik toho času pracovník patentového úřadu v Bernu Albert Einstein [51]. Ta má tvar

$$hf = W_0 + E_k \text{ (Rovnice 1)}$$

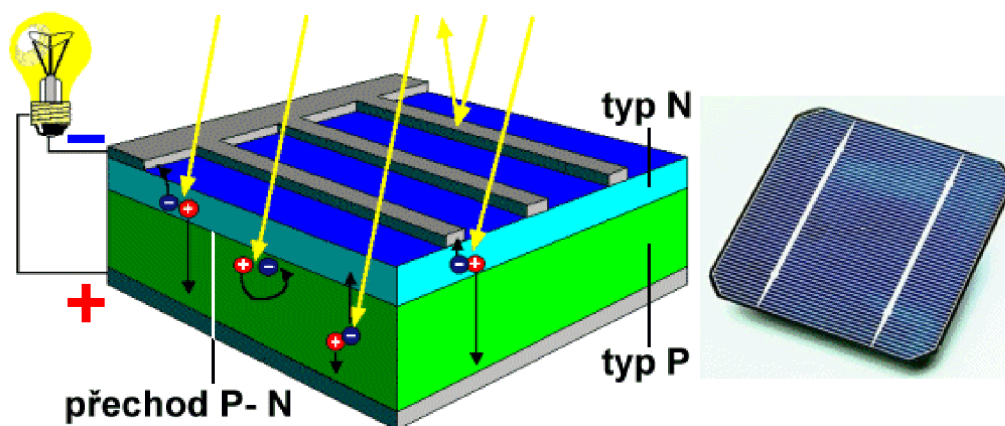
, kde  $W_0$  [J] je výstupní práce, tj. část energie, která se spotřebuje na uvolnění elektronu z atomového obalu,  $E_k$  [J] je zbytek energie fotonu, která se spotřebuje na kinetickou energii elektronu a  $hf$  (energie fotonu) je součin frekvence záření  $f$  [Hz] a Planckovy konstanty  $h = 6,62607015 \cdot 10^{-34}$  (Max Planck položil teoretické základy, experimentální zjištění zatím v té době nepřesné hodnoty konstanty pochází z práce Einsteina [51]) [52].

Z rovnice lze popsat fotoelektrický jev, tedy, elektromagnetické záření (vlny) jsou tvořeny proudem částic (fotonů), které předávají energii částicím materiálu, na který působí. Pro fotovoltaickou přeměnu se využívá polovodičových materiálů (křemík (polykrystalický, monokrystalický), Arsenid galia, Telurid kademnatý, Sirník kademnatý [47]). Krystalická struktura křemíku, je tvořena atomy, z nichž každý má čtyři valenční elektrony, které jsou spojeny kovalentní vazbou mezi sebou. Při dodání světelné energie (fotony) atomu křemíku, nastává přesun některých valenčních elektronů z nižší energetické hladiny (valenční pás) do pásu s vyšší energetickou hladinou (vodivostní pás). To vede ke vzniku volných elektronů, které jsou schopny vést elektrický proud. Také jsou tvořena neobsazená místa, která mohou být plněna volnými elektrony (rekombinace elektronu a děr [32]) nebo elektrony sousedních

atomů, a to vede k posunu těchto prázdných míst (děr) směrem působení elektrického pole. Jedná se tedy o částice s kladným nábojem. Energie fotonu nutná ke generaci páru elektron-díra, musí být vyšší nebo rovna šířce zakázaného pásu. V případě, že energie fotonu je nižší než minimální vazební energie, materiál je pro záření transparentní (nedochází k absorpci). Pokud má kvantum světelného záření (foton) vyšší než potřebnou energii k odtržení elektronu z kovalentní vazby, je tato přebytečná energie přeměněna interakcí s mřížkou materiálu na teplo (proces termalizace [32]) [45].

Při dopadu slunečního záření na homogenní materiál, je vznik jednoho volného elektronu doprovázen tvorbou jedné díry, tzn. že jejich koncentrace je stejná a nedochází ke vzniku fotovoltaického napětí vlivem rozdílných potenciálů, ale pouze k zvýšení vodivosti tohoto stejnorodého materiálu. Řešením je použití vhodné struktury přechodu vestavěných elektrických polí PN [32], kdy je jedna část krystalu dopována atomy příměsí s pěti valenčními elektrony (donery), které dodávají volné elektrony při poměrně nízké dodané energii (polovodič typu N (negative)) a druhá část krystalu je dopována atomy příměsí se třemi valenčními elektrony (akceptory). Ty tvorbou neobsazených míst v krystalu, zprostředkovávají pohyb sousedních valenčních elektronů, při absorbování solární energie a posouvání těchto děr (polovodiče typu P (positive)) [45].

Při připojení spotřebiče mezi fáze P a N dochází k průtoku elektrického proudu, který vykonává užitečnou práci. Pro snížení ztrát vlivem rekombinace elektronů a děr se PN přechod umísťuje co nejbližší k osvětlenému povrchu (viz. Obrázek 15). Antireflexní vrstva zabraňuje ztrátám vzniklým odrazem záření [32].

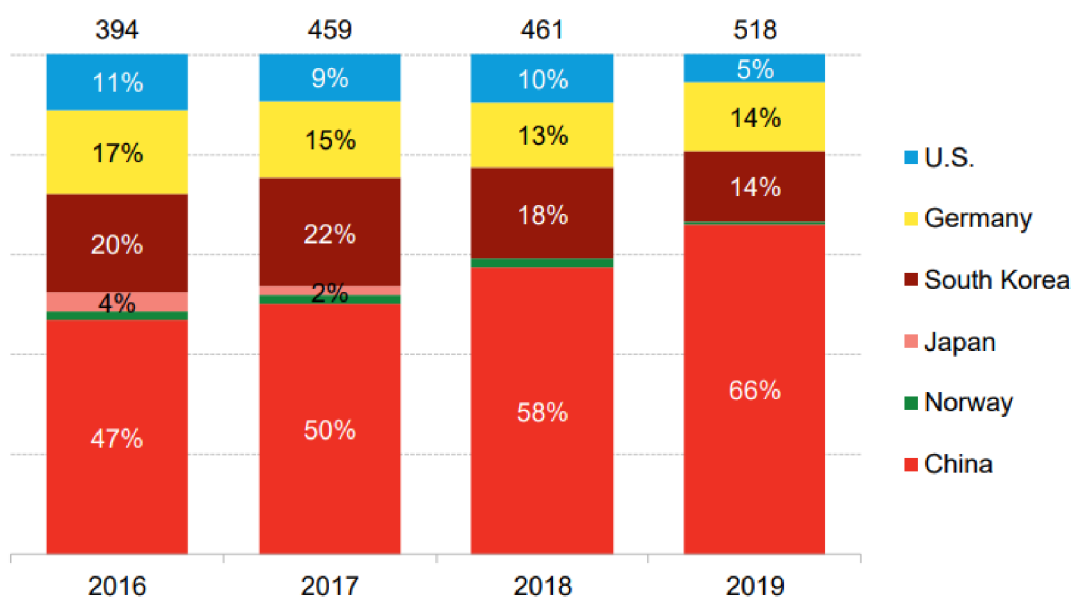


Obrázek 15 Vznik fotovoltaického napětí s přechodem PN [52]

## Fotovoltaický článek

Nejčastěji využívaným materiálem pro výrobu fotovoltaických článků je křemík. Kromě přijatelných vlastností tohoto polokovového prvku, je další výhodou jeho použití relativní cenová dostupnost, která je dána hojností, s kterou se vyskytuje v zemské kůře. Pro využití křemíku v elektrotechnice je nutné jej převést z přirozené formy (oxid křemičitý) do formy surové, a to chemickými procesy, které probíhají při vysokých teplotách (2000 °C) v obloukových pecích. Vzniklé polotovary jsou technologicky (destilace kapalně fáze) dále zbavovány nežádoucích příměsí a jsou zpracovány na monokrystalické nebo polykrystalické ingoty, které jsou příčným řezem děleny na desky. Tyto desky jsou dále montovány do modulů [45]. Použitím solárních modulů z monokrystalického křemíku je dosaženo mírně vyšší účinnosti (15 % - 24 %) než u panelů polykrystalických (13 % - 20 %), ovšem vlivem jejich nákladnější výroby, jsou peněžní prostředky nutné k investici větší [53].

Dominantním producentem čistého křemíku potřebného k výrobě převážně většiny fotovoltaických článků je v současné době Čína, která je vrcholným distributorem i v oblasti výroby samostatných solárních článků (78 % světového trhu) a i plně zkompletovaných solárních modulů (72 % světového trhu) [54]. Na následujícím grafu (Obrázek 16) je zobrazen podíl jednotlivých subjektů na roční světové produkci čistého křemíku v letech 2016–2019 v jednotkách tisíce tun, s celkovou sumou roční produkce v horní části grafu.

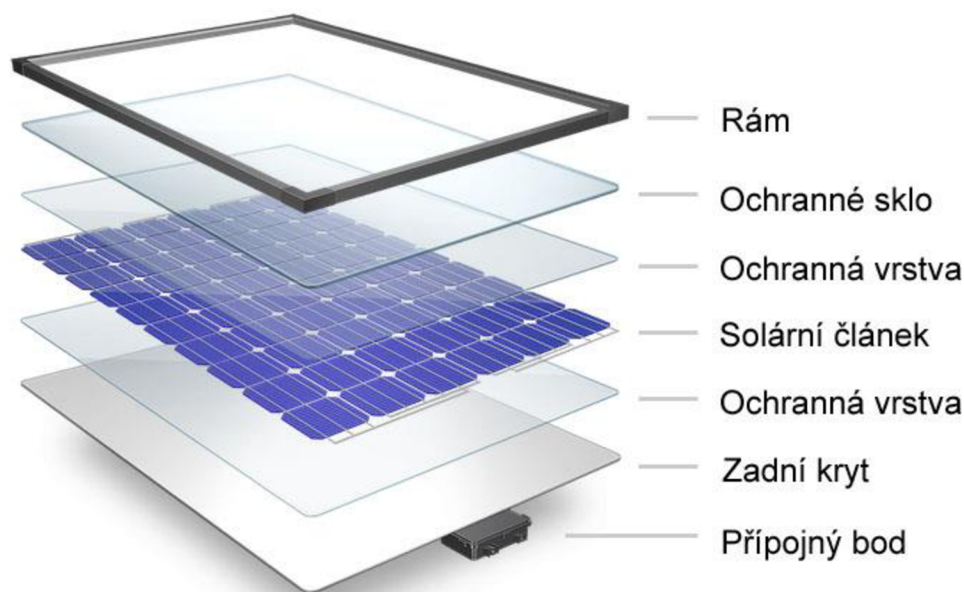


Source: BloombergNEF

Obrázek 16 Roční světová produkce čistého křemíku v tunách [54].

## Fotovoltaický panel

Fotovoltaický panel je složen ze fotovoltaických článků a dalších prvků pro zvýšení efektivity využití energie Slunce jako je antireflexní vrstva, která minimalizuje odraz záření a maximalizuje jeho využití a prvků potřebných pro ochranu před nepříznivými vlivy okolního prostředí (mráz, krupobití, silný vítr apod. [46]) [45]. Jednotlivé vrstvy standartního solárního panelu jsou zobrazeny na Obrázku 17 [55].



Obrázek 17 Rozvrstvený fotovoltaický panel [55]

U klasických solárních modulů se napětí v bodě maximálního výkonu, tedy v čase optimálních podmínek provozu, kdy se intenzita dopadajícího slunečního záření pohybuje u hodnoty  $1000 \text{ W/m}^2$  a není překročena teplota panelu  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ , rovná  $30 \text{ V}$  až  $36 \text{ V}$ , podle počtu sjednocených solárních článků z krystalického křemíku v solárním panelu [55]. Panely jsou většinou tvořeny 36 sériově zapojenými polovodičovými články, z nichž každý disponuje napětím  $0,5 \text{ V}$  [32].

Kontakty mezi jednotlivými fotovoltaickými články jsou tvořeny vakuovými technologiemi (vakuové napařováním), sítotiskem nebo vnořením do materiálu polovodiče pro panely, které využívají k nárustu výkonu koncentrace záření a protéká jimi proud o vysoké hustotě [45].

Kromě monokrystalických a polykrystalických článků jsou na trhu zastoupeny v menší míře tenkostěnné solární moduly, u kterých je využito materiálů s vysokým absorpčním koeficientem (např. amorfni křemík). Je tak dosaženo výrazné úspory materiálu polovodiče vlivem realizovatelnosti fotovoltaického článku s šířkou jednotek  $\mu\text{m}$  [32].

## Fotovoltaický systém

Solární systémy, tedy řetězce za sebou propojených fotovoltaických panelů, jsou děleny, podle druhu jejich aplikace na systémy samostatné (grid – off) a systémy připojené na elektrickou síť (grid – on) [46].

Autonomní fotovoltaické systémy jsou připojovány přímo ke spotřebiči elektrického proudu, jehož provoz snese nepravidelnost dodávky elektrické energie, vlivem snížené intenzity slunečního záření nebo je energie generovaná v nezávislém systému v čase přebytku akumulována a využívána v čase zvýšené spotřeby a nízkého výkonu zařízení. Poslední možností řešení samostatného systému je navýšení instalovaného výkonu solárních modulů o doplňkový zdroj energii, který je nezávislý na velikosti dávky slunečního záření (větrný generátor, kogenerační jednotka, elektrocentrála) [32].

Akumulaci nevyužitě získané solární energie lze provádět např.:

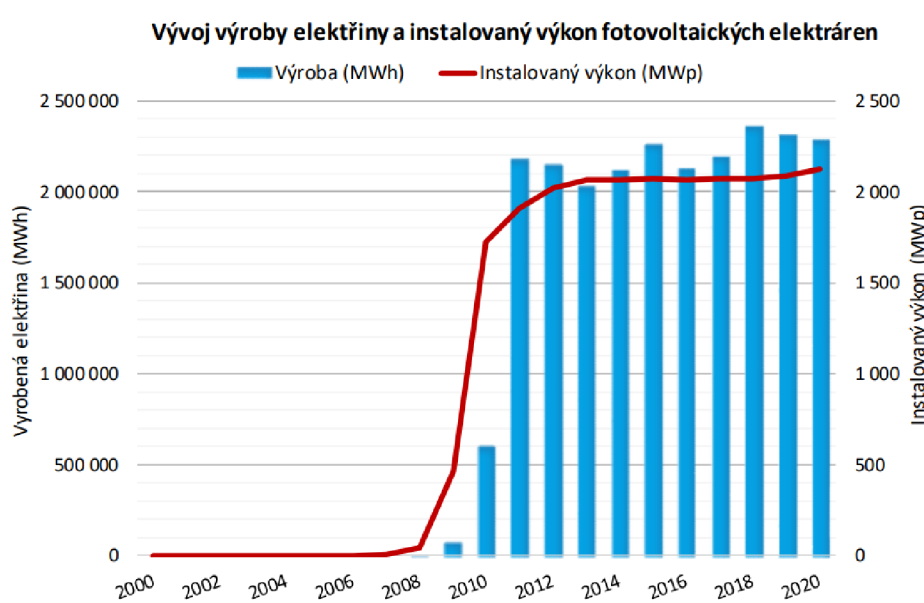
- zvýšením potenciální energie vody jejím přečerpáním do výše položených míst
- použitím elektrochemických, lithiových, oceloniklových aj. akumulátorů
- elektrolýzou vody, přičemž jejím štěpením vzniká kyslík a vodík, který lze dále využít v energetické, dopravní aj. průmyslu
- přeměnou elektrické energie na energii tepelnou a následnou změnou skupenství písku, který je přiváděn na teplotu 500 °C a skladován v nádrži, která je schopna tepelnou energii udržet i po dobu několika měsíců a předávat ji cirkulujícímu vzduchu (výměník tepla) [55].
- kompresí vzduchu

Systém závislý vyžaduje zvýšené investiční prostředky, vzhledem k nutnosti vytvoření infrastruktury pro propojení se distribuční sítí. Z hlediska návratnosti je doporučeno realizovat systém grid – on v lokalitách s hustou rozvodnou sítí [46]. Nezbytnou součástí systému musí být měnič stejnosměrného proudu na proud střídavý. U vysokonapěťových systémů je obvyklé použití transformátorů, výkonových spínačů a ochranných prvků. Řešení umožňuje přebytečnou energii dodávat do sítě v době přebytku, proto se pro aplikaci využívá i název spolugenerující systém [47].



#### 4.3.4 Aktuálně instalovaný výkon solárních systémů

Na Obrázku 18 je zobrazen graf, na kterém je uveden vývoj výroby elektrické energie a instalovaného výkonu fotovoltaických elektráren na území České republiky mezi lety 2000 až 2020.



Obrázek 18 Vývoj výroby elektřiny a instalovaný výkon fotovoltaických elektráren [13]

#### 4.3.5 Technologický potenciál v České republice

Podle vypracované analýzy technologického potenciálu v České republice je mezi roky 2016 až 2045 možné navýšit instalovaný výkon solárních fotovoltaických systémů o 7 075 MW v bodě maximálního výkonu systému za standardních podmínek (MWp). V scénáři jsou zahrnuty plochy střech obytných, průmyslových, veřejných aj. budov. Volné nezemědělské plochy nejsou vlivem nízké informovanosti součástí analýzy. Využitelné střešní rozlohy jsou oproti půdorysné ploše třetinové. Další redukce je provedena procentuálním odhadem z důvodu např. nedostatečné nosnosti střešní konstrukce, přítomností nadměrného stínění vlivem vegetace či jiných objektů nebo umístěním budovy v památkové oblasti. Odhad technologického potenciálu fotovoltaických elektráren byl počítán s průměrným výkonem 4,5 kWp [74].

#### 4.4 Energie vody

Možnost technického využití kinetické a tlakové energie vody na území státu, je dána hydroenergetickým potenciálem, který je definován přírodními podmínkami určité oblasti nebo schopností účelného zvyšování potenciální energie vody (přečerpávací vodní elektrárny) [32].

Teoretický hydroenergetický potenciál řek na území České republiky je 3384,6 GWh/rok [47] a ten je využíván pouze ze 26 % (bez přečerpávacích elektráren) to ukazuje na možné zvýšení instalovaného výkonu převážně malých vodních elektráren [32].

Výběr vhodných míst pro realizaci je závislý především na ohodnocení využitelného spádu a průtočného množství vody v dané lokalitě. Další parametry jsou majetkoprávní vztahy, míra narušení rázu krajiny a kontaminace vody, veřejné mínění, vhodné geologické podmínky nebo stav distribuční sítě [46].

##### 4.4.1 Vodní elektrárny

Vodní elektrárny (VE) jsou děleny podle poskytovaného instalovaného výkonu na malé a velké.

Realizace malých vodních elektráren (do 10 MWh) jsou z důvodu geografické polohy České republiky, vhodnějším řešením než vodní elektrárny velké (nad 10 MWh) [46].

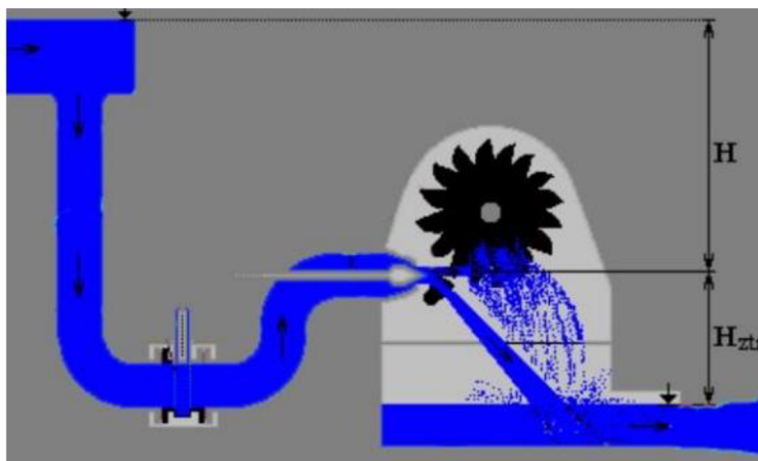
Další rozdělení VE je provedeno podle schopnosti VE efektivně zadržovat vodu v oblasti a regulovat výrobu elektrické energie, dle aktuální spotřeby.

- Říční průtočná VE
  - Přirozený vodní tok není narušen provozem dané VE [32]. Jsou charakteristické kontinuálním průtokem a nízkým spádem [49]. Regulace výkonu VE v době nízké spotřeby elektrické energie funguje na principu přepouštění vody, bez jejího dalšího využití [56].
- Akumulační VE
  - Součástí vodního díla je akumuláční nádrž. Ta představuje možnost regulace přirozeného vodního toku a tím umožňuje krytí poptávky elektrické energie v reálném čase [32]. V denní části špičkové spotřeby el. energie je VE v provozu, v době nízké spotřeby dochází k napouštění akumuláční nádrže [49]. Malé VE jsou realizovány buď jako akumuláční nebo průtočné [32].

- Přečerpávací VE
  - Kromě akumulace vody jsou doplněny o schopnost hromadit elektrickou energii přečerpáním vody a zvýšením její potenciální energie. Provoz je rozdělen do dvou částí na turbínový provoz, při kterém dochází ke distribuce el. energie a provoz čerpadlový, kdy je voda přečerpávána do výše položených míst v čase nízké spotřeby energie. Přečerpávací VE disponuje na rozdíl od akumulací VE dvojicí nádrží a dvojicí turbín pro rozdílné provoz, pokud není použita zvláštní turbína tzv. reverzibilní [49].

Základní části vodního díla jsou:

- **Hráz** je z důvodu hospodárného a ekologického hlediska řešením výstavby velkých VE. Pro zadržení vody k efektivnímu provozu malých VE jsou využívány překážky s nižší výškou vzduší tzv. **jezy** [46]
- **Česle** jsou uloženy před přivaděčem nebo strojovnou vodního díla za účelem ochrany vodní turbíny před nečistotami [46]
- **Přivaděč** je instalován za účelem koncentrace vodního toku do místa uložení vodní turbíny [49]. Přivaděč je možné realizovat jako beztlaký (náhony, koryta) pro vodní díla s menším spádem nebo tlakový (ocelový trub, železobeton) [32].
- Ve **strojovně** je obsaženo strojní zařízení pro převzetí energie vody (vodní turbína) a elektrotechnické zařízení pro následnou transformaci získané mechanické energie na energii elektrickou (generátor), který je za pomoci rozvodného a transformačního systému připojen k místu spotřeby [32].
- Podle provedení přenosu energie vodního toku na lopatky oběžného kola jsou **vodní turbíny** děleny na:
  - Rovnotlaké (akční)
    - Peltonova turbína, která se využívá u velkých tlakových nebo výškových spádů s relativně malým průtokem vody. Rotaci vodního motoru způsobuje proud vody při působení tlaku skrz trysku, jak je zobrazeno na Obrázku 19 [56].

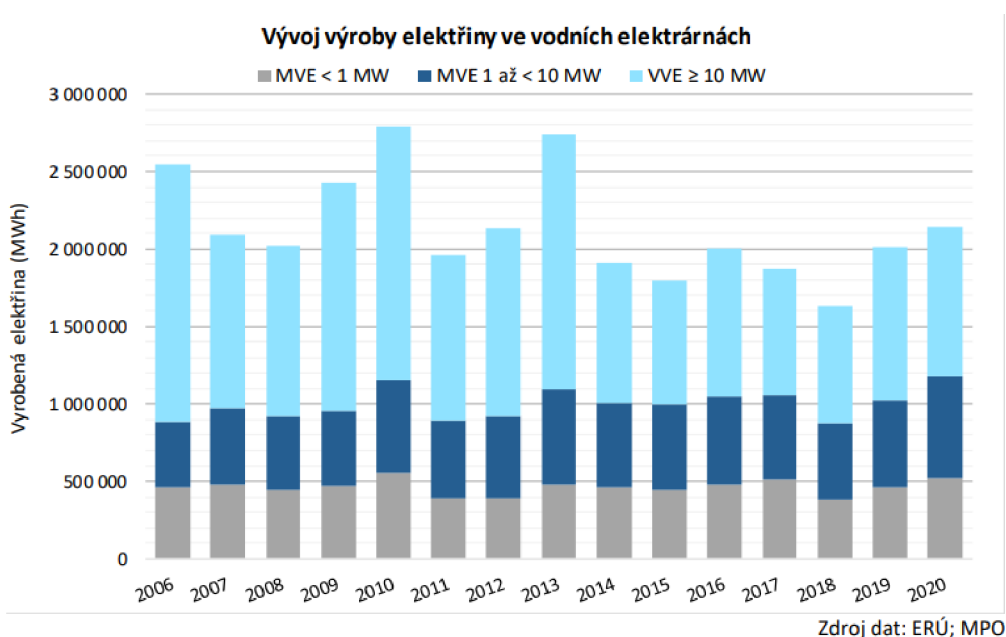


Obrázek 19 Schéma peltonovy turbíny [57]

- Přetlakové (reakční)
  - Francisova turbína je vhodná pro stálý rozdíl úrovní hladin a průtoku vody, pro který byla navržena [56].
  - Kaplanova turbína disponuje nastavitelnými lopatkami, proto se vyskytuje u vodních děl s měnícími se hladinami a průtokem [56].

#### 4.4.2 Aktuálně instalovaný výkon VE

Vývoj výroby elektřiny pomocí malých VE (MVE) a velkých VE (VVE) mezi lety 2006 až 2020 (s výjimkou přečerpávacích elektráren) na území České republiky je znázorněn na Obrázku 20.



Obrázek 20 Vývoj výroby elektřiny ve vodních elektrárnách [13]

## 4.5 Biomasa (fytoenergetika)

Za biomasu je považována jakákoliv organická hmota, která vznikla na základě fotosyntetické konverze energie slunečního záření, živočišná hmota a odpady, které vznikly lesnickou, zemědělskou, potravinářskou aj. činností [47].

### 4.5.1 Energetický potenciál

Emise  $CO_2$  vzniklé spalováním fosilních paliv, jsou alespoň z části spolu s vodou, slunečním zářením a chlorofylem základem vzniku biomasy, která se vlivem anaerobního rozkladu v dlouhodobém horizontu, stane opět fosilním palivem, ty ovšem z důvodu časové náročnosti procesu nejsou považovány za zdroje obnovitelné. Proto jsou cíleně pěstovány energetické plodiny nebo využívány vedlejší produkty výrobních aj. činností (viz. výše), které lze považovat za téměř uhlíkově neutrální a jsou schopny obnovy v dostatečně krátkém čase pro pokrytí požadavků energetického trhu [58].

Odhaduje se, že energetický potenciál biomasy, kterou lze pěstovat a využít jako udržitelný zdroj energie (energetické plodiny), je stokrát větší než roční celosvětová spotřeba elektrické energie. To je dáno přibližnou možnou světovou produkcí sušiny z biomasy a její výhřevností, která se v průměru pohybuje u hodnoty 18,6 GJ/t (sušiny). Pěstování energetických plodin, musí být přísně regulováno pro zachování pokrytí nároků např. potravinářského, krmného aj. průmyslu nebo pro ochranu životního prostředí. Pro sadbu lze zvážit využití státní nebo jiné zatím nepotřebné orné půdy [58].

Využití biomasy, která je tvořena odpadem z primární výroby nebo pevným komunálním organickým odpadem, je závislé na schopnosti tento materiál schraňovat a zpracovávat [58].

### 4.5.2 Energetické plodiny

Jedná se o rostliny bylinného charakteru nebo rychle rostoucí dřeviny, jejichž výběr musí splňovat určitá kritéria (nízké nároky na vodu a jiné živiny, vysoká výhřevnost a obsah sušiny atd.) [47].

Pro Českou republiku je charakteristické použití topolu a vrby jako druhů rychle rostoucích dřevin [59]. Ty jsou v příznivých podmínkách schopny produkovat 5 t (sušiny)/ 1 ha [56].

Účelně pěstované bylinné rostliny lze dělit na jednoleté a vytrvalé. Do skupiny jednoletých lze řadit energetické obiloviny (např. triticales, žito), u kterých se využívá sláma jako vedlejší produkt. U obilovin se hledá vhodný kompromis mezi energetickým využitím slámy a jejím potenciálem pro obohacení půdy jejím zaoráním. Je možné využít i slámu olejnin [59].

V oblasti fytoenergetiky je významnější využití víceletých rostlin, pro jejich vysoký obsah nadzemní fytomasy (průměrně 10 tun sušiny / 1 hektar půdy). Do této skupiny jsou řazeny rostliny jako Pupalka dvouletá, Komonice bílá nebo Jestřabina východní [59].

#### 4.5.3 Spalování biomasy

Jedná se o jeden ze suchých termochemických způsobů zpracování tuhých biopaliv [46], která jsou tvořena dřevní biomasou, slámou a jinými stébelninami [32].

Tuhá biopaliva, jsou hygroskopické, tedy jsou velmi náchylné k vlhnutí a jejich výhřevnost je výrazně závislá na poměru obsahu suché hmoty a vlhkosti [57]. Z toho důvodu je biomasa sušena a lisována do ucelených tvarů jako jsou dřevní pelety a brikety nebo brikety a pelety ze stébelnin. V takto upraveném stavu jsou tuhá biopaliva schopna dosahovat výhřevnosti srovnatelné s hnědým uhlím 18 MJ/kg až 19 MJ/kg [32]. Uhlíkové neutrality a nízkého obsahu škodlivin je dosaženo spalováním za teplot vyšších, než je teplota zápalná, dostatečným množstvím kyslíku a vysokým podílem sušiny [47].

Výběr vhodného topeniště pro konkrétní instalaci je řízen velikostí nároků na výkon zařízení a výší dostupných finančních prostředků [57].



Obrázek 21 Kotel BioLyt Hoval spol. s.r.o. [60]

Příkladem současného běžně instalovaného zařízení pro spalování pelet z rychle rostoucích dřevin, je kotel, který je zobrazen na Obrázku 21. Jedná se o topeniště vhodné pro vytápění rodinných domů a malých veřejných prostor. Kotel je založen na tepelném rozkladu organických látek (pyrolýza tuhých biopaliv) s účinností až 98 %. Je nabízen s výkonem od 13 kW do 43 kW.

Pro dosažení státní dotace z programu Nová zelené úspora je nutná instalace zplyňovacího kotle včetně akumulární nádrže.

#### 4.5.4 Bioplyn

Jedná se o plynou směs s převládajícím podílem metanu, která vzniká anaerobní fermentací organických látek za přítomnosti metanogenních bakterií [57]. Samotný biologický rozklad lze rozdělit do čtyř fází, a to na **hydrolýzu**, **acidogenezy**, **acetogenezi** a **metanogenezi** [32]. Biomasa vhodná pro produkci bioplynu ve fermentorech je tvořena biomasou s vysokým obsahem vody, biologickým odpadem z domácností a ze zemědělské činnosti (hnůj, kejda apod.) nebo odpadem již skládkovaným [57].

Bioplyn je nejčastěji využíván jako palivo pro ohřev teplotnosného média v plynových kotlích nebo pro kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla v kogeneračních jednotkách. Výhřevnost je závislá na množství objemových procent metanu v bioplynu (typicky 55 % až 60 % [49]) a pohybuje se v rozmezí od  $19,6 \text{ MJ}/\text{m}^3$  do  $25,1 \text{ MJ}/\text{m}^3$  [46].

#### 4.5.5 Bioplynové stanice

Reaktory (fermentory), v kterých je řízena biologická transformace biomasy, jsou součástí zařízení tzv. bioplynové stanice (BPS). Ty jsou využity pro skladování a úpravu bioplynu. Jednou z možných metod zušlechtění bioplynu je jeho čištění za účelem zvýšení obsahu metanolu na hodnoty 95 % až 98 %, tím dochází ke vzniku biometanu, který lze považovat za plnohodnotnou náhradu zemního plynu [32].

Jako součást BPS lze instalovat kogenerační jednotku, díky které se stanice může přímo podílet na výrobě elektrické energie.

Výhodou BPS je možnost reakce na aktuální energetickou spotřebu, bioplyn lze využít přímo v kogeneračních jednotkách, skladovat v řádu hodin anebo jej zušlechtěný dodat do plynárenské sítě, která je v České republice přizpůsobena na nízko nákladové skladování a efektivní dodání koncovému zákazníkovi [61].

Pro tvorbu zdravého energetického mixu, je důležitá mj. diverzifikace a decentralizace zdrojů elektrické a tepelné energie.

Malé BPS (do instalovaného výkonu 250 kW) jsou řešením pro pokrytí lokální spotřeby menších obcí, farem nebo zemědělských podniků. Za vstupní substrát lze považovat komunální odpad, přebytky ze zemědělské produkce, odpad vycházející z úpravy krajiny, odběr siláže, statková hnojiva nebo kejdu. Pro malé BPS s instalovaným výkonem mezi 50 kW a 75 kW je vhodným substrátem kejda. Pro použití tuhých biopaliv v malých BPS je nutné instalovat homogenizační jímku. U malých BPS s výkonem nad 100 kW, je možné tuhá biopaliva vkládat pomocí dávkovače přímo do prostoru fermentoru. Metody úpravy surového bioplynu jsou pro ekonomickou efektivnost investice relativně jednoduché s nízkou energetickou náročností. Výše nákladů se pro malé BPS od 50 kW do 250 kW odhadují na 15 mil. Kč až 60 mil. Kč [62].

#### 4.5.6 Biogenní pohonné hmoty (biopaliva)

Přeměna biomasy na biogenní pohonné hmoty je možná hlavně:

- získáním oleje ze zemědělských plodin (olejnin)
- anaerobní fermentací (kvašením) biomasy bohaté na cukry a škroby (ovoce, brambory, kukuřice, cukrová řepa nebo obilí) jejímž výsledkem je tvorba bioetanolu
- termicky selektivním a termicky chemickým zpracováním biomasy [32]

Skrze současné směrnice Evropské unie jsou předávány povinnosti dodavatelům v oblasti dopravy na navýšení podílu paliv z obnovitelných zdrojů na konečné spotřebě pohonných hmot na 14 % a to do roku 2030. Je kladen důraz na využití tzv. pokročilých biopaliv (biopaliva II. generace), která nejsou získána ze surovin použitelných pro potravinářský a krmný průmysl [63].

Vytvořená biopaliva jako biometan nebo bioetanol jsou posuzována z hlediska udržitelnosti a úspor emisí skleníkových plynů oproti palivům fosilním. Kritérium udržitelnosti je zaměřeno na ochranu ekosystémů a zachování biodiverzity. Druhé kritérium zhodnocuje emise skleníkových plynů během celého životního cyklu biopaliva [64].

Aplikace biopaliv v sektoru dopravy je realizována z důvodů možného řešení strukturální krize zemědělského hospodářství, přičemž je nutné nevyvolávat problémy nové, snahy o podporu životního prostředí a další strategické důvody jako např. snížení závislosti na dovozu ropy [65].



#### 4.5.7 Aktuálně využitý potenciál bioenergetiky v České republice

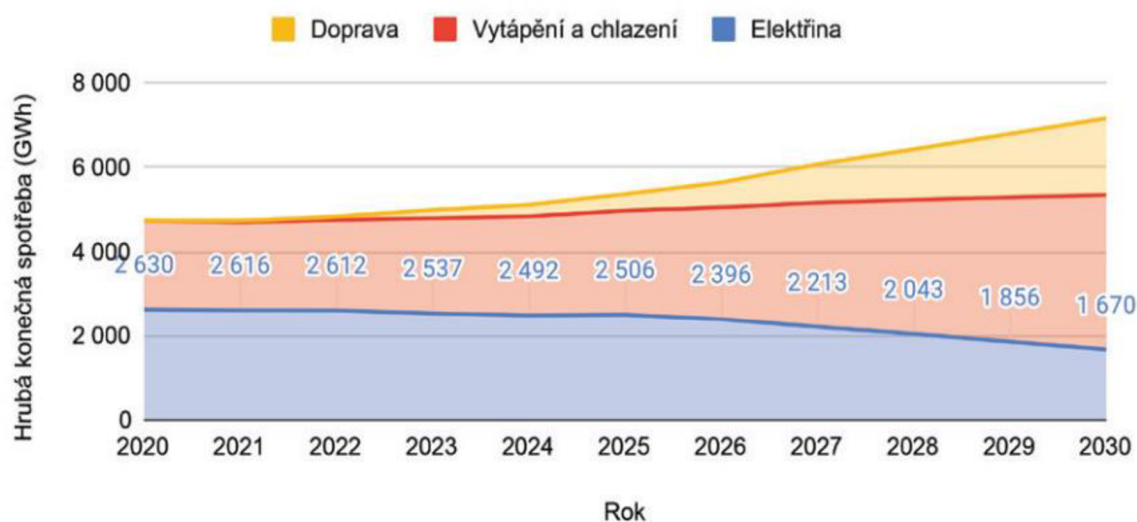
V současnosti je na našem území zaznamenáno 420 BPS, kterými je zpracováván substrát vznikající zemědělskou činností. Zemědělskými BPS bylo v roce 2019 dodáno 2,3 TWh elektrické energie a 1 TWh energie tepelné.

Existuje snaha o zvýšení produkce energie využitím biologicky rozložitelného komunální nebo průmyslového odpadu, k čemuž má napomocť ukončení skládkování směšného odpadu v roce 2030. Pěstování a využívání energetických plodin je omezováno z důvodu ochrany životního prostředí [61].

Pro naplnění závazků plynoucích z legislativy Evropské unie, je nutné v blízké budoucnosti zavést sofistikovanější způsob sběru a zpracování biologicky rozložitelného komunálního odpadu (BRKO) [66]. Komplikace jsou způsobeny nezaručenou čistotou BRKO vlivem lidského přičinění. Možným řešením je omezení přístupu ke kontejneru s BRKO bez daného oprávnění, které je vázáno např. k místu bydliště a výstavbou třídících linek jako součásti BPS a kompostáren. Efektivnější sběr a využití BRKO je možným východiskem nežádoucího snižování aktivity půdní bioty, což je zaviněno nízkým obsahem organické hmoty v půdě. Jednou z příčin je omezení chovu hospodářských zvířat po roce 1989 [67]. Na Obrázku 22 je zobrazen současný stav a předpokládaný vývoj spotřeby energie z bioplynu

### Vývoj spotřeby energie z bioplynu podle českého energeticko-klimatického plánu

Výroba elektřiny z bioplynu v roce 2019 dosáhla 2 329 GWh



Obrázek 22 Vývoj spotřeby energie z bioplynu [61]

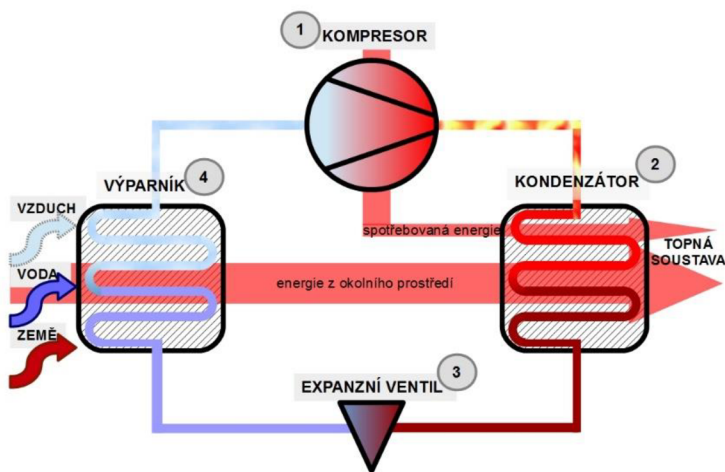
## 4.6 Energie prostředí a geotermální energie

Tepelná energie prostředí, která vzniká částečně dopadajícím elektromagnetickým zářením na plynný obal Země a částečně tepelnou energií zemského jádra, která vznikla ve fázi formování Země a je postupně vyzařována rozpadem radioaktivních izotopů v zemském masivu [68], je relativně stabilní, schopná příznivé regulace a dostupná z jakéhokoliv místa [32].

### 4.6.1 Tepelné čerpadlo

Pomocí tepelného čerpadla (TČ) lze využít nízkoteplotní potenciál (do 100 °C) okolního vzduchu, podzemních i povrchových vod a zemského masivu [46].

Jedná se o zařízení využívající obnovitelnou přírodní energii ke přeměně skupenství ekologicky přívětivého chladiva v závislosti na jeho tlaku, a to pro vytápění objektů, ohřev teplé vody a sociální účely. Vnitřní okruh TČ je zobrazen na Obrázku 23. V kompresoru dochází pomocí elektrické energie ke stlačení a zvýšení energetické hladiny ze výparníku vystupujícího plynného chladiva, jemuž byla předána nízkoteplotní energie vnějšího zdroje ve výparníku [32]. Chladivo předává svou energii topné soustavě v prostoru kondenzátoru, kde dojde k jeho zkapalnění. V expanzním ventilu je snížen tlak chladiva a tím je přivedeno zpátky do plynného skupenství s možností uzavření chladicího cyklu [57].



Obrázek 23 Schéma vnitřního okruhu tepelného čerpadla [69]

#### 4.6.2 Topný faktor

Je důležitým ukazatelem pro zhodnocení efektivity provozu TČ a je jím vyjádřen poměr tepelného výkonu (energii dodané) a příkonu kompresoru (energii odebrané) [46].

Výsledná hodnota topného faktoru je vztahována pouze ke aktuálnímu výkonu TČ. Pro posouzení konkrétní realizace tepelné soustavy je využívána hodnota sezónního topného faktoru SPF (seasonal performance factor), která je stanovena standardizovaným výpočtem nebo dlouhodobým měřením [69]. Základem výpočtu SPF podle normy ČSN EN 15316-4-2 je dělení delšího časové úseku na intervaly určené svou dobou trvání a střední hodnotou prostředí použitého jako zdroj energie s následným stanovením topného faktoru pro jednotlivé tepelné intervaly s posouzením vnějších podmínek a způsobem řízení budov, které má vliv na nároky uživatele [70]. Z nařízení Evropské unie musí být hodnota SPF  $\geq 2,88$  k dosažení podpory pro obnovitelné zdroje energie [69].

#### 4.6.3 Řešení voda-voda

Jedná se o využití místních příznivých hydrogeologických podmínek. Tepelná energie je odebírána vodě ze studní, hlubokých vrtů (50 m–120 m [49]), rybníků, vodních toků nebo odpadní vodě v průmyslových oblastech [47]. Při vyšší vzdálenosti tepelné soustavy od vodního zdroje nebo při potřebě provedení hydrogeologického průzkumu, není doporučena vlivem vysokých investičních nákladů realizace tohoto typu. Výhodou je relativní stabilita výkonu bez sezónního kolísání [32].

#### 4.6.4 Řešení země-voda

Lze využít buď naakumulovanou energii slunečního záření z povrchu půdy vodorovným (plošným) kolektorem [32] nebo získat geotermální energii hlubokým vrtem [46]. Plošný kolektor je atraktivní z hlediska vynaložených peněžních prostředků, ovšem za cenu kolísavého sezónního výkonu a nároku na velkou nezastavěnou plochu s dopadem na místní ekosystém. Vrtem o hloubce 140 m je možné získat TČ o výkonu 1kW s dobrým průměrným ročním topným faktorem [46].

#### 4.6.5 Řešení vzduch-voda

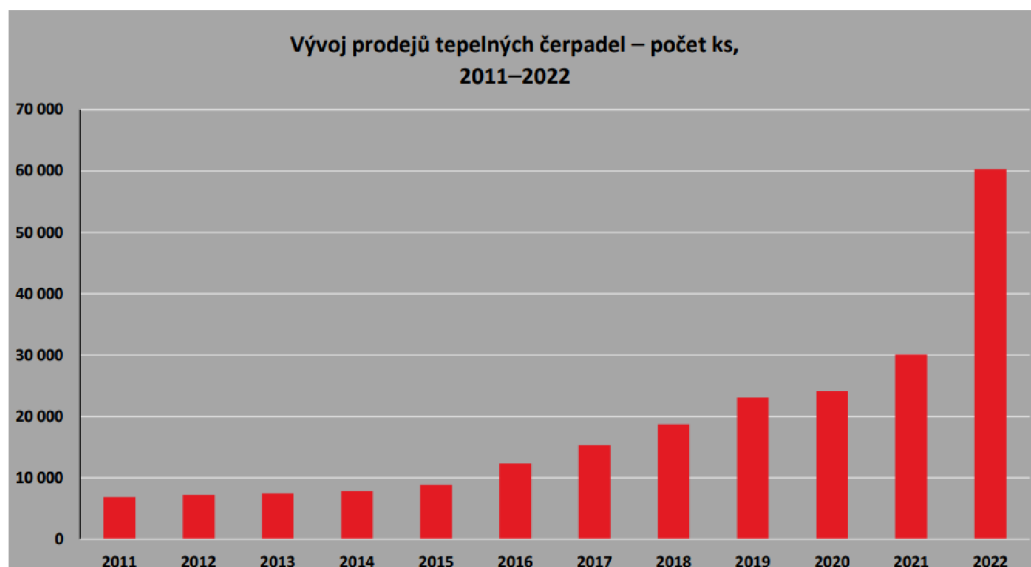
Jedná se o v současnosti nejrozšířenější druh aplikace TČ v České republice i v dalších zemích Evropské unie [71]. Zařízením je odebírána nízko potenciální tepelná energie okolnímu plynnému prostředí (atmosféře). Silná stránka systému vzduch-voda je relativně

jednoduchá instalace s nízkými počátečními náklady. Hlavní nevýhodou je pokles výkonu právě v období s největší poptávkou po tepelné energii. TČ je povětšinou provozováno bivalentně, tedy pro pokrytí spotřeby je doplňováno o jiný zdroj energie [47].

#### 4.6.6 Aktuální trendy v sektoru TČ

Na Obrázku 24 je zobrazeno enormní zvýšení počtu instalovaných jednotek TČ v České republice k roku 2022 s dominancí tepelného systému vzduch-voda, který se na celkovém počtu dodávek TČ 60 267 kusů podílel 57 793 kusy. Vysoký nárůst instalací je přičítán zpřísnění ekologických požadavků pro nově zbudované objekty a zvýšením cen za zemní plyn a elektrickou energii vlivem energetické krize [72].

Značný meziroční nárůst realizací tepelných soustav s TČ je zaznamenán i v Německé spolkové republice. V roce 2022 německý trh zaznamenal růst o 53 % s celkovým počtem 235 000 nově zapojených TČ (205 000 systémů vzduch-voda). Pro tvorbu udržitelného vytápění je Německou asociací pro tepelná čerpadla (BWP) prosazována podmínka využívání minimálně 65 % energie z obnovitelných zdrojů pro provoz TČ [73].



Obrázek 24 Vývoj prodeje tepelných čerpadel [72]

## 5 Vyhodnocení alternativních zdrojů energie

Kapitola 5. je zaměřena na zvážení silných a slabých stránek obnovitelných zdrojů energie (dále jen OZE) pro domácnosti a je zpracována správa o instalaci a provozu malého větrného generátoru pro napájení spotřebičů s nízkým příkonem.

### 5.1 Bilance OZE

V následující tabulce 1 jsou shrnuty nejmarkantnější slabé stránky OZE pro domácnosti a možné kompenzace daných nedostatků.

<b>Nevýhody</b>	<b>Znevýhodněná zařízení</b>	<b>Možnosti kompenzace</b>
Nestabilní dodávky energie	Solární systémy	Akumulací elektrické a tepelné energie v čase přebytku viz. kap. 4.5.4.4, v případě závislého fotovoltaického systému dodání energie do veřejné distribuční sítě. Kombinací vícero OZE např. fotovoltaika + větrná elektrárna
	Větrné elektrárny	
Vysoké investiční náklady	Solární systémy	Vhodným způsobem realizace lze dosáhnout návratnosti investice a rentability projektu v relativně krátké době. Velikost počátečních výdajů je možné zkrátit čerpáním státní podpory pro rozvoj OZE.
	Větrné elektrárny	
	Spalování tuhých biopaliv	
	Geotermální e.	
Nízká účinnost	Solární systémy	Navýšení účinnosti OZE lze dosáhnout dalším technologickým vývojem viz. kap. 4.4.3 nebo vhodnou úpravou vnějších podmínek např. chlazením solárních panelů
	Větrné elektrárny	
Dopady na životní prostředí a blízké okolí	Solární systémy	Lze vhodně kombinovat barvy solárních článků a zvolit esteticky nenásilnou integraci systému.
	Větrné elektrárny	Generátory s vertikální osou rotace jsou méně hlučné a není jimi ohroženo ptactvo.
	Spalování tuhých biopaliv	Spalováním energetických plodin nepěstovaných na zemědělské půdě.
	Geotermální e.	Odebíráním potřebné provozní energie z OZE.

### Výhody OZE:

- Všeobecně považovaný kladný dopad na životní prostředí, i přes jisté problémy jako např. nadměrné množství vznikajícího nerecyklovatelného odpadu vlivem dovršení životnosti zařízení či jeho částí např. lopatek větrných elektráren [75], produkce emisí skleníkových plynů při tvorbě zařízení pro transformaci OZE, zábor zemědělské půdy pro pěstování energetických plodin nebo provoz tepelných čerpadel elektrickou energií, která není převážně generována z OZE.
- Tvorba pracovních pozic v oblasti rozvoje distribučních sítí, instalace a údržby OZE nebo vývoje nových technologií
- Diverzifikace dodávek energie a snížení závislosti na dovozu energie, ovšem je potřeba sledovat současnou vzrůstající závislost na dovozu prvků zařízení OZE, viz. kap. 4.5.4.2

### 5.2 Konfigurace energeticky pozitivní domácnosti

Vývoj nových konstrukcí budov a rekonstrukcí budov stávajících jak v soukromém, tak veřejném sektoru je směřován k enviromentální, ekonomické a sociální udržitelnosti [76]. Tvorbu pasivní domácnosti, tj. budova u níž je využíváno efektivního snížení celkové spotřeby energie je provedena (potenciální evropský standart max.  $42 \text{ kWh/m}^2$ ) implementací prvků jako jsou: dostatečná tepelná izolace, okna a dveře s odpovídajícím součinitelem prostupu tepla, pasivní solární systémy, hygienická ventilace atd. [77]. Směřování k udržitelnosti ve stavebním průmyslu je vyvoláno vysokým podílem (40 % [80]) celkové spotřeby tepelné a elektrické energie v rezidenčním sektoru [76]. Český trh s nemovitostmi je podle studií pokryt pouze z 10 % budovami splňujícími podmínky udržitelnosti [80].

Existence energeticky pozitivních budov, tedy těch, jejichž produkce energie, díky instalaci OZE, je vyšší, než jejich spotřeba je možná pouze snížením energetické poptávky integrací pasivních komponent [78].

Soběstačné domácnosti lze dosáhnout např. kombinací solárního fotovoltaického systému s bateriovým úložištěm, kterým je poskytována energie potřebná k provozu tepelného čerpadla a solárního tepelného kolektoru pro vytápění prostor budovy a ohřev teplé vody [78]. Výběr systému zvoleného pro získání dostatečné energetické účinnosti je řízen na základě dané lokality, orientace, tvaru a rozměru budovy a místních legislativních a klimatických podmínek [79].

### 5.3 Malá větrná elektrárna

V podkapitole 5.3. budou uvedeny parametry větrného generátoru instalovaného pro potřeby napájení elektrického přímotopu v zahradním domku, dále budou popsány povětrnostní podmínky v dané lokalitě, a nakonec bude stanoven teoretický a skutečný výkon větrné turbíny.

#### 5.3.1 Parametry malé větrné elektrárny

Rotor:

Počet listů rotoru: 3

Průměr rotoru: 1,2 m

Jmenovité otáčky: 900 ot/min

Regulace výkonu: automatické natočení gondoly

Provozní parametry:

- Zapínací rychlost větru: 2 m/s
- Vypínací rychlost větru: 50 m/s
- Jmenovitá rychlost větru: 13 m/s

Stožár:

- Charakter: provizorní trubkovitý stožár
- Výška: 2,3 m

Generátor:

- Jmenovitý výkon: 400 W
- Typ: 3fázový AC permanentní magnet

Příslušenství:

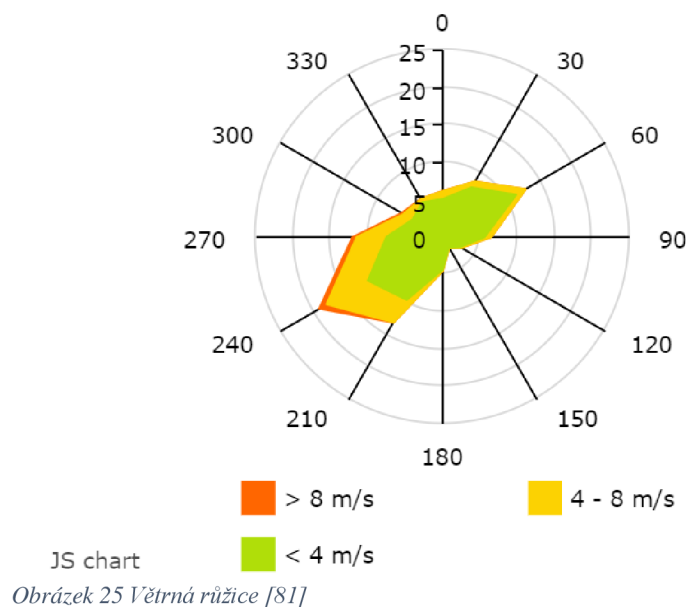
- Sledovač maximálního výkonu větrné elektrárny MPPT (Maximum power point tracker)
- 12 V Autobaterie

#### 5.3.2 Povětrnostní podmínky

Pata stožáru větrného generátoru je umístěna v nadmořské výšce 270 m. Drsnost okolní krajiny je nepříznivá vlivem turbulencí a odporů, které jsou způsobeny prvky charakteristickými pro rezidenční oblast jako jsou sousední budovy, porosty stromů, křoviny aj. překážky. Na Obrázku 25 je zobrazeno procentuální zastoupení větru děleného podle směru jeho působení a četnosti síly větru v dané lokalitě. Údaje na větrné růžici jsou

vypovídající pro větrnou elektrárnu s výškou 10 m nad povrchem. Instalovaný rotor je z důvodu nepříznivého přijetí ze strany obyvatel rezidenční oblasti umístěn pouze 2,3 m nad povrchem země. Rychlost větru se mění exponenciálně se změnou vzdálenosti osy rotace od paty stožáru větrné elektrárny, tedy data, která jsou poskytnuta větrnou růžicí jsou pouze orientační a pro stanovení reálného potenciálu generátoru je nutné přepočítat průměrnou rychlost větru v dané lokalitě viz. Rovnice 2.

### Rozdělení směrů větru (%)



$$c_2 = c_1 * \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^a = 2,84 * \left(\frac{2,3}{10}\right)^{0,24} = 2 \frac{m}{s} \quad (\text{Rovnice 2})$$

Kde  $c_2$ [m/s] je průměrná rychlost větru ve skutečné výšce,  $c_1$ [m/s] je průměrná rychlost větru ve měřené výšce,  $h_2$  je skutečná výška [m],  $h_1$  je výška měření,  $a$  je exponent, který je dán drsností krajiny.

Z Rovnice 2 vychází teoretická průměrná rychlost větru ve výšce 2,3 m nad povrchem země  $c_2 = c = 2$  m/s.

Pro maximální výkon větrné elektrárny je v dané lokalitě ideální západní a jihozápadní směr větru.

#### 5.3.3 Výkon malé větrné elektrárny

Před stanovením teoretického výkonu větrného generátoru je nutné uvést pracovní plochu, tj. plocha rotoru, která je znázorněna na Obrázku 26.





Obrázek 26 Malá větrná elektrárna

Pracovní plocha:

$$A = \pi * r^2 = \pi * 0,6^2 = 1,13m^2 \text{ (Rovnice 3)}$$

Kde  $A [m^2]$  je pracovní plocha rotoru a  $r [m]$  je poloměr rotoru.

Dostupná energie větru:

$$P_v = \frac{1}{2} * \rho * c^3 * A = \frac{1}{2} * 1,225 * 2^3 * 1,13 = 5,537 W \text{ (Rovnice 4)}$$

Kde  $\rho [\frac{Kg}{m^3}]$  je hustota okolního vzduchu,  $A [m^2]$  je pracovní plocha rotoru a  $c [\frac{m}{s}]$  je průměrná rychlost větru.

Výkon malé větrné elektrárny:

$$P = \mu * P_v = 0,3 * 5,537 = 1,611 W \text{ (Rovnice 5)}$$

Kde  $\mu [-]$  je hodnota účinnost větrné turbíny 30 % uvedena výrobcem (Vevor).

Hodnota účinnosti je závislá na velikosti aerodynamických, mechanických a elektrotechnických ztrát. Hodnota účinnosti, která je uvedena v Rovnici 5, je stanovena pro jmenovitou rychlost větru 13 m/s. Z toho důvodu a z důvodu možných elektrotechnických ztrát ve vedení mezi generátorem a akumulátorem, bude hodnota skutečné účinnosti menší než 30 %.

Vynaložené peněžní výdaje jsou vyčísleny na 3 550 Kč, s přičtením nákladů na 12V akumulátor potom 4 820 Kč.

## 6 Závěr

Hlavním cílem bakalářské práce byl popis jednotlivých zdrojů alternativní energie využitelných v podmínkách České republiky. Cesta k dosažení cíle byla uskutečněna prostřednictvím odborné literatury, informací obsažených v materiálech podniků zaměřených na vývoj technologií alternativních zdrojů a studií vypracovaných pro environmentální, sociologické a ekonomické účely.

Potenciál využití kinetické energie větru na území České republiky není zcela zanedbatelný. Po překonání překážek tvořených např. nepříznivým veřejným míněním nebo neochotou investorů způsobenou mnohdy nejednoznačnou vládní strategií, je možnost zvýšení instalovaného výkonu velkých větrných elektráren značná. Technologický vývoj v oblasti malých bez lopatkových větrných elektráren přináší řešení na nejmarkantnější problémy velkých větrných elektráren jako ohrožení ptactva, nadměrný hluk nebo zásah do krajiny. Napojení systému malé větrné elektrárny do zdrojové soustavy domácnosti je při určitých provozních parametrech a vhodném výběru typu turbíny relativně dostupným, účinným a udržitelným způsobem uspokojení energetických nároků většinou méně kritických potřeb obyvatel.

Podmínky pro provoz solárních fotovoltaických panelů a solárních kolektorů dané intenzitou slunečního záření a průměrnou roční dobou slunečního svitu na území Česka jsou řazeny k průměru Evropského kontinentu. Růst nově instalovaných solárních modulů je v posledních letech i přes průměrné klimatické podmínky enormní. Lze to připisovat rozvoji technologií v oblasti akumulace energie, poměrně kladnému přijetí veřejnosti, státní podpoře, dobré veřejné povědomosti, snaze o zvýšení soběstačnosti, a hlavně nárůstu cen za energii vlivem energetické krize, což vede i ke kratší době návratnosti vynaložených peněžních prostředků.

Prostor pro navýšení využitého energetického potenciálu vodních zdrojů spočívá spíše ve výstavbě nových malých vodních elektráren nebo v navýšení výrobních kapacit vodních děl stávajících.

Tepelná čerpadla využívající energii prostředí nebo geotermální energii jsou společně s fotovoltaickými panely nejdostupnějším a nejrychleji rostoucím alternativním zdrojem energie. Energie dodaná za účelem zvýšení energetické hladiny topného média by měla být v ideálním případě produkována jiným alternativním zdrojem energie v zájmu zachování podmínky udržitelnosti.

Použití komunálního a jiného biologicky rozložitelného odpadu jako zdroje obnovitelné energie je velmi žádoucí. Odpadní biomasa, která je zpracovávána v bioplynových stanicích není pouze zdrojem téměř uhlíkově neutrální energie, ale také je vstupní surovinou pro tvorbu kvalitního hnojiva. Hlavní výzvou v oblasti využití odpadní biomasy je schopnost ji schraňovat a udržet její čistotu v celém procesu sběru. Biomasa, která je tvořena plodinami pěstovanými k energetickým účelům budí obavy ze záboru zemědělských ploch a omezení krmného a potravinářského průmyslu. Kvůli tomu je budoucnost využívání energetického potenciálu biomasy tvořena převážně biologicky rozložitelným odpadem, který nebude mít jiné naléhavější uplatnění. Pro pěstování energetických plodin ovšem lze vyhradit dosud opomenutou ornou půdu a zabránit tak její degradaci. Také lze pěstováním energetických plodin vytvořit alespoň dočasný zásobník skleníkového plynu oxidu uhličitého a regulovat tak jeho množství v atmosféře.

Práce nezahrnuje jadernou energetiku, a to z důvodu zaměření na ty alternativní zdroje energie, které jsou zároveň zdroji obnovitelnými. Jaderná energetika je ovšem z pohledu složení budoucího žádoucího energetického mixu dominantní a nepostradatelnou složkou. Výstavba třetí jaderné elektrárny na území České republiky musí v zájmu zachování životní úrovně obyvatel a uskutečnění dekarbonizace být prioritou v sektoru energetiky.

Pořízení malé větrné elektrárny s horizontální osou rotace pro účely napájení osvětlení zahradního domku nebylo vyhodnoceno kladně. Potřebný výkon byl stanoven na 100 W, 400 W větrná elektrárna nedokáže dodávat stálý kontinuální proud a mnohdy dochází k hlubokému vybíjení akumulátoru. Při rychlostech větru nad 8 m/s listy větrné turbíny narušují hlukovou hygienu a sociální smír v místě instalace. Pesimistický scénář opřený o odvozenou průměrnou rychlost větru ukazuje na možnost produkce 50 kWh ročně, při průměrné aktuální sazbě za kWh elektřiny  $5,93 \frac{\text{kč}}{\text{kWh}}$  se návratnost investice odhaduje na téměř 16 let. Vynaložené peněžní výdaje budou ovšem muset být vyšší vlivem neoptimálního provozu automobilové baterie a nízkého počtu životních cyklů. Výkon větrné elektrárny lze zvýšit větší pracovní plochou rotoru větrného generátoru nebo větší výškou instalace, alespoň 10 m.

## 7 Seznam použitých zdrojů

- [1] Roční zpráva o provozu ES ČR, ERÚ, 2020
- [2] Státní energetická koncepce, Ministerstvo průmyslu a obchodu, Praha, 2004
- [3] Stanovisko Svazu průmyslu a dopravy České republiky k Vyhodnocení naplňování Státní energetické koncepce ČR. In: . ročník 2021. Dostupné také z: [WWW.SPCCR.CZ](http://WWW.SPCCR.CZ)
- [4] Vyhodnocení naplňování Státní energetické koncepce ČR. In: . Ministerstvo průmyslu a obchodu, Praha, 2021.
- [5] odbor 41400. Uhelná komise [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu [cit. 2022-11-19]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/uhelna-komise/uhelna-komise--248771/>
- [6] Operační program Spravedlivá transformace 2021–2027. In: . Ministerstvo životního prostředí. Dostupné také z: [https://www.mzp.cz/cz/opst\\_2021\\_2027](https://www.mzp.cz/cz/opst_2021_2027)
- [7], odbor 41400. Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. 14.1.2020 [cit. 2022-11-21]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/>
- [8] Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu. In: Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2019.
- [9] Energetická unie. Evropská rada, Rada Evropské unie [online]. [cit. 2022-11-21]. Dostupné z: <https://www.consilium.europa.eu/cs/policies/energy-union/>
- [10] MASTNÝ, Petr. Obnovitelné zdroje elektrické energie. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [11] HOŠEK, David Jakub. Právní úprava využívání alternativních zdrojů energie v České republice. 2014.
- [12] č. 17/1992 Sb., o životním prostředí § 7 odst. 2
- [13] OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE: Obnovitelné zdroje energie v roce 2020. In: . Ministerstvo průmyslu a obchodu, ročník 2020. Dostupné také z: <https://www.mpo.cz/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/>
- [14] JAK VZNIKÁ VÍTR. Svět energie: vzdělávací portál ČEZ [online]. [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/>
- [15] BENDA, Vítězslav. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.

- [16] ŽÁK, Petr. Farma větrných elektráren Kryštofovy Hamry. Jednou stopou česken. Dostupné z: doi: <https://www.jednostopouceskem.cz/listing/farma-vetrnych-elektaren-krystofovy-hamry/>
- [17] Největší česká větrná farma v Krušných horách se nerozšíří. © TZB-info.cz. 2019. ISSN 1801-4399. Dostupné z: doi: <https://oze.tzb-info.cz/124786-nejvetsi-ceska-vetrna-farma-v-krusnych-horach-se-nerozsiri>
- [18] ŽÁK, Petr. Farma větrných elektráren Kryštofovy Hamry. Jednou stopou českem. Dostupné z: doi: <https://www.jednostopouceskem.cz/listing/farma-vetrnych-elektaren-krystofovy-hamry/>
- [19] HANSLIAN, David. Aktualizace potenciálu větrné energie v České republice z perspektivy roku 2020. Praha, 2020. Ústav fyziky atmosféry AV ČR, v.v.i.
- [20] WEBER, Thomas W. a Alice MYERS. Wind energy. Salem Press Encyclopedia of Science [online]. 2020 [cit. 2022-11-23].
- [21] VOBOŘIL, David. Větrné elektrárny – princip, rozdělení, elektrárny v ČR. Oenergetice.cz [online]. [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/>
- [22] KTE'PI, Bill. Rotational energy. Salem Press Encyclopedia [online]. 2020 [cit. 2022-11-23].
- [23] ODPOROVÉ VĚTRNÉ ČERPADLO. Svět energie vzdělávací portál ČEZ [online]. [cit. 2022-11-23]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/>
- [24] MIRSAID Hyder Shah a SAMEER, Ali Alsibiani. DESIGN AND CONSTRUCTION OF SAVONIUS ROTOR [online]. November 2020. [cit. 2023-03-19]. ISSN ISSN: 2254–4143. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.17993/3ctecno.2020.specialissue6.65-77>
- [25] MUSCOLOA, G. G., & MOLFINOB. From Savonius to Bronzinus: a comparison among vertical wind turbines. Energy Procedia, [online]. (2014). [cit. 2022-11-28]. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.002>
- [26] DAS, Amlan a Pradip KUMAR TALAPATRA. Modelling and Analysis of a Mini Vertical Axis Wind Turbine. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering [online]. June 2016, 2-12 [cit. 2023-03-19]. ISSN 2250-2459. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/313893605\\_Modelling\\_and\\_Analysis\\_of\\_a\\_Mini\\_Vertical\\_Axis\\_Wind\\_Turbine](https://www.researchgate.net/publication/313893605_Modelling_and_Analysis_of_a_Mini_Vertical_Axis_Wind_Turbine)
- [27] Aeolos Wind Turbine: Horizontal Axis Wind Turbine VS Vertical Axis Wind Turbine [online]. [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: <https://www.windturbinestar.com/hawt-vs-vawt.html>

- [28] SHENG, Shuangwen a Ryan O'CONNOR. *Wind Energy Engineering*. 2017, 299-327. ISBN 9780128094518.
- [29] SCHWACK, Fabian, Norbert BADER, Johan LECKNER, Claire DEMAILLE a Gerhard POLL. A study of grease lubricants under wind turbine pitch bearing conditions. *Wear* [online]. 2020, 454-455 [cit. 2022-11-24]. ISSN 00431648.
- [30] Independent Pitch System. Pengky.cn [online]. [cit. 2022-11-24].
- [31] BAYLES, Corey Bayles, Senior Product Engineer, Renewable Energy Applications, SKF USA. Wind Power Engineering: Extending wind turbine life with pitch bearing upgrades [online]. [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: <https://www.windpowerengineering.com/>
- [32] BENDA, Vítězslav. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: Profi Press, 2012. ISBN 978-80-86726-48-9.
- [33] HANSEN, Martin O. L. *Aerodynamics of wind turbines*. 2nd ed. London: Earthscan, c2008. ISBN 978-1-84407-438-9.
- [34] *GE Renewable Energy: Haliade-X offshore wind turbine* [online]. [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: <https://www.ge.com/renewableenergy/>
- [35] BALOGH, Allison Balogh. Horizon, the EU Research and Innovation magazine: Bigger, better blades for wind turbines [online]. [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: [https://commission.europa.eu/index\\_en](https://commission.europa.eu/index_en)
- [36] ŽÁK, Petr. Farma větrných elektráren Kryštofovy Hamry. Jednou stopou česken. Dostupné z: doi: <https://www.jednostopouceskem.cz/listing/farma-vetrnych-elektren-krystofovy-hamry/>
- [37] Oenergetice.cz [online]. 2021 [cit. 2022-09-27]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/vetrne-elektreny/nejvetsi-plovouci-vetrna-elektrena-svete-byla-zprovoznena>
- [38] Fixed Offshore Wind. Tethys [online]. [cit. 2022-09-23]. Dostupné z: <https://tethys.pnnl.gov/technology/fixed-offshore-wind?content=All&technology=All&stressor=All&receptor=All&search=&page=44>
- [39] LAWRENCE, Lawrence Berkeley National Laboratory: Energy I-SPARK [online]. A U.S. Department of Energy National Laboratory Managed by the University of California [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: <https://ei-spark.lbl.gov/generation/onshore-wind/turb/tower/info/>
- [40] Mecanoo: Ewicon [online]. Mekelpark, Delft, Nizozemsko, 2012–2013 [cit. 2023-01-23]. Dostupné z: <https://www.mecanoo.nl/Projects/project/61/Ewicon>

- [41] VILLARREAL, David Jesús Yáñez Villarreal. VIV resonant wind generators [online]. June, 7th 2018 [cit. 2023-01-25]. Dostupné z: doi: <https://vortexbladeless.com/>
- [42] GAUTAM, Ashwani, Sanga SAI SRINIVAS a A. V. Ravi TEJA. Efficient Electro-Mechanical Conversion System in Bladeless Wind Turbines. IEEE [online]. 2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 2020, 17-19 June 2020 [cit. 2023-03-19]. ISSN 2163-5145. Dostupné z: doi:10.1109/ISIE45063.2020.9152509
- [43] MIHULKA, Stanislav. Střešní Aeromine Wind-Harvesting Unit předčí solární panely. Technický portál [online]. [cit. 2023-01-27]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/energetika-teplo/stresni-aeromine-wind-harvesting-unit-predci-solarni-panely\\_57134.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/energetika-teplo/stresni-aeromine-wind-harvesting-unit-predci-solarni-panely_57134.html)
- [44] POL, Suhas, Brent C. HOUNCHENS, David V. MARIAN a Carsten H. WESTERGAARD. Performance of AeroMINES for Distributed Wind Energy [online]. 2-4 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1640929>
- [45] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. 2., dopl. vyd. Praha: Ilsa, 2010. ISBN 978-80-904311-5-7.
- [46] BERANOVSKÝ, Jiří a Jan TRUXA. Alternativní energie pro váš dům. Brno: ERA, 2003. ISBN 80-86517-59-4.
- [47] CENEK, Miroslav. Obnovitelné zdroje energie. 2. upr. a dopl. vyd. Praha: FCC Public, 2001. ISBN 80-901985-8-9.
- [48] TiNoX energy [online]. [cit. 2023-01-27]. Dostupné z: doi: [http://www.terramar.co.th/Products\\_Lighting/Almeco/tinoxenergy\\_absorber.pdf](http://www.terramar.co.th/Products_Lighting/Almeco/tinoxenergy_absorber.pdf)
- [49] ŠKORPÍK, Jiří. *Zdroje a transformace energie*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2021. ISBN 978-80-214-5929-8.
- [50] Jak ušetřit na spotřebě elektrické energie? [online]. [cit. 2023-01-31]. Dostupné z: <http://mojeelektrarna.cz/energie-ze-slunce.html#prettyPhoto>
- [51] ISAACSON, Walter. Einstein: jeho život a vesmír. Přeložil Martin POKORNÝ. Praha: Paseka, 2018. ISBN 978-80-7432-956-2.
- [52] Solární (fotovoltaické) články [online]. [cit. 2023-02-07]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/microsites/solarni/k32.htm>
- [53] ASMAE, Berrada, RACHID El Mrabet: Hybrid Energy System Models, 2020. ISBN 978-0-12-821403-9

- [54] Solar PV Trade and Manufacturing, February 202, Bloomberg NEF, <https://sis-website-prod.s3.amazonaws.com/s3fs-public/Solar%20PV%20Case%20Study%20-%20BloombergNEF.pdf?wDUUIXhfxWtA0iLU66HdshX539MvZHDI>
- [55] Store Wind and Solar Power as Heat in Sand. Polar Night Energy [online]. [cit. 2023-03-27]. Dostupné z: <https://polarnightenergy.fi/technology>
- [56] LIBRA, Martin a Vladislav POULEK. Zdroje a využití energie. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 9788021316478.
- [57] MURTINGER, Karel a Jiří BERANOVSKÝ. *Energie z biomasy*. 2., aktualiz. vyd. Brno: ERA, 2008. 21. století. ISBN 9788073661151.
- [58] KLASS, Donald. Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals. San Diego: Academic Press, 1998. ISBN 9780124109506.
- [59] PETŘÍKOVÁ, Ing. Vlasta Petříková, DrSc. ROSTLINY PRO ENERGETICKÉ ÚČELY. Česká energetická agentura Vinohradská 8 120 00 Praha 2: [https://www.mpo-efekt.cz/dokument/99\\_8089.pdf](https://www.mpo-efekt.cz/dokument/99_8089.pdf).
- [60] <https://www.hoval.cz/produkty/biolyt/>
- [61] BIOM: Flexibilita energie biomasy a bioplynu [online]. 2021. 2021 [cit. 2023-02-24]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: [https://www.czbiom.cz/wp-content/uploads/casopis\\_Biom\\_2021\\_01\\_WEB.pdf](https://www.czbiom.cz/wp-content/uploads/casopis_Biom_2021_01_WEB.pdf)
- [62] BIOM: Jak na výstavbu bioplynové stanice [online]. 2022. 2022 [cit. 2023-02-24]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: [https://www.czbiom.cz/wp-content/uploads/casopis\\_Biom\\_2022\\_0\\_20220906-FIN-WEB.pdf](https://www.czbiom.cz/wp-content/uploads/casopis_Biom_2022_0_20220906-FIN-WEB.pdf)
- [63] BIOM: Biomasa v dopravě [online]. 2018. [cit. 2023-02-25]. ISSN ISSN 1801-2655. Dostupné z: [https://www.czbiom.cz/wp-content/uploads/casopis\\_Biom\\_2018\\_02\\_WEB.pdf](https://www.czbiom.cz/wp-content/uploads/casopis_Biom_2018_02_WEB.pdf)
- [64] BIOM: V kurzu je udržitelná bioenergetika [online]. 2020. [cit. 2023-02-25]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: [https://www.czbiom.cz/wp-content/uploads/casopis\\_Biom\\_2\\_2020\\_WEB.pdf](https://www.czbiom.cz/wp-content/uploads/casopis_Biom_2_2020_WEB.pdf)
- [65] ŘÍHA, Zdeněk. PROBLEMATIKA ALTERNATIVNÍCH PALIV V DOPRAVĚ V ČESKÉ REPUBLICE. České vysoké učení technické, Fakulta dopravní, Horská 3, Praha 2, 128 00.
- [66] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/851 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech, článek 22



- [67] BIOM: Kompostování aneb cesta k udržitelnému hospodaření s půdou [online]. 2021. [cit. 2023-02-28]. ISSN 1801-2655 (Online). Dostupné z: [https://www.czbiom.cz/wp-content/uploads/casopis\\_Biom\\_2021\\_02\\_WEB.pdf](https://www.czbiom.cz/wp-content/uploads/casopis_Biom_2021_02_WEB.pdf)
- [68] JAUPART, Claude a Jean-Claude MARESCHAL. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511781773>. Cambridge University Press, December 2014. ISBN 9780511781773.
- [69] PAULA, Carroll, Lyons PADRAIG a Chesser MICHAEL. Air Source Heat Pumps field studies: A systematic literature review [online]. 2020 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110275>
- [70] ČSN EN 15316-4-2: Energetická náročnost budov – Metoda výpočtu potřeb energie a účinností soustav – Část 4-2: Výroba tepla pro vytápění, tepelná čerpadla, Modul M3-8-2, M8-8-2. 01.05.2020.
- [71] ČSN EN 15316-4-2: Energetická náročnost budov – Metoda výpočtu potřeb energie a účinností soustav – Část 4-2: Výroba tepla pro vytápění, tepelná čerpadla, Modul M3-8-2, M8-8-2. 01.05.2020.
- [72] Výsledek statistického šetření za rok 2022 [online]. MPO, 2022 [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2023/3/Tepelna-cerpadla-2010-2022.pdf>
- [73] European Public Health Alliance: Germany's impressive heat pump sales growth: +53 % in 2022 [online]. [cit. 2023-03-03]. Dostupné z: [https://www.ehpa.org/2023/01/19/ehpa\\_news/germanys-impressive-heat-pump-sales-growth-53-in-2022/](https://www.ehpa.org/2023/01/19/ehpa_news/germanys-impressive-heat-pump-sales-growth-53-in-2022/)
- [74] JAKUBES, Ing. Jaroslav a Ing. Václav JÁRKA. STUDIE „POTENCIÁL SOLÁRNÍ ENERGETIKY V ČESKÉ REPUBLICĚ“. říjen 2015. Česká fotovoltaická průmyslová asociace. ENACO-OZE-2015102.
- [75], Chris Martin. *Bloomberg: Wind Turbine Blades Can't Be Recycled, So They're Piling Up in Landfills* [online]. [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/news/features/2020-02-05/wind-turbine-blades-can-t-be-recycled-so-they-re-piling-up-in-landfills?leadSource=verify%20wall>
- [76] KOŁODZIEJCZYK-KĘSOŃ, Ada a Ada KOŁODZIEJCZYK-KĘSOŃ. COST EFFECTIVENESS OF THE ZERO-NET ENERGY PASSIVE HOUSE [online]. Management Systems in Production Engineering 2023, Volume 31, Issue 1, 01/2023 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: doi:10.2478/mspe-2023-0006

- [77] European Commission: CEPHEUS: COST EFFICIENT PASSIVE HOUSES AS EUROPEAN STANDARDS [online]. [cit. 2023-03-06]. Dostupné z: <https://cordis.europa.eu/project/id/BU.-00127-97>
- [78] JONES, Phillip Jones. Energy-Positive House: Performance Assessment through Simulation and Measurement [online]. Welsh School of Architecture, Cardiff University, King Edward VII Avenue, Cardiff CF10 3NB, UK; JungLiX@cardiff.ac.uk (X.L.); ComaE@cardiff.ac.uk (E.C.B.); PerisoglouE@cardiff.ac.uk (E.P.); patterson@cardiff.ac.uk (J.P.) [cit. 2023-03-19].
- [79] PRETO, Jean Lucas Serpa, a, Valquiria CLARET DOS SANTOS a Daniela Rocha Teixeira Riondet COSTA. Planning a Sustainable House [online]. UNIFEI – Federal University of Itajuba, Institute of Natural Resources – IRN, 2013, 2-5 [cit. 2023-03-19]. ISSN 1662-8985. Dostupné z: doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.838-841.2989
- [80] KLIMENT, Daniel, Tereza JANDÁSKOVÁ, Tomáš HRDLIČKA a Martin CUPAL. Influence of sustainable construction aspects and quality of public space on the price of houses in the Czech Republic. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering [online]. Institute of Forensic Engineering, Brno University of Technology, Purkyňova 464/118, 612 00 Brno, Czech Republic, 2020, 2-9 [cit. 2023-03-19]. Dostupné z: doi:10.1088/1757899X/960/3/032060
- [81] Ústav fyziky atmosféry AV ČR, <http://vitr.ufa.cas.cz/male-vte/>