

**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**

**Přírodovědecká fakulta**

Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Geografie a kartografie



Tomáš Kudela

**Zhodnocení možností využití obnovitelných zdrojů energie ve  
vybraných objektech ČHMÚ**

Evaluation of possibilities of renewable energy sources  
application in selected objects of the CHMI

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Ivan Sládek, CSc.

Praha 2014

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání stejného nebo jiného akademického titulu.

V Praze dne 22.5.2014

.....

Podpis

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce RNDr. Ivanu Sládkovi, CSc. za cenné připomínky, odborné rady a věnovaný čas. Dále děkuji všem zaměstnancům ČHMÚ, kteří si vyhradili čas ke schůzkám a bez jejichž informací by bylo krajně obtížné tuto práci dokončit. Velký dík patří i rodině za podporu v průběhu celého studia.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce je zaměřená na možnosti využití obnovitelných zdrojů energie v praxi, konkrétně v objektech Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), jako jsou například profesionální meteorologické stanice nebo observatoře. První část práce se zabývá popisem jednotlivých alternativních zdrojů energie, principy jejich získávání a zpracování pro potřeby energetického průmyslu. Druhá část se týká již instalovaných zařízení v objektech ČHMÚ a přibližuje technologická řešení a zkušenosti s provozem těchto zařízení. Ve třetí části je představen návrh využití konkrétních zařízení pro vybrané objekty ČHMÚ.

**Klíčová slova:** obnovitelné zdroje energie, solární energie, větrná energie, vodní energie, tepelná čerpadla, biomasa, meteorologické stanice

## **Abstract**

This bachelor thesis is dedicated to the use of renewable sources of energy in practice, namely in the Czech Hydrometeorological Institute (CHMI) objects, such as professional meteorological stations or observatories. The first part of bachelor thesis deals with the description of the alternative energy sources, the principles of acquisition and processing for the needs of the energy industry. The second part relates to devices already installed in CHMI objects and zooms technological solutions and experiences with the operation of these facilities. The third part presents a proposal for the use of specific devices for selected CHMI objects.

**Key words:** renewable sources of energy, solar energy, wind energy, hydro energy, heat pumps, biomass, meteorological stations

### **Citační vzor**

KUDELA, T. (2014): Zhodnocení možností využití obnovitelných zdrojů energie ve vybraných objektech ČHMÚ. Bakalářská práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie. Přírodovědecká fakulta. Univerzita Karlova v Praze. Praha, 62 s.

**Univerzita Karlova v Praze**  
**Přírodovědecká fakulta**  
**Katedra fyzické geografie a geoekologie**

## **Zadání bakalářské práce**

### **Název práce**

Zhodnocení možností využití obnovitelných zdrojů energie ve vybraných objektech ČHMÚ

### **Cíle práce**

Cílem bakalářské práce je popsat nejčastěji využívané obnovitelné zdroje energie, jejich principy a možnosti využití v běžné praxi, zhodnotit provoz zařízení využívajících obnovitelnou energii v objektech ČHMÚ a navrhnout jejich instalaci v dalších objektech, ve kterých zatím tato zařízení nejsou plánována.

### **Pracovní metody, zájmové území, datové zdroje**

V teoretické části se bude nacházet popis doposud známých a nejčastěji využívaných obnovitelných zdrojů energie v České republice a v zahraničí, zpracovaný na základě rešerše informací z odborné literatury. Na tuto část naváže představení vybraných objektů ČHMÚ, které již využívají zařízení fungující na principu obnovitelné zdroje energie. Informace v této kapitole vycházejí z technických zpráv jednotlivých zařízení a ze schůzek se zaměstnanci ČHMÚ. V poslední kapitole se autor zaměří na analýzu přírodních a technických podmínek zájmových objektů ČHMÚ a zhodnotí vhodné typy zařízení, která by se zde dala instalovat.

Zájmové území pro bakalářskou práci představují vybrané objekty ČHMÚ – pobočka Plzeň, meteorologické stanice Lysá hora a Šerák, archiv Brozany nad Ohří a observatoř Doksany.

Jako zdroje informací a dat k práci poslouží vybraná česká a zahraniční literatura, data a informace získané od zaměstnanců ČHMÚ, mapové podklady z databáze ArcČR 500 a vlastní pozorování autora.

Datum zadání: 13.12.2013

Jméno studenta: Tomáš Kudela

Podpis: .....

Vedoucí práce: RNDr. Ivan Sládek, CSc.

Podpis: .....

## Obsah

Seznam použitých zkratek .....	7
Seznam tabulek .....	8
Seznam obrázků .....	8
Seznam grafů .....	9
Úvod .....	10
1 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE .....	11
1.1 Potenciál OZE v ČR .....	13
1.1.1 Výroba elektrické energie z OZE .....	14
1.1.2 Výroba tepla z OZE .....	14
1.2 Solární energie .....	15
1.2.1 Solární fotovoltaické systémy .....	16
1.2.2 Fototermální přeměna slunečního záření .....	18
1.3 Větrná energie .....	20
1.4 Vodní energie .....	23
1.5 Energie biomasy .....	26
1.6 Geotermální energie .....	29
2 METODIKA .....	33
3 ZAŘÍZENÍ VYUŽÍVAJÍCÍ OZE V OBJEKTECH ČHMÚ .....	35
3.1 Pobočka ČHMÚ v Plzni .....	37
3.2 Meteorologická stanice Lysá hora .....	39
3.3 Archiv ČHMÚ Brozany nad Ohří .....	41
4 NÁVRH ZAŘÍZENÍ VYUŽÍVAJÍCÍ OZE PRO VYBRANÉ OBJEKTY ČHMÚ ....	43
4.1 Tepelné čerpadlo a fotovoltaický panel pro observatoř Doksany .....	43
4.1.1 Tepelné čerpadlo .....	43
4.1.2 Fotonvoltaický panel .....	44
4.2 Větrná turbína pro meteorologickou stanici Šerák .....	46
Závěr .....	48
Seznam literatury .....	49
Tištěné publikace .....	49
Elektronické publikace .....	51
Databáze .....	54
Dokumenty .....	54
Seznam příloh .....	55

## Seznam použitých zkratek

AČR	Armáda České republiky
ASAE	The American Society of Agricultural Engineers (Americká společnost zemědělských inženýrů)
CH <sub>4</sub>	metan
CHMI	The Czech Hydrometeorological Institute (ČHMÚ)
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČOV	čistírna odpadních vod
ČR	Česká republika
ČSVE	Česká společnost pro větrnou energii
ČÚZK	Český úřad zeměměřičský a katastrální
EU	Evropská unie
EWEA	The European wind energy association (Evropská asociace pro větrnou energii)
FHR	metoda Fractured-Hot-Rock (rozpukaná horká hornina)
HDR	metoda Hot-Dry-Rock (horká suchá hornina)
HDPE	high-density polyethylene (vysokohustotní polyethylen)
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MVE	malá vodní elektrárna
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
N <sub>2</sub> O	oxid dusný
NEK	Nezávislá odborná komise pro posuzování energetických potřeb



OPŽP	Operační program Životní prostředí
OZE	obnovitelné zdroje energie
SFŽP ČR	Státní fond životního prostředí České republiky
TČ	tepelné čerpadlo
TUV	teplá užitková voda
ÚFA AV ČR	Ústav fyziky atmosféry Akademie věd České republiky
USA	The United States of America (Spojené státy americké)
VtE	větrná elektrárna
WMS	webová mapová služba

## **Seznam tabulek**

Tabulka 1.1: Klasifikace přírodních zdrojů energie

Tabulka 1.2: Předpoklad využití OZE – výroba elektřiny [TWh]

Tabulka 1.3: Předpoklad využití OZE – výroba tepla [PJ]

Tabulka 1.4: Přehled účinnosti moderních solárních panelů podle použitého materiálu

Tabulka 1.5: Typy vodních turbín a vhodnost jejich použití

Tabulka 1.6: Přehled druhů tepelných čerpadel

Tabulka 3.1: Profesionální stanice a observatoře v ČR

## **Seznam obrázků**

Obrázek 1.1: Roční průměr globálního záření

Obrázek 1.2: Princip činnosti solárního článku

Obrázek 1.3: Akumulační Trombého stěna – příklad pasivního systému

Obrázek 1.4: Základní princip termického systému pro ohřev vody

Obrázek 1.5: Vývoj velikosti VtE v čase

Obrázek 1.6: Typy větrných elektráren podle polohy osy otáčení

Obrázek 1.7: Přírodě blízký rybí přechod vedle MVE Beroun

Obrázek 1.8: Možnosti zpracování biomasy

Obrázek 1.9: Princip tepelného čerpadla s kompresorem

Obrázek 1.10: Možnosti získávání tepla pro zpracování tepelným čerpadlem

Obrázek 2.1: Navštívené objekty ČHMÚ

Obrázek 3.1: Tepelná čerpadla na stanicích ČHMÚ

Obrázek 3.2: Meteorologická zahrádka a pobočka ČHMÚ Plzeň – Mikulka

Obrázek 3.3: Strojovna s tepelným čerpadlem Plzeň – Mikulka

Obrázek 3.4: Meteorologická stanice Lysá hora

Obrázek 3.5: Archiv ČHMÚ a náhon s malou vodní elektrárnou v Brozanech nad Ohří

Obrázek 3.6: Turbína a generátor MVE Brozany

Obrázek 4.1: Řešení vytápění a ohřevu TUV pro observatoř Doksany

Obrázek 4.2: Průměrný roční úhrn přímého záření

Obrázek 4.3: Průměrné roční rychlosti větru ve výšce 10 m n. m.

Obrázek 4.4: Ukázka výkonové křivky malé větrné elektrárny

## **Seznam grafů**

Graf 1.1: Primární energie z obnovitelných zdrojů – výhled do roku 2050

Graf 3.1: Výše podpory z OPŽP podle krajů k říjnu 2010 (v mld. Kč)

## Úvod

Jedním z celosvětově diskutovaných témat posledních let, je zvyšující se energetická náročnost každodenního života. Lidstvo neustále inovuje technologie a roli manuální práce člověka postupně nahrazuje automatizace a řízení počítačem. Tímto ovšem vznikají vyšší požadavky na přísun energie, kterou přibližně z 80 % zajišťují primární zdroje – ropa, uhlí, zemní plyn a uran pro výrobu jaderné energie. V minulosti se otázce vyčerpatelnosti zásob těchto surovin nekladl přílišný význam. Díky mnohým vědeckým studiím je ale nyní jasné, že tyto zásoby nejsou nekonečné, naopak se dramaticky tenčí.

Existuje však vhodná alternativa v podobě obnovitelných zdrojů energie. Tato varianta má do budoucna obrovský potenciál růstu využití, který je již patrný v posledních dvou desetiletích. Jedná se především o energii získanou ze slunečního záření, větru, vody, geologického podloží a biomasy. Větrnou energii využívali lidé k mletí mouky ve mlýnech už na začátku 2. tisíciletí a taktéž energie vody k pohonu vodních kol na starých hamrech či pilách je dlouho známá. Tyto původní mechanismy se v průběhu času zdokonalovaly. Lidstvo se na jejich základních principech a díky technologickému pokroku naučilo sestavit zařízení, která generují elektrickou energii namísto mechanické. Systémy získávání elektřiny či tepla z alternativních zdrojů energie se zcela jistě brzy začlení do koncepcí udržitelné energetické politiky všech vyspělých států.

Tato bakalářská práce přibližuje současné trendy využití výše zmíněných druhů obnovitelných zdrojů energie. V první kapitole a navazujících podkapitolách podává informace o principech, na nichž fungují zařízení, která tyto zdroje efektivně přeměňují na elektrickou nebo tepelnou energii. Vychází z dostupné české a zahraniční literatury. Druhá kapitola je zaměřena na objekty Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), využívající obnovitelné zdroje energie. Ve většině případů jsou to tepelná čerpadla (pobočka ČHMÚ Plzeň, meteorologická stanice Lysá Hora). Archiv ČHMÚ v Brozanech nad Ohří má jako zdroj elektrické energie instalovanou malou vodní elektrárnu. Třetí kapitola obsahuje konkrétní návrhy řešení pro vybrané objekty ČHMÚ.

Bakalářská práce si klade za cíl, na základě fyzicko-geografických aspektů navrhnout vhodný systém využívající alternativní zdroj energie pro vybrané objekty ČHMÚ. Tento návrh by měl vycházet z informací získaných rešerší literatury, které jsou uvedeny v první kapitole. Zároveň by návrh neměl duplikovat již fungující zařízení na objektech uvedených v kapitole druhé.

# 1 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE

Obnovitelné zdroje energie jsou jedny z nejstarších, ale zároveň také nejmodernějších forem energie, využívané lidskou populací (Alexander, Boyle 2004). Svůj původ mají především ve slunečním záření dopadajícím na naši planetu, které lidstvo využívá už od pradávna ve formě přímé (dopad slunečních paprsků na zemský povrch) či nepřímé (energie biomasy, vody a větru). Nebýt Slunce, nefungoval by koloběh vody, nevyskytovaly by se tlakové rozdíly, které způsobují proudění větru, nerostly by rostliny vhodné k produkci biomasy. Díky velkému potenciálu OZE, které jsou zároveň ekologicky šetrné, by teoreticky bylo možné v budoucnu pokrýt globální energetickou spotřebu lidstva (Noskievič, Kaminský 1996).

V dávné minulosti považovali lidé Slunce za božstvo a uctívali jej. Nyní si jeho sílu podmaňují, což ovšem klade vysoké nároky na techniku (Everett 2004). Přímá forma extrakce energie ze slunečního záření je technologicky náročnější, než nepřímé způsoby jeho přeměny. Naši předkové objevili cestu, jak přeměnit energii vody a větru, aby poháněla mechanická zařízení – nejprve lodě, na kterých se vítr opíral do plachet a umožňoval pohyb po hladině, později například větrné či vodní mlýny. Ty se hojně stavily tam, kde k tomu byly vhodné fyzicko-geografické podmínky a sloužily k různým účelům, od mletí obilných zrn na mouku, přes řezání dřeva pilou, až k pohánění kovářských bucharů na hamrech (Smil 1994). S technologickým rozvojem začali vědci zkoumat nové obnovitelné energetické zdroje, jako je například geotermální energie (Augusta 2001). Ta nepochází ze slunečního záření, ale z procesů odehrávajících se hluboko pod zemským povrchem. Dalším typem energie, která nemá svůj původ ve slunečním záření, je energie přílivu a odlivu, která je dána vzájemnou přitažlivostí Měsíce, Slunce a Země.

Přírodními procesy, dávno před zrodem vyspělé lidské civilizace, vznikaly po mnoho let zásoby nyní běžně používaných paliv. Jsou uloženy pod zemským povrchem a těženy různými metodami. Jedná se zejména o:

- fosilní spalitelné materiály (uhlí, ropa, plyn),
- štěpné (radioaktivní) látky,
- vodík vázaný ve vodě.

Tabulka 1.1 obsahuje přehled energií dostupných v přírodě. Základem je rozdělení na dvě části dle typu energie – potenciální (staré zásoby) a kinetickou (sluneční zářivý tok). Uvádí deset skupin zdrojů, ke kterým se vážou konkrétní technologická zařízení.

Tabulka 1.1: Klasifikace přírodních zdrojů energie

Staré zásoby	Sluneční zářivý tok	
	Nepřímá solární energetika	Přímá solární energetika
1. fosilní paliva	6. voda	9. pasivní systémy
2. jaderná energie	7. vítr	10. aktivní systémy
3. vodík	8. biomasa	
4. geotermální energie		
5. chemické látky		

Zdroj: Orel (2001)

Poznámky k jednotlivým skupinám:

1. Uhlí, ropa, zemní plyn – vyčerpání snadno dostupných zásob se předpovídá do roku 2100.
2. Uran – omezené zásoby jako u fosilních paliv; problém s likvidací vyhořelého paliva.
3. Technologie řízené termonukleární fúze (např. TOKAMAK), která jako palivo využívá izotopy vodíku, není dosud zvládnuta; je očekáván další vývoj, avšak řádově v desítkách let. Odstranění nedostatků technologie tohoto procesu pravděpodobně vyřeší většinu problémů v získávání energie. Půjde o proces ekologicky čistý a možná i vysoce bezpečný ve srovnání s řízenou štěpnou reakcí. Dalším předpokládaným využitím vodíku je možnost přímo jej spalovat nebo aplikovat v palivových člancích. Vodík může být využit též jako vysoce účinná náplň zásobníků energie. Zde je vývoj o něco dále než v případě řízené termonukleární fúze, avšak postup rovněž nebude zprovozněn v praxi v blízké době několika let. Čistý vodík se ovšem v našem dosahu nevyskytuje a je třeba jej nejprve uvolnit (např. elektrolýzou vody).
4. O geotermální energii pojednává podkapitola 1.6.
5. Mnoho fyzikálně-chemických procesů umožňuje vytvořit látky, které mohou být využívány jako energetické zdroje, ač složky vstupující do těchto procesů samy o sobě energii poskytovat nemohou. Typickým příkladem je syntéza výbušnin.

Do této skupiny však patří i známá a široce rozvinutá technologie elektrochemických článků. Jsou vyvíjena i zařízení umožňující akumulovat energii ve sloučenině vytvořené při endotermické (vyžadující vklad energie) chemické reakci, přepravovat vzniklé sloučeniny a opět uvolňovat energii při opačné, exotermické reakci v místě její spotřeby.

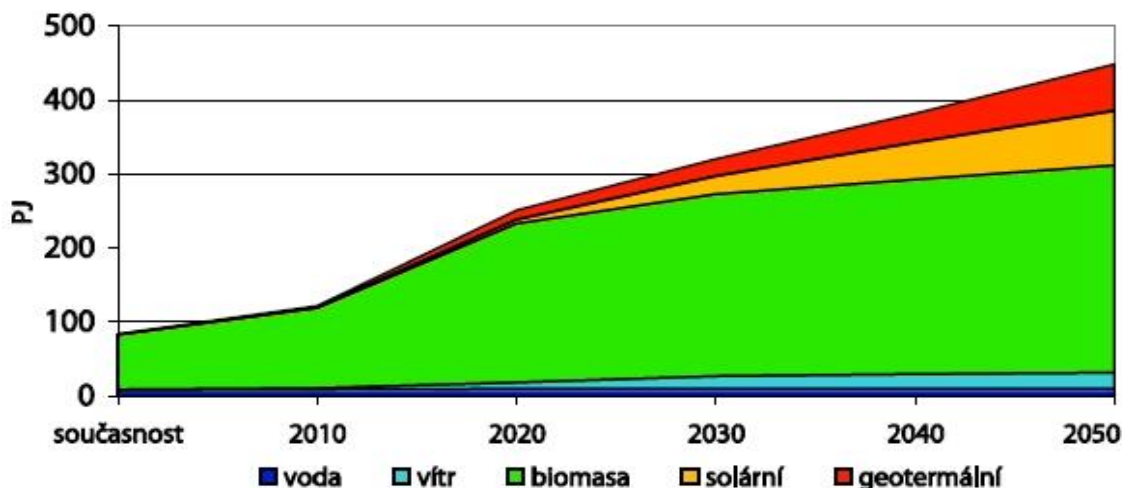
6. – 10. Tyto skupiny jsou popsány v podkapitolách 1.2 až 1.5.

K tabulce 1 je nutno ještě dodat, že skupiny 1 až 5 a 8 mají výhradně potenciální charakter a lze je využít pouze zpracováním za pomoci vhodných metod a zařízení, která uvolní jejich vnitřní energii, kdežto pro využití pohybové energie ostatních skupiny (6, 7, 9, 10) je nutno použít zařízení, která jejich energii zachytí a zpracují (Orel 2001).

### 1.1 Potenciál OZE v ČR

Množství dopadajícího slunečního záření na Zemi a energie, kterou toto záření nese, je v porovnání s celosvětovou spotřebou primárních zdrojů enormně vyšší a z drtivé většiny nevyužita (MŽP 2009). Pokud by se v budoucnu podařilo najít způsob, který by zefektivnil přeměnu slunečního záření na energii, byl by to pro lidstvo velkým přínosem. Graf 1.1 nastiňuje možný budoucí vývoj využití OZE při výrobě energie. Současné hodnoty vycházejí z maximálních čísel dlouhodobých průměrů vnějších přírodních podmínek a dnes známých technologií. Reálná čísla ovšem závisejí na přírodních podmínkách, které nastanou v uvedených letech, a ty se mohou od dlouhodobé predikce výrazně lišit (Vláda ČR 2008).

Graf 1.1: Primární energie z obnovitelných zdrojů – výhled do roku 2050



Zdroj: Vláda ČR (2008)

### 1.1.1 Výroba elektrické energie z OZE

Produkcí elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie zajišťují hlavně vodní elektrárny (47,5 %), kterých je u nás mnoho, a to díky historické tradici jejich budování. 36% podíl biomasy je dán nižší ekonomickou náročností výrobních zařízení, než u větrných a solárních elektráren. Geotermální elektrárny se u nás zatím nevyskytují. V posledních letech zažívá vzestup solární energie, především díky příznivým výkupním cenám a státním garancím a její podíl v následujících letech poroste.

Tabulka 1.2: Předpoklad využití OZE – výroba elektřiny [TWh]

Původ energie	2010	2020	2030
vodní	2,14	2,43	2,48
větrná	0,6	2,55	4,71
biomasa	1,62	5,26	8,02
geotermální	0	0,48	1,58
solární	0,15	0,98	5,67
<b>Elektřina celkem</b>	<b>4,51</b>	<b>11,7</b>	<b>22,46</b>

Zdroj: Ministerstvo životního prostředí (2009).

### 1.1.2 Výroba tepla z OZE

Teplo z obnovitelných zdrojů může být vyráběno více způsoby. V ČR nejrozšířenější je využívání biomasy (96% podíl oproti ostatním zdrojům). Ostatní energetické zdroje (geotermální, solární) ještě nejsou v praxi natolik zaběhnuté především kvůli ekonomické náročnosti, která je mnohem vyšší než u biomasy. Do budoucna se předpokládá snižování podílu biomasy na výrobě tepla, protože se zvýší dostupnost ostatních výrobních technologií. Biomasa však stále bude zdaleka nejpoužívanějším obnovitelným zdrojem energie k výrobě tepla ještě dlouhou dobu.

Tabulka 1.3: Předpoklad využití OZE – výroba tepla [PJ]

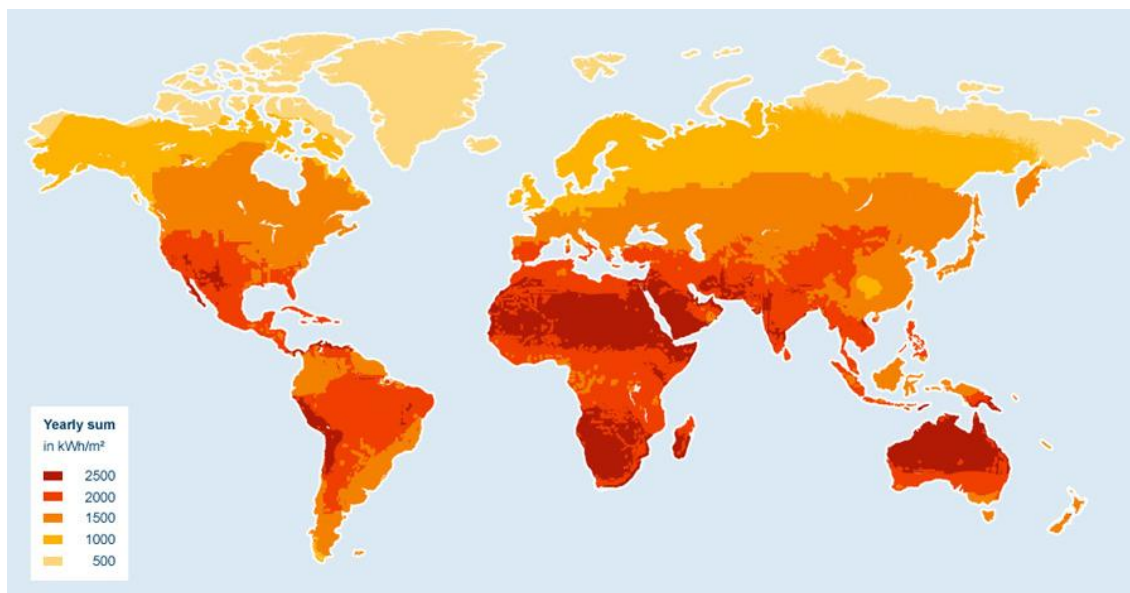
Původ energie	2010	2020	2030
biomasa	62,36	93,48	105,52
geotermální	2,2	10,51	17,7
solární	0,28	2,25	4,12
<b>Teplo celkem</b>	<b>64,84</b>	<b>106,24</b>	<b>127,34</b>

Zdroj: Ministerstvo životního prostředí (2009).

## 1.2 Solární energie

Zářivý tok dopadající na planetu Zemi má přibližnou hodnotu  $3,85 \cdot 10^{26}$  W a z tohoto údaje lze dalšími výpočty získat hodnotu intenzity ozáření (solární konstantu), což je zářivý tok, který má na ploše kolmé ke směru dopadu intenzitu  $1\,367$  W.m<sup>-2</sup> (Sobíšek 1993). Na obrázku 1.1 je patrné geografické rozložení intenzity globálního záření. Globální záření je tok krátkovlnného záření směřující dolů a je dáno součtem přímého (insolace) a rozptýleného (difuzního) slunečního záření. Přímé záření je krátkovlnného charakteru, přichází z malého prostorového úhlu, v jehož ose je střed Slunce a dopadá na plochu kolmou k ose tohoto úhlu. Difúzní záření vzniká rozptylem slunečního záření na molekulách vzduchu a na částicích atmosférického aerosolu (např. vodní kapičky, led, prachové částice) a je definováno jako krátkovlnné záření směřující dolů, dopadající na vodorovnou plochu z prostorového úhlu  $2\pi$  po odstínění přímého slunečního záření (Sobíšek 1993). Sluneční záření je využíváno ihned v primární podobě, nebo sekundárně, kdy se elektromagnetické záření již dříve přeměnilo a uložilo v jiný druh energie (Orel 2001).

Obrázek 1.1: Roční průměr globálního záření



Zdroj: Energy Informative (2013)

V historii jsou s využitím sluneční energie spjata jména jako Archimédes (287-212 př. Kr.), Buffon (18. stol.), Mouchot a Piffr (19. stol.) nebo Trombé (konec 20. stol.), který uvedl do provozu první experimentální solární elektrárnu o výkonu

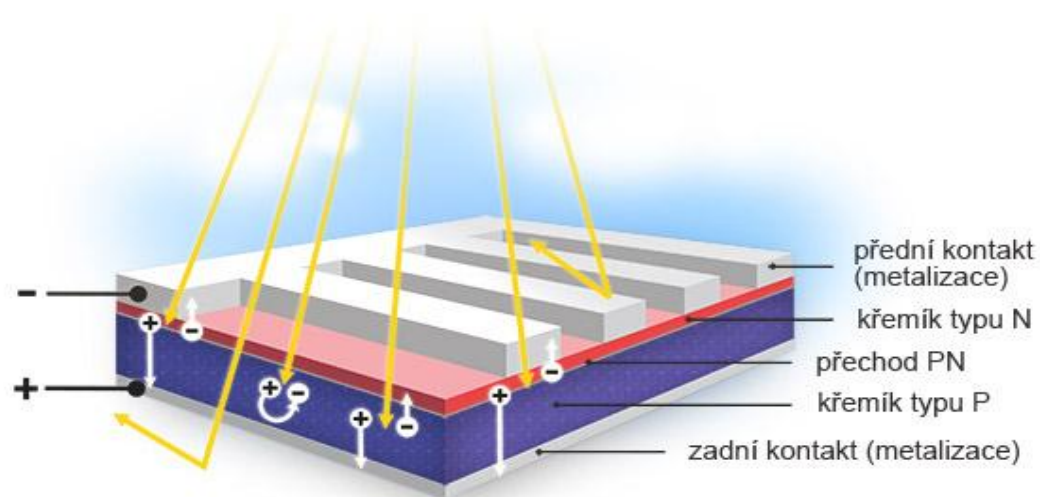


2,5 MW (Augusta 2001). Později se vývoj přenesl zejména do USA (Kalifornie), Španělska a Izraele. Do praxe byly uvedeny systémy, díky kterým získáváme ze slunečního záření elektřinu a teplo, ať už na úrovni průmyslové (velké fotovoltaické elektrárny), tak na úrovni uživatelské (vytápění rodinných domů).

### 1.2.1 Solární fotovoltaické systémy

Produkce elektrické energie přímo ze slunečního záření je umožněna díky fotovoltaickému jevu, jehož objev z roku 1839 je připisován francouzskému fyzikovi Edmondu Becquerelovi (Boyle 2004). O století později se již objevily první solární články použitelné v praxi, zejména díky výzkumu použití polovodičů (germanium, křemík) – tím vzrostla jejich účinnost. Obrázek 1.2 zjednodušeně popisuje princip fotovoltaického jevu. Částice světla, fotony, svou energií při dopadu na článek vyráží elektrony, které se díky polovodičové struktuře typu P (děrová vodivost, nabíjí se kladně) a N (neutronová vodivost, nabíjí se záporně) separují k záporně nabitému kontaktu a vytvářejí stejnosměrný elektrický proud (MŽP 2009, Augusta 2001).

Obrázek 1.2: Princip činnosti solárního článku



Zdroj: SOLARTEC s.r.o.

Důležitým parametrem je účinnost solárního článku. Ta je dána jako procento vyrobené energie ze slunečního záření, které dopadlo na solární článek (Boyle 2004). Účinnost nejstarších článků nebyla vyšší než 1 %, ale s vývojem modernějších

technologíí a objevováním nových použitelných materiálů rostla. V současnosti se účinnost pohybuje v rozmezí 12,5 až 33,8 % (špičkové hodnoty) v závislosti na materiálu použitém při výrobě solárního článku (EkoWATT 2010).

*Tabulka 1.4: Přehled účinnosti moderních solárních panelů podle použitého materiálu*

<b>Materiál</b>	<b>Špičková účinnost [%]</b>
amorfni tenkovrstvý křemík	12,5
monokrystalický křemík	18
CIGS (měď, indium, galium, selen)	20
vícevrstvé články z různých vrstev materiálů (lépe využívají sluneční spektrum)	33,8

*Zdroj: EkoWATT (2010)*

Z hlediska aplikace v praxi můžeme rozdělit fotovoltaické systémy na samostatné (ostrovní, grid-off), hybridní a připojené k síti (grid-on). V místech, která jsou odlehlá, nebo nemají elektrickou přípojku, se osvědčují ostrovní systémy. Jako příklad lze uvést chaty, obytné přívěsy či jachty. Menší solární panely je možné snadno instalovat na zařízení, jako jsou parkovací automaty, veřejné osvětlení nebo vodní čerpadla a tím docílit jejich energetické nezávislosti na síti. Jejich součástí bývá akumulátor energie. Grid-on systémy dodávají vyrobenou energii přes střídač proudu (stejnoseměrný proud přemění na střídavý) do elektrické sítě, což je ekonomicky výhodné, díky regulovaným výkupním cenám a zeleným bonusům (EkoWATT 2010). Hybridní řešení jsou pak kombinací těchto dvou systémů. Jsou připojeny k síti, ale zároveň mají i akumulátor pro uložení a následné využití vyrobené energie.

V ČR se energetická hodnota dopadajícího slunečního záření pohybuje mezi 900 až 1 200 kWh.m<sup>-2</sup> za rok (může se však meziročně lišit o ± 10 %) a systém s instalovaným výkonem 1 kW<sub>p</sub> může za těchto podmínek ročně vyrobit 800 až 1 000 kWh elektrické energie (EkoWATT 2010). Důležitými faktory, které mohou výkon fotovoltaických panelů snižovat, jsou například:

- znečištění atmosféry a oblačnost,
- napadané listí nebo ptačí trus na panelu,
- stínění,
- orientace a sklon panelu.

V našich geografických podmínkách je ideální orientace na jih a sklon přibližně 35°. Panely je možné doplnit automatickým polohovacím zařízením, které je natáčí do nejlepší okamžité polohy vzhledem k pohybu Slunce. Toto zařízení je však nákladné a doba návratnosti investic se tím výrazně prodlouží.

### **1.2.2 Fototermální přeměna slunečního záření**

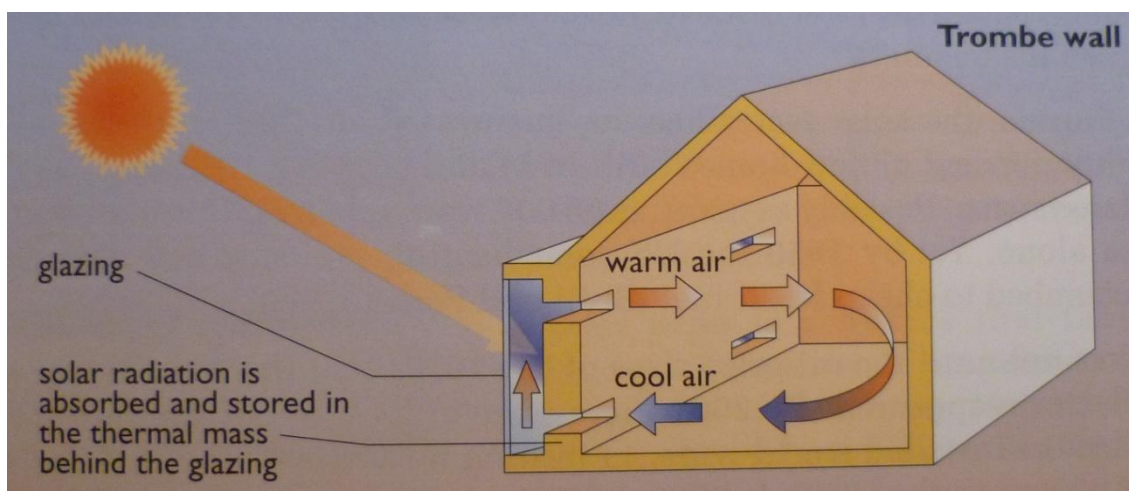
Vedle přímé přeměny slunečního záření na elektřinu lze jeho potenciál využít také k zásobování objektů teplem. Je to nejjednodušší cesta, jak energii Slunce využít. Základní dělení solárních termických systémů je na aktivní a pasivní. Neefektivněji se dá pomocí aktivního systému ohřívat užitková voda s úsporou nákladů až 60 % a úspora nákladů spojených s celoročním vytápěním může dosáhnout 25 až 30 % (Augusta 2001, MŽP 2009).

Pasivní termické systémy využívají sluneční záření k vytápění budov. Ty jsou již při architektonickém návrhu koncipovány tak, aby byla energie Slunce efektivně využita. První zmínky pochází už z dávné historie, zejména z období 1. až 5. století ve starém Římě, kdy byly stavěny např. domy a lázně vytápěné Sluncem a existovaly také zákony, které zakazovaly zastínit stojící budovu novostavbou (Kreider, Kreith 1981). Pasivní systémy nepotřebují žádné přídavné zařízení, využívá se čistě záření, které projde do interiéru budovy prosklenými stěnami. V tom je jeho nesporná výhoda, avšak skutečně efektivní využití těchto systémů závisí na více detailech, jako jsou například:

- pohlcování zářivé energie povrchy materiálů,
- tepelná kapacita látek (k akumulaci energie),
- tepelná vodivost,
- přenos tepla samovolným prouděním vzduchu (teplovzdušný ohřev v budovách),
- tvar, orientace, hmotnost, druh použitého materiálu a povrchová úprava budov.

Zařízení používaná v pasivní sluneční energetice jsou následující: akumulární Trombého stěna (obrázek 1.3), transparentní izolace, výplně otvorů, tepelná zrcadla či inteligentní fasádní a stínící materiály (Brož 2001).

Obrázek 1.3: Akumulační Trombého stěna – příklad pasivního systému

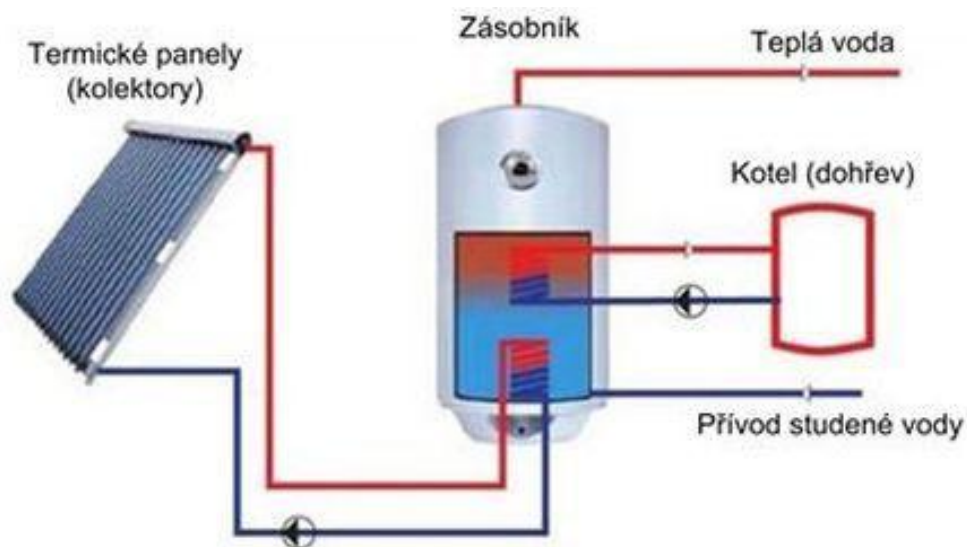


Zdroj: *Renewable energy* (2004)

Trombého stěna funguje na principu ohřívání a akumulace vzduchu mezi prosklenou stěnou a fasádou domu. Teplý vzduch má menší hustotu a stoupá vzhůru, otvory v horní části fasády se dostává do interiéru, kde ohřívá prostor a ochlazený opouští dům otvory ve spodní části. Celý proces se opakuje dokola.

Aktivní systémy se začaly rozvíjet mnohem později než pasivní, a to ve druhé polovině 19. století, ale spíše než pro ohřev vody se získané teplo používalo v tzv. slunečních motorech sloužících pro pohon parního stroje (Brož 2001). V nejvyšší míře se vývoj těchto systémů odehrával v USA, kde si v roce 1909 nechal William J. Bailey patentovat první termální kolektor pro ohřev vody a v následujících letech gradovalo praktické využití tak, že na konci 30. let mělo 80 % nově vystavěných domů v Miami vlastní solární systém pro ohřev vody (Butti, Perlin 1980). Základním prvkem systému je již zmíněný kolektor trubicovitého tvaru – fototermický sběrač slunečního záření. Skládá se z kovového absorbéru (pohlcuje záření) a teplotnosného média (kapalina, plyn, nebo jejich kombinace), které obklopuje absorbér a přebírá jeho tepelnou energii. Existuje mnoho variací tohoto základního principu, nejrozšířenější jsou ploché deskové kolektory s kapalinou, většinou instalované na střeše domu. Další nedílnou součástí systému je zásobník sloužící k akumulaci tepla. V závislosti na podobě teplotnosného média se může jednat o prostý kapalinový zásobník, nebo zásobník využívající změny skupenství. U běžně používaných kapalinových kolektorů (obrázek 1.4) zajišťuje oběh vody čerpadlo a pro dohřev při velkém odběru TUV, v zimě nebo v noci se spouští přídatný kotel.

Obrázek 1.4: Základní princip termického systému pro ohřev vody



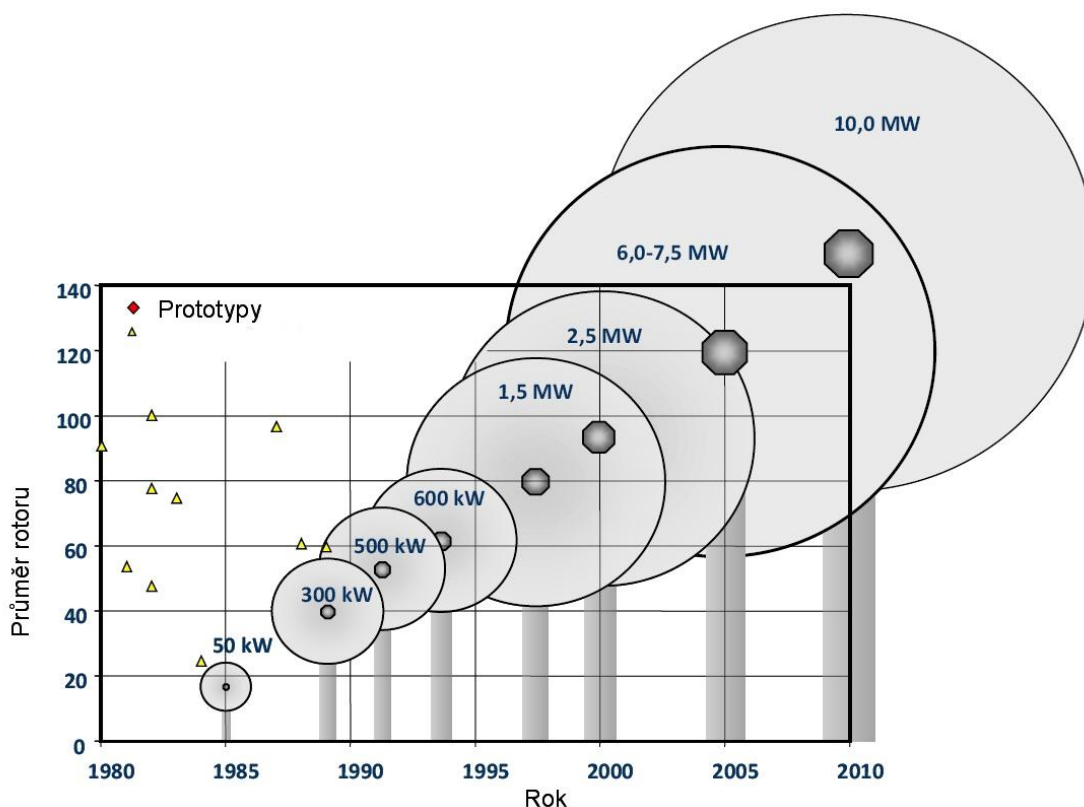
Zdroj: Wolf, Benda (2014)

V ČR běží již řadu let dotační programy na pořízení solárních systémů. Jedná se například o program „Zelená úsporám“, který od roku 2009 zajišťuje třetinové až poloviční pokrytí nákladů na pořízení systémů. Pořizovací ceny pro rodinné domy se pohybují od 100 do 300 tis. Kč a předpokládaná návratnost investice je 3 až 10 let v závislosti na velikosti solárního systému (MŽP 2009).

### 1.3 Větrná energie

Člověk využívá vítr již tisíce let, prvotně k pohonu lodí na vodě, později dokázal díky větrným mlýnům drtit obilná zrna na mouku nebo pumpovat vodu. Mlýny byly rozšířeny zejména v Holandsku a zbytku severozápadní Evropy, kde jsou dobré povětrnostní podmínky a naopak nevhodné hydrologické podmínky pro konstrukci vodních mlýnů (Smil 1994). První větrná turbína určená k produkci elektrické energie se objevila koncem 19. století v Dánsku (Poul la Cour) a v USA (Charles Brush), avšak vývoj těchto zařízení dalších 50 let nijak výrazně nengradoval, což se změnilo až v polovině 20. století sestrojením účinnějších generátorů (Burton, Jenkins, Sharpe, Bossanyi 2011). Z obrázku 1.5 je patrný současný trend vývoje velikosti větrných elektráren v čase.

Obrázek 1.5: Vývoj velikosti VtE v čase



Zdroj: ČSVE

Za posledních 30 let se průměr rotoru zvětšil přibližně 7 krát, instalovaný výkon dokonce 200 krát. Důvody jsou dané fyzicko-geograficky a ekonomicky. S výškou roste rychlost větru, delší lopatky rotoru umožňují zachycení větru na větší ploše a z ekonomického hlediska je jedna velká VtE (2 MW) méně nákladná než čtyři malé s výkonem 0,5 MW (MŽP 2009).

Bez větru by nebylo možné tuto energii využívat. Zjednodušeně lze popsat vznik větru tak, že Slunce nerovnoměrně zahřívá zemský povrch a tím se ohřívá i přilehlá vrstva atmosféry. Teplý vzduch pak stoupá vzhůru, protože je lehčí než studený. Vlivem dalších faktorů, jako jsou zemská rotace nebo střídání dne a noci, vznikají tlakové rozdíly (tlakové výše a níže). Při vyrovnávání tlakových rozdílů vzniká vítr a proudí z míst vyššího tlaku vzduchu do míst s nižším tlakem. Nikoliv ovšem nejkratším směrem. Směr pohybu vzduchu je determinován výslednicí sil barického gradientu, Coriolisovy síly (uchylující síly zemské rotace), odstředivé síly a síly tření (Sládek 1991). Rychlost větru je dána velikostí tlakových rozdílů. Platí pravidlo, že větší rychlost má nad mořem (vodní plochy se ohřívají pomaleji než pevnina a tím vznikají

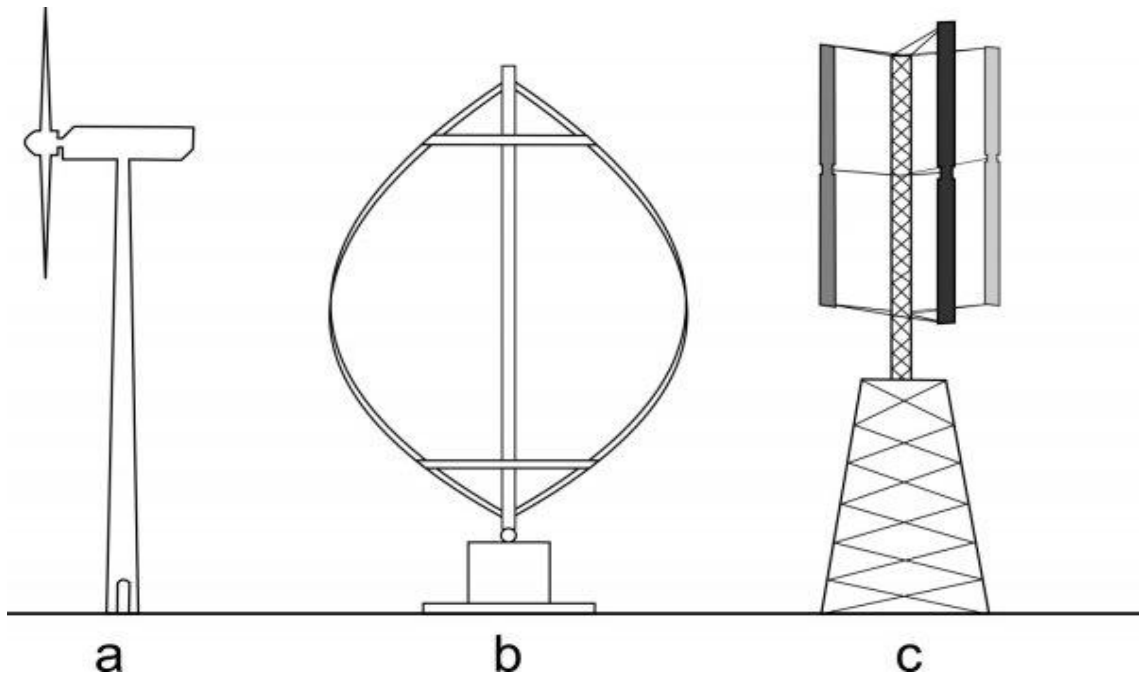
větší tlakové rozdíly) a ve větší nadmořské výšce, kde mizí vliv reliéfu, jehož členitost vítr zpomaluje. Vzorec pro výpočet energie větru při použití rozdělení četností rychlostí větru můžeme vyjádřit následovně:

$$E = \frac{l_p}{2rT} \sum_{j=1}^k f_j v_j^3$$

kde E = energie [J]; l = délka doby měření [s] (průměry za 10 min, tj. 600 s); p = tlak vzduchu [Pa]; r = plynová konstanta vzduchu (287,04 J.kg<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>); T = teplota [K]; j, k = třídy rychlostí větru; f<sub>j</sub> = četnost tříd rychlostí větru; v<sub>j</sub> = průměrná rychlost j-té třídy větru za dobu pozorování.

Moderní větrné turbíny pracují na principu vztahové síly větru a dělí se na dva základní typy podle polohy osy otáčení – horizontální (obrázek 1.6a) a vertikální (obrázek 1.6b a 1.6c). Horizontální turbíny jsou v praxi běžnější a vyznačují se vyšší účinností, až 48 %. Účinnost vertikálních turbín je přibližně 18 % u starších typů turbín a 38 % u novějších, např. u Darrieovy turbíny (Augusta 2001).

Obrázek 1.6: Typy větrných elektráren podle polohy osy otáčení



a) větrná elektrárna s horizontální osou, b) větrná elektrárna Darrieus, c) větrná elektrárna Giromill

Zdroj: Da Rosa (2009)

Instalace VtE zdaleka není možná všude tam, kde jsou k tomu vhodné povětrnostní podmínky. Větrné elektrárny mohou mít potenciální dopady na životní prostředí. Jedná se především o následující faktory:

- narušení krajinného rázu,
- hluk a infrazvuk,
- stroboskopický efekt,
- kolize s ptáky a netopýry,
- rušení televizního signálu.

Každý z uvedených faktorů se může více či méně promítnout do plánů na výstavbu VtE, záleží vždy na konkrétním místě stavby a typu elektrárny. Naopak vhodným argumentem pro podporu rozvoje větrné energie je snížení emisí CO<sub>2</sub> a ostatních emisí vznikajících při výrobě elektřiny a stejně tak neexistence tuhých a radioaktivních odpadů. Větrná elektrárna o výkonu 1 MW je schopna vyrobit elektřinu pro zhruba 1 000 domácností a snížit emise CO<sub>2</sub> asi o 2 200 tun ročně (EkoWATT 2010).

Česká republika zdaleka nepatří ke světové ani evropské špičce ve využívání větrné energie. Oproti jiným státům zde nejsou tak příznivé povětrnostní podmínky. Podle statistik EWEA (2013) patří ČR mezi státy EU na 24. pozici s pouhým 1% podílem spotřeby energie vyrobené větrnými elektrárnami. Na prvním místě je s velkým náskokem Dánsko (27 %), následované Portugalskem (17 %) a Španělskem (16 %). Průměr za všechny členské země EU činí 7 %. Nejpříznivější oblastí ČR podle potenciálu větrné energie je Českomoravská vrchovina, kde ale větší využití komplikují faktory narušení krajinného rázu a dostupnosti sítí. Další vhodné lokality jsou Nízký Jeseník a Krušné hory, avšak podíl ostatních oblastí s větrným energetickým potenciálem je nezanedbatelný (Sládek 1991).

Přímořské státy postupně začínají realizovat projekty umístění větrných elektráren na moři několik kilometrů od pobřeží (tzv. off-shore elektrárny). Nad mořskou hladinou je vítr rychlejší, stálejší a výrazně nemění směr proudění. To umožňuje konstrukci elektráren s vyšším výkonem než na pevnině, čímž se docílí i vyšších energetických zisků. Zdá se, že tímto směrem se bude ubírat i budoucí vývoj.

#### **1.4 Vodní energie**

Stejně jako energie větru, je i energie vody od pradávna využívána lidstvem. První zmínky o vodních kolech sloužících k zavlažování se datují do období před naším



letopočtem do oblastí Číny, Indie a Blízkého východu. Od 6. stol. n. l. se začínají objevovat vodní mlýny i v Evropě (Francie, Tyrolsko). Podle kroniky Hájka z Libočan pochází první vodní mlýn v Čechách, potažmo ve střední Evropě, z roku 718 n. l. Větší rozvoj vodních strojů je spjat hlavně s novými poznatky v oblastech mechaniky a matematiky v 18. stol., kdy Segner a Bernoulli zdokonalili vodní kolo a Euler položil základy teorie vodních turbín (Štoll, Kratochvil, Holata 1977). Na této teorii sestrojili první tlakové vodní turbíny Fourneyron (1827), Francis (1847), Pelton (1880) a Kaplan (1918), přičemž poslední tři jmenované typy se využívají dodnes.

Kdyby na Zemi neexistoval koloběh vody, nebylo by možné vyrábět elektrickou energii pomocí vodních turbín. Sluneční energie spolu s gravitací a rotací planety ovšem tento oběh umožňuje. Velmi zjednodušený průběh je následující: voda se vypařuje z vodních ploch (oceánů, toků, nádrží), zemského povrchu a rostlin, v atmosféře se ve formě oblaků přemísťuje a jako dešťové či sněhové srážky se vrací na zemský povrch, kde se část infiltruje pod povrch a část hromadí a odtéká. Elektrickou energii získáme tak, že spádem přivedeme proudící vodu do turbíny, ta se tlakem roztočí a pohání elektrický generátor. Důležité vlastnosti pro výběr lokalit vhodných k vybudování elektráren jsou spád a průtok. Spád je definován jako výškový rozdíl hladin dvou míst na dané vzdálenosti. Průtok představuje objem vody, který proteče profilem koryta za jednotku času.

Existuje celá řada typů používaných vodních turbín a jejich instalace v elektrárnách (malých i velkých) závisí vždy na konkrétních podmínkách prostředí. Tabulka 1.5 uvádí některé nejrozšířenější typy turbín s charakteristikou vhodného spádu a průtoku. Vodní kolo je mezi modernějšími turbínami uvedeno pro ilustraci.

*Tabulka 1.5: Typy vodních turbín a vhodnost jejich použití*

<b>Turbína</b>	<b>Spád [m]</b>	<b>Průtok [<math>\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}</math>]</b>
vodní kolo	do 1	řádově v jednotkách
Kaplanova	1 až 20	0,15 až 20
Francisova	dříve od 0,8 a více dnes od 10 a více	0,15 až 15
Bánkiho	5 až 60	0,01 až 0,9
Peltonova	30 a více	0,01 a více
vírová	do 3	do 1
SETUR *	3,5 až 20	0,004 až 0,02

\* SETUR = Sedláčková turbína, patentovaný vynález Ing. Miroslava Sedláčka (ČVUT)  
Zdroj: EkoWATT

Vodní turbíny jsou po technické stránce nejdokonalejší mechanické motory (Augusta 2001). Jejich provoz neznečišťuje životní prostředí a dosahují nejvyšší účinnosti, která může být až 95%. Turbíny se vyrábějí v různých velikostech podle technických parametrů vodního díla, do kterého mají být instalovány. Jak uvádí Štoll, Kratochvil a Holata (1977), elektrárny se dělí podle způsobu provozu na průtočné (jezové), přehradní (špičkové) a přečerpávací. Jiné dělení (MŽP 2009) je na malé (do 10 MW) a velké (nad 10 MW). Uvedené dělení je pouze orientační, v jiných zdrojích se může objevovat dělení odlišné, například v EU se považuje za malou vodní elektrárnu zařízení s výkonem do 5 MW, v ČR to je výkon do 10 MW. Energetický výkon vodního toku můžeme vyjádřit dosazením hodnot do následujícího vzorce:

$$P = 9,8 \cdot q \cdot h$$

kde  $P$  = výkon toku [kW];  $q$  = průtok [ $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ];  $h$  = spád [m]; 9,8 = střední hodnota tíhového zrychlení. Pokud hodnotu získanou z tohoto vzorce vynásobíme účinností turbíny a generátoru, získáme hodnotu výkonu elektrárny.

Potenciální dopady na životní prostředí mohou být ovšem jiného charakteru, než znečišťujícího. Vodní elektrárna vytváří v původním korytě překážku a to může mít za následek pokles lokální biodiverzity, například omezením migrace ryb nebo zatopením přilehlých biotopů. V dnešní době je však otázce ochrany životního prostředí věnována mnohem větší pozornost, než v minulosti, kdy byla výstavba vodních elektráren různých velikostí nejintenzivnější. Při rekonstrukci starých MVE se nově budují tzv. rybí přechody (obrázek 1.7), které umožňují migrujícím vodním živočichům překonat nepřirozený výškový stupeň v podobě jezu. Aby se ryby a nežádoucí nečistoty nedostaly do tělesa turbíny, jsou k tomuto účelu v náhonu instalována jemná česla a případně i elektronický odpuzovač. Provozovatelé elektráren ve snaze dosáhnout co nejvyšší produkce elektřiny mnohdy nerespektují předepsané regule. Tím, že na turbíny vhání maximální množství vody, není v původním korytě zajištěn minimální předepsaný průtok. Dalším nešvarem bývá vypouštění nečistot zachycených na česlích zpět do řeky (provozovatel má povinnost tyto nečistoty likvidovat). Významným kladným faktorem vodních elektráren je efekt okysličování vody a tím zvyšování její samočisticí schopnosti (MŽP 2009).

*Obrázek 1.7: Přírodě blízký rybí přechod vedle MVE Beroun*



*Zdroj: Zůna (2011)*

Podle dat ČEZ (2012) byl podíl vodních elektráren na výrobě 3,63 % a ze všech druhů obnovitelných zdrojů energie v ČR byl nejvyšší. Teoreticky využitelný potenciál vodních toků v ČR je 3 384,6 GWh/rok a v roce 2012 dosáhl 87% naplnění. Do budoucna tak lze očekávat spíše rozvoj využití jiných typů OZE, protože kapacita výroby energie z vodních zdrojů je téměř naplněna.

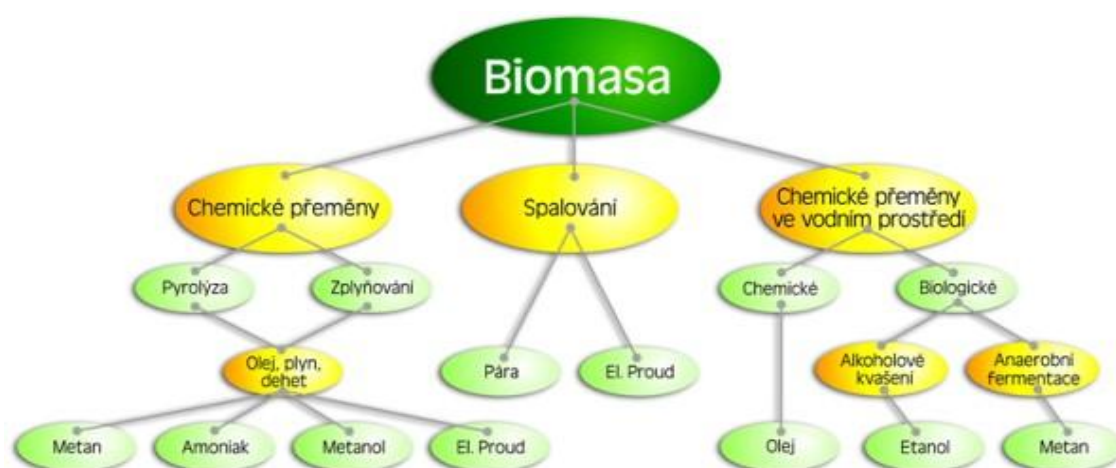
### **1.5 Energie biomasy**

Biomasa je nejstarším zdrojem energie, který lidstvo využívalo a jednalo se o spalování dřeva a suché trávy, čímž naši předci získávali teplo (Koloničný, Hase 2011). V období posledních dvou století docházelo ke zvyšování koncentrace  $\text{CO}_2$  v ovzduší, zejména díky velkému rozvoji průmyslu a s tím spojeným spalováním fosilních paliv (Ochodek, Koloničný, Janásek 2006). Akumulace nejenom  $\text{CO}_2$ , ale i dalších skleníkových plynů ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ), má za následek zhoršené vyzařování nahromaděného tepla zpět do vesmíru, což může vést ke klimatickým změnám. Biomasa se jeví jako perspektivní obnovitelný zdroj energie do budoucna, kdy bude kladen velký důraz na omezení používání fosilních paliv, ať už kvůli jejich neekologickému spalování, či kvůli blízkému se vyčerpání jejich zásob.

Podle standardu ASAE (1997) se biomasa definuje jako „organická hmota rostlinného původu získaná na bázi fotosyntetické konverze sluneční energie“. Použitelná je k výrobě elektřiny, tepla, ale i k pohonu motorových vozidel. K těmto energetickým účelům lze biomasu cíleně pěstovat, nebo zužitkovat odpady z lesnické činnosti či zemědělské výroby. Základní dělení biomasy je na suchou a mokrou. Z toho vychází technologické postupy jejího zpracování (obrázek 1.8):

- termo-chemická přeměna (pyrolýza, zplyňování),
- bio-chemická přeměna (fermentace, kvašení),
- mechanicko-chemická přeměna (lisování, esterifikace, peletace).

Obrázek 1.8: Možnosti zpracování biomasy



Zdroj: TZB – info

Druhy biomasy použitelné k energetické přeměně mohou být následující:

- rostliny vhodné pro pěstování k energetickému využití (dřeviny a byliny),
  - rostliny jednoleté, víceleté a vytrvalé (konopí seté, šťovík krmný),
  - energetické trávy (ozdobnice čínská, kostřava rákosovitá),
  - rychle rostoucí dřeviny (topoly, vrby),
- odpadní biomasa,
  - zbytky ze zemědělské výroby (sláma z různých plodin),
  - odpady z živočišné výroby (exkrementy, zbytky krmiv),
  - lesní odpady (kůra, větve, klestí),
  - organická složka tuhých komunálních odpadů (posekaná tráva),
  - organické odpady z potravinářských a průmyslových výrob (odřezky, hobliny, piliny),

- komunální odpady a odpady z ČOV,
  - tuhé odpady z domácnosti,
  - uliční odpady a smetky, odpad z parků a zahrad,
  - odpady ze služeb, malých výroben,
  - odpad ze škol, úřadů, institucí a obchodů,
  - čistírenské kaly.

Tento výčet však není úplný, protože každý stát využívá odlišné druhy biomasy v závislosti na globální biodiverzitě a dalších faktorech.

Zařízení, která tyto výše uvedené produkty dokážou využít, se liší podle jednotlivých druhů. Pro dřevo, dřevěné brikety a pelety jsou určeny domácí a průmyslové kotle (spalování), případně plynové generátory (zplyňování). Spálení 2 kilogramů pelet nahradí energii ze spálení 1 litru topného oleje. Výroba bioplynu probíhá ve fermentačních reaktorech. Nejvydatnější surovinou je drůbeží trus, z jedné tuny lze vyrobit až 100 m<sup>3</sup> bioplynu. V dnešní době přibývá bioplynových stanic s plynovými kogeneračními jednotkami, které z bioplynu vyrábí kombinovaně teplo a elektřinu. Odpady (komunální i jiné) se zpracovávají ve spalovnách, kde se za vysokých teplot (900 až 1 200 °C) energeticky mění na teplo. Moderní výkonné spalovny zpracují až 200 tisíc tun komunálního odpadu ročně (Augusta 2001).

Energetické využití biomasy má převážně kladné dopady na životní prostředí. Při spalování se sice do ovzduší dostávají emise CO<sub>2</sub>, ale pouze v míře, ve které je z atmosféry odebrala rostlina při svém růstu. Biomasa je tedy CO<sub>2</sub> neutrální a její spalování nemá vliv na změny klimatu. Pokud mají kotle prachové filtry, pak jsou hodnoty ostatních vypouštěných emisí minimální. Motory spalující bionaftu, rostlinný olej nebo bioetanol mají emisní hodnoty srovnatelné s motory na bázi ropných derivátů, avšak jejich výhoda spočívá ve snížení kouřivosti motoru a případný únik těchto biopaliv s sebou nenese tak velké ekologické riziko, jako u paliv pro dieselové či benzínové motory. Problematickým faktorem může být však zábor zemědělské půdy, zejména v rozvojových zemích, kde si tyto plochy pronajímají firmy z vyspělých zemí k pěstování biomasy na úkor pěstování potravin. Dalším problémem, který se může vyskytnout, je zápach. Většinou bývá způsoben špatným technologickým provedením projektu, případně nedodržením provozního řádu – tyto chyby jsou ovšem lidského faktoru a je možné se jich vyvarovat důkladnější kontrolou (MŽP 2009).

Vývoj výroby tepla a elektřiny z biomasy v letech 2004 až 2012 v ČR dokumentují grafy v přílohách 1 a 2. Podle odhadu Vlády ČR (2008) by se do roku 2020 měla produkce energie z biomasy zdvojnásobit, a to až na hodnotu 77 mil. MWh. Celkový podíl na energetické bilanci ČR by se měl vyšplhat na 15 %. Největší potenciál má biomasa zemědělská (54 mil. MWh) a lesní (14 mil. MWh), zbytková biomasa má pro budoucí využití nejmenší předpoklady (9 mil. MWh). U biopaliv se očekává vyšší nárůst využití v důsledku zvyšování cen ropy.

## 1.6 Geotermální energie

Geotermální energií lze označit přírodní teplo Země vázané na horniny, které obvykle bývají nasycené vodou a tím představují potenciálně využitelný zdroj energie (MŽP 2007). Lidé již na přelomu našeho letopočtu využívali termální prameny (Itálie, Řecko, Blízký i Dálný východ). V 19. století se na Islandu teplou vodou ze Země vytápěly skleníky a v roce 1928 přešlo na zásobování teplem z geotermálních zdrojů hlavní město Reykjavík. Za průkopníky průmyslového využití geotermální energie jsou považováni Italové. Francesco Lardel el vyráběl v roce 1827 kyselinu boritou za pomoci přehřátých par z toskánských fumarol. Ve stejné oblasti poté v roce 1904 Pierro Ginori Conti rozsvítil tepelnou energií 5 žárovek. V roce 1912 byl uveden do provozu generátor elektrické energie o výkonu 250 kW, pracující na principu popsaném Contim.

Základní dělení geotermálních zdrojů je na tzv. pole suchých par, pole mokrých par a pole nízkoteplotní. Obě pole par, suché i mokré, se využívají k výrobě elektrické energie v geotermálních elektrárnách. Nízkoteplotní pole je naopak na vhodných místech ideální k vytápění objektů či bazénů, a to díky tepelným čerpadlům.

Elektrárny na suchou páru jsou nejjednodušší a mají nejvyšší účinnost. Z mělkých vrtů je potrubím odváděna pára o teplotě 180 až 250 °C a tlaku až 10 MPa, ta následně svou silou roztáčí turbínu spojenou s generátorem elektrické energie. Po průchodu turbínou se pára sráží v kondenzátoru a vzhledem ke své čistotě je vypouštěna do ovzduší, nebo se jiným vrtem vrací zpět do zemské kůry. Největší elektrárnou tohoto typu je kalifornská The Geysers o celkovém výkonu 1 224 MW a z 1/3 se podílí na energetickém zásobování San Francisca (Augusta 2001).

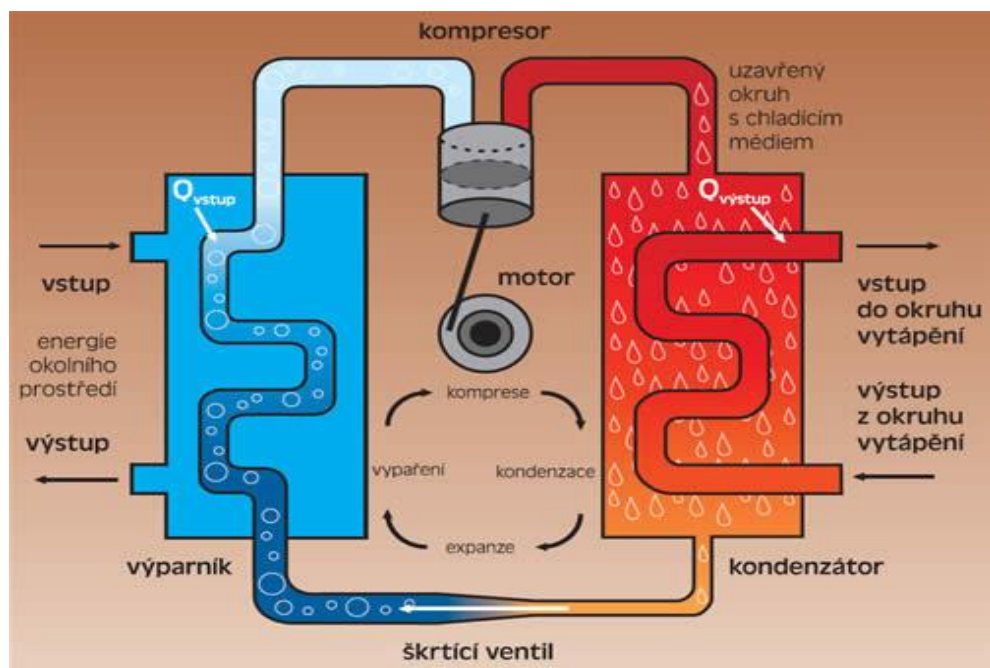
Mokrá pára se využívá v elektrárnách lokalizovaných v místech se zdroji horké vody o teplotě 180 až 380 °C. V nádržích se při změně tlaku přemění část vody na páru, která je následně vháněna do turbín. Pokud má voda nižší tlak a teplotu, v tzv. binárním systému ohřívá jinou pracovní kapalinu s nižším bodem varu (propan, izobutan, freony).

Kvůli agresivním látkám obsaženým ve vodě a mokré páře musí být zařízení elektrárny vyrobena ze speciálních ocelí a nerez, což výrazně zvyšuje jejich cenu. Tyto elektrárny obvykle mají výkon 10 až 60 MW a nejvíce, osm, jich pracuje v Japonsku.

V nedávné minulosti byl testován systém Hot-Dry-Rock (HDR), který měl umožnit nahromaděné tepelné energii v hloubce několika kilometrů postup k zemskému povrchu. To se provádělo pomocí hlubinných odstřelů a následného vhánění vody pod vysokým tlakem. Metoda HDR se však příliš neosvědčila, většina pokusů skončila nezdarem. Další metodou s obdobným cílem je tzv. Fractured-Hot-Rock (FHR), která se místo umělých hlubinných explozí zaměřuje na přirozeně rozlámání horniny. Systémy FHR jsou však zatím v počátcích svého vývoje (MŽP 2007).

Tepelná čerpadla jsou nejrozšířenější zařízení v běžné praxi. Pracují na principu odebírání tepla z okolního prostředí a v uzavřeném okruhu toto nízkopotenciální teplo převádějí na vysokopotenciální, vhodné pro vytápění nebo ohřev TUV (obrázek 1.9). Důležitou vlastností tepelného čerpadla je topný faktor, který představuje podíl topného výkonu a příkonu (resp. energie dodané / spotřebované). Čím je topný faktor vyšší, tím větší je tepelný zisk a vytápění je levnější. Pro dosažení vysokého topného faktoru je zapotřebí použít jako zdroj nízkopotenciálního tepla látku s nejvyšší možnou teplotou a ohřívat teplonosnou látku vždy jen na nezbytně nutnou teplotu (Beranovský 2001).

Obrázek 1.9: Princip tepelného čerpadla s kompresorem



Zdroj: EkoWATT

Tepelná čerpadla se podle způsobu odsávání par z výparníku nejčastěji dělí následovně:

- kompresorová (nejběžnější),
- absorpční (málo časté),
- hybridní (zakázková výroba).

Podle druhu ochlazovaného a ohřivaného média se tepelná čerpadla dělí na typy uvedené v tabulce 1.6 (nejčastější kombinace).

*Tabulka 1.6: Přehled druhů tepelných čerpadel*

<b>Typ čerpadla (ochlazuje se / ohřívá se)</b>	<b>Možnosti použití</b>
vzduch / voda	univerzální typ, pro ústřední vytápění
vzduch / vzduch	jako doplňkový zdroj tepla, též pro teplovzdušné vytápění, klimatizaci
voda / voda	pro využití odpadního tepla, geotermální energii
nemrzoucí kapalina / voda	univerzální typ pro ústřední vytápění, zdrojem tepla je nejčastěji vrt nebo zemní kolektor
voda / vzduch	pro teplovzdušné vytápěcí systémy

*Zdroj: Beranovský (2001)*

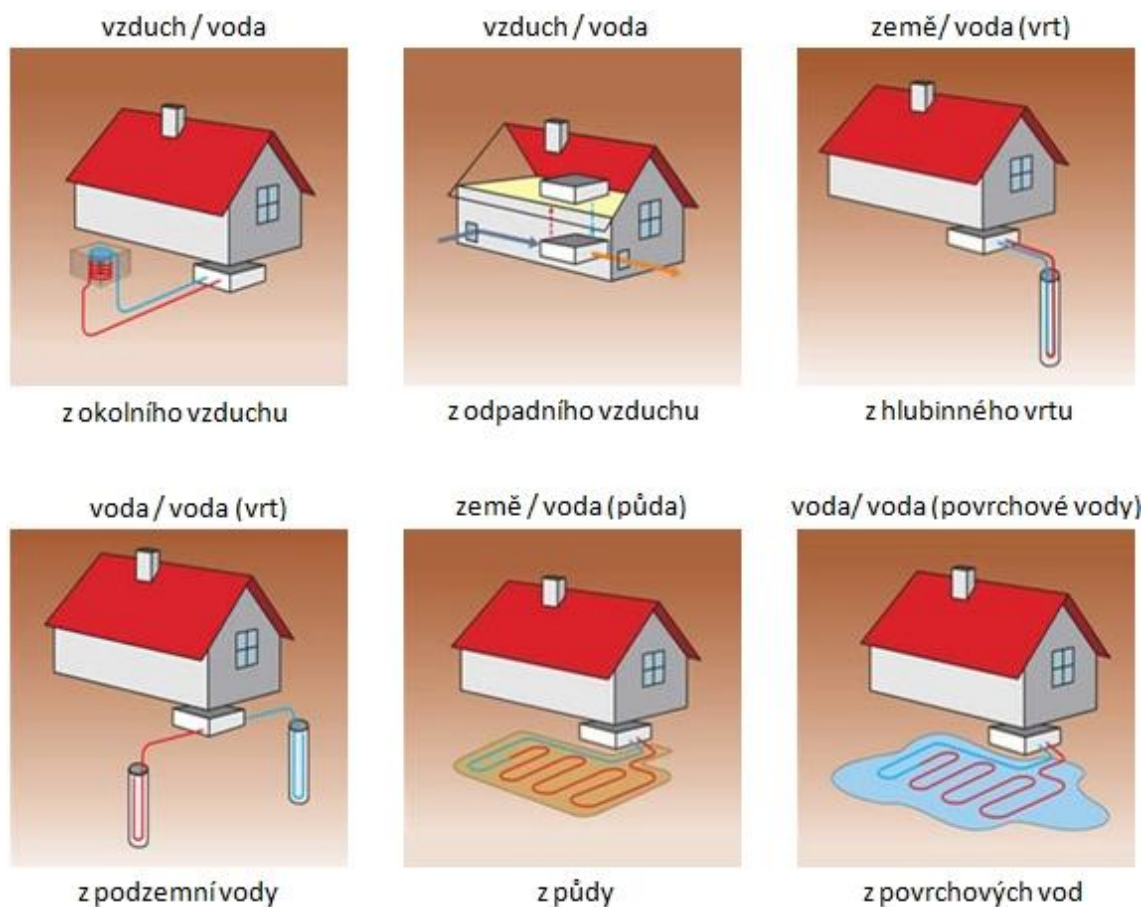
Tepelné čerpadlo se většinou používá v kombinaci s jiným zdrojem tepla a pracuje tak v tzv. bivalentním režimu. To znamená, že v určitém období roku (např. v zimních měsících) je zapojen druhý zdroj tepla (špičkový zdroj – obvykle kotel), který kryje spotřebu přibližně z 10 až 15 %. Graf závislosti výkonu čerpadla na venkovní teplotě a znázornění polohy bivalentního bodu je k nahlédnutí v příloze 3. Bivalentní režim je praktikován zejména z ekonomických důvodů. Jednotlivé systémy získávají tepelnou energii potřebnou pro provoz různými způsoby. Pro ilustraci jsou tyto způsoby znázorněny na obrázku 1.10, kde je zjednodušeně zaznačen kolektor a čerpadlo.

Problémy spojené s využíváním geotermální energie mohou být ekonomického či ekologického charakteru. Vzhledem k tomu, že se jedná o poměrně mladou technologii a její vývoj nemá dlouhodobější charakter, je realizace nových projektů nákladná. Například u projektů nových elektráren se již hydrogeologické průzkumy (mnohdy spojené s provedením zkušebního vrtu) pohybují v řádu milionů Kč a ty navíc mohou i ukázat, že dané místo je pro účely využití geotermální energetiky nevhodné. Jako negativní dopad na životní prostředí se v některých případech ukázal vliv na stav hydrogeologických poměrů v podloží. Při špatném provedení mohou vrty narušit hladinu podzemní vody. Proto se provádí před samotným vrtáním důkladný průzkum.



Elektrárny i tepelná čerpadla jsou při provozu relativně hlučné, záleží však vždy na konkrétním typu zařízení.

Obrázek 1.10: Možnosti získávání tepla pro zpracování tepelným čerpadlem



Zdroj: EkoWATT, Obnovitelné zdroje energie

Výraznější využívání geotermální energie v ČR je teprve v začátcích, především kvůli ekonomické náročnosti. Potenciál je ale mnohonásobně vyšší, než je současná spotřeba primárních paliv (MŽP 2009). Pro výrobu elektřiny nejsou místní prameny dostatečně teplé, nevyskytují se zde ani větší výrony horkých plynů. Perspektiva do budoucna je tak předpokládána v tepelných čerpadlech. Podle Vlády ČR (2008) by se v roce 2050 měla geotermální energie podílet asi 14 % na pokrytí dnešní spotřeby primárních zdrojů.

## 2 METODIKA

V teoretické části bakalářské práce je stěžejní rešerše odborné literatury. Tu zastupují české a zahraniční zdroje dostupné v knihovnách a na internetu. Jedná se především o publikace zapůjčené v Knihovně Ústavu pro životní prostředí a Knihovně geografie, zaměřené na jednotlivé druhy obnovitelných zdrojů energie. Dále jsou citována odborná tematicky zaměřená periodika, bakalářské a diplomové práce, sborníky z konferencí nebo elektronické články věnované danému tématu. Doplnkové informace jsou k nalezení také na různých internetových stránkách, věnovaných problematice obnovitelných zdrojů energie (například kvalitní zdroj informací a dat EkoWATT – web Centra pro obnovitelné zdroje energie).

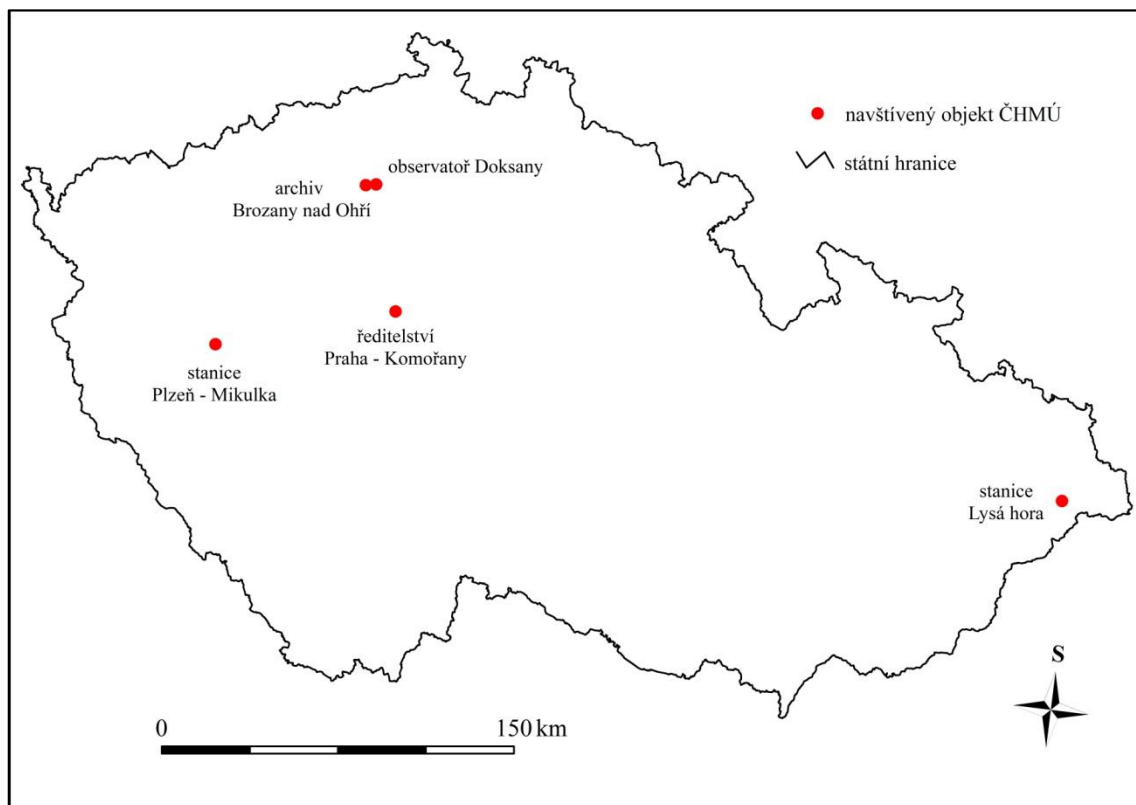
Praktická část vychází taktéž z materiálů použitých pro teoretický rámec, ale navíc jsou zde důležitým informačním zdrojem schůzky se zástupci ČHMÚ a návštěvy popisovaných objektů:

- Ing. Ivan Kain – vedoucí Odboru profesionální staniční sítě,
- Dr. Ing. Martin Možný – vedoucí observatoře Doksany,
- Václava Junková – vedoucí archivu v Brozanech nad Ohří,
- Vladimír Ondruch – meteorolog na stanici Lysá hora,
- Pavel Košatka – správce pobočky v Plzni.

Po předchozí domluvě s uvedenými pracovníky proběhla návštěva konkrétních objektů ČHMÚ (obrázku 2.1). Jednotlivé pověřené osoby umožnily prohlídku technologického zařízení objektů. Na základě polostrukturovaných rozhovorů byly získány informace, které jsou významnými zdroji této bakalářské práce. Zaměstnanci poskytli i technické zprávy obsahující parametry jednotlivých zařízení, případně hydrogeologické posudky. Byla provedena základní fotodokumentace objektů a zařízení.

Obrázky, tabulky a grafy byly převzaty z výše uvedených informačních zdrojů, nebo byly vytvořeny autorem bakalářské práce. Mapy vychází z databáze ArcČR<sup>®</sup> 500 (vznikla ve spolupráci ARCDATA PRAHA, s.r.o., Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního a Českého statistického úřadu), která byla analyzována v prostředí softwaru ArcGIS 10 firmy ESRI. Jako doplňkový podklad bylo pomocí prohlížečské služby WMS připojeno ortofoto ČR, které pořizuje a spravuje ČÚZK.

Obrázek 2.1: Navštívené objekty ČHMÚ



Zdroj: ČHMÚ, Geodatabáze ArcČR 500

Kapitola 4 se zabývá možností instalace vybraných zařízení využívajících OZE v objektech ČHMÚ. Ty byly vybrány na základě analýzy fyzicko-geografických map, prohlídek jednotlivých objektů a rozhovorů s jejich správci či pověřenými osobami.

### 3 ZAŘÍZENÍ VYUŽÍVAJÍCÍ OZE V OBJEKTECH ČHMÚ

Vhodnými objekty pro instalaci zařízení pracujících na principu využití energie z obnovitelných zdrojů mohou být meteorologické stanice. Ve většině případů se jedná o objekty menší velikosti, což je po ekonomické stránce výhodné – investice není příliš vysoká a návratnost se pohybuje v řádu několika let. Navíc je staniční síť v ČR poměrně hustá, tudíž lze aplikovat různé systémy využití OZE v závislosti na fyzicko-geografických vlastnostech polohy stanic.

Meteorologická a klimatologická měření na odborné úrovni jsou v ČR prováděna pod dohledem tří institucí (ČHMÚ, AČR, ÚFA AV ČR), jejichž data jsou navzájem provázána a v rámci ČHMÚ dostupná veřejnosti. Celkem ČHMÚ obsluhuje 802 stanic (stav k červnu 2011), z toho 33 je profesionálních, tedy s nepřetržitou obsluhou. Tyto stanice jsou přehledně znázorněny na mapě v příloze č. 4. Dalších 5 stanic provozuje armáda ČR a 2 Akademie věd ČR. Celkem tedy zajišťuje měření na profesionální úrovni 40 stanic (viz. tabulka 3.1). Jednotlivé stanice spadají pod správu regionálních poboček (Praha, České Budějovice, Plzeň, Ústí nad Labem, Hradec Králové, Brno, Ostrava). Jmenný seznam stanic a jejich vybrané identifikační údaje jsou uvedeny v příloze č. 5.

*Tabulka 3.1: Profesionální stanice a observatoře v ČR*

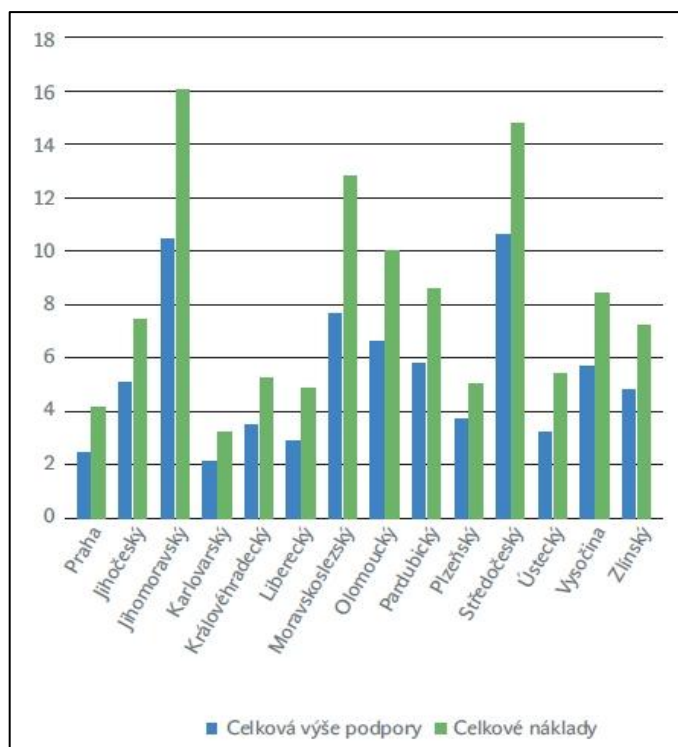
<b>Správce objektu</b>	<b>Počet</b>
ČHMÚ	33
Armáda ČR	5
Ústav fyziky atmosféry AV ČR	2
<b>Celkem</b>	<b>40</b>

*Zdroj: ČHMÚ*

Státní fond životního prostředí České republiky již od roku 1992 finančně podporuje projekty na ochranu vod, zlepšování kvality ovzduší, využití obnovitelných zdrojů energie, nakládání s odpady, ochranu přírody a krajiny a environmentálního vzdělávání. Tato podpora se zásadně změnila se vstupem České republiky do EU v roce 2004. Významné finanční prostředky pocházejí z Fondu soudržnosti a Evropského fondu pro regionální rozvoj. Dalšími zdroji financí jsou znečišťovatelé životního

prostředí (odvádí např. poplatky za vypouštění odpadních vod) a stání rozpočet. SFŽP se skládá ze dvou hlavních dotačních programů – Operačního programu Životní prostředí a programu Zelená úsporám. Nabízí podporu i pro tzv. měkké projekty, které nelze financovat z prostředků EU. V letech 2007-2013 bylo možné získat přes OPŽP téměř 5 miliard EUR z unijních fondů a dalších 300 milionů eur ze státního rozpočtu (SFŽP ČR 2010). Stav čerpání podpory v rámci krajů v polovině dotačního období (rok 2010) přibližuje graf 3.1.

Graf 3.1: Výše podpory z OPŽP podle krajů k říjnu 2010 (v mld. Kč)



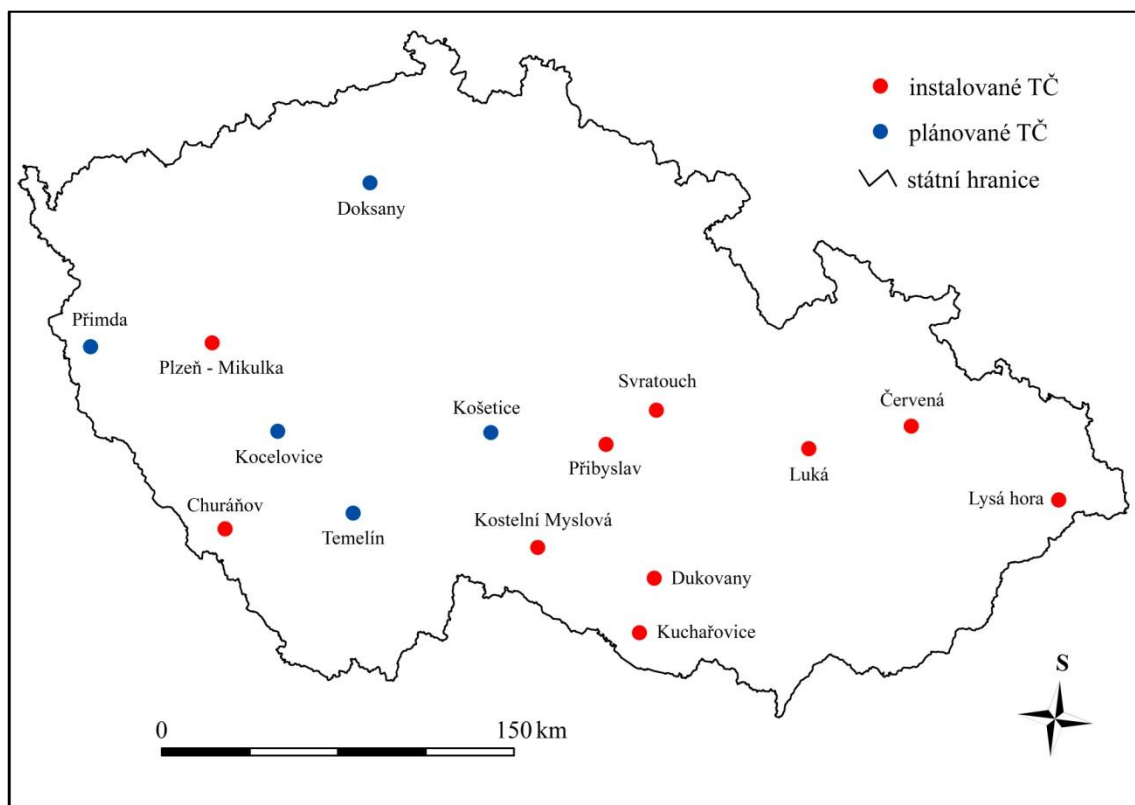
Zdroj: SFŽP 2010

Státní podpora se velkou měrou podílí na pokrytí celkových nákladů a její využití se jeví jako výhodné. Problémem však může být nezájem veřejnosti, např. z důvodu nedostatečné informovanosti o možnostech čerpání dotací, nebo byrokratické složitosti.

Investice do nových zařízení ČHMÚ schvaluje ekonomicko-správní úsek (oddělení investic), který čerpá finanční dotace z EU přes SFŽP a investuje do nákupu zařízení využívající obnovitelnou energii a zateplení vybraných objektů. Konkrétně se jedná o tepelná čerpadla typu země-voda s hlubinným vrtem sloužící k vytápění objektů. Celkem 10 meteorologických stanic Odboru profesionální sítě je vybaveno tímto tepelným čerpadlem (obrázek 3.1). Navíc pro dalších 5 stanic a observatoří

je v horizontu nejbližších let plánováno tepelné čerpadlo pořídit. Výjimkou je budova archivu ČHMÚ v Brozanech nad Ohří, kde elektrickou energii pro přímotopy dodává malá vodní elektrárna. V následujících třech podkapitolách jsou přiblíženy vybrané objekty ČHMÚ s instalovaným zařízením využívající OZE – pobočka v Plzni, stanice na Lysé hoře, archiv v Brozanech nad Ohří.

Obrázek 3.1: Tepelná čerpadla na stanicích ČHMÚ



Zdroj: ČHMÚ, Geodatabáze ArcČR 500

### 3.1 Pobočka ČHMÚ v Plzni

Meteorologická stanice Plzeň – Mikulka byla zřízena v roce 2004 na jižním svahu kopce Mikulka v nadmořské výšce 360 m n. m. jako součást novostavby regionální pobočky ČHMÚ a od 1. července 2004 zde probíhá nepřetržité měření. Původní stavební projekt počítal s integrací tepelného čerpadla do topného systému budovy. Vytápění budovy, ohřev TUV a teplo pro vzduchotechnickou jednotku zajišťuje tepelné čerpadlo firmy MasterTherm typu země – voda, které odebírá nízkopotenciální teplo z 11 vrtů umístěných na pozemku stanice.

Hydrogeologický posudek uvádí, že zájmová oblast náleží ke karbonu Plzeňské pánve, která je zde ve svrchní části tvořena kvarténními hlinito-kamenitými sedimenty o mocnosti cca 10 m a ve spodní části vrstvami slepenců, jílovců, pískovců a arkóz. Hladina spodních vod se předpokládá do 30 metrů, v bezprostřední blízkosti se nenachází žádné využívané vodní zdroje. Na základě těchto informací bylo provedeno 11 vrtů do hloubky 100 m, každý byl osazen HDPE kolektorem a zasypán vrtnou drtí nebo jílovo-cementovou směsí. V systému cirkuluje nemrzoucí směs (bezvodný obilný líh), která se průchodem zemí ohřeje o několik stupňů Celsia, ve výparníku tepleného čerpadla toto získané teplo odevzdá a vrací se zpět do vrtu.

*Obrázek 3.2: Meteorologická zahrádka a pobočka ČHMÚ Plzeň – Mikulka*



*Zdroj: fotografie autora*

Topný výkon zajišťuje tepelné čerpadlo (výkon 91 kW, příkon 32 kW, topný faktor při 0/50 °C je 2,84) a bivalentní elektrokotel (36 kW), který se zapíná při nedostatečném výkonu. Druhý elektrokotel (12 kW) v případě potřeby doplňuje TČ při ohřevu akumulční nádoby pro vzduchotechniku. Ze zkušeností správce budovy p. Košatky vyplývá, že topný výkon je schopno v plné míře zajistit tepelné čerpadlo a přídatných elektrokotlů tak není potřeba ani v zimním období. Problémem je ovšem poruchovost TČ a následná nutnost výměny jedné z jeho komponent, což může být způsobeno starším typem technologie, která při instalaci TČ v roce 2004 ještě nebyla

na takové úrovni, jako je dnes. Tato výměna byla poměrně nákladná a celková investice do zařízení se tak zvýšila. Na obrázku 3.3 je náhled do strojovny objektu. Vidět lze tepelné čerpadlo (skříň uprostřed), oba elektrokotle (na pravé stěně místnosti), akumulční nádoby (stříbrné zásobníky – vlevo od čerpadla pro vzduchotechniku, vpravo pro TUV) a rozdělovače zemního výměníku (pod oknem).

*Obrázek 3.3: Strojovna s tepelným čerpadlem Plzeň – Mikulka*



*Zdroj: fotografie autora*

### **3.2 Meteorologická stanice Lysá hora**

Profesionální stanice na vrcholku Lysé hory (1 324 m n. m.) byla uvedena do provozu roku 1954 a v režimu nepřetržitého měření funguje od roku 1969. Při rekonstrukci bylo v roce 2011 firmou Veskom Engineering instalováno tepelné čerpadlo typu země – voda. Nízkopotenciální teplo odebírá ze dvou vrtů hlubokých 120 m a slouží k vytápění radiátorů uvnitř budovy.

Geologické podmínky na pozemku stanice umožňují relativně snadné vrtání do hloubky. Lokalita se nachází v oblasti godulského vývoje slezské jednotky, střední godulské vrstvy (křídové sedimenty). Kvartérní pokryv tvoří hlinito-kamenité sedimenty (0-1,5 m), pod nimiž leží ukloněné předkvartérní vrstvy pískovců a jílovců, až do požadované hloubky 120 m. Reálná je možnost puklinového zvodnění pískovců,



hydrologická omezení se zde nevyskytují. Dva vrty jsou osazeny HDPE kolektorem, zasypány cemento-bentonitovou směsí a trubky jsou vedeny do strojovny ve sklepe.

Tepelné čerpadlo má výkon 15,5 kW a příkon 5 kW (topný faktor při 0/45 °C je 3,1). Při nízkých venkovních teplotách jej doplňuje vestavěný elektrokotel o výkonu 9 kW. Celkový tepelný výkon zdroje tepla je tedy 24,5 kW, příkon max. 14 kW a topný faktor při 0/45 °C je 1,75. Jedná se však pouze o topný systém, ohřev TUV je zajištěn samostatným elektrobojlerem. Celý systém má tři uzavřené okruhy. První okruh je napuštěn nemrznoucí kapalinou (etylalkohol ředěný vodou), která koluje mezi vrty a tepelným čerpadlem. Druhým okruhem proudí chladicí prostředek, který ve výparníku při kontaktu s nemrznoucí kapalinou prvního okruhu přebírá její tepelnou energii, odpařuje se a přes kompresor, kde se zvýší jeho tlak a teplota, je přiváděn do kondenzátoru. V něm se teplo přenáší do topného okruhu, čímž klesá teplota chladicího prostředku, který kondenzuje a přes expanzní ventil se vrací do výparníku.

*Obrázek 3.4: Meteorologická stanice Lysá hora*



*Zdroj: fotografie autora*

Fotografie strojovny s tepelným čerpadlem, akumulací nádobou topného systému a elektrokotlem se nachází v příloze č. 6. Podle slov zaměstnance ČHMÚ p. Ondrucha, který provádí měření na stanici Lysá hora, je výkon TČ pro vytápění dostačující a žádné závažné poruchy systému se za tři roky provozu nevyskytly.

### 3.3 Archiv ČHMÚ Brozany nad Ohří

Zrekonstruovaná historická budova starého mlýna v Brozanech nad Ohří slouží ČHMÚ jako podnikový archiv a jsou zde uložena data z pozorování od roku 1875. Stavba je situována na pravém břehu náhonu z řeky Ohře. Elektrárna zde fungovala již za socialismu, avšak v letech 1994 až 1995 proběhla rozsáhlá rekonstrukce náhonu a strojovny, při níž byly instalovány dvě přímoproudé turbíny HYDROHROM, pohánějící dva asynchronní generátory. Jejich hlavní účel je zajistit ekologické vytápění objektu archivu a nahradit tak dříve používaný kotel na tuhá paliva o výkonu 100 kW.

*Obrázek 3.5: Archiv ČHMÚ a náhon s malou vodní elektrárnou v Brozanech nad Ohří*



*Zdroj: fotografie autora*

Pro potřebu provozu MVE je dle dohody mezi ČHMÚ a Povodí Ohře možno z řeky odebírat trvale  $3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  vody. Průtok je regulován dřevěným stavidlem na levém břehu řeky Ohře u Hostěnického jezu. Náhon je vyhlouben v přírodním terénu, pouze v okolí MVE je zpevněn kameny a betonem. Délka náhonu je 4 750 m a ústí zpět do Ohře. Před vtokem do turbín jsou instalovány jemné česlice a plovoucí norná stěna, aby se do turbín nedostaly nečistoty. Ty jsou odváděny do jalové propusti náhonu. Samotné turbíny HYDROHROM 600S jsou typu Kaplan – S a každá z nich má čtyři nastavitelné lopatky. Parametry každé turbíny jsou následující: spád 2,15 m, maximální hltnost  $1,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  a maximální výkon na hřídeli 22,4 kW. Na obrázku 3.6 je vidět jedna turbína

HYDROHROM a asynchronní generátor umístěný nad ní. Točivý moment z turbíny na generátor je přenášen klínovými řemeny. Symetricky, na pravé straně místnosti, se nachází druhá turbína stejného typu.

*Obrázek 3.6: Turbína a generátor MVE Brozany*



*Zdroj: fotografie autora*

Hlavním důvodem pro stavbu MVE byla snaha nahradit kotel na tuhá paliva, který zásoboval objekt archivu teplem a teplou vodou, ekologickým zdrojem tepla. Vytápění archivu je řešeno pomocí elektrických přímotopných těles řízených termostaty a ohřev teplé vody elektrickými průtokovými ohřivači. Přímotopné konvektory mají celkový instalovaný topný výkon 43,25 kW, který je zcela pokryt výkonem MVE.

Závěrem je nutné dodat poznámku k současnému využití. Na základě informací archivářky pí. Junkové vyvstal fakt, že MVE je již dva roky odprodána obci Brozany nad Ohří. Archiv ČHMÚ tedy v této době není energeticky soběstačný a energii vyrobenou v MVE zpětně nakupuje od dodavatele elektřiny.

## **4 NÁVRH ZAŘÍZENÍ VYUŽÍVAJÍCÍ OZE PRO VYBRANÉ OBJEKTY ČHMÚ**

Ze získaných informací o provozu tepelných čerpadel na jednotlivých stanicích ČHMÚ vyplývá, že jejich instalace je vhodnou náhradou doposud používaných zařízení určených pro vytápění objektů. U meteorologických stanic a observatoří je výhodou jejich velikost. Jedná se většinou o menší budovy, tudíž je technologické řešení jednodušší a pro vytápění, ohřev TUV, případně výrobu elektřiny, lze použít více druhů zařízení využívajících OZE. V následujících podkapitolách jsou tato zařízení navržena pro vybrané objekty ČHMÚ.

### **4.1 Tepelné čerpadlo a fotovoltaický panel pro observatoř Doksany**

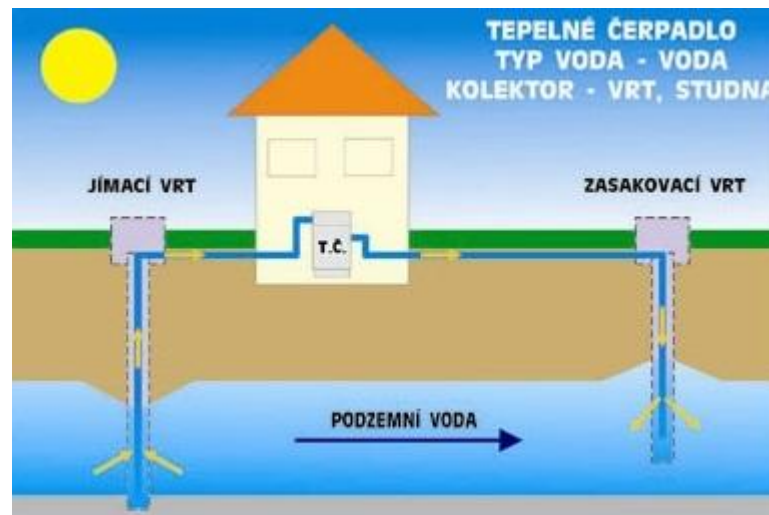
Observatoř v Doksanech je specializované pracoviště ČHMÚ, které provádí dlouhodobý monitoring půdního klimatu a měření výparu na území ČR, biometeorologický výzkum a současně plní funkci profesionální meteorologické a referenční klimatologické stanice. Nachází se 50 km severozápadně od hlavního města Prahy, v Ústeckém kraji, v okrese Litoměřice. Přesnou polohu v rámci ČR ukazuje mapa v příloze č. 4. Pro výběr objektu a jeho zařazení do tohoto návrhu sehrála roli ochota vedoucího observatoře Dr. Ing. Možného řešit situaci ohledně energetického zásobování budovy. Vytápění je zde zajištěno plynovým zásobníkem na pozemku observatoře, který se jednou ročně doplňuje, protože zde není plynová přípojka. Náklady na vytápění jsou vysoké, přibližně 100 tis. Kč za rok. Elektrická energie je odebírána z rozvodné sítě a roční náklady jsou ještě vyšší než u plynu, cca 120 až 130 tis. Kč. Proto se jeví jako vhodné zvážit alternativu k těmto energetickým zdrojům. Po zvážení přírodních podmínek oblasti by připadalo v úvahu tepelné čerpadlo pro vytápění a soustava fotovoltaických panelů pro výrobu elektrické energie.

#### **4.1.1 Tepelné čerpadlo**

Oblast okolo Doksán se vyznačuje velkou zásobou podzemní vody, jejíž hladina podle údajů ČHMÚ z vrtu v Doksanech (153 m n. m.) má meziročně mírně vzestupnou tendenci. Oblast spadá do České křídové tabule, což je nejvýznamnější zásobárna pitné podzemní vody na území ČR, a je překryta kvarténními sedimenty (spraš, sprašové hlíny). Hladina podzemní vody leží pouze několik metrů pod povrchem a při výraznějších srážkových epizodách hrozí vytopení sklepních prostor místních objektů.

Podle slov Dr. Ing. Možného z observatoře Doksany bylo sklepení již několikrát vytopeno a voda se musela odčerpávat. To přispělo k myšlence využití nahromaděné podzemní vody jako potenciálního zdroje tepelné energie. Vhodnou variantou je tedy tepelné čerpadlo typu voda – voda (obrázek 4.1) určené k vytápění observatoře a elektrokotel jako bivalentní zdroj tepla při nízkých teplotách v zimě.

Obrázek 4.1: Řešení vytápění a ohřevu TUV pro observatoř Doksany



Zdroj: ALTEC International

Princip tepelného čerpadla je blíže specifikován v kapitole 1 na obrázku 1.9. Na pozemku se již nachází studna hluboká 11 m, která by se dala použít k jímání vody, tudíž by odpadly náklady na její vyhloubení. Zbývala by pouze investice do vsakovací studny a samotného čerpadla. Například při pořízení tepelného čerpadla v cenové kategorii okolo 250 tis. Kč, by návratnost byla přibližně 2 až 3 roky.

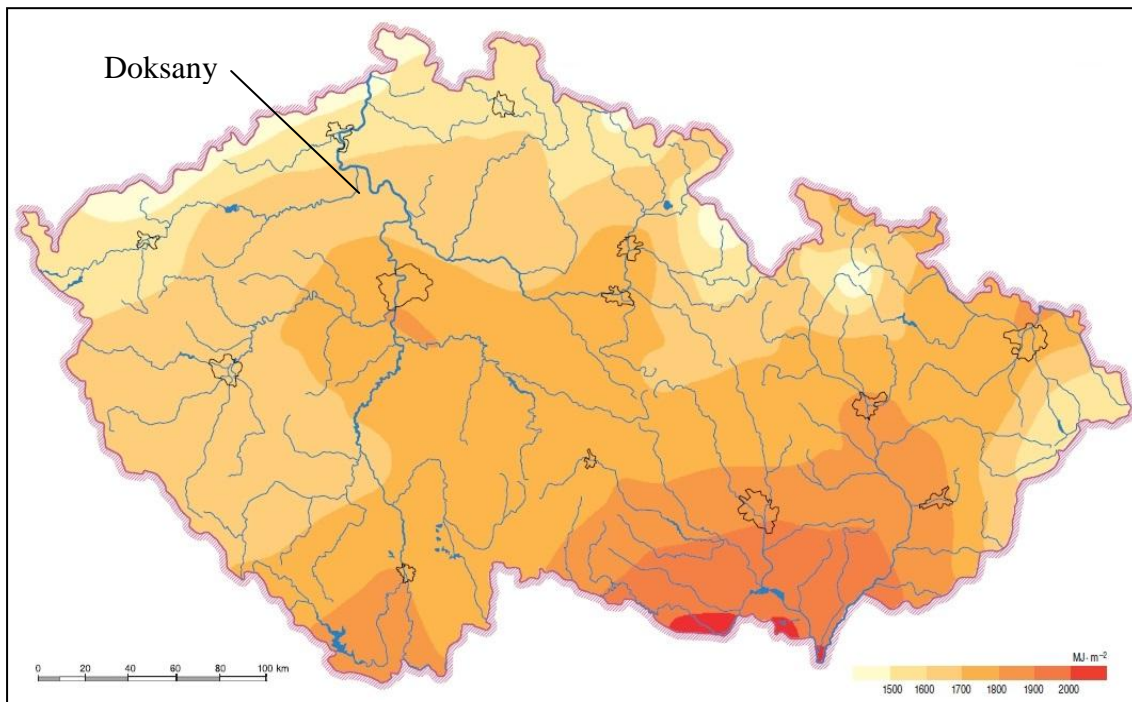
#### 4.1.2 Fotovoltaický panel

Na observatoři se také nachází celá řada meteorologických přístrojů, vyžadujících zdroj elektrické energie. Tu lze jednoduše vyrobit s využitím fotovoltaických panelů umístěných na střeše objektu a dodávat ji venkovním měřicím přístrojům i dalším běžným elektrickým spotřebičům uvnitř observatoře.

Doksany se řadí ke klimaticky teplým oblastem s minimem srážek v průběhu roku. Insolace dosahuje průměrných hodnot 1 600 až 1 700 MJ.m<sup>-2</sup> za rok (obrázek 4.2). V rámci ČR by se jistě našly vhodnější místa pro využití fotovoltaiky, ale i přesto má toto řešení v Doksanech perspektivu, protože dnešní technologie panelů je na vysoké

úrovni a ty umí vyrobit elektřinu i v místech, kde jsou hodnoty insolace podprůměrné. Důkazem může být i provoz fotovoltaické elektrárny (špičkový výkon téměř 500 kWp) společnosti ETC International přibližně 500 m severozápadně od observatoře.

Obrázek 4.2: Průměrný roční úhrn přímého záření



Zdroj: Atlas podnebí ČR

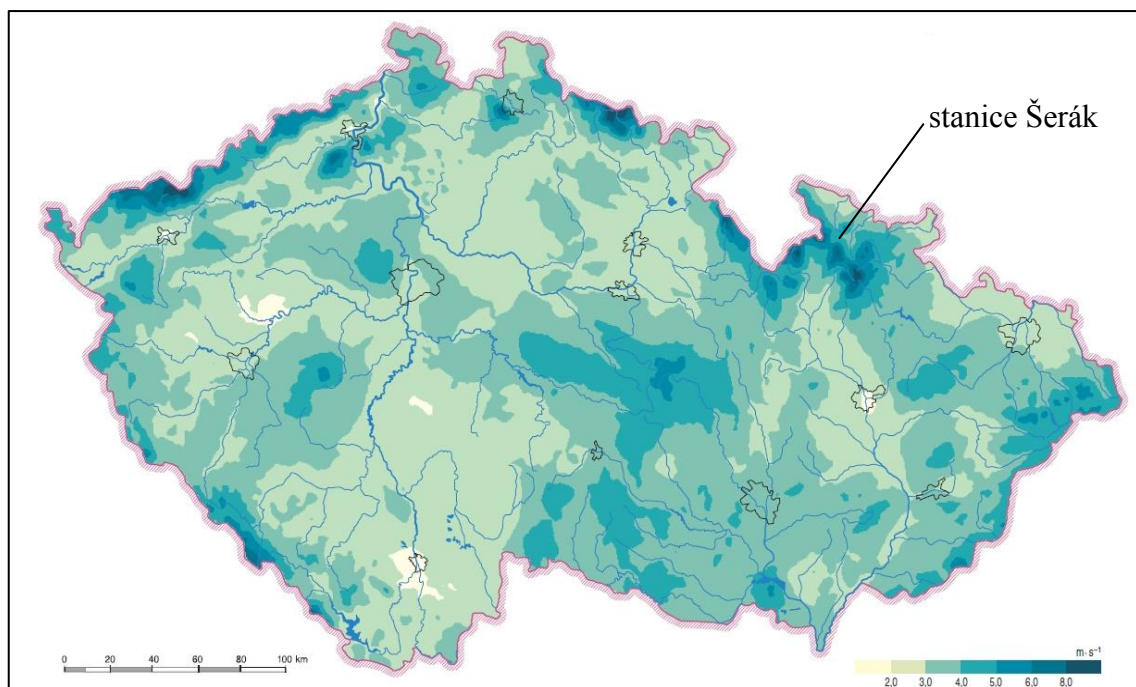
Observatoř má pro instalaci fotovoltaických panelů velkou výhodu v tom, že střecha budovy je orientovaná přesně k jihu a má pevnou střešní konstrukci (panely by bylo možné snadno ukotvit). Také úklon střechy  $45^\circ$  je ideální, ovšem pro ještě lepší efektivitu přeměny energie by bylo vhodné panely v jejich spodní části vyzdvihnout a zmenšit tak úhel o cca  $10^\circ$ . Fotografie střešní konstrukce observatoře jsou k nahlédnutí v příloze č. 7. Nabízí se celá řada technických řešení. Ekonomicky nejvýhodněji se jeví hybridní systém, který část vyrobené energie dodává do sítě a část spotřebuje ihned, případně ukládá do akumulátoru k pozdějšímu využití. Návratnost investice do systému by se při částce 250 tis. Kč pohybovala v podobném časovém horizontu jako u tepelného čerpadla, tedy 2 až 3 roky.

## 4.2 Větrná turbína pro meteorologickou stanici Šerák

Profesionální stanice Šerák byla postavena v roce 2004 na stejnojmenném vrcholu (1 351 m n. m.) na hřebenu Hrubého Jeseníku. Nachází se v Olomouckém kraji v okrese Jeseník, 8 km jihozápadně od okresního města Jeseník. Přesná poloha je znázorněna na mapě v příloze č. 4.

Stanice byla vybrána z důvodů velmi výhodných povětrnostních podmínek v celém regionu, který se v rámci ČR řadí k absolutní špičce jak počtu instalovaných větrných elektráren, tak v hodnotě jejich celkového výkonu. V Ramzovském sedle, pod vrcholem Šerák, se na katastru obce Ostružná nachází velká větrná elektrárna s výkonem 3 MW. O vhodnosti této oblasti tedy není pochyb, což dokazuje obrázek 4.3, zobrazující průměrné rychlosti větru v ČR. Ty se v lokalitě stanice průměrně pohybují nad hranicí  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a více. To je hodnota, při níž se již vyplatí investice do malé větrné elektrárny.

Obrázek 4.3: Průměrné roční rychlosti větru ve výšce 10 m n. m.



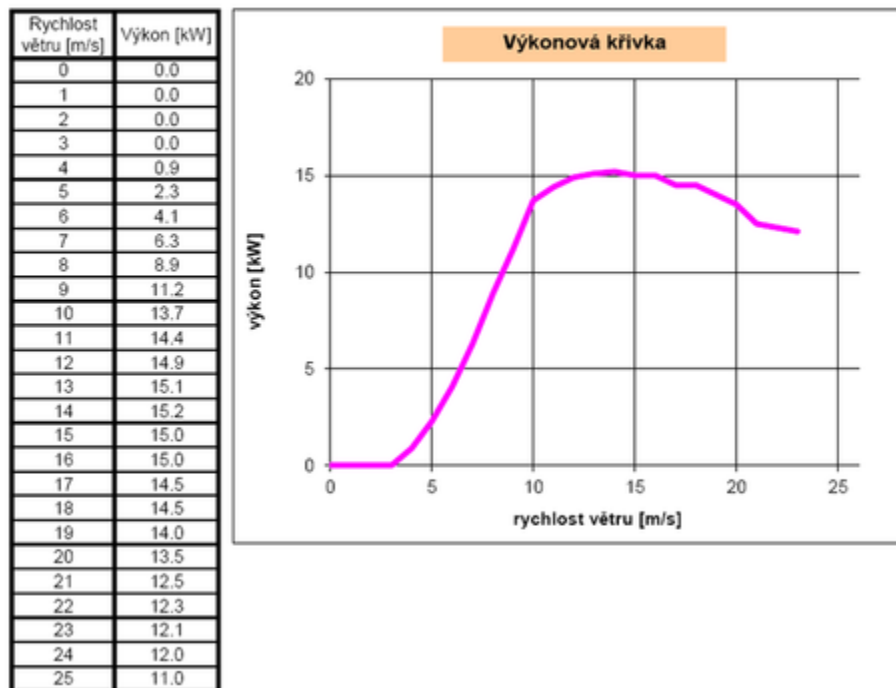
Zdroj: Atlas podnebí ČR

Pro stanici Šerák by připadala v úvahu malá větrná elektrárna s turbínou typu Darreius nebo třílístá turbína s horizontální osou (viz obrázek 1.6 v kapitole 1), která by dodávala elektrickou energii do přímotopů vytápějících objekt. Výkon turbíny závisí

na technických parametrech a stálosti rychlostí větru. Výkonová křivka udává závislost okamžité výroby elektrické energie větrnou elektrárnou na okamžité rychlosti větru v ose jejího rotoru (Hanslian 2012). Příklad výkonové křivky malé VtE s třílistou turbínou ukazuje obrázek 4.4. Výroba energie začíná při rychlostech větru  $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a více, od  $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  pak výkon prudce stoupá a nominálního výkonu (maximální výroba energie při optimálních podmínkách) dosahuje při 12 až 16  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Při vyšších rychlostech než je nominální výkon se doporučuje elektrárnu odstavit, aby nedošlo k jejímu poškození.

Obrázek 4.4: Ukázka výkonové křivky malé větrné elektrárny

Nominální výkon: 15 kW  
Průměr rotoru: 9m



Zdroj: Hanslian (2012)

Při instalaci zařízení je ovšem nutné dbát na to, aby neovlivňovalo měření směru a rychlosti větru a nezkreslovalo tak výsledné hodnoty. Malá větrná elektrárna by tedy při vhodně zvoleném typu konstrukce mohla zajistit energetickou soběstačnost vytápění stanice Šerák, větrné podmínky jsou k tomu v její lokalitě ideální.



## **Závěr**

Hlavním cílem práce bylo podat informace o používaných obnovitelných zdrojích energie, jejich využití v objektech ČHMÚ a vytvořit návrh instalace vybraných zařízení pro observatoř Doksany a profesionální meteorologickou stanici Šerák. Zkušenosti s již provozovanými tepelnými čerpadly v Plzni a na Lysé hoře, potažmo i na dalších meteorologických stanicích, se jeví jako výhodná investice, proto jsou plánovány projekty na nahrazení původních vytápěcích zařízení tepelnými čerpadly i pro další stanice. Specifickým případem je malá vodní elektrárna v archivu ČHMÚ v Brozanech nad Ohří, která byla i přes svá nesporná pozitiva prodána obci. Na základě teoretických poznatků v kapitole 1 o principech fungování zařízení využívajících obnovitelné zdroje energie, byl vytvořen návrh tepelného čerpadla k vytápění a sestavy fotovoltaických panelů k napájení měřících přístrojů a elektrických spotřebičů pro observatoř Doksany a návrh malé větrné elektrárny pro meteorologickou stanici Šerák. Jejich instalace by pravděpodobně zajistila energetickou soběstačnost těchto objektů a ušetřila nemalé náklady na vytápění a provoz přístrojů.

Problematika obnovitelných zdrojů energie je široké téma, které se bude do budoucna rozvíjet a tam, kde to bude možné, bude energie vyrobená z primárních zdrojů postupně nahrazována energií z obnovitelných zdrojů. Návrh zařízení v kapitole 4 by bylo možné dalším výzkumem rozvinout podrobnou analýzou všech aspektů potřebných k realizaci – ekonomickou, technickou a legislativní stránkou. Tento postup by se dal v budoucnu aplikovat i na další stanice a objekty ČHMÚ.

## Seznam literatury

### Tištěné publikace

ASAE STANDARDS. ASAE S292.5 OCT 94 (1997): Uniform Terminology for Rural Waste Management. USA, s. 624.

ALEXANDER, G., BOYLE, G. (2004): Introducing renewable energy. In: Boyle, G.: Renewable energy: Power for sustainable future. Oxford University Press, Oxford, s. 2-15.

AUGUSTA, P. a kol. (2001): Velká kniha o energii. L. A. Consulting agency, Praha, 383 s.

BERANOVSKÝ, J. (2001): Tepelná čerpadla. In: Cenek, M.: Obnovitelné zdroje energie. FCC Public, Praha, s. 111-116.

BOYLE, G. (2004): Solar photovoltaics. In: Boyle, G.: Renewable energy: Power for sustainable future. Oxford university press, Oxford, s. 66-104.

BROWN, G., GARNISH, J. (2004): Geothermal energy. In: Boyle, G.: Renewable energy: Power for sustainable future. Oxford university press, Oxford, s. 342-382.

BROŽ, K. (2001): Fototermální přeměna slunečního záření. In: Cenek, M.: Obnovitelné zdroje energie. FCC Public, Praha, s. 38-49.

BURTON, T., JENKINS, N., SHARPE, D., BOSSANYI, E. (2011): Wind Energy Handbook. John Wiley & Sons, Chichester, 780 s.

BUTTI, K., PERLIN, J. (1980): A golden thread: 2500 years of solar architecture and technology. Cheshire Books, Frodsham, 289 s.

DA ROSA, A. V. (2009): Fundamentals of Renewable Energy Processes. Elsevier, Amsterdam, 844 s.

EVERETT, B. (2004): Solar thermal energy. In: Boyle, G.: Renewable energy: Power for sustainable future. Oxford university press, Oxford, s. 18-64.

FILAKOVSKÝ, K. (2001): Možnosti využití energie větru, větrné elektrárny. In: Cenek, M.: Obnovitelné zdroje energie. FCC Public, Praha, s. 91-110.

- HANSLIAN, D., HOŠEK, J., SVOBODA, J., ŠTEKL, J. (2010): Větrný potenciál v České republice. In: Cetkovský, S., Frantál, B., Kalabová, E.: Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, environmentálních aspektů a socioekonomických souvislostí. Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Brno, s. 25-63.
- HANSLIAN, D., ŠTEKL, J. (2010): Historie a vývoj využívání větrné energie. In: Cetkovský, S., Frantál, B., Kalabová, E.: Větrná energie v České republice: hodnocení prostorových vztahů, environmentálních aspektů a socioekonomických souvislostí. Ústav geoniky AV ČR, v. v. i., Brno, s. 15-24.
- KREIDER, J. F., KREITH, F. a kol. (1981): Solar Energy Handbook. McGraw-Hill Book Comp., New York, 1 099 s.
- LARKIN, S., RAMAGE, J., SCURLOCK, J. (2004): Bioenergy. In: Boyle, G.: Renewable energy: Power for sustainable future. Oxford university press, Oxford, s. 108-146.
- MALATĚÁK, J., VACULÍK, P. (2008): Biomasa pro výrobu energie. ČZU, Praha, 205 s.
- MYSLIL, V., KUKAL, Z., POŠMOURNÝ, K., FRYDRYCH, V. (2007): Geotermální energie: Ekologická energie z hlubin Země – současné možnosti využívání. Planeta, 15, č. 4, 32 s.
- MŽP ČR (2009): Obnovitelné zdroje energie: přehled druhů a technologií. MŽP ČR, Praha, 31 s.
- NOSKIEVIČ, P., KAMINSKÝ, J. (1996): Využití energetických zdrojů. VŠB-TU, Ostrava, 91 s.
- OREL, V. (2001): Obnovitelné zdroje energie a podstata jejich využívání. In: Cenek, M.: Obnovitelné zdroje energie. FCC Public, Praha, s. 20-37.
- PASTOREK, Z. (2001): Využití biomasy k energetickým účelům. In: Cenek, M.: Obnovitelné zdroje energie. FCC Public, Praha, s. 139-161.
- RAMAGE, J. (2004): Hydroelectricity. In: Boyle, G.: Renewable energy: Power for sustainable future. Oxford university press, Oxford, s. 148-194.

RYCHETNÍK, V., JANOUŠEK, J., PAVELKA, J. (1997): Větrné motory a elektrárny. ČVUT, Praha, 199 s.

SLÁDEK, I. (1991): Vítr, energie, větrné poměry v Československu. In: Šeftler, I.: Využití energie větru. SNTL, Praha, s. 41-88.

SMIL, V. (1994): Energy in world history. Westview Press, Boulder, 300 s.

SOBÍŠEK, B. a kol. (1993): Meteorologický slovník výkladový a terminologický. MŽP ČR, Praha, 594 s.

ŠAMÁNEK, L., KALENDRA, P. (2001): Malé vodní elektrárny. In: Cenek, M.: Obnovitelné zdroje energie. FCC Public, Praha, s. 69-90.

ŠTOLL, Č., KRATOCHVIL, S., HOLATA, M. (1977): Využití vodní energie. SNTL, Praha, 612 s.

TAYLOR, D. (2004): Wind energy. In: Boyle, G.: Renewable energy: Power for sustainable future. Oxford university press, Oxford, s. 244-296.

TOLASZ, R. a kol. (2007): Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav, Univerzita Palackého v Olomouci, Praha, Olomouc, 255 s.

VOJTĚCHOVSKÝ, K. (2001): Solární fotovoltaické systémy. In: Cenek, M.: Obnovitelné zdroje energie. FCC Public, Praha, s. 50-68.

### **Elektronické publikace**

ALTEC INTERNATIONAL (2012): Princip a funkce tepelných čerpadel. [online]. Dostupné z: <<http://ekoenergie.altec-int.cz/tepelny-cerpadlo-princip-a-funkce.htm>>. [cit. 2014-05-20].

CELJAK, I. (2008): Biomasa je nezbytná součást lidského života. [online]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-je-nezbytna-soucast-lidskeho-zivota>>. [cit. 2014-05-08].

ČHMÚ (2011): Meteorologické stanice OPSS. [online]. Dostupné z: <<http://pr-asv.chmi.cz/opssapp/index.php>>. [cit. 2014-04-09].

ČSVE (2013): Velikost větrné elektrárny a její vývoj. [online]. Dostupné z: <<http://www.csve.cz/clanky/velikost-vetrne-elektrarny-a-jeji-vyvoj/110>>. [cit. 2014-05-03].

EKOWATT (2007): Energie biomasy. [online]. Dostupné z: <<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-biomasy>>. [cit. 2014-03-16].

EKOWATT (2010): Energie slunce – ohřev vody a vytápění. [online]. Dostupné z: <<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-slunce---slunecni-teplo-ohrev-vody-a-vzduchu>>. [cit. 2014-03-16].

EKOWATT (2010): Energie slunce – výroba elektřiny. [online]. Dostupné z: <<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-slunce---vyroba-elektriny>>. [cit. 2014-03-16].

EKOWATT (2010): Energie větru. [online]. Dostupné z: <<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-vetru>>. [cit. 2014-03-16].

EKOWATT (2010): Energie vody. [online]. Dostupné z: <<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-vody>>. [cit. 2014-03-16].

EKOWATT (2010): Tepelná čerpadla – energie prostředí. [online]. Dostupné z: <<http://www.ekowatt.cz/cz/informace/obnovitelne-zdroje-energie/energie-prostredi-geothermalni-energie-tepelna-cerpadla>>. [cit. 2014-03-16].

ENERGY INFORMATIVE (2014): Where is Solar Power Used the Most?. [online]. Dostupné z: <<http://energyinformative.org/where-is-solar-power-used-the-most>>. [cit. 2014-04-29].

EWEA (2014): Wind in power: 2013 European statistics. [online]. Dostupné z: <<http://www.ewea.org/statistics>>. [cit. 2014-05-03].

HANSLIAN, D. (2012): Větrné podmínky pro malé elektrárny. [online]. Dostupné z: <<http://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/8358-vetrne-podminky-pro-male-vetrne-elektrarny>>. [cit. 2014-05-17].

- HERZOG, A. V., LIPMAN, T. E., KAMMEN, D. M. (2001): Renewable energy sources. [online]. Dostupné z: <<http://rael.berkeley.edu/sites/default/files/old-site-files/2001/>>. [cit. 2014-01-23].
- KOLONIČNÝ, J., HASE, V. (2011): Využití rostlinné biomasy v energetice. [online]. Dostupné z: <<http://www.biomasa-info.cz/cs/download.htm>>. [cit. 2014-05-06].
- MPO (2013): Obnovitelné zdroje energie v roce 2012. [online]. Dostupné z: <<http://www.mpo.cz/dokument144453.html>>. [cit. 2014-05-06].
- OCHODEK, T., KOLONIČNÝ, J., JANÁSEK, P. (2006): Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy. [online]. Dostupné z: <<http://www.biomasa-info.cz/cs/download.htm>>. [cit. 2014-05-06].
- SFŽP (2010): SFŽP ČR – investice do zlepšování životního prostředí. [online]. Dostupné z: <<https://www.sfzp.cz/sekce/92/statni-fond-zivotniho-prostredi-cr>>. [cit. 2014-05-12].
- SKUPINA ČEZ (2007): Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich využití. [online]. Dostupné z: <<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje.html>>. [cit. 2014-04-18].
- SOLARTEC (2014): Princip fotovoltaiky. [online]. Dostupné z: <<http://www.solartec.cz/male-instalace-do-30kwp/informace-o-fotovoltaice/princip-fotovoltaiky>>. [cit. 2014-04-28].
- TZB-INFO (2009): Seminář Biomasa pro výrobu tepla. [online]. Dostupné z: <<http://www.tzb-info.cz/5537-seminar-biomasa-pro-vyrobu-tepla>>. [cit. 2014-05-06].
- VLÁDA ČR (2008): Zpráva Nezávislé odborné komise pro posouzení energetických potřeb České republiky v dlouhodobém časovém horizontu. [online]. Dostupné z: <<http://www.vlada.cz/assets/media-centrum/aktualne/Pracovni-verze-k-oponenture.pdf>>. [cit. 2014-04-18].
- WOLF, P., BENDA, V. (2014): ČVUT Praha: Fotovoltaický systém pro přípravu teplé užitkové vody. [online]. Dostupné z: <<http://www.solarninovinky.cz/?zpravy/2014030602/cvut-praha-fotovoltaicky-system-pro-pripravu-teple-uzitkove-vody>>. [cit. 2014-05-02].

ZŮNA, Z. (2011): Rybí přechod. [online]. Dostupné z:  
<<http://www.berounskyregion.cz/clanek/rybi-prechod.html>>. [cit. 2014-05-05].

### **Databáze**

ARCDATA PRAHA: ArcČR 500 – Digitální geografická databáze 1:500 000. Verze 3.1. [online]. Dostupné z: <<http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/geograficka-data/arccr-500>>. [cit. 2014-02-20].

CENIA: Mapové služby Národního geoportálu INSPIRE. [online]. Dostupné z:  
<<http://geoportal.gov.cz/web/guest/wms/>> [cit. 2014-04-15]

ČÚZK: Prohlížečská služba WMS – Ortofoto. Verze 1.3.0. [on-line]. Dostupné z:  
<[http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(eqtvijm12eganuz4ffxm5gij\)\)/Default.aspx?menu=3121&mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-ORTOFOTO-P&metadataXSL=metadata.sluzba](http://geoportal.cuzk.cz/(S(eqtvijm12eganuz4ffxm5gij))/Default.aspx?menu=3121&mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-ORTOFOTO-P&metadataXSL=metadata.sluzba)>. [cit. 2014-04-15]

### **Dokumenty**

Hydrogeologický posudek stanice ČHMÚ Lysá hora

Hydrogeologický posudek stanice ČHMÚ Plzeň – Mikulka

Návrh smlouvy o díle – malá vodní elektrárna Brozany

Provozní řád pro malou vodní elektrárnu Brozany

Provozní řád strojovny ČHMÚ Plzeň – Mikulka

Zjednodušená technická zpráva – tepelné čerpadlo na stanici ČHMÚ Lysá hora

## **Seznam příloh**

Příloha č. 1: Vývoj výroby elektřiny z biomasy

Příloha č. 2: Vývoj výroby tepla z biomasy

Příloha č. 3: Bivalentní provoz tepelného čerpadla

Příloha č. 4: Profesionální meteorologické stanice a observatoře ČHMÚ na území ČR

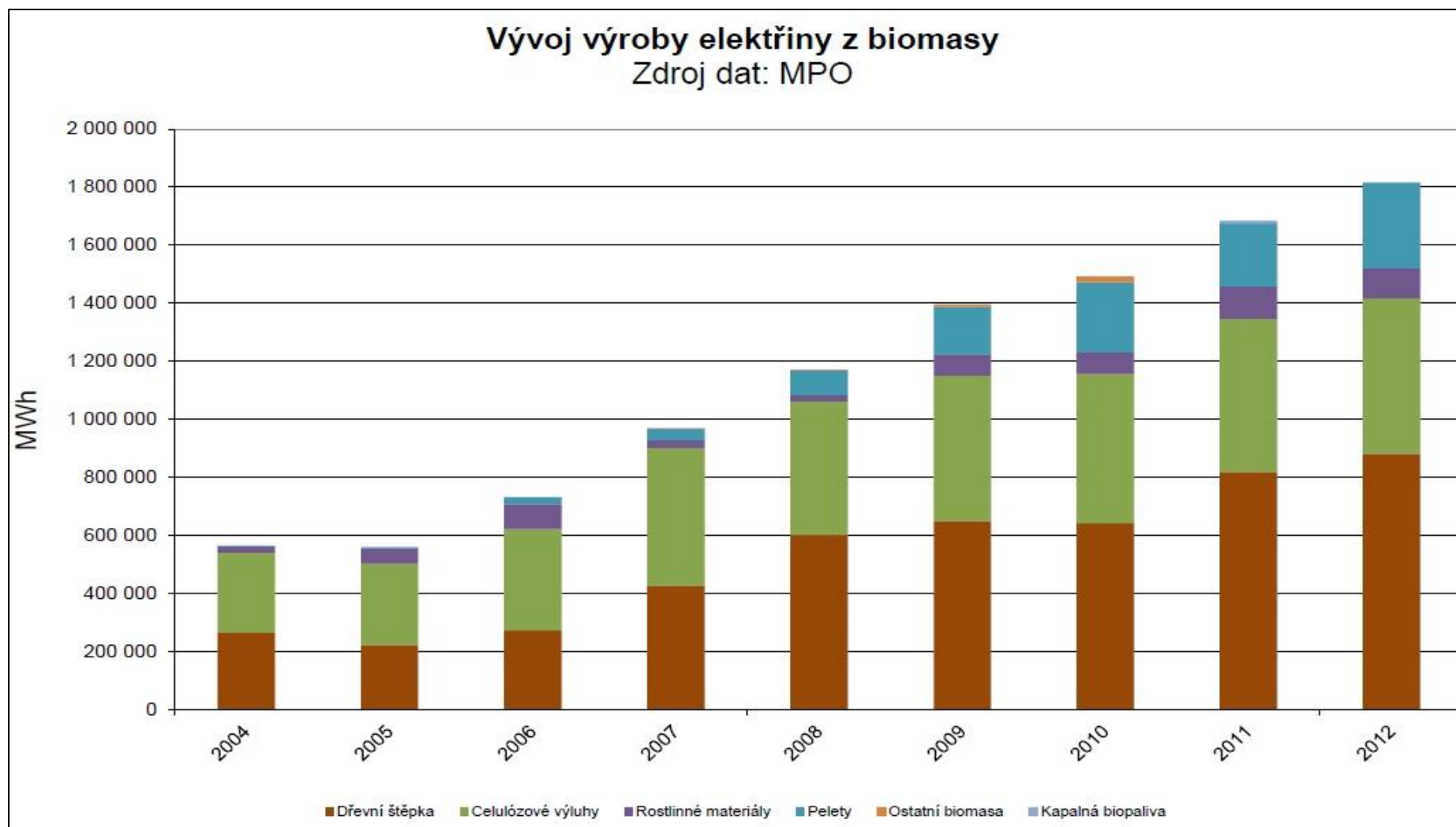
Příloha č. 5: Seznam profesionálních meteorologických stanic a observatoří v ČR

Příloha č. 6: Strojovna s tepelným čerpadlem Lysá hora

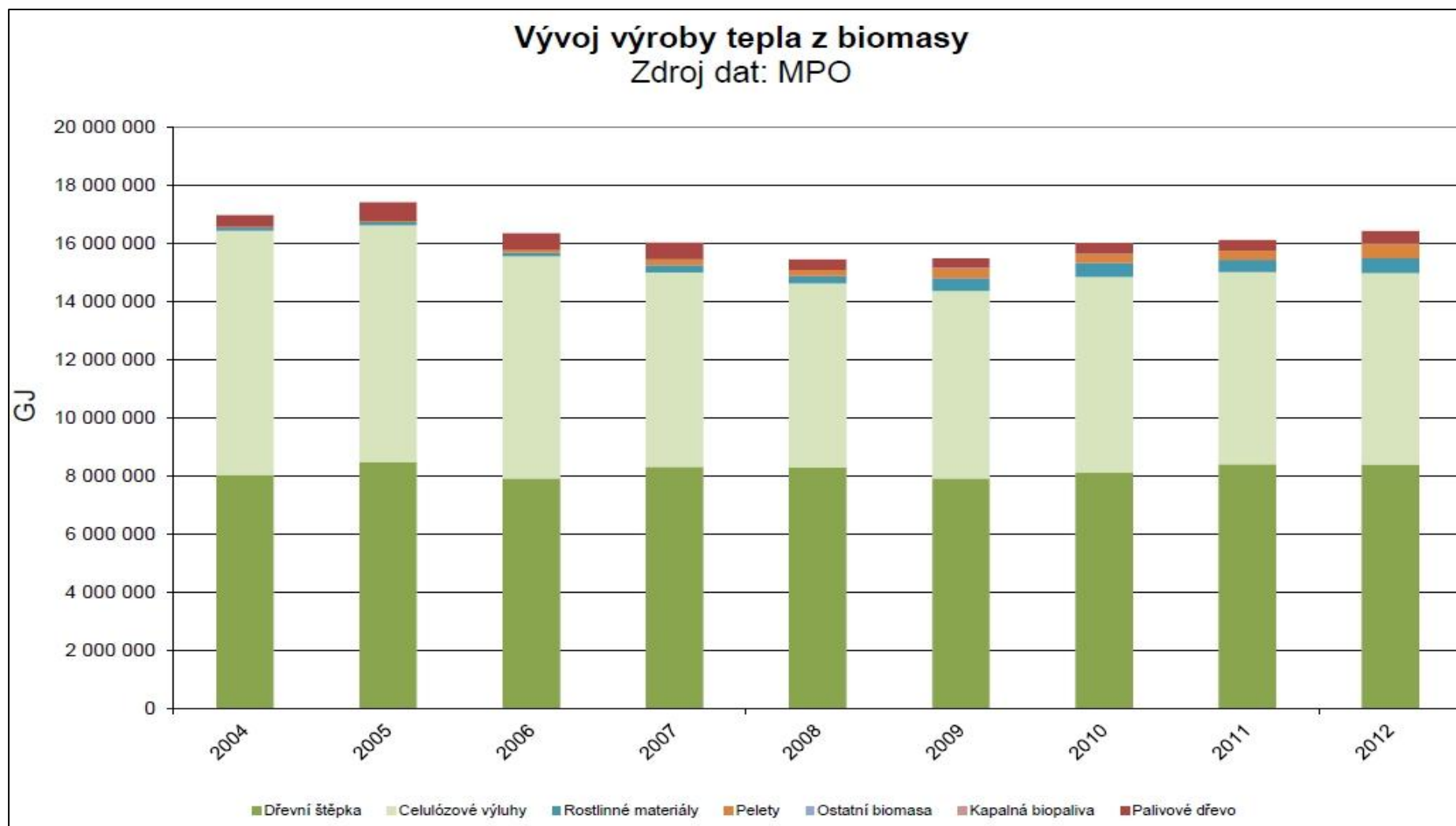
Příloha č. 7: Střešní konstrukce observatoře Doksany



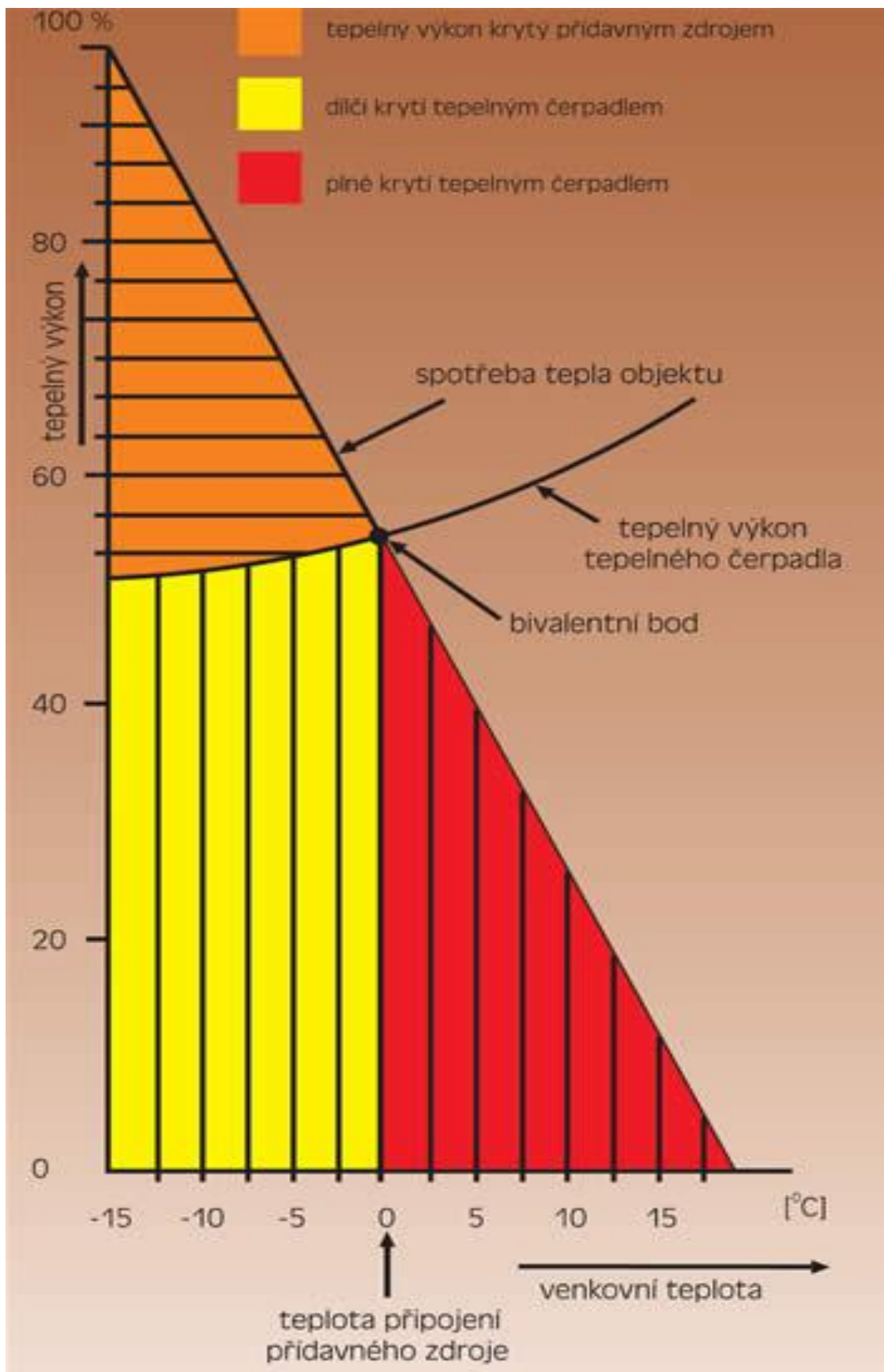
Příloha č. 1



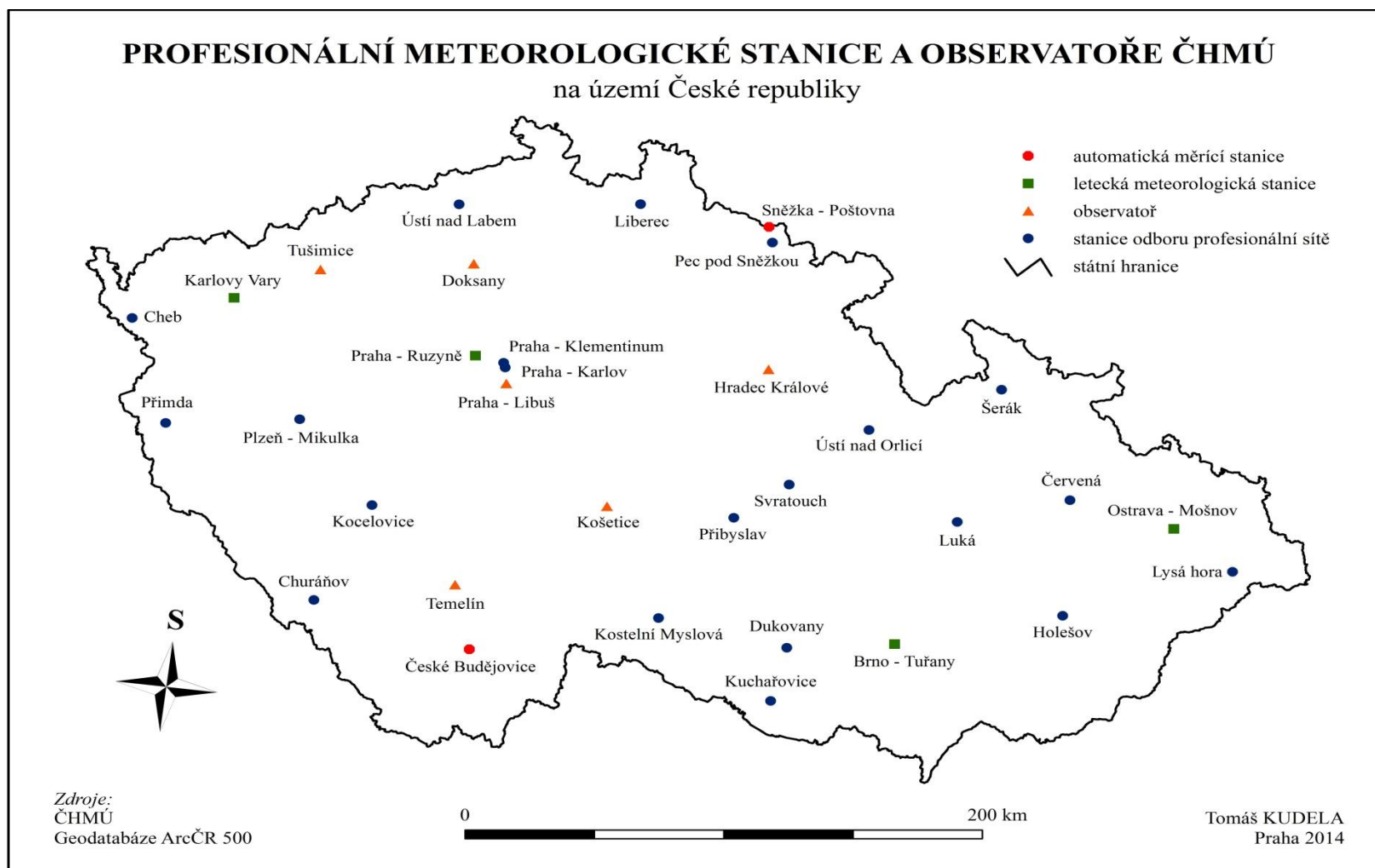
Příloha č. 2



**Příloha č. 3: Bivalentní provoz tepelného čerpadla**



Zdroj: EkoWATT



**Příloha č. 5: Seznam profesionálních meteorologických stanic**

<b>Název</b>	<b>Typ stanice</b>	<b>Provozovatel</b>
Brno – Tuřany	letecká	ČHMÚ
Čáslav	vojenská	Armáda ČR
Červená	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
České Budějovice	automatická	ČHMÚ
Doksany	observatoř	ČHMÚ
Dukovany	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Holešov	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Hradec Králové	observatoř	ČHMÚ
Cheb	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Churáňov	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Karlovy Vary	letecká	ČHMÚ
Kocelovice	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Kopisty	observatoř	ÚFA AV ČR
Kostelní Myslová	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Košetice	observatoř	ČHMÚ
Kuchařovice	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Liberec	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Luká	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Lysá hora	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Milešovka	observatoř	ÚFA AV ČR
Náměšť nad Oslavou	vojenská	Armáda ČR
Ostrava – Mošnov	letecká	ČHMÚ
Pardubice	vojenská	Armáda ČR
Pec pod Sněžkou	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Plzeň – Mikulka	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Polom	vojenská	Armáda ČR
Praha – Karlov	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Praha – Kbely	vojenská	Armáda ČR
Praha – Klementinum	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Praha – Libuš	observatoř	ČHMÚ
Praha – Ruzyně	letecká	ČHMÚ
Příbrav	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Přimda	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Sněžka – Poštovna	automatická	ČHMÚ
Svratouch	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Šerák	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Temelín	observatoř	ČHMÚ
Tušimice	observatoř	ČHMÚ
Ústí nad Labem	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ
Ústí nad Orlicí	odbor prof. staniční síť	ČHMÚ

Zdroj: ČHMÚ

*Příloha č. 6: Strojovna s tepelným čerpadlem Lysá hora*



- Pozn.:     A – tepelné čerpadlo 15,5 kW  
           B – akumulční nádrž topného systému  
           C – elektrický rozvaděč  
           D – trubky oběhového systému teplotnosného média  
           E – elektrokotel 9kW*

*Zdroj: fotografie autora*

***Příloha 7: Střešní konstrukce observatoře Doksany***

*7a – pohled od jihozápadu*



*Zdroj: fotografie autora*

*7b – pohled od jihovýchodu*



*Zdroj: fotografie autora*