



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V
BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

NEŽÁDOUCÍ DŮSLEDKY VYUŽÍVÁNÍ
OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ

NEGATIVE IMPACT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martina Kleinová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Sitek

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Studentka: **Martina Kleinová**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Sitek**
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Nežádoucí důsledky využívání obnovitelných zdrojů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při prosazování obnovitelných zdrojů je často opomíjen fakt, že i tato zařízení mohou výrazným způsobem ovlivňovat životní prostředí, a to nejen při samotném provozu, ale již při těžbě surovin k jejich výrobě. Často zabírají obrovská území, která by mohla být využita k jiným účelům, případně je kvůli nim potřeba přesídlovat celé vesnice. Práce bude zaměřena na kritické zhodnocení použití obnovitelných zdrojů k výrobě elektřiny.

Cíle bakalářské práce:

- provést rešerši obnovitelných zdrojů energie,
- posoudit negativa používaných zdrojů,
- zhodnotit využití obnovitelných zdrojů v ČR.

Seznam doporučené literatury:

LAPČÍK, Vladimír. Průmyslové technologie a jejich vliv na životní prostředí. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2009. ISBN 978-80-248-2015-6.

SRDEČNÝ, Karel. Obnovitelné zdroje energie. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2009. ISBN 978-80-7212-518-0

SPELLMAN, Frank R. Environmental impacts of renewable energy. Boca Raton, [2015]. Energy and the environment. ISBN 978-1-4822-4947-7.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Hlavní náplní této práce bylo hlouběji proniknout do problematiky obnovitelných zdrojů energie. Jednak jsme se jednotlivými typy obecně zabývali a přiblížili si jejich charakteristiky, ale zejména se zaměřili na negativní dopady, které s sebou nesou. Vzhledem k tomu, že obnovitelné zdroje energie jsou naší budoucností, je třeba obeznámit se s jejich potenciálem, možnými nedostatky, mírou závažnosti těchto problémů a případnými řešeními. V poslední části práce jsme se zabývali využíváním obnovitelných zdrojů v České republice a vyhodnocením stávající politiky a energetického trhu.

Klíčová slova

Obnovitelné zdroje energie, negativní dopady, životní prostředí

ABSTRACT

The main focus of this work was to delve deeper into the issue of renewable energy. Firstly, we have looked at the different types in general and their characteristics, but in particular we have focused on the negative impacts they bring. Since renewable energy sources are our future, it is necessary to become familiar with their potential, possible shortcomings, the degree of severity of these problems and possible solutions. In the last part of the thesis, we looked at the use of renewables in the Czech Republic and evaluated the current policy and energy market.

Key words

Renewable energy, negative impacts, environment

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Citace tištěné práce:

KLEINOVÁ, Martina. *Nežádoucí důsledky využívání obnovitelných zdrojů*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139719>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Tomáš Sitek.

Citace elektronického zdroje:

KLEINOVÁ, Martina. *Nežádoucí důsledky využívání obnovitelných zdrojů* [online]. Brno, 2022 [cit. 2022-02-27]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139719>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Tomáš Sitek.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem *bakalářskou* práci na téma **Nežádoucí důsledky využívání obnovitelných zdrojů** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Tomáši Sitkovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

OBSAH

ÚVOD	10
1 Zdroje energie	11
1.1 Neobnovitelné zdroje energie	11
1.2 Obnovitelné zdroje energie	11
2 Vítr jako zdroj energie.....	14
3 Negativní dopady větrných elektráren	16
3.1 Likvidace materiálu	18
4 Solární energie.....	20
4.1 Fotovoltaika	20
4.2 Koncentrovaná solární energie	21
5 Negativní dopady solárního zdroje energie.....	22
5.1 Fotovoltaika	22
5.2 Koncentrovaná solární energie	23
6 Vodní elektrárny.....	25
7 Negativní dopady vodních elektráren	26
8 Biomasa neboli bioenergie	28
8.1 Tepelná přeměna.....	28
8.2 Biopalivo	29
8.3 Vodíkové palivové články	29
9 Negativní dopady biomasy	31
10 Geotermální zdroj energie	32
11 Negativa geotermální energie.....	34
12 Shrnutí dopadů všech typů OZE	36
13 Obnovitelné zdroje využívané v ČR	38
ZÁVĚR.....	40
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	42
SEZNAM OBRÁZKŮ	48
SEZNAM TABULEK.....	49

ÚVOD

Na úvod je důležité si uvědomit, že z hlediska poškození a znečištění životního prostředí, ve smyslu produkce oxidu uhličitého a dalších parametrů majících za následek špatné podmínky pro veřejné zdraví, klimatické změny v rámci globálního oteplování a mnoho dalšího, mají na tyto aspekty mnohonásobně větší dopad fosilní paliva jako ropa, uhlí a zemní plyn. Oproti tomu obnovitelné zdroje energie (OZE) jako vítr, voda, slunce, biomasa nebo energie Země nepřímo napomáhají snižovat emise zapříčiňující globální oteplování, jelikož využíváním obnovitelných zdrojů se snižuje potřeba fosilních paliv. Obnovitelné zdroje obecně zlepšují životní podmínky a kvalitu života, nesmí se ale na obnovitelnou energii nahlížet čistě jako na zelený zdroj energie, i tento typ s sebou nese jisté dopady v rámci lidského zdraví, znečišťování, záplav, odlesňování a dalších. Míra dopadu závisí na typu elektrárny, technologii procesu, lokaci a dalších parametrech. OZE jsou však poměrně nespolehlivé a nestabilní, neboť jejich výroba energie závisí na různých podmínkách, ať už povětrnostních v případě větrných elektráren, na svitu Slunce u elektráren solárních atd.

Jak už samotné označení napovídá, obnovitelné zdroje jsou ty, které můžeme snadno obnovit, kdežto neobnovitelné zdroje energie jsou takové, které spotřebováváme, ale už je těžko opětovně získáváme. I když OZE považujeme za zdroje nevyčerpatelné, může být toto označení v některých případech závislé na trvale udržitelném hospodaření, například u biomasy je při kácení stromů nutno dbát na správnou obnovu těchto lesních porostů. Na Zemi převažuje využívání neobnovitelných zdrojů energie a to z ekonomického hlediska. Tyto zdroje vyrábí elektřinu, vytápí domácnosti, pohání naše automobily, ale nachází se zde v omezeném množství a do budoucna může dojít k jejich spotřebě. Navíc jsou velmi neekologické a zdraví škodlivé.

Na začátek této práce se zmíníme o benefitech/nevýhodách neobnovitelných zdrojů energie. Zbytek práce bude věnován obnovitelným zdrojům energie a jejich jednotlivým typům, zejména jejich negativním dopadům na životní prostředí. Posledním cílem tohoto zkoumání bude vyhodnocení využívání obnovitelných zdrojů v České republice, podíl jednotlivých typů a procentuální poměr, v jakém jsou se zdroji neobnovitelnými. Ke konci této práce dojde k souhrnnému vyhodnocení a objektivní kritice, jak by se případně dalo do budoucna v této oblasti energetiky směřovat dále, jelikož i výběr typu obnovitelného zdroje energie může mít velmi škodlivý dopad na životní prostředí, pokud se nezvolí správně.

1 Zdroje energie

Díky elektrické energii fungují lidské domácnosti, pracoviště, doprava. Elektřina se nebere jen tak z ničeho a je nutno ji nějak získávat, přesněji řečeno přeměnou jedné formy energie na druhou. K tomu nám slouží jak obnovitelné, tak neobnovitelné zdroje energie, kdy část energie určité formy zachycujeme a transformujeme na energii elektrickou, kterou následně podle potřeby upravujeme.

1.1 Neobnovitelné zdroje energie

Hlavním důvodem, proč se neobnovitelné zdroje energie drží na předních příčkách, je ten, že se jedná o poměrně levnou přeměnu z jednoho typu energie na druhý. Nemají prakticky žádnou konkurenci a například u jaderné elektrárny se z malého množství surovin vyrobí velké množství energie [1]. Souhrnně je tedy obrovskou výhodou vysoká hustota energie. Odhaduje se, v souvislosti s globální poptávkou po energii z fosilních paliv, která je každým rokem vyšší, že do roku 2040 vzroste přibližně o 56 % oproti úrovni z roku 2010 [17]. V současné době se tyto zdroje jeví jako poměrně levné, ale jelikož bude postupně docházet k jejich vypotřebením, i ceny budou stále narůstat [1].

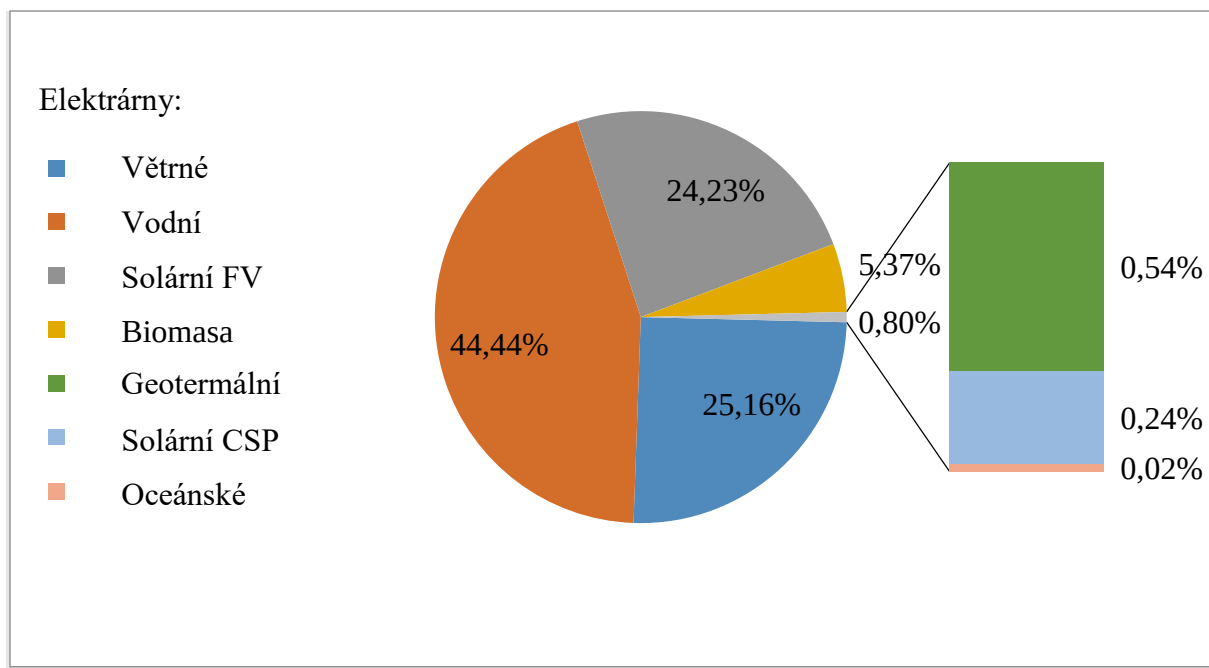
Při hoření těchto zdrojů se do ovzduší uvolňují toxické plyny, které ještě více zhoršují již probíhající cyklické změny klimatu [1]. Teplo zachycené v atmosféře díky těmto plynům způsobuje tání ledovců, které vede ke zvyšování hladiny oceánů. V jednom případě budou určitá obydlí zaplavena a v druhém horka přinesou obrovská sucha a četné požáry [16]. Přibližně 40 % celkových skleníkových plynů se uvolňuje do atmosféry ze stávajících uhelných elektráren. Studie také ukazuje, že cca 42 % oxidů dusíku a 38 % SO₂ bylo emitováno z uhelných elektráren v Číně v roce 2015 [18]. Výzkum prokázal, že elektrárny využívající zemní plyn vypouštějí o 50 % méně oxidu uhličitého než jiné elektrárny na fosilní paliva, diskutuje se tedy o možnosti přechodného využívání zemního plynu do doby, než se zlepší bezpečnost a udržitelnost obnovitelných zdrojů [19].

1.2 Obnovitelné zdroje energie

Vítr, Slunce, voda, biomasa a Země – reprezentanti zdrojů energie, která se sama přirozeně obnovuje a doplňuje. V následujících kapitolách se tato práce bude detailněji zabývat rozdělením jednotlivých typů obnovitelných zdrojů energie – *vítr, Slunce, voda, biomasa a geotermální energie*, a jejich negativními dopady. Obnovitelné zdroje jsou často považovány za zdroje bez emisí a k životnímu prostředí šetrné – jsou mnohem lepší než fosilní paliva, ovšem mnohé aspekty související se získáváním energie z těchto obnovitelných zdrojů mohou mít rovněž negativní důsledky, a proto je velmi důležité správné zacházení s těmito zdroji [1][16].

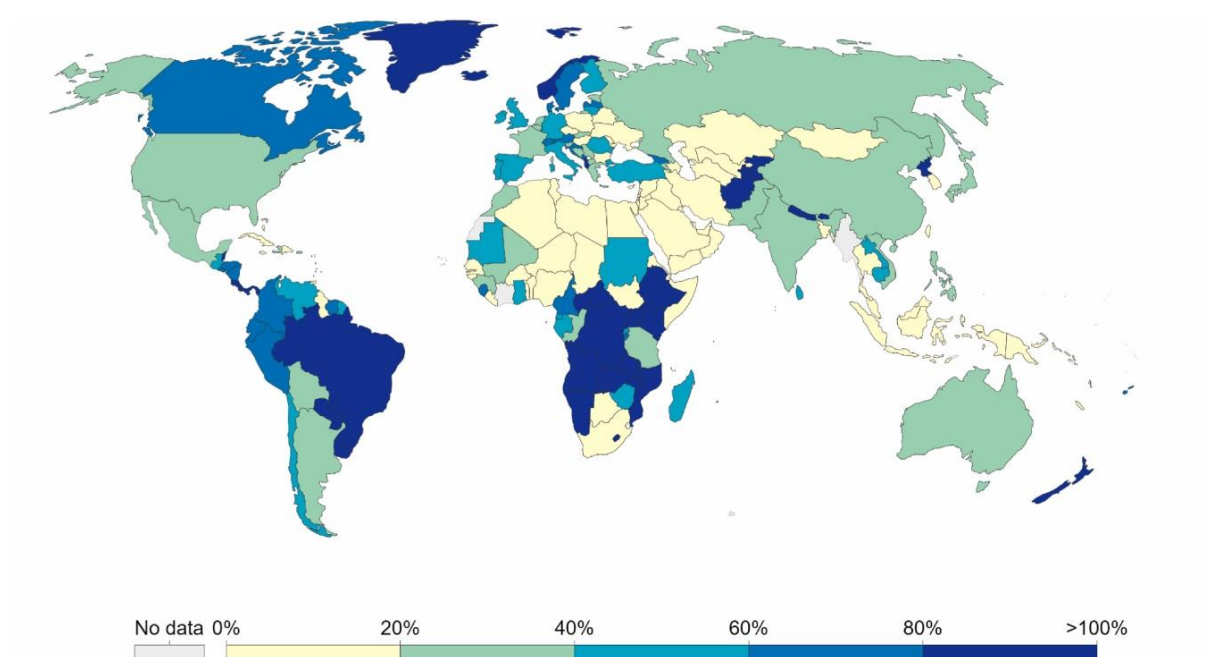
Obrázek 1 [20] ilustruje celkový podíl elektrické energie generované jednotlivými typy elektráren na bázi obnovitelných zdrojů. Tato získaná data z roku 2020 jsou vztažena k běžným provozním podmínkám jednotlivých typů elektráren. Graf tedy jasně ukazuje, že největší podíl vygenerované energie představují vodní elektrárny. Hned po nich následují elektrárny větrné a solární, které se drží na přibližně stejné procentuální příčce. Podstatně

nižší, ale stále viditelnou roli hraje biomasa a zbylé procento tohoto koláčového grafu tvoří ostatní typy obnovitelných zdrojů. Nejmenší podíl nese energie oceánská, ačkoli má velký potenciál tyto výsledky zlepšit [20]. Přestože přílivová energie ve světě nezaznamenává velký podíl ve výrobě energie, ve Spojeném království zastává přibližně 28 % celkové poptávky [16].



Obrázek 1 Porovnání jednotlivých typů OZE [20]

Na Obrázku 2 [21] je znázorněn světový podíl výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie z roku 2021. Spoustu států Afriky, Středního východu a Jihovýchodní Asie jsou specifické nízkým podílem využívání OZE, někde kolem 20 %, zatímco státy Evropy, Jižní Ameriky nebo Kanady se řadí mezi špičky v podílu OZE dosahující k 60 %. Světové velmoci, mezi které řadíme například USA, Mexiko, Čínu, Austrálii nebo Rusko, se pohybují jen mezi 20 až 40 % tohoto využívání [16]. Do budoucna je spoustu zemí odhodláno zaměřit se na OZE v rámci šetrnosti k životnímu prostředí a omezit závislost na fosilních palivech. Například Evropská unie se rozhodla být vzorem a stát se do roku 2030 světovým lídrem v této oblasti [22].



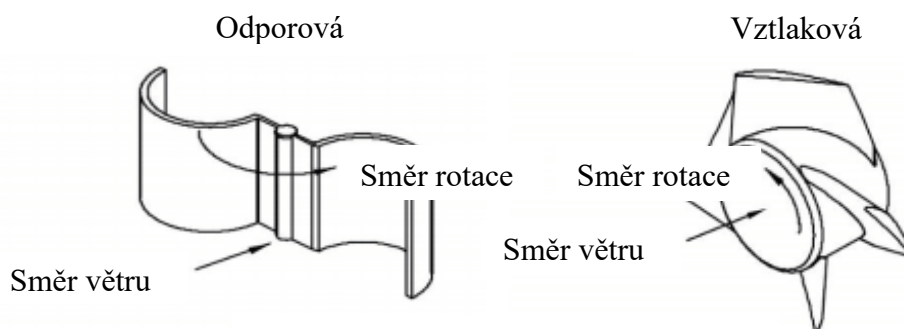
Obrázek 2 Světové využívání OZE pro elektřinu [21]

2 Vítr jako zdroj energie

V první kapitole se hovoří o přeměně určité formy energie na energii elektrickou, to v případě větrných elektráren zaštiťuje větrná turbína pomocí kinetické energie větru. Tuto energii předává vítr lopatkám turbíny, které svou intenzitou roztáčí. Lopatky označované také někdy jako vrtule, listy nebo křídla rotoru představují tu část elektrárny, kterou běžný pozorovatel zvenčí za vhodných podmínek větru vidí se pohybovat. Rotor představuje otáčivou část neboli lopatkové kolo turbíny. Turbína je rotační mechanický stroj skládající se z hřídele a jednoho či více lopatkových kol – rotoru, v případě těchto elektráren právě vítr roztáčí hřídel turbíny. Otáčením magnetu na hřídeli se indukuje v cívkách napětí, které je zdrojem elektrické energie [2][16].

Hovoří-li se o účinnosti tohoto typu elektráren a využití energie větru, potom ze zákona zachování hmoty nemůže být využit veškerý potenciál větru. Dle Betzova pravidla využívá větrná turbína 59 % kinetické energie větru proudícího skrz ni, jedná se ale o teoretickou hodnotu, které žádná reálná turbína nedosáhne. Je třeba uvažovat veškeré ztráty, jak samotné tření u lopatek turbíny, tak ztráty v převodovém systému, generátoru, měniči. Závěrem při zahrnutí všech vlivů a jmenovitých otáčkách disponují větrné elektrárny účinností přibližně 75 až 80 % z původní Betzovy teoretické hodnoty [24]. Větrné turbíny celosvětově produkují kolem 651 GWh elektrické energie [20].

Větrné turbíny lze dělit podle principu činnosti, nebo jejich osy. V prvním případě se rozlišuje fungování na základě vztahových nebo odporových sil, k tomu slouží speciálně tvarovaný profil lopatek. **Odporové** turbíny (= *drag turbine*) fungují na principu rozdílu sil, které na lopatky působí, a tedy je roztáčí, toho je docíleno buď speciálním tvarem lopatek, anebo jejich natočením, dochází tak k různému odporu větru na površích lopatek. Používanější a účinnější jsou ale turbíny **vztahové** (= *lift turbine*), ty pracují na podobném principu jako křídla letadel. Díky speciálnímu tvaru lopatek se využívá aerodynamické síly při obtékání, profil zajišťuje směr rotace turbíny díky vznikající vztahové síle. Současně s touto silou vzniká i síla odporová působící proti směru pohybu, která je v tomto případě nežádoucí. Jednotlivé typy jsou znázorněny na následujícím *Obrázku 3* [24].



Obrázek 3 Odporové a vztahové turbíny

Existují dva typy větrných turbín, buď s **horizontální** osou HAWT – z anglického originálu *horizontal axis wind turbine*, anebo s **vertikální** osou VAWT – *vertical axis wind turbine* [2][16][24]. Turbíny typu HAWT mají vyšší energetickou kapacitu, a tak se využívají

více. Dominantou VAWT je jejich schopnost zachytit vítr z jakéhokoliv směru [26]. Jednotlivé typy lze rozeznat pomocí vzhledu lopatek, v případě horizontálních lze pozorovat sestavu dvou až tří, ale možno i více dlouhých lopatek připomínající vrtule letadla. Vertikální turbíny charakterizují kratší, širší zakřivené čepele [2]. **Horizontální** turbíny musí vždy směřovat proti proudu větru, proto je nutné zavádět směrové lopatky u menších elektráren, anebo senzory větru a servomotory pro pohon s nastavitelnou polohou osy u elektráren větších. Součástí HAWT typu často bývá převodovka, která převádí pomaloběžný rotor na požadované otáčky vhodné pro pohon generátoru. Účinnost těchto turbín je mnohem vyšší než u vertikálních, přibližně okolo 48 %. U **vertikálních** turbín není potřeba měnit směr, proto jsou značně praktické pro oblasti, kde je směr větru velmi proměnlivý. Oproti horizontálním turbínám mají výhodu, že lze generátor i s převodovou částí stavět přímo na povrch země, to vede ke snazší údržbě. Dále se aerodynamicky neovlivňují, takže v případě větrných farem nezabírají tolik prostoru, který by jinak mezi sebou potřebovaly. Jsou však mnohem dražší a mají nižší účinnost, přibližně okolo 38 % [24].

Uskupení větrných turbín se označuje jako větrné farmy/parky, nejčastěji se s těmito elektrárnami lze setkat v úzkých horských průsmycích, v blízkosti zemědělských půd na rozlehlých plochách, nebo dokonce ukotveny v oceánu, kde jsou silnější a stabilnější větry. Takovým větrným turbínám se říká „*offshore větrné farmy*“, ty jsou schopny produkovat mnohem vyšší elektrický výkon [9][24]. Větrné farmy tvoří většinou horizontální typy turbín, které jsou účinnější, ale obecně vyžadují obrovské plochy – vzdálenosti mezi sebou, aby nedocházelo k jejich vzájemnému rušení aerodynamického účinku. Tato vzdálenost se udává okolo 6 až 10násobku průměru rotoru turbíny, ekonomičtější bývá ovšem 15násobek tohoto průměru. Větrné elektrárny v těchto parcích dosahují obvodových rychlostí přes 320 km/h, trubkové ocelové věže sahají do výšky 60 až 90 metrů a lopatky jsou dlouhé v rozmezí 20 až 40 metrů, často modifikované na sklopné lopatky s brzdami kvůli možnému poškození při vyšších rychlostech větru [24].

3 Negativní dopady větrných elektráren

Během konstrukce elektráren se odstraňuje přirozená vegetace a narušuje půda, s tím souvisí možnost zasažení podpovrchových zdrojů nebo eroze a stékání. Podzemní i povrchová voda by mohla být znečištěna nejen erozí, ale i zvětráváním nově vzniklé půdy, což by zapříčiňovalo vyplavování a oxidaci, kdy by se do vody mohly dostávat chemikálie. Mimoto se vypouštějí odpadní a sanitární vody do okolí a aplikují se v průběhu procesu různé pesticidy. Možné zničení biotopů a cest poškozuje přirozené prostředí pro ryby a další živočichy, kteří mohou mít problémy s rozmnožováním a dalšími běžnými procesy v přírodě. Kvůli přepravě materiálu vozidly apod. dochází k vyššímu procentu emisí unikajících do ovzduší, ovšem tyto stavby potřebují stavební povolení, a tak s velkou pravděpodobností by neměly být překročeny normy ohledně kvality ovzduší [1]. V případě nepříznivého počasí hrozí nehody a poškození elektráren kvůli velké nadmořské výšce, do které sahají [16].

Výstavba větrných farem v pobřežních oblastech, nazývaných „*onshore větrné farmy*“ zvyšuje zákal těchto vod, což zapříčiňuje, že se sluneční záření nedostane až na mořské dno, a může tak ovlivňovat organismy na tomto dni se vyskytující. Hovoří se konkrétně o benthické zóně, kam se řadí mořská tráva, houbovci, sasanky, mořští červi, hvězdice apod. Samotná základna pobřežní větrné turbíny vytváří tzv. umělý útes, který má vliv na biologickou rozmanitost. Elektrárna vytváří ve svém okolí elektromagnetické pole, které ztěžuje komunikaci mezi savci, jako jsou například delfini. Během údržby může docházet k úniku mazacího oleje a jiných znečišťujících látek do vody. Tyto velké větrné farmy rovněž vyžadují odlesňování pobřežní vegetace, která vedou k erozi půdy. Ropa a odpadní vody tak mohou prosakovat hluboko pod zem a dále znečišťovat půdu. Z toho důvodu se doporučuje zeleň po instalaci elektrárny opět vysázet [29].

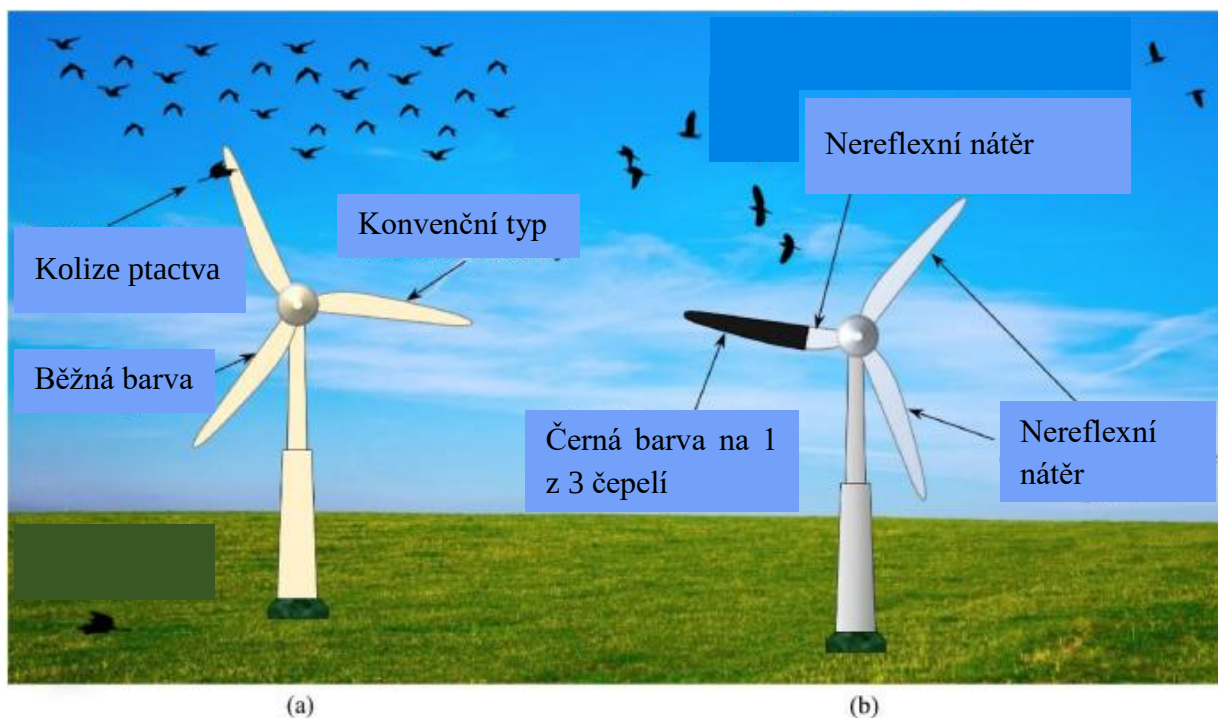
Problém představuje i rozmístění větrných turbín. V případě farem s turbínami typu HAWT nesmí být vzdálenosti mezi nimi příliš malé, jelikož při průchodu proudu přes první turbínu rychlost větru klesá a vzniká tím turbulentní proudění, které následně zvyšuje dynamické mechanické zatížení dalších turbín [31]. Tím se snižuje životnost těchto turbín a jejich výstupního výkonu. Možným řešením by byla instalace turbín typu VAWT umístěné hned za turbínami typu HAWT, protože turbíny VAWT jsou schopny produkovat energii i z turbulentních větrů [29].

Větrné turbíny jsou zodpovědné za úhyn ptactva, ovšem nepříznivě působí také na ostatní druhy živočichů, které se v blízkém okolí vyskytují [1][16]. Mezi nejvíce postižené živočichy větrnými elektrárnami patří netopýři a ptáci [2]. Přesto se vedou diskuze, jak závažný tento fakt ve skutečnosti je, jelikož při odlesňování a urbanizaci je zabito mnohem více ptáků. Uvádí se, že při instalovaném výkonu 1000 MW větrných turbín zemře ročně přibližně 20 ptáků, zatímco přímým lidským faktorem je zabito okolo 1500 ptáků kvůli lovcům. Když se k tomu přičte úhyn cca 2000 ptáků při kolizích s vozidly a elektrifikací, tak vychází, že na každých 250 úmrtí způsobených lidmi zemře pouze jeden pták vlivem větrných turbín [29].

Případnou příčinou srážek ptáků s čepelemi může být jev označovaný jako pohybová skvrna. Během letu ptáka se konce lopatek pohybují takovou rychlostí, až se pro ně objekty stávají průhlednými a nerozpoznatelnými šmouhami. Tento jev způsobuje sítě, pro kterou

se přibližováním k rotující lopatce zvyšuje neustále rychlost tohoto objektu, až dosáhne určité rychlosti, kdy nastane tento jev pohybové skvrny. Ptáci navíc nedokáží v blízkosti lopatek rozlišit jejich zvuk, a tak může docházet ke srážkám s čepelí lopatek. Ptáci mají obecně vyšší prahové vnímání než člověk a některé zvuky nejsou schopni detekovat [1].

V rámci úmrtnosti ptactva vlivem větrných turbín byla provedena studie zabývající se designem lopatek turbín. Jedna ze tří čepelí byla natřena černě a během jedenácti let od roku 2006 probíhalo zkoumání, zda tento krok nějak výrazně zredukuje úmrtnost ptáků. Díky lepší viditelnosti těchto překážek může dojít k poklesu srážek ptactva s lopatkami. Tento výzkum probíhal ve větrné elektrárně Smøla v Norsku, byli zde nasazeni pátrací psi, kteří jsou vycvičeni tak, aby hledali mršiny ptáků. Z 68 turbín na farmě se prováděl pokus na zvolených osmi turbínách, každý ze čtyř párů byl umístěn na jiné lokalitě, v každé dvojici byla modifikována vždy jedna turbína z páru – jedna obyčejná turbína, druhá s jednou lopatkou černě natřenou. Během těchto jedenácti let došlo k 9557 kontrolám turbín a bylo nalezeno 464 uhynulých ptáků. Mimoto proběhlo navíc ještě 464 individuálních kontrol u zkušebních osmi turbín. Roční zpráva o úmrtnosti prokázala, že úhyn poklesl o 71 ptáků [30]. Současně tato studie také zjišťovala statistiky ohledně ročních období a vzešel z ní závěr, že u lakovaných turbín se úmrtnost ptactva výrazně snížila na jaře a na podzim, zatímco v létě byl pozorován opak. Souhrnně se tedy úmrtnost snížila o 70 % [16].



Obrázek 4 Interakce ptactva s větrnými turbínami

Obrázek 4 [30] názorně ilustruje a) **konvenční** a b) **navržený** typ větrné turbíny současně s interakcí ptactva [30]. Na Obrázku 4 je znázorněné možné řešení neblahého efektu světla a stínu. Tento problém, známý také jako blikající efekt, pojednává o odražení světla od lopatek, což může být nepříznivé pro tamní obyvatele. Bližšího zkoumání je třeba ohledně nepříznivých účinků na vodní tvory. Zmírnění tohoto problému by mohl představovat

nereflexní náter na čepelích – turbína vpravo má více zašedlou barvu než turbína vlevo – nereflexní náter [29].

Vyjádření Světové organizace zdraví zní následovně: „Zdraví je stav úplné fyzické, duševní a sociální pohody, nikoli pouze nepřítomnosti nemoci nebo vady“ [[1], str. 73]. Větrné elektrárny/turbíny mají totiž nepřímý dopad na lidské zdraví. Je prokázáno, že nízkofrekvenční šum a infrazvuk turbín způsobuje u lidí nespavost a v následku toho zvýšení stresu obyvatel v blízkém, ale i nedalekém okolí přibližně 16 km od těchto elektráren. Tento neustálý hluk může u obyvatel vyvolávat bolesti hlavy, závratě, špatnou koncentraci nebo zvonění v uších, v některých případech až ztrátu sluchu [1][16]. Hluk ovšem nepůsobí problémy pouze lidem, poškozuje i vnímání a orientaci živočichů, jejich vzájemnou komunikaci a s tím související možnost uhynutí [1]. Existují dva typy hluku, hovoří se o aerodynamickém a mechanickém. S využitím zvukové izolace lze předcházet mechanickému hluku, aerodynamický představuje příčinu bolesti hlavy apod. [16].

3.1 Likvidace materiálu

Poslední krok představuje proces vyřazování z provozu a dopady na životní prostředí – recyklace materiálu by snížila zatížení přírodních zdrojů, které lze v budoucnu využít. Dle výsledků by se recyklací větrných farem o instalovaném výkonu 60 MW nepřímo snížilo přibližně 7351 tun oxidu uhličitého, což činí 70 až 80 % méně dopadů u větrných farem. Zde se hovoří o nově navrhovaných typech elektráren, je však zapotřebí neopomíjet také starší prototypy, které dosluhují, a je nutná jejich likvidace [16][28].

V Evropě by do roku 2025 mělo dojít k vypršení životnosti a demontáži 12 tisíc starších větrných elektráren a nahrazení novějšími typy, u těch se řeší výhodnější využití materiálu, který by byl do budoucna lépe recyklovatelný. V případě lopatek dánský nadnárodní výrobce rotorových listů větrných turbín LM Wind Power hovoří o vylepšené pryskyřici, ze které by měly být listy navrženy a následně i lépe recyklovány. Se základy a veškerými kovovými součástmi elektráren není problém, jsou recyklovatelné a mají následné využití, problém nastává právě u lopatek rotoru. Ty jsou tvořeny na bázi sklolaminátu, u delších lopatek s kevlarovým dříkem. Listy vyvinuty před 20 až 25 lety se skládaly ze sklolaminátu 55 %, epoxidů 35 %, dřeva 5 % a zbytek pak dotvářely kovové i nekovové materiály. Drcením lze docílit komponent využitelných do betonových směsí nebo jako materiál pro lisování kompozitních desek či panelů, s využitím předchozích vlastností materiálů lopatek jsou tyto nové komponenty korozivzdorné a odolávají také ohni a vlhku [25].

Dánský výrobce větrných turbín VESTAS se zavázal k výrobě plně recyklovatelných turbín s nulovým odpadem do roku 2040. GE Renewable Energy (francouzská divize výrobců větrných turbín společnosti General Electric se sídlem v Paříži) patří mezi jednoho z dodavatelů větrných elektráren do USA, v prosinci 2020 se zavázala dohodou o likvidaci listů rotoru s využitím tohoto materiálu jako následné suroviny a paliva při výrobě cementu. Toto lze realizovat prvotním rozemletím drtě z listů na jemnější frakci, následná směs v podobě písku nahrazuje v cementárenské peci uhlí. 65 % hmotnosti drtě zastoupí roli suroviny výsledného produktu, 28 % této drtě jako palivo podpoří chemické reakce v peci. Jelikož se v cementárnách často spalují těžko odbouratelné materiály jako například pneumatiky, neměly by být ani sklolaminátové lopatky problémem. Dle konzultační

společnosti Quantis USA by tento krok mohl vést ke snížení emisí oxidu uhličitého o 27 %, při teoretické hmotnosti jedné lopatky činící přibližně 6,3 tuny se odhaduje, že by nahradila 4,5 tun uhlí, 2,4 tun oxidu křemičitého a 1,7 tun vápence [25].

Kromě chemické, mechanické či termické recyklace je možné i využití celků nebo jejich částí přímo pro nové účely – ze všech nabízejících se možností je tento způsob patrně nejekologičtější a také nejekonomičtější. Listy mohou sloužit jako konstrukční prvky pro přemostění menších toků nebo údolí, jako propustky pod komunikacemi v případě kratších příčných částí, anebo mohou mít kreativnější využití, kterého dosáhli například v Nizozemsku jako přístřešku pro parkování jízdních kol, v Rotterdamu lopatky použili pro skluzavky na dětském hřišti. Konkrétně v České republice posloužila jedna lopatka, poškozena během montáže, jako skluzavka a horolezecká stěna v ekotechnickém centru Alternátor v Třebíči. V Polsku sídlí společnost Anmet zabývající se recyklací a druhotným využíváním demontovaných dílů větrných elektráren, která již získala evropský patent na technologii výroby mostů z lopatek rotoru [25].

4 Solární energie

Zemský povrch přijímá téměř 140 PW energie ze Slunce [33]. Za čistý zdroj energie ji lze považovat v tom smyslu, že během přímé výroby energie nejsou uvolňovány emise uhlíku [32]. Jedná se o zdroj zcela nezávislý, jelikož přímý sluneční svit je dostupný pro všechny, ovšem v severnějších oblastech planety není tento zdroj dostatečný, proto se vyplatí situovat solární panely do pouští, například na jihozápadě USA nebo v Africe [1]. Mezi obrovské nedostatky se řadí přerušovaný charakter získávání solární energie a to v případě zatažené oblohy či v noci [34].

Využití slunce jako zdroje je vícero: přímé sluneční záření lze absorbovat v solárních kolektorech pro prostorové vytápění a ohřev vody; pasivní solární energie může sloužit ke zlepšení vytápění a osvětlení v budovách; a v neposlední řadě pro výrobu elektřiny, o jejímž zdroji se hovoří jako o zelené (obnovitelné) energii, což se považuje za budoucnost, do které se hodlá směřovat. V rámci pasivního získávání energie ze Slunce se nevyužívá žádného zařízení, radí se sem například stavba domů a jejich orientace oken ke Slunci, aby bylo maximálně využito teplo z tohoto zdroje. Poměrně se tím sníží potřeba využívání jiných zdrojů pro vytápění [1][9]. Přeměna slunečního světla na elektřinu se rozděluje podle způsobu této přeměny na dvě technologie: fotovoltaika **FV** a koncentrovaná solární energie **CSP** [1][16].

4.1 Fotovoltaika

Fotovoltaika pracuje na principu fotovoltaického jevu, který některé látky vykazují. Na povrch polovodiče dopadá světlo nebo jiná část elektromagnetického spektra Slunce o určité frekvenci, kdy foton předá dostatečnou energii elektronu na vykonání výstupní práce a na následnou kinetickou energii. Dodáním takového množství energie dojde k reakci a vedení proudu v polovodičích. Usměrněný tok těchto volných elektronů představuje zdroj stejnosměrného proudu, který v případě potřeby lze transformovat na proud střídavý.

Obrovskou výhodou fotovoltaiky představuje přeměna slunečního světla na elektřinu bez potřeby pohyblivých částí, než jako tomu bylo například u lopatek větrných turbín. Náklady na údržbu jsou nižší než u jiných obnovitelných zdrojů energie, navíc konstrukce je velmi jednoduchá [16]. Její využití sahá od drobných spotřebičů až po velké komerční elektrické systémy [1]. V samostatných systémech je možné generovat mikrowatty a při připojení ve velkém měřítku dosáhnout až megawattů energie [33]. Aktuálně činí celková instalovaná kapacita solárních FV systémů kolem 627 GW, což řadí tento zdroj energie na třetí pozici z OZE ve výrobě elektrické energie na světě [20]. Životnost fotovoltaických článků je poměrně dlouhá, vydrží přibližně 20 let [9][16].

Fotovoltaické články se dělí na tři generace, první z nich se vyrábí z krystalického křemíku, kdy převládají verze mono- a polykrystalického křemíku. Za druhou generaci se označují tenkovrstvé solární články sestávající ze selenidu mědi, india a galia, teluridu kadmia a amorfního křemíku. Nakonec třetí generace je rovněž tvořena z tenkých filmů často využívající anorganický materiál s organokovovou sloučeninou [16].

4.2 Koncentrovaná solární energie

Specifičnost této solární tepelné elektrárny tkví v uspořádání zrcadel nebo čoček do kruhu, které jsou natočeny pod úhlem tak, aby se sluneční záření odrazilo do jednoho společného bodu – ohniska. V případě CSP se koncentrované sluneční světlo soustřeďuje na tepelný akumulátor. V něm je umístěna tekutina, která ohřevem od sluneční energie pohání tepelný motor či turbínu. Tepelný motor/turbína je spojen/a s generátorem pro výrobu elektrické energie. Tekutinou bývá zpravidla voda, která se ohřevem přemění na páru pohánějící turbínu. Jiné pokročilé konstrukce provádí experimenty s roztavenou dusičnanovou solí, která disponuje těmi vlastnostmi, že dobře akumuluje energii a skvěle přenáší teplo. To lze využít pro přeměnu energie v elektřinu i za oblačného počasí či v noci [16].

Dle způsobu sběru energie se dělí tyto systémy na koncentrátoři lineární Fresnelovy – obdélníková zrcadla; parabolické koryto – zrcadlové paraboly připomínající satelity; a napájecí věže – velká pole plochých zrcadel známých jako heliostaty [1]. Zrcadlo v parabolickém žlabu slouží k zaostření slunečního světla na trubky nesoucí tekutinu, která je ohřívána na teplotu 390 °C. Tato tekutina sestává z roztavených solí, kapalin na bázi křemíku a syntetických olejů [35]. Únik těchto látek by mohl být škodlivý pro přírodu [16]. V případě věžových CSP se pomocí zrcadel, někdy známých také jako fazety, koncentruje světlo do jediné věže, kde se dosahuje teploty okolo 565 °C. Fresnelova lineární zrcadla pracují při 150 až 360 °C, lze tedy porovnat, že oproti ostatním dvěma typům CSP, má nižší účinnost, ale také nižší smrtnost ptáků. K výrobě 1 MW výkonu je zapotřebí méně než 1 ha půdy [35]. Tyto jednotky lze kombinovat se zemním plynem a vzniklé hybridní elektrárny poskytují vysoce hodnotnou energii po celý den [1].

Zavedením tohoto OZE v obrovském měřítku se může účinně snížit využívání fosilních paliv a s tím související emise uhlíku [16]. Ze sběru dat vázajícího se k roku 2019 vyplynulo, že koncentrovaná solární energie zajišťuje celosvětově přibližně 6,2 GW instalovaného výkonu společně s tepelnými zásobníky o koncentrované energii okolo 21 GWh. Toto tepelné úložiště poskytuje dodávku nepřetržitého napájení [20]. Ekonomická životnost CSP činí přibližně 25 až 30 let [35].

U prototypu systému CSP se zařízením na odsolování mořské vody byla provedena studie, která ukázala prospěšnost tohoto systému na životní prostředí. Studie zkoumala sedm měst, ve kterých byl znám nedostatek sladké vody, výsledky prokázaly, že solární tepelná energie, která upravovala mořskou a brakickou vodu, nepřímo snižuje průměrné emise CO₂ na 47 % emisí z tradičního závodu [34][36].

5 Negativní dopady solárního zdroje energie

Samotné získávání energie ze slunečního záření má minimální emise. Výrobní proces, přeprava, konstrukce, údržba nebo demontáž mohou mít za následek menší procento emisí oxidu uhličitého [1][16]. Odhaduje se, že z celkové životnosti FV systémů se uvolní přibližně 32 až 82 g CO₂ na kWh. Systémy CSP emitují 36 až 91 g CO₂/kWh, v porovnání s FV systémy je to tedy o něco vyšší hodnota, ale stále podstatně nižší než u fosilních paliv [41]. Na 1 kWh výroby elektrické energie prostřednictvím FV elektráren namísto využívání fosilních paliv lze zamezit úniku přibližně 0,53 kg CO₂ do životního prostředí [45]. Během provozu FV nejsou emitovány různé plyny jako SO₂ a NO_x, tento fakt příznivě ovlivňuje lidské zdraví a mohl by nepřímo snížit případy chronické bronchitidy, počty infarktů, astmatu, pneumonie a kardiovaskulárních problémů [33]. Přesto se nesmí opomíjet, že FV systémy se spoléhají na baterie, které jsou nákladné a škodlivé pro životní prostředí [39].

5.1 Fotovoltaika

S fotovoltaikou je možné se setkat na střeších či na polích, v druhém případě z důvodu zachování úhlu fotovoltaických panelů a tím jejich účinnosti je nutno betonovou konstrukci zasadit do půdy. Pro instalaci fotovoltaických elektráren na technické úrovni je třeba přibližně 142 až 405 arů půdy [16]. Následně dochází k tomu, že teplo a voda v půdě se nešíří správně – odklonění místních vodních zdrojů, které ovlivňuje jak flóru a faunu, tak klimatické prostředí [1][16]. Kvalita půdy se zhoršuje a po skončení životnosti FV panelů se proces obnovy vegetace snižuje [16][40]. Možné řešení a efektivní využití představuje situovat solární farmy spíše do zanedbaných těžebních oblastí, dopravních koridorů nebo kontaminovaných brownfieldů namísto hospodárných půd [41]. Jako brownfield se označuje pozemek, který je nedostatečně využíván, zanedbaný či kontaminovaný. Často se lze s tímto setkat jako s pozůstatkem průmyslových, zemědělských, rezidenčních, vojenských či jiných aktivit. Dále bylo zjištěno, že se snižující se vegetací se zvyšuje prašnost, a to nese následek snížení množství slunečního záření dopadajícího na panely (v případě CSP na zrcadla). Prašnost navíc může poškozovat výkon solárních panelů zapříčiněné usazováním částic do těchto systémů. Například v Egyptě výroba energie klesla o 35 % kvůli prachu, kterému byly solární panely v poušti vystaveny. Obecně v souvislosti s kvalitou ovzduší způsobuje prašnost zdravotní problémy [42].

Narušováním a zabíráním půd a pozemků se rovněž mění různá společenstva rostlin a plodin, která zde bují, a tím může docházet ke zhoršení podmínek pro zdejší živočichy [1][16]. Názorně to ukazuje Mohavská poušť v Kalifornii, kde želvy a sovy hrabavé nacházejí nory pro svůj úkryt. Spousta ptáků zde navíc zemřela kvůli teplu způsobenému solárními moduly a zrcadly [37]. Ztráta píce by mohla mít za následek snížení pastvy a mít kulturní i ekonomický dopad na provozování farem [1].

Během konstrukce FV panelů vznikají různé hořlavé a toxické materiály, pokud FV moduly nejsou správně provozovány, existuje menší riziko vzplanutí kvůli přítomnosti některých hořlavých plynů. Tekutina přenášející teplo by při svém úniku do okolí mohla znečistit blízké vodní cesty [43]. Proto je nutno dbát na zvýšenou opatrnost během vyřazování těchto FV modulů, které mohou uvolňovat některé toxické materiály jako například oxid

křemičitý, arsen a kadmium. Křemičitý prach vdechován po delší dobu vytváří silikózu, s níž se pojí zjizvené tkáně v plicích [42].

K výrobě solárních článků se využívá krystalický minerální křemen, označovaný také jako oxid křemičitý. Získávání křemene je velmi obtížné, jelikož se tento minerál nachází převážně v dolech a horníci se vystavují velkému riziku silikózy. Po vytěžení a rafinaci materiálu je nutno získat křemík metalurgické kvality, k čemuž slouží obrovské pece. Energii na jejich provoz zajišťují neobnovitelné zdroje energie, s tím se pojí uvolňování CO_2 . Následně očištěný křemík se nazývá polysilikon neboli polykrystalický křemík, jako vedlejší produkt reakce vzniká toxický chlorid křemičitý. Výhodou zůstává, že tento vedlejší produkt lze recyklovat, a tak není nutná případná další těžba surového SiO_2 . Recyklace vyžaduje méně energie než první proces, avšak tato zařízení jsou poměrně nákladná. Proto často dochází k vypouštění tohoto toxického vedlejšího produktu do vody nebo půdy, kde reaguje za vzniku kyseliny chlorovodíkové, která zvyšuje toxicitu půdy a snižuje její kvalitu [38]. Tenkovrstvé solární články jsou obohaceny o řadu dalších toxických látek jako například CdTe nebo arsenid galia, kterým je třeba věnovat zvýšenou pozornost. Zejména při nepříznivém počasí, kdy by poškozením těchto článků mohlo dojít k uvolnění toxických látek do volného prostředí [16][41].

FV systémy čerpají energii ze Slunce, problém tedy nastává ve chvíli, kdy Slunce zapadne. K tomu slouží baterie, které jsou během dne nabíjeny a v noci poslouží k napájení zátěží. Baterie v těchto samostatných FV systémech obsahují těžké kovy nepříznivě ovlivňující životní prostředí [43]. Jejich životnost se přibližně pohybuje okolo 10 let, jejich výkon se tak výrazně snižuje, proto vzhledem k záruce většiny společností se baterie vyměňují zhruba 2x až 3x během životnosti solárních FV [44]. Z toho důvodu by bylo na místě, aby byly baterie nahrazeny šetrnější technologií skladování energie [16].

5.2 Koncentrovaná solární energie

Výstavba závodu vyžaduje značné investice a prostor, přibližně 162 až 668 arů půdy. Odrážené světlo z těchto konstrukcí může způsobit případnou nehodovost [41][49]. Věžové CSP představují hrozbu pro ptactvo, které při přiblížení se k věžím může zahynout [49]. Během 40 týdnů provozu CSP elektrárny v Kalifornii o výkonu 10 MW uhynulo 70 ptáků. Odhaduje se, že přibližně 81 % úmrtí bylo způsobeno přímou kolizí s heliostatem a zbylá procenta zastávají spalení ptactva [42].

CSP systémy s sebou přináší velkou spotřebu vody, jednak pro chlazení, ale i na čištění od prachu, na které se spotřebuje cca 60 až 99 % celkové vody. V případě chlazení jsou možnosti buď mokrého, anebo suchého chlazení. Odběr vody pro CSP se pohybuje okolo 2400 litrů vody na výrobu 1 MWh energie, tato voda však není spotřební, ale naopak znovu využívána. Suché chlazení je výhodnější v sušších oblastech, avšak po dobu provozu jsou počáteční náklady o 87 až 227 % vyšší než u mokrého chladicího systému. S těmito systémy se pojí likvidace chemikálií, chladicích kapalin, herbicidů a prachových částic, což může vést ke znečištění hlubokých vodních nádrží [42]. Jedna z nepoužívanějších chladicích technik se nazývá *absorpční*, během ní voda společně s chladivou jako čpavek a bromid lithný expandují za nízké teploty a tlaku. Únik těchto chemikálií by rovněž mohl znečistit vodu [43].

Roztavené soli v tekutině CSP systému se využívají jako zásobníky tepla, skvěle fungují pod 600 °C, avšak při překročení této teplotní hranice se začnou rozkládat. Kromě toho reagují s určitými materiály, ze kterých potrubí sestávají [46]. Tomu by mohly napomoci betonové tepelné akumulační systémy [47]. Nicméně je třeba bližšího výzkumu ohledně těchto roztavených solí, dle výsledků [48] celkově snižují dopady na životní prostředí, avšak v tomto případě se hovoří o přírodních solích, syntetizované soli mají větší dopady než ty pocházející z přírodních dolů [48].

6 Vodní elektrárny

Obdobně jako u větrné elektrárny i zde se pracuje na podobném principu získávání energie, ale místo energie větru, která roztáčí lopatky, předává turbíně svou kinetickou energii síla vodního proudu. Voda při své cestě z nádrže do elektrárny ubírá na potenciální energii, získává na kinetické a tu předává turbíně a generátoru, z nichž následně vzejde energie elektrická [16].

Nedílnou součástí těchto elektráren jsou vodní přehrady a nádrže, kde se voda shromažďuje a podle potřeby využívá. Jejich životnost činí přibližně 50 až 100 let, což je podstatně vyšší než u ostatních OZE [16][50]. U přečerpávacích elektráren lze turbínu přepnout do režimu čerpadla, toho se využívá v případě nadbytku elektrické energie, například v nočních hodinách. Tento problém lze řešit spotřebou elektrické energie přečerpáním vody do horní nádrže, kde se zvedne hladina, a voda tak získá na energii potenciální. V případě potřeby voda teče zase do dolní nádrže a využívá se k přeměně na energii elektrickou.

V porovnání jak s ostatními obnovitelnými zdroji, tak i s neobnovitelnými jako fosilní paliva nebo jaderné energie jsou tyto vodní elektrárny světově nejužívanějším zdrojem energie pro výrobu elektřiny. Dle článku [3] k roku 2014 tvořily vodní elektrárny z obnovitelných zdrojů energie 64 %. Od roku 2019 je celosvětově celkový instalovaný výkon těchto elektráren zhruba 1150 GW, což je nejvíce ze všech OZE [20].

7 Negativní dopady vodních elektráren

Problém nastává už v samotné lokalitě nádrže, v případě kopcovitého umístění nečiní problém malá plocha, jelikož nádrž může být hluboká a tím pojme velký objem vody. Zato v rovinatých oblastech je třeba zaplavit obrovské plochy. Například elektrárna Balbina na řece Uatuma v amazonském deštném pralese zaplaví 2360 km² půdy pro výrobu 250 MWh energie, zatímco malá elektrárna v kopcovitém terénu o rozloze pouhých 0,253 km² může vyprodukovat 10 MWh energie. Zaplavením oblastí se ničí hospodárná půda, archeologická naleziště, stanoviště zvířat, ale rovněž dochází k vysídlování původních obyvatel [51].

Samotný proces získávání energie je velice čistý a nemá přímý vliv na životní prostředí, ovšem studie zabývající se emisemi OZE odhaduje, že nejen během instalace a vyřazování, ale i v průběhu samotného provozu se nepřímo uvolňuje značné množství skleníkových plynů. U malých závodů se uvádí přibližně 4,5 až 13,61 g CO₂/kWh, u velkých závodů okolo 27,2 g CO₂/kWh. Předpokládá se, že vodní elektrárny během svého životního cyklu vyprodukují přibližně 226,8 g CO₂/kWh [53]. Nicméně díky vysoké životnosti těchto elektráren se tyto emise jeví jako zanedbatelné v porovnání s fosilními palivy [50].

V první řadě nastává problém s migrací ryb, zejména lososů a pstruhů, a jejich reprodukci. Lososi žijí sice v mořích, ale v období tření se vrací do sladkých řek, kam plují proti proudu. Nově vylíhnutí jedinci v těchto sladkých vodách vyrůstají a jako dospělí se navrací do moří. Vodní přehrady tomuto migrování zamezují. Jedno z možných řešení problému je zavést kaskádovitě žebříky, díky nimž by se ryby dostaly zpět přes přehradu i proti proudu. Problém ale představuje také dostat se přes přehradu po proudu. Odklonění ryb od sání do turbíny se často řeší za pomoci podvodních světél či zvuků, nebo aplikací stojanů a sítí [1][16]. Úmrtnost ryb způsobená vodními turbínami se odhaduje okolo 5 až 10 %. Americké ministerstvo energetiky chce toto číslo snížit na 2 % [50]. S poklesem populace ryb trápí rybářský průmysl [54].

Přehrady regulují tok vodního proudu a to výrazně ovlivňuje stanoviště ryb a jiných vodních živočichů jejich přirozeného vývoje společně s vegetací, která se v těchto oblastech vyskytuje. Je proto nutné kontrolovat tok a hladinu vod, buď měřením objemového průtoku vody v časovém úseku určitou oblastí řeky, anebo porovnáním, o kolik stoupla či klesla hladina vody vůči měřidlu. U regulovaných toků bývá přirozený biorytmus často narušen, oblasti proti proudu od nádrží jsou zaplavovány, naopak oblasti po proudu vysušovány [1][16].

Další z řad problémů představují povodně. Při vypuštění většího množství vody z přehrady může dojít k rozvodnění řek a zaplavení zemědělských oblastí, divoké zvěře, lesů, ale i elektrárny samotné, jako tomu bylo v případě vodní elektrárny Dhauliganga v Indii v roce 2013 [3], kdy utržení části ledovce z Himalájských hor do tamní přehrady zapříčinilo obrovské záplavy a mělo na svědomí přes stovku lidských životů [27]. Záplavy navíc rozkládají okolní půdu a rostlinný život, to vede k uvolňování metanu a oxidu uhličitého z rozložené vegetace a půdy, z tohoto důvodu se produkované emise v tropických oblastech pohybují ve vyšších číslech než jinde [16].

V některých případech se jezera využívají jako vodní nádrže. S neustálým oteplováním souvisí zvýšená míra vypařování a v kombinaci se zadržováním vody v nádržích, s odbytem

pro okolní lidská obydlí, průmyslové zóny a různé zemědělské obhospodařování a zavlažování je následný úbytek vody znatelný [16]. Rychlost odpařování stojaté vody je vyšší než tekoucí vody, což vede k nárůstu srážek [52][55]. Zadržování vody vysušuje některé úseky dolních řek a to ovlivňuje rostliny a zvířata. V nádrži dochází k poklesu hladiny rozpuštěného kyslíku ve vodách a nejspodnější voda, která odtéká po proudu, je chladnější než říční. Tato studená a odkysličená voda působí nepříznivě na rostliny a zvířata, je proto nutné tento problém řešit různými provzdušňovacími technikami a zajistit odebrání vody z různých úrovní, aby se tak zvýšila její celková teplota. Kromě toho kvůli stojatým vodám v nádrži se hromadí přebytečné živiny, usazeniny a plevel [1][52]. Zadržování těchto sedimentů v nádržích vede k omezené funkčnosti řeky a erozím břehů, které nejsou dostatečně zpevněny. Mimoto se v nádržích mohou hromadit toxické kovy ze zatopených oblastí [54]. Za přehradami se navíc usazuje bahno a hlína z koryt, které zpomalují tok řeky [9].

Alternativu vodních elektráren představuje náhrada vodních přehrad zařízením pro odklon vody, někdy nazývané *run-of-river*, kdy je celý tok, nebo alespoň jeho část odváděna z jeho přirozeného toku kanálem, nebo přivaděčem a následně využívána pro pohon turbíny. Tato alternativa se hojně využívá v oblastech, kde výrazně klesá hladina vody, tedy například v blízkosti vodopádů nebo peřejí [1][5].

Pro porovnání poslouží největší vodní elektrárna na světě čínská přehrada Tři soutěsky, která má instalovaný výkon 22,5 GW a během let 2003 až 2010 nepřímo snížila emise uhlíku přibližně o 406,7 milionů tun. Za stejnou dobu provozu se ale prokázaly i negativní dopady na životní prostředí, kdy se v nádrži usadilo okolo 142 milionů tun sedimentů. Od roku jejího vzniku je pozorován rovněž hojný výskyt řas a roční vzrůst erozí o 108,8 milionů m³. Čtyři místní populace ryb v období pěti let poklesly o 78,2 %. V pravidelných intervalech se dokonce začaly vyskytovat nízké stupně seismické činnosti vyvolané nádrží. Místní teplota vzduchu v okolí nádrže stoupla o 0,2 až 1 °C a srážkový úhrn o 2 až 9 %, naopak poklesl počet mlhavých dnů [55].

8 Biomasa neboli bioenergie

Biomasa je organického původu, to znamená, že pochází ze všeho živého, respektive dříve živého, neřadí se sem suroviny, které prošly geologickými procesy přeměny jako uhlí nebo ropa. Někdy se o biomase hovoří jako o prvotní energii ze slunce, jelikož rostliny za pomoci fotosyntézy tuto energii ze slunce přijímaly, a přeměňovaly tak vodu a oxid uhličitý na potřebné živiny, respektive sacharidy. Nejčastěji tuto skupinu reprezentují rostliny jako kukuřice nebo sója, dřevo a odpad, které následným spálením lze přeměnit na energii pro výrobu elektřiny, anebo se využívá jako zdroj tepla. Obě tyto varianty se označují jako přímá přeměna. Při výrobě biopaliva z biomasy se hovoří o nepřímé přeměně. Klíčovou chemickou sloučeninou biomasy jsou uhlovodíky [1][8][16].

Obecně se zdroje surovin biomasy rozdělují do tří kategorií – primární, sekundární a terciární. Primární tvoří obilniny a olejniny, dřeviny, víceleté trávy a řasy; za sekundární suroviny se označují hnůj od hospodářských zvířat, zbytky potravin nebo dřeva; poslední skupina zahrnuje komunální odpad, sanitární odpad, skládkové plyny, sutě, obalový odpad a mnoho dalšího [1].

8.1 Tepelná přeměna

Tepelná přeměna slouží k dehydrataci, spálení a stabilizaci surovin biomasy. Nejčastěji se pro tepelnou přeměnu využívá tuhý komunální odpad, zbytky z papíren a dřevařských závodů. Před samotným procesem spalování nebo zplyňování je možná *torefikace*, během které dochází k zahřívání a vysoušení biomasy. Biomasa se zahřeje na teplotu přibližně 200 až 320 °C, kdy dojde k úplnému vysušení, což představuje, že biomasa již není schopna absorbovat jakoukoliv vlhkost, případně hnit. Tímto procesem ztratí 20 % své původní hmoty, ovšem 90 % její původní energie je zachováno a může být dále využíváno. Po fázi vysušení následuje stlačení zčernalého materiálu do tzv. briket. Díky procesu torefakce není třeba řešit prostředí, ve kterém jsou uskladněny, jelikož jsou to materiály zcela hydrofobní, neboli vodu odpuzující. Brikety se velice snadno spalují díky vysoké energetické hustotě. Rozlišuje se *přímé spalování* a *společné spalování*. Při přímém spalování probíhá proces hoření briket za vzniku velkého množství tepla ohřívajícího vodu v okruhu. Vzniklá pára pohání turbínu a ta roztáčí generátor vyrábějící elektrickou energii. Společné spalování spočívá v tom, že se biomasa spaluje v uhelných elektrárnách. Eliminuje se tím potřeba výstavby nových elektráren pro zpracování biomasy. Zároveň se redukuje množství fosilních paliv, které by bylo za běžných podmínek využito, takže se tím snižuje i množství oxidu uhličitého a dalších skleníkových plynů uvolňovaných do ovzduší [8][16].

Příbuzným způsobem ohřevu biomasy je *pyrolýza*, rozdíl spočívá v tom, že ohřev biomasy probíhá bez přítomnosti kyslíku, což brání spalování a naopak způsobuje chemickou změnu biomasy na tmavou kapalinu zvanou **pyrolýzní olej**, někdy označovaný jako bio-olej. Tento olej je druhem dehtu, který je obecně produktem rozkladu organického materiálu. Pyrolýzní olej se dokonce zvažuje jako možná alternativa místo ropy. Procesem pyrolýzy lze získat **biouhel** bohatý na uhlík, který se dále využívá v zemědělství, obohacuje totiž půdu a zamezuje vyluhování pesticidů a dalších látek do stékajícího odpadu. Vzhledem k jeho dobré absorpci uhlíku se využívá pro uhlíkové jímky – nádrže na chemikálie obsahující uhlík,

včetně skleníkových plynů. Oproti klasickému dřevěnému uhlí se nevyužívá jako palivo. Spalováním biomasy reakcí s kyslíkem vzniká také **syngas**, sloučenina vodíku a oxidu uhelnatého, který je klíčovým meziproduktem a lze jej přeměnit na palivo či metan, a nahradit tak klasický zemní plyn. Mezi další přímé přeměny se řadí *zplyňování*, v tomto případě se biomasa ohřeje na více než 700 °C řízeným množstvím kyslíku. Dochází k rozpadu na syngas a strusku. Během tohoto procesu se syngas zbavuje a čistí od síry, rtuti a dalších znečišťujících látek. V poslední době se průmyslová zplyňovací zařízení stávají velkým trendem v energetice, nejvíce v Austrálii a Asii. Největší zplyňovací elektrárna ve výstavbě se nachází v Anglii, měla by být schopna přeměnit více než 350 000 tun tuhého komunálního odpadu v energii poskytující napájení pro 50 000 domácností [8].

Nejtypičtější procesem je *anaerobní rozklad*, jehož produktem je bioplyn skládající se z metanu a oxidu uhličitého, vzniklý metan by do budoucna mohl nahradit fosilní paliva. Tento rozklad lze realizovat na farmách či v běžných zahradách, je k tomu zapotřebí obyčejný hnůj a další živočišný odpad, z jehož rozkladu se produkuje využitelná energie. Podstatu anaerobního rozkladu představují bakterie rozkládající materiál v nepřítomnosti kyslíku. Nejčastěji se s tímto procesem lze setkat v čistírnách odpadních vod či na skládkách odpadu, kde je biomasa rozdrcena a stlačena, vzniká tak na kyslík chudé prostředí [8][56].

8.2 Biopalivo

Biomasa se řadí mezi jediný obnovitelný zdroj energie, ze kterého se vyrábí kapalná biopaliva ve formě *etanolu* a *bionafty*. Obvykle se k výrobě biopaliv využívá cukrová třtina a kukuřice. Biopalivo se hojně využívá k pohonu vozidel, nefunguje však natolik efektivně jako například benzín, a tak se s ním často míchá. Tato variace kombinuje účinný pohon vozidla a současně se neuvolňuje tolik emisí spojených s fosilními palivy. **Etanol** se vyrábí fermentací (kvašením) biomasy s vysokým obsahem sacharidů, což představuje zejména cukrová třtina, pšenice a kukuřice. **Bionafta** kombinuje etanol se živočišným tukem, recyklovaným kuchyňským tukem nebo rostlinným olejem [8][16][56]. K vytvoření čistého a obnovitelného biopaliva lze využít chemikálií v mořských řasách. Pro získání tohoto druhu energie z biomasy není třeba hektarů orné půdy jako u jiných surovin [9].

8.3 Vodíkové palivové články

V souvislosti s vysokým obsahem vodíku v biomase se tento prvek chemicky extrahuje a využívá k pohonu vozidel či výrobě energie, jelikož vodík samotný není zdrojem energie, nýbrž jejím nosičem [8]. Vodíkový palivový článek je zařízení, které využívá kyslík a palivo bohaté na vodík k výrobě elektřiny elektrochemickým procesem. Jediný článek se skládá z elektrolytu a dvou elektrod potažených katalyzátorem. V rámci využívání čistého vodíku jako paliva dochází k minimálnímu produkci skleníkových plynů a dalších znečišťujících látek, jelikož palivové články vydávají pouze teplo a vodu jako vedlejší produkty [1]. Stacionární palivové články se obvykle využívají na odlehlých místech, kam se řadí vesmírné lodě nebo oblasti divočiny, jak by se dala označit například Antarktida. S palivovými články se lze setkat i v národních parcích, vhodnou ukázkou může být Yosemiteký národní park ve

Spojených státech amerických ve státě Kalifornie, kde tyto články slouží k zásobování elektrinou a teplou vodou pro administrativní budovy [8].

9 Negativní dopady biomasy

O biomase lze hovořit jako o obnovitelném zdroji energie, pokud se suroviny dodávají stejně rychle, jako se využívají. Například cyklus růstu lesa představuje stovky let, s tím souvisí fakt, že zalesněné plochy dozrávající po desetiletí lépe vážou uhlík než nově osázené plochy. Výhody používání dřeva jako paliva ztrácí svůj význam a stávají se irelevantními, pokud zalesněné plochy nebudou káceny udržitelně, znovu osázeny a nebude jim poskytnuto dostatek času na růst a vstřebávání uhlíku. Odstraňování biomasy z lesních stanovišť zapříčiňuje zvýšení množství oxidu uhličitého v ovzduší, který jinak běžně tyto přírodní filtry zachycují, toto odlesňování navíc urychluje globální oteplování [1][8][56][57]. Mimoto většina surovin biomasy jako kukuřice, sója a další vyžaduje ke svému pěstování ornou půdu, která ale zabírá plochy pro jiné plodiny – potraviny, které by bylo jinak možno pěstovat, nebo by tato místa mohla poskytovat přírodní stanoviště pro zvířata [8][56]. Obdobně jako potravinářské plodiny mohou suroviny biomasy rovněž zapříčiňovat erozi [57]. Tyto zemědělské plochy jsou navíc postřikovány pesticidy, které znečišťují ovzduší a vodu [9]. Kromě orné půdy vyžaduje biomasa i velké prostory pro její uskladnění před přeměnou na energii [56]. K výrobě 1 MWh energie se spotřebuje přibližně 75 až 190 tisíc litrů vody, v oblastech nízkých srážek bude tato hodnota činit ještě o mnoho víc. Ohřátá voda se vypouští zpět do zdroje a obsahuje přebytek živin z energetických plodin, což negativně ovlivňuje ekosystém [57].

Spalováním biomasy se uvolňují mnohé znečišťující látky a částice jako oxid uhelnatý, oxid siřičitý a oxidy dusíku, které, pokud se nebudou zachycovávat, mohou vytvářet smog a dokonce překročit množství znečišťujících látek, které běžně produkují fosilní paliva [8][57]. V případě kapalných biopaliv a jejich využití jako alternativy ke konvenčním pohonným hmotám se považují za uhlíkově neutrální. Směsi etanolu a ropného etanolu tedy vytvářejí méně emisí, nicméně je třeba dbát na řádné zpracování ropy před jejím smícháním s etanolem, jelikož v důsledku odpařování z palivových nádrží jsou emitovány do přírody smog a ozón [16][56]. Celkově průměrné emise uhlíku činí 45,84 g CO₂/MJ energie [16].

Další problém spočívá v udržitelnosti podniku, který na zpracování biomasy funguje. Tyto továrny vyžadují dodávky fosilních paliv, aby byly ekonomicky efektivní. Rovněž se odhaduje, že biomasa by neměla být přepravována dále než do 160 kilometrů od místa, kde se zpracovává. Je to i z toho důvodu, že oproti fosilním palivům se biomasa vyznačuje podstatně nižší hustotou energie, jelikož biomasu tvoří až z 50 % voda, která se během procesu přeměny energie vytrácí. Nedostatečnou energetickou hustotu paliva lze zvýšit přeměnou biomasy na pelety [8]. Navíc plodiny takto přepravované do energetických závodů pomocí těžkých vozidel zvyšují úroveň uvolňovaných emisí do ovzduší [16][57].

10 Geotermální zdroj energie

Hluboko pod povrchem ve středu Země se nachází extrémně horké jádro, jeho teplota se odhaduje přes 6 000 °C, teplo z něj neustále sálá k povrchu zemskému. Geotermální energii probublávající na povrch lze pozorovat například ve formě lávy nebo gejzíru. V případě lávy se nejdříve roztaví podzemní horniny díky teplu středu Země na magma, které následně vybublá na povrch jako výsledná láva. Kromě hornin se může ohřívat také podzemní voda, která je nucena vytryskávat z povrchu Země. Takový proud ohřáté vody se nazývá gejzír. Většina tepla Země je skryta pod povrchem a jen velmi pomalu se dostává ven. U geotermální energie je důležité buď její teplo, které se získává pomocí *teplných čerpadel*, anebo pára, která se *podzemními potrubími* přivádí přímo do elektráren [9][16].

Geotermální tepelná čerpadla tvoří potrubí s vodními smyčkami mezi budovou, která je vytápěna, a dírami vykopanými hluboko pod zemí. Voda v tomto potrubí je hluboko pod zemí geotermálně ohřívána a přivádí teplo až nad zem do budov. Souhrnně tento typ čerpadel se využívá buď pro vytápění budov [9], anebo tohoto využívají některá americká města z důvodu tání sněhu na chodnících a parkovištích [10].

V těch oblastech světa, kde se vyskytuje podzemní pára, lze tuto energii využít k výrobě elektřiny. Pára je vedena potrubím přímo do elektrárny. Ovšem v oblastech se suchou půdou se voda vstříkuje pod zem, aby se požadovaná pára vytvořila. Pára, která se dostane na povrch, roztáčí turbínu pohánějící generátor, který elektrickou energii vyrábí [9]. Existují tři typy geotermálních elektráren: na suchou páru, mokrou páru a elektrárny s binárním cyklem [11]. S počáteční investicí v rozmezí od 47 do 164 milionů Kč lze získat elektrárnu o výkonu až 1 MW [15].

Geotermální elektrárna **se suchou párou** funguje na principu termodynamického cyklu, kdy přímo využívá přehřátou geotermální páru dosahující až 250 °C a tlaku 3,5 MPa. Tato pára roztáčí turbínu, následně po využití její energie dochází ke kondenzaci této páry a voda je přečerpávána zpět do geotermálního reservoáru přes sousední vrty. Tento typ geotermální elektrárny se řadí mezi jedny z nejstarších, účinnost tohoto cyklu dosahuje pouhých 15 % [11].

U geotermální elektrárny **s mokrou párou** se pracuje s parovodní směsí či dostatečně horkou vodou při vyšším tlaku. Je nutno od pracovních látek mokrou páru odseparovat. Tento proces se provádí za sníženého tlaku, kdy se část vody odpaří na mokrou páru, která je dále odváděna do turbogenerátoru. Jakmile se tato pára využije pro dodání energie, je opět zkondenzována a se zbylou vodou přečerpávána zpět do geotermálního reservoáru. Účinnost tohoto cyklu se udává v rozmezí 8 až 10 % [11].

V případě **binární** elektrárny horká geotermální voda o teplotě 110 až 180 °C ohřívá a odpařuje pracovní látku v tepelném výparníku. Pracovní látku představuje freon, propan či izobutan, které jsou specifické svým nižším bodem varu. Geotermální voda a pracovní látka jsou odděleny a každá má svůj vlastní cirkulační okruh, voda se vůbec nedostává do kontaktu s turbínou a místo toho je hned z výparníku čerpána zpět do geotermálního reservoáru. Lze hovořit o nulových emisích. Účinnost tohoto typu elektrárny se pohybuje mezi účinnostmi se suchou a mokrou párou [11].

Přímé emise tohoto typu elektrárny bývají ve většině případů velice nízké [58]. Od roku 2019 se prostřednictvím geotermálních elektráren využívá okolo 95 TWh elektrické energie. Celkový instalovaný výkon činí 13,9 GW. Za posledních několik let se přímé využívání geotermální energie zvýšilo o 8 %, kdy se většina této energie koncentruje na vytápění prostor. Tento zdroj energie může být neustále k dispozici, avšak přístup k němu je jen na několika místech na Zemi, například Keňa, Indonésie, Turecko a několik dalších zemí v nedávné době instalovaly tento typ elektráren [20]. Hojně se energie Země využívá na Islandu, kde se nachází velké rezervoáry podzemní vody. Necelých 90 % obyvatel na Islandu využívá geotermální energii k vytápění svých domovů a podniků [9]. Největším světovým producentem geotermální energie jsou Spojené státy [10]. V České republice se kvůli lokalitě s geotermálními elektrárnami nelze setkat, využívají se zde pouze tepelná čerpadla.

11 Negativa geotermální energie

Geotermální energie není dostupná ve všech částech světa. V oblastech se suchým teplem se navíc plýtvá velkým množstvím sladké vody, která slouží k produkci páry. Sladké vody ale nemusí být výhledově dostatek [9]. V rámci udržitelnosti tohoto zdroje energie, je třeba, aby byla kapalina čerpána zpět do podzemních nádrží rychleji, než se vyčerpává na povrch. Za nevýhodu lze považovat poměrně velkou nákladnost, pokud se ovšem na geotermální elektrárnu nahlíží jako na dlouhodobou investici, pak se tyto výdaje časem vrátí [15]. Pro efektivní provoz elektráren je zapotřebí velkých ploch, v určitých oblastech nastávají problémy se zvýšenou prašností a zápachem, což ve většině případů vede k vysídlování obyvatel [60].

Přestože geotermální elektrárny přímo neuvolňují skleníkové plyny, pod zemským povrchem je jich uloženo mnoho a během kopání a stavby těchto elektráren se uvolňují do atmosféry, což je pro tyto plyny přirozené, avšak v blízkosti elektráren se toto uvolňování zvyšuje. Podíl emisí je zanedbatelný ve srovnání s fosilními palivy [15]. Mezi nevýhody patří uvolňování sirovodíku, který při nízkých koncentracích zapáchá jako zkažená vejce. Další otázkou je odbourávání geotermálních kapalin, které mohou obsahovat nízké úrovně toxických materiálů v případě otevřeného cyklu elektráren [10][58]. U geotermálních elektráren s binárním cyklem se do budoucna řeší možnost využívání méně škodlivé pracovní látky [11]. Geotermální elektrárny přímo emise neemitují, avšak nepřímo se uvolňují některé skleníkové plyny jako CO_2 , CH_4 , H_2S a NH_3 obsažené v odpadních vodách elektráren, tím se vyprodukuje 380 až 1045 kg CO_2 /MWh. V některých případech jsou tyto hodnoty prakticky srovnatelné s dopady u jiných elektráren na fosilní paliva [58]. Tyto výše zmíněné nepřímé dopady geotermálních elektráren zkoumala studie [59], která ukazuje, že množství emisí je specifické pro jednotlivé případy, hlavním faktorem ovlivňujícím míru emisí je kolísající spotřeba nafty pro vrtání. Životní prostředí tedy ovlivňuje technologie vrtání a doba jejího používání, což je pro každé konkrétní místo specifické. Ke zmírnění dopadů se doporučuje využívat elektrické nebo tepelné třískové vrtání, vhodná délka vrtu se odhaduje na 90 km [59]. Mimoto dochází k okyselení prostředí produkcí cca 0,1 až 44,8 kg SO_2 /MWh. Ve srovnání s elektrárnami na fosilní paliva je však případná toxicita pro člověka přibližně 15krát méně škodlivá. U některých elektráren se lze v geotermální vodě setkat se stopovými prvky toxických látek jako chróm, antimon, arsen nebo rtuť [58]. V důsledku toho se zkoumá mnoho technik na odbourání těchto látek, v jednom z případů se analyzuje vliv feromagnetických částic a částic α -hematitu k odstranění arsenu. Po odebrání pěti vzorků bylo prokázáno odstranění 99,9 % částic arsenu, takto očištěné vody by tedy neměly dále znečišťovat životní prostředí a naopak být využity v různých oblastech [16].

Elektrárny mohou způsobovat sedání podloží nebo zvyšovat seismickou aktivitu [11][16]. Vyvolání zemětřesení je způsobeno kopáním a s tím související změnou struktury Země. S tímto problémem se lze setkat u vylepšených geotermálních elektráren, které tlačí vodu do zemské kůry, aby otevřely trhliny pro větší využití zdroje. Avšak tento typ elektráren bývá většinou situován v dostatečné vzdálenosti od populace, a tak dopady těchto zemětřesení jsou relativně malé [15]. Zvýšená seismická aktivita byla podložena například u plánované

geotermální elektrárny v Basileji, kde po šesti dnech hydraulického buzení byly pozorovány seismické aktivity dosahující Richterovy škály 3,4 [59].

12 Shrnutí dopadů všech typů OZE

V oblasti třetí generace obnovitelných zdrojů mají větrné elektrárny druhou největší kapacitu výroby energie okolo 651 GWh a nejmírnější dopady na životní prostředí v porovnání s ostatními OZE [16][20]. V rámci snížení úmrtnosti ptactva a zamezení efektu blikání je možné lopatky potříst nereflexním nátěrem a jednu z nich dokonce nabarvit načerno [29]. Zvuková izolace zajistí snížení hluku [16]. Likvidace lopatek je obtížná, ale ne nemožná. Do budoucna se plánuje inovace materiálu lopatek z lépe recyklovatelné pryskyřice [25].

V porovnání FV a CSP systémů z hlediska materiálu vychází lépe CSP, ty pro svou konstrukci vyžadují pouze ocelové trubky, reflektory vyrobené z křemíku a konvenční kotle. Všechny tyto komponenty jsou dostupné na trhu, zatímco u FV systému je samotná těžba minerálního křemene náročná a ke zpracování jsou nutná fosilní paliva [38]. CSP potřebují velké plochy pro umístění reflektorů, u FV systémů je možné tyto panely instalovat i na střechy budov [16]. Problém FV systému tkví v bateriích, které obsahují těžké kovy [44]. Součástí CSP systémů jsou tepelné zásobníky obsahující roztavené soli, které mohou kontaminovat vodu nebo chemicky reagovat s prostředím. Ke zmírnění dopadů bývá elektrárna spojena s odsolovacím zařízením [48]. CSP mají velkou spotřebu vody pro údržbu reflektorů [42]. Celková instalovaná kapacita FV systémů činí 627 GW [20]. Za dobu životnosti systémů se vyprodukuje u FV přibližně 32 až 82 g CO_2/kJ , u CSP 36 až 91 g CO_2/kJ [41].

Vodní elektrárny disponují největším celkovým instalovaným výkonem 1150 GW [20], ale z hlediska šetrnosti vychází mezi ostatními OZE nejhůře. Dopady napříč různými zkoumanými oblastmi jsou nejvíce alarmující. V rámci znečišťování ovzduší, i když nepřímo, uvolňují ze všech ostatních typů OZE nejvíce skleníkových plynů. Okolo 226, 8 g CO_2/kJ během životního cyklu elektrárny, průměrně 27,2 g CO_2/kJ [53]. Výrazně toxifikují vodu, ovlivňují proudy, způsobují usazování sedimentů a nadměrně obohacují vody o živiny dusíku a fosforu [16][52][53][54][55]. I přes zavedení různých technik populace ryb výrazně klesá [54]. Vodní komplexy zabírají velké pozemky a s tím souvisí vysídlování původních obyvatel [16]. Tento OZE způsobuje vysušování dolních toků řek, eroze, záplavy, ovlivňuje vegetaci, ale může i vyvolávat seismické aktivity [52][53][55]. Elektrárny vydávají hluk a jejich recyklace je komplikovaná [16].

Biomasu lze využívat jako palivo ve stávajících uhelných elektrárnách a snižovat tím potřebu fosilních paliv [8]. Spalováním biomasy se ale rovněž uvolňuje CO_2 a k jeho zachycování by měly být využívány pokročilé technologie, celkem v průměru se vyprodukuje 45,84 g CO_2/MJ [57]. V rámci snížení emisí spojených s dopravou se doporučuje biomasu nedovážet dále než do 160 km od místa zpracování. Toto omezení má i ekonomický význam, jelikož biomasa se vyznačuje podstatně nižší energetickou hustotou než fosilní paliva [8]. Je třeba dbát na trvale udržitelné hospodaření v lesích a stejně tak zajistit, aby pěstování energetických plodin nebylo přítěží pro potravinářské plodiny. Největší nevýhodou biomasy je rozloha půdy, kterou zabírá [56][57].

V případě geotermálních elektráren hrají negativní dopady velmi malou roli za předpokladu, že se další hluboké vrty budou provádět pomocí elektrických či tepelných třískových vrtání. V opačném případě by se nepřímo mohlo uvolnit 380 až 1045 kg CO_2/MJ

[59]. Za zvýšené seismické aktivity se doporučuje odběr energie zastavit [11][16]. Přístup k tomuto zdroji energie je lokální, ovšem v takovéto oblasti může využití energie být obrovské, instalovaný výkon geotermální elektrárny může činit až 13,9 GW [9]. Nevýhodu představují rozlohy pozemků, které jsou zapotřebí pro elektrárny, s tím se pojí vysídlování tamních obyvatel [60].

13 Obnovitelné zdroje využívané v ČR

Ze statistik v *Tabulce 1* [6] napříč roky 2013 až 2020 vyplývá, že využívání neobnovitelných zdrojů stále převažuje, v porovnání s obnovitelnými zdroji přímo markantně. Fosilní zdroje zastupují v průměru okolo 55 % zdrojů energie v České republice, na druhé místo se řadí jaderná energie okolo cca 35 %, zbytek tvoří obnovitelné zdroje. Lze vidět, že jejich využití je opravdu minimální, ve statistikách se ovšem objevuje i menší pokrok a snaha omezení fosilních paliv a naopak k tomu rozšíření obnovitelné energie. Ve srovnání posledních dvou zaznamenaných let, tedy roku 2019 a 2020, vzrostlo využívání obnovitelných zdrojů o 2,85 %, fosilní paliva klesla přibližně o 4,5 %. Za zmínku stojí povšimnout si procenta využívání obnovitelných zdrojů napříč roky, v roce 2015 byla tato hodnota nejvyšší a to konkrétně 11,77 %, s nadcházejícími roky však došlo k úbytku využívání těchto zdrojů. Celkově, když se zhodnotí, jaký podíl má určitý typ obnovitelného zdroje, pak dominantou v České republice je biomasa a hned za ní následuje sluneční energie, naopak vodní a větrné elektrárny zde nemají takové využití [6].

Tabulka 1 Statistika využívání OZE v ČR

Zdroje energie [%]	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Obnovitelné zdroje celkem	5,68	10,95	11,77	10,11	7,6	6,17	3,9	6,75
Sluneční	1,96	2,63	2,88	2,77	2,14	2,07	1,66	2,27
Větrné	0,47	0,57	0,71	0,63	0,45	0,22	0,00	0,43
Vodní	1,93	2,56	2,67	1,15	1,43	0,77	0,44	0,65
Biomasa	1,33	2,19	2,34	5,57	3,58	3,11	1,81	3,4
Ostatní	-	2,99	3,17	-	-	-	-	-
Fosilní zdroje celkem	57,65	52,77	55,1	59,53	57,4	56,95	57,01	52,5
Hnědé uhlí	40,71	41,27	42,15	43,91	43,77	44,63	46,18	40
Černé uhlí	6,11	5,78	6,31	6,97	5,38	4,18	2,84	2,66
Zemní plyn	8,3	5,52	6,41	8,4	5,45	5,8	7,74	9,61
Ropa	0,01	0,06	0,05	0,05	0,06	0,04	0,15	0,11
Druhotné zdroje	2,52	0,14	0,18	0,2	2,73	2,3	0,1	0,12
Jaderné zdroje	36,67	36,28	33,13	30,36	35,01	36,88	39,09	40,75

Ke dni 28. ledna roku 2022 vyšel aktuální článek České tiskové kanceláře zabývající se nevyužitým potenciálem obnovitelných zdrojů v České republice. K této problematice se vyjádřili členové například z Hnutí duha, Svazu moderní energetiky, ale i mluvčí Greenpeace.

Podle mluvčího Hnutí duha Aleše Miklíka tkví problém malého podílu využívání obnovitelných zdrojů také v tom, že zejména u větrných elektráren je nainstalovaný výkon zbytečně malý a potenciál větru by se dal lépe využít [4]. Podle expertů z Ústavu fyziky Akademie věd ČR by mohlo být reálné, aby do roku 2040 pokrývaly větrné elektrárny 28 % spotřeby energie, národní plán obnovy ale tyto možnosti momentálně nebere na zřetel [14]. Stejně tak u fotovoltaiky, přestože v zimních měsících by neměla takový užitek, i tak by bylo možné přes léto vyrábět dostatek energie a přebytky ukládat na zimu kupříkladu ve formě vodíku. Programový ředitel Svazu moderní energetiky Martin Sedlák navíc tvrdí, že pokud chce nová vláda dostát svého závazku utlumení uhelných elektráren, pak by měla zvážit podporu solárních elektráren, jelikož tato cesta by v podmínkách České republiky mohla být tou nejlevnější [4].

Na počátku prvního desetiletí 21. století zaznamenala v Česku fotovoltaika velký vzestup, s tím se pojí velká politická kauza solárního podvodu za 100 milionů Korun českých, po pár letech se tak podporovat přestaly. Nyní vzhledem k dodržení snižování emisí a tím splnění evropských klimaticko-energetických cílů se fotovoltaika opět rozšiřuje a státem podporuje. Dle zpravodajského webu *Euractiv*, celoevropské mediální síť specializující se na politiku EU, by výhledově mělo Česko očekávat opětovný boom v obnovitelné energetice, jelikož uhelným elektrárnám brzy skončí podmínky provozu a naopak výstavba jaderných elektráren ještě nějakou chvíli potrvá, jejich dokončení se odhaduje na rok 2036, je proto nutno zajistit dostupný zdroj energie [12].

V polovině září 2021 byla schválena novela, která by měla zajistit a finančně vypomocť s rozvojem fotovoltaických, větrných, malých vodních elektráren a biomasy. K tomuto kroku za čistší energetikou poskytla Česku Evropská unie z fondu desítky miliard korun. Finanční investice by měla směřovat do střešních fotovoltaických a fototermických systémů, jak pro podnikatele, tak pro nízkopříjmové domácnosti díky již existujícímu programu Zelená úsporám. Podpora by se ale měla dotknout nejen těchto solárních panelů, ale také kotlů na biomasu a tepelných čerpadel. Cílem tohoto plánu by mělo být nejen rozšíření povědomí o obnovitelných zdrojích energie, ale také započítí tzv. komunitní energetiky, kdy se ze spotřebitelů rázem stávají i distributoři energie a je možné tak dokonce zvýšit procentuálně podíl spotřeby energie z obnovitelných zdrojů, než jak stanovuje evropský cíl [12].

ZÁVĚR

Jedním z hlavních cílů této práce bylo provést rešerši obnovitelných zdrojů a následně se zaměřit na kritické zhodnocení jejich využívání a s tím souvisejícími negativními dopady. Jednak jsme se jednotlivými typy obecně zabývali a přiblížili si jejich charakteristiky, ale zejména se zaměřili na negativní dopady, které s sebou nesou. Vzhledem k tomu, že obnovitelné zdroje energie jsou naší budoucností, je třeba obeznámit se s jejich potenciálem, možnými nedostatky, mírou závažnosti těchto problémů a případnými řešeními. V poslední části práce jsme se zabývali využíváním obnovitelných zdrojů v České republice a vyhodnocením stávající politiky a energetického trhu.

V porovnání s tradičními metodami využívání fosilních paliv jsou všechna získaná data ohledně negativních dopadů obnovitelných zdrojů energie (OZE) nevýznamná. Blíže jsme se zabývali pěti základními typy OZE, jmenovitě se jedná o větrné, solární, vodní elektrárny, biomasu a geotermální energii. Všechny tyto typy byly prozkoumány v několika různých oblastech možného poškození. Ve výsledku se přišlo na to, že každý z těchto OZE má dopad na životní prostředí, lze jej ale minimalizovat vhodným způsobem jejich využití a pečlivým výběrem. Negativní dopady tedy závisí na mnoha faktorech, jednak na typu OZE, velikosti nebo rozsahu, způsobu použití nebo umístění a spoustu dalších.

Vhodným příkladem by mohly být solární panely. Přestože fotovoltaika má mnoho negativ, umístěním FV článků na střechy budov nebo situováním panelů do méně hospodárných oblastí, označovaných také jako brownfieldy, lze zmírnit vliv zabírání půdy. Dalším příkladem je biomasa, která má podstatně nižší energetickou hustotu ve srovnání s fosilními palivy, a továrna na biomasu by se z ekonomického hlediska nevyplatila. V uhelných elektrárnách se ale biomasa často kombinuje s fosilními palivy a tím dokonce nepřímo napomáhá snižovat produkci skleníkových plynů. Nebo větrné farmy, které zabírají obrovské plochy kvůli potřebným rozestupům mezi elektrárnami, lze vyřešit vhodnou kombinací dvou typů elektráren. Za elektrárnami totiž vznikají turbulentní víry, které by mohly dynamicky zatěžovat další turbíny, s tím si dokáže poradit turbína s vertikální osou, a proto ji za turbíny s horizontální osou často umísťujeme.

Nejlépe ze všech typů obnovitelných zdrojů se jeví větrné elektrárny. Při posouzení jak z ekonomického, tak i ekologického hlediska. Tento zdroj energie disponuje celosvětově druhou největší kapacitou výroby elektrické energie a v porovnání s ostatními obnovitelnými zdroji má také nejmenší dopady na životní prostředí. Konkrétně v České republice zastupuje tento typ elektrárny malý podíl na spotřebě energie, přestože má velký potenciál. Instalovaný výkon by tedy mohl být mnohem vyšší, než jak tomu aktuálně je.

Vodní elektrárna, která vykazuje celosvětově největší instalovaný výkon ze všech typů OZE, vychází napříč všemi oblastmi negativních dopadů nejhůře. Jedná se o oblasti mající neblahý vliv na ovzduší, vodu, půdu i člověka. Tato elektrárna zcela narušuje přirozený biorytmus přírody a s obtížemi se bude vracet do původního stavu. Avšak vodní elektrárny nemají v České republice takové zastoupení, není tedy třeba se touto problematikou více zabývat.

Do budoucna by se mělo zaměřit na větrné elektrárny, které jsou jak šetrné, tak velice výkonné. Z hlediska dopadů na životní prostředí jsou poměrně ekologické také CSP systémy

nebo biomasa, negenerují ale velký podíl elektrické energie. Přestože mají vodní elektrárny největší instalovaný výkon, bylo by vhodné vyhnout se dalším stavbám tohoto typu.

V rámci solární FV bude krokem kupředu situovat tyto články na střechy budov a zaměřit se na šetrnější technologii skladování energie, než jsou stávající baterie obsahující těžké kovy. V České republice se k roku 2021 začala opět podporovat solární fotovoltaika, tentokrát ale formou střešních panelů pro běžné domácnosti. Fotovoltaika tak nebude zabírat hospodárnou půdu a současně se ze spotřebitelů mohou stát i distributoři.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] SPELLMAN, Frank R. *Environmental impacts of renewable energy* [online]. Boca Raton, [2015] [cit. 2022-03-09]. Energy and the environment. ISBN 978-1-4822-4947-7.
- [2] *National Geographic: Wind energy* [online]. [cit. 2022-03-15]. Dostupné z: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/wind-energy>
- [3] *The Dark Side of Renewable Energy: Negative Impacts of Renewables on the Environment* [online]. [cit. 2022-03-12]. Dostupné z: <https://www.altenergymag.com/article/2015/08/the-dark-side-of-renewable-energy-negative-impacts-of-renewables-on-the-environment/20963/>
- [4] ČTK [online]. 28.01.2022 11:48 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.ceskenoviny.cz/zpravy/ekologove-nevyuzity-potencial-obnovitelnych-zdroju-energie-v-cr-je-obrovsky/2152331>
- [5] Gibilisco, S. *Alternative Energy Demystified*. New York: McGraw-Hill [online]. [2007] [cit. 2022-03-09]. Energy and the environment.
- [6] OTE [online]. [cit. 2022-03-13]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/cs/statistika/narodni-energeticky-mix>
- [7] SPELLMAN, Frank R. and Bieber, R., *The Science of Renewable Energy* [online]. Boca Raton, [2011] [cit. 2022-03-13]. ISBN 978-1-4987-6048-5
- [8] *Biomass energy* [online]. [cit. 2022-03-13]. ISBN 978-1-4987-6048-5. Dostupné z: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/biomass-energy>
- [9] *Renewable energy* [online]. [cit. 2022-03-13]. ISBN 978-1-4987-6048-5. Dostupné z: https://www.nationalgeographic.org/article/renewable-energy/?utm_source=BiblioRCM_Row
- [10] *National Geographic: Geothermal energy information and facts* [online]. [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/geothermal-energy>
- [11] *Svět energie: Energetika zblízka* [online]. [cit. 2022-03-20]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/obnovitelne-zdroje-energie/geotermalni-elektrarna/vyklad>
- [12] *Euractiv: Obnovitelné zdroje energie se v Česku vrací na výsluní, na jejich výstavbu přispěje EU* [online]. 2021 [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://euractiv.cz/section/energetika/news/obnovitelne-zdroje-energie-se-v-cesku-vraci-na-vysluni-na-jejich-vystavbu-prispeje-eu/>

- [13] National Geographic: Tidal Energy [online]. [cit. 2022-03-27]. Dostupné z: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/tidal-energy/>
- [14] ZACHOVÁ, Aneta. *Infografika: Jaký je potenciál obnovitelných zdrojů energie v ČR?* [online]. 28. 6. 2021 [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://euractiv.cz/section/energetika/infographic/infografika-jaky-je-potencial-obnovitelnych-zdroju-energie-v-cr/>
- [15] WHAT ARE THE ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF GEOTHERMAL ENERGY? [online]. [cit. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/geothermal-energy/pros-and-cons#WhataretheDisadvantagesofGeothermalEnergy>
- [16] *Environmental impact of renewable energy source based electrical power plants: Solar, wind, hydroelectric, biomass, geothermal, tidal, ocean, and osmotic* [online]. [cit. 2022-04-11]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403212200199X#bib2>
- [17] G. BALABAN, G. LAZAROIU, V. DUMBRAVA, C. SIMA *Analysing renewable energy source impacts on power system national network code* *Inventions*, 2 (3) (2017), p. 23
- [18] A. RAHMAN, T. AZIZ, NAHID-AL-MASOOD, S.R. DEEBA *A time of use tariff scheme for demand side management of residential* *Energy Rep*, 7 (2021), pp. 3189-3198
- [19] Y. YANG, P.E. CAMPANA, J. YAN *Potential of unsubsidized distributed solar PV to replace coal-fired power plants, and profits classification in Chinese cities* *Renew Sustain Energy Rev*, 131 (2020), p. 109967
- [20] C. GÜRSAN, V. DE GOOYERT *The systemic impact of a transition fuel: does natural gas help or hinder the energy transition?* *Renew Sustain Energy Rev*, 138 (2021), p. 110552
- [21] *Renewables global status report ren21*, [Online]. Available: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/gsr_2020_full_report_en.pdf, Accessed 20th Aug 2020
- [22] H. RITCHIE, M. ROSER *Renewable energy*, "our world in data [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/renewable-energy>, Accessed 20th Oct 2021
- [23] G. TODESCHINI *Review of tidal lagoon technology and opportunities for integration within the UK energy system* *Inventions*, 2 (3) (2017), p. 14

- [24] O ENERGETICE.CZ [online]. [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/typy-elektraren/vetrne-elektrarny-princip-cinnosti-zakladni-rozdeleni>
- [25] Tzbinfo [online]. [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/21841-likvidace-a-recyklace-vetrnych-elektraren-na-konci-zivotnosti>
- [26] V. KOULOUMPIS, R.A. SOBOLEWSKI, X. YAN *Performance and life cycle assessment of a small scale vertical axis wind turbine* J Clean Prod, 247 (2020) Art. no. 119520
- [27] [online]. 2021 [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://brnensky.denik.cz/zpravy-ze-sveta/indie-prehrada-nestesti-ledovec-oteplotovani-20210211.html>
- [28] J. JENSEN, *Evaluating the environmental impacts of recycling wind turbines* Wind Energy, 22 (2019), pp. 316-326
- [29] M.S. NAZIR, N. ALI, M. BILAL, H.M. IQBAL, *Potential environmental impacts of wind energy development: a global perspective* Curr Opin Environ Sci health, 13 (2020), pp. 85-90
- [30] R. MAY, T. NYGÅRD, U. FALKDALEN, J. ÅSTRÖM, Ø. HAMRE, B.G. STOKKE *Paint it black: efficacy of increased wind turbine rotor blade visibility to reduce avian fatalities* Ecol Evol, 10 (2020), pp. 8927-8935
- [31] F. GONZÁLEZ-LONGATT, P. WALL, V. TERZIJA *Wake effect in wind farm performance: steady-state and dynamic behavior* Renew Energy, 39 (1) (2012), pp. 329-338
- [32] Y. LIU, MENGYA ZHANG *Unpacking stereotypes about sustainable energy: knowledge, policy, and public misperceptions of solar energy and coal in China* Energy Res Social Sci, 71 (2021) Art. no. 101832
- [33] M. HOSENUZZAMAN, N. RAHIM, J. SELVARAJ, M. HASANUZZAMAN *Global prospects, progress, policies, and environmental impact of solar* Renew Sustain Energy Rev, 41 (2015), pp. 284-297
- [34] P. MCCORMICK, H. SUEHRCKE *The effect of intermittent solar radiation on the performance of PV systems* Sol Energy, 171 (2018), pp. 667-674
- [35] M. M. NJORE AND J. E. SINTON, "WorldBank CSP report - concentrating solar power - clean power on demand 24/7 - FINAL," World Bank, 27 Jan. 2021. [Online]. Available: <https://pubdocs.worldbank.org/en/849341611761898393/WorldBank-CSP-Report-Concentrating-Solar-Power-Clean-Power-on-Demand-24-7-FINAL> [Accessed 3 Oct. 2021].

- [36] M. ALHAJ, S.G. AL-GHAMDI *Integrating concentrated solar power with seawater desalination technologies: a multi-regional environmental assessment* Environ Res Lett, 14 (7) (2019), Article 074014 Art. no.
- [37] D.C. LAINE *Effects of solar power farms on the environment* 24 4 Sciencing (2017) [Online]. Available: <https://sciencing.com/effects-solar-power-farms-environment-13547.html> , Accessed 31st Jan 2020
- [38] D. MULVANEY, *Solar energy isn't always as green as you think*, IEEE Spectrum, 13 Nov. 2014. [Online]. Available: <https://spectrum.ieee.org/greentech/solar/solar-energy-isnt-always-as-green-as-you-think> [Accessed 31 01 2020].
- [39] I. CELIK, B.E. MASON, A.B. PHILLIPS, M.J. HEBEN, D. APUL *Environmental impacts from photovoltaic solar cells made with single walled carbon nanotubes* Environ Sci Technol, 51 (8) (2017), pp. 4722-4732 FEB
- [40] M.H. BALALI, N. NOURI, E. OMRANI, A. NASIRI, W. OTIENO *An overview of the environmental, economic, and material developments of the solar and wind sources coupled with the energy storage systems* Int J Energy Res, 41 (2017), pp. 1948-1962 May
- [41] *Environmental impacts of solar power,*" Union of Concerned Scientists, 05 03 2013. [Online]. Available: <https://www.ucsusa.org/resources/environmental-impacts-solar-power#references> [Accessed 01 02 2020].
- [42] R. HERNANDEZ, S. EASTER, M. MURPHY-MARISCAL, F. MAESTRE, M. TAVASSOLI, E. ALLEN, C. BARROWS, J. BELNAP, R. OCHOA-HUESO, S. RAVI, M. ALLEN *Environmental impacts of utility-scale solar energy* Renew Sustain Energy Rev, 29 (2014), pp. 766-779
- [43] T. TSOUTSOS, N. FRANTZESKAKI, V. GEKAS *Environmental impacts from the solar energy technologies* Energy Pol, 33 (2005), pp. 289-296
- [44] A. SENDY *How long do solar panels actually last?* 5 May Solar Reviews (2021) [Online]. Available: <https://www.solarreviews.com/blog/how-long-do-solar-panels-last> , Accessed 2nd Oct 2021
- [45] J. CHENG, C. YEH, C. TU *Trust and knowledge sharing in green supply chains* Supply Chain Manag, 13 (4) (Jun. 2008), pp. 283-295
- [46] C.K. Ho *Safety of thermal energy storage systems for concentrating solar power plants* (2017) [Online]. Available: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1431547> , Accessed 2nd Feb 2022
- [47] D. LAING, W.D. STEINMANN, P. VIEBAHN, F. GRÄTER, C. BAHL *Economic analysis and life cycle assessment of concrete thermal energy storage for parabolic trough power plants* ASME. J. Sol. Energy Eng., 132 (4) (2010) Art no. 041013, Nov

- [48] G. GASA, A. LOPEZ-ROMAN, C. PRIETO, L.F. CABEZA *Life cycle assessment (LCA) of a concentrating solar power (CSP) plant in tower configuration with and without thermal energy storage (TES)* Sustainability, 13 (7) (2021) Art. no. 3672, Mar
- [49] P. Breeze *Chapter 11 - solar integration and the environmental impact of solar power* Solar power generation, Academic Press (2016), pp. 81-87
- [50] *Hydropower explained: hydropower and the environment*, US Energy Information Administration (2019) [Online]. Available: <https://www.eia.gov/energyexplained/hydropower/hydropower-and-the-environment.php> , Accessed 10th Feb 2020
- [51] P.M. FEARNESIDE *Brazil's Balbina dam: environment versus the legacy of the pharaohs in Amazonia* Environ Manag, 13 (4) (Aug. 1989), pp. 401-423
- [52] P.M. FEARNESIDE *Environmental and social impacts of hydroelectric dams in Brazilian Amazonia: implications for the aluminum industry*, vol. 77, World Development (2016), pp. 48-65
- [53] *Electricity from renewable resources: status, prospects, and impediments*, THE NATIONAL ACADEMIES PRESS, Washington, D.C (2010)
- [54] E. EZCURRA, E. BARRIOS, P. EZCURRA, A. EZCURRA, S. VANDERPLANK, O. VIDAL, L. VILLANUEVA-ALMANZA, O. ABURTO-OROPEZA *A natural experiment reveals the impact of hydroelectric dams on the estuaries of tropical rivers* Sci Adv, 5 (3) (2019) eaau9875, Mar.
- [55] X. XU, Y. TAN, G. YANG *Environmental impact assessments of the three Gorges project in China: issues and interventions* Earth Sci Rev, 124 (2013), pp. 115-125
- [56] *Biomass and the environment* 25 October [Online]. Available: <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/biomass-and-the-environment.php>, (2019), Accessed 29th Feb 2020
- [57] M.R. Dilthey *Negative effects of biomass* Sciencing, 25 April 2018. [Online]. Available: <https://sciencing.com/negative-effects-biomass-19624.html> , Accessed 4th Mar 2020
- [58] M. BRAVI, R. BASOSI *Environmental impact of electricity from selected geothermal power plants in Italy* J Clean Prod, 66 (2014), pp. 301-308
- [59] KATHRIN MENBERG, S. PFISTER, P. BLUM, P. BAYER *A matter of meters: state of the art in the life cycle assessment of enhanced geothermal systems* Energy Environ Sci, 9 (9) (2016), pp. 2720-2743

- [60] N.O. MARIITA *The impact of large-scale renewable energy development on the poor: environmental and socio-economic impact of a geothermal power plant on a poor rural community in Kenya* Energy Pol, 30 (11–12) (2002), pp. 1119-1128

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Porovnání jednotlivých typů OZE [20]

Obrázek 2 Světové využívání OZE pro elektřinu [21]

Obrázek 3 Odporové a vztlakové turbíny [24]

Obrázek 4 Interakce ptactva s větrnými turbínami [30]

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Statistika využívání OZE v ČR [6]