



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**NEGATIVNÍ DOPADY OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ NA
ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ**

NEGATIVE IMPACTS OF RENEWABLE RESOURCES ON ENVIRONMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Kopeček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Tomáš Sitek

BRNO 2021

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Marek Kopeček**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Tomáš Sitek**
Akademický rok: 2020/21

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:

Negativní dopady obnovitelných zdrojů na životní prostředí

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V současné době jsou při výrobě elektřiny stále častěji prosazovány obnovitelné zdroje jako čisté a k přírodě šetrné. Méně už se hovoří o tom, že i ony mohou být pro přírodu velkou zátěží. Práce bude zaměřena na popis používaných obnovitelných zdrojů a kritické vyhodnocení jejich negativních dopadů na své okolí.

Cíle bakalářské práce:

- provést rešerši obnovitelných zdrojů energie,
- zhodnotit strukturu obnovitelných zdrojů u nás a ve světě,
- posoudit negativa používaných zdrojů.

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.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

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

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

ABSTRAKT

Dnešní společnost si více než kdy dřív uvědomuje potřebu ochrany životního prostředí. Jedním z témat ochrany životního prostředí jsou obnovitelné zdroje energie. Jejich přínos tkví především v redukci emisí skleníkových plynů a snížení závislosti na fosilních palivech. V jednotlivých kapitolách jsou zkoumány výrobní procesy, provoz, recyklace a možné nehody spojené s obnovitelnými zdroji. Pozornost byla především věnována nejpoužívanějším obnovitelným zdrojům. Na závěr jsou negativní dopady vyhodnoceny a je uvedeno, jaké obnovitelné zdroje jsou ekologicky šetrné.

Klíčová slova

Obnovitelné zdroje energie, recyklace, negativní dopady, životní prostředí

ABSTRACT

Current society understands the need to protect the environment. Renewable energy resources are one of the major topics of environmental protection. Their benefits are reducing greenhouse gas emissions and reducing dependence on fossil fuels. The production process, operation, recycling, and possible accidents of renewable energy resources are investigated in each chapter. Attention was paid mainly to the most used renewable sources. Finally, the negative impacts are evaluated, and it is defined which renewable energy resources could be classified as ecological.

Key words

Renewable energy resources, recycling, negative impacts, environment

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOPEČEK, Marek. *Negativní dopady obnovitelných zdrojů na životní prostředí*. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129549>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Tomáš Sitek.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem Bakalářskou práci na téma „**Negativní dopady obnovitelných zdrojů na životní prostředí**“ vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomášovi Sitkovi za velmi dobré vedení, ochotu, cenné rady a připomínky. Dále chci poděkovat rodině, která mě podporovala během celého studia.

OBSAH

| | |
|---|----|
| ÚVOD..... | 11 |
| 1 FOTVOLTAICKÉ SYSTÉMY | 12 |
| 1.1 Výroba fotovoltaických panelů..... | 13 |
| 1.2 Recyklace fotovoltaických panelů | 14 |
| 1.3 Životnost a zhodnocení fotovoltaických panelů | 16 |
| 2 VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY | 17 |
| 2.1 Výroba a montáž větrných turbín | 18 |
| 2.2 Ekologické problémy během provozu větrných elektráren | 19 |
| 2.3 Složení a recyklace větrné turbíny | 20 |
| 2.4 Nehody větrných turbín | 21 |
| 3 VODNÍ ELEKTRÁRNY | 22 |
| 3.1 Ekologické problémy spojené s vodními elektrárnami..... | 23 |
| 3.2 Katastrofy vodních elektráren..... | 25 |
| 4 ENERGIE Z BIOPALIV | 26 |
| 4.1 Biomasa a bioetanol..... | 26 |
| 4.2 Bioplyn..... | 28 |
| 4.3 Doprava..... | 29 |
| 5 GEOTERMÁLNÍ ENERGIE | 30 |
| ZÁVĚR..... | 32 |
| SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ..... | 34 |
| SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK | 38 |

ÚVOD

Obnovitelné zdroje energie jsou využívány již několik tisíciletí. Lidstvo využívalo šetrné zdroje energie k přepravě zboží po moři, výrobě mouky v mlýnech apod. Soudobý nárůst a rozvoj společnosti je doprovázen enormní spotřebou energií. Tento trend není patrný pouze ve vyspělých zemích, ale v poslední době také v rozvojových státech Asie a Latinské Ameriky. Spotřeba energií je v drtivé většině pokryta fosilními palivy. Jejich zásoby jsou však omezené a je proto nutné hledat jejich alternativu. Logickým řešením by bylo jejich nahrazení obnovitelnými zdroji energie, které se ve velmi krátkém časovém úseku znovu obnoví, a tudíž by neměly nikdy dojít. Tyto zdroje však nemusí vyřešit jeden zásadní problém fosilních paliv – dopady na životní prostředí.

V dnešní době jsou obnovitelné zdroje energie brány jako zdroj budoucnosti, který zaručí dostatečný přísun energie a zároveň sníží podíl vypouštěných skleníkových plynů do atmosféry. Obnovitelné zdroje jsou proto medializovány a podporovány mnoha světovými organizacemi a investují se do nich nemalé finanční prostředky. Jsou předkládána tvrzení, která hodnotí pouze přínosy pro životní prostředí a není brán zřetel na jejich odvrácenou stranu. Udržitelný rozvoj vyžaduje nástroje pro srovnání dopadů různých obnovitelných zdrojů na životní prostředí. K pochopení, jak lze dosáhnout úspor v oblasti emisí skleníkových plynů, musíme budoucí energetické systémy analyzovat a srovnávat s těmi, které mají nahradit.

Já mám osobní zkušenosti s žitím v okolí několika elektráren různých typů – JE Dukovany, VtE Tulešice, FVE Moravský Krumlov, VE Dalešice, VE Mohelno, dále také s nedokončenými energetickými projekty v okolí obce Dukovany – VtE Dukovany a VE na řece Oslavě. Jedním z mých prvních zkušeností s obnovitelnými zdroji byl projekt VtE Dukovany o 39 turbínách v roce 2006. Velká nevole a petice místních občanů zapříčinila zrušení největšího projektu výstavby větrných turbín v České republice.

Práce je zaměřena na objektivním vyhodnocení negativních dopadů obnovitelných zdrojů na životní prostředí. Jsou zde popsány negativní dopady z hlediska výroby, provozu, recyklace a případných poruch z fotovoltaických systémů, větrných a vodních elektráren a zdrojů využívajících biopaliva a geotermální energii.

1 FOTOVOLTAICKÉ SYSTÉMY

Fotovoltaické systémy využívají přímé přeměny energie slunečního záření na energii elektrickou za pomoci polovodičových prvků – fotovoltaických (solárních) článků. Fotovoltaický článek je dioda s alespoň jedním PN přechodem. PN přechod je oblast na pomezí polovodiče typu P a N, má různé vlastnosti v závislosti na polaritě napětí a propouští elektrický proud pouze jedním směrem. Energie slunečního záření dopadající na fotovoltaický článek způsobí, že se elektrony uvolní z krystalové mřížky, vzniknou díry a na PN přechodu vznikne elektrické napětí. Tento efekt se nazývá fotovoltaický jev [1]. Po připojení vnějšího obvodu k fotovoltaickému článku začnou záporné elektrony zaplňovat kladně nabitě díry a obvodem začne proudit stejnosměrný proud. Jeden solární článek dosahuje napětí přibližně 0,5 V. Fotovoltaické systémy využívají více fotovoltaických článků zapojených dle potřeby sériově či paralelně.

První fotovoltaický článek byl zkonstruován již na konci 19. století. Na konci 50. let 20. století se fotovoltaické systémy začaly využívat v kosmonautice. Masivní využití však nastalo teprve nedávno, po roce 2007. V současné době máme mnoho různých fotovoltaických článků, které dělíme dle použitého materiálu – články na bázi křemíku (monokrystalické, polykrystalické, amorfni a mikrokrytalické), články na bázi sloučenin (CdTe, CdS, CIS, CIGS, amorfni SiGe, InGaN a vícevrstevné typu III–V) a články organické. Z důvodu nízkých nákladů je přes 89 % komerčních fotovoltaických panelů vyrobeno na bázi křemíku (monokrystalické a polykrystalické). Efektivita se u komerčních produktů pohybuje mezi 14–21 %, i když rekord v efektivitě drží NREL (National Renewable Energy Laboratory) z USA za 47,1 % u šestivrstevného solárního článku při koncentrovaném osvětlení rovnajícimu se 143 násobku intenzity osvětlení za jasného dne v laboratorních podmínkách [2].

S velkým rozmachem fotovoltaického průmyslu se zvyšuje poptávka po výrobě a instalovaný výkon se každoročně zvyšuje. V celosvětovém měřítku se instalovaný výkon zvýšil mezi lety 2015 a 2019 o 145 % (z 256 GWp na 627 GWp), přičemž Česká republika má instalovaný výkon z FVE konstantní (2 GWp,) [3, 4]. Watt-peak (Wp) je jednotkou špičkového výkonu dodávaného solárním zařízením za ideálních světelných podmínek (teplota, jasná obloha aj.)

Cena fotovoltaických panelů každoročně klesá. Snižování ceny fotovoltaických panelů je způsobeno mnoha faktory. Nejzásadnější vliv na snížení ceny má přesunutí výrobních závodů do Asie. Čínské firmy vyrobily v roce 2019 asi 70 % světové produkce solárních panelů [5]. Dalším faktorem je cena křemíku, která klesla za posledních 20 let o 95 % z 6 \$/W na 0,3 \$/W [6].

Fotovoltaické panely jsou obdivovány, protože během provozu neznečišťují životní prostředí a nevypouštějí žádné skleníkové plyny. Provoz je jen část jejich životního cyklu a v následujících kapitolách bude zhodnoceno, co všechno je zapotřebí k jejich výrobě, recyklaci a jaké jsou jejich možné poruchy.

1.1 Výroba fotovoltaických panelů

Výroba fotovoltaických článků souvisí s velkým využitím nejrůznějších chemikálií. Tyto látky se mohou uvolňovat při výrobě v továrnách, například těkavé organické látky během laminování panelů. Provoz a nehody v továrnách na výrobu panelů mohou způsobit negativní dopad na zdraví místních obyvatel. Průmysl na výrobu fotovoltaických panelů je předním znečišťovatelem životního prostředí fluorovými sloučeninami – hexafluoretanem (C_2F_6), trifluoridem dusíku (NF_3) a hexafluoridem síry (SF_6). Jednotlivé molekuly těchto sloučenin napomáhají až $39\,800\times$ více globálnímu oteplování než molekuly oxidu uhličitého, a proto je řadíme do skupiny extrémně silných skleníkových plynů v přepočtu na jednu molekulu, nikoli celkově. Sloučeniny fluoru se používají například k vyhlazení krystalových ingotů a během procesu leptání [1].

Křemík určený pro fotovoltaické články se vyrábí z oxidu křemičitého v obloukové peci, kde kyslík reaguje s uhlíkem a vzniká vysoce čistý křemík, ale také oxid uhelnatý. Dále je zapotřebí odstranit zbývající nečistoty, například Siemensovým postupem, kdy vzniká chlorovodík, nebo DuPontovým postupem, kdy vzniká chlorid zinečnatý. Tyto postupy jsou energeticky náročné a přispívají k emisím skleníkových plynů. Ve fotovoltaických panelech se používá ve větším měřítku fullerén C_{60} (Buckminsterfullerén, Buckyballs). Tento typ molekuly byl objeven na konci minulého století, a proto ještě nejsou známy všechny jeho negativní účinky na životní prostředí. Další sloučeniny na výrobu fotovoltaických článků na bázi sloučenin jsou telurid kadmennatý ($CdTe$), sulfid kadmennatý (CdS), sloučeniny galia, india, selenu a mědi (CIS a CIGS), germanid křemíku ($SiGe$) a arsen [1]. Kadmium se získává převážně rafinací zinku. Arsen se získává z arsenopyritu ($FeAsS$) a löllingitu ($FeAs_2$). Kadmium a arsen jsou silně toxické látky, které nevhodnou manipulací nebo při havárii mohou způsobit značné škody na zdraví obyvatel i životním prostředím. Všechny prvky jsou zapotřebí ve vysoce čistotě a k tomu je zapotřebí velké množství chemikálií a vody.

Spotřeba vody na výrobu fotovoltaických článků je dalším negativním aspektem. Mokrý chemický proces, který je nutný k výrobě fotovoltaických článků, zahrnuje několik po sobě jdoucích odlišných chemických lázní, během kterých je zapotřebí destičky opláchnout vodou. Je zapotřebí až 15 000 litrů čisté vody za minutu k výrobě fotovoltaických článků o výkonu 1,4 GW. Jako náhrada za mokrý chemický proces se používá suchá plazma, při které se nejčastěji využívá fluor, který je toxický a jedovatý plyn. Navíc v alternativních procesech mohou vznikat i sloučeniny fluoru, jako jsou fluorovodík a fluoridy křemíku [1].

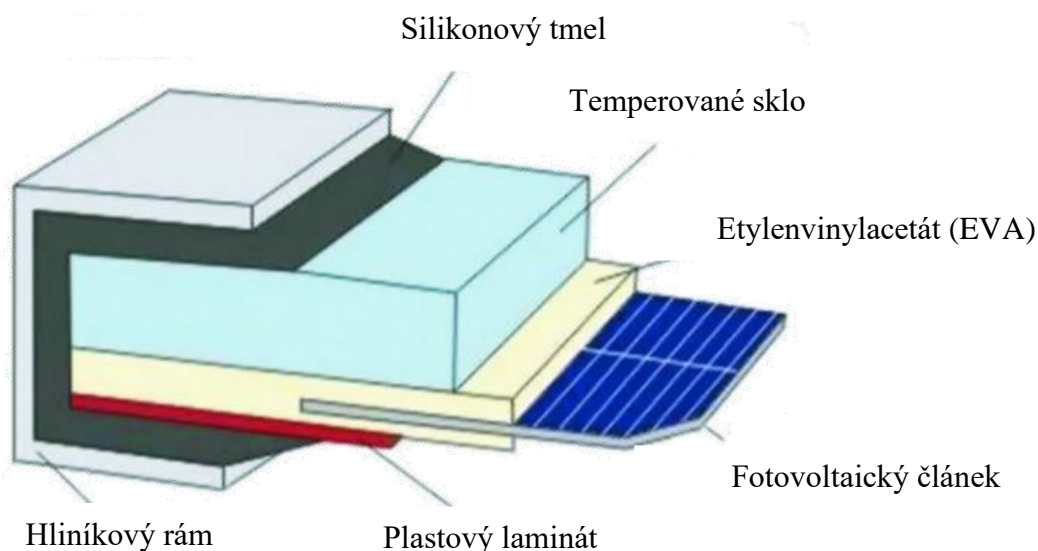
Etylvinylacetát (EVA) je kopolymer složený ze dvou různých polymerů – nepolárního etylenu (C_2H_4) a polárního vinylacetátu ($C_4H_6O_2$). EVA se vyrábí vysokotlakou radikálovou blokovou polymerací při tlaku 140 MPa a teplotě 180–250 °C [7]. Tento kopolymer je houževnatý, odolný proti tvorbě trhlin a průsvitný, což z něho dělá ideálního adepta na ochranu fotovoltaických článků v panelu, jak je znázorněno na obrázku 1.1.

Tvrzené (temperované) sklo pro fotovoltaický panel je vyráběno metodou zvanou „float process“. Základem je vsázka (sklářský písek, vápenec a dolomit), která je tavěna při teplotě až 1 600 °C v tavicím agregátu a po několika hodinách vzniklá sklovina vytéká do plavící lázně. Následně se rychle ochladí na teplotu 60–80 °C, při které se sklo nařeže na požadovaný rozměr. Hliník potřebný na výrobu rámu je získáván z bauxitu energeticky náročným způsobem, při kterém je zahříván na teplotu 1 000 °C [1].

1.2 Recyklace fotovoltaických panelů

Fotovoltaické panely jsou konstruovány s minimální životností 25 let, během této doby ztratí přibližně 20 % ze své účinnosti. S touto predikcí lze jednoduše zjistit, kolik odpadu bude potřeba recyklovat a kolik nových energetických zdrojů bude muset být instalováno jako jejich náhrada. Globální boom FVE začal po roce 2007 a tudíž lze predikovat, že po roce 2032 budou muset být zavedena patřičná opatření. Dle studie z roku 2016 bude solární panel z krystalického křemíku, o výkonu 250 Wp a hmotnosti 20 kg, přispívat 0,08 kg odpadu na Watt-peak. Tudíž 1 GWp odpovídá 80 000 tun materiálu [8]. Po této době nemusíme panely okamžitě vyhazovat a nahrazovat, ale lze je používat i nadále s nižší účinností. Doba návratnosti energie spotřebované na výrobu fotovoltaického panelu se pohybuje v rozmezí 2,8–7 let v závislosti na typu fotovoltaického panelu [6].

Fotovoltaické panely se skládají z mnoha komponent a prvků: temperovaného skla, hliníkového rámu, plastových komponent, fotovoltaických článků, vzácných kovů a těžkých (nebezpečných) kovů, viz obrázek 1.1. Všechny fotovoltaické panely se v souladu s vyhláškou 2012/19/EU musí od roku 2018 alespoň z 80 % recyklovat [9].



Obr. 1.1 Složení fotovoltaického panelu [10]

Hliníkový rám se společně s elektrickou skříní a kabely demontují jako první a dají se jednoduše využít pro nové fotovoltaické panely či k recyklaci v jiném odvětví. Největším problémem hliníkového rámu je jeho primární výroba, při které je potřeba až 203 MJ/kg, což představuje přibližně 8 % ze spotřeby energie na výrobu celého panelu, přitom při recyklaci se spotřeba pohybuje v rozmezí 8–18 MJ/kg [11]. Hmotnost hliníkového rámu je přibližně 12–17 % z celkové hmotnosti fotovoltaického panelu. Elektrická skříň váží přibližně 2 % z celkové hmotnosti fotovoltaického panelu. Některé typy fotovoltaických panelů však hliníkového rámu vůbec nevyužívají, mezi takové typy patří panely s duralovým rámem, fasádní systémy, fotovoltaické střechy či CdTe panely [12].

Solární články uvnitř fotovoltaického panelu drží pomocí etylenvinylacetátu (EVA), jak jde vidět na obrázku 1.1, a nelze jej jednoduše oddělit. EVA tvoří přibližně 2–15 % z celkové hmotnosti panelu. Bylo odzkoušeno mnoho různých separačních metod k oddělení fotovoltaických článků od EVA. Jelikož EVA má ze zbývajících materiálů nejnižší bod tání, v rozmezí 250–450 °C, využívá první metoda tepelného rozkladu EVA, popřípadě i zadní desky složené z polyvinylfluoridu (PVF), uvnitř pece při teplotě 500 °C [1, 7]. Nevýhodou této metody je velká produkce oxidu uhličitého, kyseliny fluorovodíkové, popřípadě při nedokonalém spalování produkce oxidu uhelnatého, kyseliny octové, fluoridu dusitého a fluoridu sírového. Meziprodukty PVF při spalování jsou také metan, etan, propan, butan, etylen a benzen. CdTe a GIGS články by mohly uvolňovat karcinogenní a toxické prvky do ovzduší, z tohoto důvodu se používá pro články GIGS co možná nejnižší teplota a pro CdTe články metoda spočívající ve využití organických rozpouštědel, ačkoliv doba rozpouštění EVA v těchto rozpouštědlech je velmi dlouhá, v řádu dnů až týdnů [1].

Pro recyklaci CdTe panelů se nejčastěji používá hydrometalurgické zpracování. V první fázi se Cd a Te naváží na kyselinu sírovou a peroxid vodíku. Ve druhé fázi se přidává roztok, například uhličitán sodný, a Cd a Te se v roztoku rozpustí. V závěrečné fázi lze vzniklé sloučeniny CdCO_3 a TeO_2 redukovat ve vodíkové peci k regeneraci CdTe. Kadmium a jeho sloučeniny jsou karcinogenní a jeho koncentrace jsou limitovány dle věstníku MŽP. To je také hlavním důvodem, proč komponenty s kadmíem nesmí být skládkovány (kontaminace půdy a vody). Společnost First Solar Inc., která vyrábí CdTe panely, zavedla systém recyklace vyřazených CdTe panelů. Společnost uvádí, že lze až 95 % polovodičového materiálu použít v nových panelech [1, 8, 13].

Zbývajícím materiálem – sklo, fotovoltaické články a kovy, se rozdrtí a vyseparují. Největší podíl připadá na skleněný materiál, který tvoří přibližně 65–94 % v závislosti na typu fotovoltaického panelu a který se dá téměř ze 100 % recyklovat. Způsob recyklace závisí na vyseparování všech druhů skla. Když se při recyklaci vyseparují jednotlivé druhy skel, mohou se následně využít k výrobě nových panelů či obecně ve sklářském průmyslu. Zbývajícím materiálem lze použít ve stavebnictví jako izolační hmota, respektive stavební výplň. Fotovoltaické články tvoří přibližně 0,05–1,5 % z celkové hmotnosti fotovoltaického panelu. Jejich recyklace je velice náročná, avšak relativně výhodná, protože se při výrobě panelu podílejí až 80 % na spotřebě energie a zhruba 50 % na jeho ceně. Zbytkový hliník se od fotovoltaických článků odděluje pomocí roztoku kyseliny chlorovodíkové, ve kterém se rozloží a po vychladnutí se dá použít znovu. Následuje ponoření fotovoltaického článku do roztoku kyseliny fluorovodíkové, díky které se odstraňuje antireflexní potahová vrstva. Dále se z článku odloupne stříbrná mřížka a při více jak 962 °C se roztaví k dalšímu využití. Po následném vysokofrekvenčním namáčení zůstane pouze křemík s PN přechodem. Vysoce čistý křemík se získá při odstranění emitorové vrstvy leptáním, avšak odstranění této vrstvy je cenově velmi náročné. Lišta se skládá z elektricky vodivých materiálů, nejčastěji mědi, olova, cínu a tvoří maximálně 1 % z celkové hmotnosti panelu a lze ji jednoduše recyklovat vysokoteplotním zpracováním. Obsah toxického těžkého prvku – olova, je přibližně 40 g v jednom fotovoltaickém panelu [1, 8, 13].

Fotovoltaické články typu III–V jsou nejefektivnější, avšak využívají mnoho komponent a jsou velmi složité. Komponenty – Fresnelova čočka, elektrická skříň, nosná konstrukce a koncentrátory – lze znovu použít nebo jednoduše recyklovat. Vzácné prvky jako galium a indium lze získat chemickými reakcemi. Nejnebezpečnějším prvkem, který zde může být obsažen, je arsen. Jeden GaAs článek obsahuje asi 0,1 g arsenu [1]. Při chemické reakci se arsen váže na kyslík a vzniká tak vysoce nebezpečný oxid arsenitý.

1.3 Životnost a zhodnocení fotovoltaických panelů

Životnost je dána dvěma faktory: spolehlivostí a trvanlivostí. Spolehlivost značí, do jaké míry daný produkt splní požadované závazky. Trvanlivost určuje dobu degradace, po kterou daný produkt funguje v určených mezích. Oba faktory souvisí se čtyřmi vlivy ovlivňující degradaci panelu: ozáření, teplota, vlhkost a mechanické rázy. S nimi souvisejí typy degradace: koroze, ztráta barvy, delaminace a mechanické poškození. Vlhkost vstupující do panelu napadá kovové materiály, degradují adhezivní materiály a tím je způsobena koroze materiálu. Samotný kyslík může vázat křemík a způsobit korozi křemíkových přechodů. Koroze snižuje efektivitu a zvyšuje degradaci panelu. Ultrafialové záření je hlavním faktorem způsobujícím změnu barvy panelu. Nejčastěji používaným plastovým materiálem pro fotovoltaické panely je etylenvinylacetát (EVA). EVA degraduje díky Ultrafialovému záření a mění svoji barvu z průhledné na žlutou až hnědou. Zabarvení materiálu zvyšuje ztrátu optického přenosu a snižuje výkon panelu [6, 8]. Velkým problémem jsou vady materiálu (delaminace, oddělení vrstev panelu) z důvodu ultrafialového záření a teploty. Tyto problémy se projevují výhradně u nekvalitních panelů a týkají se většinou celé výrobní série. Mechanické poškození je způsobeno mechanickým nárazem. Prasklé fotovoltaické články mohou občas způsobit zkraty. Koroze, změna barvy a delaminace obvykle následují po mechanickém poškození. Panely jsou testovány v extrémních podmínkách, kde je panel při testování mimo jiné odstřelován kroupami o velikosti 25 mm rychlostí 420 km/h, mezinárodní standard je 80 km/h [12]. Při dopravě a instalaci dochází také k nepatrnému zlomku poškození panelů a celkový podíl takto pokazených panelů je hluboko pod hranicí 1 %.

Množství vyrobené elektrické energie se různí v závislosti na zeměpisné poloze a ročním období. Například v Brně FVE o výkonu 1 kWp vyprodukuje ročně asi 1079 kWh elektrické energie. V norském městě Tromsø, které se nachází za polárním kruhem, by takováto FVE vyprodukovala o 35 % méně energie – asi 698 kWh ročně, zatímco v Čadském městě Fara, které leží uprostřed pouště Sahary, by tato FVE vyrobila o 82% více energie – 1961 kWh ročně. V závislosti na ročním období se například na Sahaře vyprodukuje každý měsíc téměř stejné množství elektrické energie, naproti tomu v Brně se vyrobí v zimě i o 75 % méně elektrické energie než v letních měsících a v městě Tromsø, ležícím za polárním kruhem, se v zimě nevyrobí téměř žádná [14]. FVE mají instalovaný výkon v rozmezí 40–90 W/m² [13]. Z tohoto důvodu je potřeba větší rozlohy FVE k zajištění dostatečné výroby elektrické energie a stále existují různé možnosti výstavby FVE na místech již zastavěných ploch.

2 VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY

Vítr patří k nejrozšířenějším přírodním zdrojům naší planety. Po staletí se využíval jako pohon lodí a v zemědělství. Pro výrobu elektřiny se začal používat na konci 19. století. V komerčním měřítku se větrné parky začaly stavět v 80. letech 20. století. V současné době je na světě v provozu kolem 200 000 velkých větrných turbín o výkonu >1 MW a více jak milion turbín s menším výkonem [15].

Větrné elektrárny přeměňují větrnou energii na energii elektrickou. Kinetická energie větru působí na listy rotoru, které ji přeměňují na rotační energii. Ta je následně prostřednictvím generátoru přeměněna na elektrickou energii. Reálné turbíny dosahují účinnosti 38 % (vertikální turbíny) a 48 % (horizontální turbíny) z celkového maxima. Výsledná efektivita těchto přeměn je omezena Betzovým pravidlem, které udává, že účinnost větrné turbíny nemůže přesáhnout hodnotu 59,3 % [15].

Větrné turbíny jsou závislé na rychlosti a stálosti větru. Vítr je pohyb plynů v atmosféře. Tento pohyb vzniká nerovnoměrným zahříváním povrchu planety slunečním zářením. Vítr je ovlivněn nejen teplotou, ale i nadmořskou výškou, zakřivením povrchu a typem krajiny. Obecně lze říct, že větrné turbíny lze umístit tam, kde rychlost větru neklesá pod 4 m/s. Malé větrné turbíny (<1 MW) dosahují svého plného výkonu při 10 m/s. Velké větrné turbíny (>1 MW) dosahují svého plného výkonu při 10–15 m/s. Každá větrná elektrárna má svůj bezpečnostní prvek – brzdu. Ta odstaví elektrárnu při vyšší rychlosti větru než 25–30 m/s. Teoretická rychlost větru roste logaritmicky s výškou nad terénem. Proto jsou stavěny stále vyšší větrné elektrárny, které již dosahují i více než 200m výšek včetně lopatek a listy rotorů dosahují délek i přes 100 metrů a každou sekundu jimi projde i 50 tun vzduchu. [6, 15]. Životnost větrných turbín se odhaduje na 20–25 let. Po této době je nutné vyměnit opotřebované díly – převodovku a ložiska.

Větrné turbíny se dělí podle osy otáčení rotoru na horizontální a vertikální. Horizontální turbíny směřují proti směru větru, k tomu se využívají směrové lopatky nebo senzory větru a servomotor. Tyto větrné turbíny mají vysokou účinnost (48 %), avšak jsou vhodné především do oblastí, kde vítr nemění často svůj směr [15]. Vertikální turbíny dosahují nižších účinností (38 %) a jsou dražší, ale dají se umístit i na místa, kde se často mění směr větru, zabírají méně prostoru a strojovna je umístěna na zemském povrchu, což zjednodušuje údržbu.

Dalším typem dělení je dle aerodynamického principu na odporové a vztlkové. Odporové větrné elektrárny využívají tlaku větru na listy rotoru, které kladou aerodynamický odpor. Příkladem je miskový anemometr, který se využívá pro měření rychlosti větru, ale jeho energetický potenciál je minimální. Vztlkové větrné elektrárny dosahují vyšší účinnosti a jsou více používané než odporové větrné elektrárny. Pracují na principu aerodynamické vztlkové síly, která vzniká na speciálně tvarovaném listu rotoru [15].

Větrné elektrárny se také dělí z hlediska umístění na offshore (mořské) a onshore (pevninské). Offshore větrné parky dosahují stabilnějšího výkonu oproti onshore větrným parkům, ale velkou nevýhodou je jejich náročná výstavba a následná údržba.

S velkým rozmachem větrných elektráren se zvyšuje poptávka po výrobě a instalovaný výkon se každoročně zvyšuje. V celosvětovém měřítku se instalovaný výkon zvýšil od roku 2004 do roku 2019 13,6krát (z 48 GW na 652 GW), přičemž Česká republika zvýšila svůj instalovaný výkon z větrných elektráren 20krát (z 17 MW na 340 MW) [6, 16, 17].

Největšími dodavateli větrných turbín v České republice jsou společnosti Vestas, Emercon a Repower-Senvion, které dodali asi 81 % z instalovaných turbín [18]. Firma Vestas používá klasickou převodovku mezi rotorem a elektrickým generátorem, naopak turbíny

od firmy Emercon využívají „vícepólový generátor“ s cívkami a přímým spojením bez převodovky [6].

Větrným elektrárnám se věnuje velká pozornost, protože během provozu neznečišťují životní prostředí a mají nulové emise skleníkových plynů. V následujících kapitolách bude posouzeno, co všech je zapotřebí k jejich výrobě, recyklaci a jaké jsou jejich možné vedlejší účinky na životní prostředí.

2.1 Výroba a montáž větrných turbín

Výroba jednotlivých dílů pro větrné elektrárny probíhá odděleně. Nejméně viditelnou částí větrné elektrárny je její betonový základ, který může vážit i více než 1 000 tun (asi 80 % z celkové hmotnosti větrné elektrárny) [15]. Betonový základ zajišťuje stabilitu větrné elektrárny, zabraňuje jejímu vychýlení a většinou má čtvercový půdorys. Pro jeho výstavbu je zapotřebí velké množství betonu a ocelových výztuží.

Stožár větrné elektrárny je možno postavit v několika variantách – ocelový, příhradový, betonový [15]. Ocelový stožár je složen z několika dílů dlouhých až 25 metrů, které jsou jednodušší na přepravu a při instalaci se k sobě přivaří. Příhradový stožár je sestaven na místě z jednotlivých nosníků a je výhodnější ho využít u vyšších konstrukcí, které měří více než 100 metrů. Betonové stožáry jsou stavěny z betonových polokruhů, které se spojí na místě a vytvořené skruže se spojí ocelovými lany od vrcholu stožáru po jeho patu.

Gondola je vytvořena podobně jako listy rotoru z kompozitního materiálu. Její vnitřní část (strojovna) je tvořena množstvím různých dílů – servisním výtahem, generátorem, převodovkou, hlavní hřídelí, nosným rámem strojovny, brzdou aj. Základem většiny těchto dílů je ocel, která se používá v tradičním průmyslu.

Nejnáročnější díly na výrobu větrné turbíny jsou listy rotoru kvůli své velikosti. Listy rotoru jsou vyráběny z kompozitních materiálů metodou laminování do negativní formy. Laminování je proces, při kterém je tkanina (skelná, uhlíková či kevlarová vata) prosycována pojivem (epoxidovou pryskyřicí). Pojivo musí být navíc smícháno s tvrdidlem. Výsledkem je kompozitní materiál, který kombinuje vlastnosti obou materiálů. Negativní forma je vytvořena jako negativ listu rotoru. Formy jsou vyráběny o šířce 1,5 m, například z umělého dřeva, a za pomoci CNC stroje se v nich vytvoří potřebný tvar. Následně se spojí a upevní v ocelovém rámu a vnitřní povrchy forem se vyleští. Dále se do formy pokládá tkanina, na kterou se válečkem nanáší přiměřené množství pojiva. Dále se přidá výztuž, pěna a lehké dřevo (balsa). Vše se znovu zalaminuje tkaninou a pojivem. Výsledkem jsou dvě půlky listu rotoru, které se slepí s nosníkem za pomoci pojiva. Následují kontroly kvality a požadovaný nátěr [19, 20]. Zásadním limitem větrných elektráren je dopravní infrastruktura, která zajišťuje transport nadrozměrných dílů – listů rotoru – z místa výroby na místo stavby. Dopravci musí být velice kreativní a celá trasa musí být patřičně naplánována, protože převážené díly mohou měřit až 107 metrů a vážit 60 tun.

2.2 Ekologické problémy během provozu větrných elektráren

Větrné elektrárny vyšší než 35 metrů nebo o výkonu převyšující 500 kW podléhají posouzení vlivu na životní prostředí EIA (Environmental Impact Assessment) dle zákona č. 100/2001 Sb [21].

Statistiky německých ornitologů prokázaly, že v průměru jedna větrná elektrárna usmrtí 2 ptáky ročně. Obecně se dá říci, že si na ni ptactvo a zvířata rychle zvyknou a přizpůsobí se jí. V 80. letech se prokázalo, že větrné elektrárny mohou usmrtit velké množství ptáků na přirozených migračních trasách v určitém ročním období především při špatné viditelnosti (mlha, tma). Příkladem jsou španělské město Tarifa a kalifornské město Altamont Pass, které leží na migračních ptačích trasách, a velké úhyny ptáků tam bohužel byly zaznamenány [6].

Stroboskopický efekt a disco efekt jsou jevy, při kterých se mění intenzita světla v čase. Tyto jevy jsou nepřirozené a mohou být vnímány přímo i nepřímo jako optické klamy. Lidé s fotosenzitivní epilepsií pociťují světelné změny, které u nich mohou vyvolat epileptický záchvat. Tyto změny světla mohou vyvolat také migrénu, zvýšený průtok krve v očních cévách a sítnici, a s tím spojenou únavu. Stroboskopický efekt v důsledku zastínění a rotace listů rotoru nastává, když je slunce nízko nad obzorem [6, 15]. Tento jev se projevuje v ranních a večerních hodinách. Disco efekt je vyvolán odlesky ploch listů rotoru, který nastává, když je povrch listů rotoru nasvícený v určitém úhlu, a který lze snížit povrchovou úpravou listu rotoru.

Vibrace listů a věže vytváří zvukové vlny o různých frekvencích. Nejvyšší hladinu akustického tlaku nalezneme ve strojovně (až 100 dB). Dle zákona č. 272/2011 Sb. nesmí být hladina akustického tlaku v chráněných venkovních prostorách (např. zahrady, parky, rekreační plochy) větší než 50 dB a ve vnitřních prostorách větší než 40 dB [22]. Z tohoto důvodu by měly být větrné elektrárny stavěny dále od zastavěného území, aby nevznikal tzv. syndrom větrné elektrárny. Tímto syndromem se zabývala studie z roku 2011, která však nenašla spojitost mezi hlukem, včetně infrazvuku, a lidským zdravím [23]. Při nízké rychlosti větru pracuje větrná turbína téměř bezhlučně, při větší rychlosti je její provoz většinou přehlušen přirozenými faktory, například šuměním lesa, pohybem větru a hromy. Při rychlostech nad 30 m/s se větrná elektrárna automaticky zastaví [15, 24].

Výběr vhodného místa pro výstavbu větrných elektráren je zcela zásadní. Je zapotřebí vybrat krajinu, která má vhodné klimatické a geologické podmínky, a dopravní a elektrickou infrastrukturu. Vizuální dopad na krajinu není zanedbatelný a pro mnoho kultur naprosto nepřijatelný. Příkladem je okolí JE Dukovany, kde v roce 2006 plánovala společnost ČEZ Obnovitelné zdroje vybudovat větrný park s 39 věžemi o celkovém výkonu 78–117 MW. Občané jednotlivých obcí v referendech jednomyslně zastavili průběh prací. Opačné názory zastávají občané Nizozemí a Rakouska, kde větrná energie neodmyslitelně patří k jejich kultuře a názor na větrné parky je velice pozitivní. Větrná elektrárna Lichteneg v Rakousku slouží nejenom k výrobě elektřiny, ale také jako turistická atrakce, protože součástí gondoly je vyhlídkové místo.

Únik oleje z větrné turbíny do okolí je za normálního provozu vyloučen a ani při havárii by nemělo dojít k úniku, protože vnitřní stěny jsou ošetřeny olejuvzdorným nátěrem a spodní část je nepropustná [15].

Velké větrné turbíny mají vliv na radiový a televizní signál v jejich blízkosti. Příkladem je VtE Tulešice, kde si obyvatelé z přilehlých vesnic (do 2 km) stěžují na sníženou kvalitu radiového a televizního signálu.

2.3 Složení a recyklace větrné turbíny

Větrné elektrárny jsou složeny z mnoha komponent a dílů – věže, gondoly, rotoru s hlavicí a listy, transformátoru, generátoru, převodovky, základové desky apod. Základem recyklace je demontáž celé větrné elektrárny a rozřídění materiálu. Uvádí se, že v dnešní době se dokáže recyklovat až 85–90 % z celkové hmotnosti větrné turbíny. Železobetonové základy a věž by se daly zakomponovat do nových větrných elektráren (univerzální platformy) za předpokladu, že se vymění jen nadzemní část. V případě odstranění železobetonových částí by se musely tyto části odvést k recyklaci drcením a následné separaci materiálů. Tato metoda bohužel není energeticky ani finančně výhodná, protože železobeton z 2MW turbíny váží 143 tun (65 % z hmotnosti celé elektrárny) [20, 25]. Další díly vytvořené ze železa, oceli, mědi, hliníku, hořčíku, zinku, niklu a drahých kovů jsou po rozřídění plně recyklovatelné. Plasty, gumy a organické materiály se recyklují nebo tepelně zpracují.

Největším problémem recyklace větrné turbíny jsou listy rotoru, které jsou tvořeny z kompozitních materiálů – skelná, uhlíková či kevlarová vata s epoxidovou pryskyřicí. Dle společnosti ETIPWind bylo již použito na výrobu listů rotoru asi 2,5 milionů tun kompozitního materiálu. Očekává se, že v následujících 5 letech bude potřeba recyklovat 15 000 čepelí [26]. Známe jsou 4 způsoby nakládání s vysloužilými listy rotoru – skládkování, mechanický proces, tepelný proces a chemický proces. Skládkování je ekologicky velice náročné, bohužel velmi

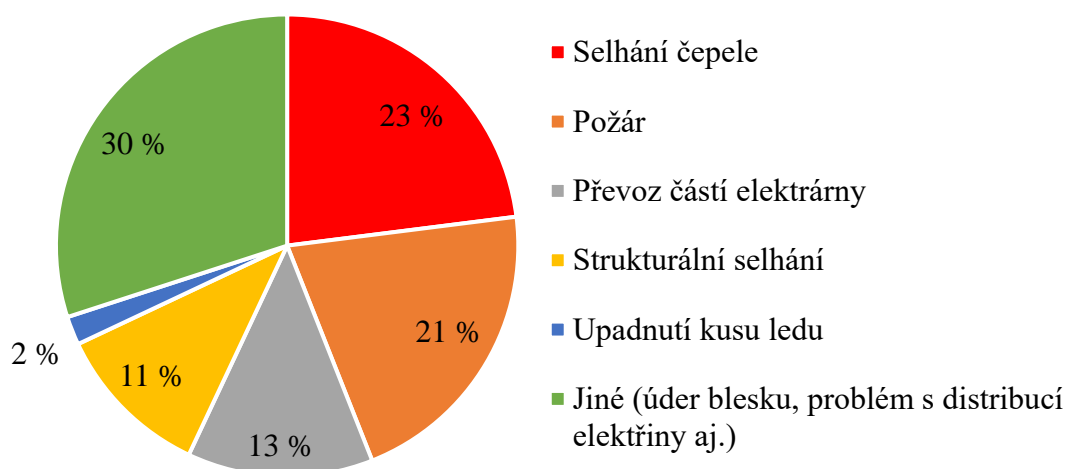


Obr. 2.1 Lehátko z listu větrné turbíny [27]

využívané. Mechanický proces souvisí s drcením na malé části a dalším využitím jako plnivo nebo výztuž ve stavebnictví a cementárenském průmyslu. V tepelném procesu likvidace je využita pyrolýza – zplyňování při 500 °C v anaerobní atmosféře – a následně se výsledný produkt zužitkuje k výrobě elektrické energie nebo ve stavebnictví. Chemický proces souvisí se solvolýzou, při které je zapotřebí vyšších teplot (230–370 °C), a využití materiálu ve stavebnictví [25, 28]. V poslední řadě se listy rotoru mohou zužitkovat zcela jiným způsobem, a to díky své konstrukci a struktuře jako designérský unikát. Polská firma Anmet vyrábí z vyřazených listů přístřešky, mosty pro pěší a velice unikátní nábytek jako je znázorněno na obr. 2.1. Listy rotoru našly druhotné využití také v České republice, například skluzavka v bývalé Baťově továrně v Třebíči.

2.4 Nehody větrných turbín

Nehody a havárie větrných elektráren jsou většinou způsobeny nedostatečnou údržbou zařízení nebo konstrukčními chybami. Tyto nehody mohou mít za následek ohrožení životního prostředí a místních obyvatel. Informační fórum CWIF (Caithness Windfarm Information Forum) zaznamenává všechny dostupné nehody větrných elektráren od roku 1996. Dle statistik bylo do konce roku 2020 zaznamenáno 1979 nehod, z toho 154 smrtelných nehod (290 úmrtí) [29]. Procentuální rozdělení nehod lze zjistit z obr. 2.2. Jsou v něm zaznamenány nehody spojené se selháním čepele, padáním ledu, převozem částí větrné elektrárny, strukturálních selhání, problémy se vzplanutím, úderům blesků a nehody spojené s distribucí elektřiny.



Obr. 2.2 Procentuální rozložení nehod větrných elektráren od roku 1996 do roku 2020 [29]

3 VODNÍ ELEKTRÁRNY

Jedou ze základních složek Země představuje voda, která tvoří více než dvě třetiny povrchu naší planety. Lidstvo ji využívá již po tisíce let a je nejdéle využívanou přírodní formou energie, která je dostupná po celém světě díky stálému oběhu vody. Z počátku vznikala vodní kola pro výrobu mouky. K výrobě elektřiny se vodní energie začala používat v roce 1879, kdy byla vybudována první vodní elektrárna v USA. V současnosti se nejčastěji stavějí vodní elektrárny typu průtočných, akumulčních, přečerpávacích a přílivových (slapových) elektráren. Další typy využívající vodní energii, například kinetickou energii mořských proudů a vln, tepelnou energii oceánů apod., jsou ve fázích vývoje. Průtočné elektrárny se dělí na jezové a derivační. Tyto elektrárny pracují s vlastní kinetickou energií vodního toku. Jejich výkon dosahuje i desítky MW. Akumulační a přečerpávací vodní elektrárny jsou založeny na převodu potenciální energie v kinetickou, to znamená, že k efektivitě elektrárny je zapotřebí velký rozdíl výšek hladin. Jejich výkon může dosahovat až desítek GW. Přílivové elektrárny jsou založeny na slapových jevech (přiliv a odliv), při nichž využívají výškový rozdíl přílivu a odlivu. Dalším možným rozdělením vodních elektráren je dle velikosti spádu na nízkotlaké (<20 m), středotlaké (20–100 m) a vysokotlaké (>100 m) [15].

Vodní elektrárny používají k výrobě elektřiny vodní turbíny. Turbíny přeměňují vodní energii na energii rotační a následně se v generátoru, který je připojený hřídelí k turbíně, přemění na energii elektrickou. Výkon vodní turbíny souvisí s její účinností, dopravní výškou a průtokem. Turbíny se dělí na akční rovnotlaké a reakční přetlakové. U rovnotlakých turbín se tlak vody během průchodu turbínou nemění a je tedy použita pouze kinetická energie. Příkladem jsou turbíny Peltonova, Bánkiho a Savoniova. U přetlakových turbín je tlak vody větší před oběžným kolem než za ním, to znamená, že turbína využívá jak kinetickou, tak tlakovou energii. Příkladem jsou turbíny Francisova a Kaplanova. V praxi jsou především využívány turbíny Francisova, Kaplanova a Peltonova. Francisova turbína se aplikuje do vodních elektráren, kde jsou vybudovány velké průtoky a spády. Dále se uplatňuje v přečerpávacích elektrárnách, kde plní funkci turbíny i čerpadla. Kaplanovu turbínu lze regulovat, a proto se aplikuje na místech, kde nelze zaručit stálý průtok nebo spád. Oproti Francisově turbíně je účinnější, ale složitější a dražší. Peltonova turbína se využívá na místech, u kterých je zaručen velký spád a malý průtok [15].

S velkým rozmachem vodních turbín se zvyšuje poptávka po výrobě a instalovaný výkon se každoročně zvyšuje. V celosvětovém měřítku se instalovaný výkon zvýšil mezi lety 1995 a 2019 o 208 % (z 625 GW na 1308 GW), přičemž za stejné období se instalovaný výkon z vodních zdrojů v České republice zvýšil o 46 % (z 1,56 GW na 2,27 GW) především díky vybudování přečerpávací vodní elektrárny Dlouhé stráně o výkonu 650 MW [30]. Titul největší vodní elektrárny světa drží přehrada San-sia (Tři soutěsky) o výkonu 22,4 GW nacházející se na řece Jang-c'-ťiang v čínské provincii Chu-pej [31].

3.1 Ekologické problémy spojené s vodními elektrárnami

Před výstavbou vodní elektrárny jsou zapotřebí úpravy pozemků, na které bude dno přehrady zasahovat. S tím souvisejí výkupy pozemků, vystěhování obyvatel, odlesňování, a geologický průzkum, viz obr. 3.1. Při výstavbě hráze je zapotřebí dbát zvýšené opatrnosti při nakládání s oleji a s nebezpečnými odpady, které by mohly uniknout a znečistit vodní tok. Během provozu vodního díla může docházet ke ztrátám maziva a ropných produktů, které znečistí okolní prostředí. Riziko znečištění pomocí olejů lze výrazně eliminovat vhodným a efektivním mazáním, které snižuje množství použitého oleje, nebo využitím samomazných ložisek a biologicky odbouratelných maziv [32]. Provozovatelé přehrad mají nařízeno instalovat zařízení na zachytávání ropných produktů, které jsou účinné, avšak velmi drahé. Únik ropných produktů může nastat díky rekreaci neukázněných turistů či používáním poškozených lodí.



Obr. 3.1 PVE Dalešice – Wilsonova skála
vlevo původní krajina, uprostřed krajina před zatopením, vpravo krajina po napuštění PVE [33, 34, 35]

Zásadním negativním dopadem vodních elektráren je narušení a zaplavení přirozeného biotopu. U velkých elektráren se zatopí obří část údolí, ve které se následně vytvoří nový biotop. Původní živočichové nedokáží na takovou razantní změnu reagovat a zmizí z dotčených lokalit. Při přehrazení vodního toku se zamezí migraci živočichů. U malých vodních elektráren lze vytvořit tzv. rybí přechody, které pomáhají migraci ryb. U vodních děl, která mají spád v rozmezí do 10 metrů, se může využít Archimédův šroub, který při správném provedení napomáhá přirozené migraci ryb, vodních živočichů a sedimentů. Podle studie z roku 2008 bylo v průběhu 1000 přechodů zraněno pouze 1,4 % ryb, žádnou úmrtnost a prakticky žádnou dezorientaci, která by je činila jednoduchou kořistí pro predátory. Tato studie byla prováděna 1 rok na řece Dart v Anglii, s lososy, úhoři a pstruhy s velikostí až 1 metr [36]. Jiná studie, která se zaměřila především na různorodost sladkovodních ryb (štiky, parmy, plotice, úhoři aj.) včetně různých velikostí dokládá skutečnost, že ani větší ryby, které obecně nemigrují proti proudu, nemají s průchodem přes Archimédův šroub problém a z 99 kusů nebyl výrazně zraněn ani usmrcen žádný. Test byl proveden v městském kanálu u města Medemblik v Nizozemí [37]. Ryby přirozeně vyhledávají hlavní proud řeky, z tohoto důvodu většinou nedokáží najít rybí přechody a plují přímo k lopatkám turbíny. Množství ryb, které se dostanou až k lopatkám turbíny a následně uhynou, lze snížit za pomoci technologického prvku – česlí. Tento prvek

však funguje především na zachytávání velkých kusů odpadu a nečistot a zabraňuje pouze proplutí větších jedinců. Dle zákona č. 254/2001 Sb. stanoví vodoprávní úřad při stavbě nové elektrárny minimální zůstatkový průtok, aby bylo možné udržet jeho základní vodohospodářské a ekologické funkce. [38]

Kvalita vody v rezervoáru se v důsledku zadržetí na jednom místě zhoršuje a zabraňuje samočisticí a samo-okysličující schopnosti toku. To má za následek zvyšující se teplotu vody, vyšší odpar, uložení sedimentů na dně a zvýšenou koncentraci anorganických látek – soli (NaCl), železa, manganu, fosforu apod. Tím se zvyšuje salinita, která může narušit ekosystém a při větší míře může zničit okolní ornou půdu a znečistit podzemní zásoby vody. Vodní elektrárny jsou řazeny jako zdroj elektřiny, který nevytváří žádné skleníkové plyny. Pod hladinou přehrady však probíhají chemické aerobní procesy, které vytvářejí malé množství skleníkových plynů jako je metan, oxid uhličitý a oxid dusný. Hlavními faktory jsou teplota a objem vody, podnebí, množství nahromaděných biologických produktů a odpadu. Tímto problémem však netrpí pouze umělé nádrže a přehrady, ale i jiné typy vodních ploch jako jsou jezera či rybníky. Nejvíce postiženy jsou vodní plochy v tropických a ekvatoriálních oblastech, které vyprodukují nejvíce skleníkových plynů [32]. Množství vyprodukovaných skleníkových plynů naštěstí není tak vysoké jako u konkurenčních fosilních zdrojů. Špatná kvalita vody může být způsobena mj. nefunkčními kanalizačními systémy v okolí přehrady, které do ní ústí. To napomáhá zvýšenému množství mikroorganismů – sinic – na hladině. Velké množství sinic nastává především v letních měsících a způsobuje sníženou koncentraci kyslíku ve vodě a problémy rekreačním střediskům u vody. Tento problém nastával již od 80. let na Brněnské přehradě. Od roku 2007 se aplikoval na hladinu této přehrady vápenný hydrát, který zabraňuje mineralizaci živin, aby sinice neměly dostatečný přístup k potravě. Toto řešení bylo pouze dočasné a v roce 2009 došlo k částečnému vypuštění přehrady a vyjmutí sedimentů ze dna. Dále byly vybudovány kyslíkové věže a do přehrady je přidáván roztok síranu železitého. Od roku 2012 je kvalita vody velmi dobrá a k přemnožení sinic nastává jen zřídka [39].

Kvalita vody pod přehradou může být zhoršena z důvodu uvolnění sedimentů z horní části nádrže. Správným průtokem lze tento účinek minimalizovat a živočichům žijícím pod přehradou pomoci. Příkladem je VE Mohelno, kde se pod přehradou nachází v České republice již neobvyklé pstruhové pásmo s čistou vodou.

Pravidelné záplavy mají své výhody – napomáhají k obohacování okolí půdy životodárnými živinami. Některé ekosystémy tento druh katastrofy vyžadují, například delta Nilu v Egyptě či Amazonie v Jižní Americe. V České republice by se tento příklad dal aplikovat na dnes již trvale zatopenou oblast soutoku Dyje, Jihlavy a Svatky – vodní dílo Nové Mlýny. Při absenci záplav musí zemědělci v mnohých oblastech nahrazovat přírodní živiny chemickými hnojivy, které pomáhají jejich úrodě, ale ničí okolní přírodu, včetně vodních toků.

Na konci života vodních děl je zapotřebí nejdříve úplné vypuštění přehrady a následné navrácení řeky do svého původního koryta. Přehradní hráz může být buď modernizována z důvodu dalšího využití, zbourána nebo ponechána jako turistická atrakce a pravidelně udržována.

3.2 Katastrofy vodních elektráren

Přehrady dokáží zabránit velkým katastrofám – povodním. Při správné regulaci hladiny a průtoku vody jim lze předejít. Problém nastává během neočekávaných situací – zemětřesení, sesuvy půdy, tajfuny, konstrukční chyby, vojenské konflikty apod. V roce 1916 se po ročním provozu přehrady Desná v Orlických horách protrhla hráz a bylo nalezeno 67 obětí. Příčin bylo zjištěno hned několik – od špatného podloží po technologické chyby při stavbě. V roce 1943 došlo k vojenským náletům na německé přehrady Möhne, Eder a Sorpe (Operace Chastise). Protržení způsobilo obrovské škody a zemřelo asi 1300 lidí, převážně civilistů. V roce 1963 došlo na severu Itálie k sesuvu masivní části hory přímo do přehradní nádrže Vajont, který způsobil vlnu, která se přelila přes okraj přehrady a zničila několik vesnic a město Longarone, samotná konstrukce přehrady naštěstí vydržela a nedošlo tak k protržení. Příčinou byl špatný geologický průzkum a podmočení okraje hory. Přehrada byla v provozu teprve 2 roky, počet obětí se vyšplhal přes 2000. 25. ledna 2019 došlo k protržení nádrže Brumadinho v Brazílii. Do této nádrže byl ukládán odpadní kal z přilehlého železného dolu. Po protržení vytekl odpadní kal do okolí a znečistil okolní prostředí podél celého toku řeky, viz obr. 3.2.



Obr. 3.2 Krajina poničená protržením nádrže Brumadinho (Brazílie) [40]

4 ENERGIE Z BIOPALIV

Biopaliva vznikají z biomasy či biologického odpadu, který se využívá jako zdroj energie. K plodinám, které se pěstují k tomuto účelu, patří brukev řepka olejka a kukuřice. Mezi biologický odpad řadíme rostlinné zbytky, slámu, komunální odpad, potravinářský bioodpad či lesní odpad z dřevozpracujícího průmyslu. Rašelina se za biopalivo považuje pouze v některých státech světa – Švédsko a Finsko. Biopaliva se dělí dle skupenství nebo dle generace [41].

Dělení dle skupenství:

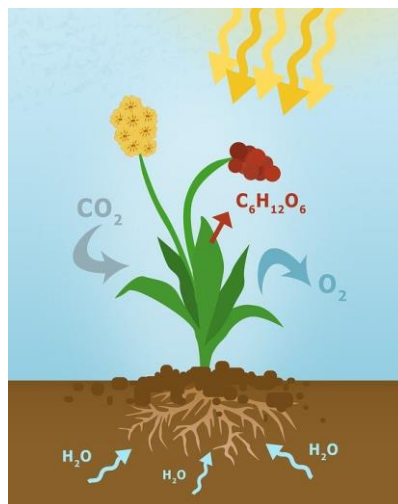
| | |
|---------|---|
| Pevné | brikety, pelety, polena, štěpka, piliny, sláma |
| Kapalné | rostlinné oleje, deriváty rostlinných olejů, biometanol, bioetanol (bezvodý líh), butanol, bionafta, zkapalněný bioplyn |
| Plynné | bioplyn, pyrolýzní plyn, dřevoplyn |

Dělení dle generace:

| | |
|-------------|---|
| 1. generace | z polysacharidů, rostlinných olejů a živočišných tuků |
| 2. generace | z biorozložitelného odpadu |
| 3. generace | z řas a mikroorganismů |

4.1 Biomasa a bioetanol

Rostliny na celé zeměkouli každoročně dokáží zachytit za pomoci fotosyntézy asi 3 000 EJ (3×10^{21} joulů) slunečního záření, což odpovídá přibližně 833 PWh. Fotosyntéza pomáhá přeměnit anorganické látky na organické. Díky tomuto procesu dokáží rostliny pouze za pomoci slunečních paprsků, vody (H_2O) a oxidu uhličitého (CO_2) vytvořit vlastní zásoby škrobu ($C_6H_{12}O_6$), viz. obr. 4.1. Na konci života rostlin se však rostliny biologicky nebo tepelně rozloží na vodu a oxid uhličitý, a zároveň se uvolní veškerá uložená energie. Biopaliva mají tudíž obrovský potenciál, avšak se využívají k produkci 1,4 % celosvětové produkce energie. Výzkum tvrdí, že maximální výkon z biomasy by dosahoval až 32 TW, výzkum ale počítá s maximálním využitím půdy a nadprůměrnými výnosy biomasy a nepočítá s mnoha dalšími omezujícími faktory [6, 41].



Obr. 4.1 Schéma fotosyntézy [42]

Pro energetické účely se vysazují rychle rostoucí dřeviny, které mají krátké vegetační období, jednoduchou výsadbu a dají se využít i v jiných odvětvích. Mezi hlavní rychle rostoucí dřeviny řadíme topol, olši, akát a další, které se většinou řadí k plevelům. Rostliny bylinného charakteru mají velký potenciál. Konopí, laskavec (amarant), šťovík, ostrík se dnes již nevyužívají jen v bylinkářství, papírnictví či oděvním průmyslu, ale bylo zjištěno, že mají velmi dobrý energetický potenciál. Dalšími rostlinami využívanými pro své zásoby polysacharidů jsou ozdobnice čínská a obrovská (sloní tráva), chrastice, obiloviny, brukev řepka olejka, slunečnice, kukuřice, len, cukrová řepa, cukrová třtina a brambory [43].

Množství skleníkových plynů vyprodukovaných biopalivy bylo zkoumáno v mnoha mezinárodních studiích a výsledky se mnohdy lišily. Biopaliva, jako biometan, většinou vykazovala nižší hodnoty skleníkových plynů. Naproti tomu biopaliva, jako bionafta a bioetanol, vykazovala emise skleníkových plynů dokonce vyšší. Výsledky studií moderních a budoucích biopaliv ukazují velký potenciál ve snižování emisí skleníkových plynů. Ve většině případů však tyto studie zatím nebyly prakticky prokázány v reálném měřítku. Mnoho studií nezahrnuje emise z využití půdy, na které se pěstují plodiny vhodné pro biopaliva. V původní vegetaci a půdě je uloženo nemalé množství uhlíku, který může být uvolněn a negativně ovlivnit emise skleníkových plynů. Příkladem je odlesňování pozemků k zajištění větší zemědělské plochy. Odhaduje se, že pěstování biopaliv v Amazonském deštném pralese uvolňuje do ovzduší 17–420× více oxidu uhličitého, než jaká by měla být jeho úspora [41, 44].

Pěstování specializovaných plodin vede k degradaci půdy, ovlivnění lokálních ekosystémů a biologické rozmanitosti. Pěstování řádkových plodin (kukuřice) způsobuje erozi, potřebu velkých aplikací NPK (Dusík-Fosfor-Draslík; průměrně 150 kg/ha, u kukuřice až 200 kg/ha) a eutrofizaci přilehlých vod (nadměrné obohacování vody anorganickými sloučeninami)

Nyní bude pozornost věnována odvozené fyzikální veličině – hustotě energetického toku, respektive toku energie na jednotku plochy. Její jednotka je W/m^2 . Zde bude hustota energetického toku brána jako kvocient výkonu a rozlohy půdy. Potřebné hodnoty, které jsou zapotřebí ke zjištění hustoty energetického toku, jsou očekávaná sklizeň [t/ha], energetická hustota paliva [MJ/kg], doba růstu plodiny [s] a plocha výsadby [ha] [41]. Hustota tepelného toku je důležitou proměnnou v energetické analýze, na kterou by se měl brát zřetel při vybírání vhodných plodin.

Výnos z biopaliv dosahuje 1–10 W/m^2 a dalším zpracováním se tato hodnota snižuje až na 0,23 W/m^2 pro bioetanol vyráběný z kukuřice. Například, kdyby v roce 2012 měla být celková poptávka po benzínu v USA nahrazena bioetanolem, musela by být kukuřice pěstována na ploše o 33% větší, než je celková orná půda v USA. Cukrová třtina nepotřebuje téměř žádné dusíkaté hnojivo a využití na bioetanol dosahuje 0,5–0,7 W/m^2 . Dávivec černý dosahuje podobných hodnot jako kukuřice – 0,2 W/m^2 , avšak byly vyvinuty také vyšlechtěné odrůdy, které by měly dosahovat i dvojnásobných hodnot. Výnosy z pšenice seté se pohybují v rozmezí 0,08–0,3 W/m^2 [41].

Množství celosvětově vyprodukované kukuřice k výrobě biopaliv vzrostlo od roku 1980 do roku 2010 o 65 % a cukrové třtiny o 30 %. Globální sklizeň dosáhla v roce 2010 1,69 Gt. Přeměna této sklizeň na bioetanol by dosáhla asi na hodnotu 105 GW (3 % světové poptávky po kapalných palivech v roce 2010). V roce 2040 by poptávka po kapalných palivech měla dosáhnout 4 TW a vyžadovala by až 800 Mha orné půdy, což odpovídá 43 % celosvětové orné půdy. Pokud by veškerá americká poptávka po benzínu v roce 2012 měla být dodávána z kukuřičného bioetanolu vyrobeného s touto hustotou energie, pak by Spojené státy musely pěstovat kukuřici pro bioetanol na ploše 234 Mha, což je plocha téměř o 75 % větší než u veškeré nedávno obdělávané půdy a o třetinu větší, než je celková rozloha orné půdy naší planety. Pokud bychom chtěli nahradit v roce 2050 celosvětovou poptávku po fosilních palivech biopalivy, tak dle průzkumů by bylo třeba 3,4 Gha orné půdy (což je o 82 % více než je předpokládaná rozloha orné půdy na Zemi) nebo pokácet 2 Gha lesa ročně [41].

Dřevozpracující průmysl nabízí využití svého přebytku v energetice. Odhaduje se, že v globálním měřítku lze využít teoreticky až 6,1 Gm^3 (71 EJ) dřeva ročně, avšak reálné odhady hovoří pouze o hodnotě 0,69 Gm^3 (8 EJ). Za posledních 30 let bylo odlesněno 1,78 milionů km^2 lesů z celosvětových 42,4 milionů km^2 . V České republice dřevozpracující průmysl vyprodukuje přibližně 1 900 000 tun štěpky ročně, z toho se energeticky využije přibližně 1 600 000 tun. Dalším odpadem jsou piliny, ze kterých se vyrábějí dřevěné pelety

používané jako topivo. Zajímavostí je, že o kvalitě pelety se musí rozhodnout již na pile, protože výsledná jakost pelety závisí na kvalitě a velikosti piliny [45, 46]. Elektrárna Hodonín patří mezi nejstarší elektrárny v České republice a byla postavena jako uhelná elektrárna v 50. letech minulého století. V roce 2009 byl uveden do provozu jeden blok výhradně na biomasu o výkonu 105 MW s denní spotřebou 700 tun biomasy [47].

Při výrobě bioetanolu se musí počítat s velkou spotřebou vody a následným čištěním této vody. Množství vody se pohybuje v rozmezí 10–13 litrů na 1 litr bioetanolu [41].

Celosvětová roční produkce bioodpadu dosahuje až 4 Gt, z toho 2,5 Gt bioodpadu (62 %) pochází ze zemědělství [41]. V tradičním zemědělství se těchto 2,5 Gt bioodpadu používá jako krmivo a ekologické hnojivo, které napomáhá obnovovat přirozené množství živin v půdě.

Popel vyrobený spalováním biomasy je pevný zbytek, který obsahuje mnoho makro a mikroživin. Jeho kvalita a množství závisí na typu použité biomasy. Nejmenší množství popelu (0,1 % z celkové hmotnosti) zbude spalováním kvalitního tvrdého dřeva a dřevěných pelet. Nejvíce popela (i 20 % z celkové hmotnosti) získáme spalováním vysušeného kuchyňského bioodpadu. Kvalita popelu souvisí s jeho následným využitím. Popel se musí upravit tak, aby nedošlo k intoxikaci půdy a vody při následném použití jako hnojivo (jakákoliv velikost popelu) nebo jako náhrada cementu ve stavebním průmyslu (velikost popelu 5–25 μm). Tuhý úlet z biomasy obsahuje méně karcinogenních polyaromatických uhlovodíků než vzdušný popílek z uhlí, avšak u popelu, který zůstane v kotli, je podíl karcinogenních polyaromatických uhlovodíků naopak vyšší. Popel z biomasy také obsahuje výrazně větší množství zinku, mědi, kadmia a niklu, a naopak výrazně menší množství olova. Popel by se měl před použitím ve stavebním průmyslu opláchnout, aby se zamezilo reakcím s rozpuštěnou solí [48].

4.2 Bioplyn

Bioplyn je směsí dvou majoritních látek, metanu a oxidu uhličitého. Množství každé látky se nedá předem přesně zjistit a závisí na mnoha faktorech jako je použitý materiál a jeho kvalita, teplota, obsah sušiny, pH, promíchávání nebo odplynování substrátu. Bioplyn také obsahuje i další látky – vodu, dusík, sulfan, vodík, čpavek, siloxany aj [44].

Bioplyn získáváme pomocí anaerobní digesce organických materiálů, což je proces, při kterém mikroorganismy rozkládají organické látky bez přístupu vzduchu. Proces se skládá ze 4 fází – hydrolyzy, acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze [44].

Při tomto procesu vzniká tuhý zbytek, tzv. digestát, a tekutý zbytek, tzv. fugát. Digestát má velké množství dusíku v sušině, a proto se začal používat v zemědělství jako kvalitní hnojivo. Fugát je zjednodušeně řečeno zakalená odpadní voda a z toho důvodu je odváděna do čističky odpadních vod [44].

Bioplynové stanice dělíme podle typu použité biomasy – zemědělské bioplynové stanice vyrábějící bioplyn ze zemědělských výrobků a energetických plodin, průmyslové bioplynové stanice vyrábějící bioplyn z rizikových látek, jako jsou odpadní vody, kaly, či odpadu z jatek a v poslední řadě komunální bioplynové stanice vyrábějící bioplyn z kuchyňského bioodpadu.

V dnešní době se snaží města získat co největší energetickou soběstačnost, a tomu dopomáhá energie získaná z odpadních vod v čističkách odpadních vod. V pražské Ústřední čističce odpadních vod (ČOV) se vyzkoušela technologie od skupiny Anaerobní technologie. Tato technologie dokázala dosáhnout až 90 % energetické soběstačnosti pro Ústřední ČOV. Použity byly dezintegrace kalu, termofilní anaerobní stabilizace a zefektivnění míchání, které dohromady zdvojnásobily produkci bioplynu [49].

Sulfan, obsažený v bioplynu v jednotkách procent, je zdrojem zápachu a problémů při efektivitě spalování. Při spalování vytváří kyselinu sírovou, která je silná žíravina rozpouštějící běžné kovy a způsobující korozi. Dále se také dostává do motorového oleje a způsobuje zhoršení jeho mazacích vlastností. Největší množství sulfanu najdeme u potravinářských odpadů, které obsahují největší množství proteinů, které jsou nejčastějším původcem sulfanu. Naopak nejnižší hodnoty sulfanu dostaneme z dřevní biomasy. Pro snížení emisí sulfanu se využívají speciální chemolitotrofní sírné bakterie. Tyto bakterie rozloží sulfan na vodu a elementární síru. Můžeme využít dva způsoby snížení emisí. Prvním je přímo v anaerobním fermentoru vysoce účinnou a ekonomicky výhodnou mikroaeraci. Tato metoda je založena na dávkování malého množství kyslíku do reaktoru. Má však i nevýhody jako je oxidace organického materiálu, aerobní hydrolýza, zvýšení množství dusíku a samotná elementární síra může zůstat v nemalé míře na stěnách a potrubích reaktoru. Druhým způsobem je externí zařízení pro absorpci, adsorpci či katalýzou sulfanu [49].

Siloxany, respektive silikony, jsou organokřemičité sloučeniny, které se nachází v minoritní formě v biomase. Z nich se spalováním stává oxid uhličitý, který není toxický. Problém nastává v určitých částech motoru – při usazování ve spalinovém prostoru, na hlavách válců a stěnách pístů a také zhoršuje mazací vlastnosti motorového oleje. Těmito způsoby trpí celý motor automobilu a tím se snižuje jeho životnost. Způsoby, jak se lze siloxanů zbavit, je několik. První metodou je záchyt na aktivním uhlí s chlazením lože na nízké teploty a druhou záchyt na polymorfním grafitu [49].

Vliv na životní prostředí u bioplynových stanic závisí především na kvalitě návrhu a provozu bioplynových stanic. Anaerobní fermentace zabezpečuje zachytávání metanu, jakožto majoritní složky tohoto procesu a zároveň skleníkového plynu, proto je důležité, aby nebyl vypouštěn do okolního prostředí a byl využit jeho energetický potenciál.

4.3 Doprava

Náklady spojené na dopravu jsou nedílnou součástí pěstování plodin. Traktor a kombajn mají průměrnou spotřebu asi 30 litrů na 100 kilometrů. Na obhospodaření 1 ha plochy ujede pouze na poli pokaždé asi 1 kilometr. Pole je spravováno alespoň 6× ročně kvůli vláčení, hnojení, zasetí, postřiku, sklizni a orbě. To znamená, že přibližná spotřeba paliva je 1,8 l/ha. S převodem energetického obsahu benzínu (32 MJ/l) dostaneme přibližně 58 MJ/ha. S převodem na bioetanol (21,2 MJ/l) dostaneme hodnotu 2,8 litrů biopaliva na obdělání 1 hektaru půdy. Se započítáním zbylých energetických vstupů na výrobu bioetanolu se hodnota rapidně zvýší až na 25 GJ/ha. Pšenice ozimé se sklídí v průměru 6 t/ha. Množství vyprodukovaného bioetanolu z této sklizně dosahuje 2362 l/ha (50 GJ/ha) [50]. To odpovídá dvojnásobné hodnotě spotřebované energie na výrobu bioetanolu.

Biopaliva nejsou a s největší pravděpodobností nebudou schopna ekonomicky konkurovat fosilním palivům. Náklady na suroviny, výrobu, dovoz a závislost na klimatických podmínkách ovlivňují cenu biopaliv v každém státě individuálně. Biopaliva druhé generace by měla být z hlediska surovin jednodušší, avšak náklady na svoz odpadu se zvýší a vyváží tuto výhodu. Biopaliva třetí generace jsou v současné době velice nákladná a neočekává se, že by se v blízké době tento problém vyřešil. Nedostatek surovin může způsobit mnoho problémů v lokální ekonomice, v potravinářském průmyslu a může napomoci hospodářské krizi.

5 GEOTERMÁLNÍ ENERGIE

Přirozené teplo Země je využíváno jako geotermální energie, kterou lze využít k výrobě elektřiny i jako zdroj tepla s účinností 10–20 %. Způsob využití závisí na mnoha okolnostech – geologickém podloží, teplotě, tlaku a hloubce. Teplo v zemské kůře vzniká jako důsledek rozpadu radioaktivních prvků – především z uranu a thoria. Dle teploty jsou geotermální elektrárny děleny na vysokoteplotní (>200 °C), středněteplotní (200–150 °C) a nízkoteplotní (<150 °C). Dle typu jsou děleny na zásoby horké páry, zásoby termální horké vody a teplo ze suchých hornin (HDR, Hot Dry Rock). Zásoby horké páry a termální vody mohou mít omezené zásoby vody, z toho důvodu je nutné přivádět ochlazenou vodu nazpět. V Děčině se zásoby termální vody využívají k vytápění části města a ohřevu vody. Vrt zde dosahuje hloubky 545 metrů a teplota vody dosahuje až 72 °C. Systémy HDR využívají horké horniny hluboko pod povrchem, které jsou nepropustné pro kapaliny. Tento systém potřebuje dostatečnou plochu (až 10 km²) a dostatečné zásoby vody (až 100 litrů vody za sekundu při tlaku až 40 MPa). Základem pro vytvoření geotermálního systému HDR jsou 2 vrty vzdálené od sebe 300–1000 metrů. V roce 2019 dosáhl instalovaný výkon geotermálních elektráren 15,4 GW ve 29 státech světa [51, 52].

Využitelnost geotermální energie je zkoumána za pomoci vrtů. Vrtáním se z hloubky pod povrchem dostávají i nebezpečné prvky – arsen, olovo, rtuť, radon, bór, vanad, sirovodík, oxid uhličitý, ... U geotermálních elektráren se dle výzkumů vyprodukuje 13–380 gramů oxidu uhličitého na 1 kWh elektrické energie v závislosti na typu elektrárny. Nejvíce oxidu uhličitého vyprodukují vysokoteplotní elektrárny a nejméně elektrárny využívající HDR. Hloubka vrtu je omezena současnými technickými možnostmi. V hloubkách nad 10 km panují extrémní podmínky – vysoká teplota, vysoký tlak – což způsobuje zvýšenou plasticitu hornin a zhoršené podmínky k vrtání. V současné době se počítá s hloubkou maximálně 5 km pro velká zařízení. Doposud nejhlubší vytvořený vrt, Kolský vrt, měří přes 12 km a leží v Murmanské oblasti v Rusku. Při vrtání se musí dbát na geologický průzkum. Avšak při takto hlubokých vrtech se nedá přesně předpovědět čím je podzemí tvořeno. Například může dojít k nalezení ropného ložiska, tvrdších hornin či nízké teploty v plánované hloubce. Samotné vrtání je nejdražší částí projektu. Problém při vrtání způsobuje vysoká koncentrace rozpuštěných látek (sírany, chloridy, křemičitan, karbonáty draslíku a síranu a těžké kovy), které způsobují korozi vrtáků a usazeniny v potrubí [32, 51, 53]. Řešením jsou speciální povrchové úpravy, ochranné vrstvy a použití chemikálií.

Voda z geotermální elektrárny je vháněna zpět do podzemí, avšak u starších geotermálních elektráren se ochlazená odpadní voda používá k zavlažování. To může mít ve větší míře za následek znečištění povrchových vod, znečištění a úbytek podzemních vod a možné poklesy půdy podobně jako je tomu během těžby nerostných surovin. [65] [38]

Geotermální elektrárna, u které se nedokáže zajistit dostatečně vysoká teplota, potřebuje k provozu směsi, které mají nízký bod varu. V minulosti se používaly směsi, které jsou nebezpečné vůči životnímu prostředí, z důvodu možného úniku do životního prostředí. Tyto směsi jsou buď regulovány nebo již zakázány. V dnešní době je důležité používat směsi, které mají minimální skleníkový efekt, neznečišťují vodu a neničí ozónovou vrstvu. Z těchto důvodů se používají například uhlovodíky (propan, butan a pentan) a amoniak [32, 51].

Geotermální elektrárny jsou stavěny poblíž seismicky aktivních oblastí, protože je zde dostatečně vysoká teplota v relativně malé hloubce. Každá geotermální elektrárna musí být dostatečně zabezpečena proti potenciálním přírodním nebezpečím, která se v seismicky aktivních oblastech mohou stát – výbuch sopky a zemětřesení. V případě nehody může dojít k úniku nebezpečných látek (sirovodík, fluorovodík, chlorovodík, oxid uhelnatý, metan, fluorid

křemičitý, amoniak, oxid uhličitý aj.), ale také vlastních směsí (uhlovodíky, amoniak, aj.) V roce 2018 došlo k erupci na ostrově Havaj, která ohrozila geotermální elektrárnu Puna včetně vlastních zásob pentanu, viz obr. 6.1. Provoz geotermální elektrárny může způsobit neočekávané seismické aktivity spojené s vhnáním vody, změnou tlaku a ochlazením hornin. V roce 2006 geotermální elektrárna využívající HDR v Basileji způsobila zemětřesení o síle 3,4 stupně RichtEROVY stupnice. Většina seismických aktivit způsobených provozem geotermálních elektráren se však odehrává hluboko pod povrchem a na povrchu jsou sotva znatelná. Hluk spojený s vrtáním a následným provozem bývá v zákonných mezích při dodržení nezbytných předpisů a opatření. U nových geotermálních elektráren s výkonem do 10 kW dosahuje intenzita zvuku méně než 45 dB [32, 51].

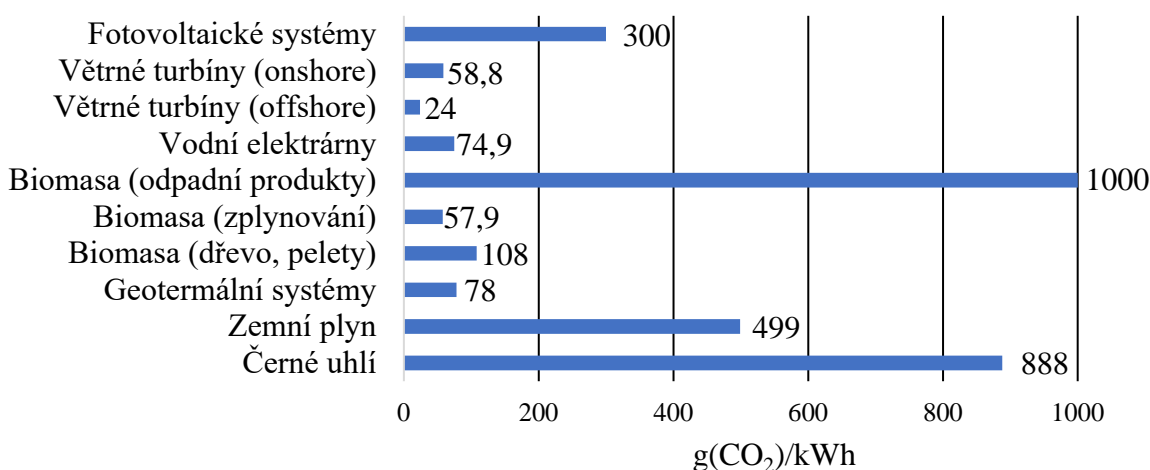


Obr. 6.1 Letecký snímek geotermální elektrárny Puna na Havaji během erupce sopky Kilauea v roce 2018 [54]

Při demontáži geotermální elektrárny se musí dbát na dostatečné utěsnění vrtu, aby se zamezilo problémům s podzemní vodou. V současné době nejsou známy žádné zvláštní negativní účinky recyklace geotermálních elektráren.

ZÁVĚR

Při vzájemném srovnání různých obnovitelných zdrojů energie se musí počítat s mnoha faktory – způsobem výroby, instalací, provozem, údržbou, recyklací, likvidací, poruchami a okolními vlivy (počasí apod.). Analýza životního cyklu obnovitelných zdrojů (life cycle analysis, LCA) je efektivním prostředkem pro hodnocení dopadů obnovitelných zdrojů na životní prostředí. Vědecký článek z roku 2014 přezkoumává 79 různých studií LCA, které přímo souvisely s emisemi skleníkových plynů v životním cyklu obnovitelných zdrojů [55]. Na obr. 7.1 jsou uvedeny nejhorší doposud ověřené hodnoty emisí skleníkových plynů v přepočtu na molekuly oxidu uhličitého z jednotlivých energetických zdrojů. Z obr. 7.1 lze jednoduše vyvodit, že emise skleníkových plynů jsou výrazně vyšší u odpadních produktů z biomasy. Vyšší emise oproti jiným obnovitelným zdrojům mají také fotovoltaické systémy, naopak nejlépe obstály větrné turbíny.



Obr. 7.1 Nejhorší možné hodnoty emisí oxidu uhličitého z obnovitelných zdrojů a fosilních paliv [55]

Ne všechny obnovitelné zdroje lze řadit i mezi ekologické. Nežádoucí účinky fotovoltaických systémů stále převyšují jejich pozitivní dopad, stejně jako je tomu u některých biopaliv. Důležitým faktorem pro obnovitelné zdroje jsou konstantní dodávky elektrické energie. Fotovoltaické systémy mohou fungovat pouze za slunečného dne, větrné turbíny pracují při určité rychlosti větru. Naopak geotermální a vodní zdroje mohou být v chodu prakticky nepřetržitě. Výhoda přečerpávacích vodních elektráren spočívá v tom, že dokáží naakumulovat energii v podobě potenciální energie vody, a plní tak funkci obřích baterií. Konstantní dodávky biomasy a jejich produktů musí být naplánovány předem, aby se zamezilo možnému vyčerpání zásob před další úrodou. Výhoda biomasy spočívá v jejím možném skladování, ale naopak velkou nevýhodou je to, že množství vyprodukované biomasy závisí na počasí a každý rok se mění. Výběr vhodných míst pro instalaci decentralizované zdroje energie, mezi něž patří obnovitelné zdroje, je zcela zásadní. Výběr nevhodného místa může mít fatální následky, od neefektivní výroby elektrické energie, přes únik nebezpečných látek až po narušení elektrárny.

Všechny zdroje energie, ať už obnovitelné, jaderné či fosilní, změní ráz krajiny. Vodní a fotovoltaické elektrárny upraví krajinu pasivně, to znamená, že během provozu nevykonávají žádný pohyb, ani nevypouštějí žádné plyny. Větrné turbíny pozmění panorama krajiny aktivně, což znamená, že za provozu jsou prováděny pohyby listů rotoru, které mají negativní účinky na citlivé jedince. Energetické plodiny mají za následek narušení biodiverzity, odlesňování krajiny a erozi. Řešením v oblasti biopaliv by mohly přinést patřičná omezení, která by zabránila nadměrnému znehodnocování půdy. Například půdní rodokmen, ve kterém by bylo zaevidováno všechno to, co souvisí s obděláváním půdy – orba, výsadba, hnojení, postřik apod.

Negativní dopady obnovitelných zdrojů na životní prostředí jsou stále velké a je třeba dalšího vývoje, aby se jejich účinky nadále zmírňovaly, a zároveň, aby se zvyšovala jejich energetická efektivita. Dle dostupných informací se prozatím nejefektivněji a nejekologičtěji jeví energetické zdroje využívající vodu, vítr a přirozené teplo Země.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ANDERSEN, Otto. Unintended Consequences of Renewable Energy: Problems to be Solved. London: Springer, c2013. ISBN 978-1-4471-5531-7. Dostupné z: doi:10.1007/978-1-4471-5532-4
- [2] GEISZ, John F., Ryan M. FRANCE, Kevin L. SCHULTE, et al. Six-junction III–V solar cells with 47.1% conversion efficiency under 143 Suns concentration. Nature Energy [online]. 2020, 5(4), 326-335. ISSN 2058-7546. Dostupné z: doi:10.1038/s41560-020-0598-5
- [3] Solar power by country. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_power_by_country
- [4] Energetický mix ČR: Energetický mix České republiky 2010–2020. Česká společnost pro větrnou energii [online]. 2013-. Dostupné z: <https://www.csve.cz/clanky/energeticky-mix-cr/485>
- [5] List of photovoltaics companies. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_photovoltaics_companies
- [6] PALZ, Wolfgang. The Triumph of the Sun in 2000–2020: How Solar Energy Conquered the World. Singapore: Jenny Stanford, c2020. ISBN 978-981-4800-84-6.
- [7] PYREŇOVÁ, Eliška. Studium vlastností polymery modifikovaných malt využívající pucolánově aktivní materiály. Brno, 2015, 90 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce Doc. Ing. Nikol Ťiřková, Ph.D.
- [8] ISLAM, Md. Rabiul, Faz RAHMAN a Wei XU. Advances in Solar Photovoltaic Power Plants. Imprint: Springer, 2016. Green Energy and Technology. ISBN 978-3-662-50519-9.
- [9] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2012/19/EU: ze dne 4. července 2012 o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ). In: . Úřední věstník Evropské unie, 2012, s. 34. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0019&from=en>
- [10] JÍLEK, Milan. Měření provozních charakteristik FV systémů. Brno, 2021. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp_id=51905 Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Vedoucí bakalářské práce Petr Mastný.
- [11] Válcovaný zinek má nízkou spotřebu energie. VM BUILDING SOLUTIONS CZ [online]. Dostupné z: <https://www.vmzinc.cz/zinek-a-ivotni-prostedi/spotreba-energie.html>
- [12] BECHNÍK, Bronislav. Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti [online]. 26.9.2011. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti>
- [13] GOETZBERGER, Adolf a Volker Uwe HOFFMANN. Photovoltaic Solar Energy Generation. Berlin: Springer, c2005. ISBN 3-540-23676-7.
- [14] PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM. EU SCIENCE HUB: The European Commission's science and knowledge service [online]. 15.10.2019. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/#
- [15] STUDENÍK, Jiří a Milan SVITAVSKÝ. Energie větru, vody, biomasy [online]. publi.cz, c2016. ISBN 978-80-88058-08-3. CZ.1.07/1.1.00/44.0006. Dostupné také z: <https://publi.cz/books/90/Impresum.html>

- [16] LEE, Joyce a Feng ZHAO, DUTTON, Alastair, Ben BACKWELL, Ramon FIESTAS, et al., ed. Global Wind Report 2019 [online]. Global Wind Energy Council, 2020, 78 s. Dostupné z: https://gwec.net/wp-content/uploads/2020/08/Annual-Wind-Report_2019_digital_final_2r.pdf
- [17] Aktuální instalace. Česká společnost pro větrnou energii [online]. 2013-. Dostupné z: <https://www.csve.cz/clanky/aktualni-instalace-vte-cr/120>
- [18] Grafy. Česká společnost pro větrnou energii [online]. 2013-. Dostupné z: <https://www.csve.cz/clanky/grafy/280>
- [19] HANSLIAN, David. Aktualizace potenciálu větrné energie v České republice z perspektivy roku 2020 [online]. Praha, 2020. Dostupné z: <https://csve.cz/img/wysiwyg/file/Potencial-vetrne-energie-2020.pdf>. Ústav fyziky atmosféry AV ČR.
- [20] ANDERSEN, Per Dannemand, Alexandra BONOU, Justine BEAUSON a Povl BRØNDSTED, LARSEN, Hans Hvidtfeldt a Leif Sønderberg PETERSEN, ed. Recycling of wind turbines [online]. 2014. ISBN 978-87-550-3969-8. Dostupné z: https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/102458629/DTU_INTL_ENERGY_REP_2014_WIND_91_97.pdf. Technical University of Denmark.
- [21] ČESKÁ REPUBLIKA. Nařízení vlády č. 100/2001 Sb.: Zákon o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí). In: Č. 100/2001 Sb.. 2001. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-100>
- [22] ČESKÁ REPUBLIKA. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.: Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: Č. 272/2011 Sb.. 2011. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-272#cast3>
- [23] KNOPPER, Loren D a Christopher A OLLSON. Health effects and wind turbines: A review of the literature. Environmental Health [online]. 2011, 10(1). ISSN 1476-069X. Dostupné z: doi:10.1186/1476-069X-10-78
- [24] Windenergieanlagen – beeinträchtigt Infraschall die Gesundheit? [online]. BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT, BAYERISCHES LANDESAMT FÜR GESUNDHEIT UND LEBENSMITTELSICHERHEIT. 2016. Dostupné z: https://www.lfu.bayern.de/buerger/doc/uw_117_windkraftanlagen_infraschall_gesundheit.pdf
- [25] KOČ, Břetislav. Likvidace a recyklace větrných elektráren na konci životnosti [online]. 11.2.2021. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/vetrna-energie/21841-likvidace-a-recyklace-vetrnych-elektraren-na-konci-zivotnosti>
- [26] Blade recycling and innovative materials for new blade designs [online]. ETIPWIND. 2019, 20. 9. 2019. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ROPIX-lzork&t=8s>
- [27] Architecture made from wind blades: SERIAL PRODUCTS. ANMET [online]. Dostupné z: <https://www.anmet.com.pl/architecture-made-from-wind-blades/serial-products/?lang=en>
- [28] MATTSSON, C, A ANDRÉ, M JUNTIKKA, T TRÄNKLE a R SOTT. Chemical recycling of End-of-Life wind turbine blades by solvolysis/HTL. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering [online]. 2020, 942. ISSN 1757-899X. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/942/1/012013
- [29] Summary of Wind Turbine Accident data to 31 March 2021. Caithness Windfarm Information Forum [online]. 2021 [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <http://www.caithnesswindfarms.co.uk/AccidentStatistics.htm>

- [30] Seznam vodních elektráren v Česku. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Seznam_vodn%C3%ADch_elektr%C3%A1ren_v_%C4%8Cesku
- [31] INTERNATIONAL HYDROPOWER ASSOCIATION. Hydropower Status Report: Sector trends and insights [online]. c2020, 54 s. Dostupné z: https://hydropower-assets.s3.eu-west-2.amazonaws.com/publications-docs/2020_hydropower_status_report.pdf
- [32] KALTSCHMITT, Martin, Wolfgang STREICHER a Andreas WIESE, ed. Renewable Energy: Technology, Economics and Environment. Berlin: Springer, c2007. ISBN 978-3-540-70947-3.
- [33] Wilsonova skála. In: Popůvky [online]. Dostupné z: http://www.popuvky-obec.cz/wilsonova-skala/g-1456/id_obrazky=1671&typ_sady=1
- [34] Wilsonka po odlesnění. In: Popůvky [online]. Dostupné z: <http://www.popuvky-obec.cz/wilsonka-po-odlesneni/g-1458/prehravac=1#vfoto>
- [35] SAMUEL, Pavel. Pláž u Wilsovy skály v kempu Wilsonka [online]. Dostupné z: <https://www.turistika.cz/mista/wilsonova-skala/foto?id=165490>
- [36] KIBEL, Pete. Archimedes Screw Turbine Fisheries Assessment. Phase II: Eels and Kelts [online]. FISHTEK CONSULTING. Moretonhampstead (Devon), 8 March 2008. Dostupné z: <http://www.mannpower-hydro.co.uk/wp-content/uploads/2016/04/Phase-2-archimedean-screw-fish-passage-test-results.pdf>
- [37] VRIESE, F. T. Research into the fish-friendly screw pumps [online]. 2009. Dostupné z: <https://www.aquaticcontrol.co.uk/wp-content/uploads/2017/02/2009-Screw-Pump-research-Paper.pdf>
- [38] ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 254/2001 Sb.: Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon). In: Č. 254/2001 Sb.. 2001. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>
- [39] JURÁNEK, R. Brněnská přehrada [online]. Brno, 2009-, 15. 1. 2021. Dostupné z: https://www.brnenskaprehrada.cz/p_dnes.html
- [40] ALVES, Washington. General view from above of a dam owned by Brazilian miner Vale SA that burst, in Brumadinho, Brazil January 25, 2019. Reuters [online]. 25 January, 2019. Dostupné z: <https://pictures.reuters.com/archive/BRAZIL-VALE-SA-DISASTER-RC1A0D2ACE80.html>
- [41] SMIL, Václav. Power Density: A Key to Understanding Energy Sources and Uses. London: MIT Press, c2015. ISBN 978-0-262-02914-8.
- [42] Fotosyntéza schéma [online]. Dostupné z: <https://pixabay.com/cs/illustrations/fotosyntéza-schéma-fotosyntézy-3498260/>
- [43] DAHIYA, Anju, ed. Bioenergy: Biomass to Biofuels and Waste to Energy. 2nd edition. London: Elsevier, c2020. ISBN 978-0-12-815497-7.
- [44] KALTSCHMITT, Martin, ed. Energy from Organic Materials (Biomass): A Volume in the Encyclopedia of Sustainability Science and Technology. 2nd edition. Hamburg: Springer, c2019. ISBN 978-1-4939-7812-0.
- [45] THENKABAIL, Prasad S., Pardhasaradhi TELUGUNTLA, Adam OLIPHANT, Itiya ANEECE a Daniel FOLEY. Global Food Security Analysis-Support Data at 30 Meters (GFSAD30) Project. In: WESTERN GEOGRAPHIC SCIENCE CENTER. United States Geological Survey [online]. 21 November 2018. Dostupné z: <https://croplands.org/app/map?lat=0&lng=0&zoom=2>

- [46] STUPAVSKÝ, Vladimír. Moderní využití energie ze dřeva [online]. 5.5.2014. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/11169-moderni-vyuziti-energie-ze-dreva>
- [47] ELEKTRÁRNA HODONÍN. SKUPINA ČEZ [online]. Praha. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/o-cez/vyrobni-zdroje/uhelne-elektrarny-a-teplarny/uhelne-elektrarny-a-teplarny-cez-v-cr/elektrarna-hodonin-58184>
- [48] SINGH, Ashok K., Reginald Ebhin MASTO, Bodhisatwa HAZRA, Joan ESTERLE a Pradeep K. SINGH. Ash From Coal And Biomass Combustion. Cham: Springer, c2020. ISBN 978-3-030-56980-8.
- [49] POKORNÁ, Lucie. Microaeration for biogas desulfurization – experimental and simulation study of various reactor types [online]. Praha, 2017. Dostupné z: <https://biblio.ugent.be/publication/8530499/file/8530500.pdf>. Dizertační práce. VŠCHT Praha, Ghent University. Vedoucí práce Pavel Jeníček, Jan Bartáček a Eveline I.P. Volcke.
- [50] MUŽÍK, Oldřich a Zdeněk ABRHAM. EKONOMICKÁ A ENERGETICKÁ EFEKTIVNOST VÝROBY BIOPALIV. Praha, 2011. Dostupné také z: <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2011/032.pdf>. Výzkumný ústav zemědělské techniky.
- [51] DŘÍMAL, Petr. Tepelná čerpadla, geotermální energie [online]. publi.cz, c2016. ISBN 978-80-88058-05-2. CZ.1.07/1.1.00/44.0006. Dostupné z: <https://publi.cz/books/93/Impresum.html>
- [52] RUMBERG, Gregor. 2020 TO BECOME A MILESTONE YEAR FOR THE GLOBAL GEOTHERMAL ENERGY SECTOR [online]. In: INTERNATIONAL GEOTHERMAL ASSOCIATION. Bonn, 27. January 2020. Dostupné z: <https://www.geothermal-energy.org/2020-to-become-a-milestone-year-for-the-global-geothermal-energy-sector/>
- [53] PIMENTEL, David, ed. Biofuels, Solar and Wind as Renewable Energy Systems: Benefits and Risks. Colorado: Springer, c2008. ISBN 978-1-4020-8653-3.
- [54] OMORI, Bruce. Eruptions at Hawaii's Kilauea volcano. European pressphoto agency [online]. 22.05.2018. Dostupné z: <https://www.epa.eu/>
- [55] AMPONSAH, Nana Yaw, Mads TROLDBORG, Bethany KINGTON, Inge AALDERS a Rupert Lloyd HOUGH. Renewable & sustainable energy reviews. Amsterdam: Elsevier, c2014. ISSN 1364-0321.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

| | |
|--------------|--|
| <i>CdS</i> | Sulfid kademnatý |
| <i>CdTe</i> | Tellurid kademnatý |
| <i>CIGS</i> | Fotovoltaický článek selenidu mědi, india a galia |
| <i>CIS</i> | Fotovoltaický článek selenidu mědi a india |
| <i>CNC</i> | Computer Numerical Control, počítačem řízený obráběcí stroj |
| <i>ČOV</i> | Čistička odpadních vod |
| <i>EVA</i> | Etylenvinylacetát |
| <i>FVE</i> | Fotovoltaická elektrárna |
| <i>GaAs</i> | Arsenid galitý |
| <i>HDR</i> | Hot Dry Rock, elektrárna využívající teplo ze suchých hornin |
| <i>InGaN</i> | Nitrid india a galia |
| <i>JE</i> | Jaderná elektrárna |
| <i>MŽP</i> | Ministerstvo životního prostředí |
| <i>pH</i> | Potenciál vodíku, vodíkový exponent |
| <i>PVE</i> | Přečerpávací vodní elektrárna |
| <i>PVF</i> | Polyvinylfluorid |
| <i>SiGe</i> | Germanid křemíku |
| <i>VE</i> | Vodní elektrárna |
| <i>VtE</i> | Větrná elektrárna |