

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE

POSOUZENÍ ŽIVOTNÍHO CYKLU
FOTOVOLTAICKÉHO PANELU

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Lenka Wimmerová, MSc., Ph.D.

Diplomant: Bc. Jakub Ječmen

2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jakub Ječmen

Krajinné inženýrství

Regionální environmentální správa

Název práce

Posouzení životního cyklu fotovoltaického panelu

Název anglicky

Life Cycle Assessment of a Photovoltaic Panel

Cíle práce

Cílem práce je posouzení životního cyklu fotovoltaického panelu. V teoretické části práce budou popsány obecné zásady posuzování životního cyklu (LCA) a softwarové modelovací nástroje používané pro hodnocení LCA. Dále budou popsány současné typy fotovoltaických panelů, legislativní rámec nakládání s nimi a možné environmentální dopady, jak v průběhu provozu fotovoltaických panelů, tak ve fázi jejich likvidace. Praktická část práce bude zpracována formou případové studie pro vybraný typ fotovoltaického panelu.

Metodika

Diplomová práce má charakter studie. Metodicky půjde o vytvoření aktuálního literárního přehledu zásad hodnocení životního cyklu, dostupných modelovacích software, typů fotovoltaických panelů a souvisejícího legislativního rámce. Hodnocení životního cyklu bude provedeno v souladu s ČSN EN ISO 14040 a příslušnými navazujícími standardy. Ke zpracování případové studie bude využit komerční software „openLCA“.

Doporučený rozsah práce

cca 80 stran textu a 10 stran příloh

Klíčová slova

životní cyklus, fotovoltaický panel, posouzení, dopad, environmentální, provoz, likvidace, software

Doporučené zdroje informací

- Černý, M., 2018: Životní cyklus fotovoltaických panelů a způsobů jejich současné likvidace. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 83 s.
- Český normalizační institut (ČNI), 2006: ČSN EN ISO 14040:2006 – Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova. Praha, 34 s.
- European Union (EU), ©2014–2019: European Platform on Life Cycle Assessment. Dostupné z <<http://eplca.jrc.ec.europa.eu/>>.
- GreenDelta, ©2018: OpenLCA. Dostupné z <<http://www.openlca.org/>>.
- HASELHUHN, R. – MAULE, P. – ROHÁČOVÁ, A. – ROHÁČ, P. – ŽENÍŠKOVÁ, A. – HOŘEJŠÍ, E. – KLAMO, J. – HICKOVÁ, J. – MARTINOVSKÁ, V. – BAROCH, T. – DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR SONNENENERGIE. *Fotovoltaické systémy : energetická příručka : pro elektrikáře, techniky, instalatéry, projektanty, architekty, inženýry, energetiky, manažery, stavitele, studenty, učitele, ostatní odborné a profesní soukromé nebo veřejné instituce a zájemce o fotovoltaický obor a energetickou nezávislost*. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2017. ISBN 978-80-906281-5-1.
- KOČÍ, V. *Posuzování životního cyklu Life Cycle Assessment – LCA*. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2009. ISBN 978-80-86832-42-5.
- Sumper, A. a kol., 2011: Life-cycle assessment of a photovoltaic system in Catalonia (Spain). *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 3888-3896.
- TUHÁČEK, M. – JELÍNKOVÁ, J. *Právo životního prostředí : praktický průvodce*. Praha: Grada, 2015. ISBN 978-80-247-5464-2.

Předběžný termín obhajoby

2020/21 ZS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Lenka Wimmerová, MSc, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 23. 11. 2019

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 25. 11. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 10. 12. 2020

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Posouzení životního cyklu fotovoltaického panelu vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno s GDPR.

V Ostrově dne 11.prosince 2020

Jakub Ječmen

Poděkování

Děkuji vedoucí mé diplomové práce, paní Ing. Lence Wimmerové, MSc., Ph.D., za odborné vedení a cenné rady, které mi velice pomohly při zpracování této práce.

V Ostrově dne 11.prosince 2020

Jakub Ječmen

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá posouzením životního cyklu fotovoltaického panelu (LCA), se zaměřením na likvidaci nefunkčních panelů, způsobů jejich recyklace a potenciální environmentální dopady, které souvisí s jejich provozem. V rámci práce byly popsány softwarové nástroje a vybrané databáze pro zpracování studií LCA.

Vlastní LCA studie byla zpracována v software openLCA pro polykrystalický a tenkovrstvý panel, u kterých bylo provedeno porovnání environmentálních dopadů. Hodnocený proces LCA zahrnoval výrobu panelů na základě zjednodušeného materiálového složení, jejich přepravu k recyklaci a energii potřebnou pro mechanickou recyklaci. Výsledky modelu prokázaly o 28 % větší dopad v oblasti klimatické změny v případě polykrystalického panelu v porovnání s panelem než tenkovrstvým.

V rámci inventarizace vstupních dat, realizované při zpracování studie LCA, však bylo zjištěno, že dostupná data o složení jednotlivých panelů se v odborné literatuře velmi rozcházejí a že pro recyklační metody neexistují ucelená generická vstupní data, která by dokázala přesně modelovat LCA jednotlivých procesů života fotovoltaických panelů. Z tohoto důvodu by bylo vhodné, aby při výrobě a distribuci měl každý fotovoltaický panel svůj rodný list, který by obsahoval materiálové složení, které by v budoucnu pomohlo k plánování a optimalizaci recyklačních procesů těchto zařízení.

Klíčová slova

Životní cyklus, fotovoltaický panel, posouzení, dopad, environmentální, provoz, likvidace, software

Abstract

The diploma thesis is dealing with life cycle assessment of a photovoltaic panel (LCA), focusing on the disposal of non-functional panels, available recycling methods and potential environmental impacts associated with their operation. As a part of this thesis, software tools and some databases for processing LCA studies were described.

The LCA study was processed in the openLCA software for polycrystalline and thin-film panels, for which environmental impacts' comparison was performed. The assessed LCA process involved the production of panels based on a simplified material composition, their transport for recycling and the amount of energy needed for their mechanical recycling. Results of the model showed that a polycrystalline panel has about 28 % higher impact on the climate change than a thin film panel.

However, during the inventory phase of the performed LCA study, it was found out that data on the composition of individual panels vary diverge in the literature. Also there are no comprehensive generic input data for recycling methods that could refine individual processes of the life cycle of the photovoltaic pannels. Therefore it was recommended that during production and distribution, each photovoltaic panel should have a birth certificate, which would contain a material composition that would help to plan and optimize recycling processes in the future.

Keywords

Life cycle assessment, photovoltaic panel, assessment, impact, environment, service, disposal, software

Seznam použitých zkratek

ERÚ	Energetický regulační úřad
EU	Evropská unie
EVA	Etylen vinyl acetát (termoplast)
FV	Fotovoltaický
FVE	Fotovoltaická elektrárna
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
LCA	Posuzování životního cyklu
LCIA	Hodnocení dopadů životního cyklu
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
OZE	Obnovitelný zdroj energie

Obsah

1	ÚVOD	11
2	CÍLE PRÁCE	12
3	LITERÁRNÍ REŠERŠE	13
3.1	LCA	13
3.1.1	Historie – vznik metody LCA	13
3.1.2	Dokumenty související s LCA.....	14
3.1.3	Fáze LCA	15
3.1.4	Definice cílů a rozsahu	15
3.1.5	Inventarizační analýza životního cyklu (LCIA)	16
3.1.6	Hodnocení dopadů životního cyklu.....	17
3.1.7	Interpretace životního cyklu	19
3.1.8	Kategorie dopadu.....	19
3.1.9	Metodika LCIA.....	20
3.2	Software pro modelování LCA	20
3.2.1	openLCA.....	21
3.2.2	GaBi.....	21
3.2.3	TEAM™ 5.1	22
3.2.4	SimaPro	22
3.3	Databáze	22
3.3.1	Databáze Ecoinvent	24
3.3.2	Environmental Footprints	24
3.4	Fotovoltaický panel, generace, typy a vlastnosti	25
3.4.1	Generační vývoj	26
3.4.2	Typy fotovoltaických panelů	27
3.5	Legislativa a nakládání s odpady	29
3.6	Legislativa v České republice.....	30
3.6.1	Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů.....	30
3.6.2	Zákon o výrobcích s ukončenou životností	32
3.7	Zpětný odběr.....	32
3.7.1	First Solar	33
3.7.2	PV CYCLE	33
3.7.3	Kolektivní systém	33
3.8	Environmentální dopady.....	35
4	METODIKA	39
5	SOUČASNÝ STAV	40

5.1	Stav v České republice	40
5.2	Recyklace FV panelů	43
5.2.1	Výtěžnost materiálů při recyklaci.....	44
5.2.2	Metody recyklace.....	45
5.2.3	Materiály FV modulů	47
6	VÝSLEDKY.....	51
6.1	Vlastní měření	51
6.2	Simulace pro FV panel Solar Frontier SF 160-S	53
6.3	Simulace pro FV panel BenQ-Q PM 250.....	54
6.4	Porovnání k funkční jednotce	56
6.5	Dopad na klima	57
6.6	Vzájemné porovnání	58
6.7	Přepočítání na vzorovou FVE	60
7	DISKUSE	61
8	ZÁVĚR A PŘÍNOS PRÁCE	64
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	65
9.1	Seznam obrázků	70
9.2	Seznam tabulek.....	72
10	PŘÍLOHY	73

1 Úvod

Člověk od pradávna pro svůj blahobyt potřebuje elektrickou energii, ale postupem času došel k názoru, že konvenční zdroje na výrobu elektrické energie jsou neekologické. Snahou států po celém světě je odklon od získávání energie z konvenčních zdrojů a do svých energetických mixů zapojovat čím dál tím více energií pocházející z obnovitelných zdrojů. Jedním z obnovitelných zdrojů, který se těší velké oblibě a který se bude v následujících letech stále více využívat je solární energetika. Díky technologické vyspělosti a zefektivnění výrobních procesů, je za posledních několik desetiletí tento druh získávání energie efektivnější a investičně dostupnější. První FV panely byly výsostně používány při kosmických výpravách, ale dnes je nacházíme ve výrobcích denní potřeby. FV panely obsahují velké množství různých látek, které se používají při jejich výrobě. Nejde pouze o hliník, sklo a plasty, které tvoří základní konstrukční části těchto panelů, ale jedná i o křemík, který umožňuje onu přeměnu ze slunečního záření na tolik potřebnou elektrickou energii, ale jsou zde zastoupeny i vzácné kovy, které jsou ve výrobním procesu pro funkčnost a efektivitu panelů nezbytné. Získávání prvotních surovin pro výrobu FV panelů je první část celého procesu. Druhou částí je samotná výroba FV panelů a poslední částí je jejich recyklace. Poslední část byla po mnoho let opomíjená, ale v posledních letech je velké uvědomění si, že recyklace FV panelů je nezbytným procesem, při kterém lze zpětně recyklovat vstupní materiál a vrátit je nazpět do výroby. V celém systému se vyskytuje celá řada procesů, které od počátku až do konce ovlivňují environmentální dopady. Složení jednotlivých typů FV panelů se liší a objemy vstupních materiálů se odvíjejí od technologických možností a ekonomické výhodnosti. Legislativa nedokáže pružně reagovat na technologické změny a tím i související rozvoj. Recyklační metody jsou závislé na ekonomické výhodnosti a efektivnosti při získávání surovin z recyklačního procesu.

2 Cíle práce

Cílem práce bylo modelové hodnocení životního cyklu vybraného fotovoltaického panelu dle ČSN EN ISO 14040. V práci jsou popsány obecné zásady posuzování životního cyklu (LCA) dle ČSN EN ISO 14040 a příslušnými navazujícími standardy. Dále jsou definovány typy fotovoltaických panelů, legislativní rámec nakládání s fotovoltaickými panely, způsoby jejich recyklace a možné environmentální dopady. Práce popisuje také stav solárních elektráren v České republice a výhled rozvoje solární energetiky do budoucna. Případová studie modelování životního cyklu LCA, je zpracována na dva typy FV panelů, nacházející se v FV elektrárně, která je instalována v prostorách České zemědělské univerzity (ČZU) v Praze.

3 Literární rešerše

3.1 LCA

3.1.1 Historie – vznik metody LCA

Počátek metody hodnocení životního cyklu, tzv. LCA (*Life Cycle Assessment*) lze datovat do období zvýšeného zájmu o energetické a surovinové zdroje souvisejícího s ropnou krizí v USA na přelomu 60-tých a 70-tých let dvacátého století. Metoda vyvíjená v USA, jež se nazývala „*zdroje a profilová analýza z hlediska životního prostředí*“, se zaměřovala pouze na hodnocení výrobku z hlediska spotřeby energie a surovin, nikoli na vliv výrobku na životní prostředí, lidské zdraví či přírodní ekosystémy. Finální hodnocení vycházelo z analýzy nákladů a užitků (Ječmen, 2018).

Počátkem 80-tých let dvacátého století se začala v Evropě věnovat zvýšená pozornost obalové technice, zejména nadměrné spotřebě obalů a plýtvání surovinami, v důsledku čehož došlo k renesanci americké metody „***Resource and Environmental Profile Analysis***“ (REPA), **zjednodušeně v překladu analýza zdrojů a environmentálního profilu, využití koncem 60-tých let dvacátého století jako první společností Coca-Cola**. Následně se v Evropě, především ve Švýcarsku, Německu a Švédsku, metoda REPA začala používat za účelem srovnávání rozličných materiálů potřebných k výrobě obalů na nápoje (Remtová, 2003; Ječmen, 2018).

V návaznosti na vypracované studie porovnávající různé obalové materiály z hlediska jejich celkových nároků na surovinové a energetické zdroje byl při výpočtu spotřeby surovin a energie již uvažován celý výrobní proces daného typu obalu, a to od získání suroviny z přírodního zdroje přes výrobu potřebného materiálu až po výrobu finálního obalu (Ječmen, 2018).

Na počátku 90-tých let dvacátého století významně vzrostl zájem odborníků o metodu LCA. Pozornost byla stále více zaměřena nejen na vliv výrobku na lidské zdraví, ale rovněž na jeho negativní vlivy na životní prostředí. V té souvislosti došlo k rozšíření hodnocení spočívajícího ve výpočtu spotřeby energie a surovin též o likvidaci samotného výrobku po použití, což vedlo k postupnému užívání pojmu posuzování životního cyklu výrobku, resp. pojmu analýza životního cyklu výrobku (Ječmen, 2018)

Následně došlo též ke sjednocení hlavních principů metody a výběru stěžejních ekologických problémů, jejichž ovlivnění posuzovaným výrobkem bude uvažováno. Metoda v té době označovaná jako „*Product Life Cycle Analysis*“ či „*Product Life Cycle Assessment*“ (PLCA), zjednodušeně v překladu analýza životního cyklu výrobku, byla rozšířena do zemí Beneluxu či Dánska a byla dále rozvíjena. Dnes je analýza životního cyklu produktu užším pojmem, neboť je částí metody LCA (Kočí, 2009; Ječmen, 2018).

Došlo též k rozšíření pojmu produkt. Následnou fází bylo ve Skandinávii vypracování studií řadících pod pojem produkt nejen výrobek a službu, ale i technologie, popř. celé obslužné nebo výrobní systémy (např. výrobu elektřiny). LCA byla jako metoda uvedena do praxe v souvislosti se založením Evropské platformy pro LCA při Evropské komisi v roce 2005 (*European Platform on LCA*, ve zkratce EPLCA). Inovace či inventarizační data referenčních procesů a toků doporučených pro databáze LCA jsou pravidelně zveřejňovány na webových stránkách této platformy (Zbicinsky a kol., 2006; Ječmen, 2018).

3.1.2 Dokumenty související s LCA

Metoda LCA je standardizována v mezinárodních normách řady ISO 14000, z nichž byly do českých technických norem již převzaty tyto:

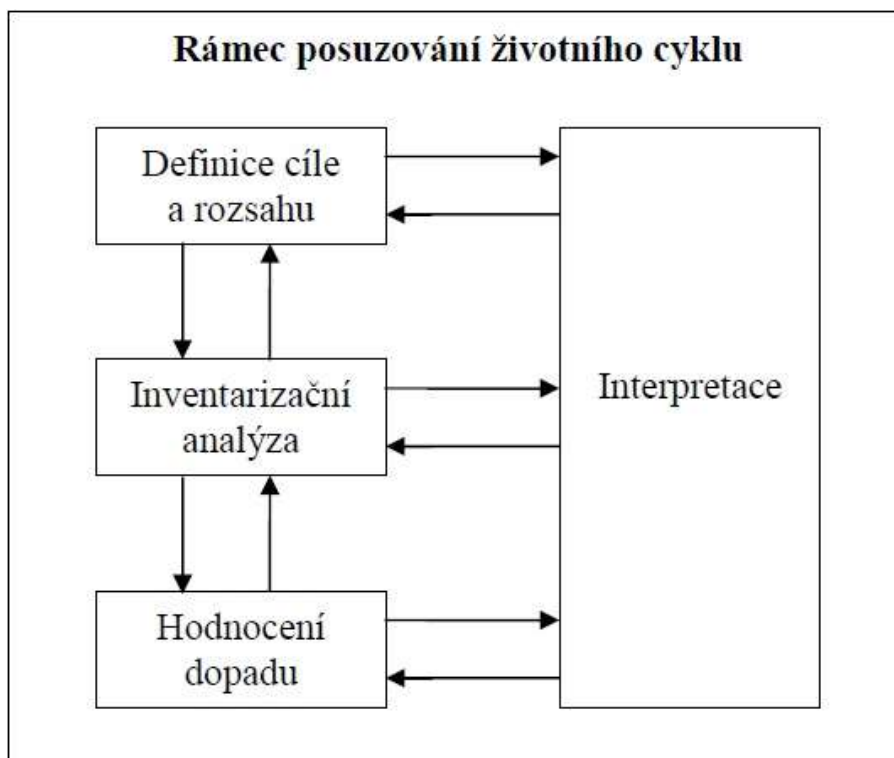
- ČSN EN ISO 14040:2006 – Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Základy a osnova,
- ČSN EN ISO 14044:2006 – Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Požadavky a směrnice,
- TNI ISO / TR 14047:2015 – Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Příklady aplikace ISO 14044 na situace posuzování dopadu,
- ČSN P ISO / TS 14048:2003 – Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Formát dokumentace údajů,
- TNI ISO / TR 14049:2015 – Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Příklady aplikace ISO 14044 pro stanovení cíle a rozsahu inventarizační analýzy,
- ČSN P CEN ISO / TS 14071:2016 – Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Procesy kritického přezkoumání a kompetence posuzovatele: Dodatečné požadavky a směrnice k ISO 14044: 2006

(Remtová, 2003; ISO, 2009; Ječmen, 2018).

3.1.3 Fáze LCA

Na obrázku č. 1 jsou zobrazeny jednotlivé fáze posuzování životního cyklu.

Obrázek 1 Fáze LCA (převzato z normy ISO 14040:2006)



3.1.4 Definice cílů a rozsahu

Při provádění metody LCA je nezbytné nejprve stanovit cíl, rozsah a účel, resp. důvod zpracovávání studie, rovněž tak stanovit okruh jejich předpokládaných adresátů. Pro úspěšné zpracování studie je žádoucí si v počátku zodpovědět následující otázky:

- Proč se studie LCA vypracovává?
- Pro koho se vypracovává?
- K čemu budou získané výsledky použity?

Prioritní je při zpracování studie vymezení cíle, po němž následuje stanovení jejího rozsahu, tzn. určení přesného systému, který bude s ohledem na životní prostředí, resp. jeho negativní dopad na něj sledován, a to včetně všech významných souvislostí majících na tento určený systém vliv. Pro rozsah studie je stěžejní **určení hranic systému** určovaných množstvím fází životního cyklu, procesů, vstupů i výstupů v rámci zpracovávané studie (Wolf a kol., 2012; Ječmen, 2018).

Velmi důležité je dále stanovení **tzv. funkční jednotky**, již je podle ČSN EN ISO 14040 (2006): „*kvantifikovaný výkon výrobního systému, který slouží jako referenční jednotka ve studii posuzování životního cyklu definovaný v měřitelných jednotkách*“. Funkční jednotka vychází vždy z funkce, pro níže je daný výrobek zhotovován (ISO 14040:2006; Ječmen, 2018).

Správné stanovení funkční jednotky slouží zejména pro porovnání negativních vlivů systémů plnících stejnou funkci, z nichž se rozhodujeme, který z nich upřednostnit.

Abychom naplnili velikost funkce definované funkční jednotkou označovanou referenčním tokem, je nezbytné znát množství výrobku.

Pro správné provedení studie LCA je nezbytné stanovit též její **klíčové předpoklady**. Tyto skutečnosti mohou výsledek LCA studie ovlivnit a je tedy žádoucí je v souvislosti s jejím provedením uvést (Švančarová, 2016; Ječmen, 2018).

3.1.5 Inventarizační analýza životního cyklu (LCIA)

V rámci inventarizační analýzy, tzv. *Life cycle Inventory Analysis* (LCIA), je nezbytné nejprve stanovit všechny energetické a materiálové toky, resp. vstupy a výstupy působící negativně na životní prostředí překračující hranice systému, definované v předchozí fázi. Jinak řečeno, jedná se o shromáždění všech potřebných dat a jejich posouzení za daným účelem. Podle složitosti je data možné rozdělit do menších subsystémů a postupovat systematicky.

Z hlediska vstupů se jedná o spotřebu např. přírodních zdrojů, surovin, materiálů či energie. Z hlediska výstupů jde např. o vliv látek či energie na vodu, půdu či ovzduší (JRC, ©2010).

Způsoby získávání dat pro účely studie jsou např.:

- měření na místě,
- rozhovory s pracovníky určité instituce,
- literární rešerše a hledání v databázích,
- výpočty,
- odhady.

Nejlepším způsobem získávání dat je bezpochyby přímé měření, nejlépe zpracovateli studie, jímž se nejjasněji určí i přesnost dat.

S menší přesností se většinou setkáváme u dat převzatých z literatury či z databází, nejde-li o vlastní databáze či ověřené literární údaje.

Data získaná kvalifikovanými či expertními odhady, jsou obecně velmi problematická, a o jejich přesnosti zde lze pochybovat.

Abychom byli schopni posoudit přesnost prováděné studie, je nezbytné uvést způsob sběru dat včetně uvedení pramenu a stáří u dat získaných z literárních zdrojů.

Jedním z největších problémů při inventarizační analýze, který se vyskytuje při hodnocení sdružených výrob, je tzv. alokace dat. Problém alokace dat spočívá v tom, že přesně známe jen celkové hodnoty materiálových a energetických toků a nevíme, jak je rozdělit mezi současně vznikající hlavní produkt a meziprodukty. Většinou se toto rozdělení provádí v poměru váhových faktorů anebo se vychází z energetických vzájemných poměrů mezi jednotlivými produkty (Remtová 2003; Ječmen 2018).

Výstupem inventarizační analýzy je tzv. ekovektor uváděný v inventarizačních tabulkách či maticích. Zde jsou přehledně uvedeny jednotlivé etapy životního cyklu výrobku včetně vlivů na životní prostředí. S ohledem na rozsah dat v nich uvedených je nezbytné uvést, že k tomuto účelu v současnosti slouží komerčně dostupné počítačové programy či webové aplikace (např. openLCA, GaBi, SimaPro, TEAM) (Ječmen, 2018).

3.1.6 Hodnocení dopadů životního cyklu

Třetí fáze metody LCA si klade za cíl stanovit velikost či rozsah negativního dopadu životního cyklu na životní prostředí. Jedná se o kvalitativní i kvantitativní zhodnocení všech negativních efektů, jež mohou být způsobeny vlivy společně uvedenými v ekovektoru – tj. inventarizační tabulce či matici.

Dle ČSN EN ISO 14040 (2006) se třetí fáze LCA skládá ze tří kroků jdoucích po sobě: klasifikace, charakterizace a celkového zhodnocení (Ječmen, 2018).

3.1.6.1 Klasifikace

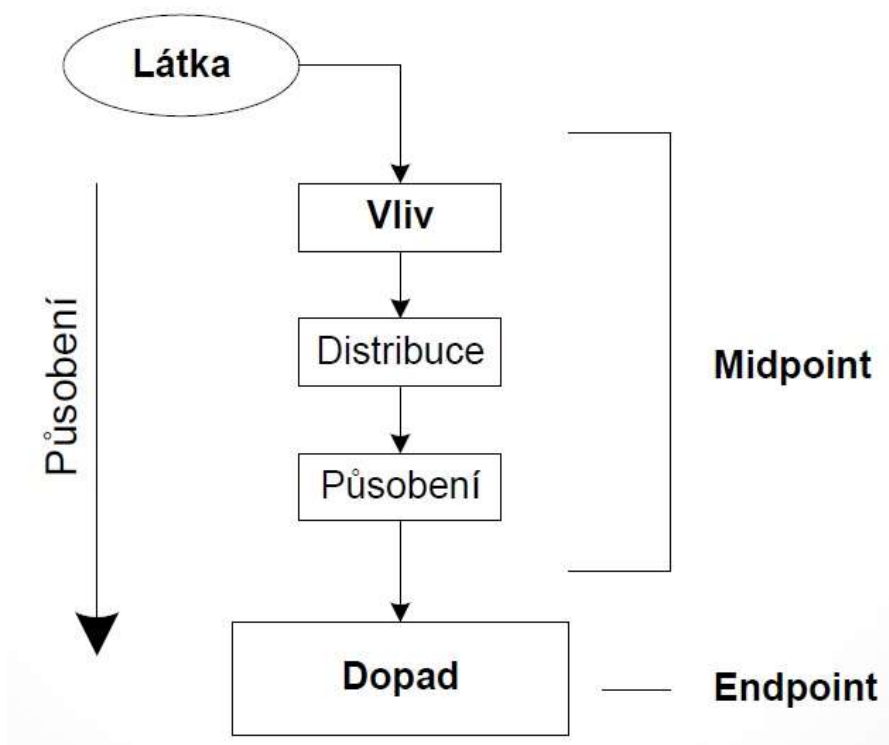
Klasifikace spočívá v roztřídění všech negativních vlivů uvedených v ekovektoru – tj. inventarizační tabulce či matici do jednotlivých kategorií dle charakteru jejich působení na životní prostředí.

Pro klasifikaci je nezbytné všechny vlivy posuzovat, resp. pro tento účel rozložit do jednoduché formy, a to zejm. údaje o spotřebě energií či o dopravních procesech. Podrobně je nutno naložit i s údaji o dopravních procesech týkajících se spotřeby benzínu nebo nafty (Ječmen, 2018).

3.1.6.2 Charakterizace

Cílem charakterizace je jednostupňové či dvoustupňové posouzení celkového dopadu sledovaného systému na životní prostředí z kvantitativního hlediska. Za tímto účelem je nezbytné stanovit kvantifikovatelnou veličinu, resp. indikátor kategorie dopadu, pomocí něhož bude velikost dopadu vyjádřena. Indikátory kategorie dopadu dělíme na midpointové (např. globální oteplování) a endpointové (např. klimatické změny) (Kočí, 2009; Ječmen, 2018).

Obrázek 2 Koncept indikátorů kategorií dopadů (Weinzettel, 2018)



Za midpointové označujeme indikátory kategorie dopadu v případě, kdy jeho možnou škodlivost hodnotíme s ohledem na jeho chemicko-fyzikální či biologické vlastnosti.

Konkrétní pozorovatelné poškození prostředí, konkrétní měřitelný účinek, nazýváme indikátorem dopadu endpointovým.

V případě dvoustupňového provedení dělíme charakterizaci dále na standardizaci a normalizaci.

Bez ohledu na počet stupňů posuzování je standardizace v rámci každé charakterizace obligatorní. V rámci ní se výstupy z inventarizace jedné a téže kategorie převádějí na společného jmenovatele pomocí přepočtových koeficientů s cílem získání unikátního údaje. Jejím výsledkem je tzv. standardizovaný profil výrobku, velmi často znázorňovaný formou grafu, kdy každý z jeho sloupců odpovídá určitému negativnímu vlivu na životní prostředí.

Za účelem zohlednění poměrné škodlivosti jednotlivých vlivů z hlediska dané lokality je v některých případech nezbytné provést tzv. normalizaci, v rámci níž se stanoví hodnoty referenčních vlivů a určené standardizované vlivy se jimi podělí. V případě nebezpečného vlivu jsou referenční hodnoty malé a normalizační hodnoty pak budou relativně větší. Na rozdíl od standardizace, není u normalizace z důvodu volby hodnot, které kromě povahy sledovaného systému závisí i na cíli a rozsahu prováděné studie, možné referenční hodnoty pevně stabilizovat (Kočí a kol., 2012; Ječmen, 2018).

3.1.7 Interpretace životního cyklu

Množství hodnot získaných v předchozích fázích LCA je nezbytné seřadit pomocí strukturalizačních tabulek, data strukturalizovat a významná zjištění následně srozumitelnou formou interpretovat. Významná zjištění jsou nezbytná pro další části interpretace, mezi něž řadíme kontroly kompletnosti a konzistence a analýzy nejistot, citlivosti a obměny, souhrnně označované jako hodnocení studie LCA. Po diskusi nad relevantností dat ve vztahu k úplnosti studie a kvalitě vstupních dat následuje finální shrnutí s formulacemi závěrů a z nich vyplývajících doporučení (ISO 14040:2006; Ječmen, 2018).

3.1.8 Kategorie dopadu

Kategorie dopadu lze rozdělit:

a) obecně na:

- surovinové (představují úbytek surovin): jedná se např. o úbytek rud, ropy, zemního plynu, ale též rostlinné a živočišné biomasy, podzemní vody či zemědělské půdy (Kočí, 2009),

- intervenční (představují účinky elementárních toků ústících do životního prostředí), např. emise toxických látek do životního prostředí s pozorovaným následným nepříznivým účinkem (Kočí, 2009),
- b) na základě geografického rozsahu na:
- globální (např. globální oteplování a s ním související skleníkový jev, úbytek stratosférického ozónu),
 - regionální (zejména acidifikace, eutrofizace, tvorba fotochemického ozonu a ekotoxicita),
 - lokální (akutní toxické působení na lidské zdraví, humánní toxicita).

Mimo uvedené kategorie existují ještě specifické kategorie dopadu, mezi něž řadíme např. hluk, zápach, ionizační záření nebo odpadní teplo (Remtová, 2003; Kočí, 2009; Ječmen, 2018).

3.1.9 Metodika LCIA

Metodiky LCIA dělíme na:

- midpointové (např. EDIP 97, CML-IA a TRACI)

Z midpointových metodik LCIA je nejrozšířenější metodika CML-IA, neboť se jedná o spolehlivou, přesnou, efektivní a propracovanou metodiku, která je využitelná pro většinu studií LCA v evropském měřítku (Kočí, 2009).

- endpointové (např. Eco-indicator 99, EPS 2000 a Ekofaktor)

Favoritem mezi endpointovými metodikami LCIA je první a nejrozšířenější metodika Eco-indicator 99 zaměřená na vyčíslování reálných škod v životním prostředí (Menoufi, 2011).

- kombinované (např. IMPACT 2002+, ReCiPe), které reflektují snahu z poslední doby o sjednocení midpointové a endpointové metodiky (Menoufi, 2011; Ječmen, 2018).

3.2 Software pro modelování LCA

K interpretaci výsledků LCA je nutné využít softwarové vybavení. Na trhu se vyskytuje celá řada softwarového vybavení pro modelování LCA, ať už se jedná o komerčně zpoplatněné produkty nebo volně stažitelné licence. Při konečném zhodnocení výsledků lze souhlasit, že sestavení LCA klade na zpracovatele velké nároky v oblasti metodiky LCA, ale i v oblasti napříč různými environmentálními obory. Zpracovatelé nepostačuje pouze kvalitní software a přístup k různým databázím, ale je též potřeba chemické vzdělání a orientace v chemickém názvosloví. Uživatel bez uvedených

znalostí může snadno zaměnit jednotlivé chemické produkty nebo je vyhodnotit jako nevýznamné, čímž může dojít ke zkreslení celé studie (Kočí, 2010; Ječmen, 2018).

Software pro modelování LCA neslouží pouze k interpretaci environmentálních dopadů, ale též se objevují i S-LCA, které hodnotí sociální a socioekonomické dopady (Sala a kol., 2015).

V rámci diplomové práce není možné představit veškeré software pro modelování LCA, a proto budou představeny jen vybrané LCA softwary, a to openLCA, GaBi, TEAM™ 5.1 a SimaPro.

3.2.1 openLCA

Softwarový nástroj openLCA spadá pod německou společnost GreenDelta GmbH se sídlem v německém Berlíně založené v roce 2004. Software openLCA je distribuován jako open-source program. (openLCA ©2020). Distribuce software probíhá přes stránky www.openlca.org, kde je volně ke stažení. Program je dodáván bez databází, které je potřeba dle vlastních preferencí importovat. OpenLCA podporuje celou řadu databází, a to jak komečních nebo volně dostupných. Databáze jsou souhrně k dispozici na portále openLCA Nexus na adrese www.nexus.openlca.org. Je podporována celá řada databází, která obsáhne prakticky veškeré požadavky na zpracování LCA studií.

3.2.2 GaBi

GaBi, celým názvem GaBi Software – *System and database for the Life Cycle Engineering* spadá pod společnost Thinkstep AG se sídlem v německém Stuttgartu. V roce 2019 došlo k obchodní akvizici, při které společnost Sphera Solutions, Inc. se sídlem v Chicago ve Spojených státech amerických odkoupila společnost Thinkstep AG. Software je možné získat jak ve zkušební verzi, tak v akademické nebo profesionální licenci. Získání probíhá dle licenčních podmínek na www.gabi-software.com. V rámci programu je podporována celá řada dostupných databází, ale největší devízou GaBi jsou její vlastní databáze, které mají stálou aktualizaci a zároveň nabízejí data dle specifických požadavků. Kvalitu dokumentace databází potvrdil i nezávislý audit společnosti DEKRA (Sphera, ©2020).

3.2.3 TEAM™ 5.1

TEAM™ 5.1 je společným dílem francouzské společnosti Ecobilan a nadnárodní korporace PwC – PricewaterhouseCoopers. Software je dodáván s databází, která obsahuje základní data k odzkoušení funkčnosti produktu. Program funguje s většinou běžně dostupných databází k modelaci LCA. Zvláštností tohoto programu oproti jiným je, že je dodáván jako neinstalační verze, takže ho lze prakticky přes přenosný vyměnitelný disk nebo datové úložiště používat kdykoliv a kdekoliv. Produkt je distribuován jako plně komerční a jeho používání se řídí licenční politikou výrobce.

3.2.4 SimaPro

Nizozemská společnost Pré Sustainability je autorem softwarového nástroje SimaPro. Nástroj je distribuován prostřednictvím registračního formuláře na www.simapro/try. Program je distribuován jako plně komerční produkt a řídí se licenční politikou výrobce. Distribuovaná zkušební verze obsahuje základní data, která umožní odzkoušení produktu na přednastaveném zkušebním modelu. Program je kompatibilní s většinou běžně dostupných databází.

3.3 Databáze

Pro tvorbu LCA studií není potřeba pouze jen kvalifikovaného pracovníka a vhodného softwarového nástroje, ale nedílnou součástí jsou i databáze, které obsahuje potřebná data k vytvoření studií. Na trhu jsou k dispozici jak databáze komerční, tak i databáze volně stažitelné. Data z databází mají většinou více zdrojů, kterými nejčastěji jsou odborná literatura, vládní organizace, producenti, výrobci, sdílení napříč mezi uživateli. V zásadě kvalita dat obsažených v databázi ovlivňuje celkový výsledek LCA studie. I z tohoto důvodu jsou částky na pořízení databáze v řádech tisíců eur a další stovky eur za aktualizaci databáze. Jednotlivé databáze se také zaměřují na různé zaměření jejich užití. Některé vybrané databáze jsou popsány v tabulce č. 1.

Tabulka 1 Výčet komerčních i volně dostupných databází

Název databáze	Zaměření	Licence
Exiobase	Emise a těžba přírodních zdrojů napříč odvětvím	Volně stažitelná
ARVI	Zaměření na dřevařský průmysl (pracuje na pozadí ecoinventu)	Volně stažitelná
Agribalyse	Hlavní francouzské farmářské produkty (pracuje na pozadí ecoinventu)	Volně stažitelná
NEEDS	Zaměření na Evropu a její budoucí zásobování elektrickými zdroji, materiálem a dopravou	Volně stažitelná
ELCD	Materiály, energie, doprava, odpadové hospodářství	Volně stažitelná
USDA	Zemědělské procesy na území USA	Volně stažitelná
Ecoinvent	Energetické, materiálové toky, metalurgie, chemický průmysl, odpadové hospodářství, doprava	Zpoplatněná
IDEA	Ekonomické aktivity v Japonsku	Zpoplatněná
GaBi	Různá průmyslová odvětví	Zpoplatněná
Agri – footprint	Zemědělské procesy, Land use (využití krajiny)	Zpoplatněná
PSILCA	Výpočet a hodnocení sociálních dopadů a zjišťování jejich hotspotů	Zpoplatněná
ESU World Food	Zemědělství, obaly, přeprava, příprava potravy	Zpoplatněná

3.3.1 Databáze Ecoinvent

Databáze švýcarské společnosti Ecoinvent patří mezi nejpoužívanější databáze v rámci modelování životního cyklu. Jsou využívána jak její vlastní data, tak i databáze, které jsou nadstavbou původní databáze Ecoinventu. O sběru dat jsou k dispozici pouze obecné informace, které informují o tom, že sběr dat pochází napříč celým světem přes realizované projekty, od výrobců, od výzkumných institucí.

Jak uvádím ve své bakalářské práci ve své práci, tak sběr primárních údajů koordinuje Ecoinvent, např. v rámci jeho projektu SRI (*Sustainable Recycling Industries*), který hradí Švýcarský státní sekretariát pro hospodářské záležitosti, dále jsou data získávána prostřednictvím specialistů zabývajících se LCA modelováním pro své klienty, např. Quantis – projekt *World Food Database*, dále prostřednictvím akademických výzkumníků v projektech, které jsou placené externě, např. CIRAD ve Francii nebo CIRAIQ v Kanadě. Nejsou opominuty ani otevřené neboli volně přístupné mezinárodní databáze, např. FAOstat, COMTRADE, Eurostat, IEA, obecně dostupné dokumenty publikované evropskými kanceláři, jakými jsou např. IPPC BREF a též mimo jiné environmentálními reporty, které jsou publikovány přímo společnostmi, např. GRI, EPD. Dále jsou uvedeny průmyslové asociace, které shromažďují data pro jejich členy, např. PlasticEurope, FEFCO, IAI, IZA atd. (Ječmen, 2018).

3.3.2 Environmental Footprints

Databáze pochází z iniciativy Evropské komise jednotného trhu pro zelené produkty. Cílem iniciativy je sběr dat pro posuzování výrobků a produktových cyklů za účelem zjišťování jejich environmentálních dopadů. Data databáze pocházejí z uživatelských dat, zpracovaných studií, od odborných pracovníků. Hlavní poskytovatelé sekundárních dat jsou v různých kategoriích např. Ecoinvent, Thinkstep, Quantis, CEPE ecoinvent, Cycleco (GreenDelta ©2019). Databáze Environmental Footprints byla použita při zpracování studie LCA v této diplomové práci.

3.4 Fotovoltaický panel, generace, typy a vlastnosti

Fotovoltaický panel, resp. FV modul, je tvořen solárními články, které se do panelu vkládají v sérioparalelní kombinaci. FV modul je zařízení, které pracuje na principu přímé přeměny slunečního záření na elektrickou energii. Ta je prováděna prostřednictvím FV článků z většinou polovodičového materiálu, které jsou izolovány s cílem odolání environmentálním vlivům.

Fotovoltaický panel je tvořen z několika konstrukčních vrstev. Na přední straně je pokryt temperovaným, většinou kaleným sklem s antireflexní vrstvou, která zabraňuje odrazu světla a zajišťuje co nejvyšší průnik fotonů do jednotlivých fotovoltaických článků. Další vrstvu tvoří EVA (ethylen vinyl acetát) fólie, tedlar a polymer (Libra a kol., 2010).

Vyskytují se též oboustranné panely, které mají nejvyšší účinnost, neboť obsahují na obou stranách FV modulu stejné vrstvy jako FV moduly jednostranné, čímž mají schopnost přijímat fotony i z druhé strany odrazem od země (Krutíš, ©2016). Nejvyšší účinnost FV modulu je dosaženo při teplotě 25 °C při ozáření 1000 W.m⁻². Maximální výkon panelu je určen jednotkou Wattpeak (Wp). Výkony standardních panelů jsou v rozmezí 150 – 280 Wp. Celkový výkon panelu se odvíjí od velikosti a typu panelu (pro nejvyšší účinnost panelu je nutná co největší plocha) (Fejfar a kol., 2015; Libra a kol., 2010).

Je-li konstrukce panelu dostatečně dimenzována, je možné celé systémy instalovat i v ne zcela příznivých klimatických, např. horských podmínkách. Před povětrnostními vlivy jsou panely chráněny temperovaným sklem, které odolává i krupobití a běžným klimatickým vlivům (Libra a kol., 2010; CNE, ©2015).

V průběhu provozu panely ztrácí svou účinnost, která činí přibližně 0,8 % za rok. Výrobci a distributoři povětšinou deklarují po 15 letech provozu 90 % účinnost. Z uvedeného vyplývá, že i po 25 letech by měl mít fotovoltaický panel účinnost cca 80 %. Průměrně udávaná životnost panelu je v rozmezí 25 až 35 let v závislosti na klimatických podmínkách (Vaněk, 2010; SkacelSolar, ©2014).

Účinnost a životnost FV modulu může ovlivnit i jeho chlazení. Konvenční systémy fungují na bázi ochlazování okolním vzduchem. V případě, že FV modul je ochlazován např. cirkulující vodou, tepelnou trubicí (*heat pipe*) nebo změnou materiálu, dochází ke zvýšení jeho provozní účinnosti ale i k omezování ztrát v průběhu provozu (Shukla a kol., 2017).

3.4.1 Generační vývoj

Významný posun v rozvoji fotovoltaických panelů lze datovat do 70. let 20. století, kdy došlo nejen ke zvýšení účinnosti, ale rovněž poklesla cena a došlo též k prodloužení jejich životnosti. Oproti prvním článkům potřebujících k výrobě vakuum jsou dnešní články vyráběny s mnohem menší energetickou a technickou náročností, jednoduššími způsoby, díky nimž výrazně poklesla spotřeba energie i vstupních surovin. Již v minulosti bylo uvažováno o tenkovrstvých panelech coby náhradě za dřívější panely krystalické (Fejfar, 2006).

3.4.1.1 První generace

Panely první generace se významně rozšířily v 70. letech 20. století, kdy se používaly převážně ve vesmírném programu. Základem této generace jsou křemíkové desky. V České republice, ale též i na světovém trhu, jsou tyto panely nejrozšířenější. Vzhledem k vysoké účinnosti přeměny elektrické energie, která dosahuje až 20 %, tvoří první generace téměř 90 % ze všech instalovaných panelů (Radziemska a kol., 2008; Bechník, 2011; Ficek, 2012).

3.4.1.2 Druhá generace

Panely druhé generace se rozšířily v 80. letech 20. století. Vysoké náklady křemíku, jakožto velmi drahé suroviny potřebné pro výrobu panelu, daly vzniknout druhé generaci jejich vývoje (Radziemska a kol., 2010). Články této generace jsou z amorfního a mikrokrytalického křemíku nebo i germania, ale také ze směsných polovodičů z materiálů, jakými jsou např. měď, indium, galium, síra a selen.

Použitím těchto materiálů došlo k výrazné úspoře vstupních surovin a potřebné energie, nicméně účinnost přeměny elektrické energie poklesla na pouhých cca 10 % (Werner, 2004; Fejfar, 2006).

3.4.1.2.1 Třetí generace

Určitým průlomem v oblasti fotovoltaické energie jsou solární články 3. generace. Hlavním smyslem je snaha získat maximální zisk navýšením absorbovaných fotonů a maximální využití napětí z fotovoltaických článků (Henze, 2010). Objevují se i výzkumné směry, které mají snahu vytvořit vícevrstvé solární články z tenkých vrstev nebo články využívající kvantových jevů v kvantových tečkách nebo kvantových jamách (Grofová, 2009). Vývoj třetí generace postihl nárůst výrobních kapacit panelů ze solárního křemíku, čímž došlo k jejich ekonomickému zvýhodnění. Tyto články

mají daleko vyšší účinnost a nižší cenu než třetí generace, jejichž účinnost je pouze 8 % (Vaněček a kol., 2010).

3.4.2 Typy fotovoltaických panelů

Každý z fotovoltaických panelů je primárně tvořen solárními články. Podle jejich typů je dělíme na:

- monokrystalické,
- polykrystalické,
- amorfni.

3.4.2.1 Solární článek

Solárním článkem rozumíme soubor křemíkových destiček čtvercového tvaru o velikosti 12 x 12 cm využívající pro svůj chod fotovoltaického jevu vznikuvšího na rozhraní dvou materiálů, na které dopadá sluneční svit. Tím dochází ke vzniku elektrického napětí a v uzavřeném obvodu poté zisku elektrického proudu. Fotovoltaický panel obsahuje zhruba 60 až 72 článků, kterými je dosaženo dostatečné účinnosti.

Jak patrné z výše uvedeného, stěžejním materiálem pro výrobu solárních článků je křemík, látka strukturou podobná diamantu. Křemík je však schopen absorbovat část slunečního záření a má vlastnosti polovodiče. Nasvětlením křemíku dochází k rychlému zvýšení jeho vodivosti.

Obrázek 3 Pohled na solární článek (Wikipedia, ©2020)



3.4.2.1.1 Monokrystalický článek

Monokrystalický článek je složen z jednoho křemičitého krystalu o velikosti 10 mm vyráběného pomalým tažením roztaveného křemíku. Jeho velmi energeticky náročná výroba probíhá tzv. Czochralskiho metodou. Za sníženého tlaku v inertní atmosféře je do taveniny o teplotě 1415 °C ponořen monokrystal, jenž je z taveniny následně velmi pomalu vytahován za současného otáčení kolem podélné osy.

Poté jsou ingoty řezány na tenké plátky o síle 100 mikrometrů. Účinnost těchto článků, které jsou ve světě nejvíce rozšířené je mezi 16 a 20 %. S jejich rostoucí teplotou však jejich účinnost klesá (ČVÚT, ©2015; Černý, 2018).

3.4.2.1.2 Polykrystalický článek

Polykrystalický článek se skládá z většího množství krystalů o velikosti 1 – 100 mm, které jsou různě orientovány.

Jsou vyráběny jednodušeji než články monokrystalické. Roztavený materiál je naléván do ingotu. Po zchlazení je řezán opět na tenké plátky o síle 100 mikrometrů. Za účelem minimalizace defektu v krystalické mřížce probíhá chladicí proces velmi pomalu. Účinnosti polykrystalických článků se pohybuje až kolem 25 %. Stejně jako u článků monokrystalických je i zde patrná klesající účinnost s jejich rostoucí teplotou (ČVÚT, ©2015; Černý, 2018).

3.4.2.1.3 Amorfni článek

Označovaný též jako technologie druhé generace. Základ amorfniho, resp. tenkovrstvého článku tvoří slabá vrstva křemíku, která je při teplotě 200 °C nanesena napařením ve vakuové komoře na fólii nebo sklo. Oproti výše uvedeným fotovoltaickým článkům dosahují články amorfni účinnosti pouze 7 – 9 %, na rozdíl od krystalických panelů mají články amorfni dvojnásobnou plochu.

Významným pozitivem amorfniho křemíku je nízká citlivost na zvyšování teploty oproti článkům krystalického křemíku, čímž nedochází ke snižování jejich účinnosti. Zároveň je jeho výhodou nevyšší účinnost při přeměně energie z difúzního záření. Je též vhodný do míst, kde je nízké přímé záření. Zároveň výroba tohoto druhu článku není tak energeticky náročná jako u článků předchozích, čímž dosahuje nízké výrobní ceny oproti předchozím popsaným článkům. Nejčastější použití amorfni článků je v zeměpisných šířkách s výskytem vysokých teplot. Pro svou instalaci v porovnání s výše uvedenými články jiných technologií potřebují amorfni články (tenkovrstvé)

daleko větší instalační plochu k dosažení obdobného výkonu (ČVÚT, ©2015; Černý, 2018).

Obrázek 4 Pohled na jednotlivé typy FVP – zleva krystalický, monokrystalický, tenkovrstvý (Solarmarket, ©2020)



3.5 Legislativa a nakládání s odpady

Počátek recyklace fotovoltaických panelů, resp. vývoj průmyslových zařízení k tomuto účelu určených, lze datovat nejdříve na konec minulého desetiletí. Jedná se tak o relativně nové odvětví. Za účelem zlepšení poměru nákladů a zisku a zvýšení výtěžnosti recyklace v současnosti nadále probíhají vývoj a optimalizace k tomu určených zařízení. Ani v této době však s ohledem na množství recyklovaných panelů není rentabilní provozovat recyklační kapacity pouze pro fotovoltaické panely, které by umožnily využití speciálních fotovoltaických materiálů (Černý, 2018).

Jedním ze zásadních právních předpisů v oblasti fotovoltaiky je bezpochyby zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, v platném znění, který si klade za cíl zvýšit atraktivnost zdrojů a investic pro rozvoj OZE a stabilizaci podnikatelského prostředí v České republice. Z úrovně Evropské unie vůči členským státům jsou neméně podstatné dokumenty jako Bílá kniha „ Energie pro budoucnost – obnovitelné zdroje energie“ (COM(97) 599/1997), směrnice

Evropského parlamentu a Rady 2009/28/ES, o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnic 2001/77/ES a 2003/30/ES a vyhláška č. 296/2015 Sb., o technicko-ekonomických parametrech pro stanovení výkupních cen pro výrobu elektřiny a zelených bonusů na teplo a o stanovení doby životnosti výroben elektřiny a výroben tepla z obnovitelných zdrojů energie, v platném znění.

V České republice je však prostředí díky legislativnímu rámci a nekonceptnosti státu již po mnoho let v této oblasti považováno za nestabilní. Na této skutečnosti se podílejí časté legislativní změny a vymezování se vlády vůči obnovitelným zdrojům. Rovněž reakce státu na vývoj ve fotovoltaice je velmi laxní. Výsledkem výše uvedených skutečností je stagnace využití solární energie v naší zemi.

3.6 Legislativa v České republice

3.6.1 Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů

Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů (dále jen zákon o odpadech), ve znění platném do 31.12.2020 definuje následující pojmy:

- Solární panel – elektrozařízení tvořené fotovoltaickými články a určené k přímé výrobě elektřiny ze slunečního záření,
- Solární elektrárna – výroba elektřiny využívající solární panely.

Instalované fotovoltaické moduly tvořící v celku solární elektrárnu, čímž jsou z pohledu české legislativy podobným pojmem k těmto definicím. Likvidaci a recyklaci FV modulů předepisuje zákon o odpadech tímto způsobem:

- u FV modulů uvedených na trh před 1. lednem 2013 probíhá likvidace a recyklace prostřednictvím tzv. kolektivních systémů zpětného odběru elektrozařízení. Způsob a výše financování jsou stanoveny prováděcí vyhláškou č. 352/2005 Sb., o podrobnostech nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady a o bližších podmínkách financování nakládání s nimi.
- u FV modulů uvedených na trh po 1. lednu 2013 probíhá likvidace a recyklace prostřednictvím výrobce, resp. distributora FV modulu, který tento proces rovněž financuje. Vyhláška č. 352/2005 Sb., o podrobnostech nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady a o bližších podmínkách financování nakládání s nimi

Dokument detailněji stanovuje podmínky financování odděleného sběru, zpracování, využití a odstranění elektroodpadu ze solárních panelů podle §37p odst. 1 zákona, a to včetně způsobu stanovení minimální výše finančních prostředků uložených na k tomu účelu zřízeném bankovním účtu a způsobu jejich čerpání a dále způsobu výpočtu minimální výše příspěvků a způsobu nakládání s nimi.

Likvidace a recyklace je u FV modulů uvedených na trh po 1. lednu 2013 stanovena pro výrobce prostřednictvím individuálního, solidárního nebo kolektivního systému, pro provozovatele FV systému pouze prostřednictvím kolektivního systému.

Způsob výpočtu příspěvku je opět závislý na datu uvedení FV modulu na trh. U modulů starších, tj. uvedených před 1. lednem 2013 je výše příspěvku určována vzorcem:

$$M = P \times K$$

M – celková hmotnost solárních panelů instalovaných v solární elektrárně pro účely výpočtu příspěvku (kg)

P – výkon solární elektrárny podle vydané licence Energetickým regulačním úřadem (Wp)

K – průměrná hmotnost solárního panelu na jednotku výkonu; hodnota průměrné hmotnosti je dle zákona stanovena na 0,11 kg.

U FV modulů uvedených na trh po 1. lednu 2013 je výše příspěvku shodná se skutečnou hmotností modulů.

Minimální sazba pro výpočet minimální celkové výše příspěvků provozovatele solární elektrárny dle §37p odst. 2 zákona, a minimální výše uložených prostředků na k tomu zřízeném účtu je stanovena na 8,50 Kč.

Z vyhlášky je dále patrná povinnost každého kolektivního systému, který se ke sběru FV modulů přihlásil, při tomto úkonu doložit, že výše navržených příspěvků pokrývá všechny uvažované náklady zajištění předání ke zpracování, zpětného odběru a odděleného sběru, zpracování, využití a odstranění elektroodpadu v budoucnu.

Vyhláška rovněž mj. stanovuje povinnost finančního vypořádání mezi provozovatelem kolektivního systému a provozovatelem FV elektrárny po zajištění splnění povinnosti zpětného odběru.

3.6.2 Zákon o výrobcích s ukončenou životností

Vláda České republiky usnesením č. 857 ze dne 9. prosince 2019 schválila návrh zákona o vybraných výrobcích s ukončenou životností s úpravami podle připomínek obsažených ve stanovisku Legislativní rady vlády. V roce 2020 Poslanecká sněmovna ve Sněmovním tisku č. 677 projednala návrh uvedeného zákona předala ho Senátu České republiky. Předkládaný návrh úzce souvisí s novelou zákona o odpadech. Jak uvádí portál Ministerstva životního prostředí (MŽP), cílem zákona je především zajištění vysoké úrovně ochrany životního prostředí a lidského zdraví před negativními dopady odpadů z vybraných výrobků v souladu s příslušnými předpisy Evropské unie. Zákon o vybraných výrobcích s ukončenou životností má ve vztahu k novému zákonu o odpadech postavení zvláštního právní normy, která se použije přednostně. Zákon o odpadech jako obecná právní norma bude aplikován subsidiárně, tj. nestanoví-li zákon o vybraných výrobcích s ukončenou životností jinak (MŽP, ©2020). Zákon zpřehledňuje způsoby nakládání s finančními prostředky na nakládání s odpadem z FV panelů. Ukládá povinnost kolektivním systémům zpracovávat roční zprávy o sesbíraném odpadu. Klade cíle na zvýšení úrovně zpětného odběru výrobků s ukončenou životností, aby se s nimi zacházelo jako s odpadem určeným k následné likvidaci, recyklaci. Dále ukládá minimální úroveň využití odpadních elektrozařízení zahrnující způsoby zpracování odpadních elektrozařízení s minimálním % využitím materiálu a látek, které zahrnují všechny způsoby využití vč. recyklace a přípravy k opětovnému využití. Tento proces bude úzce souvisí s oběhovým hospodářstvím, kdy se omezí skládkování a bude docházet k opětovnému využití recyklovaných materiálu zpět ve výrobě.

Zákon o výrobcích s ukončenou životností a novela zákona o odpadech spolu s dalšími dvěma souvisejícími předpisy (novela zákona o obalech a tzv. změnový zákon) byly dne 1.12.2020 přijaty v poslanecké sněmovně a následně dne 4.12.2020 podepsány prezidentem republiky. Změny jsou účinné od 1.1.2021 a zavádí do naší legislativy tzv. ekomodulaci. Poplatky budou nově stanovovány dle složení výrobku, možnostech recyklace, obsahu látek. Jedná se o nadstavbu, která podporuje efektivní ekodesign.

3.7 Zpětný odběr

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2012/19/EU ze dne 4. července 2012 o odpadních elektrických a elektronických zařízeních ukládá členským státům povinnosti zajistit financování nákladů na sběr, zpracování, využití a k životnímu

prostředí šetrnému odstraňování odpadu z elektrických a elektronických zařízení (tedy též fotovoltaických modulů) prostřednictvím jejich výrobců. Ti mají tuto povinnost u všech FV modulů uvedených na trh po 13. srpnu 2005, což se v případě České republiky týká de facto všech modulů.

3.7.1 First Solar

V roce 2007 spustila společnost First Solar – dominantní výrobce CdTe modulů, projekt podporující recyklaci svých FV modulů. Každý modul vyrobený společností First Solar je evidován a zákazník platí již při koupi modulu dostatečnou částku zajišťující následnou likvidaci. First Solar provozuje tři továrny na likvidaci modulů, a to v USA, Německu a Malajsii. V těchto místech jsou rovněž umístěny výrobní závody. Kromě samotné likvidace zajišťuje First Solar i sběr a svoz těchto modulů, částka na tyto výdaje je taktéž součástí kupní ceny modulu (ČVÚT, ©2015).

3.7.2 PV CYCLE

V roce 2007 vznikla také iniciativa PV CYCLE založená Evropskou fotovoltaickou průmyslovou asociací (EPIA, dnes SolarPower Europe), která má za cíl sdružovat výrobce FV modulů za účelem naplnění direktivy WEEE a také legislativy ohledně odpovědnosti výrobců baterií. Direktiva WEEE předepisuje výrobcům odpovědnost za své výrobky, a to ve dvojnásobném smyslu:

- 1.) Výrobci jsou vyzýváni k výrobě takových produktů, které budou snáze recyklovatelné a budou využívat méně prvotních surovin,
- 2.) Výrobci mají v ceně svých výrobků zohlednit i náklady na budoucí likvidaci.

V té souvislosti je klíčové vybudování sítě umožňující shromažďování modulů k následné likvidaci. To je v případě fotovoltaiky realizováno právě prostřednictvím PV CYCLE, popř. dalších iniciativ, který sdružuje již funkční sítě sběru odpadu v jednotlivých zemích.

PV CYCLE má zastoupení ve většině evropských zemí, v České republice pak navíc také partnerské zastoupení se společností Retela (ČVÚT, ©2015).

3.7.3 Kolektivní systém

Zpětný odběr elektrických a elektronických zařízení probíhá prostřednictvím kolektivních systémů zpětného odběru elektrozařízení, které jsou dle zákona o odpadech děleny na tři skupiny:

- a.) individuální systém, který je tvořen jedním výrobcem samostatně na vlastní náklady,
- b.) solidární systém, který je provozovaný dvěma a více výrobci,
- c.) kolektivní systém, který je vytvořen výrobcí, ale provozovaný jinou právnickou osobou.

Provozovatel kolektivního systému žádá Ministerstvo životního prostředí (dále jen MŽP) o povolení k provozování kolektivního systému. Žadatel zároveň předkládá způsob financování své činnosti a rozsah své činnosti. Žadatelem může být právnická osoba, která bude činnost provozovat. Zároveň musí příslušné ministerstvo požádat o zápis do seznamu výrobců elektrozařízení (Javůrková, 2011).

V současné době jsou na portálu MŽP v seznamu provozovatelů kolektivních systémů se souhlasem pro zajištění nakládání s elektroodpady a s historickými elektrozařízeními uvedeny tyto kolektivní systémy, které mají souhlas k nakládání a financování FV panely.

Tabulka 2 Provozovatelé kolektivních systémů se souhlasem MŽP pro zajištění financování a nakládání s elektroodpady a s historickým elektrozařízením (MŽP, ©2020)

ASEKOL a.s. EČV: KH005/05-ECZ IČ: 27373231	Československého exilu 2062/8, 143 00 Praha 4 http://www.asekol.cz
ASEKOL Solar s.r.o. EVČ: K012/12-ECZ IČ: 24243639	Československého exilu 2062/8, 143 00 Praha 4 http://www.asekolsolar.cz
ČEZ Recyklace, s.r.o. EČV: K0020/15-ECZ IČ: 03479919	Duhová 1444/2, 140 00 Praha 4 https://www.cez.cz/cs/ospolecnosti/skupina-cez/spolecnosti-skupiny-cez-v-cr/cez-recyklace.html
ECOPARTNER s.r.o. EČV: K0017/13-ECZ IČ: 01639625	Novohradská 1145/99, 370 08 České Budějovice
ELEKTROWIN a.s. EČV: KH001/05-ECZ IČ: 27257843	Michelská 300/60, 140 00 Praha 4 http://www.elektrowin.cz
FitCraft Recyklace s.r.o. EČV: K015/13-ECZ IČ: 28660501	Zašovská 907, 757 01 Valašské Meziříčí http://www.fitcraftrecyklace.cz/
MINTES Solutions s.r.o. EČV: K0019/14-ECZ IČ: 02189275	Bendova 1140/16, 301 00 Plzeň 3, Jižní Předměstí http://www.mintesolutions.cz/
PV Recovery, s.r.o. EČV: K014/13-ECZ IČ: 29148049	Antala Staška 1076/33a, 140 00 Praha 4 http://www.pvrecovery.cz/
Recycling Systems, s.r.o. EČV: K0018/13-ECZ IČ: 01776142	Květoslava Mašity 409, 252 31 Všenory
REMA PV Systém, a.s. EVČ: K013/12-ECZ IČ: 29127009	Antala Staška 510/38, 140 00 Praha 4 http://www.rema.cloud
REsolar s.r.o. EČV: K016/13-ECZ IČ: 01748131	Drtinova 557/10, 150 00 Praha 5 http://www.resolar.cz
RETELA, s.r.o. EČV: KH003/05-ECZ IČ: 27243753	Československého exilu 2062/8, 143 00 Praha 4 tel.: 602 590 844

3.8 Environmentální dopady

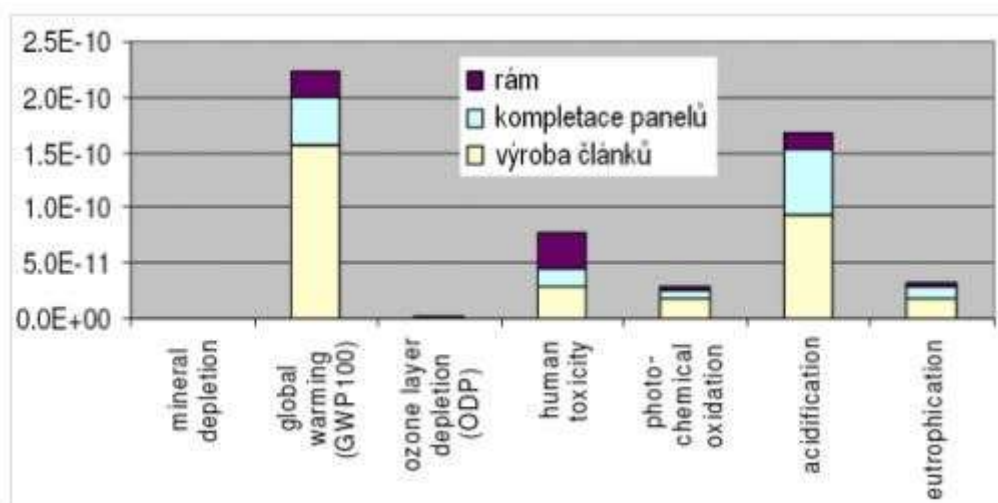
Již samotná výroba FV modulů má značný environmentální dopad, který začíná již na svém počátku při získávání primárních surovin k jejich výrobě. Následuje přeprava surovin a konče jejich zpracováním k výrobě FV modulů. Do tohoto celku se promítá ještě samostatná přeprava, které je přítomná po celou dobu již při získávání primárních surovin až do doby distribuce vyrobených FV modulů ze skladů. Při realizaci solárních elektráren dochází k dalším environmentálním dopadům, kterými

jsou u pozemních systémů např. vizuální dopad na pohled do krajiny, zábor zemědělské půdy, spotřeba vody pro jejich chlazení, ohřívání plochy v místě instalace solární elektrárny, vznik elektromagnetického pole, fragmentace krajiny (Bevk a kol., 2020).

U plovoucích solárních elektráren, které jsou jednou z alternativ využití solární energie bez záboru půdy se jedná o negativní dopady do dnového substrátu při instalaci, omezení průchodu slunečního svitu pod hladinu, vznik negativního elektromagnetického pole (De Silva a kol., 2018). Další environmentální fází je vlastní recyklace FV modulů. S FV elektrárnami je spojená celá řada environmentálních dopadů, který by obsáhly samostatnou práci. Nicméně z výše uvedeného lze dovodit, že jeden ze zásadních vlivů je vlastní doprava, která je přítomná po celou dobu životnosti panelu, a to už od samého počátku při získávání primárních surovin k výrobě vlastních článků až po jejich následnou recyklaci (Černý, 2018).

Při provedených analýzách životního cyklu bylo v minulosti zjištěno, že největší podíl na environmentálních dopadech má podíl vstupní energie, která je potřeba pro výrobu vlastních FV panelů. Za předpokladu, že by pro výrobu byly využity ve větší míře zdroje z obnovitelných zdrojů, byl by konečný vliv nižší (Bechník, 2009). Tato problematika je velmi ovlivněna energetickým mixem jednotlivých zemí, kde dochází k výrobě dílčích komponentů až po výslednou kompletaci FV panelů. Obrázek č. 5 znázorňuje, které části FV panelů mají v jednotlivých kategoriích největší environmentální dopady.

Obrázek 5 Environmentální dopady výroby FV panelů o výkonu 1 kWp (Alsema, 2007)

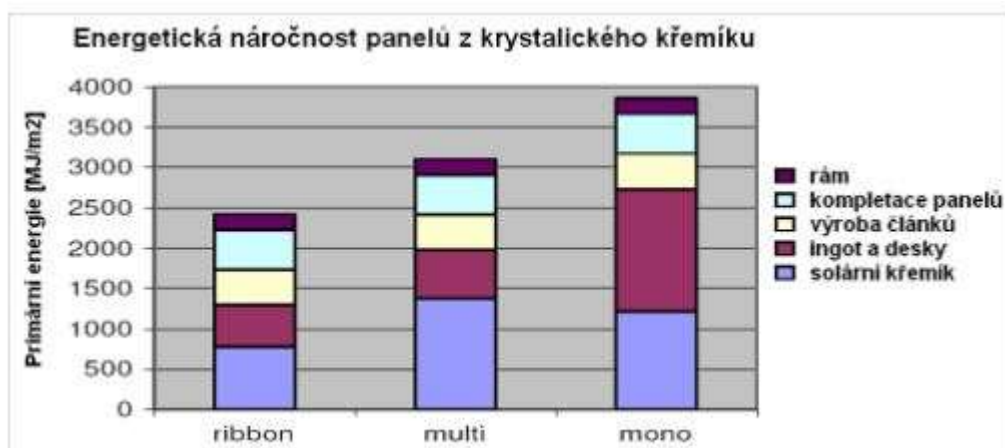


Z pohledu energetické náročnosti jsou níže uvedené fáze energeticky nejnáročnější fází (* označené fáze jsou nejdůležitější položky z pohledu energetické náročnosti):

- Těžba surovin,
- Výroba metalurgického křemíku*,
- Rafinace na solární křemík*,
- Krystalizace ingotu a řezání desek*,
- Výroba článků*,
- Kompletace panelů*,
- Montáž systému,
- Provoz (výroba elektřiny),
- Demontáž systému,
- Recyklace nebo likvidace systému,
- Doprava (ve všech fázích) (Bechník, 2009).

Nejdůležitější fáze energetické náročnosti u jednotlivých typů FV panelů jsou znázorněny na obrázku č. 6.

Obrázek 6 Podíl jednotlivých fází na energetické náročnosti výroby FV panelů (Bechník, 2009)



Z pohledu energetické návratnosti je do procesu výroby nutné zahrnout větší podíl z obnovitelných zdrojů. Dále je potřeba ve větší míře využívat recyklované materiály a opětovně je vracet do výroby a neupřednostňovat výrobu nových prvotních materiálů. Energetická náročnost je závislá i od technologických postupů a jednotlivých fází výroby, které jsou pro různé typy FV článků různorodé a zároveň se odvíjí i výrobce od výrobce. Dle obrázku č. 6 je patrné, že na energetické náročnosti

výroby se nejvíce podílí výroba solárního křemíku. Přestože technologický vývoj v oblasti výroby solárního křemíku dosáhl značného pokroku, je tento proces stále velmi energeticky náročný. V současné době se považuje standardní úroveň spotřeby krystalického křemíku na úrovni 10 – 12 g/Wp. V budoucnu lze očekávat pokles na spotřeby na úroveň 4 – 6 g/Wp, přičemž za technologickou mez je považováno 2 g/Wp. Neméně důležitou fází v energetické návratnosti je samostatná recyklace a s ohledem na technologické možnosti zvyšovaná účinnost. V současné době jsou např. u amorfních (tenkovrstvých) článků japonského výrobce Solar Frontier v laboratořích dosahovány hodnoty 23,35 % efektivity (Solar Frontier, ©2019). Japonská společnost Sharp u svého troj multi-křížového článku dosáhla v testech efektivity hodnoty 44,4 % (Sharp, ©2013).

4 Metodika

Diplomová práce má charakter studie. V literární části byl vytvořen přehled postupu zpracování studie LCA, byly popsány vybrané softwarové nástroje, které se používají ke zpracování studií LCA a vybrané databáze, které jsou nositeli dat pro zpracování LCA studií. Dále byly popsány aktuální legislativní rámec, nakládání s FV panely po ukončení jejich životnosti a financování jejich likvidace.

Případová studie LCA byla zpracována pro panely nacházející se ve FV elektrárně, která je instalována v prostorách ČZU. FV elektrárna je složená z 30 ks polykrystalických panelů tchajwanské firmy BenQ PM 250 a 70 ks amorfních (tenkovrstvých) článků japonské firmy Frontier SF 160-S.

Pro zpracování studie LCA byl využit softwarový nástroj openLCA verze 1.10.3 (z roku 2020) a databáze Environmental Footprints verze 2.0 (z roku 2019). Pro hodnocení environmentálních dopadů, byla použita generická metodika LCIA, která je součástí databáze Environmental Footprints.

Pro diplomovou práci byly vytvořeny následující hypotézy:

1. Informace o materiálovém složení FV panelů v odborné literatuře obsahují podobná data, která lze aplikovat pro zpracování LCA.
2. V rámci databáze Environmental Footprints jsou k dispozici procesy pro jednotlivé recyklační metody FV panelů.
3. U porovnávaných panelů jsou environmentální dopady v oblasti klimatické změny shodné.
4. Při využití maximální výtěžnosti recyklačních metod, lze nazpět získat alespoň 90 % recyklovaných surovin z celkového objemu odpadu.

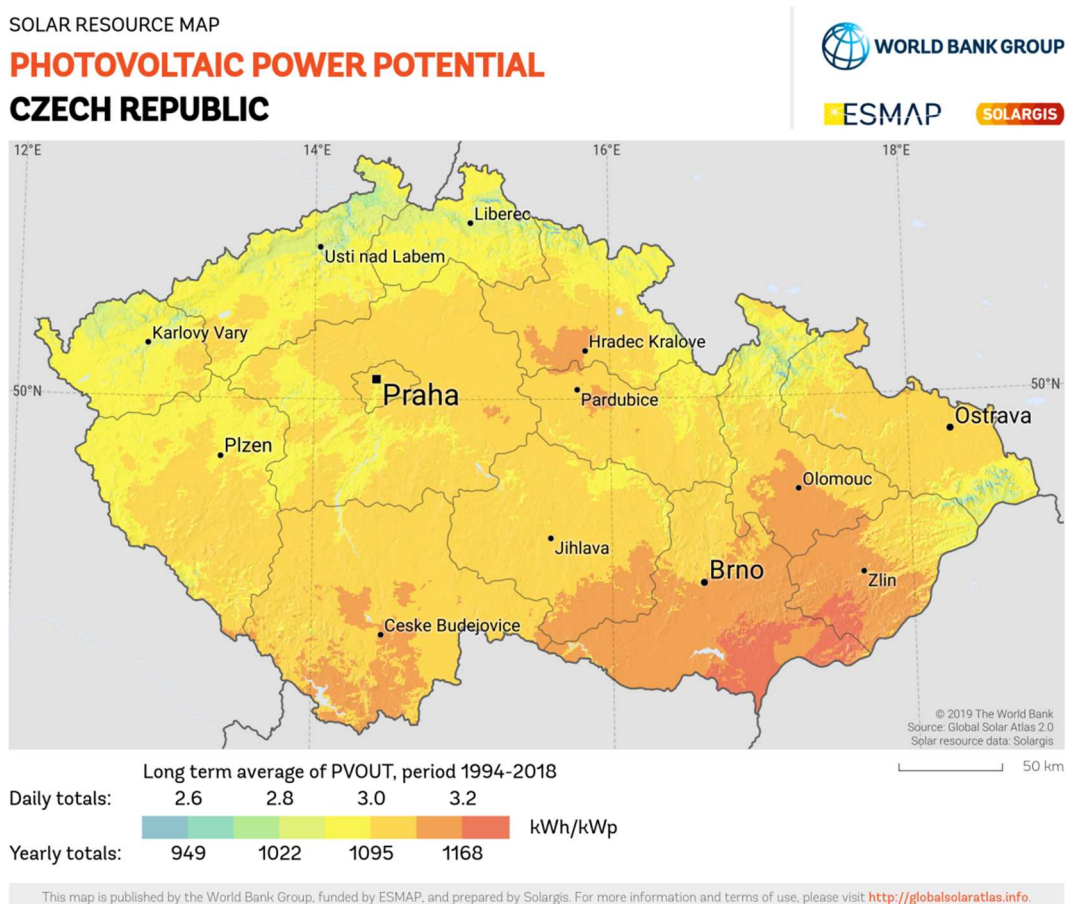
5 Současný stav

5.1 Stav v České republice

FV elektrárny jsou samy o sobě z podstaty svého principu šetrné k životnímu prostředí. Díky fyzikálním zákonům dokážou přeměnit sluneční záření na potřebnou elektrickou energii. Z tohoto pohledu jsou zcela jistě šetrným zdrojem energie. Jejich jistá nevýhoda je určitá výrobní nestálost s ohledem na sluneční svit, což je ovlivněno i zeměpisnou šířkou.

Potenciál slunečního záření pro oblast České republiky, je znázorněn na obrázku č. 7.

Obrázek 7 Intenzita slunečního záření za období 1994 – 2018 na území České republiky (Solargis, ©2020)

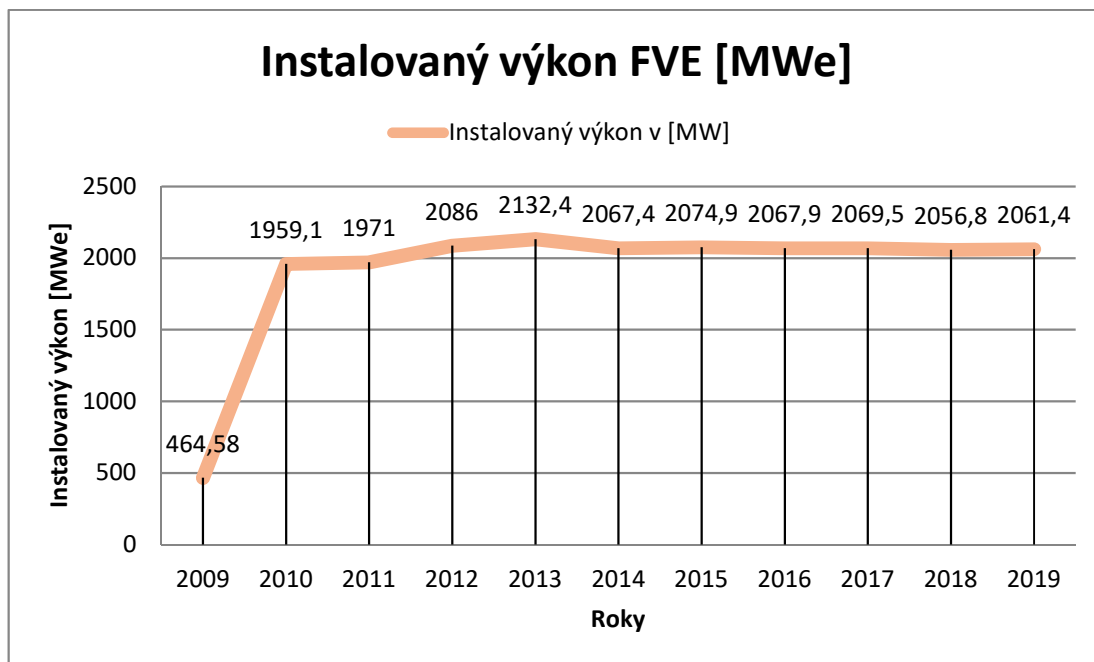


Průměrné hodnoty za sledované období od roku 1994 – 2018 slunečního svitu uvádějí jako nejperspektivnější v Česku, Jižní Čechy, část Královehradeckého kraje a dále

oblast okolí Pardubic. Na Moravě se jedná prakticky a celou oblast s dominancí v oblasti Mikulov, Břeclav, Hodonín a oblast Uherského Hradiště.

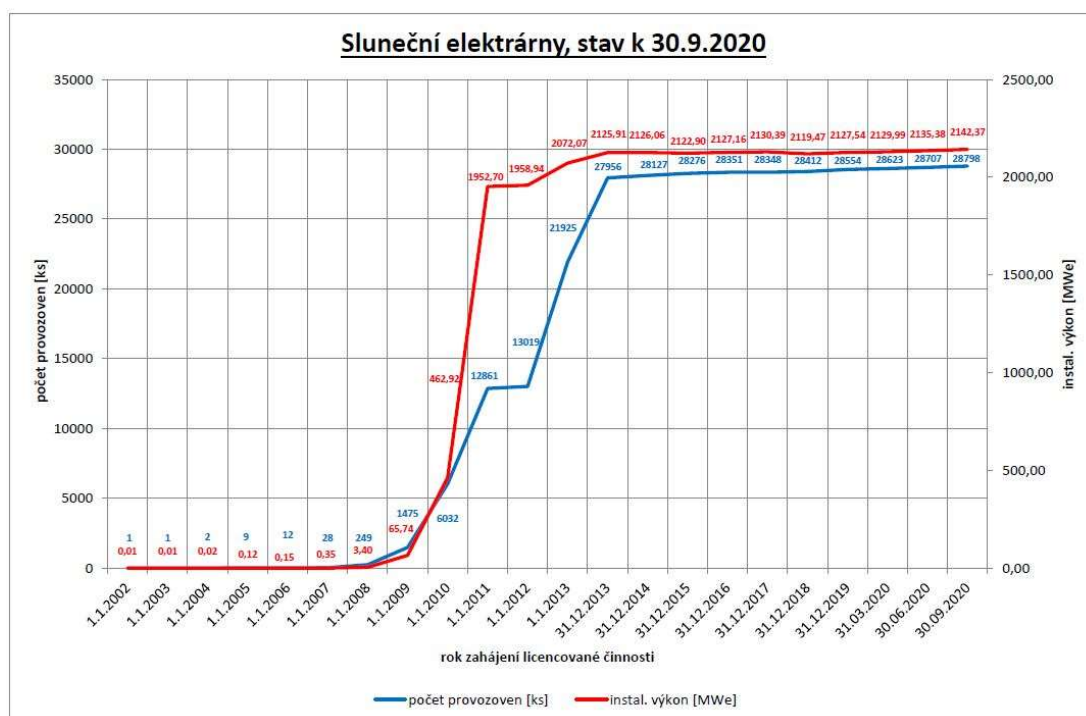
Jak ukazuje obrázek č. 8, tak v průběhu let zároveň roste i instalovaný výkon FV elektráren na celém území České republiky.

Obrázek 8 Instalovaný výkon FVE v ČR za období 2009 – 2019 (ERU, ©2019)



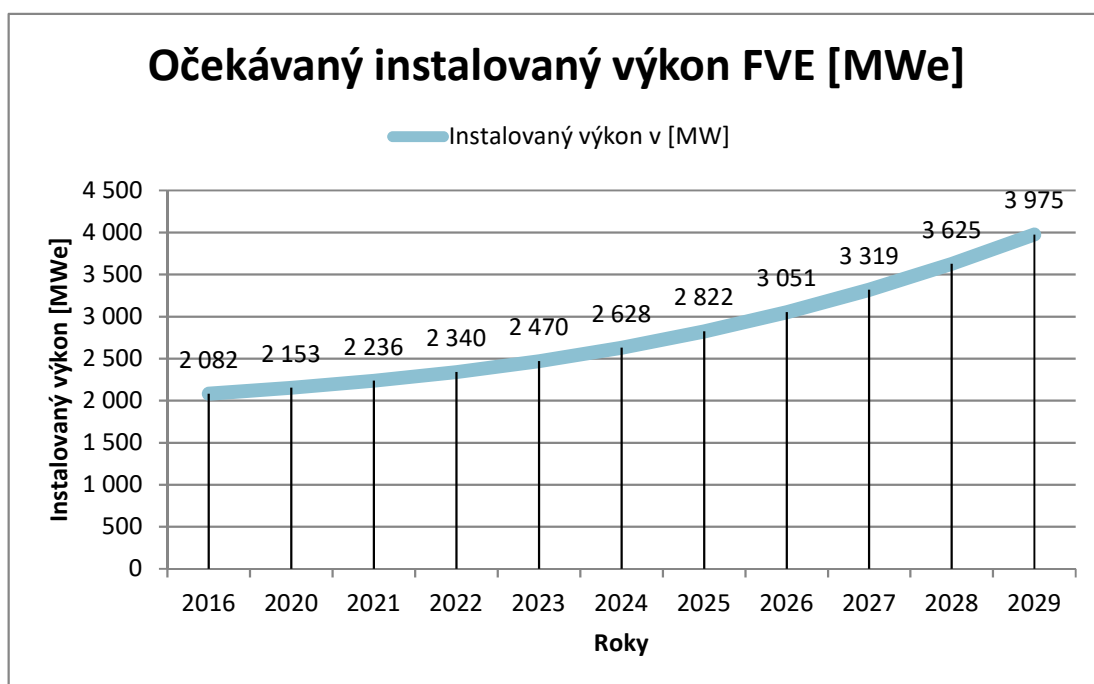
Pro lepší představu je z obrázku č. 9 patrné, že instalovaný výkon vůči počtu instalovaných FV elektráren není úměrný, a to zejména v období pozvolného růstu od poloviny roku 2019 do září 2020. V tomto období vzniklo 842 licencí s celkovým výkonem 16,46 MWe, což odpovídá průměrnému výkonu 19,55 kWe na jednu licenci. Lze předpokládat, že objem vydaných licencí navyšují systémy s malým výkonem, jako jsou např. střešní instalace na rodinných domech a větší systémy, které tvoří FV elektrárny.

Obrázek 9 Celkový počet provozoven a instalovaného výkonu FVE v ČR (ERU, ©2019)



Největší růst je vidět mezi lety 2010 – 2011, kdy byla zavedená štedrá dotační politika na výkup energie pocházející ze solárních elektráren. Jedná se o tzv. solární boom. Dotační politika mj. měla stimulovat podnikatelské prostředí k rozvoji získávání energie z OZE a masivním investicím do tohoto odvětví. Nárůst je v dalších letech prakticky pozvolný. Tento krok na úrovni vlády byl mj. z důvodu dosažení cílů stanovených politikou Evropské Unie ke splnění závazku na získávání elektřiny z obnovitelných zdrojů, resp. k naplnění evropských klimaticko-energetických cílů EU v oblasti snižování emisí, zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie a zvyšování energetické účinnosti. V lednu roku 2020 vláda české republiky schválila Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu, který navrhuje přispět k evropskému cíli do roku 2030 na úrovni 22 % z OZE. V návaznosti na tuto skutečnost lze předpokládat další „solární boom“, který bude ze státního rozpočtu dotovat výkupní ceny za energii vyrobenou z FV elektráren a motivovat k investicím OZE z kterých se jako nejjednodušší řešení nabízí právě v podobě FV elektráren.

Obrázek 10 Očekávaný instalovaný výkon FVE do roku 2029 dle MPO (MPO, ©2019)



Obrázek č. 10 zobrazuje, jaký MPO v rámci Vnitrostátního plánu České republiky v oblasti energetiky a klimatu očekává nárůst instalované výkonu pocházejícího z FV systémů. Při porovnání roku 2020 a 2030 se jedná o očekávaný nárůst instalovaného výkonu o 1893 MWe, čemuž odpovídá nárůst o cca 191 % oproti stávajícímu stavu. V roce 2019 dle zveřejněných dat ERU bylo do energetické sítě dodáno 2 115 186,8 [MWh]. Tato dodaná energie by pokryla roční potřeby domácností Středočeského kraje ze 77 % (MPO, ©2019).

5.2 Recyklace FV panelů

S rozvojem FV systémů souvisí i jejich následná likvidace, po skončení jejich životnosti. Pokud bychom předpokládali, že jeden FV panel bude mít instalovaný výkon 220 W a bude vážit 20 kg, tak dle tabulky č. 3 v průběhu let dojde ke vzniku odpadu, který bude nutné po skočení FV systému likvidovat.

Tabulka 3 Vývoj objemu potenciálního odpadu z vyřazených FV panelů (vlastní zpracování)

Roky	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Přírůstek[MW]	71	83	104	130	158	194	229	268	306	350
Odpad [t]	6455	7545	9455	11818	14364	17636	20818	24364	27818	31818

Jak Černý (2018) uvádí ve své práci, recyklační linka, která pracuje na mechanickém principu (drcení) na recyklaci FV panelů zpracuje cca 1000 kg za 7 hodin při

nepřetržitým provozu. Pokud budeme vycházet z tabulky uvedené výše, vychází nám, že by taková recyklační linka celkový objem vzniklého odpadu zpracovávala při každodenním provozu na jednu směnu 3330 let. Rozložení vzniklého odpadu nebude v průběhu času úměrné, protože je mnoho vlivů, které ovlivní vyřazování jednotlivých panelů nebo celých solárních systémů.

Odevzdávání panelů k následně recyklaci ovlivňují např. tyto faktory:

- konstrukční vady,
- výrobní vady,
- kvalita FV panelů jako celku,
- zvýšená odolnost proti poklesu účinnosti v čase,
- prodej modulů dalším uživatelům namísto recyklace,
- mechanické poškození (při přepravě, instalaci, klimatické vlivy).

Vzhledem k technickým pokrokům a výše uvedeným faktorům lze jen velmi těžko exaktně predikovat, jakým způsobem se budou v čase FV moduly hromadit k následné likvidaci. Jistě, lze předpokládat různé scénáře, které mohou reflektovat nastalou skutečnost. Je pravděpodobné, že na území České republiky nevznikne velkokapacitní recyklační linka na FV moduly, ale bude docházet ke shromažďování vyřazených FV panelů a následně k jejich hromadnému převozu do recyklačních linek v zahraničí.

5.2.1 Výtěžnost materiálů při recyklaci

Na recyklovaný FV modul lze pohlížet jako na zdroj materiálu, který se získá při recyklaci, a je možné ho vrátit zpět do oběhu pro další využití. Při navrhování FV modulu je kladen důraz na ekodesign (Remtová, 2003).

Mezi nejčastější materiály získané při recyklaci patří hliník, měď, sklo, plasty, křemík, vzácné kovy, mezi které patří indium, galium, germanium, stříbro, molybden a lecky nezbytné a běžně využívané toxické kovy, jako jsou kadmium, selen, telur nebo olovo.

Při separaci skla, které je základním konstrukčním materiálem všech typů fotovoltaických panelů, lze při recyklaci získat až 95 % skleněného materiálu. Sklo získané z termicko-chemické metody recyklace se nepoužívá pro výrobu nových modulů, protože je zatím výhodnější výroba skel nových.

Při recyklaci hliníku z FV modulu ho lze získat téměř 100 % a nízká energetická náročnost procesu ušetří až 70 % energie potřebné pro výrobu hliníku nového.

U křemíku se při termické metodě získávají celé články, které lze po úpravě dále využít pro výrobu článků nových. U mechanicko-chemické metody je výtěžnost křemíku od 75 do 85 % při čistotě 85 až 90 %.

Recyklací FV modulů se dále získávají vodivé materiály, zejména měď a stříbro. Výtěžnost mědi z kabelů dosahuje hodnot od 78 do 100 %, přičemž technologie zpracování je značně propracovaná. Výtěžnost stříbra se pohybuje od 40 do 65 %. Nejlépe recyklovatelným vzácným kovem je telur. Výtěžnost dosahuje 80 až 95 % při čistotě okolo 99,7 %. Ostatní vzácné kovy, jako je indium, galium, germanium dosahují výtěžnosti pouze 20 až 40 % (Bechník, 2011; Granata a kol., 2014; Paiano a kol., 2015).

5.2.2 Metody recyklace

V současné době se používají dvě hlavní metody recyklace FV modulů, a to termicko-chemická a mechanicko-chemická. Dle typu FV modulu se odvíjí použitá technologie, případně její modifikované varianty k dosažení co nejlepších výsledků recyklace. U všech uváděných metod je nutné před zahájením vlastního procesu recyklace odstranit hliníkový rám z toho zároveň vyplývá, že je zde nezbytný podíl lidské práce.

5.2.2.1 Termicko-chemická metoda

Metoda byla navržena, vyzkoušena a je používána německou firmou Deutsche Solar. Vzhledem k její univerzálnosti je metoda vhodná pro všechny komerčně používané moduly z krystalického křemíku.

Fotovoltaický modul je zapouzdřen folií EVA, která se odstraňuje použitím termické metody nebo chemické metody za pomoci rozpouštědla. Vzhledem k ceně a likvidaci použitého rozpouštědla se však tato metoda příliš neuplatňuje.

Po odstranění EVA folie je možné oddělit jednotlivé vrstvy, ze kterých se fotovoltaický modul skládá. Fotovoltaický modul se vloží do speciální pece, kde se nastaví teplota přes 500 °C. Po překročení této teploty se veškeré plastové části fotovoltaického modulu odpaří, což umožní oddělení jednotlivých částí fotovoltaického modulu. Odpařené plasty se po tomto procesu nachází v plynném skupenství a jsou přesunuty do komory pro řízené spalování, v níž dochází k dokonalejšímu spalování, které má méně nepříznivých ekologických vlivů na prostředí v porovnání s nedokonalým

spalováním v první komoře. Vzniklé teplo je navíc možné dále využít přímo v recyklačním procesu. Výhodou termického odstranění obalu modulu je jednoduchost. Proto je termická cesta výhodná pro komerční využití při recyklaci fotovoltaického modulu. Nevýhodou je energetická náročnost a vysoký podíl manuální práce při následném ručním oddělování jednotlivých uvolněných částí. Danou metodou se získají celé nepoškozené články a po následném zpracování je lze použít při výrobě článků nových.

Po použití termické metody a ručního oddělení materiálu je nutné FV články očistit. Pro čištění se používá chemická cesta, při níž se odstraní v přesném pořadí: přední kontakt, zadní kontakt, antireflexní vrstva a p-n přechod. Nejdříve se aplikuje lázeň hydroxidu draselného a poté další chemikálie, u kterých je stěžejní jejich druh, koncentrace, provozní teplota a délka leptání. Tento postup byl optimalizován pro vysokou rychlost a účinnost za použití malého množství toxických látek a rozpouštědel.

Po odstranění nežádoucích materiálů dochází ke kontrole kvality křemíkové desky. Křemíkové desky nepodléhají přísným podmínkám pro výrobu jiných průmyslových produktů nebo jako výchozí surovina pro výrobu jiných materiálů na bázi křemíku.

Vzhledem k současné ceně křemíku nelze tuto metodu považovat za cenově efektivní (Bechník, 2011; Radziemska, 2010; Zhong a kol., 2011; Held, 2013).

5.2.2.2 Mechanicko-chemická metoda

Tato metoda je výhodná pro tenké a křehké fotovoltaické moduly, tj. tenkovrstvé a krystalické moduly. Vzhledem k trendu snižování množství materiálu v FV modulech a tím i tloušťce článku bude prakticky znemožněna běžná mechanická manipulaci s články.

Podstatou této metody je rozdrčení modulů na malé kousky a jejich následné separace. Nejdříve se oddělí hliníkový rám a přívodní kabely. Poté jsou moduly v několika drtících stupních rozdrčeny a dále tříděny dle různých velikostí vzniklých částic.

Při této technologii se používají drtiče (bubnové, kotoučové, čelistové) a mlýny. Jednou z metod separace vzniklé drtě je použití vibračního třídíče. Tyto třídíče se používají k separaci skla, které se vibracemi rozbíjí. Mezi separační technologie patří elektrodynamická separace, magnetická separace, fluidní a mokré splavy.

V elektrodynamickém separátoru se oddělují barevné vzácné kovy od ostatního materiálu. V magnetickém separátoru se separují materiály ze železa. Ve fluidních a mokřích splavech se využívá různé velikosti měrné hmotnosti tříděného materiálu. V suchém pneumatickém fluidním separátoru se oddělují částice o velikosti několika mm a v mokřém gravitačním splavu se oddělují jemnozrnné materiály. Těžké, vzácné a toxické prvky se získávají pomocí elektrolýzy nebo chemicky či pyrometalurgicky. Ochranné plasty se termicky spálí. Výsledným produktem jsou drcené suroviny různé velikosti, které lze následně využít (Bechník, 2011; Granata a kol., 2014; Paiano a kol., 2015).

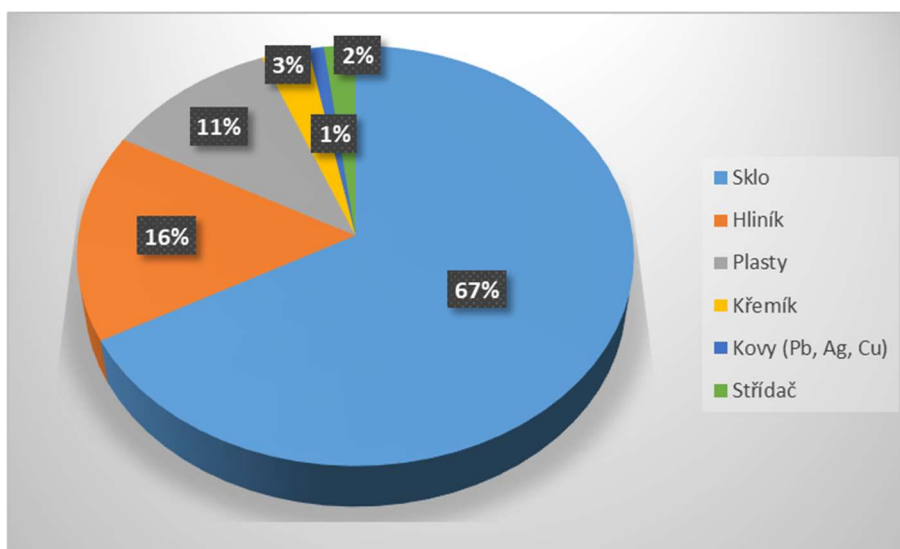
5.2.3 Materiály FV modulů

Pro výrobu FV panelů je potřeba poměrně velké množství různých materiálů. Nejčastěji se v nich vyskytují hliník, sklo, plasty, křemík, vzácné kovy, vodivé materiály. Mnoho studií, které se zabývají recyklací FV panelů uvádí poněkud rozdílné hodnoty jejich složení, které vycházejí buď z odborné literatury nebo z vlastních měření obsahů látek obsažených v FV panelech. Z důvodu rozdílnosti uvádění materiálového složení, budou pro práci použity zjednodušené modely obsahu složení. Složení polykrystalického panelu a tenkovrstvého panelu je zobrazeno v tabulkách níže.

Tabulka 4 Materiálové, váhové složení polykrystalického FV panelu s uvedením možné výtěžnosti recyklace (Havel, 2012)

Polykrystalický panel BenQ PM 250 o váze 18,5 kg			
Složení/Materiál	Množství [kg]	Podíl [%]	Výtěžnost recyklace [%]
Sklo	12,40	67	95
Hliník	2,96	16	100
Plasty	2,04	11	95
Křemík	0,56	3	85
Kovy (Pb, Ag, Cu)	0,19	1	100
Střídač	0,37	2	80

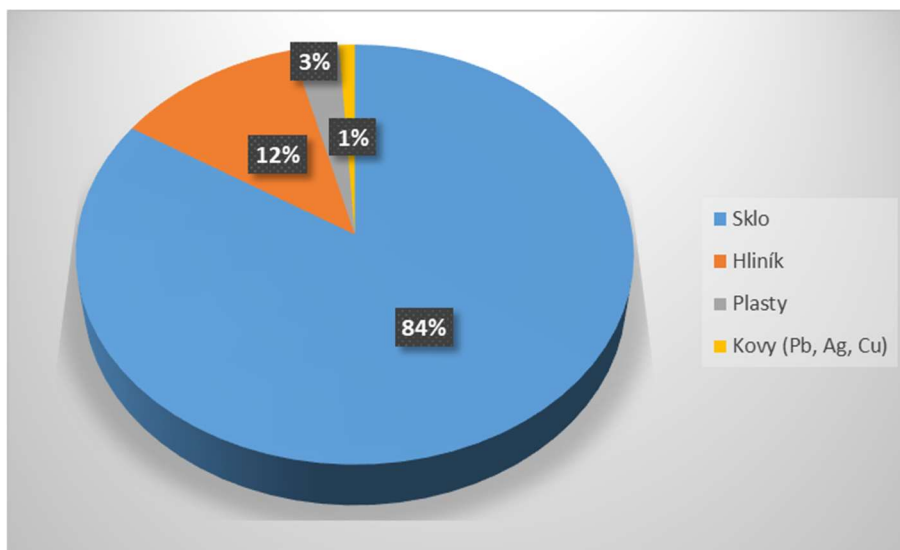
Obrázek 11 Grafické znázornění materiálového zastoupení v polykrystalickém panelu (vlastní zpracování)



Tabulka 5 Materiálové, váhové složení tenkovrstvého FV panelu s uvedením možné výtěžnosti recyklace (Havel, 2012)

Tenkovrstvý panel Solar Frontier SF160-S o váze 20 kg			
Složení/Materiál	Množství [kg]	Podíl [%]	Výtěžnost recyklace [%]
Sklo	16,8	84	95
Hliník	2,4	12	100
Plasty	0,6	3	95
Kovy (Pb, Ag, Cu)	0,2	1	100

Obrázek 12 Grafické znázornění materiálového zastoupení v tenkovrstvém panelu (vlastní zpracování)



Naproti tomu studie ČVÚT z roku 2015, zpracovaná pro firmu REsolar, uvádí zastoupení jednotlivých materiálů v modulech instalovaných na území ČR. Z tohoto přehledu lze dovodit, jaké množství objemu odpadu z FV modulů bude určeno k recyklaci vč. zastoupení jednotlivých látek, kterých se recyklace bude týkat viz tabulka č. 6.

Tabulka 6 Materiálové zastoupení látek v FV modulech na území ČR k roku 2015 (ČVÚT, ©2015)

Materiál	Množství odpadu [t]	Účinnost recyklace [%]
Sklo	134145	97
Al	13808	100
Si	4054	85
EVA	12406	100
Tedlar	130	100
Ag	180	65
Mo	0,123	99
Sb	0,002	0
In	0,085	75
Ga	0,054	99
Se	0,117	80
Cu	6938	100
SnO ₂	9	0
Te	2,287	95
Zn	0,111	90
Pb	37	90
Cd	2	99
Sn	66	90
Plasty	5070	80

Množství materiálu, které je uvedeno v tabulce č. 6 není zanedbatelné a zdaleka není konečné a nezohledňuje množství související s rozvojem fotovoltaiky na území ČR. Většinu materiálu lze použít zpět do výroby. Při kumulaci větších objemů recyklovaných materiálů, se budou stávat zajímavou komoditou k dalšímu ekonomickému zhodnocení.

6 Výsledky

6.1 Vlastní měření

Modelace byla provedena pro polykrystalický FV modul tchajwanské firmy BenQ PM 250, který vyrábí BenQ Solar, která je divizí tchajwanské společnosti AU Optronics Corporation, která vznikla spojením společností Acer Display technology, Inc. A Unipac Optoelectronics Corporation. Pro tento model výrobce uvádí jmenovitý výkon 250 Wp, při účinnosti modulu 13,84 % (plocha modulu 1,61 m²). Články jsou velikosti 156 x 156 mm. Záruka výrobce je stanovena na 10 let a garance výkonu je stanovena při provozu 10 let na 90 % jmenovitého výkonu a po 25 letech provozu na 80 % jmenovitého výkonu. Jedna z výrobních linek sídlí v České republice v Brně. Kompletní technická specifikace je přílohou č. 1 této práce.

Obrázek 13 Polykrystalický FV modul BenQ-Q PM 250 (UnboundSolar, ©2020)



Obrázek 14 Výrobní štítek FV panelu BenQ s uvedením místa výroby v ČR (Secondsol, ©2020)



Druhá část modelace byla provedena pro tenkovrstvý panel japonského výrobce Solar Frontier. Společnost se prakticky zabývá pouze výrobou tenkovrstvých modulů. Pro tento model uvádí jmenovitý výkon o 160 Wp, při účinnosti 13 % (plocha modulu 1,23 m²). Záruka výrobce je stanovena na 5 let a garance výkonu je stanovena při provozu 10 let na 90 % jmenovitého výkonu a po 25 letech provozu na 80 % jmenovitého výkonu. Panely se vyrábí v Japonsku v jedné ze dvou výrobních linek. Kompletní technická specifikace je přílohou č. 2 této práce.

Obrázek 15 Tenkovrstvý FV modul Solar Frontier SF 160-S (Solar Frontier, ©2020)



Obrázek 16 Výrobní štítek FV panelu Solaf Frontier s uvedením místa výroby - Japonsko (Solar Frontier, ©2020)



Jak již je uvedeno v metodice práce, pro modelování byl použit software openLCA verze 1.10.3. Zdrojová databáze byla použita Environmental Footprints verze 2.0, která zároveň obsahuje příslušnou metodiku LCIA pro hodnocení environmentálních dopadů. Vstupní data byla vybrána tak, aby co nejvíce odpovídala skutečnosti. Doprava v rámci procesu byla vybrána v kategorii 7,5 – 12 tun s emisní normou Euro 5. Pro převozu FV panelů na recyklační linku byla použita vzdálenost 100 km. Energie potřebná pro metodu mechanické recyklace, byla nastavena v energetickém mixu pro Českou republiku o hodnotě 30 MJ potřebné energie.

6.2 Simulace pro FV panel Solar Frontier SF 160-S

Zpracování simulace pro panel Solar Frontier SF 160-S byla namodelována ve třech níže uvedených fázích (procesech):

- 1.) Výroba FV panelu, kde byly použity vstupní materiály dle tabulky č. 5,
- 2.) Převoz FV panelu na recyklační linku,

3.) Recyklace FV panelu mechanickou metodou – vznik recyklační směsi.

Produkční systém modelace pro tenkovrstvý panel je přílohou č. 3 této práce. Po provedené LCA simulaci byly pro jeden kus výše uvedeného panelu vyhodnoceny následující environmentální dopady, které zahrnují všechny tři fáze.

Tabulka 7 Hodnoty environmentálních dopadů pro panel Solar Frontier SF 160-S dle vstupních hodnot

Kategorie dopadu	Referenční jednotka	Výsledek
Acidifikace	mol	0,111337285
Klimatické změny	kg	51,8035965
Klimatické změny - biogenní	kg	0,044872475
Klimatické změny - fosilní	kg	51,73192181
Klimatická změna – využívání krajiny, zábor a přeměna krajiny	kg	0,026802215
Ekotoxicita sladkovodní	položka	11,18583877
Eutrofizace mořská	kg	0,021060203
Eutrofizace sladkovodní	kg	0,000202947
Eutrofizace terestrická	mol	0,254695823
Humánní toxicita, rakovinotvorná	položka	1,52966E-07
Humánní toxicita, nerakovinotvorná	položka	9,22317E-06
Ionizační záření	kBq	3,469367083
Využívání krajiny	položka	56,96457816
Úbytek stratosférického ozónu	kg	7,00216E-09
Pevné částice	položka	1,08637E-06
Fotochemická tvorba ozonu	kg	0,06060305
Využití fosilních zdrojů	MJ	747,0224578
Využití minerálních a metalických zdrojů	kg	2,34284E-05
Využití vody	m ³	40,06691417

Od výroby až po likvidaci panelu dojde u nejvýznamnějších položek k vytvoření 51,8 kg CO₂, bude spotřebováno 747 MJ energie a dojde ke spotřebě 40 m³ vody.

6.3 Simulace pro FV panel BenQ-Q PM 250

Zpracování simulace pro panel BenQ-Q PM 250 byla namodelována ve třech obdobných fázích (procesech) níže uvedených:

- 1.) Výroba FV panelu, kde byly použity vstupní materiály dle tabulky č. 4,
- 2.) Převoz FV panelu na recyklační linku,
- 3.) Recyklace FV panelu mechanickou metodou – vznik recyklační směsi.

Produkční systém modelace pro polykrystalický panel je přílohou č. 4 této práce. Po provedené simulaci byly pro jeden kus výše uvedeného panelu vyhodnoceny následující environmentální dopady, které zahrnují všechny tři fáze.

Tabulka 8 Hodnoty environmentálních dopadů pro panel BenQ-Q PM 250 dle vstupních hodnot

Kategorie dopadu	Referenční jednotka	Výsledek
Acidifikace	mol	0,266589378
Klimatické změny	kg	87,3013024
Klimatické změny - biogenní	kg	0,271782604
Klimatické změny - fosilní	kg	86,98255998
Klimatická změna – využívání krajiny, zábor a přeměna krajiny	kg	0,046959819
Ekotoxicita sladkovodní	položka	18,76995645
Eutrofizace mořská	kg	0,046876176
Eutrofizace sladkovodní	kg	0,00045184
Eutrofizace terestrická	mol	0,520840711
Humánní toxicita, rakovinotvorná	položka	5,61962E-07
Humánní toxicita, nerakovinotvorná	položka	1,00357E-05
Ionizační záření	kBq	10,69271521
Využívání krajiny	položka	204,5941512
Úbytek stratosférického ozónu	kg	9,0136E-07
Pevné částice	položka	4,10478E-06
Fotochemická tvorba ozonu	kg	0,14525592
Využití fosilních zdrojů	MJ	1349,861396
Využití minerálních a metalických zdrojů	kg	5,10025E-05
Využití vody	m ³	113,487599

Od výroby až po likvidaci panelu dojde u nejvýznamnějších položek k vytvoření 86,9 kg CO₂, bude spotřebováno 1349 MJ energie a dojde ke spotřebě 113 m³ vody.

6.4 Porovnání k funkční jednotce

Vzhledem k tomu, že každý z uváděných FV panelů má jiné parametry (váhu, plochu, výkon), byla pro porovnání nastavena srovnávací funkční jednotka 1 m².

Tabulka 9 Hodnoty environmentálních dopadů pro posuzované FV panely (výsledek vychází z naměřených hodnot a je vztažený k ploše 1 m² FV panelu)

Kategorie dopadu	Referenční jednotka	Solar Frontier SF 160-S	BenQ PM 250
		Výsledek (pro 1 m ²)	
Acidifikace	mol	0,090518118	0,165583465
Klimatické změny	kg	42,11674512	54,22441143
Klimatické změny - biogenní	kg	0,036481687	0,168809071
Klimatické změny - fosilní	kg	42,05847302	54,02643477
Klimatická změna – využívání krajiny, zábor a přeměna krajiny	kg	0,021790419	0,02916759
Ekotoxicita sladkovodní	položka	9,094177859	11,65835805
Eutrofizace mořská	kg	0,017122116	0,029115637
Eutrofizace sladkovodní	kg	0,000164997	0,000280646
Eutrofizace terestrická	mol	0,207069775	0,323503547
Humánní toxicita, rakovinotvorná	položka	1,24362E-07	3,49044E-07
Humánní toxicita, nerakovinotvorná	položka	7,49851E-06	6,23335E-06
Ionizační záření	kBq	2,820623644	6,641438022
Využívání krajiny	položka	46,31266517	127,0771125
Úbytek stratosférického ozónu	kg	5,69281E-09	5,59851E-07
Pevné částice	položka	8,83228E-07	2,54955E-06
Fotochemická tvorba ozonu	kg	0,049270772	0,090221069
Využití fosilních zdrojů	MJ	607,3353316	838,4232271
Využití minerálních a metalických zdrojů	kg	1,90475E-05	3,16786E-05
Využití vody	m ³	32,57472697	70,48919195

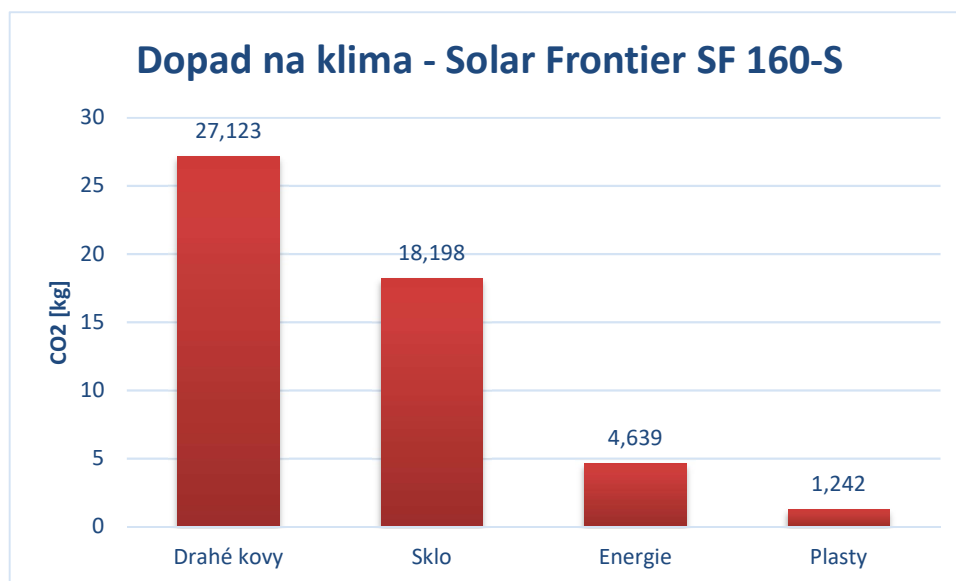
Při srovnání posuzovaných FV panelů na funkční jednotku 1 m² z tabulky č. 9 vyplývá, že amorfní tenkovrstvý panel Solar Frontier SF 160-S, má na základě provedeného modelování nižší environmentální zátěž, než polykrystalický panel BenQ-Q PM 250. Tento výsledek je velmi pravděpodobně ovlivněn jednotlivými vstupy pro výrobu jednotlivých panelů. U polykrystalického panelu je více dílčích vstupů, než je tomu u amorfního panelu, čímž mohou být výsledky ovlivněny.

6.5 Dopad na klima

Vlivy na klimatickou změnu jsou velmi často sledovaným parametrem, který reprezentuje kolik CO₂ je v rámci procesu vyprodukováno. V případě modelování LCA je podstatnou informací také to, které procesy se na tomto parametru podílejí. Lze je reprezentovat kumulativně, ale i detailně dle jednotlivých vstupů, které se v rámci procesů vyskytují. Jedná se o velmi podstatný údaj, který v rámci optimalizace procesů na úrovni výroby, zpracování, přepravy apod. sděluje, kde by optimalizace měla nebo mohla být provedena.

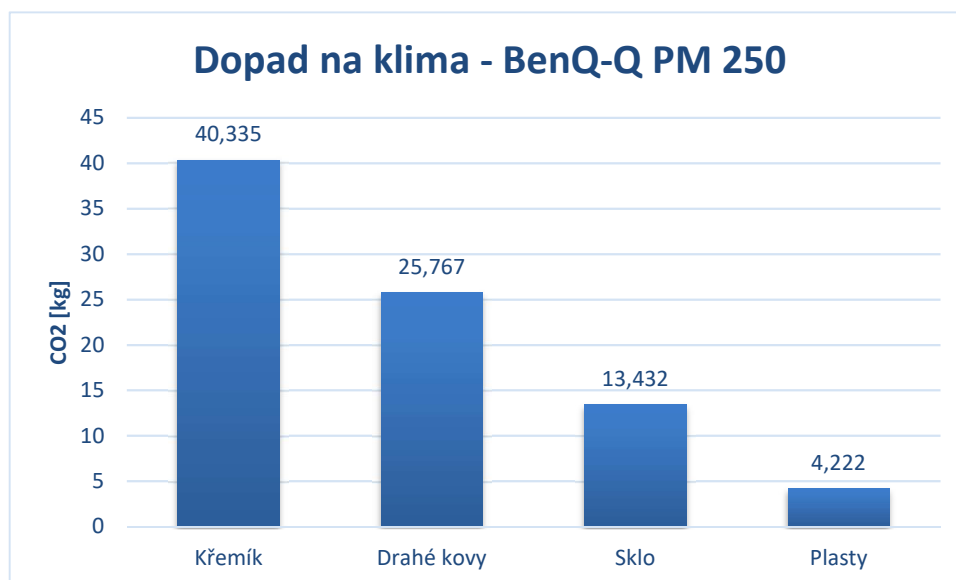
V příloze č. 5 této práce jsou zobrazeny dílčí dopady panelu Solar Frontier SF 160-S, které se podílejí na klimatické změně. Chronologicky nejvíce se na nich podílejí těžba a zpracování vzácných kovů a výroba skla, dále spotřeba energie potřebné pro recyklaci a výroba plastů.

Obrázek 17 Zásadní procesy podílející se na klimatických změnách u FV panelu Solar Frontier SF 160-S



Příloha č. 6 diplomové práce zobrazuje dopady panelu BenQ-Q PM 250, u kterého má na klimatické změny největší podíl produkce křemíku, zpracování vzácných kovů, výroba skla a plastů.

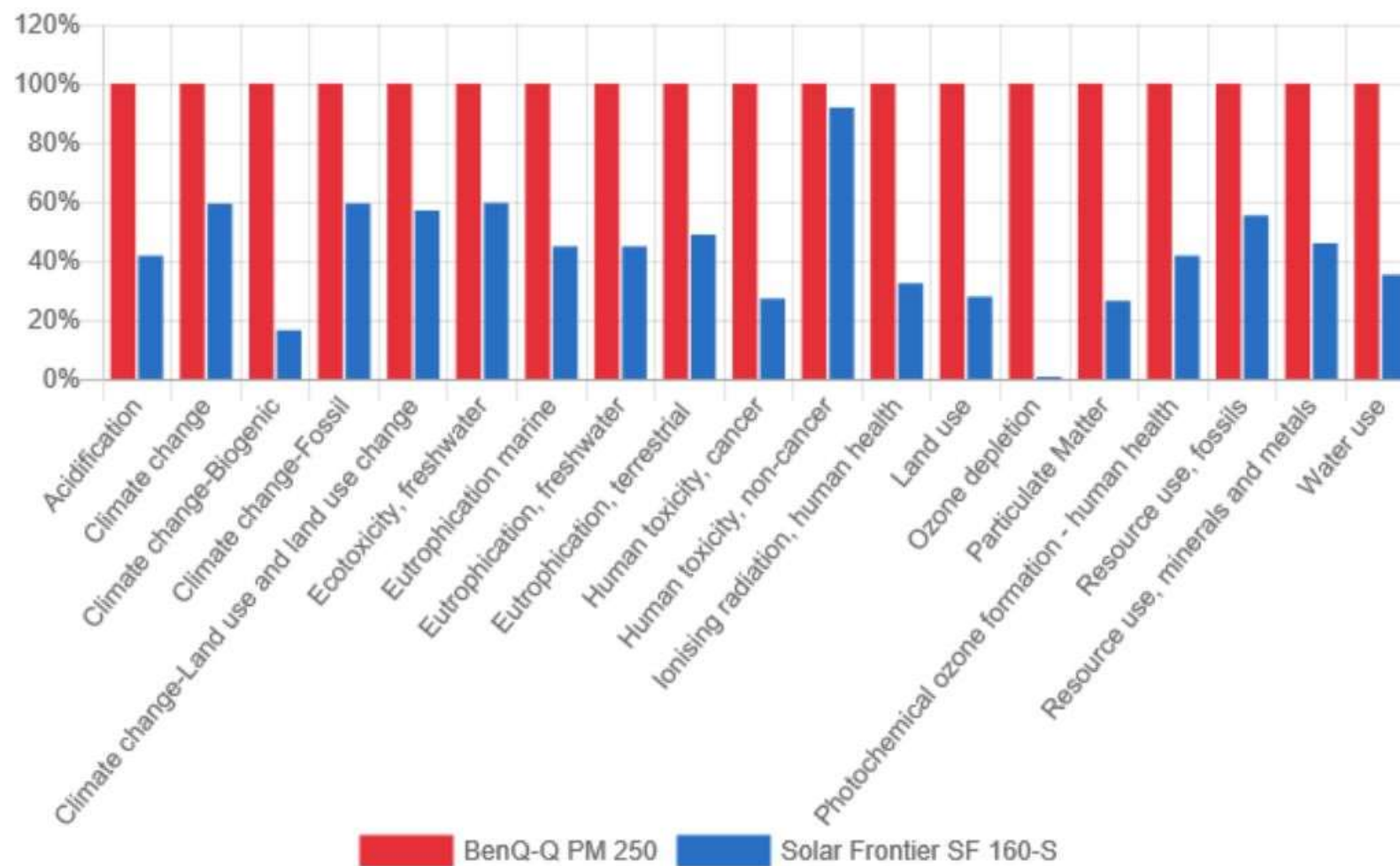
Obrázek 18 Zásadní procesy podílející se na klimatických změnách u FV panelu BenQ-Q PM 250



6.6 Vzájemné porovnání

V rámci programu openLCA, bylo provedeno environmentální porovnání dvou vytvořených modelů, jehož výsledkem je grafické znázornění (obrázek č. 17) výsledků jednotlivých kategorií pro každý z panelů. Data jsou vztažena k % zastoupení v jednotlivých kategoriích.

Obrázek 19 Vzájemné porovnání environmentálních dopadů v jednotlivých kategoriích u posuzovaných panelů (hodnoty prezentují % zastoupení)



6.7 Přepoččet na vzorovou FVE

Pro doplnění výše uvedených výsledků, je v tabulce č. 19 kvantifikováno potencionální množství odpadu a získaného recyklovaného odpadu za předpokladu maximální výtěžnosti při recyklaci.

Obrázek 20 Potencionální množství vzniklého odpadu, rozděleného podle jednotlivých látek/materiálů pro celou FVE s kvantifikací předpokládané výtěžnosti materiálu při recyklaci

Polykrystalický panel BenQ PM 250 o váze 18,5 kg, v množství 30 ks Tenkovrstvý panel Solar Frontier SF160-S o váze 20 kg, v množství 70 ks			
Složení/Materiál	Množství [kg]	Výtěžnost recyklace [%]	Možný získaný materiál [kg]
Sklo	1548,00	95	1470,6
Hliník	256,80	100	256,8
Plasty	103,20	95	98,04
Křemík	16,80	85	14,28
Kovy (Pb, Ag, Cu)	19,70	100	19,7
Střídač	11,10	80	8,88

Při maximálním zisku v rámci recyklačního procesu je z celkového potenciálně vzniklého objemu odpad o hmotnosti 1955,60 kg, z čehož je celkem recyklováno 1868,30 kg surovin, které lze opětovně využít. Recyklačními metodami tedy lze získat až 95 % recyklovaných surovin. Proces vlastní recyklace, kterým vzniknou recyklované suroviny, které lze využít zpět jako vstupní suroviny do celého zpracovatelského procesu velmi zásadně ovlivňuje další dopady, které tímto procesem mohou být ovlivněny. Jedná se zejména o těžbu primárních surovin, jejich přepravu a úpravu do použitelného stavu. Tyto procesy nejen, že omezí další získávání primárních surovin, ale zároveň ušetří ohromné množství vstupní energie, která je potřebná pro zpracování surovin na úroveň použitelnosti.

7 Diskuse

Na celém světě se zpracovávají LCA studie za účelem zjištění environmentálních dopadů, které jsou antropogenní činnostmi vytvářeny. Mnoho společností toto činí i za účelem CSR (*Corporate Social Responsibility*), tj. Společenská odpovědnost firem, aby v rámci své činnosti eliminovaly negativní environmentální dopady, které pocházejí z jejich činností. Přestože je při zpracování LCA neomezený prostor k jejímu zpracování, je velmi limitující množství, konzistence a kvalita dat, které jsou obsažené v databázích, které jsou průběžně aktualizované. Pro zpracování studií je ale velmi podstatný lidský faktor, který do celého procesu vstupuje, protože svým výběrem materiálů, látek, procesů může, byť zcela nevědomě ovlivnit celý výsledek, a to pouhou záměnou podobných látek, materiálů vstupujících do procesu (Kočí, 2010).

Cesta k získávání energie z obnovitelných zdrojů energie je zcela jistě velmi chvályhodná a pro celou společnost přínosná, ale jaký bude přístup jednotlivých států k této problematice bude velmi diskutabilní. Např. Spolková republika Německo se vydává cestou odstavením jaderných elektráren s tím, že elektřinu vyrobenou z těchto zdrojů nahradí tou z obnovitelných zdrojů. Na druhé straně Čína v současné době získává více jak polovinu ze svého energetického mixu z uhelných elektráren. Do roku 2030 by chtěla tento podíl na získávání energie z uhelných elektráren snížit na polovinu a zvýšit podíl na získávání energie z obnovitelných zdrojů (Ma, 2017). V případě České republiky by v případě odstavení uhelných elektráren chybělo ve výrobě cca 41 380 GWh, které by bylo potřeba nahradit. Jenže v současné době se výroba z OZE (energie vyrobená z obnovitelných zdrojů) pohybuje na hodnotách cca 6145 GWh a prostor pro budování velkých parků, ať už se jedná o větrné nebo solární moc není a zisk z vodní energetiky je zdoluhavý proces. Pro získávání energie je též podstatná geografická poloha a státy s velkou rozlohou, nízkým stupněm zalidnění a malou technickou infrastrukturou toho mohou snáze využít a budovat tyto OZE, než je tomu např. v podmínkách České republiky.

Rozvoj FV energetiky je velmi pravděpodobně nevyhnutelný a v návaznosti na získaná a reprezentovaná data v této diplomové práci a po provedené studii LCA na dvou vzorových FV panelech, je nutno podotknout, že zpracování detailních studií, které budou hodnotit environmentální dopady těchto systémů je zcela nemožné. V rámci jednotlivých procesů by musela být podchycená veškerá činnost, která souvisí již s prvním kopnutím do země až po likvidaci posledního vzniklého odpadu.

V této souvislosti je za celé ty roky, kdy se v různých odvětvích studie LCA provádějí již mnoho zpracovaných studií a zpřístupněných procesů, ale povětšinou neobsahují všechny návazné procesy, které se výroby FV panelů týkají. I kdyby ale byly detailně popsány jednotlivé procesy, jsou zde velmi podstatná fakta, která nelze opominout. Složení jednotlivých FV panelů je velkou neznámou. Mnoho autorů uvádí různá data, která pochází z literatury nebo z jejich vlastních rozborů, ale při pohledu do nich dochází až k extrémnímu rozptylu v uváděných datech (Paiano a kol., 2015; Bine, ©2010; Savvilotidou a kol., 2016; Berger a kol., 2009). Jak bylo i v této práci prezentováno, tak vstupní data a objemy látek pro výrobu jsou velmi podstatné. Pokud v rámci LCA studií budou v procesu vstupovat např. vzácné kovy, jejichž zpracování je energeticky velmi náročné, tak by se bude jednat o gramy v rámci jednotlivých panelů, tak v celku budou výsledky zcela zkreslené. Tuto skutečnost lze ovlivnit již samotným návrhem výrobku, který bude maximálně odpovídat standardům ekodesignu (Remtová, 2003), ale zásadní skutečností je známost obsahu jednotlivých panelů. Nazvěme to rodným listem FVP. Při uvádění výrobku na trh nebo jeho distribuci prostřednictvím oprávněného distributora, by bylo z onoho rodného listu patrné, o jaký výrobek se jedná, z jakých látek, potažmo materiálů je složen a jaký obsah těchto látek je ve výrobku obsaženo. Tyto informace by též uváděly, kterých výrobních řad se toto materiálové složení týká. Tyto informace by garantoval buď výrobce nebo akreditované laboratoře. Bohužel se obávám, že by informace mohly být tendenční a nereflekovaly by skutečné hodnoty. Pak by byla možnost, že na základ předloženého konkrétního výrobku by dotčený stát nebo společenství států provedlo vlastní analýzu. Tento rodný list by pro budoucí potřeby zpřehlednil, s čím se budou jednotlivé státy v budoucnu potýkat po konci jejich životnosti. Možná by i někteří výrobci v případě nutnosti zveřejňovat tyto informace optimalizovali složení i s ohledem na svojí CSR. V rámci České republiky by to kolektivním systémům, které jsou odpovědné za následnou likvidaci vysloužilých FV panelů zcela jistě usnadnilo plánování a zpřehlednilo by to situaci s čím se budou potýkat. Na druhou stranu by to v rámci trhu přineslo určité podnikatelské příležitosti, protože by ze složení bylo patrné, jaké objemy jednotlivých materiálů se budou recyklovat a plánovat jejich další využití, ať už se jedná o likvidaci nebo zpětné využití, případně obchodování zejména se vzácnými kovy.

S výše uvedeným souvisí i vlastní recyklace panelů. V současné době i jak bylo uvedeno v rámci práce se jedná o dvě technologie. Termicko – chemická metoda, která je energeticky náročná a obsahuje velký podíl práce, ale umožňuje získat celé komponenty, které lze následně vrátit do celého procesu. U této metody prakticky

neexistují data, která by umožňovala posuzování v rámci studií LCA a vyhodnocení jakým způsobem je tato metoda recyklace přínosná. Mechanicko – chemická metoda recyklace umožňuje za kratší čas likvidaci velkého množství panelů. Až vzejde v platnost zákon, o výrobcích s ukončenou životností, bude na kolektivní systémy kladen ještě větší důraz, než je tomu v současné době a navržené změny by určitě uvítaly.

Problematikou likvidace panelů, mapování procesů likvidace i výroby pro potřeby kvantifikace environmentálních dopadů, která bude následovat s rozvojem fotovoltaiky, by se měly podílet jak státní správa, která bude pomocí grantů financovat projekty k mapování procesů nebo způsobů optimalizace recyklačních procesů, tak soukromé subjekty, které se touto problematikou zabývají, ať jsou to distributoři, výrobci nebo správci kolektivních systémů či jiné subjekty, tak i akademické obce.

Pro stanovené hypotézy této práce byly nalezeny odpovědi, které reflektují zjištění a výsledky této práce. Data uváděná v odborné literatuře jsou velmi rozmanitá a lze je využít pro zpracování obecné LCA studie, ale povětšinou nikoliv na konkrétní FV panel. Použitá databáze Environmental Footprint obsahuje velké množství procesů napříč různými průmyslovými odvětvími, ale pro metody recyklace FV panelů nikoliv. Tento fakt ve skutečnosti ovlivňuje i výsledky zpracování LCA studií, poněvadž jednotlivé vstupy a výstupy recyklačních metod nejsou zmapovány. V rámci této práce má větší environmentální dopady na změnu klimatu polykrystalický panel. U polykrystalického panelu je více dílčích vstupů, než je tomu u amorfního panelu, čímž mohou být výsledky ovlivněny. Na území ČR mají právě tyto panely největší podíl v počtu instalovaných panelů. Za předpokladu maximální výtěžnosti recyklace jednotlivých materiálů z FV panelů, lze získat nazpět 95 % recyklovaných surovin, které lze dále navracet do výrobního procesu.

8 Závěr a přínos práce

Diplomová práce se zabývá problematikou vybraných fotovoltaických panelů, u kterých byla následně provedena základní LCA studie.

Při získávání dat k sestavení vstupních materiálů/látek pro sestavení procesu výroby FV modulu bylo zjištěno, že v literatuře se vyskytuje množství nekonzistentních dat. Dále bylo zjištěno, že prakticky neexistují vstupní data pro jednotlivé recyklační metody, která by se mohla používat při sestavování studií LCA. Většina primárních dat uvedených v různých databázích pochází z databází Ecoinvent a Thinkstep. Kvalita a relevantnost vstupních materiálů/látek do procesu LCA je podstatná pro relevantnost interpretovaných hodnot.

V rámci vlastního zpracování studie bylo zjištěno, že FV panel BenQ-Q PM 250, má o 28 % větší dopad na klimatickou změnu, než FV panel Frontier Solar SF 160-S.

S ohledem na získané poznatky lze jen doporučit, aby při výrobě nebo distribuci FV panelů vznikal tzv. rodný list FVP, který by obsahoval pro daný panel materiálové složení pro účely jeho budoucí recyklace a možnosti volby vhodné recyklační metody.

S ohledem na závěry práce, by bylo vhodné provést dále materiálovou analýzu konkrétních typů FV panelů a provést aktualizaci studie LCA, na základě takto získaných, konkrétních dat.

9 Seznam použité literatury

Bechník B., 2009: Historie a perspektivy OZE – fotovoltaika, technologie krystalického křemíku (online) [cit. 2020.12.05], dostupné z: <<https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5470-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-technologie-krystalickeho-kremiku>>.

Bechník B., 2011: Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti (online) [cit. 2020.11.25], dostupné z: <<https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti>>.

Berger W., Simon G. F., Weimann K., Alsema A. K., 2009: A novel approach for the recycling of thin film photovoltaic modules. Resources, Conservation and Recycling. 54 (2010): 711 – 718 s.

Bevk T., Golobič M., 2020: Contentious eye-catchers: Perceptions of landscapes changed by solar power plants in Slovenia. Renewable Energy 152: 999 – 1010 s.

BINE, ©2010: Recycling photovoltaic modules (online) [cit. 2020.12.01], dostupné z <<http://www.bine.info/en/publications/publikation/recycling-von-photovoltaik-modulen/>>.

CNE, ©2015: Fotovoltaické systémy pro výrobu elektřiny (online) [cit. 2020.11.27], dostupné z: <<http://www.cne.cz/seniori/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>>.

Černý M., 2018: Životní cyklus fotovoltaických panelů a způsobů jejich současné likvidace. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Katedra aplikované ekologie, Praha. 83 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.

Černý M., 2018: Životní cyklus fotovoltaických panelů a způsobů jejich současné likvidace. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha. 83 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.

ČSN EN ISO 14040:2006: Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Zásady a osnova. Český normalizační institut. Praha, 2006. 36 s.

ČSN EN ISO 14044: Environmentální management – Posuzování životního cyklu – Požadavky a směrnice. Český normalizační institut. Praha, 2006. 68 s.

ČVÚT, ©2015: Ekonomická bilance výroby a likvidace fotovoltaických modulů instalovaných v ČR. ČVÚT, Praha. 56 s.

da Silva G.D.P., Branco D.A.C., 2018: Is floating photovoltaic better than conventional photovoltaic? Assessing environmental impacts. Impact Assess. Project Appraisal 36 (5): 390 – 400 s.

ERU, ©2019: Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy v ČR. ERÚ, Praha. 50 s.

ESU-services Ltd., 2018: Life cycle inventory databases used for our consultancy projects. ESU-services Ltd., Schaffhausen, 13 s.

Fejfar A, Ledinský M., 2015: Fotovoltaické využití energie světla ze Slunce, Československý Časopis pro Fyziku. 65, 384 – 388 s.

Fejfar A., 2006: Fotovoltaika druhé a třetí generace (online) [cit. 2020-11.23], dostupné z: <<https://www.tzb-info.cz/3506-fotovoltaika-druhe-a-treti-generace>>.

Ficek T., 2012 Vliv proměnné intenzity na účinnost fotovoltaického panelu. Masarykova univerzita v Brně, Pedagogická fakulta, Brno. 57 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. MUNI v Brně.

Granta G., Moscardini E., Pagnanelli F., Toro L., Havlik T., 2014: Recycling of photovoltaic panels by physical operations. Solar Energy Materials and Solar Cells vol. 123, issue 10, s. 90 – 108 s.

GreenDelta, 2016: PSILCA – A Product Social Impact Life Cycle Assessment database. GreenDelta, Berlin, 99 s.

GreenDelta, 2020: Product Environmental Footprints – Secondary Data in openLCA. GreenDelta, Berlin, 23 s.

Grofová J., 2009: Studium vybraných aspektů fotovoltaického systému. Masarykova univerzita v Brně, Pedagogická fakulta, Brno. 77 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. MUNI v Brně.

Havel J., 2020: Technologické možnosti materiálové recyklace fotoelektrických článků. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická, Katedra elektroenergetiky a ekologie, Plzeň. 46 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. ZČU v Plzni.

Held M., 2013: LCA screening of recycling proces for silicon based PV modules Fraunhofer IBP (online) [cit. 2020.11.25], dostupné z: <http://www.pvcycle.org/wp-content/uploads/Fraunhofer_3rd-RC_2013.pdf>.

Henze A., 2010: Elektrický proud ze slunce: fotovoltaika v praxi: technika, přehled trhu, návody ke stavbě. Nakladatelství HEL, Ostrava, 136 s.

ISO, 2009: Environmental management. The ISO 14000 family of International Standards. Press ISO Central Secretariat, Geneve, 12 s.

Javůrková A., 2011: Elektroodpad a kolektivní systém. Moravská vysoká škola Olomouc, Ústav marketingu a managementu, Olomouc. 64 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. Moravská vysoká škola Olomouc.

Ječmen J., 2018: Softwarové nástroje pro modelování životního cyklu. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta životního prostředí, Katedra aplikované ekologie, Praha. 71 s. (bakalářská práce). „nepublikováno“. Dep. SIC ČZU v Praze.

JRC, 2010: General guide for Life Cycle Assessment – Detailed guidance. Press Publications Office of the European Union, Luxembourg, 398 s.

Kočí V., 2009: Posuzování životního cyklu Life Cycle Assessment – LCA. Nakladatelství Vodní zdroje Ekomonitor, Chrudim, 263 s.

Kočí V., 2010: Metoda posuzování životního cyklu a chemický průmysl. Chemické listy 104. 921 – 925 s.

Kočí V., Hodková J., Lhoták P., Remtová K., Lupíšek A., Šrámek O., 2012: LCA a EPD stavebních výrobků. Posuzování životního cyklu a environmentální prohlášení o produktu jako cesta k udržitelnému stavebnictví. Nakladatelství Česká rada pro šetrné budovy, Praha, 151 s.

Krutiš P., ©2016: Na britský trh byl uveden první oboustranný solární panel (online) [cit. 2020.12.07], dostupné z: <<http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/na-britsky-trh-byl-uvaden-prvni-oboustranny-solarni-panel/>>.

Libra M., Poulek V., 2010: Fotovoltaika, teorie i praxe využití solární energie, kniha monografie, ILSA, Praha, 165 s.

Ma X., 2017: Natural gas and energy revolution: A case study of Sichuan-Chongqing gas province. Natural Gas Industry B. Volume 4, Issue 2: 91 – 99 s.

Menoufi, K., ©2011: Life Cycle Analysis and Life Cycle Impact Assessment methodologies: A state of the art. Universitat de Lleida, Escola Politecnica Superior, Lleida. 84 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. Universitat de Lleida in Lleida.

MPO, ©2019: Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu. MPO, Praha, 52 s.

MŽP, ©2020: Návrh zákona o vybraných výrobcích s ukončenou (online) [cit. 2020.12.05], dostupné z: <https://www.mzp.cz/cz/vyrobky_zivotnost_zakon>.

openLCA, ©2020: About GreenDelta (online) [cit. 2018.04.09], dostupné z <<http://www.openlca.org/greendelta/>>.

Paiano A., Gaustad G., Moscardini E., Havlik T., Toro L., Weir G., 2015: Photovoltaic waste assessment in Italy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 41, issue 10, s. 99 – 112 s.

Radziemska E., Ostrowski P., 2010: Thermal and LaserProcesses in Recycling of Photovoltaic Silicon Solar Cells and Modules. Ecological Chemistry and Engineering 17 (3), 385 – 391 s.

Radziemska E., Seramak T., Ostrowski P., 2008: Pure silicon recovering from photovoltaic modules: Advances in Materials Sciences, 8(4), 28 – 34 s.

Remtová K., 2003: Ekodesign. Nakladatelství MŽP, Praha, 16 s.

Remtová K., 2003: Posuzování životního cyklu – METODA LCA. Nakladatelství MŽP, Praha, 15 s.

Sala S., Vasta A., Mancini L., Dewulf J., Rosenbaum E., 2015: Social Life Cycle Assessment - State of the art and challenges for supporting product policies. JRC Science Hub, 90 s.

Savvilotidu V., Antoniou A., Gigarakos E., 2017: Toxicity assessment and feasible recycling process for amorphous silicon and CIS waste photovoltaic panels. Waste Management 59 (2017): 394 – 402 s.

Sharp, ©2013: Sharp Develops Concentrator Solar Cell with World's Highest Conversion Efficiency of 44,4 % (online) [cit. 2020.12.01], dostupné z: <<http://global.sharp/corporate/news/130614.html>>.

Shukla A., Kant K., Sharma A., Biwole P., 2017: Cooling methodologies of photovoltaic module for enhancing electrical efficiency: A review, *Solar Energy Materials & Solar Cells*. 160, 275-286 s.

Skacelsolar, ©2014: Účinnost solárních panelů (online) [cit. 2020.11.27], dostupné z: <<http://www.skacelsolar.cz/obory/fotovoltaiicke-elektrarny/nejcastejsi-dotazy>>.

Solar Frontier, ©2019: Solar Frontier Achieves World Record Thin-Film Solar Cell Efficiency of 23,35 % (online) [cit. 2020.12.01], dostupné z: <https://www.solar-frontier.com/eng/news/2019/0117_press.html>.

Sphera Solutions, ©2020: GaBi LCA Databases (online) [2020.12.01], dostupné z <<http://www.gabi-software.com/databases/gabi-databases/>>.

Švančarová, M., ©2016: Kolektivní systém nakládání s mobilními telefony a jeho dopady na životní prostředí. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha. 102 s. (diplomová práce). „nepublikováno“. Dep. Univerzita Karlova v Praze.

Vaněček M., Fejfar A., 2010: Fotovoltaika – jaká je nejlepší dostupná technologie (online) [cit. 2020.11.25], dostupné z: <<https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaiika/6327-fotovoltaiika-jaka-je-nejlepsi-dostupna-technologie>>.

Vaněk J., 2010: Diagnostické metody fotovoltaických článků (online) [cit. 2020.11.30], Dostupné z: <<http://www.asbportal.cz/tzb/fotovoltaiika/diagnosticke-metody-fotovoltaiickych-clanku>>.

Werner J., 2004: Second and Third Generation Photovoltaics - Dreams and Reality, *Adv. Solid State Physics*, sprinter, vol. 44, 566 s.

Wolf A.-M., Pant R., Chomkham Sri K., Sala S., Pennington D., 2012: JRC Reference Report on the International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook. Press Publications Office of the European Union, 65 s.

Zbicinsky I., Stavenuiter J., Kozłowska B., H.P.M. van de Coevering, 2006: Product design and life cycle assessment: book 3 in a series on Environmental management. Baltic University Press, Uppsala, 308 s.

Zhong Z.W., Song B., Loh P.E., 2011: LCAs of a polycrystalline photovoltaic module and a wind turbine: note II. *Renewable Energy*. 36(8): 2227 – 2237 s.

9.1 Seznam obrázků

Obrázek 1 Fáze LCA (převzato z normy ISO 14040:2006)

Obrázek 2 Koncept indikátorů kategorií dopadů (Weinzettel, 2018) (online) [cit. 2020.12.01], dostupné z <<http://martin.feld.cvut.cz/~kudlacek/ETP/tlca.pdf>>.

Obrázek 3 Pohled na solární článek (Wikipedia, ©2020) (online) [cit. 2020.12.01], dostupné z <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/90/Solar_cell.png>.

Obrázek 4 Pohled na jednotlivé typy FVP – zleva krystalický, monokrystalický, tenkovrstvý (Solarmarket, ©2020) (online), [cit. 2020.12.02], dostupné z <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/90/Solar_cell.png>.

Obrázek 5 Environmentální dopady výroby FV panelů o výkonu 1 kWp (ALSEMA, E. A., de WILD, M. J. Reduction of Environmental Impacts in Crystalline Silicon Photovoltaic Technology, An Analysis of Driving Forces and Opportunities, MRS Fall 2007, Boston. 26-29 s. (online) [cit. 2020.11.28], dostupné z <<https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5470-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-technologie-krystalickeho-kremiku>>.

Obrázek 6 Podíl jednotlivých fází na energetické náročnosti výroby FV panelů (Bechník B.: Historie a perspektivy OZE – fotovoltaika, technologie krystalického křemíku) (online) [cit. 2020.12.03], dostupné z <<https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/5470-historie-a-perspektivy-oze-fotovoltaika-technologie-krystalickeho-kremiku>>.

Obrázek 7 Intenzita slunečního záření za období 1994 – 2018 na území České republiky (Solargis, ©2020) (online) [cit. 2020.11.27], dostupné z <<https://solargis.com/maps-and-gis-data/overview>>.

Obrázek 8 Instalovaný výkon FVE v ČR za období 2009 – 2019 (ERU, ©2019) (online) [cit. 2020.11.27], dostupné z <<https://www.eru.cz/zpravy-o-provozu-elektrizacni-soustavy>>.

Obrázek 9 Celkový počet provozoven a instalovaného výkonu FVE v ČR (ERU, ©2019) (online) [cit. 2020.11.28], dostupné z <<https://www.eru.cz/cs/licence/informace-o-drzitelich>>.

Obrázek 10 Očekávaný instalovaný výkon FVE do roku 2029 dle MPO (MPO, ©2019) Vnitrostátní plán České republiky v oblasti energetiky a klimatu) (online) [cit. 2020.11.28], dostupné z <<https://www.mpo.cz/cz/energetika/strategicke-a-koncepcni-dokumenty/vnitrostatni-plan-ceske-republiky-v-oblasti-energetiky-a-klimatu--252016/>>.

Obrázek 11 Grafické znázornění materiálového zastoupení v polykrystalickém panelu (vlastní zpracování)

Obrázek 12 Grafické znázornění materiálového zastoupení v tenkovrstvém panelu (vlastní zpracování)

Obrázek 13 Polykrystalický FV modul BenQ-Q PM 250 (UnboundSolar, ©2020) (online) [cit. 2020.11.29], dostupné z <<https://unboundsolar.com/9120002/auo/solar-panels/au-optronics-auo-solar-ac-unison-pm250ma0-250-watt-ac-solar-panel-solar-panel>>.

Obrázek 14 Výrobní štítek FV panelu BenQ s uvedením místa výroby v ČR (Secondsol, ©2020) (online) [cit. 2020.11.29], dostupné z <<https://www.secondsol.com/en/anzeige/9530/solar-panel/crystalline/poly/benq-solar/pm245p00-255wp#seso-gallery-2>>.

Obrázek 15 Tenkovrstvý FV modul Solar Frontier SF 160-S (Solar Frontier, ©2020) (online) [cit. 2020.11.29], dostupné z <<https://www.solar-frontier.eu/en/products/powermodule/>>.

Obrázek 16 Výrobní štítek FV panelu Solar Frontier s uvedením místa výroby - Japonsko (Solar Frontier, ©2020) (online) [cit. 2020.11.29], dostupné z <<https://www.solar-frontier.eu/en/products/powermodule/>>.

Obrázek 17 Zásadní procesy podílející se na klimatických změnách u FV panelu Solar Frontier SF 160-S

Obrázek 18 Zásadní procesy podílející se na klimatických změnách u FV panelu BenQ-Q PM 250

Obrázek 19 Vzájemné porovnání environmentálních dopadů v jednotlivých kategoriích u posuzovaných panelů (hodnoty prezentují % zastoupení)

Obrázek 20 Potencionální množství vzniklého odpadu, rozděleného podle jednotlivých látek/materiálů pro celou FVE s kvantifikací předpokládané výtěžnosti materiálu při recyklaci

9.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 Výčet komerčních i volně dostupných databází

Tabulka 2 Provozovatelé kolektivních systémů se souhlasem MŽP pro zajištění financování a nakládání s elektroodpady a s historickým elektrozařízením (MŽP, ©2020) (online) [cit. 2020.11.30], dostupné z <https://www.mzp.cz/cz/kolektivni_systemy_oeez>.

Tabulka 3 Vývoj objemu potencialního odpadu z vyřazených FV panelů (vlastní zpracování)

Tabulka 4 Materiálové, váhové složení polykrystalického FV panelu s uvedením možné výtěžnosti recyklace (Havel, 2012)

Tabulka 5 Materiálové, váhové složení tenkovrstvého FV panelu s uvedením možné výtěžnosti recyklace (Havel, 2012)

Tabulka 6 Materiálové zastoupení látek v FV modulech na území ČR k roku 2015 (ČVÚT, ©2015)

Tabulka 7 Hodnoty environmentálních dopadů pro panel Solar Frontier SF 160-S dle vstupních hodnot

Tabulka 8 Hodnoty environmentálních dopadů pro panel BenQ-Q PM 250 dle vstupních hodnot

Tabulka 9 Hodnoty environmentálních dopadů pro posuzované FV panely (výsledek vychází z naměřených hodnot a je vztažený k ploše 1 m² FV panelu)

10 Přílohy

Příloha 1 Technická specifikace FV panelu BenQ-Q PM 250



BenQ PM 250 - EU



Monokrystalické křemíkové fotovoltaické moduly se jmenovitým výkonem 250 až 270 Watt.

BenQ Solar jako divize koncernu AU Optronics vyrábí kvalitní a inovativní výrobky pro zákazníky na celém světě. Uskutečňuje celý výrobní proces od výroby křemíku, přes výrobu buněk, až po moduly. Se zastoupením v Evropě nabízí lokální podporu, jakož i rychlé služby a dodávky svých výrobků.



Rozsah výkonu
250 - 270 Wp



Robustní konstrukce
Moduly jsou testovány aby vydržely zatížení až 540 kg/m²



3 sběrné pásy
Zlepšují přenos proudu a spolehlivost modulu

Certifikace: IEC 61215, IEC 61730, CE

Výroba: ISO 9001 : 2008

Záruky výrobce:

Výrobek: 10 let

Výkon: 10 let/90 %, 25 let/80 % jmenovitého výkonu

Elektrické údaje				
Jmenovitý výkon	Ph	250 W _p	260 W _p	270 W _p
Napětí v bodě max. výkonu	U _{mp}	30,7 V	30,9 V	31,1 V
Proud v bodě max. výkonu	I _{mp}	8,22 A	8,46 A	8,70 A
Napětí naprázdno	U _o	37,8 V	38,0 V	38,2 V
Zkratový proud	I _{sc}	8,66 A	8,78 A	8,90 A
Účinnost modulu (plocha 1,61 m ²)	η _m	13,84 %	14,14 %	14,45 %
Objednávací číslo		A-115-45 m	A-115-46 m	A-115-47 m

Teplotní součinitelé	
Proud (I _{sc})	0,06 % / °C
Napětí (U _o)	- 0,30 % / °C
Výkon (Ph)	- 0,44 % / °C
Limity	
Systémové napětí	1000 Voc
Teplota	- 40°C do + 85°C

Technické údaje			
Laminát	Sklo-EVA-Tedlar	Články	60 (6x10), 156 x 156 mm
Sklo	3,2 mm	Tolerance výkonu	0/+3 %
Rozměry	1639 x 983 x 40 mm	Ochranné diody	3 ks
Váha	18,5 kg	Konektory	MC 4 kompatibilní

Změna vyhrazena!

GBC Montáže s.r.o., U panelámy 10, 772 00 Olomouc, tel.: 585 312 659, 585 312 660, fax: 585 312 915

www.gbc-montaze.cz, e-mail: info@gbc-montaze.cz



Product Overview

SF140-S

SF145-S

SF150-S

SF155-S

SF160-S



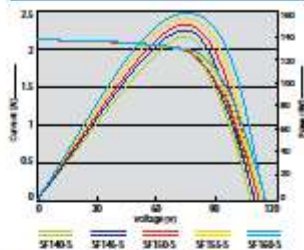
Next Generation CIS

Solar Frontier's new SF140-160 module series offers the highest conversion efficiency of any mass-produced thin-film module, up to 13.0%. All modules are RoHS compliant and cadmium- and lead-free. Fewer production steps and raw materials also mean an industry-leading energy payback time of less than one year. SF140-160 modules are shipped in cardboard-free packaging and use recyclable corner pieces.

Product & Technology Highlights

- Highest efficiency mass-production thin-film module, up to 13.0%
- World record 17.8% achieved in laboratory (30 cm x 30 cm module)
- Light Soaking Effect raises output after installation
- Over 600 MW delivered since 2007
- Based on proprietary R&D since 1978
- Cadmium and lead free
- Energy Payback Time under one year

IV Curve

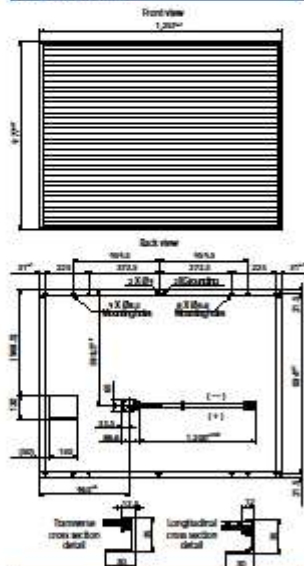


Certificates and Guarantee



All new product classes are subject to immediate certification.
 Product guarantee: 5 years (extended guarantee upon request)
 Power output guarantee: 90% for 10 years, 80% for 25 years

Module Drawing



Contact Information

Solar Frontier K.K.
 (Headquarter)
 Tokyo, Japan Tel: +81 3 5531 5626

Solar Frontier Americas Inc.
 Santa Clara, CA, USA Tel: +1 408 916 4150

Solar Frontier Europe GmbH
 Munich, Germany Tel: +49 89 92 86 142 0

www.solar-frontier.com
www.solar-frontier.eu

STC Characteristics

		SF140-S	SF145-S	SF150-S	SF155-S	SF160-S
Nominal power	P _{max}	140 W	145 W	150 W	155 W	160 W
Module efficiency	%	11.4 %	11.8 %	12.2 %	12.6 %	13.0 %
Power tolerance		+5 W/0 W				
Open circuit voltage	V _{oc}	107.0 V	107.0 V	108.0 V	109.0 V	110.0 V
Short circuit current	I _{sc}	2.10 A	2.20 A	2.20 A	2.20 A	2.20 A
Voltage at nominal power	V _{mpp}	80.5 V	81.0 V	81.5 V	82.5 V	84.0 V
Current at nominal power	I _{mpp}	1.74 A	1.80 A	1.85 A	1.88 A	1.91 A

Standard Test Conditions (STC): 1,000 W/m² irradiance, module temperature 25 °C, air mass 1.5.
 I_{sc} and V_{oc} are ±10 % tolerance of STC rated values. Module output may rise due to the Light Soaking Effect. Subject to simulator measurement uncertainty (using best-in-class AAA solar simulator and applying Solar Frontier preconditioning requirements): +10 %/ -5 %.

NOCT Characteristics

		SF140-S	SF145-S	SF150-S	SF155-S	SF160-S
Nominal power	P _{max}	104 W	108 W	111 W	115 W	119 W
Open circuit voltage	V _{oc}	97.4 V	97.4 V	98.3 V	99.2 V	100.0 V
Short circuit current	I _{sc}	1.68 A	1.76 A	1.76 A	1.76 A	1.76 A
Voltage at nominal power	V _{mpp}	75.5 V	76.0 V	76.4 V	77.4 V	78.8 V
Current at nominal power	I _{mpp}	1.38 A	1.43 A	1.47 A	1.49 A	1.51 A

Nominal Operating Cell Temperature Conditions: Module operating temperature at 800 W/m² irradiance, air temperature 20 °C, wind speed 1 m/s and open circuit condition.

Performance at Low Irradiance

Efficiency reduction of maximum power from an irradiance of 1,000 W/m² to 200 W/m² at 25 °C is typically 2.0 %. The standard deviation for the reduction of efficiency is 1.9 %.

Temperature Characteristics

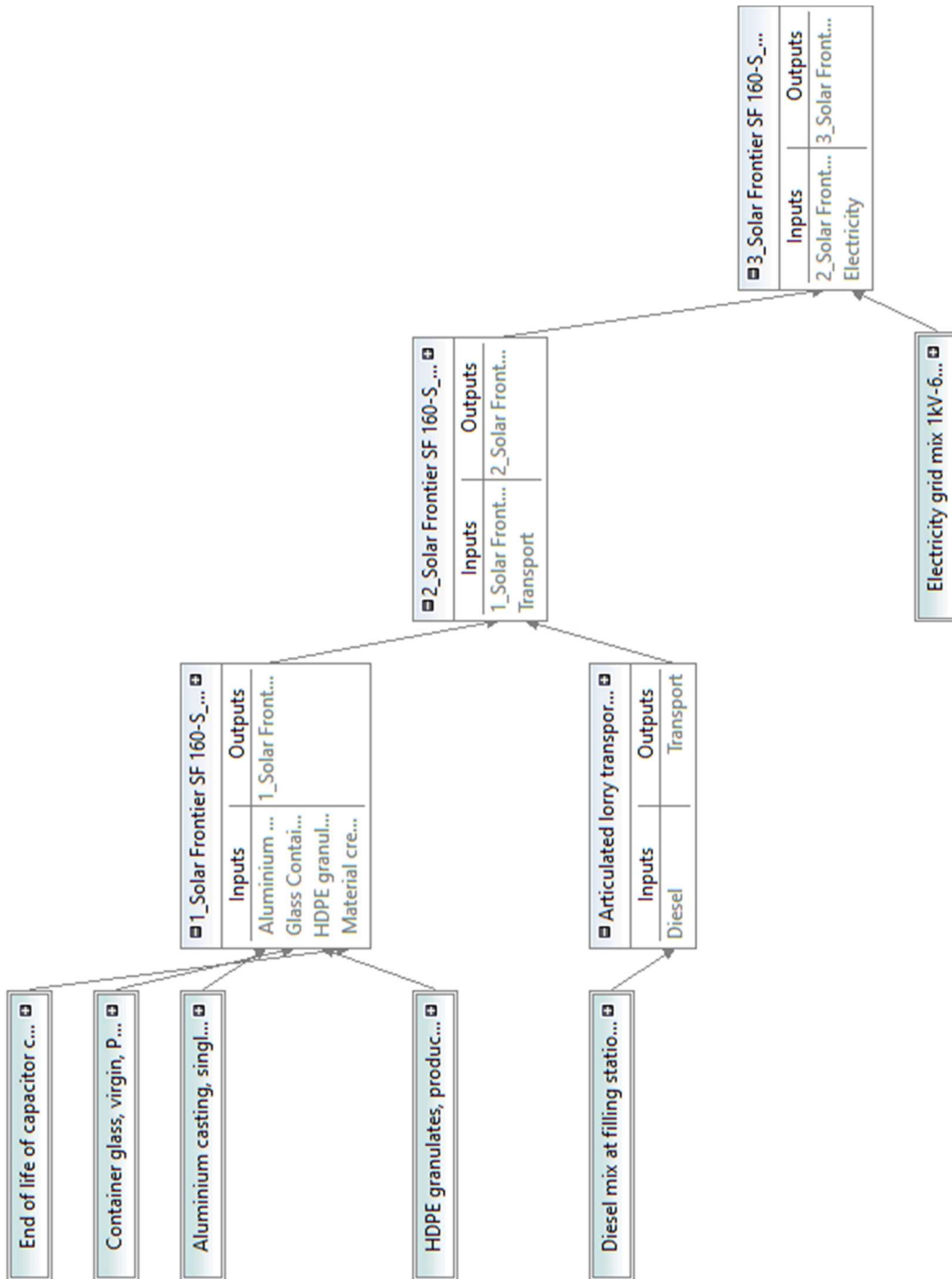
NOCT		47 °C
Temperature coefficient of I _{sc}	α	+0.01 %/K
Temperature coefficient of V _{oc}	β	-0.30 %/K
Temperature coefficient of P _{max}	δ	-0.31 %/K

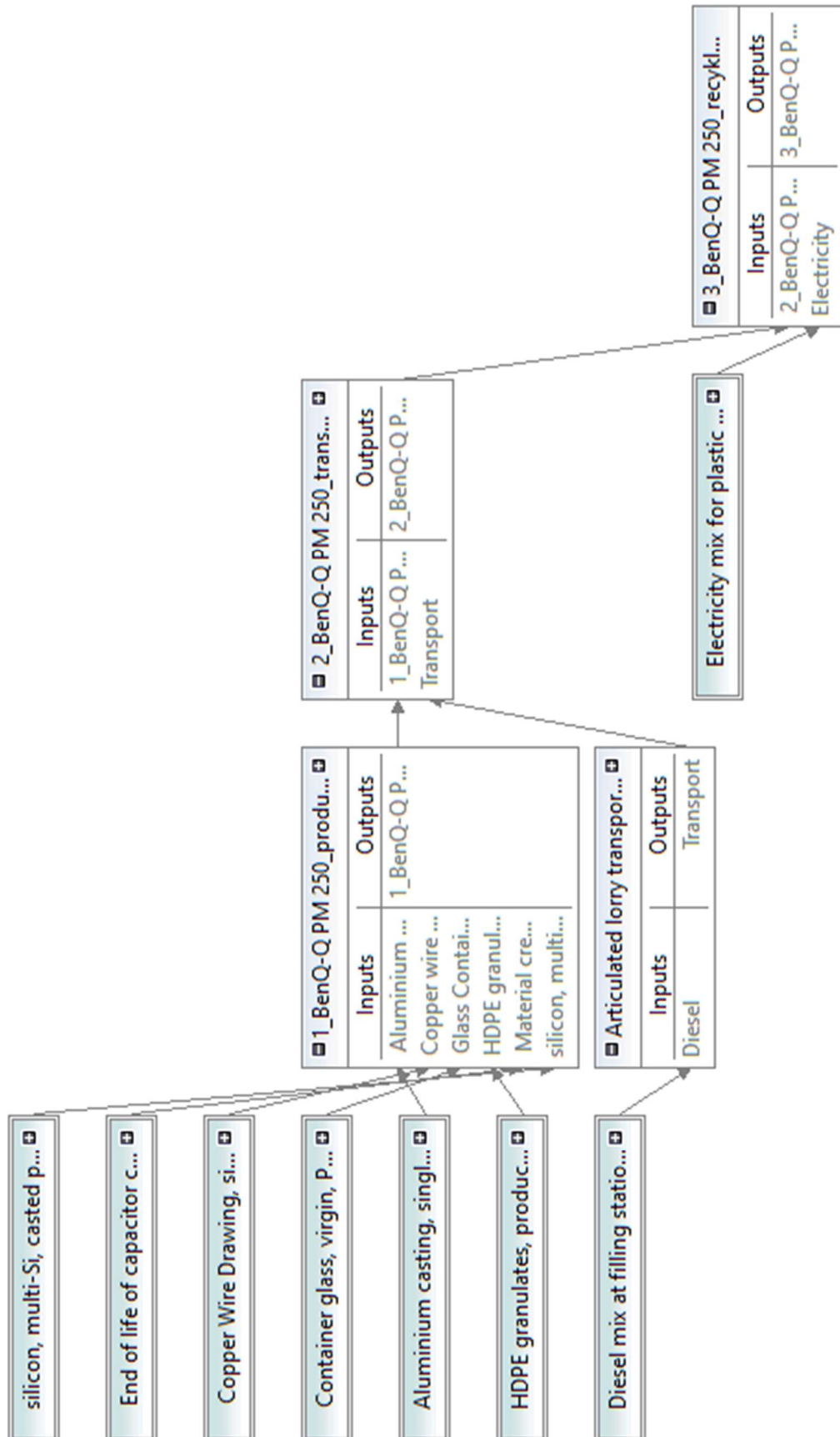
Mechanical Characteristics

Dimensions (L x W x H)	1,257 x 977 x 35 mm (49.5 x 38.5 x 1.4 in.)
Weight	20 kg (44.1 lbs)
Application class (IEC 61730)	Class A
Fire rating (IEC 61730)	Class C
Safety class (IEC 61140)	II
Snow/wind load*	2,400 Pa (IEC 61646) / 1,600 Pa design load (UL 1703)
Cell type	CIS glass substrate (cadmium free)
Front cover	Clear tempered glass, 3.2 mm
Encapsulant	EVA
Back sheet	Weatherproof plastic film (color: black & silver)
Frame	Anodized aluminum alloy (color: black)
Edge sealant	Butyl rubber
Junction box	Protection rating: IP67 (with bypass diode)
Adhesive	Silicone
Output cables (conductor)	2.5 mm ² / AWG14 (halogen free)
Cable lengths (symmetrical)	1,200 mm (47.2 in.)
Connectors	MC4 compatible
Packing information	25 modules/pallet - 36 pallets/40' container (900 modules)

* UL: 1.5 x design load is applied to the module, i.e. 2,400 Pa (50.1 lbf/ft²) is applied to meet the 1,600 Pa UL design load standard.

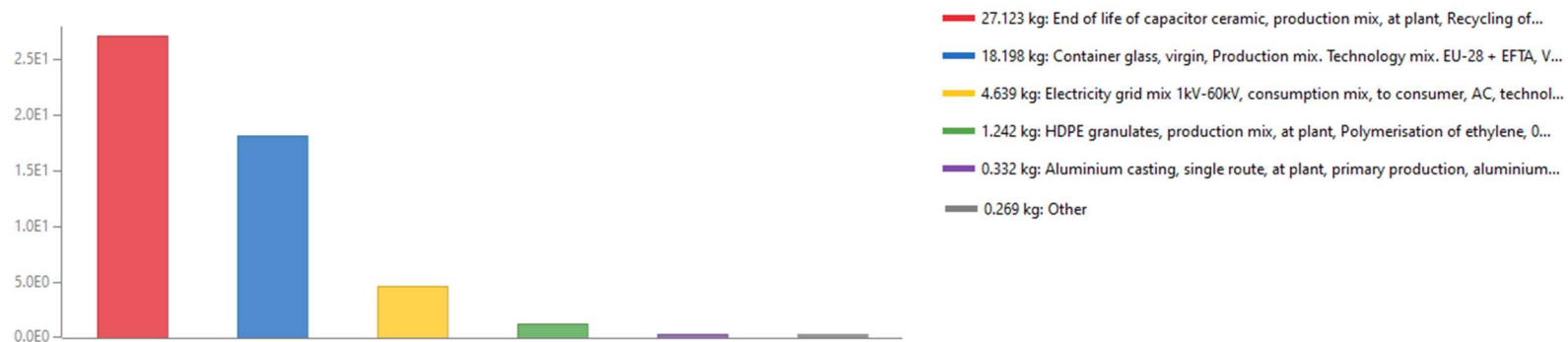
This preliminary data sheet is provided to assist you in evaluating this product that is under development. Solar Frontier reserves the right, at its sole discretion, to change, modify, add or delete portions of the content at any time without notice.





Příloha 5 Environmentální dopady jednotlivých procesů FV panelu Solar Frontier SF 160-S

Impact category



Příloha 6 Environmentální dopady jednotlivých procesů FV panelu BenQ-Q PM 250

Impact category

