

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE

**ZHODNOCENÍ DOSTUPNÝCH TECHNOLOGIÍ
PŘEPRACOVÁNÍ FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

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

Diplomant: Bc. Václav Toman

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Václav Toman

Krajinné inženýrství
Regionální environmentální správa

Název práce

Zhodnocení dostupných technologií přepracování fotovoltaických panelů

Název anglicky

Assessment of Available Reprocessing Technologies of Photovoltaic Panels

Cíle práce

Cílem práce je kritické posouzení ekonomické a environmentální příznivosti současných technologií přepracování fotovoltaických panelů. V teoretické části práce budou popsány typy fotovoltaických panelů, legislativní rámec nakládání s nimi a dostupné technologické způsoby jejich přepracování. Současně budou popsány obecné zásady posuzování životního cyklu. Praktická část práce bude zpracována formou případové studie pro vybrané typy fotovoltaických panelů.

Metodika

Diplomová práce má charakter studie. Metodicky půjde o vytvoření aktuálního literárního přehledu z dané oblasti a zpracování praktické části, která bude realizována formou laboratorních a technických zkoušek ve spolupráci s vybraným komerčním subjektem. Modelovací práce budou realizovány ve vybraném SW nástroji.

Doporučený rozsah práce

panel, fotovoltaický, odpad, technologie, přepracování, dopad, materiálové využití

Klíčová slova

cca 80 stran + 10 stran příloh

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.
- 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.
- KURAŠ, M. *Odpady a jejich zpracování.* Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2014. ISBN 978-80-86832-80-7.
- 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.
- Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, v pozdějším znění a příslušné prováděcí předpisy k tomuto zákonu.

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Lenka Wimmerová, MSc., Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 2. 2. 2021

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 10. 2. 2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 22. 02. 2021

Čestné prohlášení.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Zhodnocení dostupných technologií přepracování fotovoltaických panelů 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 se na moji diplomovou práci plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla. 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 Sušici dne 30.3. 2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval své vedoucí paní Ing. Lence Wimmerové, MSc., Ph.D. za vedení mé diplomové práce.

Děkuji své rodině a manželce za trpělivost a podporu při studiu na vysoké škole.

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na životní cyklus, opětovné použití a zhodnocení dostupných technologií přepracování fotovoltaických panelů. Zaměřuje se na počátky těžby surovin, zpracování až po instalaci panelů, které jsou již dnes po celé republice rozmístěny vesměs na zemědělské půdě jako solární farmy či na budovách firem a rodinných domů.

Fotovoltaické panely (FVP) lze recyklovat téměř z 95 %, legislativa ČR přikazuje jejich recyklaci v rozsahu nejméně 80 % průměrné hmotnosti. Vrcholem recyklačního procesu, které v hierarchii nakládání s dosloužilými FVP má tu nejvyšší prioritu, je tzv. opětovné použití. Jedná se o proces, který posoudí vhodnost dalšího použití každého jednotlivého FVP. Opětovně použitelné FVP se použijí v místech, kde není na překážku jejich snížená účinnost či různorodost. Panel začíná produkovat „zelenou energii“ po desátém roku své existence při předpokladu výroby 175 kWh za rok.

Vlastní studie proběhla pro krystalicko-křemíkový panel, kde byla provedena materiálová analýza panelu, srovnání dostupných technologií pro daný typ panelu, ekonomické posouzení nákladů na zpracování FV panelu a porovnání s cenou vybíranou za recyklační poplatek. V rámci materiálové analýzy pro krystalicko-křemíkový panel, byla zjištěna shoda s již provedenými rozbory a odbornou literaturou. Tuto skupinu lze recyklovat v námi analyzovaných recyklačních technologiích. Z ekonomické analýzy vyplynula skutečnost nereálné možnosti likvidace za současný recyklační poplatek. Z historického poplatku lze uhradit pouze náklady likvidace pro skupinu krystalicko-křemíkových panelů s hliníkovým rámem a kabely.

Klíčová slova: panel, fotovoltaický, odpad, technologie, přepracování, dopad, materiálové využití

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on the life cycle, reuse and evaluation of available technologies for reprocessing photovoltaic panels. It focuses on the beginnings of mining of raw materials, processing after the installation of panels, which are already distributed throughout the country, mostly on agricultural land such as solar farms or on the buildings of companies and houses.

Photovoltaic panels (FVP) can be recycled almost from 95 %, the legislation of the Czech Republic requires their recycling to the extent of at least 80 % of the average weight. The culmination of the recycling process, which has the highest priority in the hierarchy of waste disposal, is the so-called reuse. This is a process that assesses the suitability of further use of each individual FVP. Reusable FVPs shall be used in places where their reduced efficiency or diversity is not an obstacle. The panel starts producing '*green energy*' after the tenth year of its existence, assuming a production of 175 kWh per year.

The study part of the thesis was carried out for a crystalline-silicon panel, where a material analysis of the panel, a comparison of available technologies for this type of panel, an economic assessment of the costs of processing the PV panel and a comparison with the price charged for the recycling fee were performed. Within the material analysis for this crystalline-silicon panel, the agreement with the previously performed analyses and the scientific literature was found. This panel group can be recycled by the recycling technologies, which was assessed. The economic analysis revealed the unrealistic possibility of disposal of these FV panels for the current recycling fee. Only the disposal costs for a group of crystalline-silicon panels with an aluminium frame and cables can be paid from this historical fee.

Keywords: panel, photovoltaic, waste, technology, reprocessing, impact, material utilization

OBSAH

1	Úvod	2
2	Cíle diplomové práce	3
3	Literární rešerše	4
3.1	Historie	4
3.2	Legislativa	5
3.2.1	Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech	6
3.2.2	Zákon č. 542/2020 Sb., o výrobcích s ukončenou životností	7
3.2.3	Vyhláška 352/2005 Sb.	10
3.2.4	PV Cycle.....	13
3.3	Kolektivní systémy	13
3.3.1	Podstata vzniku kolektivního systému	13
3.3.2	Charakterizace kolektivních systémů	14
3.3.3	Účastníci kolektivních systémů	15
3.4	Hodnocení životního cyklu – LCA	17
3.4.1	Schéma LCA metody	18
3.4.2	Inventarizační analýza (LCI):.....	19
3.4.3	Posuzování dopadů (LCIA).....	20
3.4.4	LCA metoda v odpadovém hospodářství:	22
3.5	Fotovoltaický článek	22
3.5.1	Fotovoltaické panely	23
3.6	Druhy FV panelů	24
3.6.1	Panely krystalické.....	24
3.6.2	Panely tenkovrstvé.....	25
3.6.3	Generační vývoj FV panelů.....	25
3.6.4	První generace	25
3.6.5	Druhá generace.....	26
3.6.6	Třetí generace	26
3.6.7	Rozdělení panelů dle technologie výroby a materiálového složení	26
3.7	Technologie výroby FV	27
3.7.1	Výroba monokrystalu křemíku	27
3.7.2	Výroba FV článku	28
3.7.3	Výroba FV panelu	28

3.7.4	Životnost FV panelů	28
3.8	Dopady na životní prostředí	29
3.8.1	Pozitivní dopady na životní prostředí.....	29
3.8.2	Negativní dopady na životní prostředí.....	30
3.9	Oběhové hospodářství	30
3.10	Cíle recyklace odpadů	31
3.11	Recyklované materiály	32
3.12	Technologické překážky	33
4	Metodika	35
5	Současný stav	36
5.1	Recyklace FV	37
5.1.1	Technologie zpracování FV panelů.....	37
5.2	Metody recyklace.....	38
5.2.1	Termicko-mechanická metoda.....	38
5.2.2	Mechanicko – chemická metoda	39
5.3	Výtěžnost materiálů	39
5.4	Nezbytnost zavádění nových recyklačních technologií.....	41
5.5	Vývoj FV v České republice	42
5.6	Současný stav technologií	43
5.6.1	Czech Galmet s.r.o.	43
5.6.2	Reiling Glas Recycling GmbH & Co.....	48
5.6.3	Veolia	54
5.6.4	LuxChemtech GmbH - Freiburger Recycling And Silicon Technology.....	56
6	Výsledky	60
6.1	Materiálová analýza.....	60
6.2	Srovnání technologií na evropském trhu	64
6.3	Opětovné použití	65
6.4	Ekonomická analýza likvidace FV.....	66
7	Diskuze	74

8	<i>Závěr a přínos práce.....</i>	77
9	<i>Přehled literatury a použitých zdrojů.....</i>	78

Seznam zkratek

ČSÚ Český statistický úřad

ČR Česká republika

EIA Vyhodnocení vlivů na životní prostředí (*Environmental impact assessment*)

ERÚ Energetický regulační úřad

EU Evropská unie (*European Union*)

EVA Ethylenvinylacetát

FV Fotovoltaika

FVE Fotovoltaická elektrárna

FVP Fotovoltaický panel

FRELP Plné využití vyřazené fotovoltaiky (*Full Recovery End Life Photovoltaic*)

KS Kolektivní systémy

LCA Posuzování životního cyklu (*Life Cycle Assessment*)

LCI Inventarizační analýza životního cyklu (*Life Cycle Inventory*)

LCIA Posuzování dopadu životního cyklu (*Life Cycle Impact Assessment*)

MPO Ministerstvo průmyslu a obchodu

MŽP Ministerstvo životního prostředí

MZO Místa zpětného odběru

NO Nebezpečný odpad

OEEZ Odpadní elektrické a elektrotechnické zařízení (*WEEE Waste Electrical and Electronic Equipment*)

OTE Operátor trhu s obnovitelnými zdroji energie

OZE Obnovitelný zdroj energie

PVF Polyvinylfluorid

PVC Polyvinylchlorid

TZB Technické zařízení budov

1 Úvod

Neodmyslitelnou součástí moderního člověka se stala v 19. století elektrická energie. Největší podíl vyrobené energie je stále z neobnovitelných zdrojů: fosilních paliv (uhlí, ropa a plyn) a jaderných elektráren. Tyto zdroje jsou vyčerpitelné a přináší s sebou nežádoucí vedlejší produkci (CO₂, aj.). Lidská populace roste exponenciální řadou a hledá alternativy pro výrobu elektrické energie. Jako možné alternativy se jeví formy tzv. čisté energie.

Mezi tyto alternativy se řadí i využití solární energie pomocí fotovoltaických článků. Tato energie je prozatím řazena jako jedna z nečistších forem. Provoz fotovoltaiky je bez emisí, tichý a nenáročný.

Fotovoltaice se v ČR dostalo největšího prostoru pro výstavbu v minulém desetiletí. V roce 2005 vyšel zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů. Tento zákon obsahoval dotační podmínky a garantované výkupní ceny pro tento druh energie. Podmínky byly nastaveny z důvodu dodržení strategie Evropa 2020, což znamenalo mít 20 % energií z obnovitelných zdrojů vůči celkové výrobě.

Výkupní politika státu znamenala povinnost vykoupit od výrobce z OZE veškerý objem elektřiny, jež vyrobí a naměří v předávacím místě výroby elektřiny. Cena byla garantována pouze za podmínek, které byly stanoveny vyhláškou 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 a vyhláškou č. 347/2012 Sb., kterou se stanovily technicko-ekonomické parametry obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny a doba životnosti výroben elektřiny z podporovaných zdrojů zaručila, aby FVE splnila nezbytné technické a ekonomické parametry. Výkupní cena byla oproti zelenému bonusu účtována včetně DPH. Ta byla nastavena tak, aby po dobu životnosti FVE byla výrobcům zaručena návratnost vložených investic. V roce 2005 se tedy garantovala cena 8 189,- Kč za jednu MWh.

2 Cíle diplomové práce

Cílem práce bylo kritické posouzení současných technologických možností recyklace fotovoltaického panelu a jejich ekonomických zhodnocení. Popis obecných zásad posuzování životního cyklu. Dále je popsána legislativa, současné kolektivní systémy zajišťující zpracování elektroodpadu, technologie zpracování FV a jejich dopady na životní prostředí. Případová studie analyzuje vybraný FV panel, který je krystalicko-křemíkový a reprezentuje nejčastěji instalovaný FV panel v ČR, z pohledu materiálového složení či způsobů jeho recyklace včetně možného zpětného použití z pohledu ekonomického porovnání.

3 Literární rešerše

3.1 Historie

Přelom ve FV technologii nastal v roce 1839 objevením fotoelektrického jevu, kdy pozorováním dvou platinových elektrod, ponořených do roztoku a ozářeným slunečním zářením, protéká proud. Za objevitele je považován A.E. Becquerel. Tento jev popsal až v roce 1887 H. Hertz. Vzniká první selenový fotovoltaický článek, jehož tvůrci byli vynálezci W.G. Adamse a R.E. Day. Tento článek měl účinnost pouhé 1%. První křemíkový FV článek byl zkonstruován v roce 1954 a to vynálezci D.M Chapinem, C.S. Fullerem a G.L. Pearsonem. [1]

Rozmach uvedené technologie přichází v 60. letech 20. století, kdy byla tato technologie využívána v kosmickém výzkumu a následných letech do vesmíru, kde sloužili jako zdroj energie. První družice využívající sluneční energii byl ruský Spuntik 3, který byl vyslán do vesmíru v roce 1957. Největší využití začalo následujícího roku u amerického satelitu Vanguard I, kde bylo instalováno 108 solárních článků s účinností 10%. Funkčnost článků předčila očekávání a produkovala energii přes 6 let. [3,4]



Obrázek č. 1: Vanguard I. [2]

Vývojem dnešní společnosti se dostávají FV panely do popředí jako jeden z možných zdrojů tzv. čisté energie. Tuto technologii dnes a denně využíváme v kalkulačkách, dobíjecích stanicích či FVE apod.[3,4]

3.2 Legislativa

V České republice nabyl od 1. 1. 2021 účinnosti nový zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech kde v § 153 a následujících jsou uvedena přechodná ustanovení. Do této doby jsme v právním řádu měli od roku 2002 až do roku 2020 v účinnosti zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů. Nový zákon nejen nahradil zákon původní, ale zrušil i veškeré vyhlášky, které se k původnímu zákonu vztahovaly. K novému zákonu byl zatím vydán jeden prováděcí právní předpis a to vyhláška č. 8/2021 Sb., o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů), která nabyla účinnosti dne 27. 1. 2021.

Historie legislativy s nakládáním odpadu je v České republice poměrně bohatá i přesto, že v 90. letech 20. století byl přístup společnosti vůči koncipování a plánování strategií pozvolný až negativní. První zákon č. 238/1991 Sb., o odpadech, předepisoval zpracování programů odpadového hospodářství. Zájem o odpadové programy se vyvinul postupně se zájmem o ochranu životního prostředí a ekonomické hledisko společnosti. Tyto zmíněné programy upravoval druhý odpadový zákon a to zákon č. 125/1997 Sb., o odpadech. Zpracování plánů odpadového hospodářství ukládal až zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů.

Legislativu našeho právního řádu také obohatila směrnice Evropského Parlamentu a Rady č. 2012/19/EU ze dne 4. července 2012 o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ). V této směrnici je uvedeno, jak nakládat s odpady vzniklými při likvidaci FV panelů a přesně je využívat. Tato směrnice nařizuje od roku 2015 recyklovat FV panely v minimální míře 70 %. Při dodržení této podmínky bylo možné zbylý odpad skládkovat. Pro rok 2021 je minimální úroveň využití těchto panelů 80 %. Další směrnice, kterou Česká republika přijala, byla směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2015/1535 ze dne 9. září 2015 o postupu při poskytování informací v oblasti technických předpisů a předpisů pro služby informační společnosti. Tuto směrnici Parlament České republiky implementoval v podobě zákona č. 542/2020 Sb., o výrobcích s ukončenou životností.

Dále se v této diplomové práci blíže zabývá nově účinným zákonem č. 541/2020 Sb., o odpadech a zákonem č. 542/2020 Sb., o výrobcích s ukončenou životností, který též nabyl účinnosti 1. 1. 2021. Z obou těchto zákonů bude shrnut základní legislativní rámec týkající se zpracování FV panelů, jako nebezpečného odpadu, který musí být zpracován v zákoně stanovených limitech.[5,6,7,8]

3.2.1 Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech

Účelem zákona je „zajistit vysokou úroveň ochrany životního prostředí a zdraví lidí a trvale udržitelné využívání přírodních zdrojů předcházením vzniku odpadů a nakládáním s nimi v souladu s hierarchií odpadového hospodářství za současné sociální únosnosti a ekonomické přijatelnosti tak, aby bylo dosaženo cílů odpadového hospodářství.“ Předmětem úpravy je působnost orgánů veřejné správy v oblasti odpadového hospodářství, dále jsou v zákoně upravena práva a povinnosti osob působící v odpadovém hospodářství, pravidla pro předcházení vzniku odpadu a pravidla pro nakládání s odpadem.

V odpadovém hospodářství je kladen veliký důraz na hierarchii cyklu odpadu. Prioritou hierarchie je snaha předejít vzniku odpadu, pokud je již odpad vytvořen přichází na řadu jeho opětovnému použití, recyklace či jiné využití vč. energetického využití. Pokud ani jednu z těchto možností není možné využít, následuje odstranění odpadu, jako poslední možná varianta. V rámci hierarchie odpadového hospodářství se u každého výrobku nebo materiálu musí zohledňovat jeho životní cyklus, technická proveditelnost a udržitelnost, životní prostředí a ochrana lidského zdraví, cíle, zásady a opatření Plánu odpadového hospodářství České republiky. Hierarchii odpadového hospodářství není nutné striktně dodržovat a je možné se od ní odchýlit a to v případech, kdy by to nebylo vhodné pro životního prostředí nebo ochranu lidského zdraví.

Zákon uvádí, že „každý je povinen při své činnosti předcházet vzniku odpadu, omezovat jeho množství a nebezpečné vlastnosti.“ Je tedy jedno, zda se jedná o právnickou osobu nebo osobu fyzickou, vždy je zde stanovena povinnost zabezpečit v co nejvyšší míře využitelnost odpadu v souladu s hierarchií odpadového hospodářství. Také je možné, že nastane situace, kdy se movitá věc dostane do opětovného používání v rámci svého původního účelu, tím se tato věc nestává odpadem.

Provozovatel zařízení má zákonem striktně stanovená místa, na kterých lze provádět využití odpadu a požadavky, které musí být v souladu s technickými podmínkami zajišťující ochranu životního prostředí a zdraví lidí. V případě, že by v zařízení docházelo k přípravám pro opětovné použití odpadu, je provozovatel zařízení povinen zajistit, aby tyto výrobky splňovaly požadavky na uvádění použitého zboží na trh. V mimořádných případech může nastat situace, kdy využití odpadu, krajský úřad nebo obecního úřadu

obce s rozšířenou působností, nařídí. Náklady vzniklé tímto rozhodnutím hradí orgán veřejné správy, který dané rozhodnutí vydal.

Energeticky využitý odpad je v zákoně uveden pod kódem R1a. Spalování odpadu se považuje za energetické využití odpadu tehdy, pokud „*použitý odpad nepotřebuje po vlastním zapálení ke spalování podpůrné palivo a vznikající teplo se použije pro potřebu vlastní nebo dalších osob, nebo se odpad použije jako palivo nebo jako přídatné palivo*

v zařízeních na výrobu energie nebo materiálů.“ Spalování komunálního odpadu je označeno kódem R1a, pokud dosahuje vysokého stupně energetické účinnosti.

Plány odpadového hospodářství spadají do pravomoci Ministerstva životního prostředí ve spolupráci příslušnými orgány veřejné správy. Proces plánu odpadového hospodářství funguje tak, že kraj sdělí ministerstvu své připomínky k návrhu do 30 dnů ode dne jeho obdržení. Obsah Plánu musí být schválen vládou. Tento Plán se zpracovává na dobu nejméně 10 let. Závazná část Plánu se stává závazným podkladem pro zpracování plánů odpadového hospodářství krajů a podkladem pro zpracovávání územně plánovací dokumentace. „*Ministerstvo každoročně vyhodnocuje pomocí soustavy indikátorů plnění cílů Plánu odpadového hospodářství České republiky a do 15. prosince kalendářního roku následujícího po 2 kalendářních letech, za které je vyhodnocení prováděno a zpracuje zprávu o plnění cílů.*“ Plán a všechny jeho změny jsou zveřejněny Ministerstvem životního prostředí na portálu veřejné správy.

Plán odpadového hospodářství je složen z 3 částí a to z části analytické, závazné a směrné. Analytická část obsahuje vyhodnocení stavu odpadového hospodářství, závazná část stanovuje cíle a opatření pro předcházení vzniku odpadu, zásady odpadového hospodářství, opatření k jejich dosažení včetně preferovaných způsobů nakládání s odpady a soustavu indikátorů k hodnocení plnění cílů. V části třetí, směrné, jsou obsaženy nástroje, kritéria, a informace nezbytné pro nakládání s odpady podporovaných z veřejných zdrojů. [9]

3.2.2 Zákon č. 542/2020 Sb., o výrobcích s ukončenou životností

Tento zákon ukládá výrobcí povinnost zajistit na své vlastní náklady zpětný odběr výrobkům, kterým byla ukončena životnost. Konečný uživatel může být finančně motivován k tomu, aby výrobek odevzdal do systému zpětného odběru. Tento výrobek musí být kompletní, jinak za něj není možné dostat finanční ohodnocení. Poslední

prodejce zajistí bezplatný odběr odpadu od konečného uživatele, vyžaduje-li to tento zákon. Zpětný odběr nesmí být vázán na podmínku koupi nového výrobku.

„Výrobce je povinen provádět osvětovou činnost zaměřenou na změnu spotřebitelského chování za účelem většího zapojení konečných uživatelů do systémů zpětného odběru a dosažení co nejvyšší úrovně zpětného odběru.“ Tato osvětová činnost je vedena vhodným a účinným způsobem zejména prostřednictvím informačních kampaní.

Obsahem informační kampaně je:

- předcházení vzniku odpadu z vybraných výrobků,
- možnosti přípravy vybraných výrobků s ukončenou životností k opětovnému použití,
- požadavky, aby výrobky s ukončenou životností byly odevzdávány na místech k tomu určených,
- způsob zajištění zpětného odběru.

Konečný uživatel předává výrobek, který ukončil svoji životnost poslednímu prodejci nebo osobě určenou výrobcem. Výrobce za účelem zpětného odběru zřizuje místa k tomu určená, o kterých je povinen informovat konečné uživatele.

V informačním systému veřejné správy jsou obsaženy údaje o výrobcích a pověřených zástupcích. Je zde veden seznam výrobců, který zahrnuje výrobce elektrozařízení, výrobce baterií nebo akumulátorů a výrobce pneumatik.

Návrh na zápis do Seznamu výrobců musí podat každý výrobce, a to v nejpozději v den, kdy poprvé uvedl vybrané výrobky na trh. Výrobce má i zákonem stanovené výjimky, kdy není povinen podat návrh na zápis do Seznamu výrobců a to pokud je v Seznamu výrobců zapsaný pověřený zástupce nebo pokud tento zástupce již návrh na zápis podal. Návrh může podat výrobce v listinné a elektronice podobě nebo pouze v elektronické podobě, záleží na tom, která z variant je pro něho vhodnější. Návrh musí splňovat obecné náležitosti stanovené správním řádem a náležitosti, které ukládá výrobci tento zákon:

- kontaktní údaje (telefon, adresu, adresu internetových stránek, daňové identifikační číslo, identifikační údaje zahraniční osoby...)
- druh vybraných výrobků, které výrobce uvádí na trh, a v případě elektrozařízení, baterií nebo akumulátorů nebo pneumatik také jejich skupiny,

- jde-li o elektrozařízení, údaj o tom, zda je elektrozařízení určeno k použití v domácnostech nebo mimo domácnosti,
- značky vybraných výrobků,
- použitý způsob prodeje,
- podrobný popis způsobu zajištění zpětného odběru, zpracování a využití nebo odstranění výrobků s ukončenou životností,
- způsob zajištění financování činností. [10]

Elektrozařízení

Tento zákon upravuje v hlavě VII způsoby, jak zpracovávat všechna elektrozařízení až na výjimky uvedených v ustanovení § 58. Mezi výjimky patří například výbušniny, elektrozařízení určená pro vyslání do vesmíru, velká stacionární průmyslová soustrojí a jiné. Každé elektrozařízení se zařadí do jedné ze 6 skupin, které jsou uvedeny v příloze č. 1 k zákonu č. 542/2020 Sb.

Výrobce elektrozařízení má povinnost zajistit zpětný odběr odpadních elektrozařízení pocházejících z domácností. Za tento zpětný odběr si nesmí nárokovat úplatu nebo vazbu na koupi nového výrobku. Za tímto účelem musí výrobce zřídit, alespoň jedno veřejné místo zpětného odběru.

„Výrobce solárních panelů zajistí zpětný odběr solárních panelů, které jsou součástí solárních elektráren s celkovým instalovaným výkonem do 30 kWp, prostřednictvím sítě míst zpětného odběru o dostatečné četnosti a dostupnosti. Tyto podmínky se považují za splněné, pokud nejpozději k 31. prosinci 2024 je zřízeno alespoň jedno veřejné místo zpětného odběru, kde jsou takové solární panely odebírány, v každé obci, městském obvodu nebo městské části s počtem více než 10000 obyvatel, ve kterých se nachází alespoň jedna solární elektrárna s celkovým instalovaným výkonem do 30 kWp.“

Výrobce musí umožnit oddělené soustředování zpětně odebraných odpadních elektrozařízení za účelem jejich přípravy k opětovnému použití. Za tímto účelem stanoví místa určená ke zpětnému odběru. Držitel může odebrané elektrozařízení předat k opětovnému použití, pokud toto zařízení splňuje podmínky stanovené zákonem o odpadech, obsahuje veškeré součásti potřebné pro jeho původní používání, je funkční a bezpečné. Nedošlo-li k předání odpadního elektrozařízení k opětovnému použití do 1 roku od provedení přípravy k opětovnému použití, musí výrobce pro toto zařízení zajistit jiné využití nebo toto zařízení odstranit.

Provozovatel kolektivního systému solární elektrárny musí zajistit zpětný odběr, zpracování, využití a odstranění odpadních solárních panelů v rozsahu jedné třetiny celkové hmotnosti všech solárních panelů uvedených na trh do dne 1. ledna 2013. Provozovatel musí vést průběžné finanční vypořádání, ve kterém jsou uvedené náklady a výnosy. Peněžní prostředky, které provozovatel získá z příspěvků vč. výnosů, musí být oddělené od jiných peněžních prostředků. Tyto peněžní prostředky a výnosy mohou být použity pouze na zajištění financování předání ke zpracování, využití a odstranění těch odpadních solárních panelů, na které jsou určeny.[10]

3.2.3 Vyhláška 352/2005 Sb.

o podrobnostech nakládání s elektrozařízeními a elektroodpady a o bližších podmínkách financování nakládání s nimi.

Tato vyhláška stanovovala mimo jiné bližší podmínky financování odděleného sběru, zpracování, využití a odstranění elektroodpadu ze solárních panelů dle § 37p odst. 1 zákona, včetně způsobu výpočtu minimální výše finančních prostředků na účelově vázaném bankovním účtu a způsobu jejich čerpání a dále způsobu minimální výše příspěvků a způsobu nakládání s nimi.

Česká republika nastavila recyklační poplatek, pro historické panely ve výši 8,50 Kč/kg dle vyhlášky 352/2005 Sb. Výše poplatku byla nastavena vyšší jak u srovnatelně stejných elektrozařízeních, jako jsou například LCD televizory. Poplatek byl povinný od 1.1.2013 přičemž na vybírání dohlíží stát. Recyklační poplatek 8,50 Kč/kg platí pro panely uvedené na trh před rokem 2013, majitelé jej tedy museli zpětně doplatit. Zaplacení zpětného doplatku stanovil stát k 1.1.2019, platba mohla proběhnout i ve vymezených splátkách. Příspěvky byly zaplacený právnické osobě (např. kolektivnímu systému), se kterou byla uzavřena smlouva na recyklaci.

Pro „nové“ panely, uvedené na trh po 1.1.2013, byl recyklační poplatek stanoven tržně prostřednictvím kolektivního systému. [11]

Tabulka č. 1: Ceník REMA PV Systém, a.s. [12]

Solární panely	cena Kč/kg
Velkoplošné solární panely	0,60 Kč
Solární panely s elektrickou částí o hmotnosti prázdné jednotky do 300g	0,15 Kč
Solární panely s elektrickou částí o hmotnosti prázdné jednotky od 300g do 1kg	0,60 Kč
Solární panely s elektrickou částí o hmotnosti prázdné jednotky od 1kg do 3kg	2,00 Kč

Náklady na zpracování elektroodpadu ze solárních panelů musí být stanoveny tak, aby:

- bylo finančně zajištěno využití elektroodpadu ze solárních panelů v rozsahu nejméně 85 % jeho průměrné hmotnosti a příprava na opětovné použití a recyklace elektroodpadu ze solárních panelů v rozsahu nejméně 80 % jeho průměrné hmotnosti,
- nakládání s elektroodpadem ze solárních panelů bylo finančně zajištěno i v případě, že dojde k poklesu cen druhotných surovin a růstu cen energií.

Vyhláška č.352/2005 Sb. dále hovořila o faktu, že každý kolektivní systém, který se přihlásil ke sběru FV modulů musí při přihlašování doložit, že výše navržených příspěvků zahrnuje všechny předpokládané budoucí náklady zajištění předání ke zpracování, zpětného odběru a odděleného sběru či využití a odstranění elektroodpadu z FV modulů. [11]

V roce 2006 vstoupil v platnost zákon č.180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů, kde Energetický regulační úřad (ERÚ) garantoval výkupní cenu 17 185,- Kč za jednu MWh. Cílem tohoto záměru bylo garantování návratnosti investice do 15 let. [13]

V zákoně č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektrické energie byla stanovena nejenom výše výkupní ceny, ale také limity meziročního poklesu výkupní ceny. Roční limit poklesu byl nastaven na devadesát pět procent. V roce 2010 přišel největší nárůst FV elektráren v reakci na snížení pořizovací ceny. Snížením pořizovací ceny byl stav od roku 2008, kdy byl instalovaný výkon v ČR 39,5 MW oproti roku 2010 a kdy bylo toto číslo 1 959 MW. Následující roky byly přírůstky instalovaných výkonů již pozvolné a v roce 2016 byl instalovaný výkon 2 045 MW. K 1.1.2014 byla zcela ukončena podpora výroby elektřiny z FV panelů. [13]

Celkový počet instalací k roku 2019 byl 2 285 MW, toto číslo prezentuje 3% podíl na celkové výrobě elektřiny v ČR.

5.6. Fotovoltaické elektrárny

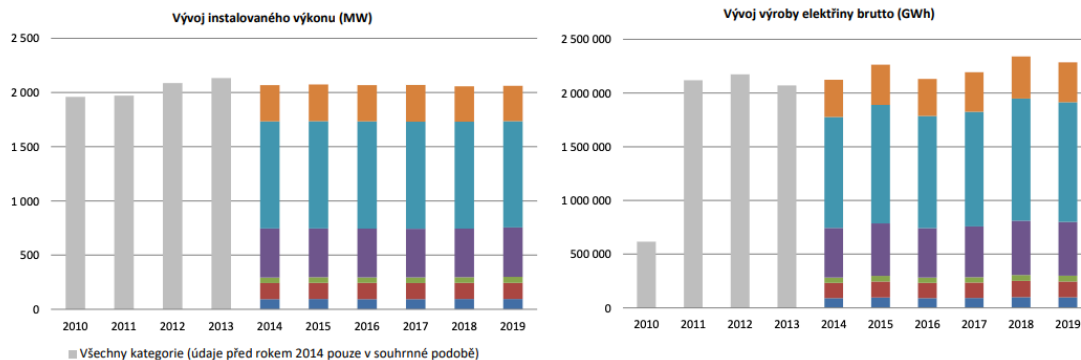
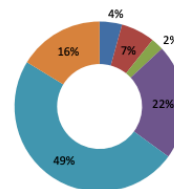
2019

	Celkový instalovaný výkon [MW _c]	Výroba elektřiny brutto [MWh]	Technologická vlastní spotřeba elektřiny na výrobu elektřiny [MWh]	Výroba elektřiny netto [MWh]	Dodávka elektřiny do ES [MWh]
Fotovoltaické elektrárny (FVE) ^{*)}	2 061,4	2 285 835,4	20 371,3	2 265 464,1	2 115 186,8
do 10 kW včetně	94,7	97 451,8	66,7	97 385,1	64 286,6
nad 10 do 30 kW včetně	148,5	147 166,9	193,2	146 973,7	90 305,0
nad 30 kW do 100 kW včetně	55,9	54 747,1	151,5	54 595,5	42 229,7
nad 100 kW do 1 MW včetně	455,7	501 003,4	4 639,5	496 363,9	461 930,5
nad 1 do 5 MW včetně	980,5	1 113 388,8	10 384,2	1 103 004,6	1 092 864,7
nad 5 MW	326,2	372 077,4	4 936,1	367 141,3	363 570,2

^{*)} členěno do kategorií dle instalovaného výkonu provozovny

zdroj dat: OTE, a.s.

Podíl kategorií FVE na výrobě elektřiny brutto



Obrázek č. 2: Celkový počet instalací FV elektráren ČR 2019 [14]

Podle přepočtu výkonu dle zákona 542/2020 Sb. zákon o výrobcích s ukončenou životností s přechodným ustanovením ve vyhlášce MŽP č. 352/2005 Sb., bylo k roku 2019 v ČR 250 000 tun solárních panelů. Minimální úroveň využití odpadních elektrozařízení stanovuje zákon 542/2020 Sb. v příloze č. 3 pro skupinu elektrozařízení č. 4 na 80%. Největší podíl zastupuje sklo ve výši 75% a hliník (Al) cca 9%. Dále FV panel obsahuje barevné kovy jako např. měď (Cu), z drahých kovů stříbro (Au), ale i také těžké kovy jako Arsen (As), olovo (Pb) a cadmium (Cd). [15]

Životnost fotovoltaických panelů je garantovaná na 25 až 30 let [16]. V průběhu provozu panel ztrácí na účinnosti. Během jednoho roku se jedná o ztrátu cca 0,3 % výkonu. Výrobci garantují účinnost 90 % po 12 letech a po 25 letech účinnost 80 %. Na tento problém reagovalo Ministerstvo životního prostředí a v roce 2010, kdy vyšla novela zákona o odpadech č. 185/2001 Sb., se kterou přišla povinnost u provozovatelů u nových a historických panelů uzavřít smlouvu o financování recyklace v letech 2014-2018.

Ministerstvo životního prostředí uskutečnilo tyto kroky tak, aby zamezilo zanechání FV panelů na místech jejich provozu a aby byly následně opětovně použity nebo recyklovány. Dopady těchto kroků zjistíme až v následujících letech.

3.2.4 PV Cycle

V roce 2007 založila Evropská fotovoltaická průmyslová asociace (EPIA, dnes *SolarPower Europe*) iniciativu PV Cycle, která má za cíl sdružovat výrobce FV modulů za účelem naplnění direktivy WEEE a také legislativy ohledně odpovědnosti výrobců baterií. Direktiva předepisuje odpovědnost výrobcům za své výrobky:

- výrobci jsou vyzýváni k výrobě takových produktů, které budou lépe recyklovatelné a sníží využití prvotních surovin,
- zohlední recyklaci v ceně výrobků.

Do tohoto systému se zapojilo více jak 90 % celosvětových výrobců, kteří uvádějí své panely na trh. Zastoupením PV Cycle pro Českou republiku je firma RETELA. [17,18]

3.3 Kolektivní systémy

3.3.1 Podstata vzniku kolektivního systému

Novelizace zákona č. 7/2005 Sb. z roku 2005, harmonizovala české právo s Evropským společenstvím. Novela rozšiřovala 4 část zákona č. 7/2005 Sb. zákon, kterým se mění zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, o elektrická a elektronická zařízení. Ustanovení § 37 a 38 zaváděla nové povinnosti výrobců elektrických a elektrotechnických zařízení.

Výrobci od 18.5 2005 jsou povinni:

- zajistit zpětný odběr použitých EEZ od spotřebitelů,
- zajistit oddělený sběr OEEZ od ostatních konečných spotřebitelů,
- u výrobků, uvedených na trh po 13.8.2005 zajistit financování zpětného odběru, zpracování a využití těchto vlastních výrobků,
- u výrobků, uvedených na trh do 13.8.2005 zajistit společné financování zpětného odběru, zpracování a využití,
- poskytnout finanční záruky k zajištění řádného nakládání s OEEZ,
- zajistit zpracovatelský systém, jež bude navazovat na zpětný odběr.

Podmínkami vycházející z těchto ustanovení vznikly v ČR **individuální, solidární a kolektivní** systémy (KS) k zajištění zpětného odběru OEEZ.

- individuální systém je vytvořen výrobcem samostatně a na vlastní náklady
- solidární systém je vytvořen dvěma a více výrobci
- kolektivní systém je vytvořen výrobcí, avšak je provozován jinou právnickou osobou

3.3.2 Charakterizace kolektivních systémů

Kolektivní systémy jsou neziskově hospodařící společnosti, založené z iniciativy výrobců EEZ, kteří financují a zajišťují zpětný odběr odpadních elektrospotřebičů. Kolektivní systémy zprostředkovaně naplňují zákonné požadavky, kladené na výrobce EEZ.

Tyto povinnosti zahrnují:

- zajištění financování odpadních EEZ,
- vytvoření sběrné sítě v minimální úrovni stanovené zákonem,
- zajištění zpětného odběru EEZ,
- ekomodulace (volba konstrukce, materiálu, opravitelné konstrukční prvky),
- informování konečného uživatele,
- evidence toku zpětně odebraných EEZ,
- auditování partnerů zapojených do KS (výrobci, zpracovatelé, MZO),
- zajištění minimální míry využití odpadních EEZ dle platné legislativy.

Provozovatelem kolektivního systému mohou být právnické osoby založené jako obchodní společnosti, družstvo nebo organizační složka zahraniční právnické osoby umístěna na území ČR provozující kolektivní systém.

Ministerstvo životního prostředí rozhoduje o udělení povolení provozovatele kolektivního systému po předložení návrhu na financování své činnosti, tedy upřesní způsoby financování výrobců.

Ze zákona č. 7/2005 Sb., vyplývá, že EEZ výrobce, podnikající trvale na území ČR, na kterého se vztahují povinnosti dle § 37, musí provést zápis do Seznamu výrobců, který spravuje Ministerstvo životního prostředí.

Žádost musí obsahovat:

- identifikační údaje,
- seznam a popis skupin elektrozařízení,
- způsoby plnění povinností a zajištění financování.

Seznam výrobců je veřejně přístupný na portálu veřejné správy a obsahuje ucelený přehled žadatelů, povinných osob (výrobců EEZ, zapsaných do Seznamu), seznam kolektivních systémů. V přehledu Seznamu jsou uvedeny povinné osoby a způsoby plnění povinností v rámci nakládání s vyřazeným EEZ. Přínosem pro výrobce je to, že připojením se ke kolektivnímu systému, minimalizuje náklady spojené s plněním zákonných povinností dovozců a výrobců EEZ:

- Administrativní a funkční zajištění povinností dovozců a výrobců,
- Zastupování a kooperace v jednání s Ministerstvem životního prostředí ČR,
- Informační a legislativní pomoc,
- Podání návrhů na změny informací, uvedených v Seznamu,
- Účast a zastoupení při auditech,
- Vypracování povinného ročního hlášení [11,19].

3.3.3 Účastníci kolektivních systémů

Kolektivní systémy se mohou zaměřovat jen na některé kategorie EEZ a tím zajišťují recyklační cyklus OEEZ pouze na vybrané kategorie v rámci celé ČR. Recyklační cyklus zahrnuje proces zpětného odběru, oddělený sběr, třídění a zpracování. K lednu 2021 bylo registrováno 15 kolektivních systémů, z toho se 13 zabývá FV panely.

Tabulka č.2: Seznam kolektivních systémů ČR [20]

Skupiny + financování	Kolektivní systém	Skupiny + financování	Kolektivní systém
4b (B2B, B2C)	ASEKOL Solar s.r.o.	1, 2, 3, 4a, 5, 6 (B2B, B2C, B2C-H)	REMA Systém, a.s
	ČEZ Recyklace, s.r.o.		
	ECOPARTNER s.r.o.	3, 4a, 5 (B2B, B2C, B2C-H)	EKOLAMP s.r.o.
	FitCraft Recyklace s.r.o		
	MINTES Solutions s.r.o.		
	PV Recovery, s.r.o.		
	Recycling Systems, s.r.o.		
	REMA PV Systém, a.s.		
	REsolar s.r.o		
Skupiny 1,2,3,4a,5,6 (B2B, B2C, B2C-H)	ASEKOL a.s.	1, 2, 3, 4a, 4b, 5, 6 (B2B, B2C, B2C-H)	RETELA, s.r.o
	ELEKTROWIN a.s.		ASEKOL a.s.
	RETELA, s.r.o		ELEKTROWIN a.s.

Vysvětlivky:

B2B - financování nakládání s elektrozařízeními, která nejsou určena pro domácnost

B2C - financování nakládání s elektrozařízeními určenými pro domácnosti bez oprávnění zajišťovat financování nakládání s historickými elektrozařízeními

B2C-H - financování nakládání s historickými elektrozařízeními pocházejícími z domácností

Skupiny elektrozařízení:

1. Zařízení pro tepelnou výměnu
2. Obrazovky, monitory a zařízení obsahující obrazovky o ploše větší než 100 cm²
3. Světelné zdroje
- 4a. Velká zařízení, jejichž kterýkoliv vnější rozměr přesahuje 50 cm, kromě zařízení náležejících do skupin 1, 2 a 3, zahrnující kromě jiného: domácí spotřebiče, zařízení informačních technologií a telekomunikační zařízení, spotřební elektroniku, svítidla, zařízení reprodukcující zvuk či obraz, hudební zařízení, elektrické a elektronické nástroje, hračky, vybavení pro volný čas a sporty, zdravotnické prostředky, přístroje pro monitorování a kontrolu, výdejní automaty, zařízení pro výrobu elektrického proudu
- 4b. Solární panely
5. Malá zařízení, jejichž žádný vnější rozměr nepřesahuje 50 cm, kromě zařízení náležejících do skupin 1, 2, 3 a 6. Zahrnující kromě jiného: domácí spotřebiče, spotřební elektroniku, svítidla, zařízení reprodukcující zvuk či obraz, hudební zařízení, elektrické a elektronické nástroje, hračky, vybavení pro volný čas a sporty, zdravotnické prostředky, přístroje pro monitorování a kontrolu, výdejní automaty, zařízení pro výrobu elektrického proudu
6. Malá zařízení informačních technologií a telekomunikačních zařízení, jejichž žádný vnější rozměr nepřesahuje 50 cm [21]

3.4 Hodnocení životního cyklu – LCA

V 80. letech minulého století nabývá na významu environmentálního posouzení dopadů výrobků na životní prostředí. Spotřebitelé vyžadují informace o environmentálních dopadech výrobků své potřeby. Tyto kroky vedly ke vzniku nového procesu: *Life Cycle Assessment* neboli **hodnocení životního cyklu**. Tento proces se také nazývá „od kolébky až do hrobu“. Uvedený obor se začal využívat v průmyslu, čímž začalo docházet ke snižování environmentálních dopadů na výrobu.

Pod pojmem LCA se rozumějí po sobě jdoucí provázaná stádia výroby od získávání surovin nebo tvorby přírodních zdrojů až po konečné odstranění. Jde o dobrovolný nástroj, který umožňuje zhodnotit jednak spotřeby energií a materiálů a jednak dopady sledovaného systému na lidské zdraví a ekosystémy. [22]

Norma **ČSN EN ISO 14040** definuje metodu LCA jako „*shromáždování a vyhodnocování vstupů a výstupů a možných dopadů na životní prostředí produktového systému během celého jeho životního cyklu*“.

Vstupy jsou definovány jako látkové a energetické toky, které jsou vneseny během procesu do životního prostředí. Výstupy jsou látkové a energetické toky, které produktový systém odebírá během svého cyklu.

Metoda LCA posuzuje celý cyklus. Tento cyklus pro výrobek nemusí mít vždy kvalitativně stejné vstupy, tzn. posuzovaný výrobek může mít ve svém cyklu různé negativní dopady na životní prostředí podle jeho energetických a látkových toků. Rozdíly mezi cykly mohou způsobovat rozdílné výrobní technologie, způsoby využívání výrobku a způsoby odstranění. Vliv na LCA může změnit také možnost opětovného použití. [23]

Negativní dopad můžeme definovat do 4 etap životního cyklu FV:

- **získání surovin a materiálů,**
- **vlastní výrobou,**
- **užitím výrobku,**
- **odstraněním výrobku.**

3.4.1 Schéma LCA metody



Obrázek č. 3: Schéma LCA metody [24]

LCA metoda je sestavena ze čtyř fází :

- **definice a cíle rozsahu**
- **inventarizační analýza**
- **posuzování dopadu na životní prostředí**
- **interpretace životního cyklu**



Obrázek č. 4: Rámec posuzování životního cyklu [25]

Definice cílů a rozsahu: Tato fáze je formou plánování. Při LCA studii je důležité definovat pro jaký účel se studie provádí a pro koho budou finální data určena. Uvedená data mohou být pro interní účely organizace provádějící LCA metodu nebo pro externí účely.

Rozsah studie vzniká na základě požadavků zadavatele podle účelu a cíle. Vznikají i omezující kritéria, které určí procesy posuzování. Zadavatel i zpracovatel musí jasně stanovit veškeré podmínky. Veškerá omezení či vynechání musí být zadokumentována a odůvodněna. Rozsah studie lze upřesnit i během jejího průběhu.

3.4.2 Inventarizační analýza (LCI):

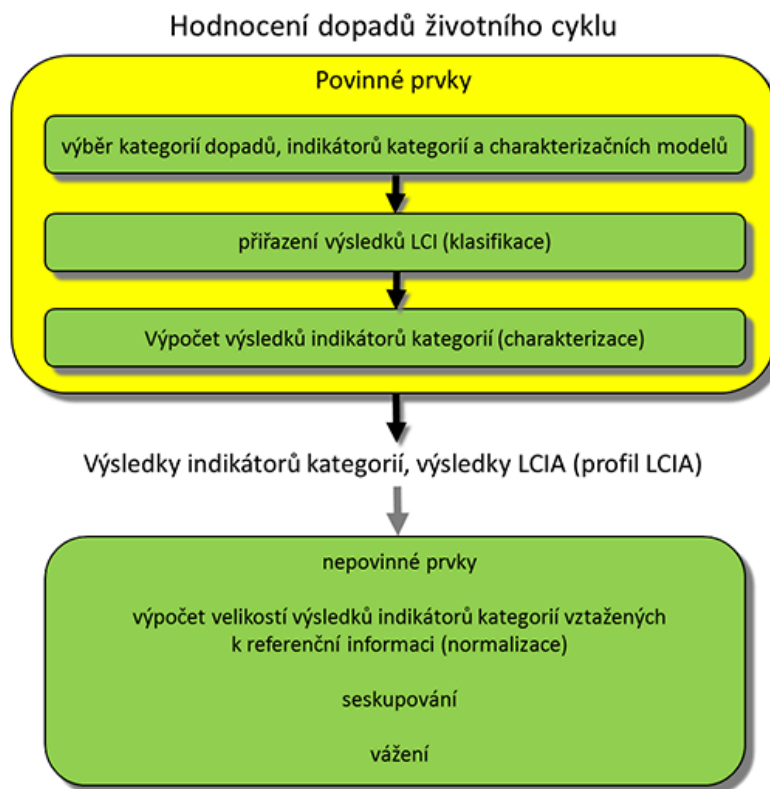
Účelem analýzy je kvantifikovat veškeré elementární toky vně i ven posuzovaného systému. Při provádění lze měnit rozsah analýzy. Kroky této analýzy vedou k lepšímu poznání vnitřního systému. Po definici vstupů a výstupů se provádí přezkoumání cílů studie a jejího rozsahu.

Inventarizační analýza má 5 základních bodů :

- **Sběr údajů:** Pro použitelný výstup z LCI musí být získány co nejkvalitnější vstupní data. Kvalita je posuzována podle přesnosti, úplnosti a rozsahu dat. Zčásti lze použít databáze počítačových LCA modelů.
- **Kontrola údajů:** Pro zajištění co nejkvalitnější studie musí být zjištěné údaje kontrolovány. Kontrola probíhá mnoha mechanismy, které přinesou energetické a materiálové bilance. Při zjištění odchylek je nutné doplnit údaje tak, aby splňovali vytyčené požadavky.
- **Zpřesnění hranic systému:** Provedením předchozích kroků dojde k upřesnění hranic. První vytyčení hranic systému jsou v souladu s omezujícími kritérii, které byly určeny při definování rozsahu. Cílem této analýzy je zmenšit množství použitých dat a dále zjednodušit celou studii.
- **Vztažení údajů k jednotkovému procesu a funkční jednotce:** Veškeré jednotkové procesy musí mít určeny referenční tok. Získaný výsledek výpočtu je pak přepočtem všech vstupů a výstupů systému na funkční jednotku.
- **Alokace:** Hodnocené procesy přinášejí zpravidla více než jeden produkt. Mezi produkty se recyklují. Rozčleněním vstupních a výstupních toků procesů vznikne hodnocený proces a ostatní proces. Alokace se provádí v situaci jednotkového procesu a více než jeden výstup. [26]

3.4.3 Posuzování dopadů (LCIA)

Pro zjištění možného dopadu jednotlivých položek inventarizační analýzy na životní prostředí se provádí tzv. posuzování dopadu. Možné dopady jsou hodnoceny srovnáváním významnosti všech emisních toků a porovnáním s jejich celkovými známými dopady lidské činnosti na životní prostředí. Výsledek hodnocení se odvíjí od předchozího vymezení cíle a jejího rozsahu. Výstupy z LCIA jsou soubory výsledků indikátorů různých kategorií dopadu.



Obrázek č. 5: Hodnocení dopadů životního cyklu [27]

Interpretace: Interpretací životního cyklu je postup, během kterého se identifikují environmentální problémy daného produktového systému. Hledá možnosti snížení spotřeby energií, materiálových vstupů a dopad na životní prostředí. Charakter výstupní analýzy je dán účelem stanoveným na počátku studie. Interpretace životního cyklu předkládá kompletní a důsledné informace o výsledcích LCA studie. [26,28,29]

Hodnocení životního cyklu tedy zhodnocuje jakoukoliv činnost od počáteční těžby surovin až do bodu ukládání materiálu do země jako odpadu. Životní cyklus je systematickým a komplexním hodnocením dopadů na životní prostředí.

Metoda LCA je nástroj, který lze aplikovat pro vývoj, výzkum produktů a procesů, při rozhodování nákupu produktů, udělení označení šetrných výrobků a při zákonných předpisech. V průmyslu přináší možnost při rozhodovacím procesu o nákupu výrobků, jejich technologií výroby či vývoje produktů. [30]

3.4.4 LCA metoda v odpadovém hospodářství:

LCA metoda se začala v odpadovém hospodářství využívat v 90 letech 20 století, kdy poskytla nové pohledy na environmentální integrované aspekty. V dnešní době se dostaly do popředí otázky týkající se užitku recyklace odpadu. Odpadovému hospodářství se při hodnocení životního cyklu produktu přikládala menší váha, LCA se zaměřovala hlavně na výrobní a spotřební fázi cyklu. Odpad byl mnohokrát sázen do pozadí celého produktu a byl považován pouze jako výstup výrobního systému, který se nezahrnoval do hodnocení. Pro metodu LCA je konečná fáze produktu právě nejdůležitější cyklus. V budoucnu se bude konečnému cyklu přikládat nejvyšší priorita a stane se rozhodovacím nástrojem.

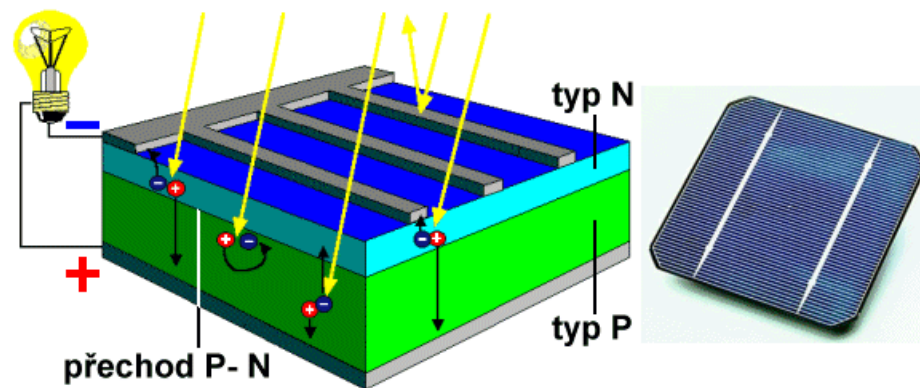
EIA jsou environmentální analytické nástroje, které se zaměřují na individuální procesy nebo zařízení, oproti tomu LCA zahrnuje celý systém vzájemně propojených procesů. Cílem LCA metody je definice služeb nebo procesů a na základě této definice je navrhován studovaný systém.

LCA metoda poskytuje výsledky, podporuje argumenty, že tuto metodu lze využít i pro případná politická rozhodnutí v dnešní době. Je to nejvýhodnější metoda pro poskytnutí hodnocení využití materiálových a energetických zdrojů. [31]

3.5 Fotovoltaický článek

Za FV článek lze obecně považovat za zařízení, které přímo přeměňuje sluneční záření na elektrickou energii. V našem případě je to článek, kterým je velkoplošná polovodičová součástka. Je schopna přeměňovat světlo na elektrickou energii. Využívá k tomu fotovoltaického jevu. Základem článku je křemíková destička nejčastěji o velikosti 12x12 cm nebo větší. Nejčastějším materiálem na výrobu je křemík. Křemík je pevná krystalická látka, která se strukturou podobá diamantu. V tomto případě křemík dokáže částečně absorbovat sluneční záření a má vlastnosti polovodičů. Napětí vznikající na FV článku je okolo 0,5 V. [32,33]

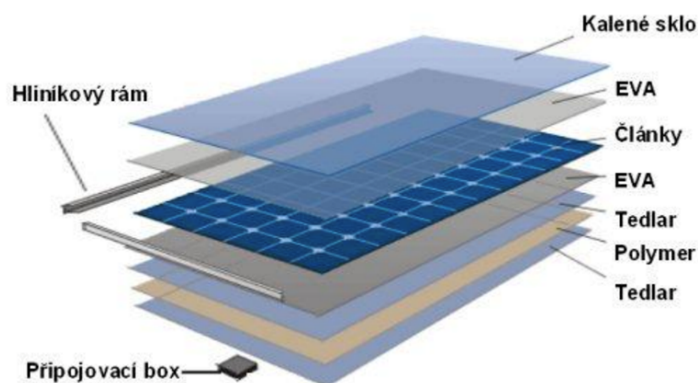
3.5.1 Fotovoltaické panely



Obrázek č. 6: Princip funkce FV článku [34]

FV panel vzniká propojováním serio-paralelním zapojení FV článků a jejich následným zapouzdřením. Na těchto panelech se musí zajistit zapouzdření článků, aby se zabránilo jejich poškození. Zapouzdření zajišťuje ochranu proti přírodním vlivům. Rozmanitost konstrukčních řešení u FV panelů je široká a uzpůsobená podle jejich druhu instalace. FV panely jsou obvykle zpevněny hliníkovými rámy, které slouží pro snadnější instalaci ke konstrukci FV systémů. Přední stranu FV panelu zakrývají speciální tvrzená skla, která odolávají povětrnostním vlivům. Jsou uzpůsobena proti poškrábání a poničení od krupobití. Z důvodu potřeby dobré propustnosti skla se využívají skla se sníženým obsahem železa. V dnešní době se také využívají články, které mají antireflexní vrstvu. Tato vrstva snižuje světelný odraz a zvyšuje tím účinnost FV panelu.

Z konstrukčního hlediska má panel nejdůležitější části - EVA folii a kalené sklo, které se nacházejí nad povrchem přední strany FV článků. EVA folie má materiálové složení organického původu. U této folie může nastat efekt tzv. žloutnutí. Tento efekt nastává při silném záření UV, kdy se sníží optická průhlednost a sníží se i účinnost článku. Další částí je krycí kalené sklo, které není tolik náchylné na degradaci optických vlastností. Sklo může být poškozeno pouze vnějšími přírodními vlivy. [35,33]



Obrázek č. 7: Složení vrstev FV panelu [36]

3.6 Druhy FV panelů

V této kapitole jsou uvedeny nejčastější druhy FV panelů. Nejrozšířenější v ČR jsou panely krystalického křemíku.

3.6.1 Panely krystalické

Základem druhu je destička z krystalického křemíku. Podle technologie lze rozdělit do 3 skupin:

- monokrystalické,
- multikrystalické,
- páskové.

Monokrystalické FV články mají jako základní kámen monokrystalické ingoty z křemíku. Tyto ingoty jsou rozřezávány diamantovými pilami na destičky. Destičky se následně leptají, texturují povrchy pro snížení odrazivosti materiálu. Difúzními procesy se dosáhne vytvoření přechodu PN. Napětí vznikající na FV článku dosahuje hodnoty 0,5 V. V praktickém využití se články spojují do série. FV článek je destička o tloušťce 0,3 mm. Je vytvořena z dvou dotovaných vrstev. Dochází zde k záměrné změně elektrických vodivostí a díky umělému vpravení atomů jiného prvku do vrstev. Pro dosažení požadovaného napětí se články skládají do série 60 nebo 72 článků. Výsledná účinnost v sériové výrobě dosahuje 18 %.

Multikrystalické FV články se vyrábějí podobným způsobem jako monokrystalické.

Na jejich výrobu je zapotřebí multikrystalického ingotu. Ve výrobě je zde prováděna tzv. pasivace. Tento postup se provádí z důvodu snížení rekombinačních ztrát. Výsledná účinnost tohoto článku je okolo 16%.

Páskové krystalické články. Tento postup se v dnešní době využívá jen v málo případech. Uvedený pásek se vyrábí tažením z taveniny, který je rozdělen vertikálně na jednotlivé články a tím se snižují ztráty prořezem. [33,37]

3.6.2 Panely tenkovrstvé

Tenkovrstvé panely byly vyvinuty z důvodu snižování nákladů a materiálové náročnosti. Snížením nákladů vznikla menší výrobní cena, avšak na úkor snížení účinnosti samotného panelu při přímém slunečním svitu. Při nižší světelnosti však tyto panely vykazují vyšší účinnost než krystalické. Určité riziko s sebou nese nedodržení výrobních postupů a tím vyšší náchylnost na poškození panelů.

Při výrobě se vrstvy nanášejí na nosný substrát. Drážkováním nanesených vrstev vznikají články. Při dodržení vhodného drážkování jsou články přímo spojeny a odpadá nutnost tyto články mezi sebou pájet. U panelu se kontaktování provádí nanesením vrstvy oxidu s velkou šířkou zakázaného pásu, který následně funguje jako vodivá elektroda. [38]

3.6.3 Generační vývoj FV panelů

Technologický vývoj začal v 70. letech minulého století, kdy se začala zvyšovat účinnost, doba životnosti a snižování výrobní ceny. V počátcích měly první články účinnost okolo 6 %, které byly vyráběny technologicky a ekonomicky náročnými postupy. V současné době se články a panely vyrábí o mnoho jednoduššími postupy.

3.6.4 První generace

V dnešní době se nejčastěji setkáváme s první generací solárních článků. Tato generace využívá jako základ krystalické panely, kde je relativně vysoká účinnost, ale také značné výrobní náklady. V sériové výrobě dosahuje účinnost 16 až 19 %. V případě speciálních struktur může účinnost dosáhnout až 24 %, bohužel, za výrazného zvýšení výrobních nákladů.

Původní výroba byla relativně drahá. Vývoj nových technologií v dnešní době však umožnil snížit náklady na výrobu. [39]

3.6.5 Druhá generace

Nástup druhé generace, nebo-li tenkovrstvé články, se zaměřovala na nevýhody předchozí. Tato generace dosahuje 100 krát až 1 000 krát tenčí polovodičové vrstvy. Takto se dosáhlo snížení výrobních nákladů. Nevýhoda této generace však spočívá ve snížení účinnosti na 10 %. Články se začaly komerčně využívat v polovině osmdesátých let minulého století. [39]

3.6.6 Třetí generace

Tato generace je nevíce zastoupena panely vícevrstvými. Články pracují na principu více vrstev, přičemž každá vrstva absorbuje určité spektrum dopadajícího záření. Tímto procesem se zvyšuje využitelnost fotonů.

Vícevrstvé články vylepšují klasické články tím, že se pomocí čoček a zrcadel koncentruje tok světla do článků. Při těchto úpravách je možné zvýšit účinnost až k 30 %. [39]

3.6.7 Rozdělení panelů dle technologie výroby a materiálového složení

V následujících tabulkách jsou pro přehlednost shrnuty parametry modulů. Jejich hmotnost, materiálové složení, rozměry a kapacita.

Tabulka č. 3: rozdělení křemíkových panelů [40]

Krystalické křemíkové	Monokrystalický	Multikrystalický
	rámové	rámové
Hmotnost modulu	15,7 Kg	18,6 kg
Rozměr modulu	818x1584x36 (mm)	954x1600x43 (mm)
Kapacita modulu	188 Wp	217 Wp
Obsah materiálů		
Sklo	11,6 kg	13,7 kg
Hliník	1,19 kg	1,73 kg
Stříbro	20g	20g
Měď	0,7 kg	0,75 kg

Tabulka č. 4: rozdělení křemíkových panelů [40]

Tenkovrstvé	CdTe	TF Si	
	rámové	bezrámové	rámové
Hmotnost modulu	12 kg	24 kg	18,5 kg
Rozměr modulu	600x1200x7 (mm)	1100x1300x7 (mm)	1055x1268x42 (mm)
Kapacita modulu	75 Wp	105 Wp	100 Wp
Obsah materiálů			
Sklo	10,9 kg	22,6 kg	15,6 kg
Hliník	<1%	0,8 g	1,35 kg
Stříbro	0	0	0
Měď	0,27 kg	0,33 kg	0,47 kg

3.7 Technologie výroby FV

Zde je popsán způsob výroby FV článků a panelů, protože technologie výroby ovlivňuje i recyklaci po uplynutí doby životnosti. Existuje několik metod výroby FV článků, proto je zde řešena u nás i ve světě nejvíce rozšířená metoda. Tedy metoda založená na monokrystalu křemíku.

3.7.1 Výroba monokrystalu křemíku

K výrobě FV článku na bázi monokrystalu křemíku je potřeba křemík značné čistoty s malým množstvím příměsí v řádu 10^{-6} [21]. Z tohoto křemíku je pomocí tzv. „Czochralského“ metody získán monokrystalický křemík. Metoda spočívá ve vnoření vysoce čistého křemíku do taveniny křemíku a jeho následném tažení. Podmínky při tažení jsou klíčové pro kvalitu procesu a výsledné kvality monokrystalu.

Podmínky při tažení [37]:

- správná rychlost a směr otáčení při tažení,
- přenos tepla,
- inertní atmosféra (používá se argon, aby nedošlo k znečištění z atmosféry),
- samotný kelímek s taveninou je vyroben z vysoce čistého křemíku, aby nedošlo ke znečištění křemíkové vsázky.

3.7.2 Výroba FV článku

Ingot monokrystalického křemíku je rozřezán na destičky odpovídající požadovanému rozměru FV článku. Na destičce je tedy potřeba vytvořit PN přechod. To je provedeno prolínáním příměsí donorů a akceptorů v difúzních pecích. Následně je článek opatřen antireflexní vrstvou na přední straně článku, který minimalizuje odraz dopadajícího světelného záření (snižuje odrazivost, tedy zvyšuje účinnost). Dále je nutné opatřit obě strany PN přechodu kontakty, které jsou nanášeny běžně pomocí sítotisku případně vakuovými technologiemi. Vrchní kontakt je tvarován jako hřebínek nebo mřížka, aby zde zbytečně nedocházelo ke zmenšení plochy, na kterou dopadá sluneční záření na samotnou polovodičovou vrstvu. Dolní kontakt je realizován jako celoplošný. [37]

3.7.3 Výroba FV panelu

Výroba samotného FV panelu spočívá v nanášení jednotlivých vrstev a komponent, které dohromady vytvoří zařízení připravené k instalaci na místě určení a odolné vůči negativním vlivům prostředí. Skladba vrstev je realizována od svrchní (zářní vystavené ploše). Na vrchní stranu panelu je nanášeno kalené sklo, které chrání panel před negativními vlivy venkovního prostředí. Na toto sklo je nanášena EVA fólie, na kterou se následně umísťují FV články. Samotné FV články dosahují menších napětí (okolo 0,5 V u křemíku) a výkonů. Kvůli tomuto nedostatku jsou spojovány do sériově-paralelních kombinací, které zaručí větší napětí a výkon. Propojení je provedeno pomocí kovových pásků. Následně je opět nanášena EVA fólie. Jako poslední (spodní) vrstva je využita laminátová kompozice. [40,41]

Z tohoto polotovaru se odčerpá vzduch a je zahříván nad teplotu tání EVA folie, která se roztaví a tím hermeticky uzavře jednotlivé vrstvy a komponenty panelu. Takto utěsněný panel je osazen hliníkovým nosným rámem a opatřen výstupním zařízením pro vyvedení výkonu z výsledného FV panelu. [41]

3.7.4 Životnost FV panelů

Životnost FV panelu se pohybuje v rozmezí 25 – 35 let. Výrobci nejčastěji uvádí životnost 30 let. V průběhu provozu panel ztrácí na účinnosti. Během jednoho roku se jedná o ztrátu cca 0,3 % výkonu. Výrobci garantují účinnost 90 % po 12 letech a po 25 letech účinnost 80 %. [37]

Životnost je dána nejenom degradací materiálů, ale také přírodními živly, které životnost dokáží zkrátit. Jedná se o přívaly sněhu, krupobití, silné větry, deště. Těmto přírodním živlům by mělo zabránit již zmiňované speciální kalené sklo.

Skončení doby životnosti neznamena, že panel je určený do elektrodopadu.

Otázkou zůstává, zda panel bude po jeho době životnosti nadále využíván se sníženou účinností nebo se majitel rozhodne pro výměnu panelu za nový. S vývojem technologií by v době konce životnosti mohly být panely s mnohem větší účinností. [42]

3.8 Dopady na životní prostředí

Dopady FV panelů na ŽP je dnes velmi diskutované téma. V České republice se očekává, že v roce 2030 začne největší likvidační kolo s panely, které byly instalovány v roce 2010. Samotný provoz těchto FVE téměř neovlivňuje životní prostředí, protože neprodukuje žádné emise ani hluk při provozu. Největší dopad na ŽP má výroba těchto FV panelů, transport a následná recyklace.

3.8.1 Pozitivní dopady na životní prostředí

Využití solárních panelů na výrobu energie sebou nepřináší znečištění. Minimální znečištění sebou přináší pouze výroba a instalace těchto panelů, ty jsou však zanedbatelné oproti energii vyrobené z fosilních paliv. Instalované panely mohou snižovat využití energie v domácnostech při jejich přebytku a neodvádění do sítě. V dnešní době je také možné energii ukládat do baterií. Další z výhod je bezhlučný provoz, kdy oproti větrným elektrárnám nevydávají žádný hluk do okolí. Panely jsou dobře recyklovatelné, a proto mohou být jednotlivé materiály opětovně použity. Recyklací se však také snižuje potřebná energie na opětovné vyrábění panelů a přispívá ke snižování negativních dopadů na ŽP. Tyto technologie jsou také téměř bezúdržbové.

Instalované panely v České republice tvoří z většiny polykrystalické a monokrystalické panely. Panely jsou složeny především ze skla, hliníku, plastu a křemíku. Vzácné kovy, které je v tomto případě i stříbro, tvoří nepatrný podíl váhy.

FV elektrárny po době své životnosti neprodukují žádný nebezpečný odpad na rozdíl od jaderných elektráren. Není zapotřebí budování žádných hal pro uskladnění materiálů z těchto elektráren. [43,44]

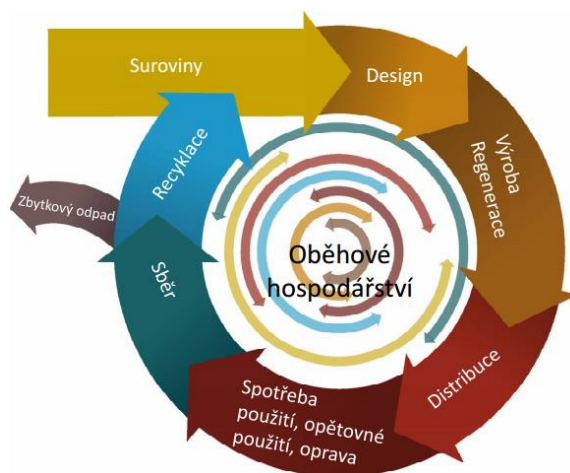
3.8.2 Negativní dopady na životní prostředí

Při nedokonalých podmínkách dopadu sluneční energie je nutnost záboru půdy pro zvýšení dopadové plochy, kdy koncentrace energií vyrobených z fosilních paliv umožňuje pro výrobu, pouze zábor malých ploch v řádech několika kilometrů čtverečních. Při provozu FVE nevznikají žádné emise.

Využívání solárních panelů má však i svá negativa. Při výrobě panelů se do ovzduší uvolňují skleníkové plyny. Jsou to sloučeniny fluoru, dusíku a síry, přičemž jsou to sloučeniny nebezpečnější než oxid uhličitý. Dále mohou životní prostředí znečišťovat procesy spojené s dopravou a instalací FV panelů. Největším negativním dopadem je však zábor půdy při instalaci, kdy nejsou všude stejné podmínky pro vyrobení stejné energie, a proto je potřeba zvýšit plochu FVE. Elektrárny zabírají zemědělskou půdu, která by mohla být lépe využita. Jako negativní dopad můžeme brát i znehodnocení krajinného rázu, kterého si společnost začíná všimnout. [43,44]

3.9 Oběhové hospodářství

Dostupnost přírodních zdrojů nerostných surovin klesá a do budoucích let bude stále nižší, jelikož jejich spotřeba roste. Přírodní zdroje se vyčerpávají a stávají se nedostupnějšími z důvodu jejich limitů v přírodě. Procesy těžby jsou nevratné. Těmito kroky dochází nadále k znečišťování životního prostředí. Uvedený trend by měl být částečně přerušeno oběhovým hospodářstvím a jeho vrácení zpátky do koloběhu materiálového využití. Pokud nedojde ke změně smýšlení společnosti, nastane situace nedostatku surovin a společnost nebude schopna naplňovat své každodenní potřeby. [26]



Obrázek č. 8: Směrem k oběhovému hospodářství: program nulového odpadu pro Evropu [45]

Současné strategie oběhového hospodářství se musí změnit a zvýšit svoji efektivitu. Změny musí proběhnout ze strany výrobců ale také obyvatel, kteří odpady produkují a zvýšit procento recyklace ze své strany. Uvedeným směrem by se měl ubírat i vývoj technologií aby se přiblížil přístupu „*od kolébky do kolébky*“ (tj. uzavřeného cyklu materiálů). Tyto strategie by měli vést k odvrácení situace, kdy by se země stala neobyvatelnou. Společnost by měla jít směrem udržitelného rozvoje tím se rozumí, že i příští generace dostanou stejné možnosti a zdroje na zemi, jaké má k dispozici současná generace.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady ES č. 98/2008, o odpadech přiřazuje recyklaci nejvyšší prioritu s výjimkou případů, kdy ekonomické aspekty zamezují možnou recyklaci. Evropský průmysl se musí ubírat směrem uzavřeného nebo téměř uzavřeného materiálového cyklu a snižování závislosti dovozu energií a surovin. Ideální využívání zdrojů bude znamenat kombinaci materiálového a energetického využití odpadů. [46]

3.10 Cíle recyklace odpadů

Hlavním cílem recyklace musí být zvětšení procenta recyklovaných objemů. S tím souvisí vývoj nových technologií na recyklaci, které nám přinesou nové ekonomicky cenné výrobky ze separovaného a recyklovaného materiálu. Výrobky budou odpovídat zvyšujícím se potřebám společnosti. Důležitý je také odbyt recyklovaných materiálů pro dosažení udržitelnosti této myšlenky. Dalším cílem je využití odpadních materiálů jako druhotných surovin, které obvykle končí na skládkách. Tímto způsobem lze snížit náklady potřebné na likvidaci odpadů.

Cíle, nastavené přijatým zákonem č. 541/2020 Sb., o odpadech, který vstoupil v platnost dne 1.1.2021, jsou následující:

- Zvýšit do roku 2025 úroveň přípravy k opětovnému použití a úroveň recyklace komunálních odpadů nejméně na 55 % celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných na území České republiky.

- Zvýšit do roku 2030 úroveň přípravy k opětovnému použití a úroveň recyklace komunálních odpadů nejméně na 60 % celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných na území České republiky.

- Zvýšit do roku 2035 úroveň přípravy k opětovnému použití a úroveň recyklace komunálních odpadů nejméně na 65 % celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných na území České republiky.

- Odstraňovat uložením na skládku v roce 2035 a v letech následujících nejvýše 10 % z celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných na území České republiky.

- Energeticky využívat v roce 2035 a v letech následujících nejvýše 25 % z celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných na území České republiky; toto množství může být navýšeno o rozdíl mezi množstvím komunálních odpadů, které mohly být uloženy na skládku podle bodu 4, a skutečným množstvím komunálních odpadů uložených na skládku. [5]

3.11 Recyklované materiály

Recyklačními procesy se z krystalických a tenkovrstvých panelů dá vytěžit mnoho surovin, ze kterých se stávají důležité komodity na trhu. Tyto suroviny lze následně zpracovat nebo opětovně využít na výrobu nových FV panelů. Největší podíl na panelu je sklo, na které připadá šedesát až sedmdesát procent z celkové váhy. Další cenou surovinou je hliník, ze kterého je vyroben rám. Rám má obvykle dvacet procent celkové váhy. Mezi další suroviny patří měď, plasty, křemík, vzácné kovy. Toxické kovy jsou zde zastoupeny v kadmiu, selenu, teluru a olovu.

V recyklačním procesu jsou nejlépe zpracovatelné hliník a sklo. Hliník, z kterého je vyroben rám FV panelu, má jednoduché postupy při recyklaci, a proto dosahuje až sto procent výtěžnosti. Druhým v pořadí je sklo, které je při termicko-chemické metodě

recyklováno jako celková tabule, avšak podmínkou je aby panel byl nepoškozený. Z uvedené metody se výtěžnost recyklace skla pohybuje okolo devadesáti pěti procent s materiálovou čistotou 99,99 %. Dalším recyklačním a ekonomicky výhodným materiálem je křemík. Křemík se vytěžuje jako celý článek při použití termické metody. Křemíkové články se po technologické úpravě dají použít do nových FV panelů. Výtěžnost tohoto materiálu se pohybuje okolo devadesáti procent.

Vodivé materiály jsou skupina nejvíce zastoupenou mědí a stříbrem. Měď se vytěžuje z kabelů a její výtěžnost se pohybuje mezi sedmdesáti osmi až sto procenty. Stříbro, které je z těchto materiálů jedno z nejdražších, má účinnost výtěžnosti od čtyřiceti procent do šedesáti pěti procent. Ostatní drahé kovy mají prozatím minimální hodnoty výtěžnosti. [42,35,47]

Tabulka č. 5: Obsah materiálů v krystalických panelech [48]

Krystalické panely		Vzorek 100kg	
Materiál	Množství (kg)	podíl %	Výtěžnost recyklace
Sklo	67	67	95
Hliník	16	16	100
Plast	11	11	95
Křemík	3	3	85
Kovy (Pb,Ag,Cu)	1	1	100
Střídače	2	2	80

3.12 Technologické překážky

Největší překážkou při recyklaci nastává v technologických podmínkách dnešní doby, kdy je ve výstupních recyklovaných materiálech je vyšší stupeň kontaminace. Některé nežádoucí materiály lze odstranit skrze účinné třídění, čistící a rafinační postupy. Zbylé kontaminanty je obtížné odstranit a v určitých případech nereálné. Jedná se o kontaminanty chemické či fyzikálně vázané na strukturu materiálů.

V případě recyklace solárních panelů je omezení technologické, jelikož množství likvidovaných panelů je minimální. Česká republika očekává největší nárůst likvidace solárních panelů v letech 2030-2040. Do této doby je předpokládán vývoj nových technologií likvidace FV panelů. [48]

V recyklačním procesu existují dvě hlavní skupiny kontaminantů :

- **Neodstranitelné:** kontaminanty nelze odstranit předúpravou a ovlivňují kvalitu recyklovaného materiálu.
- **Odstranitelné:** Kontaminanty lze odstranit předúpravou, avšak prodlužují celý proces recyklace či snižují objem výsledného produktu. Při těchto úpravách může docházet k uvolňování toxických výparů nebo odpadů. [49]

Hliník: je anorganická látka, která recyklací neztrácí svoji kvalitu, recyklace ušetří až 70 % energií nutné pro výrobu nového hliníku. Při prvotní výrobě hliníku vzniká velké množství nerozpustného zbytku, nazývaného červený kal.

Sklo: U skel ovlivňují kontaminanty především estetické hledisko. Ze směsného skla lze vyrábět pouze sklo barevné. Některá kontaminovaná skla lze pouze použít na rekultivaci skládek, podkladní materiál aj.

4 Metodika

Diplomová práce má charakter studie. V literární rešerši byla formulována legislativa, podstata vzniku kolektivních systémů a jejich charakterizace, přehled hodnocení životního cyklu metodou LCA a její části. Dále byly popsány technologie výroby FV panelů a jejich recyklační technologie.

Případová studie byla zpracována pro materiálovou analýzu panelu Schüco MPE 235 PG 04 ve spolupráci s nejmenovaným kolektivním systémem. Tento typ panelu reprezentuje největší podíl na trhu, které byly v ČR instalovány. Dále bylo vytvořeno ekonomické zhodnocení samotné likvidace solárních panelů a analýza opětovného použití v softwarovém nástroji MS Excel.

Pro ekonomickou analýzu byla použita metoda poměrových ukazatelů [74], kdy zdrojem dat byly vybrané údaje z účetních výkazů nejmenovaného kolektivního systému, které byly získány osobními konzultacemi. Protože si tyto ekonomické údaje kolektivní systémy zahrnují do firemního tajemství, nebylo možné kompletní data citovat a použít je v plné míře.

Pro diplomovou práci byly vytvořeny následující hypotézy:

- 1) Na evropském trhu existují vhodné technologie pro zpracování různých druhů panelů, které dosahují míry materiálového využití požadovaných legislativou.
- 2) Na evropském trhu není dostatečná kapacita pro zpracování všech panelů provozovaných v ČR, pokud budou likvidovány bezprostředně po skončení doby podporovaného výkupu „*zelené energie*“.
- 3) Opětovné použití je v hierarchii nakládání s dosloužilými FV panely upřednostňováno před samotným materiálovým využitím, technická životnost se drží na vysoké úrovni tak, jak garantuje výrobce.
- 4) Recyklační poplatek vybíraný dle zákona na historické FV panely je při současném modelu systému sběru a překládání na meziskladech hraničně nedostatečný.

5 Současný stav

Pro odpady z fotovoltaických panelů neexistuje současně jasný plán jak s vyřazenými panely nakládat. Problémem do budoucna je i samostatné množství vyřazených panelů, které jsem již uvedl a mohlo by být roky 2030 až 2040 v desítkách tisíc tun. V dnešní době stále neexistuje v České republice standart pro recyklaci vyřazených FV panelů.

V současnosti nejsou procesy recyklace fotovoltaiky optimalizovány pro nákladově efektivní recyklaci vysoce čistých materiálů ve velkém měřítku. V některých zemích EU je recyklace FV povinná, avšak existuje jen velmi málo zařízení určených k recyklaci FV modulů. V recyklační praxi krystalických panelů, existují technologie pro zpracování skla nebo kovů, které lze využít na recyklaci FV. Tyto technologie umožňují zpracovat materiály, jako je hliníkový rám, měděné dráty a sklo.

Tento postup tak splňuje požadavky stávající regulace o odpadních elektrických a elektronických zařízeních požadujících recyklaci 80 % hmotnosti zařízení. Ovšem další složky FV panelů, které jsou potencionálně nebezpečné pro životní prostředí, tyto metody nejsou schopny vytěžit (Ag, Cu, Si, Pb).

Podle studie v současnosti existují pouze dvě technologie, které umožňují recyklaci více stopových materiálů, které jsou cenné či nebezpečné, a u kterých jsou přesně popsány toky materiálů a energie. Jedná se o proces „*Plného využití vyřazené fotovoltaiky*“ (FRELPU) a proces navržený Arizonskou státní univerzitou (ASU). Cílem FRELPU je z panelů získat co největší procentuální hmotnost materiálů a docílit nejmenšího odpadu. Proces ASU má za cíl získat z panelů materiál o nejvyšší hodnotě. Obě technologie jsou schopny z FV panelů získat přes 90 % křemíku v metalurgické kvalitě. [50]

Pro znovupoužití křemíku je zapotřebí podrobný výzkum nečistot v něm obsažených. Křemík použitý v solárních článcích, musí být velmi čistý a recyklovaný křemík přitom pravděpodobně bude mít jiný profil nečistoty než „panenský“ křemík. Využití recyklátu při výrobě nových článků tak pravděpodobně bude složitější.

Do budoucna je zapotřebí zahájit vývoj a výzkum k odvrácení hromadění odpadů z FV panelů.

5.1 Recyklace FV

Fotovoltaiku řadíme mezi obnovitelné zdroje. Mezi lety 2009-2013 bylo v ČR s podporou státu instalováno více jak 2 000 MW výkonu. Přepočtem dle vyhlášky MŽP se dostáváme k číslu 210 tisíc tun fotovoltaických panelů. Tento neuvážený a nerovnoměrný skok přinese do budoucna velké finanční problémy nakládáním s odpady z fotovoltaických panelů, které obsahují řadu nebezpečných složek. Na odstranění panelů je nutno se připravit již v této době. Fotovoltaickým panelem na recyklaci se rozumí panel, jehož životnost už uplynula, funkčnost zanikla nebo se majitel panelů rozhodl o jejich zničení. Určitou výhodou je delší časový úsek jejich likvidace z výše uvedených důvodů oproti krátké době jejich instalace.

Recyklaci musíme chápat v širším aspektu. Nejen jako recyklaci samotného panelu, ale i další operace s tímto spojené. Operace lze rozdělit do několika fází. Počínaje demontáží FVE jako celku na dílčí části, odvozem na recyklační místa, kde dojde k dalšímu zpracování. Demontáž se vztahuje i na přidružená zařízení jako jsou stojany, betonové patky a kabely, atd. Celý tento proces tedy znamená uvést místo do původního stavu. Jedná-li se o volně stojící systémy na zemědělské ploše, která byla dočasně vyjmuta ze zemědělského půdního fondu, musí majitel zrekultivovat místo, kde byla FVE umístěna.

Recyklační program byl vytvořen pro maximalizaci využití recyklovatelných surovin v souladu s myšlenkou oběhového hospodářství a minimalizaci vzniku odpadů. [51,52,53]

5.1.1 Technologie zpracování FV panelů

Počátky recyklace FV panelů probíhali velmi jednoduše. Panel byl rozebrán na jednotlivé komponenty, které se chemicky očistily a následně znovu použily. Křemíkové panely se musí mechanicky rozebrat na jednotlivé díly a křemíkové desky opět využít nebo rozdrtit. Tento postup se však s vývojem nových technologických zpracování stal neefektivní. Uvedená metoda začala pocítovat technologický pokrok. Nové panely jsou tvořeny menším technologickým procesem. Tímto jednoduchým postupem recyklace by se mohly jednotlivé komponenty zničit a znovupoužití by bylo tedy nereálné. Při výrobě FV panelu je důležité čiré sklo, které se začíná stávat nedostatkovým materiálem, přičemž recyklace panelů je jedna z možností dostat se k čistému sklu. Novými technologiemi je možno toto sklo dostat nazpět do oběhu. Recyklace se provádí jak na poškozených, tak i

nepoškozených panelech. Postupy recyklace jsou termicko-mechanická a mechanicko-chemická metoda. Pro obě metody platí nutnost odstranění hliníkového rámu, který se ve většině případů recykluje ze 100 %. Křemík a sklo se zrecyklují na 95 %. Z jednoho panelu můžeme dosáhnout až 95 % materiálové recyklace a tím i následné znovuvyužití surovin. [26]

5.2 Metody recyklace

5.2.1 Termicko-mechanická metoda

Tato metoda byla uváděna jako jedna s největší univerzálností na trhu. Lze recyklovat všechny komerčně vyráběné FV panely na bázi krystalického křemíku. Metoda byla navrhována a odzkoušena německou firmou Deutsche solar AG.

První krok v tomto procesu je odstranění fólie EVA, kterou je modul zapouzdřen. Fólie lze odstranit za použití termické metody nebo chemické metody. Po odstranění fólie se začínají oddělovat jednotlivé vrstvy. FV modul se vkládá do peci, kde se při teplotě okolo 500 °C začne odpařovat všechny plast, který se na modulu nachází. Po odpaření plastů je možné se dále dostat k ostatním částem modulu. Odpařené plasty, které jsou v tuto chvíli v plynném skupenství, se přesouvají do spalovacích komor. V těchto komorách dochází k dokonalejšímu spalování plastů, které je šetrnější k životnímu prostředí. Vzniklé teplo po spalování je možné dále použít v recyklačním procesu. Termická metoda je velmi jednoduchá a velmi používaná ke komerční recyklaci FV modulů. Tato metoda je však velmi ekonomicky náročná po energetické stránce. Nadále je využíván velký podíl manuální práce, která je využívána při ručním oddělování uvolněných jednotlivých částí panelu. Tato metoda produkuje nepoškozené křemíkové články, které po následném zpracování lze opětovně použít.

FV články, které chceme opětovně využít, musí podstoupit očištění. Pro čištění se využívá chemická metoda. Tento postup je optimalizován a je velmi účinný a rychlý, přičemž je využito velmi malého množství toxických rozpouštědel.

Jsou-li panely nepoškozené, lze vytěžit až osmdesát pět procent článků pro nové použití. Spotřebu energie na výrobu nových panelů je díky tomu možno snížit až o sedmdesát procent. [16,54,55]

Výše popsaná metoda byla navržena pro krystalické křemíkové FV panely. Vzhledem k pokroku v technologii výroby FV panelů dříve používané články nejsou dnes již použitelné. Současná cena křemíku a náklady na recyklaci tuto metodu dělají ekonomicky neefektivní.

5.2.2 Mechanicko – chemická metoda

Metoda mechanicko-chemická je nejvíce výhodná pro tenké a křehké FV panely. Pro recyklaci panelů je navrhován podobný postup jako při recyklaci LCD televizorů. Při současném trendu snižování použitého množství materiálů a tím i tloušťce článků, je pro jejich recyklaci nutno využívat tuto metodu. Do budoucna se očekává využívání takových rozměrů článků, které eliminují možnosti ručního zpracování.

Podstata mechanicko-chemické metody je demontování panelu a odstranění hliníkového rámu a přívodních kabelů. Následuje drcení ostatních částí panelu a třídění velikostních frakcí. Pro drcení se nejvíce využívá drtiče a mlýny. Různé metody třídění probíhají v kombinaci pro separaci jednotlivých částí FV panelu.

K separaci skla se používají vibrační třídíče, kde se sklo vibrací rozpadá. Do separační technologie spadá elektrodynamická separace, fluidní a mokré splavy. Elektrodynamický separátor odděluje drahé kovy od ostatního materiálu. Magnetická separace odděluje materiály ze železa. Fluidní a mokré splavy využívají na separaci měrné hmotnosti tříděného materiálu. Těžké, vzácné a toxické prvky se vytěžují metodou elektrolýzy nebo chemicky. Plastové komponenty jsou následně odstraněny. Výsledkem tohoto procesu jsou drcené suroviny, které mohou být použity v metalurgickém průmyslu. Ve srovnání s termickou metodou je využito podstatně méně ruční práce. [16,56,57]

5.3 Výtěžnost materiálů

Jak jsem již zmínil, FV panel obsahuje konstrukční materiály, které lze z velké části recyklovat. Do budoucích let je předpokládáno postupné vyčerpávání ložisek nerostných surovin, proto je podpora recyklace a oběhového hospodářství nezbytný celosvětový trend.

Sklo – na tento materiál připadá největší váha z celého panelu. Je to základní konstrukční materiál všech typů FV panelů. Recyklací lze snížit energii na jeho výrobu až o čtyřicet procent. Technologickými procesy lze tento materiál dostat ve velmi čisté formě. Termicko-chemická metoda recyklování neumožňuje výrobu plochého skla. Pro výrobu plochého skla jsou však tak vysoké kvalitativní požadavky, že se v praxi tento recyklát nedá použít a je využíván pro výrobu obalového skla. Další možností je nadrceným sklem rekultivovat skládky nebo jiné odpovídající využití. Metoda mechanicko-chemická produkuje čisté ploché sklo. Účinnost recyklace skla se pohybuje okolo 97 %. [16,58]

Hliník – je druhá surovina s největším zastoupením na rámovém FV panelu. Tento materiál lze jednoduše recyklovat a jeho recyklační výtěžnost se blíží sto procent. Primární výroba hliníkového rámu je zhruba osm procent spotřeby energie na výrobu celého FV panelu. [16,58]

Plast – část plastových komponentů se při recyklaci spálí a stává se z ní palivo pro primární spalování v kotlích. V praxi se obvykle využívá jako palivo na výrobu energie. Materiál degraduje v čase i za pomoci přírodních podmínek.

Fotovoltaické články – v panelech z krystalických článků se tyto FV články podílejí na celkové hmotnosti jen málo. Články však mají největší podíl na výsledné ceně panelu a to až z padesáti procent. Největší podíl mají také na vynaložené výrobní energii, která se pohybuje okolo osmdesáti procent z celkové výrobní energie FV panelu. Články jsou po době životnosti nezměněny a mohou být znovu použity do nových FV panelů obdobné výrobní technologie. Do nových či jiných technologií se neuplatní díky technologickému vývoji. [16,58]

Těžké kovy – jsou při výrobě a ceně těchto materiálů zanedbatelné. Jednotlivé materiály tvoří minimální hmotnost panelu a jejich váha se pohybuje v promile procenta. Recyklace a její následné znovupoužití není ekonomicky výhodné. Recyklace se pohybuje v cenách primární výroby. [16,58]

Stříbro – tato komodita je na trhu velmi žádaná a má vysoké pořizovací náklady. Je to také jediný materiál, který může recyklaci FV panelu posunout do ekonomicky kladných čísel. Z tohoto důvodu je na výtěž stříbra v recyklačním procesu kladem vysoký důraz. Nutno uvést, že jen některé panely obsahují stříbro v takové míře aby se ekonomicky vyplatila recyklace. [59]

5.4 Nezbytnost zavádění nových recyklačních technologií

K dosažení udržitelného rozvoje jsou zcela zásadní nové recyklační technologie, vyžadující účinnější využití zdrojů. Posun recyklačních technologií přinese nové obchodní příležitosti a možnosti pro inovativní firmy. 20. století znamenalo prudký nárůst spotřeby kovů. Drahé kovy jsou využívány v elektro či energetickém průmyslu. Nejen vývoj nových technologií je důležitý, kdy v dnešní době při nízkém objemu solárních panelů je možnost hledat technologie, které jsou již na trhu, ale mají jiný směr recyklace (např. plastových oken či dveří, mají podobné materiálové složení).

Zvýšení sběru odpadů je prvním krokem ke zvýšení stupně recyklace, odpady obsahují velké množství kovů, nejen ve fotovoltaických, ale i ve veškerých elektrických a elektronických zařízeních.

Dalším faktorem pro zlepšení recyklačních procesů je i design (ekomodulace), který by usnadnil demontáž.

Recyklace v tržních podmínkách

Pro uskutečnění úspěšné recyklace jsou v tržních podmínkách nutné čtyři základní předpoklady :

- **spolehlivá dlouhodobě zajištěná dodávka FV panelů**
Předpoklad bude v ČR naplňován až v letech 2030-2040 s předpokladem, že majitelé se rozhodnou panel odevzdat k likvidaci.
- **dostatečné prostředky pro sběr, dopravu a zpracování panelů**
Předpoklad by měl být naplněn recyklační vyhláškou č. 352/2005 Sb., v části o výši poplatků.
- **Vhodné technologie pro recyklaci FV panelů**
Současné metody pro recyklaci jsou nedostatečné. Nelze úplně vytěžit veškeré materiály v potřebné čistotě.
- **Dostatečný trh**
Zajištění veškerých odběrů materiálů z recyklačního procesu.

Ekonomické předpoklady recyklace budou naplněny, pakliže budou splněny uvedené podmínky.

Pro realizaci vybudování recyklačního zařízení je nutné mít zajištěné využití recyklovaných materiálů takto : [26]

- **Zájem o recyklované materiály**
 - o Sklo, křemík, hliník, drahé kovy
- **Dostačující kvality materiálů pro požadavky průmyslu**
- **Technologická a ekonomická konkurence primárních surovin**
- **Technologie pro zpracování FV panelů**
- **Motivace výrobců k odběru recyklátů**
 - o Prodejní cena
- **Existence oblastí využití recyklátů**

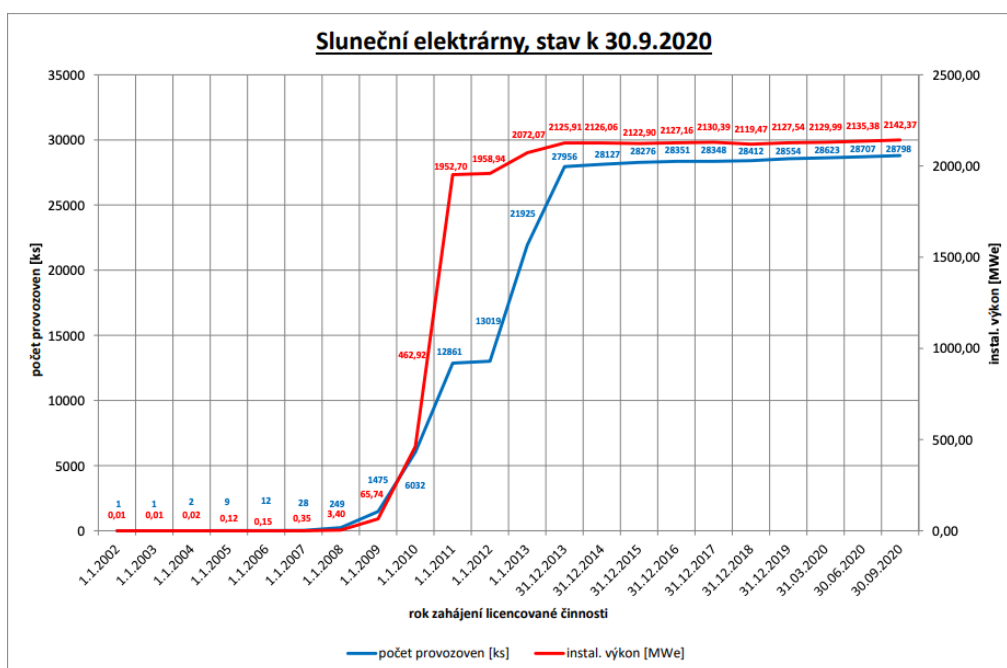
5.5 Vývoj FV v České republice

Tabulka č. 3 zobrazuje vývoj instalovaného výkonu v České republice. Začátek nárůstu instalovaného výkonu, přichází v roce 2009, kdy z 65,74 MW vzrostl na 462,92 MW. Strmý nárůst instalací nastal v polovině roku 2011 a do poloviny roku 2012 dosáhl hodnoty 1 490 MW. Následný růst byl pozvolný a mezi roky 2012 až 2014 přibylo 173 MW. V České republice byl k 30.9.2020 instalovaný výkon 2 142,37 MW s počtem provozoven 28 798. [14]

Tabulka č. 6: Přírůstek instalovaného výkonu v ČR. [60]

rok	počet provozoven	instalovaný výkon [Mwe]
2002	1	0,01
2003	1	0,01
2004	2	0,02
2005	9	0,12
2006	12	0,15
2007	28	0,35
2008	249	3,4
2009	1475	65,74
2010	6032	462,92
2011	12861	1952,7
2012	13019	1958,94

2013	21925	2072,07
2014	27956	2125,91
2015	28127	2126,06
2016	28276	2122,9
2017	28351	2127,16
2018	28348	2130,39
2019	28554	2119,47
2020	28623	2129,99
2021	28798	2142,37



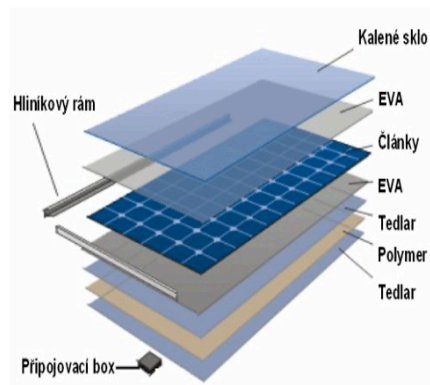
Graf č. 1: Sluneční elektrárny ČR, 2002-2020 [61]

5.6 Současný stav technologií

5.6.1 Czech Galmet s.r.o.

Společnost Galmet s.r.o. vytvořila modelový příklad zpracování solárních panelů v roce 2013, která byla dceřinou společností firmy Kovohutě Příbram a.s.. Tento výzkum doplňovala společnost Aquatest a.s.. Spojením těchto firem došlo k vytvoření vzorové testovací linky na zpracování solárních panelů. Firma Aquatest nadrtila vzorky a následně separovala na jednotlivé materiály. Část připravenou na chemickou rafinaci odeslala do firmy Galmet k dalšímu vytěžení suroviny (drahé kovy).

Vzorkované fotovoltaické panely byly na bázi křemíku.



Statistický panel :

Hliníkový rám : 12%

Sklo : 70%

Plasty : 12%

Křemík : 4%

Kovy : 1%

(Cu,Ag,Al,Fe,Pb,Sn)

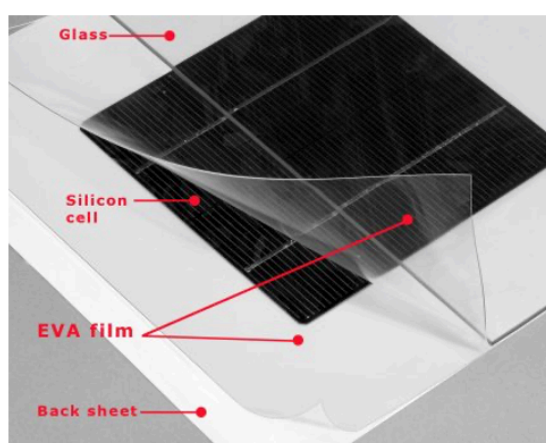
z toho **Ag 0,06-0,2%**

Obrázek č. 9: Popis jednotlivých materiálů v křemíkových panelech [62]

Křemíkové články/ silicon cell, wafers

Tyto články jsou vyrobeny jako destičky s povrchem dopovaným fosforem. Elektrony jsou sbírány tenkými linkami Ag a předány nalepené CuSn(Pb) drátky. Spodní kontakt je realizovaný napařenou vrstvou Al a stříbrnými linkami.

Celá plocha je zatavena do EVA folie. Vrchní ochrana je kvalitní tvrzené sklo, spodní ochrana je PVF (polyvinylfluorid, Tedlar).



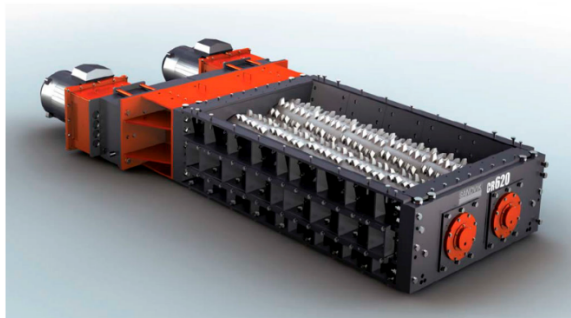
Obrázek č. 10: Křemíkový panel [62]

Postupy separace jednotlivých složek

- **Mechanické práce:** odstranění Al rámu
- **Termická degradace plastu :** Tato metoda je vhodná pro jednodruhové a nepoškozené panely. U rozbitých se ztrácí výhoda snadného oddělení skla)
- **Drcení a mletí na jemnou drť (<1mm):** Probíhá elektrodynamické třídění vodičů (Si, kov) a nevodičů (sklo, plast), velmi efektivní z hlediska dělení. Je velmi provozně náročná. Výstup tvoří jemná drť skla a plastů.
- **Vícetupňové drcení a třídění:** Plně mechanizovaná metoda s vysokým výkonem, zpracování probíhá mokrou chemickou cestou (rozpuštění kovů v kyselinách)

Hrubé nadrcení

Probíhá na dvojitém válcovém drtiči. Výstup je hrubá drť, kde dochází k rozbití a oddělení větší části skla bez desintegrace plastové části se zataveným Si.



Obrázek č. 11: Válcový drtič [62]

Oddělení plastu a skla – Probíhá skrze nožový mlýn, kde dochází k oddělení křemíku a stříbra od plastů a skla.

Třídění od nenadrcených částí a drátků



Obrázek č. 12: Nožový mlýn (vlevo); třídič se šnekovým dopravníkem (vpravo) [62]

Chemická část:

Probíhá v rozpouštěcím reaktoru s vnitřním šnekovým vynašečem tuhého podílu



Obrázek č. 13: Rozpouštěcí reaktor [62]

Separace skla a plastu – probíhá v mokrém splavu



Obrázek č. 14: Mokrý splav [62]

Tabulka č. 7: Výsledky ekonomického posouzení v Kč [62]

Výstupy		Kg	Náklady na pořízení	Výnosy z prodeje	Bilance v Kč
Vstup 1000 kg FV					
Hliníkové rámy	demontáž	120	1200	3600	2400
Sklo hrubé	třídění	600	3000	1500	-1500
Plasty + Si + drátky	spálení	120	1500	>1500	>0
Sklo jemné + plast + Ag	třídění	160	800	0	-800
Náklady chemie		Ag	5000		
Obsah Ag 0,06%	rafinace	0,6	2500	9000	0
Obsah Ag 0,13%	rafinace	1,3	5000	19500	8000 zisk
Obsah Ag 0,20%	rafinace	2	7500	30000	16000 zisk

Z výsledné tabulky je zřejmé, že jedinou ekonomicky zajímavou položkou je **stříbro (Ag)**. Cena surového Si (98,5%) byla v roce 2013 50 Kč/kg. Účinné dělení jemného skla je velmi ekonomicky, energeticky náročné. Surový křemík Si byl odebírán z hliníkáren za cenu 30 Kč/kg. Panely s obsahem Ag do 0,07% se ekonomicky nevyplatí chemicky zpracovávat, postačí pouze mechanická separace rámu, skla a spálení plastů zaplatí Ag v popelu.

Tento rozbor byl kalkulován pro zpracování **500 t panelů za rok**, většina nákladů je ale proporcionální množství, rozdíl mohou představovat odpisy z technologií.

Recyklační poplatek by měl pokrýt ostatní náklady (demontáž, dopravu, skladování a manipulaci).

Na tento druh solárních panelů se vztahuje historický recyklační poplatek ve výši **8,50 Kč/kg**.

Vývoj ceny stříbra, přispívá k tomu, aby se o drahé kovy z recyklací více zajímal průmysl jako o levnější variantu nákupu.

Vývoj ceny stříbra US\$/Trojská unce



Obrázek č. 15: Vývoj ceny stříbra [63]

5.6.2 Reiling Glas Recycling GmbH & Co

Reiling Glas Recycling GmbH & Co. KG je rodinná německá firma fungující na recyklačním trhu více jak 100 let. Provozuje recyklace plastů (PET), dřeva a skla. Recyklaci solárních panelů začala provozovat před 10 lety, kdy vycházela z technologie zpracování komerčně dostupných druhů skla. V roce 2014 vybudovala nový závod nedaleko města Osterweddingen. Budování závodu bylo rozděleno do 3 etap kvůli snížení ekonomických nákladů. V prvotní fázi se vybuďovalo středisko pro zpracování obalového a dutého skla, druhá fáze zahrnovala zpracování plochého skla a skla ze solárních modulů. Poslední fáze výstavby závodu je specializovaná na likvidaci vyřazených solárních systémů. Cena nového závodu je cca **20 miliónů euro**. [64]

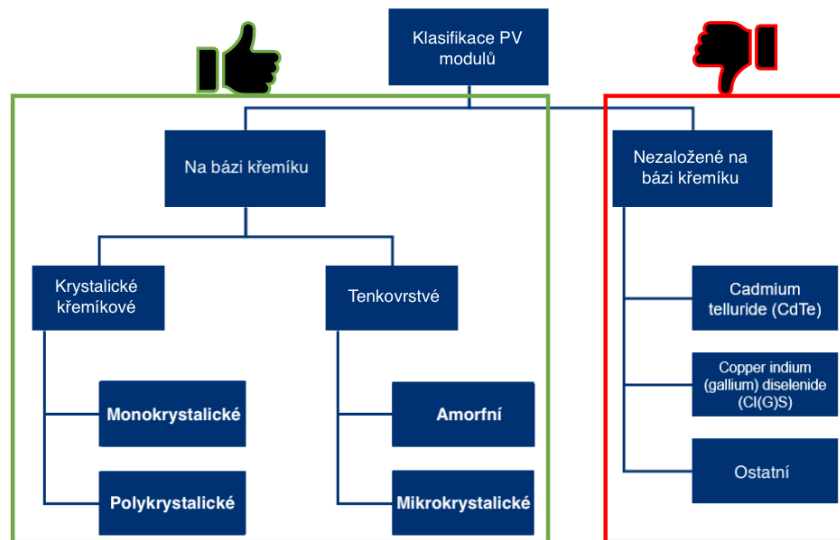
Firma Reiling odebírá na zpracování pouze solární panely na bázi křemíku a ty jsou rozděleny na :

Zpracovatelné

- monokrystalické
- polykrystalické
- amorfni
- mikrokrystalické

Nezpracovatelné

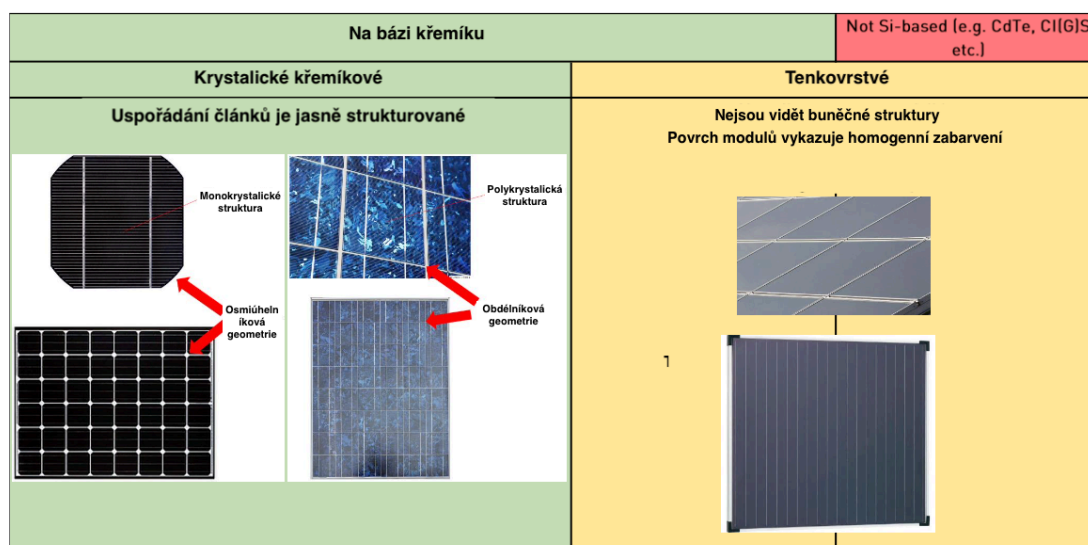
- kadmiové
- s obsahem galia
- ostatní



1

Obrázek č. 16: Klasifikace solárních panelů [65]

Kritéria rozdělení



Obrázek č. 17: Optické rozlišení solárních panelů [65]

Ceník společnosti Reiling za recyklaci solárních panelů pro rok 2020.

Ceny za odebírané panely se odvíjí od jeho poškození

Tabulka č. 8: Ceník firmy Reiling [65]

Typ modulu	Interní kód třídění	Cena €/t
FV panel krystalický křemíkový		
FV panel s rámem a kabely	(270)	50 €
FV panel bez rámu a kabelů	rozebraný (271)	200 €
FV panel bez rámu a kabelů	manuální třídění bez rámu (272)	160 €
FV panel s montážními lištami	(273)	85 €
FV panel tenkovrstvý		
FV panel s rámem a kabely	(280)	70 €
FV panel bez rámu a kabelů	rozebraný (281)	175 €
FV panel bez rámu a kabelů	manuální třídění bez rámu (281)	135 €
FV panel s montážními lištami	(283)	145 €

Zpracování v závodu Reiling.

Solární panely jsou vesměs tříděny manuálně na stejné druhy a připravovány na následnou recyklaci. Dále probíhá hrubé odstranění rozvaděčů, konektorů, kabelů a hliníkového rámu. Po odstranění zůstane pouze solární panel se sklem a EVA folií, tyto panely jsou drceny na hrubých a jemných drtičích. Po této fázi materiál prochází recyklačním zařízením na ploché sklo. Z výsledné drti jsou automatizovaně odstraňovány nečistoty. Konečné materiály jsou podrobeny manuální výstupní kontrole.



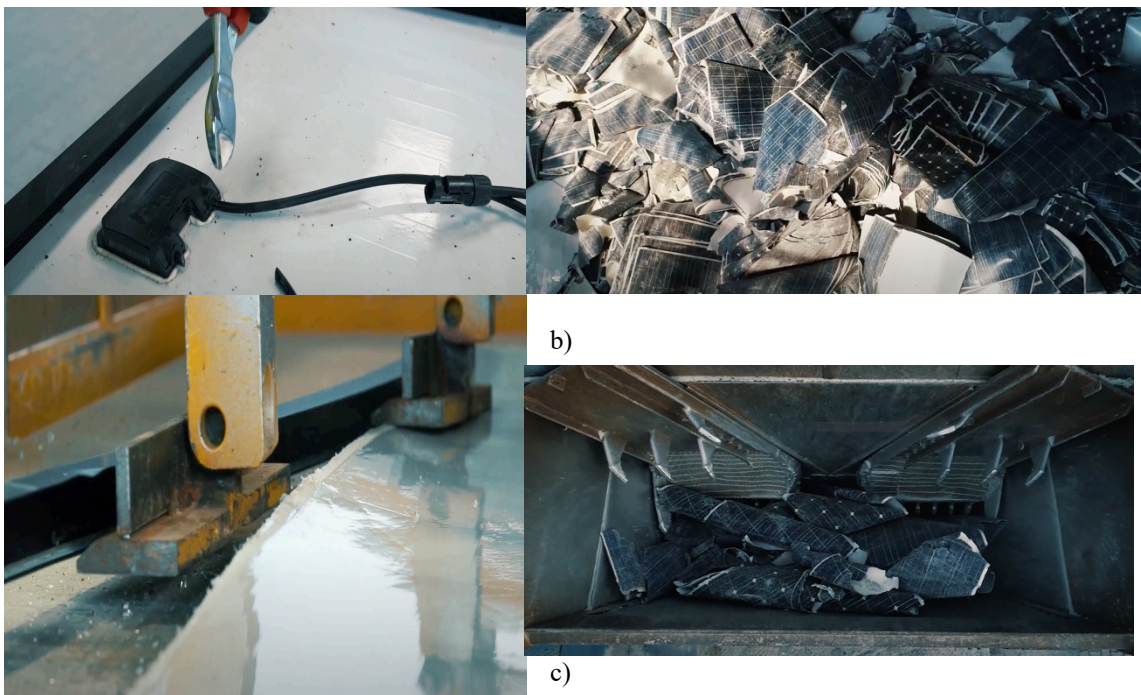
Obrázek č. 18: Technologie zpracování solárních panelů [65]



Obrázek č. 19: Technologie uskladnění solárních panelů [65]

Odstranění kabelů a hliníkového rámu.

Základní oddělení rozvaděčů, kabelů a hliníkového rámu.



a)

b)

c)

Obrázek č. 20: Technologie zpracování solárních panelů: a) odstranění kabelů a rámu, b) separace, c) drcení [65]

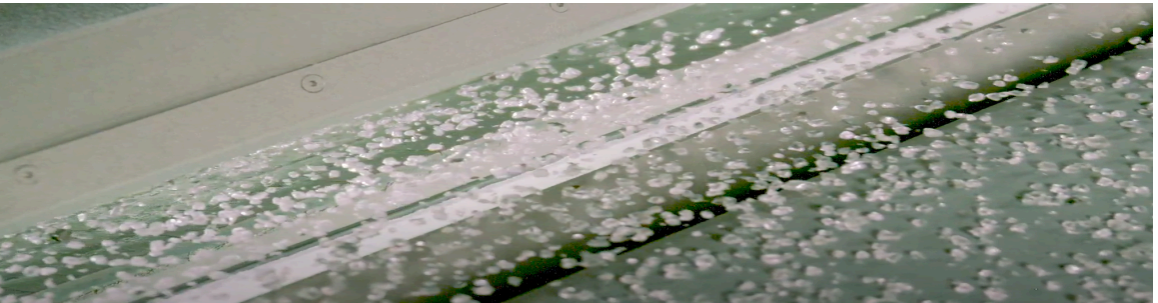
Vícestupňové zpracování



Obrázek č. 21: Technologie zpracování solárních panelů [65]

Vibrační oddělení materiálů

Materiál prochází skrze vibrační pásy se separátory



Obrázek č. 22: Vibrační zpracování solárních panelů [65]



Obrázek č. 23: Separční technologie [65]

Ruční dotříd'ování –

Výstupem ručního třídění je sklo, křemík, drahé kovy.

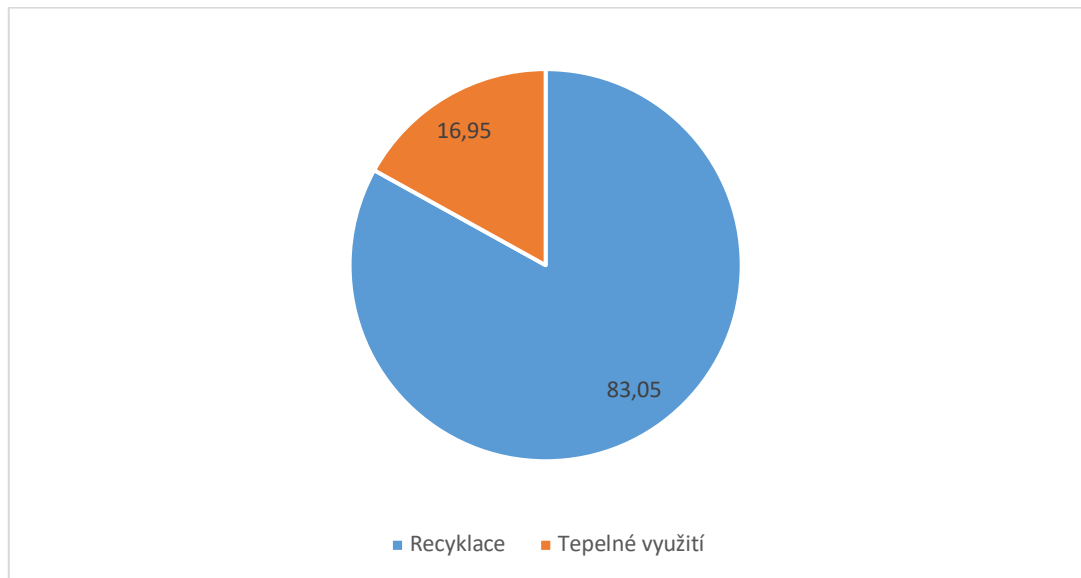


Obrázek č. 24: Ruční dotříd'ování [65]



Obrázek č. 25: Výstupní materiály [65]

Míra využití materiálu poskytnutá společností Reiling. Z grafu je zřejmé, že recyklace dosahuje 83,05 % tedy zákonnou povinnost v ČR na minimální využití materiálů ze solárních panelů, ostatní ve výši 16,95 % je energeticky využito.



Graf č. 2: Míra využití hmotností bilance firmy Reiling [65]

5.6.3 Veolia Déconstruction France

V roce 2017, francouzská společnost sídlící v Paříži, jako první v Evropě uvedla do provozu závod specializující se na zpracování solárních panelů. Rozhodnutí o otevření závodu následovalo po uzavření smlouvy s recyklační organizací PV Cycle France. Podle internetových stránek Renewables Now dohoda znamená, že v roce 2018 firma Veolia zrecykluje 1 300 tun solárních panelů s nárůstem až 4 000 tun do roku 2022.

Solární panely se mohou lišit materiálovým složením, přičemž ty starší obsahují polykrystalický a monokrystalický křemík. Novější články mohou obsahovat sloučeniny s kadmíem (Cd), mědí (Cu), indiem (In) a galliem (Ga). Továrna je automatizována, kdy roboti rozkládají solární panely k recyklaci skla, křemíku, plastu, mědi a stříbra, které se drtí na granulát. Tyto materiály lze použít k výrobě nových solárních panelů.

Společnost Veolia si klade za cíl recyklovat veškeré vyřazené fotovoltaické panely ve Francii. [66,67,68]

Technologie zpracování:

Sběr probíhá přes partnerská místa PV Cycle, kde jsou panely roztríděny podle váhy a průvodních dokumentů (data sheet).



Obrázek č. 26: Roztrídování panelů [69]

Automatizované odstranění periferií: Hliníkový rám, rozvaděče, kabely,



Obrázek č. 27: Roztřídování panelů [69]

Následně je robotem panel přesunut na dopravníkový pás připojený na řezač, kde bude rozřezán na malé tablety, což umožní jejich vložení do následného procesu.



Obrázek č. 28: Roztřídování panelů [69]



Obrázek č. 29: Drcení panelu na tablety [69]

Uvnitř stroje najdeme drtič a separační zařízení k prosévání materiálu, které umožní extrahovat kovové kousky, a dále probíhá optické třídění umožňující získat čisté sklo. Materiál takto vytvořený již není klasifikovaný jako odpad ale materiál určený k výrobě komodit.

Třídící jednotka vytváří cca 10 frakcí materiálu a to znamená 10 materiálových výstupů.



Obrázek č. 30: Třídění materiálu [69]

Výsledkem je 65 až 75 % skla, 10 % plastu, zbytek je rozdělen do křemíku a kovů.



Obrázek č. 31: Třídění materiálu [69]

Zpracování jednoho panelu trvá 1 až 1,5 minuty.

Veolia přepokládá růst trhu se solárními panely, proto bude navyšovat svůj objem zpracování. Recyklační technologie firmy jsou inovativní a dokáží recyklovat, jak uvádí veškeré solární panely na trhu, což je v dnešní době velmi ojedinělé. Recyklační proces dosahuje míry recyklace až 95%.

5.6.4 LuxChemtech GmbH - Freiburger Recycling And Silicon Technology

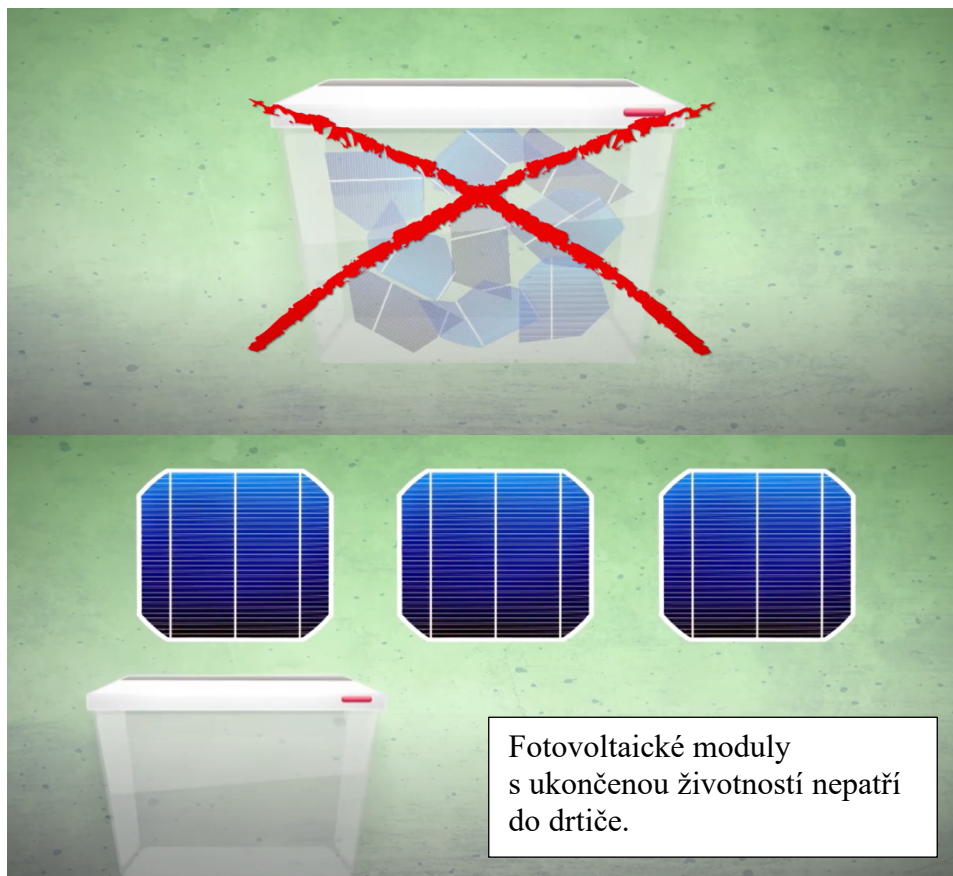
Chemické zpracování FV panelů

Německá firma zabývající se recyklací solárních panelů. Firma pokrývá celou šířku pásma využití vzácných surovin a materiálů. Solární panely jsou recyklovány bez odpadů jako skutečná cirkulární ekonomika.

Pro zpracování solárních panelů využívají chemickou metodu na rozpouštění a oddělování materiálů od sebe. Tato technologie je zaměřena na recyklování skla ze

solárních panelů a znovu využití ve fotovoltaickém průmyslu. Předpoklad objemů pro rok 2022 je 2 000 t/rok.

Specializovaný závod je postaven v Sasko-Anhaltsku. [70]



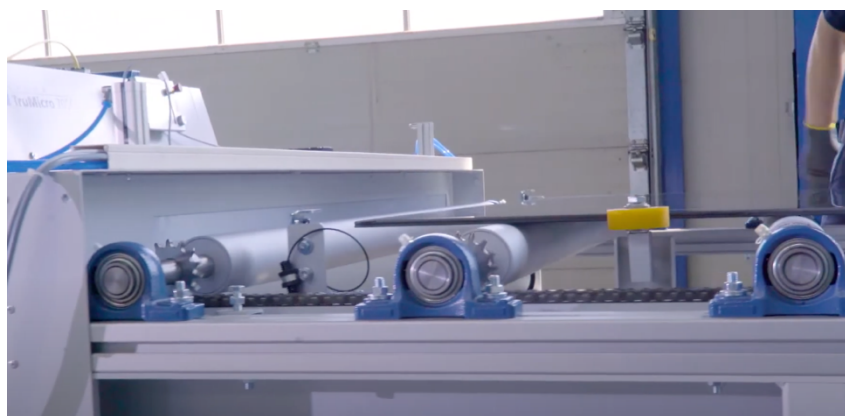
Obrázek č. 32: Koncept odpadu ze solárních článků [71]

[Linka na zpracování solárních panelů laserovou metodou.](#)

Na dopravník se umístí nepoškozený solární panel očištěný od hliníkového rámu a periferií jako jsou kabely a rozvaděče.



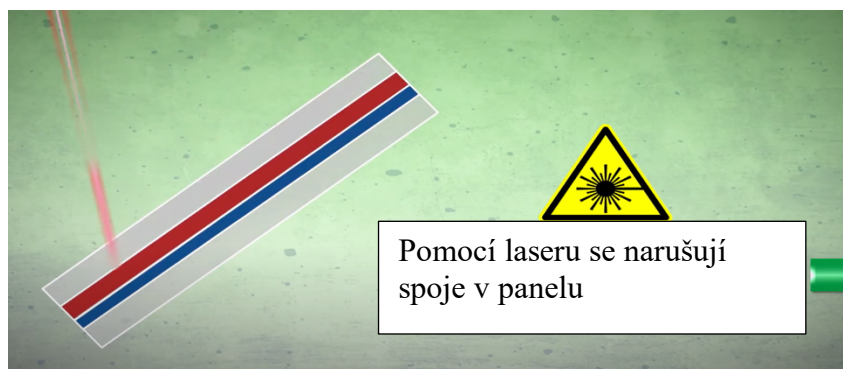
Obrázek č. 33: Expoziční komora [71]



Obrázek č. 34: Dopravník [71]

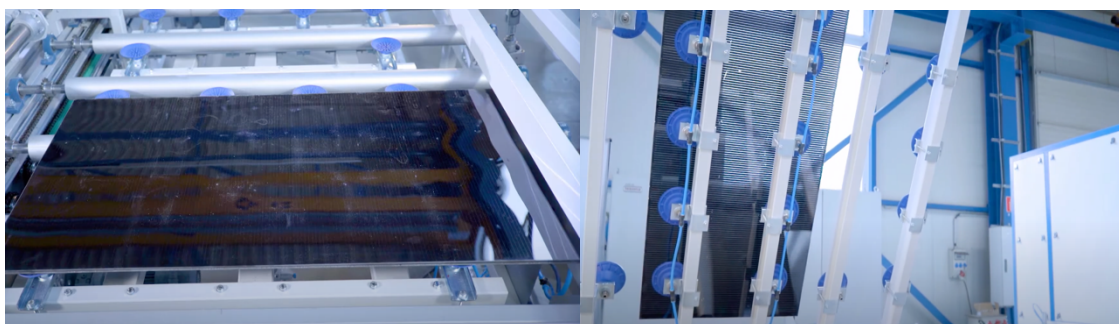
Technologie zpracování:

Pomocí laseru dochází k oslabení spojů mezi vrstvami panelu a roboticky se od sebe oddělí.



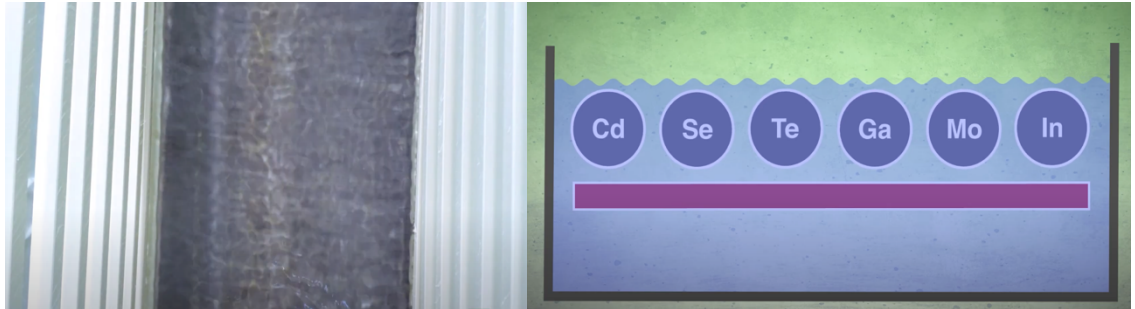
Obrázek č. 35: Laserové oslabování spojů [71]

Po laserovém oslabení spojů dochází k oddělení horního a spodního skla od solárních článků, pomocí vakuových přísavek.



Obrázek č.: 36 vlevo: vakuové přísavky na manipulaci s panelem, vpravo: odhalené solární články [71]

Následně jsou skleněné desky přesouvány a ukládány do nosičů, které jsou máčeny do chemické lázně, kde dochází k rozpouštění polovodičových vrstev.



Obrázek č. 37: chemická lázeň (vlevo), grafické znázornění odstranění polovodičových spojů (vpravo) [71]

Výsledek inovativní technologie recykluje přední a zadní sklo z fotovoltaického panelu. Tato metoda se specializuje na získávání skleněných tabulí z FV panelů, které dokáže vytvářet v požadované čistotě. Panely poškozené tato technologie zpracovávat nedokáže. Cílem firmy je navýšení zpracovatelského objemu na 2 000 t/rok.

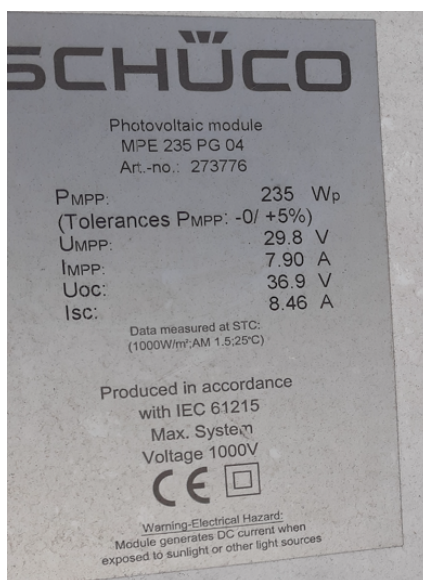
6 Výsledky

6.1 Materiálová analýza

Materiálová analýza byla provedena za spolupráce s kolektivním systémem.

Pro analýzu jsem vybral polykrystalický solární panel od německé firmy Schüco založená v roce 1954 na výrobu oken. Výrobou solárních panelů se začala zabývat v 90. letech minulého století.

Panel zastupuje nejběžnější a nejrozšířenější skupinu instalovaných panelů v letech 2010 až 2013. Panel Schüco MPE 235 PG 04 je krystalicko-křemíkový s hliníkovým rámem, rozvaděčem a kabely.



Obrázek č. 38: Štítek FV panelu Schüco MPE 235 PG 04

Tabulka č. 9: Technické parametry FV panelu Schüco MPE 235 PG 04

Název	MPE 235 PG 04
Typ křemíkové destičky	Polykrystalický
Počet článků	60/60x10
Rozměry článků	156x156 mm
Účinnost modulu	14,60%
Jmenovitý výkon	235 kWp
Ochranný rám	Hliníkový
Přední krycí sklo	Tvrzené sklo (TSG) 3,2mm
Váha modulu	20kg
Rozměry modulu	1638x982x40mm
Délka kabelů	1100mm
Garantovaný výstup 100%	10 let
Garantovaný výstup 90%	12 let
Garantovaný výstup 80%	25 let



Obrázek č. 39: FV panely vybrané k analýze

Technologický postup zpracování: Byly posouzeny dvě metody a to:

- Stříháním,
- řezáním úhlovou bruskou s diamantovým kotoučem s průměrem 125 mm.

Prvotně jsem oddělil hliníkový rám a kabely. Panely jsem rozřezal úhlovou bruskou s diamantovým kotoučem na jednotlivé pásy. Hmotnost odstraněných panelů byla 0,8 kg, hliníkový rám 3,8 kg. Hliníkový rám byl znečištěn od zbytků skla a silikonu. Prořez od úhlové brusky s diamantovým kotoučem byl necelý 1 kg.

Laboratorní postup zpracování: Následně byly pásy zabaleny a odeslány ve spolupráci s kolektivním systémem k materiálové analýze. Pyrolýzní zkoušky proběhly na nařezaných destičkách. Vzorky byly předány na laboratorní zkoušky pyrolýzního zplynování s energetickým využitím plastu.

Tabulka č. 10: Váha FV panelu Schüco po rozřezání MPE 235 PG 04

Panel MPE 235 PG 04	kg
Hmotnost	20
Hmotnost po demontáži a řezu	15
Hmotnost kabelů	0,4
Hmotnost hliníkového rámu	3,8
Prořez/smetky	~1



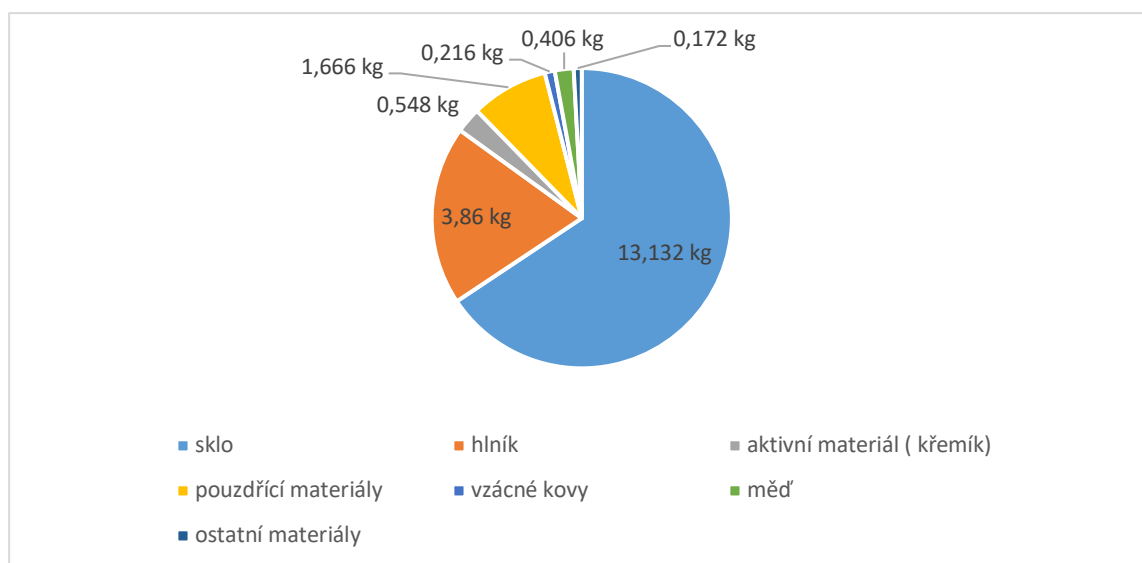
Obrázek č. 40: Rozřezané pásy FV panelu Schüco MPE 235 PG 04

Výsledky analýzy

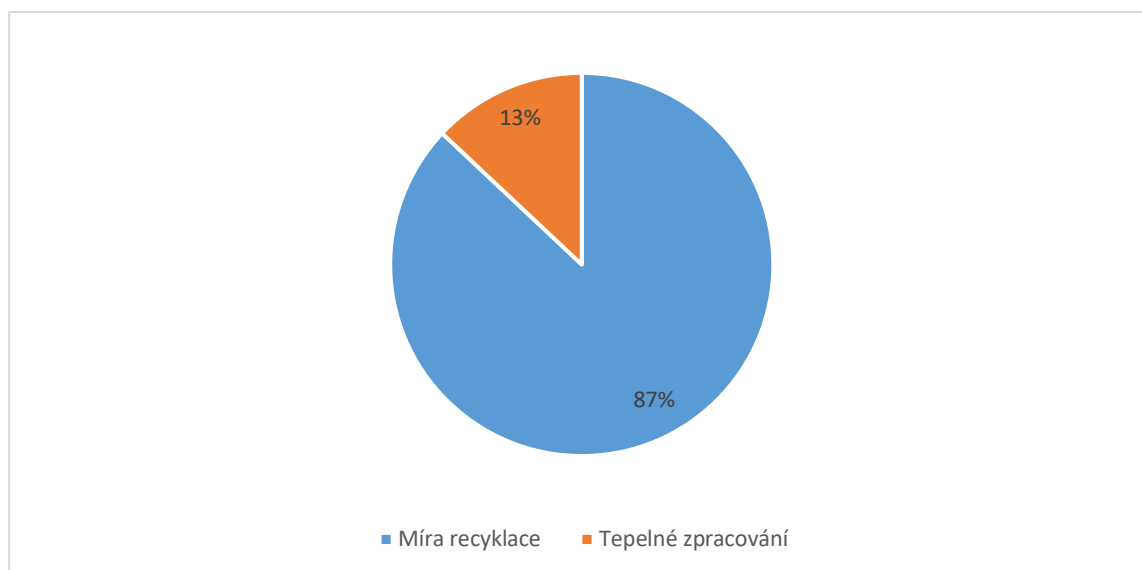
Celková míra recyklace u provedené analýzy je 87 %. Ostatních 13 % nešlo materiálově využít a bylo použito na tepelné zpracování.

Tabulka č. 11: Materiálová analýza FV panelu Schüco MPE 235 PG 04

	Váha kg	Recyklováno kg	Míra recyklace	Váha recyklátů
Váha modulu	20			
sklo	65,66%	13,132	95%	12,4754
hliník	19,30%	3,86	100%	3,86
aktivní materiál (křemík)	2,74%	0,548	85%	0,4658
pouzdrící materiály	8,33%	1,666	95%	1,5827
vzácné kovy	1,08%	0,216	80%	0,1728
měď	2,03%	0,406	95%	0,3857
ostatní materiály	0,86%	0,172	78%	0,13416



Graf č. 3: Materiálová analýza FV panelu Schüco MPE 235 PG 04



Graf č. 4: Hmotnostní bilance FV panelu Schüco MPE 235 PG 04

6.2 Srovnání technologií na evropském trhu

Technologie zpracování u porovnávaných firem v níže uvedené tab. č. 12 umožňují zpracování mnou analyzovaného FV panelu s různou mírou dosažené recyklace.

Tabulka č. 12: Srovnání recyklačních technologií FV panelů

Země	Název společnosti	Technologie	Typ zpracovávaných panelů	Míra poškození panelů	Dosažená míra recyklace	Předpoklad objemu
DE	Reiling Glas Recycling GmbH & Co. KG	Drcení FV panelů	Křemíkové, tenkovrstvé FV	Poškození i nepoškozené	83 %	1 500 t/rok
FR	Veolia Déconstruction France	Drcení FV panelů	Veškeré typy FV panelů	Poškození i nepoškozené	95 %	4 000 t/rok
DE	LuxChemtech GmbH	Chemické	Křemíkové, tenkovrstvé FV	Pouze nepoškozené	95 %	2 000t/rok

Objemy, které mají firmy na zpracování FV panelů za cíl, jsou nedostatečné pro budoucí potřeby České republiky dle tabulky č. 13 Přepočít výkonu na tuny. Veškeré technologie však splňují legislativní minimální míru recyklace.

Disponibilní množství (váha solárních panelů) k ročnímu zpracování v ČR.

Tabulka č. 13: Přepočít výkonu na tuny dle MŽP [14]

rok	Instalovaný výkon [Mwe]	Přírůstek za rok [Mwe]	Přepočít na tuny
2002	0,01	0	0
2003	0,01	0	0
2004	0,02	0,01	1,1
2005	0,12	0,1	11
2006	0,15	0,03	3,3
2007	0,35	0,2	22
2008	3,4	3,05	335,5
2009	65,74	62,34	6857,4
2010	462,92	397,18	43689,8
2011	1952,7	1489,78	163875,8
2012	1958,94	6,24	686,4
2013	2072,07	113,13	12444,3
2014	2125,91	53,84	5922,4
2015	2126,06	0,15	16,5
2016	2122,9	-3,16	0
2017	2127,16	4,26	468,6
2018	2130,39	3,23	355,3

2019	2119,47	-10,92	0
2020	2129,99	10,52	1157,2
2021	2142,37	12,38	1361,8

6.3 Opětovné použití

Dle platné legislativy je opětovné použití upřednostňováno před samotným materiálovým využitím. Ve spolupráci s kolektivním systémem se ve vybraných FVE potvrdila měřením garantovaná účinnost výrobce a tudíž jsou panely vhodné pro opětovné použití. Z dat energetické bilance FV panelu začne panel vyrábět „zelenou energii“ po 10 roku své existence při předpokladu výroby 175 kWh za rok. V tomto smyslu je pro panel po ukončení své primární životnosti nejlepší varianta recyklace opětovné použití. [72]

Varianta opětovného použití vyžaduje další technologické zařízení k překontrolování či repasování FV panelů.

- Po technickém překontrolování opětovné uvedení do provozu.
- Repasování a odstranění běžných závad.
- Vývoz a prodej do třetích zemí.

V současné době je již připraven dotační titul z MŽP: **RE-USE centra pro opětovné použití výrobků, aktivity pro opravy a prodlužování životnosti výrobků a prevence vzniku odpadu.**

Typový projekt

Jedná se především o projekty na vybudování míst, kam mohou občané přinést jakékoli předměty, domácí, zahradní, opravárenské vybavení, sportovní vybavení, oblečení, textil, knihy, elektrozařízení atd., které již oni nevyužívají, ale stále mohou sloužit svému původnímu či jinému účelu. Na těchto místech je odborný personál převezme, případně upraví a předá k dalšímu využití.

Projekty mohou být kombinovány s pořízením kompostérů či s projekty prevence vzniku odpadů z jednorázového nádobí nebo jednorázových obalů.

Příjemci podpory

Především veřejné subjekty (kraje, obce, města, dobrovolné svazky obcí, městské části hl. města Prahy, příspěvkové organizace zřízené městy a ostatními veřejnoprávními

subjekty, obchodní korporace vlastněné ze 100 % městy a ostatními veřejnoprávními subjekty).

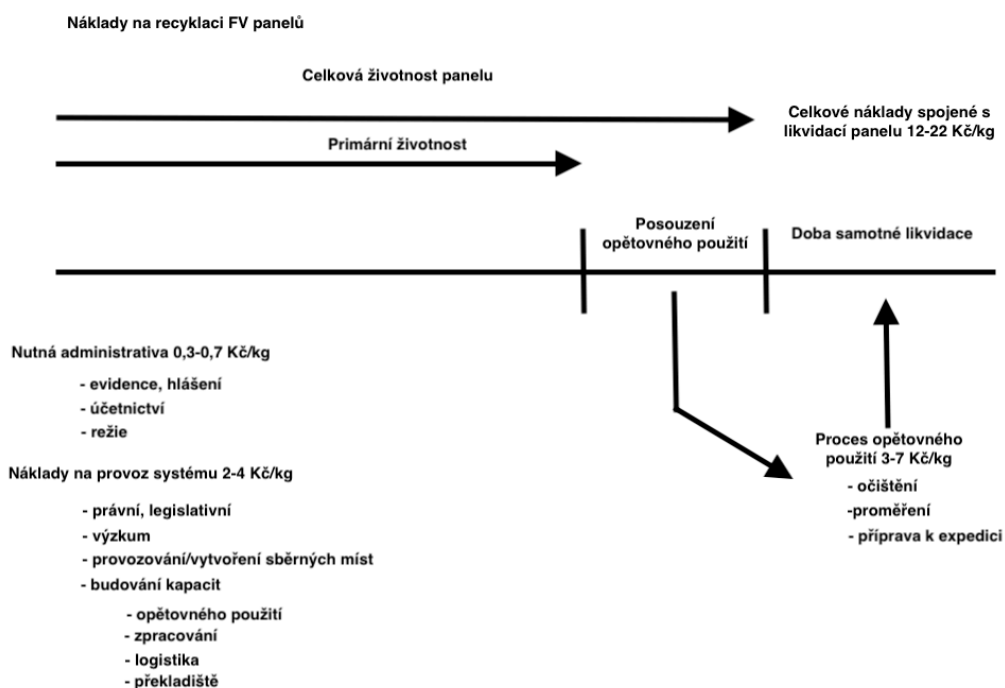
Míra a výše podpory

Tabulka č.14: Dotace pro RE-USE centra [75]

Výše podpory (Kč)	minimální	500 tis. Kč.
	maximální	50 mil. EUR.
Míra podpory (% CZV)	85 %	
Bonifikace	n/a	

6.4 Ekonomická analýza likvidace FV

Schéma bylo zpracováno pro metodu poměrových ukazatelů.



Obrázek č. 41: Náklady na recyklaci FV panelů

Ekonomická data byla poskytnuta kolektivním systémem z jejich vnitřního rozboru nákladovosti.

Pro všechny varianty existuje standart dopravy:

- Likvidované panely dosahují velkého objemu a z umístění FVE odcházejí přímo zpracovateli (úplné vytížení dopravního prostředku).
- Panely nedosahují potřebného objemu a jsou odváženy na překladiště, kde je uskladněno a po dosažení objemu možné přepravy jsou odváženy ke zpracovateli (dílní vytížení dopravního prostředku).
- Odvoz solárních panelů jako odpad mimo ČR, na který se vztahuje výjimka z předpisů (ADR). Nejdůležitější předpoklad pro tuto variantu je dostatek vhodných skladovacích prostor a následující logistika vytěžování dopravy. Veškeré náklady shromažďování před odvozem mimo ČR jdou na vrub kolektivního systému.

Doprava na mezisklad a následné třídění panelu na skupiny je kalkulována pouze při malém nebo menším množství, které je ekonomicky nevýhodné vést přímo ke zpracovateli.

Pod níže uvedeným bodem 1) je provedena ekonomická analýza zpracování mého panelu, který reprezentuje tuto skupinu.

Skupina 2 a 3 jsou uvedeny pro představu nákladů zpracování pro jiné druhy FV panelů.

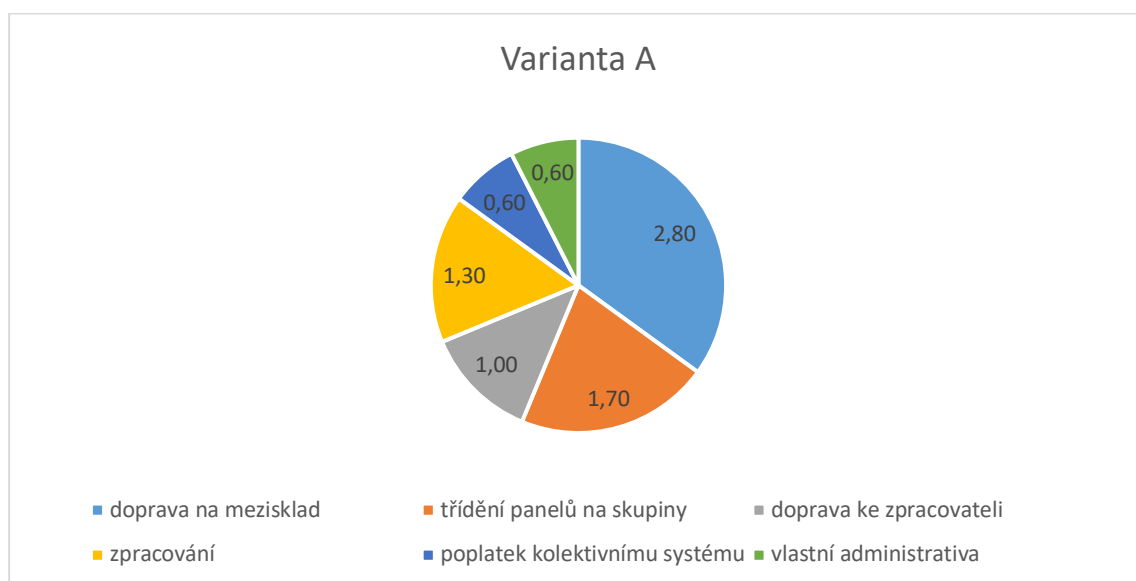
1) Panely krystalické křemíkové s rámem a kabely

Varianta A: FV panely jsou odváženy na mezi sklad a tříděny na skupiny

Varianta B: FV panely jsou odváženy přímo ke zpracovateli

Tabulka č. 15: Variantní náklady na zpracování - panely krystalické křemíkové s rámem a kabely
(varianta A)

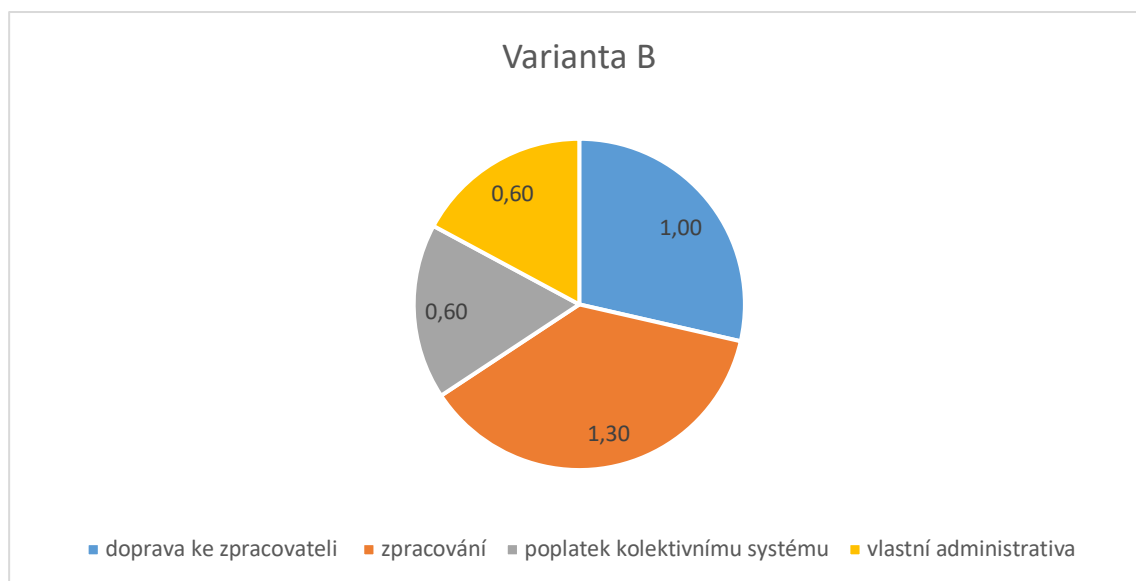
náklady:	Varianta A		Kč/kg
	Logistické	doprava na mezisklad	2,80
		třídění panelů na skupiny	1,70
		doprava ke zpracovateli	1,00
	Zpracovatelské	zpracování	1,30
	Administrativní	poplatek kolektivnímu systému	0,60
		vlastní administrativní	0,60
Celkem			8,00



Graf č. 5: Náklady na zpracování - panely krystalické křemíkové s rámem a kabely (varianta A)

Tabulka č. 16: Variantní náklady na zpracování - panely krystalické křemíkové s rámem a kabely (varianta B)

náklady:	Varianta B		Kč/kg
	Logistické	doprava ke zpracovateli	1,00
	Zpracovatelské	zpracování	1,30
	Administrativní	poplatek kolektivnímu systému	0,60
		vlastní administrativa	0,60
Celkem			3,50

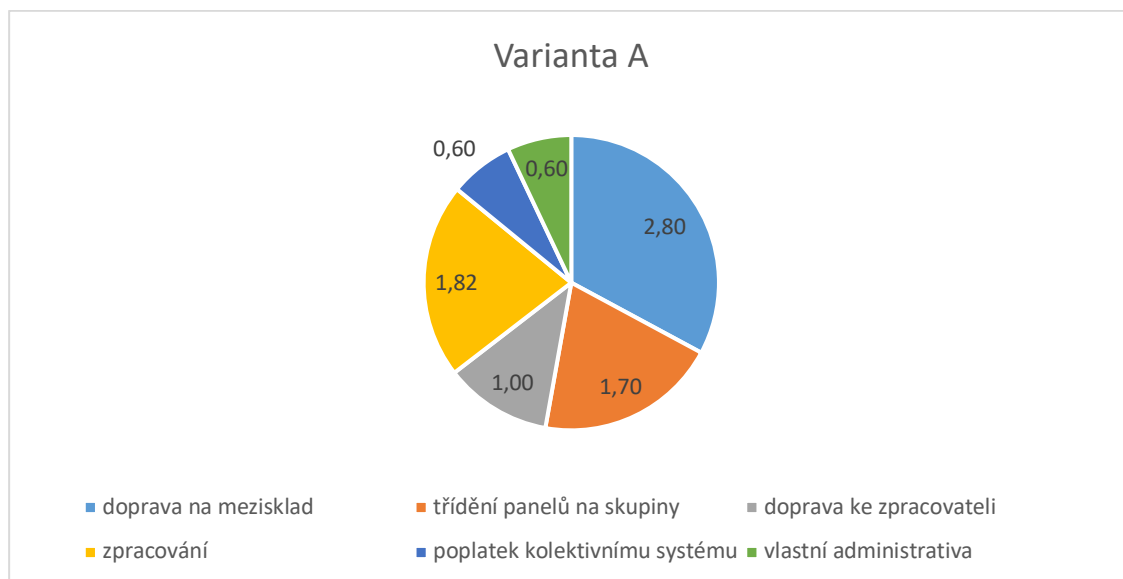


Graf č. 6: Náklady na zpracování - panely krystalické křemíkové s rámem a kabely (varianta B)

2) Panely tenkovrstvé s rámem a kabely

Tabulka č. 17: Náklady na zpracování - panely tenkovrstvé s rámem a kabely (varianta A)

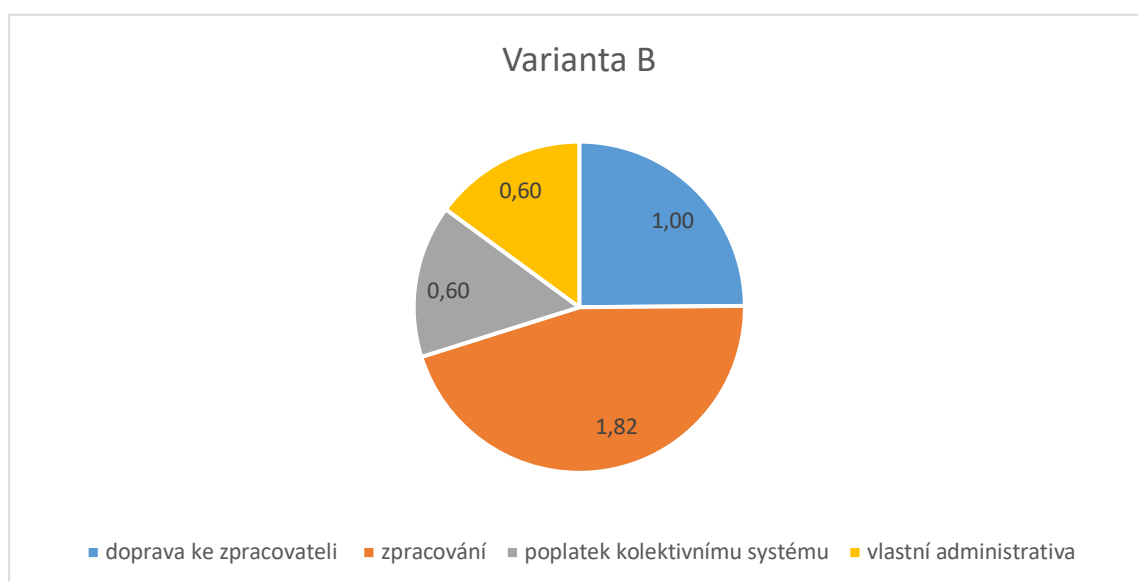
náklady:	Varianta A		Kč/kg
	Logistické:	doprava na mezisklad	2,80
		třídění panelů na skupiny	1,70
		doprava ke zpracovateli	1,00
	Zpracovatelské	zpracování	1,82
	Administrativní:	poplatek kolektivnímu systému	0,60
		vlastní administrativa	0,60
Celkem			8,52



Graf č. 7: Náklady na zpracování - panely tenkovrstvé s rámem a kabely (varianta A)

Tabulka č. 18: Náklady na zpracování - panely tenkovrstvé s rámem a kabely (varianta B)

náklady:	Varianta B		Kč/kg
	Logistické	doprava ke zpracovateli	1,00
	Zpracovatelské	zpracování	1,82
	Administrativní	poplatek kolektivnímu systému	0,60
		vlastní administrativa	0,60
Celkem			4,02

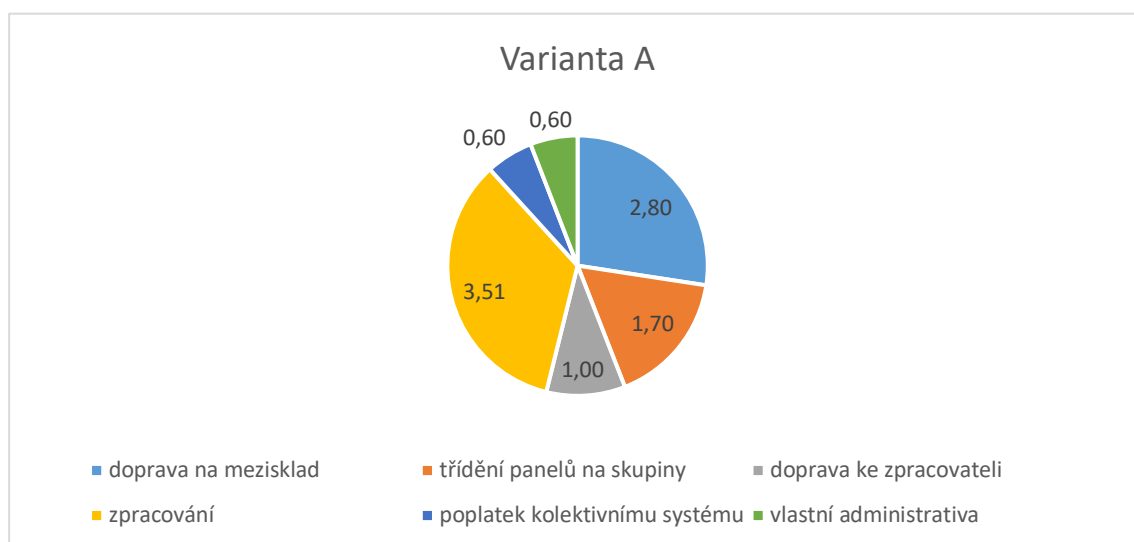


Graf č. 8: Náklady na zpracování - panely tenkovrstvé s rámem a kabely (varianta B)

3) Panely tenkovrstvé bez rámu a kabelů

Tabulka č. 19: Náklady na zpracování - panely tenkovrstvé bez rámu a kabelů (varianta A)

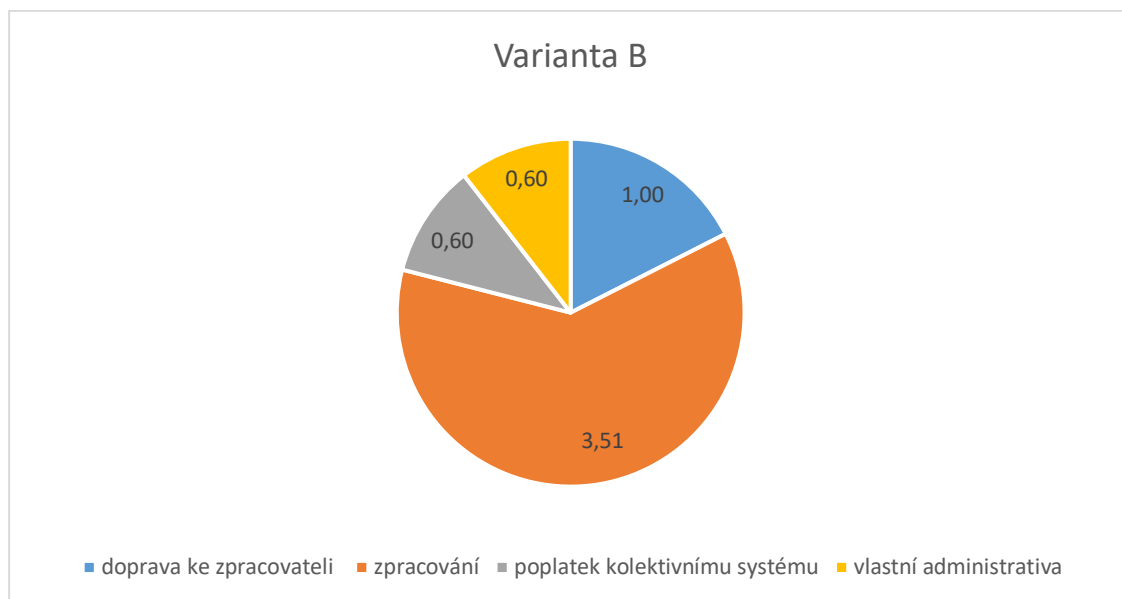
náklady:	Varianta A		Kč/kg
	Logistické	doprava na mezisklad	2,80
		třídění panelů na skupiny	1,70
		doprava ke zpracovateli	1,00
	Zpracovatelské	zpracování	3,51
	Administrativní	poplatek kolektivnímu systému	0,60
		vlastní administrativa	0,60
Celkem			10,21



Graf č. 9: Náklady na zpracování - panely tenkovrstvé bez rámu a kabelů (varianta A)

Tabulka č. 20: Náklady na zpracování - panely tenkovrstvé bez rámu a kabelů (varianta B)

náklady:	Varianta B		Kč/kg
	Logistické	doprava ke zpracovateli	1,00
	Zpracovatelské	zpracování	3,51
	Administrativní	poplatek kolektivnímu systému	0,60
		vlastní administrativa	0,60
Celkem			5,71



Graf č. 10: Náklady na zpracování - panely tenkovrstvé bez rámu a kabelů (varianta B)

Tabulka č. 21: Celkové porovnání nákladů dle druhů panelů

Typ FV panelu	s dopravou na mezisklad (Kč/kg)	bez dopravy na mezisklad (Kč/kg)
FV panel krystalický křemíkový s rámem a kabely	8,00	3,50
FV panel tenkovrstvý s rámem a kabely	8,52	4,02
FV panel tenkovrstvý bez rámu a kabely	10,21	5,71

Doba samotné likvidace

Tato kalkulace se vztahuje pouze na samotnou likvidaci panelu. V celém procesu jsou i administrativní a logistické náklady. Náklady na nutnou administrativu jsou v rozmezí **0,30 Kč/kg – 0,70 Kč/kg** a každý kolektivní systém má tyto náklady individuální. Mezi tyto náklady se řadí evidence, roční hlášení a režie firmy. Náklady na provoz systému jsou v rozmezí **2,- Kč/kg – 4,- Kč/kg**, mezi tyto náklady se řadí právní, legislativní, výzkumné, provozování/vytvoření sběrných míst, budování či podpora výstavby kapacit na opětovné použití, zpracování, logistiky a překladišť.

Procesu likvidace by mělo dle legislativy předcházet opětovné použití, které s sebou nese další náklady jako je očištění, proměření a připravení k expedici. Tyto náklady jsou odhadovány dle kolektivního systému **3,- Kč/kg – 7,- Kč/kg**.

Z uvedených kalkulací podle jednotlivých druhů analyzovaných FV panelů je zřejmé, že původní recyklační poplatek pro historické FV panely **8,50 Kč/kg** je dostačující pouze pro mnou analyzovaný krystalicko-křemíkový panel s rámem a kabely a pro ostatní skupiny jenom pro přímou dopravu plně vytíženého nákladního vozidla do místa zpracování. Poplatek na nové FV panely 0,60 Kč/kg je v tomto případě zcela nereálný a již se nevyplatí budování nového systému sběrných míst či kapacit zpracování.

7 Diskuze

Je třeba zdůraznit fakta: exploze solárního byznysu v ČR byla v letech 2009 a 2010. Od 2012 roste počet nových instalací mírou 5 %[13]. Tato skutečnost naprosto odlišuje solární byznys od například zmiňovaných spotřebitelských elektrozařízení, kde mohou náklady na likvidaci historických zařízení (ledniček, televizí apod.) nést v ceně výrobku nová zařízení, vytlačující z trhu ta stará. Pokud bychom chtěli zatížit nové solární panely recyklačním poplatkem, jak starých panelů tak těch nových, byly by tyto panely na českém trhu neprodejně. Výrobce můžeme tudíž zatížit pouze recyklačním poplatkem vztahujícím se k novým panelům prodaným po 1.1.2013. O staré panely se tudíž musejí postarat jejich současní majitelé či provozovatelé solárních elektráren.[73]

Skutečností však zůstává, že nikdo nemůže odhadnou reálnou výši nákladů na recyklaci za 25-30 let. V tuto chvíli nejsme schopni predikovat jaké budou mzdové, logistické a zpracovatelské náklady, jaká bude muset být míra recyklace nařízená z EU, za kolik bude možné prodat druhotné suroviny. Přijde mi nejisté a v současnosti nereálné vybírat jakoukoli cenu za recyklaci na 25-30 let dopředu.

Česká republika by měla hledat technologie dostupné v ČR pro případ změny legislativy a zákazu vývozu/dovozu fotovoltaického odpadu. Variantou mohou být již zmíněné technologie na zpracování vyřazených plastových oken, které mají podobné složení jako FV panel (sklo, hliníkový rám, plast) Tato metoda musí proběhnout také za přijatelných ekonomických podmínek. Nezpracovatelný či částečně zpracovaný materiál (např. drahé kovy) je možný předat třetí straně, která disponuje technologií na vytěžení těchto materiálů.

Co bude mezi roky 2030-2040, aby se dodržela „zelená energie“? Skokový růst zvolnil v roce 2014, kdy se zastavili dotační programy. Od té doby proběhl oproti boomu pouze malý nárůst. Tyto FVE však mají svoji životnost. Zde je třeba zdůraznit nutnost předcházet opuštění solárních elektráren majiteli po jejich skončení životnosti a ponechání na místě instalace. Toto riziko je třeba legislativně ošetřit.

1. Hypotéza stavu technologií zpracování druhů panelů se potvrdila a existují firmy zabývající se recyklací FV panelů, dosahující požadované míry recyklace v ČR. Analyzované firmy Reiling, LuxChemtech se zaměřují na krystalicko-křemíkové panely a pouze Veolia uvádí recyklaci veškerých FV panelů. Ve většině případů se firmy zaměřují na krystalické panely a využívají postupy pro recyklaci skla nebo kovů, tímto

postupem lze vytěžit sklo, hliníkový rám a rozvodné kabely. Postupy splňují regulace o likvidaci FV panelů, avšak nedokáží vytěžit mnoho cenných kovů jako je měď, stříbro. V EU existuje pouze málo recyklačních zařízení určených pro FV panely. Využití zahraničních linek na recyklaci se v současné chvíli jeví jako nejvhodnější možnost. V ČR neexistuje recyklační zařízení specializované na FV panely. Odvoz FV panelů za hranice ČR je legislativně ošetřen, je tedy bez cla a DPH. Benefitem je poloha ČR ve středu Evropy a tím dostupnost zpracovatelských linek v zahraničí.

2. Z hypotézy kapacity evropského trhu jsou vidět (skutečnost z tabulky č.12) nedostačující objemy pro budoucí likvidaci FV panelů z ČR.

3. Z dat energetické bilance FV panelu začne panel vyrábět „zelenou energii“ po 10 roku své existence při předpokladu výroby 175 kWh za rok. [72]

Životní cyklus panelu by neměl končit likvidací panelu, ale mělo by předcházet posouzení opětovného použití, což je perspektivní možnost využití FV panelů po ukončení jejich životnosti. Opětovně použité panely by mohly sloužit pro méně náročné uživatele na ohřev vody, temperování rekreačních prostorů apod.

4. Pro stanovenou hypotézu nedostatečného recyklačního poplatku byla nalezena odpověď v ekonomickém rozboru doby likvidace FV. Recyklační poplatek 8,50 Kč/kg stanovený dle zákona pro „historické“ panely by měl být optimální pro rentabilní recyklační proces v současnosti [10]. Tyto finanční prostředky jsou uloženy na speciálních účtech kolektivních nebo individuálních systémů a budou použity na recyklaci v době ukončení životnosti daných FVE. U „nových“ panelů jsou finanční prostředky vybírány stejně jako u OEEZ a jsou využity v průběhu. Z ekonomické analýzy vybraného panelu je zřejmé, že zmiňovaný „historický“ poplatek pokryje pouze náklady na likvidaci FV panelu (krystalicko-křemíkový s rámem a kabely). Pro FV panely, které jsou bez rámu, kabelů nebo tenkovrstvých panelů je tento poplatek nedostačující.

Poplatek za nové FV panely ve výši 0,60 Kč/kg je absolutně ekonomicky nereálný.

Recyklace FV panelů se snaží vytěžit veškeré materiály ve formě před složením FV panelu. Je ale tento krok správným směrem? Křemíková jádra budou v recyklační době už zastaralá a budou nepoužitelná pro nové FV. Zůstává k dalšímu vyřešení, zda technologie budou směřovat k drcení panelů a jejich lepší separaci než k vytěžení původních nepoškozených součástek.

U technologického postupu firma LuxChemtech uvádí, že dokáží vytěžit čisté ploché sklo. Lze usuzovat, že velké množství FV panelů se poškodí již u samotné demontáže, další možností je poškození při dopravě a následném uskladnění. Na sklo, které se

zpracuje, bude nataven i částečně křemík. Tato technologie je nejspíše určena pro výrobní odpad či nepoškozené panely, ale ne plošně.

8 Závěr a přínos práce

Diplomová práce se zabývá problematikou vybraného krystalicko-křemíkového panelu, u kterého byla provedena materiálová analýza, zhodnocení současných technologických možností a ekonomické zhodnocení doby likvidace.

Výsledky diplomové práce ukázaly na absolutní nedostatečnou výši recyklačního poplatku, který je limitujícím faktorem zpracování FV. Příslušné státní úřady by se měly začít co nejrychleji věnovat tomuto základnímu ekonomickému rozporu.

V dnešní době v ČR neexistuje dostatečná zpracovatelská kapacita, proto se musí kolektivní systémy, individuální systémy, nebo historičtí původci spolehnout na zahraniční zpracovatelské kapacity. Prozatím nejsou v EU dostatečné zpracovatelské kapacity z důvodu momentálně nedostatečného objemu vyřazených FV panelů. Procesy recyklace FV panelů v ČR nejsou optimalizovány pro nákladově efektivní recyklace vysoce čistých materiálů ve velkém měřítku.

Recyklační proces u panelů s nízkým obsahem stříbra nemá smysl ekonomicky zatěžovat vytěžováním drahých kovů a zaměřit se na materiálovou výtěžnost ze skla, barevných kovů a plastů. Ostatní materiál se pravděpodobně předá do spaloven. Z výše uvedených důvodů je po ukončení životnosti FV panelů neoptimálnější jeho repasování a znovupoužití tak, aby mohly sloužit např. pro méně náročné uživatele na ohřev vody, temperování rekreačních prostorů apod.

U provedené materiálové analýzy je shoda s odbornou literaturou a již provedenými testy.

Vzhledem k předpokládanému vývoji množství odpadů FV panelů se ČR musí začít zabývat vývojem a výzkumem technologií, aby byla schopna odpad recyklovat v dostatečné kvalitě a odvrátila jejich hromadění. Nelze do budoucna spoléhat na vývoz FV panelů, protože může nastat situace zahlcení současných zahraničních zpracovatelských kapacit.

9 Přehled literatury a použitých zdrojů

- [1] MURTINGER K., BERANOVSKÝ J., TOMEŠ M. Fotovoltaika: elektřina ze slunce. 2. vyd. Praha: EkoWATT, 2008. 21. století. ISBN 978-80-7366-133-5.
- [2] Vanguard I NASA. In: NASA [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://nssdc.gsfc.nasa.gov/image/spacecraft/vanguard1.jpg>
- [3] MURTINGER K., BERANOVSKÝ J., TOMEŠ M. Fotovoltaika: elektřina ze slunce. 2. vyd. Praha: EkoWATT, 2008. 21. století. ISBN 978-80-7366-133-5.
- [4] Elektřina: Vše co potřebujete vědět v oblasti energetiky a technologií [online]. [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.elektrina.cz/albert-einstein-zivotopis-vynalezy-a-dalsi-zajimavosti>
- [5] Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech
- [6] Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech (již neplatný, nahrazen zákonem č. 541/2020 Sb.).
- [7] Vyhláška č. 8/2021 Sb., Vyhláška o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů
- [8] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2012/19/EU o odpadních elektrických a elektronických zařízeních (OEEZ)
- [9] Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech
- [10] Zákon č. 542/2020 Sb. zákon o výrobcích s ukončenou životností

- [11] Vyhláška č. 352/2005 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s elektrozařizováními a elektroodpady a o bližších podmínkách financování nakládání s nimi
- [12] REMA PV, © 2020 : ceník REMA PV [online]. In: . [cit. 2021-03-21]. Dostupné z: <https://www.rema.cloud/rema-pv-system/vykazy-a-cenik/>
- [13] ERU, © 2020: FAQ [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/cs/poze/casto-kladene-dotazy>
- [14] ERU, ©2019: Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy v ČR. ERÚ, Praha. 50 s
- [15] ZHONG, Z.W., B. SONG a P.E. LOH. 2011: LCAs of a polycrystalline photovoltaic module and a wind turbine: note II. Renewable Energy. 36(8): 2227 - 2237.
- [16] Bechník B., 2011: Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti (online) [cit. 2020.3.22], dostupné z: <<https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti>>.
- [17] RETELA AR EUROPE, © 2020 : PV CYCLE [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.retela.cz/retela-ar-europe>
- [18] PV CYCLE, © 2020: EUROPEAN UNION [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <http://www.pvcycle.org/services/european-union/>
- [19] Zákon č. 7/2005 Sb. Zákon, kterým se mění zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů
- [20] MŽP, © 2020: Kolektivní systémy ČR [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/kolektivni_systemy_oeez/\\$FILE/OODP-kolektivni_systemy_kontakty-20202805.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/kolektivni_systemy_oeez/$FILE/OODP-kolektivni_systemy_kontakty-20202805.pdf)
- [21] MŽP, © 2020: Provozovatelé kolektivních systémů se souhlasem pro zajištění financování nakládání s elektroodpady a s historickými elektrozařizováními [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z:

[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/kolektivni_systemy_oeez/\\$FILE/ODP-kolektivni_systemy_kontakty-20202805.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/kolektivni_systemy_oeez/$FILE/ODP-kolektivni_systemy_kontakty-20202805.pdf)

- [22] Posuzování životního cyklu Life Cycle Assessment - LCA. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2009. ISBN 978-80-86832-42-5.
- [23] KURAŠ, M. Odpady a jejich zpracování. 2. vyd. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2014. ISBN 978-80-86832-80-7.
- [24] Směrem k oběhovému hospodářství: program nulového odpadu pro Evropu. In: . Brusel, 2014, COM(2014) 398 final/2.
- [25] Posterus, © 2020: Rámec posuzování životního cyklu [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.posterus.sk/?p=10798>
- [26] ŠTALMACH, J. Analýza VA charakteristik jako metoda ověření parametrů PVE. Plzeň, 2013. DIPLOMOVÁ PRÁCE. Západočeská univerzita (ZČU). Vedoucí práce Milan Bělík.
- [27] Atelier DEK, © 2020: Hodnocení dopadů životního cyklu [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/lca-anal%C3%BDza-%C5%BEivotn%C3%ADho-cyklu-epd-environment%C3%A1ln%C3%AD-prohl%C3%A1en%C3%AD-o-produktu-646>
- [28] JANEČEK J.,2014: LCA (analýza životního cyklu) a EPD (environmentální prohlášení o produktu) [online]. [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/lca-anal%C3%BDza-%C5%BEivotn%C3%ADho-cyklu-epd-environment%C3%A1ln%C3%AD-prohl%C3%A1en%C3%AD-o-produktu-646>
- [29] ČSN EN ISO 14040:2006: Posuzování životního cyklu: Zásady a osnova, Praha 2006. 36 s.

- [30] RYŠAVÝ, I., Odpady č.2: Systém zpětného odběru a recyklace by potřeboval vzpruhu v podobě zpracovatelských standardů. 2020, s. 16-18s.
- [31] HAUSCHILD, M., BARLAZ, M., LCA in Waste Management: Introduction to Principle and Method. Solid Waste Technology & Management, 1 & 2. 2010. Blackwell Publishing, s. 111-136. ISBN 978-14-02517-517-3.
- [32] MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J., TOMĚŠ, M., Fotovoltaika, elektřina ze slunce. Brno: ERA, 2007. 21. století. ISBN 978-80-7366-100-7.
- [33] LIBRA, M., POULEK, V., Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. Praha: Ilsa, 2009, s. 45-51. ISBN 978-80-904311-0-2.
- [34] Konstrukce a výroba fotovoltaických článků a panelů. Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. Praha: Ilsa, 2009, s. 51-59. ISBN 978-80-904311-0-2.
- [35] BECHNÍK, B., 2012: Legislativa k recyklaci fotovoltaických panelů [online]. [cit. 2021-01-30]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/8945-legislativa-k-recyklaci-fotovoltaickych-panelu>
- [36] DUPONT Photovoltaic Solutions, © 2021 [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.dupont.com/products/what-makes-up-a-solar-panel.html>
- [37] LIBRA M., POULEK V., Fotovoltaika: teorie i praxe využití solární energie. 2., dopl. vyd. Praha: Ilsa, 2010. ISBN 978-80-904311-5-7.
- [38] Eon-solar © 2018 : Typy solárních panelů: Znáte křemíkový, tenkovrstvý nebo organický? [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: https://www.eon-solar.cz/blog/2-typy-solarnich-panelu-znate-kremikovy-tenkovrstvy-nebo-organicky?fbclid=IwAR2MycCFuIvXX8_DF4sEGzJY0N1OMT9BYpBZaYk4YIK0FS1XTcaDqdoyFP0

- [39] Isolar, © 2021: Technologie solárních panelů [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <http://www.isolar.cz/technologie.html>
- [40] ČERNÁ J, KUDLÁČEK I, FINSTERLE T, HRZINA P, BENDA V a ŠUTKA J. RESOLAR: Ekonomická bilance výroby a likvidace fotovoltaických modulů instalovaných v ČR. PRAHA, 2015, , 50 s.
- [41] CUCCHIELLA F, ROSA I, ADAMO D. SUSTAINABLE ENERGY: End-of-life of used photovoltaic modules: a financial analysis. 552-561 S. 2015.
- [42] JANEČEK J. Atelier DEK © 2021 : LCA (analýza životního cyklu) a EPD (environmentální prohlášení o produktu) [online]. In: . 2014, 5 s [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/lca-anal%C3%BDza-%C5%BEivotn%C3%ADho-cyklu-epd-environment%C3%A1ln%C3%AD-prohl%C3%A1en%C3%AD-o-produktu-646>
- [43] LEE K, Sciencing © 2017 : Environmental Effects of Solar Energy [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://sciencing.com/environmental-effects-solar-energy-4780168.html>
- [44] CLEETUS, R., Ucsusa © 2013: Environmental Impacts of Solar Power [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: https://www.ucsusa.org/resources/environmental-impacts-solar-power?fbclid=IwAR1Mf1VX7BNUXJi35gXiuagzpaUFikXek_au8OpyUTaUO8eC-A0YiAvgoak
- [45] Směrem k oběhovému hospodářství: program nulového odpadu pro Evropu. In: . Brusel, 2014, COM(2014) 398 final/2
- [46] KURAŠ, Mečislav. Odpady a jejich zpracování. 2. vyd. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2014. ISBN 978-80-86832-80-7.
- [47] PAIANO, A. Renewable and Sustainable Energy Reviews: Photovoltaic waste assessment in Italy [online]. 2014, , 99-112 s [cit. 2021-03-22].

- [48] HAVEL, J. Technologické možnosti materiálové recyklace fotoelektrických článků: Obsah materiálů v krystalických panelech. Plzeň, 2012. (bakalářská práce). Západočeská univerzita v Plzni. Dep. SIC ZČU v Plzni
- [49] HESTER, R.E. a R.M. HARRISON. Waste treatment and disposal. Cambridge: Royal Society of Chemistry, s. 91-113. ISBN 978-1-84755-233-4.
- [50] KÁPEK, M. Oenergetice © 2020: Recyklaci fotovoltaických panelů je zapotřebí zlepšit [online]. 2020 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/nrel-recyklaci-fotovoltaickych-panelu-zapotrebi-zasadne-zlepsit>
- [51] KRUEGER, L. First Solar: Overview of First Solar's Module Collection and Recycling Program. , 27.
- [52] KNÁPEK, M. Oenergetice © 2016: Je recyklace fotovoltaických panelů jejich největší slabinou? [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/fve-panely-recyklace>
- [53] KURAŠ, M.,: 2020: Odpady č.9: Zpracování odpadů. 2020. ISSN 1210-4922.
- [54] RADZIEMSKA, E., OSTROWSKI, P. Ecological chemistry and engineering S: Chemical, thermal and laser processes in recycling of photovoltaic silicon solar cells and modules. 2010,
- [55] KLUGMANN-RADZIEMSKA, E, OSTROWSKI, P., Chemical treatment of crystalline silicon solar cells as a method of recovering pure silicon from photovoltaic modules. Renewable Energy. 2010, **35**(8), 1751-1759. ISSN 09601481. Dostupné z: doi:10.1016/j.renene.2009.11.031
- [56] PIASECKA, I., Patrycja BAŁDOWSKA-WITOS, Katarzyna PIOTROWSKA a Andrzej TOMPOROWSKI. Eco-Energetical Life Cycle Assessment of Materials and Components of Photovoltaic Power Plant. Energies. 2020, **13**(6). ISSN 1996-1073. Dostupné z: doi:10.3390/en13061385
- [57] GOE, M., G. GAUSTAD, E. MOSCARDINE a T. HAVLIK. Strengthening the case for recycling photovoltaics: An energy payback analysis: An energy payback analysis: Applied Energy [online]. 2014, (120), 41-48
- [58] HABRLAND, M. Trideniodpadu © 2020: JAK SE RECYKLUJÍ SOLÁRNÍ PANELE [online]. 2020 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.trideniodpadu.cz/jak-se-recykluji-solarni-panely>

- [59] GOE, Michele, Gabrielle GAUSTAD a Brian TOMASZEWSKI. System tradeoffs in siting a solar photovoltaic material recovery infrastructure. *Journal of Environmental Management*. 2015, **160**, 154-166. ISSN 03014797. Dostupné z: doi:10.1016/j.jenvman.2015.05.038
- [60] ERU, ©2019: Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy v ČR. ERÚ, Praha. 50 s
- [61] ERU, ©2019: Roční zpráva o provozu elektrizační soustavy v ČR. ERÚ, Praha. 50 s
- [62] Galmet, 2013: Ekonomické a technologické aspekty zpracování FV panelů, nepublikováno
- [63] London Metal exchange: Silver [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.lme.com/en-GB/Metals/Precious-metals/LME-Silver#tabIndex=1>
- [64] Reiling GmbH & Co. KG: Glass recycling: Photovoltaics [online]. 2020 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.reiling.de/en/photovoltaic>
- [65] Reiling Glas Recycling GmbH & Co. KG, 2020: Technical work procedure, nepublikováno
- [66] Grandviewresearch: Solar Panel Recycling Market Size, Share & Trends Analysis Report By Process (Laser, Mechanical), By Product (Monocrystalline, Thin Film), By Shelf Life (Early Loss, Normal Loss), By Region, And Segment Forecasts, 2020 - 2027 [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/solar-panel-recycling-market>
- [67] Veolia: Our strategy [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.veolia.com/en/veolia-group/our-strategy-impact-2020-2023>
- [68] Reuters: Europe's first solar panel recycling plant opens in France [online]. 2018 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://www.reuters.com/article/us-solar-recycling/europes-first-solar-panel-recycling-plant-opens-in-france-idUSKBN1JL28Z>
- [69] Veolia, 2020 , Technical work procedure, nepublikováno
- [70] LuxChemtech GmbH 2021 [online]. [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://lc-freiberg.de/products-and-services/?lang=en>
- [71] Lux Chemtech GmbH, 2020, Technical work procedure, , nepublikováno

- [72] Černý M., 2018: ŽIVOTNÍ CYKLUS FOTOVOLTAICKÝCH PANELŮ A ZPŮSOBŮ JEJICH SOUČASNÉ LIKVIDACE. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2018. Diplomová práce. Dep. SIC ČZU v Praze
- [73] BENEŠ, D. Tzb-info: Zákon o odpadech problém recyklace panelů neřeší Hrozba, že panely zůstanou na polích, nebyla loňskou novelou vyřešena [online]. 2013 [cit. 2021-03-22]. Dostupné z: <https://oze.tzb-info.cz/9722-zakon-o-odpadech-problem-recyklace-panelu-neresi>
- [74] KNÁPKOVÁ, Adriana, Drahomíra PAVELKOVÁ, Daniel REMEŠ a Karel ŠTEKER. Finanční analýza: komplexní průvodce s příklady. 3., kompletně aktualizované vydání. Praha: Grada Publishing, 2017. Prosperita firmy. ISBN 978-80-271-0563-2.
- [75] Operační program Životní prostředí 2021–2027: Specifický cíl 1.5 Podpora přechodu k oběhovému hospodářství. In: .
- [76] Modernienergetika: Zaplatí získané stříbro recyklaci ekologických solárních panelů [online]. 2019 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.modernienergetika.cz/aktuality/zaplati-ziskane-stribro-recyklaci-ekologickych-solarnich-panelu/>

Seznam tabulek v textu

- Tabulka č. 1: Ceník REMA PV Systém a.s. [12]
- Tabulka č. 2: Kolektivní systémy ČR, [20]
- Tabulka č. 3: Rozdělení křemíkových panelů [40]
- Tabulka č. 4: Rozdělení křemíkových panelů [40]
- Tabulka č. 5: Obsah materiálů v krystalických panelech [48]
- Tabulka č. 6: Přírůstek instalovaného výkonu [60]
- Tabulka č. 7: Výsledky ekonomického posouzení v Kč [62]
- Tabulka č. 8: Ceník [62]
- Tabulka č. 10: Váha FV panelu Schüco po rozřezání MPE 235 PG 04
- Tabulka č. 11: Materiálová analýza FV panelu Schüco MPE 235 PG 04
- Tabulka č. 12: Srovnání technologií
- Tabulka č. 13: Přepočet výkonu na tuny
- Tabulka č. 14: Dotace pro RE-USE centra

Tabulka č. 15: Variantní náklady na zpracování - panely krystalické křemíkové s rámem a kabely

Tabulka č. 16: Variantní náklady na zpracování - panely krystalické křemíkové s rámem a kabely

Tabulka č. 17: Náklady na zpracování - panely tenkovrstvé s rámem a kabely

Tabulka č. 18: Náklady na zpracování - panely tenkovrstvé s rámem a kabely

Tabulka č. 19: Náklady na zpracování - panely tenkovrstvé bez rámu a kabelů

Tabulka č. 20: Náklady na zpracování - panely tenkovrstvé bez rámu a kabelů

Tabulka č. 21: Celkové porovnání nákladů dle druhu panelu v Kč/kg

Seznam grafů v textu

Graf č. 1: Sluneční elektrárny ČR, [61]

Graf č. 2: Míra využití hmotností bilance firmy Reiling [65]

Graf č. 3: Materiálová analýza FV panelu Schüco MPE 235 PG 04

Graf č. 4: Hmotnostní bilance FV panelu Schüco MPE 235 PG 04

Graf č. 5: Náklady na zpracování - panely krystalické křemíkové s rámem a kabely A

Graf č. 6: Náklady na zpracování - panely krystalické křemíkové s rámem a kabely B

Graf č. 7: Náklady na zpracování - panely tenkovrstvé s rámem a kabely A

Graf č. 8: Náklady na zpracování - panely tenkovrstvé s rámem a kabely B

Graf č. 9: náklady na zpracování - panely tenkovrstvé bez rámu a kabelů A

Graf č. 10: Náklady na zpracování - panely tenkovrstvé bez rámu a kabelů B

Seznam obrázků v textu

Obrázek č. 1: Vanguard I. [2]

Obrázek č. 2: Celkový počet instalací ČR 2019 [14]

Obrázek č. 3: Schéma LCA metody LCA [24]

Obrázek č. 4: Rámec posuzování životního cyklu [25]

Obrázek č. 5: Hodnocení dopadů životního cyklu [27]

Obrázek č. 6: Princip funkce FV článku [34]

Obrázek č. 7: Složení vrstev FV panelu [36]

Obrázek č. 8: Směrem k oběhovému hospodářství: program nulového odpadu pro Evropu [45]

Obrázek č. 9: Popis jednotlivých materiálů v křemíkových panelech [62]

Obrázek č. 10: Křemíkový panel [62]

Obrázek č. 11: Válcový drtič [62]

Obrázek č. 12 : vlevo nožový mlýn vpravo třídič se šnekovým dopravníkem [62]

Obrázek č. 13: Rozpouštěcí reaktor [62]

Obrázek č. 14: Mokrý splav [62]

Obrázek č. 15: Vývoj ceny stříbra [63]

Obrázek č. 16: Klasifikace solárních panelů [65]

Obrázek č. 17: Optické rozlišení solárních [65]

Obrázek č. 18: Technologie zpracování solárních [65]

Obrázek č. 19: Technologie zpracování solárních [65]

Obrázek č. 20: Obrázek č. 20: Technologie zpracování solárních a) Odstranění kabelů a rámu, b) separace c) drcení[65]

Obrázek č. 21: Technologie zpracování solárních [65]

Obrázek č. 22: Vibrační zpracování solárních panelů [65]

Obrázek č. 23: Separační technologie [65]

Obrázek č. 24: Ruční dotřídování [65]

Obrázek č. 25: Výstupní materiály [65]

Obrázek č. 26: Roztřídování panelů [69]

Obrázek č. 27: Roztřídování panelů [69]

Obrázek č. 28: Roztřídování panelů, [69]

Obrázek č. 29: Drcení panelu na tablety [69]

Obrázek č. 30: Třídění materiálu [69]

Obrázek č. 31: Třídění materiálu [69]

Obrázek č. 32: Koncept odpadu ze solárních článků [71]

Obrázek č. 33: Expoziční komora [71]

Obrázek č. 34: Dopravník [71]

Obrázek č. 35: Laserové oslabování spojů [71]

Obrázek č. 36: vlevo vakuové přísavky na manipulaci s panelem vpravo odhalené solární články [71]

Obrázek č. 37: vlevo: chemická lázeň, vpravo: grafické znázornění odstranění polovodičových spojů [71]

Obrázek č. 38: Štítek FV panelu Schüco MPE 235 PG 04

Obrázek č. 39: FV panely vybrané k analýze

Obrázek č. 40: Rozřezané pásy FV panelu Schüco MPE 235 PG 04

Obrázek č. 41: Náklady na recyklaci FV panelů