

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

Idejna zasnova vzpostavitve proizvodnega
postopka reciklaže son nih elektrarn pri podjetju
BISOL Group

VIKI MIKLAVŽINA

VELENJE, 2013

VISOKA ŠOLA ZA VARSTVO OKOLJA

DIPLOMSKO DELO

Idejna zasnova vzpostavitve proizvodnega
postopka reciklaže son nih elektrarn pri podjetju
BISOL Group

VIKI MIKLAVŽINA
Varstvo okolja in ekotehnologije

Mentor: doc. dr. Maja Zupan i Justin
Somentor: dr. Gregor ernivec

VELENJE, 2013

Priloga 2: Sklep o diplomskem delu



Številka: 726-4/2011-2

Datum in kraj: 13. 4. 2012, Velenje

Na podlagi Diplomskega reda

izdajam

SKLEP O DIPLOMSKEM DELU

Študentu-ki VŠVO

Viki Miklavžina

se dovoljuje izdelati diplomsko delo pri predmetu: Uvod v okoljske tehnologije

Mentor-ica: doc. dr. Maja Zupančič Justin

Somentor-ica: dr. Gregor Černivec

Naslov diplomskega dela v slovenskem jeziku: Idejna zasnova vzpostavitve proizvodnega postopka reciklaže sončnih elektrarn v podjetju BISOL Group

Naslov diplomskega dela v angleškem jeziku: Outlined scheme for the establishment of the recycling process for solar plants within the company BISOL, Group

Diplomsko delo je potrebno izdelati skladno z Navodili za izdelavo diplomskega dela.

Pravni pouk: Zoper ta sklep je možna pritožba na Senat v roku 3 delovnih dni.



Dekanica
doc. dr. Natalija Špeh

Izjava o avtorstvu

Diplomsko delo je rezultat lastnega dela. Vsi privzeti podatki so citirani skladno z mednarodnimi pravili o varovanju avtorskih pravic.

Viki Miklavžina

Diplomsko delo je nastalo pod mentorstvom doc. dr. Maje Zupan i Justin na Visoki šoli za varstvo okolja in somentorstvom dr. Gregorja ernivca iz podjetja BISOL Group. Delo sem opravljala v družbi BISOL EPC, d.o.o.

Zahvala

Rada bi se zahvalila mentorici in somentorju za njuno potrpežljivost, pomo in predloge, skupini BISOL ter družini za njihovo podporo.

Miklavžina V.: Idejna zasnova vzpostavitve proizvodnega postopka reciklaže son nih elektrarn pri podjetju BISOL Group. Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2013.

IZVLE EK:

V diplomski nalogi predstavljamo zasnovo za predelavo in ponovno uporabo posameznih gradnikov son nih elektrarn po koncu njihovega delovanja. Analizo smo osredoto ili na monokristalne in polikristalne silicijeve fotonapetostne module, ki jih proizvaja skupina BISOL Group. V uvodnem delu naloge smo opravili širšo teoreti no predstavitev postopkov in možnosti predelave son ne elektrarne. Obravnavani postopki so v nadaljevanju uporabljeni in upoštevani na modelu 1MW son ne elektrarne podjetja BISOL Group. Skladno z Direktivo o odpadni elektri ni in elektronski opremi (OEE0 2012/19/EU) bodo glavno odgovornost za zbiranje modulov nosili proizvajalci. Ti lahko za zbiranje poskrbijo posamezno ali skupinsko, tako da se pridružijo podjetjem (PV Cycle, CERES), ki so bila ustanovljena za zbiranje, odvoz in predelavo modulov. Najboljša možnost za skupino BISOL bi bila, da bi CERES poskrbel za njihove module, za demontažo elektrarne bi poskrbela skupina sama, za ostale gradnike (podkonstrukcija in napajalni kabli), bi poskrbela podjetje za predelavo, ki bi sodelovalo s skupino. Za razsmernike bodo poskrbeli njihovi proizvajalci, v primeru, da njihov garancijski rok ni potekel. Druga e bo za njih poskrbel BISOL Group tako, da jih bo odpeljal na mesto predelave. Pregled na inov obdelave modulov je pokazal, da je razvitih ve razli nih postopkov, med katerimi je najuspešnejša toplotna metoda predelave. Po tej metodi pridobimo steklo, kovino in celice. Materiale nato posamezno predelajo. Celice obdelajo v drugi fazi, kjer celice o istijo s kemi nim postopkom. Rezultat tega postopka so silicijeve rezine. Iz teh rezin nato na novo naredijo celice. Klju na ugotovitev je, da lahko BISOL Group pokrije stroške razgradnje elektrarne z odprodajo odpadnega meteriala. Za razgradnjo modulov je upoštevana povezava s CERESom preko lanarine, ki omogo a odvoz in predelavo modulov.

Klju ne besede: predelava, OEE0 uredba, fotonapetostni moduli, son na elektrarna, razsmernik, aluminijasta nosilna konstrukcija, napajalni kabli.

Miklavžina V.: Outlined scheme for the establishment of the recycling process for solar plants within the company BISOL Group. Visoka šola za varstvo okolja, Velenje 2013.

ABSTRACT:

In this graduation thesis we present a scheme to establish the recycling process of solar power plants at the end of their life cycle. The thesis focuses on monocrystalline and polycrystalline modules manufactured by the BISOL Group. General theoretical methods and possibilities for recycling solar power plants are presented in the introduction. The presented methods are used and considered on the model of a 1MW photovoltaic power plant of BISOL Group. The modules are now included in the WEEE directive. According to the Waste Electrical and Electronic Equipment Directive (WEEE, 2012/19/EU) the responsibility for collecting modules will fall to the manufacturers. The manufacturers have two options; either they take care of the PV modules by themselves, or they can join companies (PV Cycle, CERES) that would take care of the PV modules for them. The best option for BISOL Group would be for CERES to take care of their modules, the BISOL group would take care of the dismantling and a recycling company co-operating with BISOL Group would take care of other components like the mounting system and power cables. The inverters will be taken care of by their manufacturer, only if its warranty hasn't expired. If the warranty has expired BISOL Group will be responsible for transporting them to a recycling company. An overview of procedures for processing modules has shown, that a number of methods for processing modules were developed, among which the most successful is the thermal method. Using this method we can retrieve glass, metal and solar cells from the modules. These materials can then be recycled separately. Solar cells are then further recycled in phase two of module recycling, where the cells are cleaned with a chemical method. The results of these methods are silicon wafers, from which new cells can be made. The key finding is that BISOL Group can cover all their expenses of recycling solar power plants with the money from selling scrap material. The processing of modules is done in connection with CERES through a membership fee that allows pick up and recycling of modules.

Key words: recycling, WEEE directive, photovoltaic modules, solar power plant, inverter, cables, aluminium mounting system.

Kazalo

1.	Uvod.....	1
1.1.	Opredelitev teme.....	1
1.2.	Predstavitev raziskovalnih ciljev in hipotez.....	1
2.	Pregled dosedanjih raziskav, virov in literature.....	2
2.1.	Predstavitev fotovoltaike.....	2
2.1.1.	Fotovoltaika.....	2
2.1.2.	Fotonapetostni efekt.....	2
2.1.3.	Zgodovina fotovoltaike.....	3
2.2.	Son ne celice.....	4
2.2.1.	Kristalne silicijeve celice.....	4
2.2.1.1.	Monokristalne silicijeve celice.....	5
2.2.1.2.	Polikristalne silicijeve celice.....	7
2.2.2.	Amorfne silicijeve celice.....	9
2.3.	Son na elektrarna in njeni gradniki.....	10
2.3.1.	Opis gradnikov.....	10
2.3.1.1.	Fotonapetostni moduli.....	10
2.3.1.2.	Razsmernik.....	12
2.3.1.3.	Podkonstrukcija.....	12
2.3.1.4.	Napajalni kabli.....	12
2.3.2.	Izgradnja son ne elektrarne.....	12
2.3.2.1.	Pogoji za gradnjo son ne elektrarne.....	12
2.3.2.2.	Vrste son nih elektrarn in potrebni gradniki za njihovo gradnjo.....	13
3.	Zakonske podlage za recikliranje fotonapetostnih modulov in drugih materialov.....	14
3.1.	Direktiva 2012/19/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 4. julija 2012 o odpadni elektri ni in elektronski opremi (OEEO) (prenovitev).....	14
3.2.	Direktiva 2011/65/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 8. junija 2011 o omejevanju uporabe nekaterih nevarnih snovi v elektri ni in elektronski opremi (prenovitev).....	15
3.3.	Uredba o odpadkih.....	16
3.4.	Uredba o ravnanju z odpadki.....	16
4.	Opis postopkov razgradnje odslužene son ne elektrarne, postopkov zbiranja, ponovne uporabe in recikliranja posameznih gradnikov.....	17
4.1.	Zbiranje gradnikov son ne elektrarne.....	17
4.1.1.	Razstavljanje elektrarne.....	17
4.1.2.	Zbiranje gradnikov.....	17
4.2.	Predelava gradnikov elektrarne.....	19
4.2.1.	Aluminij.....	19
4.2.2.	Nerjave e jeklo - spojni elementi.....	19
4.2.3.	Plastika (polietilen in izolacijski plaš za kable PVC).....	19

4.2.4.	Napajalni kabli (aluminijasti in bakreni s PVC izolacijskim plaš em).....	20
4.2.4.1.	PVC (brez žic).....	20
4.2.4.2.	Baker.....	21
4.2.5.	Razsmernik.....	21
4.3.	Podjetja za recikliranje fotonapetostnih modulov: PV Cycle in CERES.....	21
4.3.1.	PV Cycle.....	21
4.3.2.	CERES.....	22
4.4.	Predelava modulov.....	23
4.4.1.	Postopki obdelave fotonapetostnih modulov iz mono in polikristalnega silicija	23
4.4.1.1.	Toplotni postopek razslojevanja modulov.....	25
4.4.1.2.	Kemi ni postopek razslojevanja modulov.....	25
4.4.1.3.	Razslojevanje modulov z organskim topilom.....	26
4.4.2.	Kemi na obdelava son nih celic.....	26
5.	Vplivi fotonapetostnih modulov na okolje.....	28
5.1.	Kaj je LCA.....	31
5.2.	Ocena življenjskega kroga predelave kristalnih modulov (LCA) podjetja Deutsches Solar.....	31
6.	Materiali in metode.....	32
6.1.	Predstavitev skupine BISOL Group.....	32
6.2.	Opis metod na rtovanja zasnove predelave son ne elektrarne skupine BISOL Group.....	32
7.	Rezultati.....	33
7.1.	Zasnova predelave son ne elektrarne skupine BISOL Group.....	33
7.1.1.	Stroški predelave son ne elektrarne.....	34
7.1.2.	Prodaja odpadnega materiala.....	36
8.	Razprava in sklepi.....	38
9.	Povzetek.....	40
10.	Viri in literatura.....	44

Kazalo slik:

Slika 1: Fotonapetostni efekt.....	3
Slika 2: Izdelava monokristalne silicijeve palice z metodo Czochralski.....	5
Slika 3: Izdelava monokristalne silicijeve palice z metodo Float Zone.....	6
Slika 4: Izdelava polikristalnih celic.....	8
Slika 5: Metoda EFG.....	8
Slika 6: Sestava amorfne silicijeve celice.....	9
Slika 7: Razlika med monosilicijevo celico, polisilicijevo celico in tankoplastno celico.....	9
Slika 8: Omrežno povezan fotonapetostni sistem.....	13
Slika 10: Ena od ozna b za opremo, ki je v soglasju z RoHS direktivo.....	15
Slika 11: Ozna be za polimere.....	20
Slika 12: Shema zbiranja za male (zgoraj) in velike koli ine (spodaj) modulov v organizaciji PV Cycle.....	22
Slika 13: Potek predelave odpadnega fotonapetostnega modula.....	24

Slika 14: Toplotni postopek predelave modula.....	25
Graf 1: Globalna inštalirana kapaciteta son nih elektrarn po l. 2000.....	29
Graf 2: Letna koli ina pri akovanih odpadnih modulov v letih 2030, 2040 in 2050 v Evropski uniji.....	30

Kazalo tabel:

Tabela 1: Kronologija razvoja fotovoltaike.....	3
Tabela 2: Stroški razgradnje son ne elektrarne velikosti 1MW.....	36
Tabela 3: Vrednost izkupi ka od prodaje odpadnega aluminija in bakra.	36
Tabela 4: Razlika med stroški razgradnje elektrarne in izkupi kom od prodaje materiala.	37

Legenda kratic:

AC - alternating current (izmenični tok)
Ag - srebro
Al - aluminij
a-Si - amorfni silicij
A-Si:H - hidroženiran amorfni silicij
BAT - best available techniques (najboljše razpoložljive tehnologije)
C₂H₄O₂ - očetna kislina
C₂HCl₃ - trikloroeten
CdS - kadmijev sulfid
CdTe - kadmijev telurid
CIS/CIGS - bakrov-indij-diselenid ali bakrov-indij-galij-diselenid
CO₂ - ogljikov dioksid
CO₂E/kWh – ekvivalent ogljikovega dioksida na kilovatno uro
c-Si kristalni silicijevi moduli
CZ - metoda Czochralski
DC - direct current (enosmerni tok)
EFG - edge-defined film fed growth
EVA - etil-vinil-acetat
FZ - metoda Float Zone
GaAs - galijev arzenid
H₂O₂ - vodikov peroksid
H₂SiCl₂ - diklorosilan
H₂SO₄ - žveplove kislina
H₃ClSi - klorosilan
HCl - solna kislina
HDPE - polietilen visoke gostote
HF - fluorovodikova kislina
HNO₃ - dušikova kislina
hot wire CVD - chemical vapor deposition (nanašanje tankih plasti)
i-tip - intrinzični na plast - nedopirana plast
Kg - kilogram
KOH - kalijev hidroksid
LCA - life-cycle assessment (ocena življenjskega kroga)
LCD - Liquid Cristal Display (zaslon s tekočimi kristali)
LDPE - polietilen nizke gostote
MCZ - Magnetic Field Applied Cz (metoda CZ z magnetnim poljem)
mono-Si - monokristalni silicij
MW - mega Watt
MWS - multi wire saw (večžična žaga)
NaOH - natrijev hidroksid
NIR - near infrared sorting system (optični identifikacijski sistem)
n-tip - polprevodnik, ki ima presežek elektronov
OEEO direktiva - direktiva o odpadni elektriki in elektronski opremi
Pb - svinec
PBB - polibromirani bifenili
PBDE - polibromirani difenil etri
PE - polietilen
PECVD - plasma-enhanced chemical vapour deposition
PERL - passivated emitter rear locally diffused method
PET/PETE - polietilen tereftalat
poli-Si - polikristalne silicijeve celice
p-tip - polprevodnik, ki ima presežek vrzeli

PV - fotovoltaika

RoHS Directive - Directive on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (Direktiva o omejevanju uporabe nekaterih nevarnih snovi v elektri ni in elektronski opremi)

Si - silicij

SiC - silicijev karbid

SiCl₄ - silicijev tetraklorid

SiO₂ - silicijev dioksid

THF - tetrahidrofuran

TPT - tedlar/poliester/tedlar

WEEE Directive - Directive on waste electrical and electronic equipment (Direktiva o odpadni elektri ni in elektronski opremi)

1. Uvod

1.1. Opredelitev teme

Zaradi izrpanja zalog neobnovljivih virov energije, kot so premog, nafta in plin, ter onesnaženja, ki ga njihova raba povzroča, moramo poiskati in uporabiti druge alternativne vire. Takšne alternative predstavljajo na primer izkoriščanje vodne energije, kot je na primer močvalov, izkoriščanje vetra in sonca. Najbolj obetavna od vseh teh je energija sonca. Sonna energija, ki prispe do nas, je 8000 krat večja od celotne energetske porabe loveštva [Medmrežje 19]. Proces neposredne pretvorbe sonne energije v električno energijo se imenuje fotonapetostni efekt. To je proces, kjer se ustvarja električni tok v polprevodnem materialu, ko je le-ta izpostavljen svetlobi [Medmrežje 20]. Vedo, ki preučuje pretvorbo sonne energije v elektriko, imenujemo fotovoltaika [Medmrežje 2].

Ker se je zanimanje za fotovoltaiko v zadnjih letih močno povečalo, se je povečala proizvodnja sonnih celic, fotonapetostnih modulov in gradnja sonnih elektrarn. Fotonapetostni moduli imajo življenjsko dobo okoli 30 do 40 let. Zaradi novosti tehnologije za sedaj še ni veliko odpadnih modulov (800 ton v Evropi). Vendar pa se bo število odpadnih fotonapetostnih modulov po zaključku njihove življenjske dobe, do leta 2030, močno povečalo, predvidoma na kar 220 000 ton [Podewils 2011].

Na primerne tehnološke postopke za zbiranje, obdelavo in predelavo fotonapetostnih modulov se moramo zato pripraviti že sedaj. Poleg fotonapetostnih modulov se povečuje tudi število drugih gradnikov kot so akumulatorji, nosilna konstrukcija, razsmerniki, priključni kabli, regulatorji, stikalne in zaščitne naprave ter ostali elektroinštalacijski gradniki. Za vse te gradnike bo potrebno poiskati primerne načine odstranjevanja.

V diplomski nalogi smo s pomočjo podjetja BISOL Group, kjer proizvajajo fotonapetostne module, obdelali problem, ki se pojavi ob koncu življenjskega cikla sonnih elektrarne. V diplomski nalogi so predstavljeni različni postopki recikliranja sonnih modulov, ki so narejeni iz kristalnega silicija (monokristalni in polikristalni silicij) ter načini ravnanja z ostalimi gradniki sonnih elektrarne.

1.2. Predstavitev raziskovalnih ciljev in hipotez

Cilj diplomske naloge je opisati teoretičen sistem poteka recikliranja sonnih elektrarn skupine BISOL ob koncu njihovega delovanja in analizirati stroškovni vidik razgradnje. Osnovne hipoteze diplomske naloge so:

- Hipoteza 1

Razgradnja elektrarne podjetju ne bo predstavljala stroška.

- Hipoteza 2

Nekatere gradnike elektrarne je možno ponovno uporabiti oziroma predelati.

- Hipoteza 3

V bližnji prihodnosti se bo znatno povečala količina odpadnih oziroma odsluženih fotonapetostnih modulov, od katerih bo mogoče vsaj nekatere dele primerno predelati oziroma ponovno uporabiti.

2. Pregled dosedanjih raziskav, virov in literature

2.1. Predstavitev fotovoltaike

Poglavje na kratko opisuje fotovoltaiko in fotonapetostni efekt ter zgodovino fotovoltaike.

2.1.1. Fotovoltaika

Fotovoltaika je veda, ki preu uje pretvorbo son ne energije v električno [Medmrežje 2], s pomojo polprevodnih materialov, v katerih deluje fotonapetostni efekt [Medmrežje 1]. Fotonapetostni efekt je prvi odkril fizik Edmund Becquerel leta 1839. Odkril je, da dolo eni materiali, e so izpostavljeni son ni svetlobi, proizvajajo manjšo koli ino elektri nega toka [Knier 2002].

Fotonapetostni efekt se pojavi v polprevodnih materialih. Polprevodni materiali, kot so silicij (Si), galijev arzenid (GaAs), kadmijev telurid (CdTe) in bakrov-indij-diselenid ali bakrov-indij-galij-diselenid (CIS/CIGS), se uporabljajo za izdelavo son nih celic [Medmrežje 1]. Ti materiali niso elektri no prevodni pri nizkih temperaturah, ker nimajo prostih elektronov. Pri višjih temperaturah, ko se elektroni osvobodijo, pa pokažejo zmerno elektri no prevodnost [Reddy 2010].

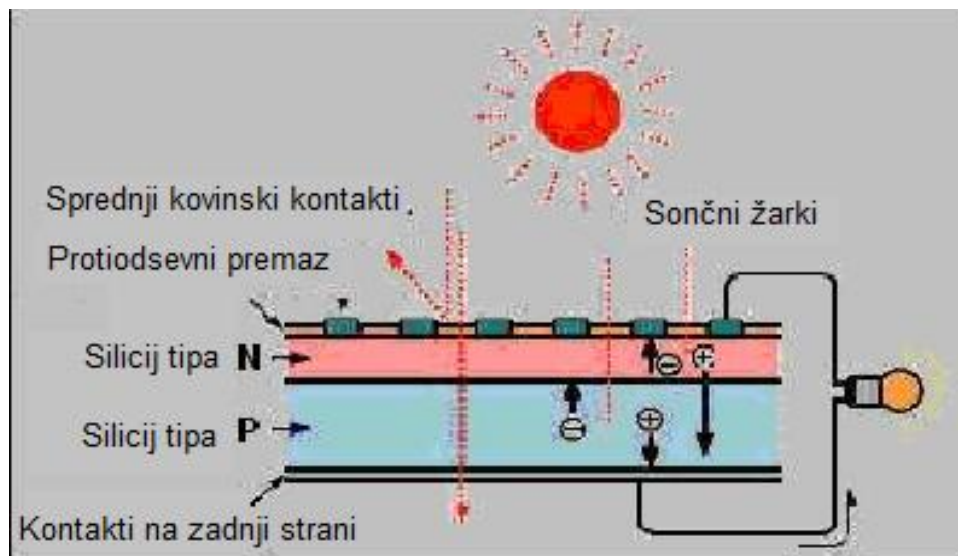
2.1.2. Fotonapetostni efekt

Svetloba je sestavljena iz fotonov v katerih je energija. Ti fotoni lahko vplivajo na polprevodnik. Fotone lahko polprevodnik absorbira, lahko se tudi odbijejo ali pa grede skozi polprevodnik. Tisti fotoni, ki se absorbirajo, oddajo svojo energijo. Ko polprevodnik absorbira fotone, elektroni v atomu, ki so na za etku povezani v kovalentne vezi, dobijo energijo teh fotonov. Ko dobijo to energijo, se lahko osvobodijo iz teh vezi [Medmrežje 3]. Ti elektroni pustijo za seboj tako imenovane vrzeli. To vrzel zapolni drugi elektron, ki zapusti svojo kovalentno vez, ter na tem mestu pusti vrzel. Gibanje vrzeli, ki se vedejo kot pozitivni naboj, in gibanje elektronov, ki se vedejo kot negativni naboj, ustvarijo elektri ni tok [Reddy 2010].

V isti obliki se polprevodniki pri nizkih temperaturah vedejo kot elektri ni izolatorji. Ko se temperatura dvigne, lahko prispevajo k elektri nemu toku [Reddy 2010]. Polprevodniki se dopirajo, s tem se pove a njihova prevodnost [Medmrežje 4]. Dopiranje pomeni dodajanje manjše koli ine elementov v polprevodnik, da se lahko uravnava elektri na prevodnost polprevodnika [Medmrežje 17]. Z dopiranjem se ustvarita *n*-tip polprevodnika, ki ima presežek elektronov in *p*-tip polprevodnika, ki ima presežek vrzeli. Ta dva tipa polprevodnika dobijo z dodajanjem majhne koli ine fosforja za *n*-tip in z dodajanjem bora za *p*-tip [Medmrežje 4]. Ta elementa se najve krat uporabljata za dopiranje, lahko pa se uporabijo tudi manjše koli ine drugih elementov. Za dopiranje polprevodnikov lahko uporabijo elemente iz periodne tabele skupine V za donorje in elemente iz skupine III za akceptorje [Reddy 2010].

Stik med *p*-tipom in *n*-tipom polprevodnika se imenuje *p-n* spoj. Zaradi ve jega števila elektronov na *n* strani in ve jega števila vrzeli na *p* strani elektroni in vrzeli difundirajo v podro je nižje koncentracije. V bližini spoja na *p* strani se vrzeli in elektroni rekombinirajo, podobno se naredi v bližini spoja na *n* strani. Tako nastali ioni v bližini spoja ustvarijo elektri no polje. Ta del se imenuje osiromašeno podro je. To obmo je odbija ostale elektrone in vrzeli. Nosilci nabojev zato obstajajo samo izven tega obmo ja. Na eni strani je ve vrzeli, na drugi je ve elektronov. S pomojo elektri ne povezave naredimo zunanja kontakta na

obeh straneh polprevodnika. Fotogenerirani elektroni iz osiromašene plasti nato potujejo na *n* stran in vrzeli potujejo na *p* stran, kjer se nato preko električne povezave rekombinirajo in ustvarijo električni tok in delo. Ta tok se imenuje fototok [Reddy 2010].



Slika 1: Fotonapetostni efekt.

Vir: Medmrežje 22

2.1.3. Zgodovina fotovoltaike

Sonce so kot vir energije uporabili veliko prej, preden so naredili prve sončne celice. V starih časih so uporabljali ogledala, da so lahko ustvarili ogenj. Od tedaj se je tehnologija razvila in s pomočjo sončnih modulov pretvarjamo energijo sonca v elektriko [Medmrežje 5]. V nadaljevanju navajam nekatere pomembne dogodke, ki so vodili do tehnologije, ki jo imamo danes.

Tabela 1: Kronologija razvoja fotovoltaike.

1839	Francoski fizik Alexandre Edmond Becquerel je odkril fotonapetostni efekt, pri eksperimentu z elektrolitsko celico sestavljeno iz dveh kovinskih elektrod, ki sta bili postavljeni v električno prevodno raztopino. Proizvodnja elektrike se je povečala, ko je bila celica izpostavljena svetlobi.
1873	Willoughby Smith je odkril fotoprevodnost selena.
1876 - 1877	William Grylls Adams in Richard Evans Day sta odkrila električni tok v trdnem selenu. Izdelala sta prvo sončno celico iz selena. Vendar sončna celica ni proizvajala dovolj električnega toka. Dokazala sta, da lahko trden material pretvarja svetlobo v elektriko brez toplote in gibanja delov.
1891	Clarence Kemp je patentiral prvi solarni grelnik vode.
1904	Nemški fizik Wilhelm Hallwachs je odkril, da je kombinacija bakra in bakrenega oksida občutljiva na svetlobo [Medmrežje 5]. Albert Einstein je objavil svojo raziskavo o fotoelektrnem efektu [Bellis].
1918	Poljski znanstvenik Jan Czochralski je odkril proces za pridelovanje monokristalnega silicija. S tem procesom se tudi zdaj pridobiva monokristalni silicij.
1932	Audobert in Stora odkrijeta fotonapetostni efekt v kadmijevem sulfidu (CdS).
1954	Znanstveniki Daryl Chapin, Calvin Fuller in Gerald Pearson so v laboratoriju

	Bell razvili prvo fotonapetostno silicijevo celico, ki je bila sposobna predelati dovolj elektrike iz son ne energije, da je lahko poganjala vsakodnevno elektri no opremo. Njen izkoristek je bil 4%.
1958	Uporabili so silicijeve son ne celice za Vanguard I. – prvi satelit s PV sistemom [Medmrežje 5].
1959	Hoffman Electronics doseže 10% u inkovitost komercialno dostopnih son nih celic (leta 1955 je bila u inkovitost samo 2%) [Bellis]. Izstrelijo Explorer VI s fotonapetostnim poljem z okoli 9600 celicami velikosti 1 cm x 2 cm.
1960	Ustanovili so podjetje Silicon Sensors v ZDA, ki proizvaja silicijeve in selenove son ne celice.
1963	Sharp Corporation proizvede silicijeve fotonapetostne module. Japonci inštalirajo v tem asu najve ji fotonapetostni sistem na svetilnik (242W).
1964 - 1966	Son na energija se je uporabljala za satelite. Nimbus vesoljsko plovilo 470-vatni fotonapetostni sistem; Orbiting Astronomical Observatory – 1-kilovat.
1970	Son ne celice postanejo cenejše. Njihova uporaba se razširi: elektrika za svetilnike, železniški prehodi, odmaknjeni kraji, ki nimajo elektri ne mrežne povezave...
1978	NASA LeRC (NASA's Lewis Research Center) je postavila 3,5 kilovatni fotonapetostni sistem v indijanskem rezervatu Papago. To je prvi PV sistem, ki je oskrboval celotno vas z elektriko in vodo, do leta 1983.
1981	Paul MacCready je sestavil prvo solarno letalo. Na krilih je imel 16.000 son nih celic, ki so proizvajale 3.000 W mo i.
1983	Svetovna fotonapetostna proizvodnja preseže 21,3 megavate.
1986	V Kaliforniji zgradijo hibridno son no-termalno elektrarno [Medmrežje 5].
1990	Nem ija sproži \$500MM program 100.000 Solar Roofs [Medmrežje 6].
1992	Izdelali so tankoplastno son no celico iz CdTe z izkoristkom 15,9%.
1993	V Kaliforniji so zgradili prvo elektrarno s povezavo na elektri no mrežo.
2000	First Solar za ne s proizvodnjo fotonapetostnih modulov v najve jemu fotonapetostnem obratu. Zgradili so najve jo son no elektrarno v vesolju. Vsako krilo satelita ima 32.800 son nih celic. Sandia National laboratories izdela razsmernik za ve jo varnost fotonapetostnih sistemov ob izpadih elektrike [Medmrežje 5].
Od 2000 naprej	Koli ina inštaliranih son nih elektrarn se vsako leto pove a za 30-40% [European Photovoltaic Industry Association].

2.2. Son ne celice

Son ne celice so narejene iz razli nih polprevodnih elementov. Lo imo kristalni silicij, kamor spadata monokristalni in polikristalni silicij, ter amorfni silicij, ki je nekristalna oblika silicija. Nato pa so še sestavljeni polprevodniki, kot so CdTe, CIS ali CIGS. Ti polprevodniki in amorfni silicij se uporabljajo za izdelavo tankoplastnih celic. Poznamo tudi sestavljen polprevodnik GaAs, ki se lahko uporablja kot rezina ali kot tankoplastni material. V nadaljevanju predstavljam monokristalne in polikristalne silicijeve celice ter amorfne silicijeve celice.

2.2.1. Kristalne silicijeve celice

Silicij je kemijski element z atomskim številom 14. Je drugi najbolj razširjeni element v zemeljski skorji. Silicij se pridobiva iz SiO₂ (silicijevega dioksida v obliki kremen evega

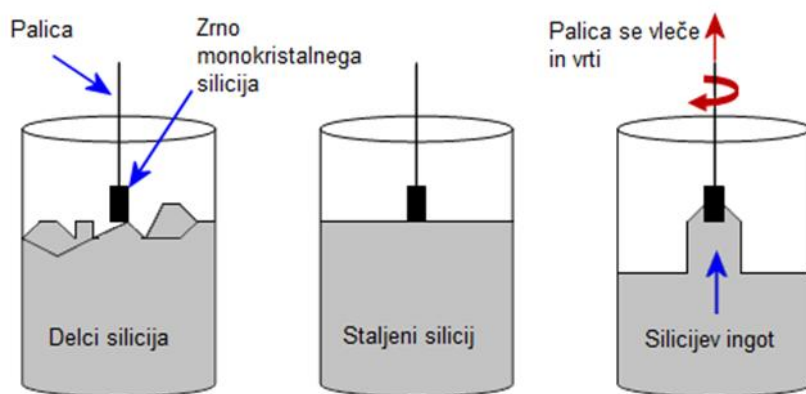
peska) tako, da se pesek segreje z ogljem pri temperaturi 2200°C [Thomas Jefferson... The Element Silicon]. Rezultat tega je ogljikov dioksid in staljen silicij.

Ta silicij se še ne uporablja za izdelavo celic, ker ima preve ne isto . Ta ne isti silicij imenujejo metalurška stopnja silicija – 98% Si. Z nadaljnjim procesom, kjer uporabijo solno kislino (HCl), spremenijo ne isti silicij v triklorosilan (trichlorosilane). Ta proces se imenuje hidro-kloriranje. S Siemens postopkom naredijo isti silicij (99,99999% Si, isti silicij ali elektronska stopnja silicija) [Phylipsen in Alsema 1995]. Silicij nato nalomijo na male koš ke, ki se nato uporabljajo kot zrna v nadaljnjih procesih [Green 2001]. V nadaljevanju predstavljam razli ne vrste silicijevih son nih celic in njihovo izdelavo.

2.2.1.1. Monokristalne silicijeve celice

Monokristalni silicij (mono-Si) je silicij sestavljen samo iz enega kristala silicija [Medmrežje 2]. Za izdelavo mono-Si obstaja ve metod. Med te spadajo metoda Czochralski (CZ), metoda Float Zone (FZ), metoda CZ z magnetnim poljem (Magnetic Field Applied Cz (MCZ)). Ta metoda poteka enako kot metoda CZ samo, da se ta dogaja v magnetnem polju. Poznamo še kontinuirano CZ metodo [Medmrežje 7]. Bolj podrobno bom opisala samo metodi CZ in FZ.

Metoda Czochralski (CZ) je med temi metodami najbolj znana. Poimenovana je po poljskem znanstveniku Janu Czochralskem, ki je odkril to metodo leta 1918, ko je raziskoval kristalizacijsko hitrost kovin. Ta metoda se uporablja za pridobitev enojnega kristala polprevodnikov, kovin, soli in sinteti nih dragih kamnov [Medmrežje 8]. Metoda poteka tako, da najprej stopijo zelo ist poli-kristalen silicij v talilniku iz kremenca. V stopljen polikristal dodajo/potopijo zrno monokristalnega silicija, ki ga nato dvigajo in obra ajo. Po kon anem procesu nastane silicijeva palica cilindri ne oblike - ingot [Medmrežje 7]. Ingot je material, ponavadi kovina, ki se oblikuje v obliko, ki je primerna za nadaljnjo obdelavo [Medmrežje 18].

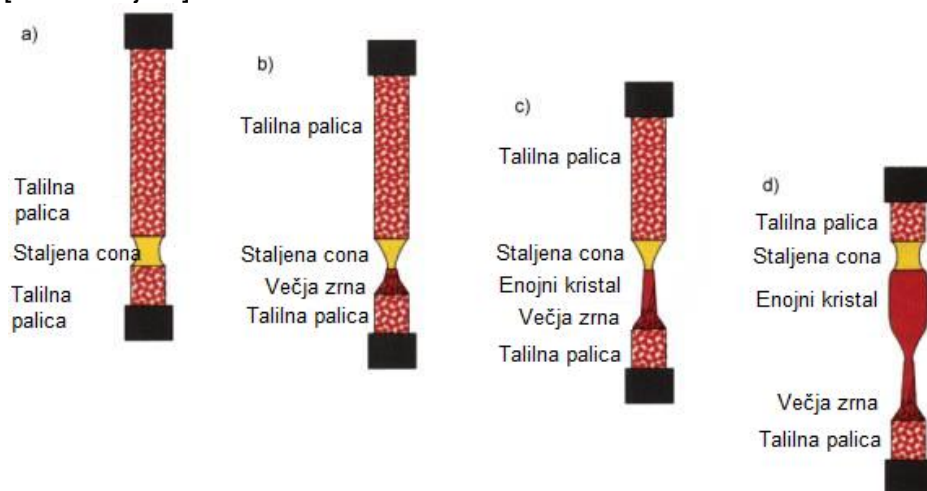


Slika 2: Izdelava monokristalne silicijeve palice z metodo Czochralski.

Vir: Medmrežje 23

Drugi proces je metoda Float Zone (FZ), ki so jo iznašli leta 1962. Ta metoda poteka pod vakuumom ali v inertnem plinastem ozra ju [Medmrežje 8] tako, da pripravijo ingot polikristalnega silicija na vrh monokristalnega zrna, ki ga nato spustijo v elektromagnetsko tuljavo. Magnetno polje v tuljavi nato sproži elektri no polje v ingotu, ki nato stopi sti iš e, povezavo med ingotom in zrnem (oboje se delno stopi) [Types of Silicon... 2011]. Stopljeno obmo je nato premikajo vzdolž ingota, stopljen silicij se nato strdi in se oblikuje v enojni kristal, isto asno se material o isti. Druge elemente lahko dodajo na za etku procesa na

palico z uparjanjem ali z vrtnjem v palico. Lahko jih tudi vklju ijo med postopkom [Medmrežje 7].



Slika 3: Izdelava monokristalne silicijeve palice z metodo Float Zone.

Vir: Medmrežje 24

Postopek izdelave monokristalnih silicijevih celic

Izdelava rezine

Ko dobijo silicij s procesom CZ ali FZ, ga narežejo na tanke rezine. Ker so ingoti cilindri ne oblike, lahko nastanejo okrogle rezine, ki pa ne zapolnijo modula (ostane prostor med celicami). Lahko pa tudi odžagajo dele palice, da dobijo semi-kvadratno obliko rezine. To naredijo tako, da odrežejo del silicija na vseh straneh vzdolž palice (vodoravno). Ti veliki kosi, ki ostanejo od rezanja, gredo v recikliranje. Ko palice nato žagajo na rezine, ostane veliko silicija kot »žagovina«, ki se imenuje kerf. V vsakemu primeru je veliko ostanka silicija: ali kot odžagan silicij ali kot kerf [Green 2001].

Palice silicija lahko režejo z diamantno žago [Lenardi 2004] ali z ve -ži no žago (multi wire saw - MWS) s kombinacijo teko ine, ki vsebuje hladilno teko ino in brusilne del ke (SiC) [Phylipsen in Alsema 1995]. Nato sledi poliranje.

Pri metodi rast trakov, ki jo bom predstavila kasneje, se uporabijo laserji, torej teh celic ni potrebno polirati [Mah 1998; Lenardi 2004]. Pri monokristalnem siliciju so lahko celice okrogle, kvadratne ali semi-kvadratne. Polikristalne silicijeve celice so kvadratne ali pravokotne oblike [Lenardi 2004]. Po kon anem rezanju morajo rezine o istiti, saj so poškodovane zaradi žage. Rezine o istijo mehansko (s poliranjem) ali kemi no (z jedkanjem). Jedkanje opravijo z natrijevim hidroksidom. Nato rezine operejo v vodi in koncentrirani žveplovni kislini. Za jedkanje lahko uporabijo tudi kemikalijo KOH [Phylipsen in Alsema 1995].

Izdelava son ne celice

Za proizvodnjo son nih celic uporabljajo tehnologijo po imenu sitotisk (screen printing technology). Odžagane celice najprej mehansko polirajo, da odstranijo poškodbe, ki jih je naredila žaga, temu sledi še kemi no poliranje, da se odstranijo poškodbe mehanskega poliranja. Nato rezine namo ijo v raztopino iz NaOH, da se ustvari hrapava površina in izopropilni alkohol. S tem zmanjšajo izgube zaradi odseva in pove ajo absorpcijsko dolžino v siliciju. Pri procesih za izdelavo silicija (CZ in FZ) se naredi *p*-tip polprevodnika (z borom).

Nato z difuzijo fosforja na površino rezine ustvarijo n -tip, da ustvarijo p - n spoj [Reddy 2010].

Elektri ni kontakti se ustvarijo na podro ju n -tipa s sitotiskom srebrnih (Ag) kontaktov. Na celico nato nanesejo proti-odbojni sloj iz silicijevega nitrida. Elektri ni kontakt na osojnem delu celice naredijo z aluminijevo pasto/lepilom. To ustvari $p+$ obmo je na zadnjem delu celice, ki odbija manjšinske nosilce naboja nazaj proti spoju [Reddy 2010].

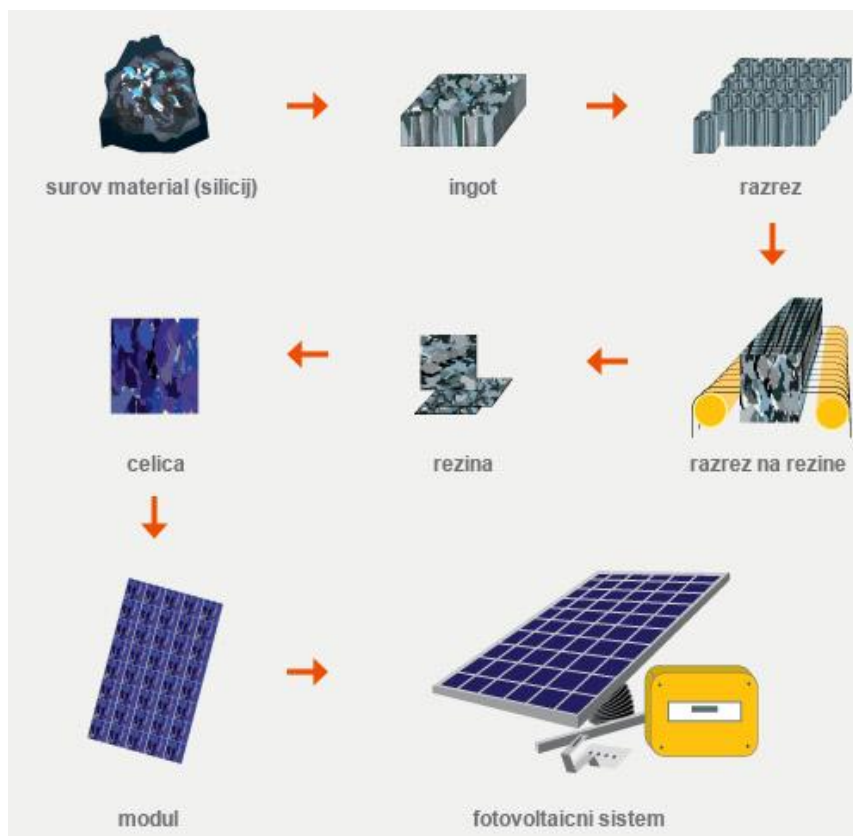
Bolj napredna metoda je PERL (passivated emitter rear locally diffused method). Pri tej metodi se ustvari plast SiO_2 na zadnji strani celice, ki ima funkcijo pasivacije in refleksije svetlobe nazaj v celico. Kontakt naredijo z difuzijo aluminija (Al) v plast Si preko majhnih odprtin, ki so se izjedkale v oksidirani plasti. S tem ustvarijo lokalizirano $p+$ obmo je. Sprednja površina se teksturira. S tem se ustvari površina obrnjenih piramid, ki uspešno lomijo svetlobo. Pri takšni celici lahko uporabljajo tanjše rezine silicija [Reddy 2010].

2.2.1.2. Polikristalne silicijeve celice

Polikristalni silicij sestavlja ve manjših zrn kristalnega silicija [Medmrežje 2]. Celice iz takšnega silicija so cenejše vendar nekoliko manj u inkovite.

Postopek izdelave polikristalnih silicijevih celic

Polikristalne silicijeve celice (poli-Si) pridobivajo na dva na ina. Prvi na in je cenejši in lažji. Imenuje se proces ulivanja (casting process). Najprej stopijo silicij v inertni atmosferi (argon plin), talino nato zlijejo v kvadraten talilnik, kjer pustijo, da se postopoma strdi pod kontroliranimi termalnimi pogoji. Iz nastalega ingota najprej narežejo opeke. Iz teh opek nato narežejo tanke rezine [Phylipsen in Alsema 1995]. Ta na in lahko uporabljajo tudi za monokristalne silicijeve celice [Lenardi 2004].



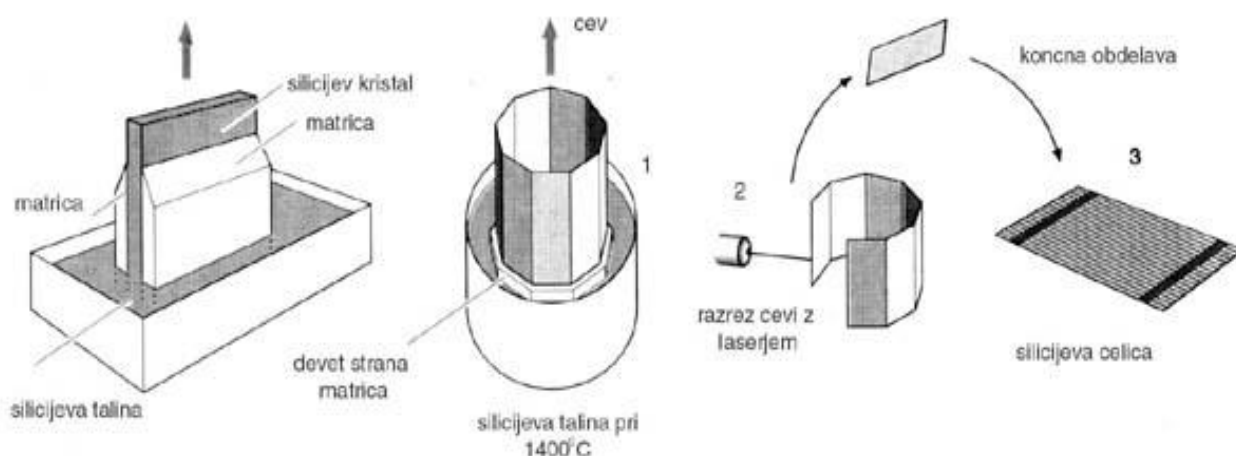
Slika 4: Izdelava polikristalnih celic.
Vir: Medmrežje 25

Drugi proces izdelave silicijevih rezin se imenuje rast trakov in listov (ribbon and sheet growth). To je tehnika, kjer bi se lahko izognili rezanju ter ostanku, ki pri tem nastane. Pri tej tehniki se iz kopeli, v kateri je stopljen silicij, potegne list silicija v po asnem in stalnem procesu [Reddy 2010]. Obstaja več različnih tehnik. Med te spadajo EFG metoda, metoda nitnega traku (String ribbon), dendriti na mreža (dendritic web), horizontalna rast na substratu (Horizontal Growth on a Substrate),... [Ciszek 2010]. Te metode se uporabljajo za obe vrsti silicija: mono-Si in poli-Si. Z uporabo teh metod dobijo celice kvadratne ali pravokotne oblike, ki lahko bolje zapolnijo modul. Pri teh metodah ostankov materialov ni veliko, saj se silicij reže z laserjem. Vendar kvaliteta materiala ni tako dobra kot pri CZ in FZ metodi [Mah 1998]. Med temi metodami sta samo dve večkrat uporabljeni metodi, to je EFG metoda in metoda nitnega traku.

Metoda EFG (edge-defined film fed growth)

Pri tem procesu vstavijo stopljen silicij med ploskvi (okvir, matriko) z majhno vrzeljo med njima. Med ploskvi pride silicij, ki ga nato vlečejo gor. Stopljen silicij se pod okvirjem strjuje. Če se silicij vleče hitro, se naredijo napake, ki zmanjšajo električno prevodnost. Obstaja tudi bolj napredna EFG metoda, kjer silicij oblikujejo v osmerokotno cev med rastjo. S pomočjo laserja, ki močno zmanjša odpadke zaradi rezanja, narežejo rezine različnih dolžin [Reddy 2010].

Procesi, ki sledijo so išenje rezin, nato z difuzijo nanesejo fosfor, naslednji nanos je protiodbojna plast, ki ji dodajo še zadnji in sprednji kontakt. Na koncu celice testirajo in pregledajo [Reddy 2010].



Slika 5: Metoda EFG.
Vir: Medmrežje 26

Metoda nitnega traku (String ribbon technology)

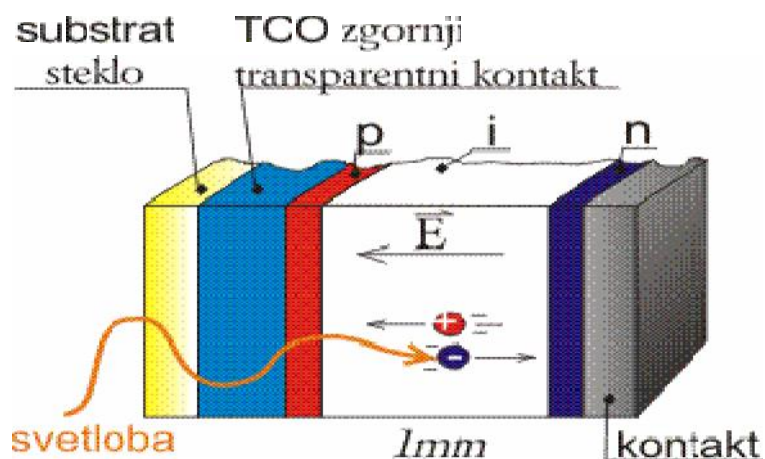
Pri tej tehnologiji uporabijo dve vrvici, odporni na visoko temperaturo [Medmrežje 15], ki se nato vlečejo stopljeni silicij v argonovi atmosferi, da se ustvari list med tema vrvicama. Ta metoda ni tako občutljiva za temperaturo kot metoda EFG. Pri obeh metodah je prednost v tem, da se prihrani velika količina silicija. Slabost obeh je manjša učinkovitost zaradi visoke koncentracije napak v listih silicija [Reddy 2010].

2.2.2. Amorfne silicijeve celice

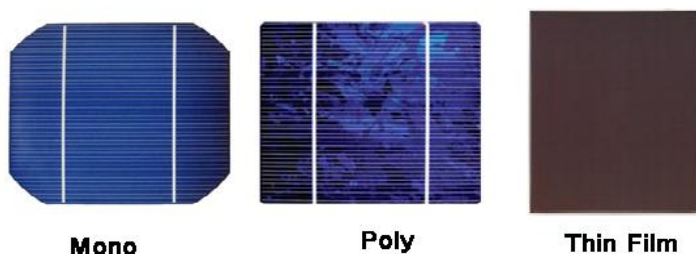
Amorfni silicij (a-Si) je nekristalna, druga e povezana vrsta silicija [Medmrežje 9]. Od kristalnega silicija se razlikuje po tem, da ima kristalni silicij enotno mrežno strukturo, amorfni silicij ima pa bolj naključno mrežno strukturo [Solar Thin Films].

Postopek izdelave amorfni silicijevih celic poteka tako, da je celica sestavljena iz več plasti a-Si, vsaka plast je hidrogenirana. A-Si:H je sestavljen iz n in p tipa plasti, ter vmesne plasti, ki se imenuje intrinzična plast (i-tip). Nedopirana (i-tip) plast je aktivna plast, ki absorbira svetlobo in generira tok nosilcev [Amorphous Silicon...].

A-Si:H celice naredijo z metodo PECVD (plasma-enhanced chemical vapour deposition) ali hot wire CVD [Reddy 2010]. Za amorfne silicijeve celice z enojnim spojem uporabijo $p-i-n$ ali $n-i-p$ strukturo, ki je odvisna od materiala, ki ga uporabijo za podlago. $P-i-n$ struktura se uporabi za stekleno ali katero drugo prozorno podlago, kjer se najprej nanese p -plast nato i -plast ter na koncu n -plast. $N-i-p$ struktura se uporabi pri kovinski ali neprozorni podlagi, na in nanosa je tu obraten [Thin-Film...]. Pri teh strukturah se svetloba absorbira v nedopirani i -plasti. [Reddy 2010]. Ta plast se nahaja med p in n plastema, ki ustvarita električno polje brez i -plasti. Elektroni in vrzeli, na katere vpliva to polje, se zberejo v p (vrzeli) in v n (elektroni) plasti [Thin-Film...].



Slika 6: Sestava amorfne silicijeve celice.
Vir: Medmrežje 27



Slika 7: Razlika med monosilicijevo celico, polisilicijevo celico in tankoplastno celico.
Vir: Medmrežje 28

2.3. Son na elektrarna in njeni gradniki

2.3.1. Opis gradnikov

V nadaljevanju so predstavljeni gradniki son ne elektrarne, ki so potrebni za njeno nemoteno delovanje. Posamezne sestavne dele je mogoče po koncu delovanja naprave ponovno uporabiti ali predelati in s tem zmanjšati vplive son ne elektrarne na okolje.

2.3.1.1. Fotonapetostni moduli

Za izdelavo fotonapetostnih modulov se uporabljajo različni postopki in različni materiali. V nadaljevanju so opisani materiali, ki so potrebni za izdelavo poli- in monokristalnih fotonapetostnih modulov ter postopek izdelave, ki se največkrat uporablja.

Uporabljeni materiali za sestavo fotonapetostnih modulov so:

- **Steklo** - Pri fotonapetostem modulu je steklo zelo pomembno, saj varuje son ne celice pred zunanjim vplivi in daje mehansko podporo modulu. Steklo, ki se uporablja, se imenuje ekstra belo steklo, s teksturo na obeh straneh. Takšno steklo ima nizko vsebnost železa. Steklo mora imeti določene lastnosti, kot sta boljše prepustnost svetlobe in energije, biti mora odporno na udarce, imeti mora večjo mehansko trdnost.
- **EVA folija** – Folija etil-vinil-acetat (EVA) se uporablja za laminiranje modulov. EVA folija lepi matrike son nih celic na steklo in s tem enkapsulira matriko celic. EVA tudi predstavlja električno izolacijo. EVA folija mora imeti določene lastnosti: življenjska doba vulkanizacije EVA folije mora biti daljša od 25 let, izkazovati mora odlično odpornost proti vročini, vlagi in proti drugim vremenskim vplivom, hitro se vulkanizira itd...
Vulkanizacija je kemijski proces, pri katerem se s pomočjo žvepla, toplote in pritiska izboljša guma ali kateri drug podoben material [Medmrežje 21].
- **Celice** – Son ne celice so najpomembnejši del fotonapetostnih modulov. BISOL proizvaja dve vrsti modulov: monokristalne in polikristalne. Celice se najprej povežejo med seboj v nize, nato pa naprej v matriko. Son ne celice morajo imeti večjo učinkovitost, večjo manjšo lomljivost, imeti morajo večjo mehansko odpornost in dolgotrajno električno stabilnost.
- **Bakreni trakovi za električno povezavo** – Ti trakovi povezujejo son ne celice v nize, kjer se uporabijo ožji vezni trakovi in nato v matriko, kjer se uporabljajo širši vezni trakovi. Vezni trak mora biti večjo mehkejši.
- **Hrbtna folija** je sestavljena iz treh slojev Tedlar/poliester/Tedlar (TPT) in se uporablja kot zadnja stran modula. Hrbtna folija ščiti fotonapetostni modul pred UV svetlobo, vodo, mehanskimi poškodbami in drugimi vplivi, ter električno izolira modul. Pomaga tudi pri hlajenju modula. Hrbtna folija mora imeti večjo mehansko odpornost, njena življenjska doba mora biti daljša od 25 let, odporna mora biti tudi na ostale vremenske in druge vplive.
- **Aluminijasti okvir** daje modulu dodatno stabilnost in mehansko odpornost. S pomočjo okvirjev se lahko moduli montirajo na nosilno konstrukcijo. Lastnosti aluminijastega okvirja so: aluminij mora biti dovolj trden, imeti mora večjo skladnejše

robove, ne sme imeti prevelikih toleranc,...

- **Tesnilno sredstvo (silikon)** – Se uporablja kot lepilo in tesnilo za lepljenje okvirjev na laminat (steklo, celice, folije). Uporablja se tudi za lepljenje priklju ne škatlice na zadnjo stran modulov. Silikon mora imeti naslednje lastnosti: UV stabilnost, ne sme vsebovati topil, ne sme povzroati korozije na ostalih elementih modula, mora se dobro lepiti na steklo, plastiko in aluminij, mora biti stabilen in prožen v vseh delovnih pogojih, pri akovana življenjska doba mora biti vsaj 25 let, biti mora dober elektri ni izolator.
- **Škatlica s priklju ki** – Povezuje elektri ne terminale matrice son nih celic z zaš itnimi diodami ter kabli, ki jih uporabljajo za povezovanje fotonapetostnega modula z drugimi napravami. Škatlica š iti kontakte in diode pred vodo, okoljskimi in mehanskimi vplivi. Škatlica je sestavljena iz štirih priklju kov, treh zaš itnih diod ter plus in minus vodnikov. Škatlica mora dobro tesniti, material mora biti odporen na UV ter ostale vremenske vplive.

Za module se uporabljata še flux in alkohol za iš enje mastnih madežev. Flux je ista, nekorozivna in brez halogenska teko ina. Ta teko ina se nanese na vezne trakove, da o isti kontaktno površino son nih celic. Uporablja se kot promotor spajkanja. Etanol se uporablja za iš enje modulov. Lastnosti, ki jih mora imeti so: dobra topljivost silikona in ne sme puš ati sledi. Na koncu modulom dodajo še nalepke z izmerjenimi lastnostmi, nato pa jih zapakirajo v kartonasto embalažo [Interno gradivo BISOL Group].

Postopek izdelave fotonapetostnih modulov

Za izdelavo modulov so potrebni naslednji elementi: steklo, EVA folija, son ne celice (monokristalne ali polikristalne son ne celice), za povezavo son nih celic so potrebni bakreni trakovi za elektri no povezavo, hrbtna folija (TPT) in aluminijast okvir. Na koncu dodajo še škatlico s priklju ki.

Najprej morajo posamezne son ne celice testirati, da jih lahko razvrstijo v ve razredov, glede na njihovo izhodiš no mo . To je potrebno zato, ker lastnost modula dolo a najslabša celica. Moduli morajo zato imeti im bolj podobne celice, da se zagotovi im ve ji izkoristek. Celice se nato z avtomatiziranim postopkom povežejo v serijo tako, da se spodnja stran son ne celice (obi ajno je spodnja stran pozitivna) poveže z dvema bakrenima trakovoma z zgornjo stranjo (ki je obi ajno negativna) naslednje celice. Nato se medsebojno povežeta za etek in konec vsake verige dolo enega števila serijsko povezanih celic s širšim kovinskim trakom. Temu sledi opti na kontrola spojev. Ko se to opravi, se nizi celic spojijo v matriko (60 celic). Najprej se na steklo nanese sloj EVA folije, nato pridejo celice, na katere se nanese nov sloj EVA folije in sloj TPT. Ta sendvi se nato obdela v laminatorju.

V laminatorju se pri nizkem in visokem tlaku laminat segreva do teko e faze EVA folije. Obe EVA foliji se zalepita in hermeti no zapreta son ne celice in elektri ne povezave z obeh strani. Nato se namestijo aluminijasti okvirji, ki so potrebni, da lahko module spojijo s podkonstrukcijo. Na hrbtni strani modula se namesti še škatlica s priklju ki. Na koncu se moduli temeljito pregledajo z opti no, mehansko in elektri no kontrolo [Interno gradivo BISOL Group].

Fotonapetostni modul deluje kot enosmerni generator toka, ko je izpostavljen svetlobi. Moduli se lahko uporabljajo za komercialne in privatne aplikacije ter za samostojne in omrežne sisteme. Fotonapetostni modul mora imeti im boljši izkoristek, njegove elektri ne lastnosti se morajo im manj spreminjati skozi as, modul mora biti varen in ustrezno elektri no zaš iten, biti mora odporen na zunanje vplive (vreme, udarci...), imeti mora dolgo

življenjsko dobo [Interno gradivo BISOL]. Fotonapetostni moduli, ki bodo obravnavani za predelavo so monokristalni in polikristalni silicijevi moduli. Podjetje BISOL Group proizvaja oba tipa modulov.

2.3.1.2. Razsmernik

Razsmerniki so vklju eni v OEEO direktivo. Ta direktiva dolo a, da se morajo razsmerniki zbirati lo eno od ostalih odpadkov. Razsmernik je potreben za pretvorbo enosmerne energije iz fotonapetosnih modulov (DC) v izmeni no energijo (AC), da se lahko ta energija uporabi za razli ne naprave ali pa pošlje v omrežje. Razsmernik je zelo pomemben del son ne elektrarne, saj je u inkovitost elektrarne odvisna od lastnosti razsmernika. Poleg visokega izkoristka pretvorbe iz DC v AC mora razsmernik pošiljati energijo tudi v omrežje [Gorenjske elektrarne], zato mora biti razsmernik usklajen s frekvenco in napetostjo omrežja [Affordable Solar].

2.3.1.3. Podkonstrukcija

Skupina BISOL izdeluje svojo podkonstrukcijo. Nosilni profili so narejeni iz aluminija, spojni elementi pa iz nerjave ega jekla. Imajo tudi podloge za module, ki so izdelane iz polietilena z visoko gostoto (HDPE) in se uporabljajo za nameš anje modulov na ravne strehe. Te podlage so odporne proti UV žarkom in imajo dobre mehanske lastnosti pri visokih in nizkih temperaturah [Medmrežje 10].

2.3.1.4. Napajalni kabli

Vrste kablov, ki se uporabljajo pri gradnji BISOL-ovih elektrarn, so narejeni iz bakrenih in aluminijastih žic ter prevle eni s PVC izolacijskim plaš em [Interno gradivo BISOL Group].

2.3.2. Izgradnja son ne elektrarne

Son na elektrarna s pomo jo fotonapetostnih modulov pretvarja son no energijo v elektri no. Son ne elektrarne se lahko postavijo na streho stavbe (hiše, podjetja, kozolci...,) ali pa na tla. Za gradnjo son ne elektrarne potrebujemo fotonapetostne module in elektroenergetske gradnike [BISOL Group].

2.3.2.1. Pogoji za gradnjo son ne elektrarne

Za postavitev son ne elektrarne morajo najprej poiskati primerno mesto. e je elektrarna na strehi, mora biti streha obrnjena proti jugu ter nagnjena najboljše z naklonom 30°, kritina na strehi mora biti dobro ohranjena, streha pa naj bo im manj ošen ena. Za vsako son no elektrarno je potrebno narediti presojo o požarni varnosti, stavba pa mora imeti tudi strelovodno zaš ito. Za son ne elektrarne, ki so na tleh je potrebno obvezno gradbeno dovoljenje, za son ne elektrarne na strehah pa to dovoljenje ni potrebno, razen e so ve je od 1MW [BISOL Group].

Son ne elektrarne postavljene na strehi potrebujejo nosilno konstrukcijo, ki je odporna na vse u inke sil: teža modulov, dodatna obremenitev zaradi snega, potrebno je tudi upoštevati dinami ne sile vetra. V primeru son nih elektrarn na tleh je najprej potrebno narediti betonske temelje, kamor se lahko pritrdi konstrukcija [Flegar in Škarja 2007].

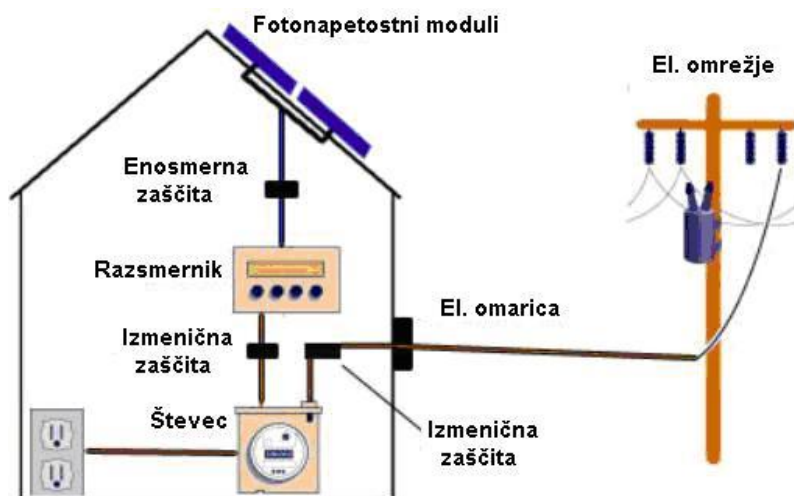
2.3.2.2. Vrste son nih elektrarn in potrebni gradniki za njihovo gradnjo

Sistemi son nih elektrarn so sestavljeni iz fotonapetostnih modulov, regulatorja, ki regulira elektriko, ki prihaja iz fotonapetostnega (PV) polja, sistema za shranjevanje elektrike – akumulatorja, razsmernika, ki pretvori DC energijo, ki pride iz modulov v AC energijo. Potrebni so tudi povezovalni kabli in nosilna konstrukcija [Reddy 2010].

Obstaja več različnih vrst son nih elektrarn. Med te spadajo samostojni sistemi, ki se uporabljajo v območjih, kjer nimajo povezave z električnim omrežjem. Takšen sistem je sestavljen samo iz modulov, regulatorja, akumulatorja, ki mora imeti dovolj veliko kapaciteto, da lahko shrani dovolj energije za čas avtonomnega delovanja. Ta sistem ima še DC/ AC razsmernik [Reddy 2010].

Druga vrsta sistema je hibridni PV sistem. Ta sistem uporablja poleg son nih modulov še drug vir energije kot na primer vetrni generator, dizel generator, majhno hidroelektrarno. Ta sistem ima podobne gradnike kot samostojni sistemi, vendar ima še nekatere dodatne elemente kot baterijski polnilec, generator (veter, dizel, hidroelektrarno) in upravljavec sistema. Takšen sistem je primeren za podeželska in odmaknjena območja [Reddy 2010].

Tretji sistem se imenuje omrežno povezan PV sistem. Ta sistem nima akumulatorja za shranjevanje, saj je priključen na električno omrežje. Proizvedeno elektriko pošilja nazaj v omrežje ali pa se delno porabi. Takšen sistem je primeren za postavitve na hišah, malih in velikih komercialnih stavbah [Reddy 2010]. Trenutno je to najpogostejša oblika son nih elektrarn.



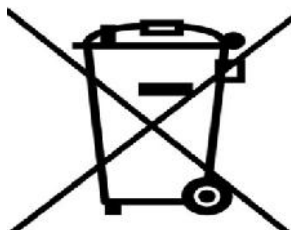
Slika 8: Omrežno povezan fotonapetostni sistem.
Vir: Medmrežje 29

3. Zakonske podlage za recikliranje fotonapetostnih modulov in drugih materialov

V okviru odstranjevanja in predelave son nih elektrarn je potrebno upoštevati naslednje zakonske akte: Direktiva 2012/19/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 4. julija 2012, o odpadni elektri ni in elektronski opremi (OEEO) (prenovitev) (UL L št. 197 z dne 24.7.2012); Direktiva 2011/65/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 8. junija 2011, o omejevanju uporabe nekaterih nevarnih snovi v elektri ni in elektronski opremi (prenovitev) (UL L št. 174 z dne 1.7.2011) (RoHS Directive); Uredba o odpadkih (Ur.l. RS, št. 103/2011) in uredba o ravnanju z odpadki (Ur.l. RS, št. 34/2008).

3.1. Direktiva 2012/19/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 4. julija 2012 o odpadni elektri ni in elektronski opremi (OEEO) (prenovitev)

»Ta direktiva določa ukrepe za varstvo okolja in zdravja ljudi, in sicer s preprečevanjem ali zmanjševanjem škodljivih vplivov nastajanja odpadne elektri ne in elektronske opreme (OEEO) in ravnanja z njimi ter zmanjševanjem celotnega vpliva uporabe virov in izboljšanjem učinkovitosti takšne uporabe v skladu s členom 1 in 4 Direktive 2008/98/ES, s čimer prispeva k trajnostnemu razvoju« [Direktiva 2012/19/EU... UL L št. 197 z dne 24.7.2012].



Slika 9: Oznaka na elektri ni in elektronski opremi, ki označuje prepoved odlaganja tovrstnih odpadkov med ostale odpadke.

Vir: Medmrežje 30

V Sloveniji opredeljuje to področje Uredba o ravnanju z odpadno elektri no in elektronsko opremo, katere cilj je zmanjšanje količine elektri ne in elektronske opreme ter vzpodbujanje njihove predelave.

Ta uredba je v skladu z Direktivo 2002/96/ES (WEEE direktiva). To direktivo in direktivo RoHS so sprejeli v zakonik Evropske unije v začetku leta 2003 [Medmrežje 12]. V letu 2012 je Evropski parlament spremenil OEEO direktivo (ang. WEEE directive), tako da vključuje tudi fotonapetostne module.

Po prenovljeni direktivi se morajo 45% produktov, ki so bili prodani 3 leta pred 2016 reciklirati v vseh državah članicah, količina se mora povečati na 65% tri leta kasneje [Janzig 2012]. Fotonapetostni moduli so po prenovljeni direktivi vključeni pod kategorijo 4 - Oprema za zabavno elektroniko in fotonapetostni paneli (ang. Consumer Equipment and Photovoltaic Panels). Po tej direktivi se bodo morali odpadni moduli zbirati skupaj z ostalimi elektronskimi odpadki. Združenje PV Cycle meni, da to ni dobro, saj se moduli razlikujejo od druge elektri ne in elektronske opreme. Članice EU morajo ta zakon uvesti 18 mesecev od trenutka, ko bo zakon za el veljati. Tako bodo imele članice dovolj časa, da dajo kakšne predloge in ideje za pripravo na ta zakon [Neidlein 2012]. Po tem zakonu bodo morali proizvajalci PV modulov zagotoviti zbiranje in ponovno vrnitev modulov, katerih življenjska doba se bo končala. Proizvajalci bodo morali navesti podjetja, ki jim bodo pomagala pri

odstranjevanju in predelavi modulov [Meyer 2012]. Proizvajalci lahko tudi sami zbirajo in predelujejo module, ali pa se pridružijo kakšnemu podjetju, ki bo namesto njih poskrbelo za te module [Beneking 2012].

Kategorije OEEO – odpadna elektri na in elektronska oprema

1. Velike gospodinjske naprave;
2. Male gospodinjske naprave;
3. Oprema za IT in telekomunikacijo;
4. Oprema za zabavno elektroniko in fotonapetostni paneli;
5. Oprema za razsvetljavo;
6. Elektri no in elektronsko orodje (razen velikega nepremi nega industrijskega orodja);
7. Igra e, oprema za prosti as in šport;
8. Medicinske naprave (razen vseh vsajenih in infektivnih proizvodov);
9. Instrumenti za spremljanje in nadzor;
10. Avtomati.

[Direktiva 2012/19/EU... UL L št. 197 z dne 24.7.2012]

Kako bo prenovljena OEEO direktiva vplivala na fotovoltai no industrijo?

Prenovljena OEEO direktiva bo vplivala na vse subjekte, ki so povezani s fotonapetostnimi moduli (proizvajalci, distributerji, predelovalci), ki bodo odgovorni za dokumentiranje, povrnitev in odstranjevanje odpadnih modulov. Vsi se bodo morali prijaviti in upoštevati njena pravila. Prijavili se bodo pri pristojnih organih (v svojih državah) ter podali podatke o tipu in koli ini produktov, ki gredo na trg. Poleg tega morajo podjetja navesti ustanove za odstranjevanje, ki bodo zadolžena za predelavo modulov [Meyer 2012]. Podjetja bodo morala tudi priložiti ban no zagotovilo, da lahko pla ajo predelavo modulov. Torej bodo morali vzpostaviti dolgoro ni sistem pla ila za recikliranje, ki bo moral biti zavarovan za primer nelikvidnosti [Janzig 2012]. Podjetja, ki se ne bodo prijavila pri svoji državi, bodo morala pla ati globo (50.000 €). Podjetja, ki se bodo prijavila, ne bodo mogla distribuirati svojih produktov, dokler ne bodo dobila uradne registracijske številke [Meyer 2012]. Po sedanjem dogovoru se bodo odpadni moduli zbirali skupaj z drugimi elektri nimi in elektronskimi odpadki. Ker bi se ti odpadki zbirali skupaj, bi se cena odstranitve pove ala, saj bi morali lo evati fotonapetostne module od drugih elektronskih naprav [Neidlein 2012]. PV Cycle spodbuja politike, da bi uvedli dolo eno kvoto za module, saj bi to spodbudilo zbiranje modulov lo eno od ostalih elektri nih produktov. Ta kvota pa bi bila odvisna od koli ine modulov, ki so namenjeni za odstranitev in ne od koli ine nameš enih modulov [Janzig 2012]. Najve ji strošek ravnanja s temi odpadki bodo najverjetneje povezani z logistiko [Neidlein 2012].

3.2. Direktiva 2011/65/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 8. junija 2011 o omejevanju uporabe nekaterih nevarnih snovi v elektri ni in elektronski opremi (prenovitev)



Slika 10: Ena od ozna b za opremo, ki je v soglasju z RoHS direktivo.
Vir: Medmrežje 31

Namen RoHS direktive je omejiti uporabo nevarnih snovi v elektri ni in elektronski opremi ter tako prispevati k varovanju zdravja ljudi in okolja, vklju no z okolju primerno predelavo in odstranitvijo OEEO [Direktiva 2011/65/EU... UL L št. 174 z dne 1.7.2011].

Elektri na in elektronska oprema ne sme vsebovati naslednjih snovi: svinca, živega srebra, kadmija, šestvalentnega kroma, polibromiranih bifenilov (PBB) in polibromiranih difenil etrov (PBDE). Ta direktiva se nanaša na vso opremo, ki je opredeljena v OEEO direktivi [Zbornica za elektronsko in elektroindustrijo 2011].

Direktiva ne zahteva kakšnih posebnih ozna b, vendar nekateri proizvajalci vseeno dajo nalepko na njihov proizvod. Nekatere ozna be so RoHS compliant, zeleni listi, kljukice in PB-Free ozna be [Medmrežje13].

V Sloveniji je sprejet Pravilnik o omejevanju uporabe dolo enih nevarnih snovi v elektri ni in elektronski opremi (Ur. l. RS, št. 87/2009). Pravilnik je v skladu z Direktivo 2002/95/ES in dolo a omejitve ter posebne pogoje uporabe nekaterih nevarnih snovi v elektri ni in elektronski opremi. Ta pravilnik je podrejeni predpis Zakona o kemikalijah (Ur. l. RS, št. 36/1999) [Pravilnik o omejevanju... Ur. l. RS, št. 87/2009].

3.3. Uredba o odpadkih

»Ta uredba dolo a pravila ravnanja za prepre evanje ali zmanjševanje škodljivih vplivov nastajanja odpadkov in ravnanja z njimi ter zmanjševanje celotnega vpliva uporabe naravnih virov in izboljšanje u inkovitosti uporabe naravnih virov z namenom varstva okolja in varovanje lovekovega zdravja v skladu z Direktivo 2008/98/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. novembra 2008 o odpadkih in razveljavitvi nekaterih direktiv« [Uredba o odpadkih Ur.l. RS, št. 103/2011].

Pri tej uredbi je dolo ena hierarhija ravnanja z odpadki:

1. Prepre evanje
2. Priprava za ponovno uporabo
3. Recikliranje
4. Drugi postopki predelave (npr. energetska predelava)
5. Odstranjevanje odpadkov

Odstopanje od tega vrstnega reda je dovoljeno samo za posamezne odpadke, za katere je to dolo eno v predpisih. Z odpadki se mora ravnati tako, da nimajo vpliva na okolje ali lovekovo zdravje [Uredba o odpadkih Ur.l. RS, št. 103/2011].

3.4. Uredba o ravnanju z odpadki

Uredba o odpadkih je povezana z Uredbo o ravnanju z odpadki. V Uredbi o ravnanju z odpadki je dolo eno ravnanje z odpadki, kako se zbirajo, prevažajo, trgujejo, posredujejo, predelajo in odstranjujejo tako, da imajo im manjši vpliv na okolje. Priloga te uredbe je tudi klasifikacijski seznam odpadkov. Uredba se uporablja tudi za odpadke iz industrij (rudarstvo, tekstil...), kmetijstva, razli nih panog (ribolov, gozdarstvo...), gradbene odpadke in odpadke, ki nastanejo pri rušenju objektov, komunalni, zdravstveni odpadki itd... [Uredba o ravnanju... Ur.l. RS, št. 34/2008].

4. Opis postopkov razgradnje odslužene son ne elektrarne, postopkov zbiranja, ponovne uporabe in recikliranja posameznih gradnikov

4.1. Zbiranje gradnikov son ne elektrarne

4.1.1. Razstavljanje elektrarne

Razstavitev elektrarne bo potekala, ko bo son na elektrarna dosegla konec svoje življenjske dobe. Življenjska doba son ne elektrarne znaša od 30 do 40 let. Deklarirana življenjska doba modulov znaša 30 let. Garancijski rok na module skupine BISOL znaša 10 let na proizvod, 12 let za doseganje 90% izhodne mo i in 25 let za doseganje 80% izhodne mo i [Medmrežje 33].

Koliko asa bi razstavitev elektrarne trajala, je seveda odvisno od velikosti elektrarne in koli ine odpadnih materialov.

4.1.2. Zbiranje gradnikov

Gradniki, ki se bodo morali zbrati in predelati so aluminijeva podkonstrukcija, spojni elementi, podloge za module, kabli in razsmernik ter fotonapetostni moduli. Ti gradniki se bodo morali zbrati lo eno in dostaviti podjetju za predelavo teh gradnikov.

Torej je odvisno od podjetja, kako se dogovori s svojimi partnerji za predelavo. Podjetje bi lahko bilo lan PV Cycle-a ali CERES-a, ki bi poskrbel za module. Potrebovali bi še dodatnega partnerja za predelavo in ta bi se ukvarjal z drugimi gradniki elektrarne.

Že med razstavljanjem elektrarne bi prišlo do zbiranja dolo enih gradnikov elektrarne. Za te gradnike bi se morali na mestu, kjer je son na elektrarna ali kje v bližini narediti zbirna mesta ali skladiš na mesta za razli ne gradnike. Ko bi se razstavila celotna elektrarna, bi se ti zabojniki s temi gradniki odpeljali k centrom za predelavo. Gradniki, kot so kabli in podkonstrukcije, bi lahko odvažali k že dolo enim zbirnim mestom za te gradnike. Za razsmernike bodo poskrbeli proizvajalci, e bo razsmernik prenehal delovati v garancijskem roku. Ko rok pote e bo za razsmernike poskrbelo podjetje BISOL Group. Podjetje bo moralo razsmernike naložiti na tovornjak in odpeljati na mesto predelave. Fotonapetostne module bi skladiš ili, dokler jih ne bi nabrali dovolj za predelavo. Module bi skladiš ili v primernih infrastrukturah, tako da se med skladiš enjem ne bi dodatno poškodovali. V nadaljevanju so opisani trije modeli zbiranja fotonapetostnih modulov.

V narejenih raziskavah leta 2000 o zbiranju in predelavi fotonapetostnih modulov so naredili tri modele za zbiranje odsluženih modulov [Larsen 2009]. Ti modeli so:

(1) Model javnih služb (utility paradigm) – Lastniki, velikih PV sistemov bi bila javna podjetja (na primer elektrodistribucijska podjetja), ki bi bila na koncu odgovorna za predelavo odsluženih modulov. Predelava modulov bi bila vklju ena k predelavi drugih javnih programov. Stroški predelave bi bili vštet k stroškom, ki jih zara unajo ta podjetja.

(2) Baterijski model (battery paradigm) – Za zbiranje in transport bi bili odgovorni proizvajalci modulov (skupaj) preko drugih podjetji. Ta podjetja bi bila odgovorna za zbiranje, združevanje in transport modulov do centrov za predelavo modulov, kjer bi predelavo

modulov opravljalo za to usposobljeno osebje. Transport bi pla ali vnaprej. Stroške predelave bi pla ali s lanarino, ki jo pla uje industrija skupnemu podjetju za zbiranje. Primer za ta model sta podjetje PV Cycle in CERES, ki skrbita za zbiranje, transport in predelavo modulov svojih lanic. Takšen model imajo baterijski proizvajalci, ki zbirajo in predelujejo skupaj.

(3) Elektronski model (electronics model) bi posnemal zbiranje proizvodov elektronskih in telekomunikacijskih produktov. Za zbiranje, združevanje in transport bi bili odgovorni proizvajalci, tokrat posamezno, s pomo jo obratno logisti nih podjetjih (reverse logistics companies). Za predelavo bi poskrbelo podjetje, ki se ne ukvarja profesionalno s predelavo modulov, vendar se ve inoma ukvarja s predelavo drugih odpadkov. Za stroške bi poskrbel proizvajalec ali pa bi del denarja od prodaje nakazali na poseben račun. [Fthenakis 2000].

S pomo jo teh modelov so se razvili zbiralni programi za fotonapetostne module, ki so:

(1) Vzporedno z modelom javne službe, kjer je zbiranje in predelava izvedljiva za velike centralizirane objekte, bi stroške prevzel proizvajalec ali pa bi jih izkoristil njegov lastnik.

(2) Vzporedno z baterijskim modelom, bi bila najboljša metoda zbiranje razpršenih modulov pri manjših objektih in potrošnikih. Pri tem bi pomagale obratne maloprodajne poti (reverse retail channels) in podjetja za obratno logistiko (reverse logistics companies). Odpadne module bi zbirala komunalna podjetja. Proizvajalci bi sodelovali samo tako, da bi tem podjetjem priskrbeli navodila za ravnanje z moduli in ne bi bili direktno vklju eni v zbiranje in predelavo modulov. Predelovalci raznovrstnih odpadkov (Multi-materials recyclers), ki se ukvarjajo s predelavo elektronskih in telekomunikacijskih oprem, bi bili lahko primerni za predelavo fotonapetostnih modulov v prihodnosti, saj imajo razli ne izkušnje, primerne za module [Fthenakis 2000].

Ti modeli so bili zasnovani v Združenih državah Amerike in se tam raziskujejo [Larsen 2009].

Prvi model je zdaj neuporaben, saj so moduli vklju eni v OEEO direktivo, kjer morajo vsi poskrbeti za pravilno odstranjevanje modulov. V prvem modelu (model javnih služb), bi module predelovala samo elektrodistribucijska podjetja, ki so lastniki velikih PV sistemov. Drugi in tretji model sta primerna tudi zdaj. Zbiranje materialov je seveda odvisno od podjetja, ki ho e elektrarno razstaviti. Pri predelavi son ne elektrarne je pomembna koli ina odpadnih gradnikov, koli ina in vrsta modulov in oddaljenost centra za predelavo (tudi to je pomembno, saj bližje ko so centri za predelavo, manj CO₂ se ustvari). Pomembno je tudi, kakšna je vrsta modulov, saj se procesi predelave razlikujejo za razli ne vrste modulov.

Najve ja ovira za predelavo modulov je pomanjkanje primerne infrastrukture [Weadock 2011 v Fthenakis 2000]. Za zdaj ni veliko problemov, saj še ni veliko odpadnih modulov, vendar se bo njihovo število pove evalo, zato bi morali že zdaj na rtovati primerne objekte za skladiš enje in predelavo modulov.

Objekti za predelavo modulov bi bili zasnovani kot montažna linija (assembly line type setup), ki bi zajemala toplotni proces predelave, nato bi bila linija za iš enje celic, za tem pa linija za proizvodnjo novih celic iz o iš enih rezin [Weadock 2011 v Bombach, Wambach, Müller in Röver 2005]. Steklo in kovine pridobljene iz modulov bi lahko predelali v teh objektih ali pa bi jih poslali v primerne objekte, ki bodo bolje opremljeni za predelavo teh materialov [Weadock 2011 v Frisson, Lieten, Bruton, idr... 2000].

4.2. Predelava gradnikov elektrarne

4.2.1. Aluminij

Moduli so sestavljeni iz aluminijastega okvirja in aluminijaste podkostrukcije. Aluminij je najbolj pogosta kovina v zemljini skorji, vendar se v naravi ne pojavlja samostojno [Thomas Jefferson... The Element Aluminium]. Pridobiva se iz različnih drugih mineralov, najpomembnejši je boksit [Medmrežje 11].

Aluminij uvršamo med bolj pogoste reciklirane materiale (poleg papirja in jekla) [Bureau of International Recycling. Non-Ferrous Metals]. Za recikliranje aluminija porabijo samo 5% energije, ki jo potrebujejo za proizvodnjo aluminija iz boksita [Stewart].

Najprej aluminij zberejo loeno od ostalih materialov. Nato ga odpeljejo na center za predelavo, kjer ga oistijo, razrežejo in stalijo. Staljen aluminij nato oblikujejo v ingote, lahko pa se ti ingoti spremenijo v plošče (flat sheets). Sestava aluminija se po recikliranju ne spremeni, zato ga lahko uporabijo za isti namen, kot je bil na začetku [Bureau of International Recycling. Non-Ferrous Metals].

4.2.2. Nerjaveče jeklo - spojni elementi

Iz nerjavečega jekla so spojni elementi ter nekatere podkonstrukcije. Nerjaveče jeklo je železna zlitina in vsebuje nikelj in krom, ki ga varujeta pred korozijo in rjo. Nerjaveče jeklo je zelo trden material in odporen na visoke temperature, zato je ta material primeren za težke okoljske in kemične pogoje. Povpraševanje po nerjavečem jeklu se je v zadnjih letih močno povečalo, zato je njegova predelava pomembna.

Nerjaveče jeklo lahko vsebuje tudi različne druge elemente kot molibden, titan, volfram in vanadij. Ti materiali so redki. Nahajajo se samo na nekaterih delih sveta. Njihovo izkopavanje je drago in težko. Recikliranje je potrebno zato, da se te zaloge ne izpraznijo.

Najprej nerjaveče jeklo zbirajo loeno, saj nima feromagnetnih lastnosti ter se tako ne more loiti od drugih materialov. Nato ga balirajo v kocke. Temu sledi rezanje in ločevanje železovih kovin z magnetnim bobnom. Nerjaveče jeklo nato ohladijo in oblikujejo v ingote ali v plošče. Tudi nerjaveče jeklo je mogoče reciklirati tako kot aluminij, ker se njegova sestava med procesom ne spremeni [Bureau of International Recycling, Stainless Steel and...].

4.2.3. Plastika (polietilen in izolacijski plašč za kable PVC)

Plastike so organski polimerni materiali narejeni večinoma iz nafte [Recycling Plastics]. Obstaja več različnih vrst, vendar sta tu pomembni samo dve vrsti: to je polietilen in PVC. Različne vrste polimerov označujejo s trikotnikom in številko v sredini in jih nato na ta način ločujejo.



Slika 11: Ozna be za polimere.
Vir: Medmrežje 32

Polietilen (PE) je najbolj uporabljena vrsta polimera. Obstaja ve vrst PE: polietilen tereftalat (PET/PETE); polietilen visoke gostote (HDPE); polietilen nizke gostote (LDPE) [Omaplast, O materialih].

Za obdelavo polimerov ob koncu njihovega življenjskega cikla se uporabljajo trije razli ni pristopi. Najprej se lahko plastika mehani no obdela. Pri tem postopku plastiko zmeljejo v zrna. Nato pa zrna o istijo, sortirajo in razdelijo v razrede. Pri tem procesu ostane kemi na struktura skoraj nespremenjena. Mehani ni proces je smiseln za velike koli ine plastike dobre kvalitete, ki niso utrpele kakšne degradacije v asu obdelave. Uporablja se za plastike iz iste vrste, ki so se zbrale s primernimi metodami. Ta metoda bi bila primerna za predelavo podloge za module narejene iz HDPE.

Obdelava plastike za surovino (Feedstock recycling) se uporablja, ko je skupaj zmešano veliko razli nih plastik ali pa je plastika kontaminirana s im drugim. Ta proces razgradi plastiko s kemi nim ali termi nim procesom. Za ta postopek uporabljajo razli ne procese. Ti procesi so piroliza, uplinjanje, plavž (blast furnace), talilnica... [Plastics Europe].

Tretji pristop uporabe plastike je uporaba za energetsko izrabo. Pri tem pristopu plastiko sežgejo za proizvodnjo toplote. Tudi ta pristop je primeren za mešane ali kontaminirane odpadke plastike [Plastics Europe].

4.2.4. Napajalni kabli (aluminijasti in bakreni s PVC izolacijskim plaš em)

Za predelavo napajalnih kablov obstajajo razli ne metode predelave. Pri nekaterih postopkih se kabli najprej zmeljejo, nato se lo ita kovina in izolacijski material. Druga metoda se imenuje »rezanje« (chopping). Pri tej metodi se kabli najprej narežejo na razli ne dolžine in velikosti, nato se odstrani izolacijski material. [Bluegrass E-Cycle, Wire & Cable Recycling]. Pri tretji metodi pa se najprej odstrani izolacijski material od kovine, nato sledi drobljenje in na koncu lo evanje (strip, shred and separate) [Universal Recycling, Cable Recycling].

Lahko pa se tudi najprej odstrani izolacijski material in se bakrene ali aluminijaste žice in izolacija predelajo lo eno [Copper Wire Recycling 2008]. Torej je postopek predelave napajalnih kablov odvisen od materiala, iz katerega je narejen izolacijski material in od posameznega podjetja, ki te materiale predeluje.

4.2.4.1. PVC (brez žic)

PVC je polimer narejen iz nafte ter klora. Zato se pri njegovi izdelavi uporabi manj nafte kot pa pri ostalih polimerih [Recoviny]. Ima odli no kemi no odpornost in elektri no izolativnost. Uporablja se pri izolaciji napajalnih kablov [Omaplast. O materialih]. PVC se uporablja za materiale, ki imajo dolgo življenjsko dobo in je tudi dober material za recikliranje. Za recikliranje PVC lahko uporabimo dva na ina: mehansko recikliranje in recikliranje za surovino. Ta postopka sem predstavila pri predelavi polietilena. PVC material bi morali najprej zbrati, nato pa ga razvrstiti in o istiti [Recoviny]. e se s PVC-jem zbere druga plastika, se lahko plastike lo ijo z razli nimi postopki, kot naprimer: NIR sortiranje. To je sistem, ki natan no zazna plastiko z zrni do 4 mm in povrne nazaj material za recikliranje [Medmrežje 34].

4.2.4.2. Baker

Ima zelo visoko termično in električno prevodnost, zato se uporablja za napajalne kable in za električno povezavo med sonnimi celicami. Tako kot aluminij se lahko baker ponovno obdelava, saj se njegova sestava ne spremeni. Postopek recikliranja bakra je enak postopku recikliranja aluminija, ki je naveden v podpoglavju 4.2.1. Za recikliranje bakra porabijo 85% manj energije od njegove primarne produkcije [Bureau of International Recycling, Non-Ferrous Metals].

4.2.5. Razsmernik

Ker je razsmernik vključen v OEEO direktivo, bodo morali za njega poskrbeti njegovi proizvajalci ali podjetja, ki se ukvarjajo z zbiranjem teh odpadkov v imenu proizvajalcev teh produktov. Proizvajalci bodo morali izdati podatke o produktih, ki so na trgu v enem letu, da bodo lahko podjetja za obdelavo teh odpadkov vedela, katere materiale in komponente ima ta produkt, ter lokacije nevarnih sestavin [Directive 2002/96/EC ...].

BISOL Group uporablja za svoje sonne elektrarne razsmernike podjetja SMA. Razsmerniki podjetja SMA imajo garancijski rok 5 let. Če v tem času razsmerniki prenehajo delovati, bi za njih poskrbelo podjetje SMA. Ko rok poteče, bo moral za razsmernike poskrbeti BISOL Group [Interno gradivo BISOL Group].

4.3. Podjetja za recikliranje fotonapetostnih modulov: PV Cycle in CERES

Zaradi povečane industrijske izdelave PV modulov je potrebno narediti programe in modele za recikliranje modulov, preden se konča njihova življenjska doba. Nekatera podjetja so že ustvarila svoj program za predelavo modulov kot First Solar v Združenih državah Amerike, ki reciklira svoje tankoplastne module in SolarWorld AG, ki reciklira silicij iz PV modulov [Beneking 2012]. Ustanovljeni sta bili dve podjetji, ki namesto proizvajalcev organizirata potek zbiranja in odvoz odpadnih fotonapetostnih modulov. Ti dve podjetji sta PV Cycles in CERES.

4.3.1. PV Cycle

PV Cycle je organizacija, ki so jo ustanovili PV proizvajalci leta 2007 v Bruslju. Je neprofitna organizacija (dodatne prihodke podjetje uporabi za razvoj podjetja), katere cilj je ustvariti mrežo za odvzem in predelavo fotonapetostnih modulov ob koncu njihove življenjske dobe [Gómez 2012]. Lani PV Cycle so proizvajalci modulov, ki plačujejo lastnarino podjetju. Kupci modulov teh proizvajalcev (velika podjetja ali posamezniki) lahko oddajo odpadne module brezplačno, po njihovi demontaži. Njihov geografski obseg vključuje EU in EFTA države. Nametujejo, da bodo zbrali 80% odpadnih modulov v Evropi, njihova stopnja predelave bi dosegla 80% do leta 2015 in 85% do leta 2020. PV Cycle nudi dva načina zbiranja modulov: program za zbiranje manjših količin odpadkov in program za zbiranje večjih količin odpadkov. Za manjših količin odpadkov (< 30 – 40 modulov) se moduli zbirajo na določeni zbirnih mestih. Ko bi se nabralo dovolj modulov, bi jih tovornjak odpeljal na predelavo. Pri večjih količinah odpadnih modulov (> 30 – 40 modulov) pa lastniki teh velikih elektrarn pokličejo PV Cycle, ki pride na lokacijo po module in jih odpelje na predelavo. PV Cycle je zadolžen samo za zbiranje in odvoz modulov do centrov za predelavo, s katerimi je sklenil partnerstvo [PV Cycle, PV Cycle System]. Pri PV Cycle uporabljajo BAT tehnologijo (best available techniques) za bolj učinkovit sistem odvzema in predelave fotonapetostnih modulov. BAT proces PV Cycle je sestavljen iz naslednjih korakov: najprej odstranijo aluminijev okvir in škatlico s priključki. Module nato zdrobijo v mlinu. Nato se ločijo različni

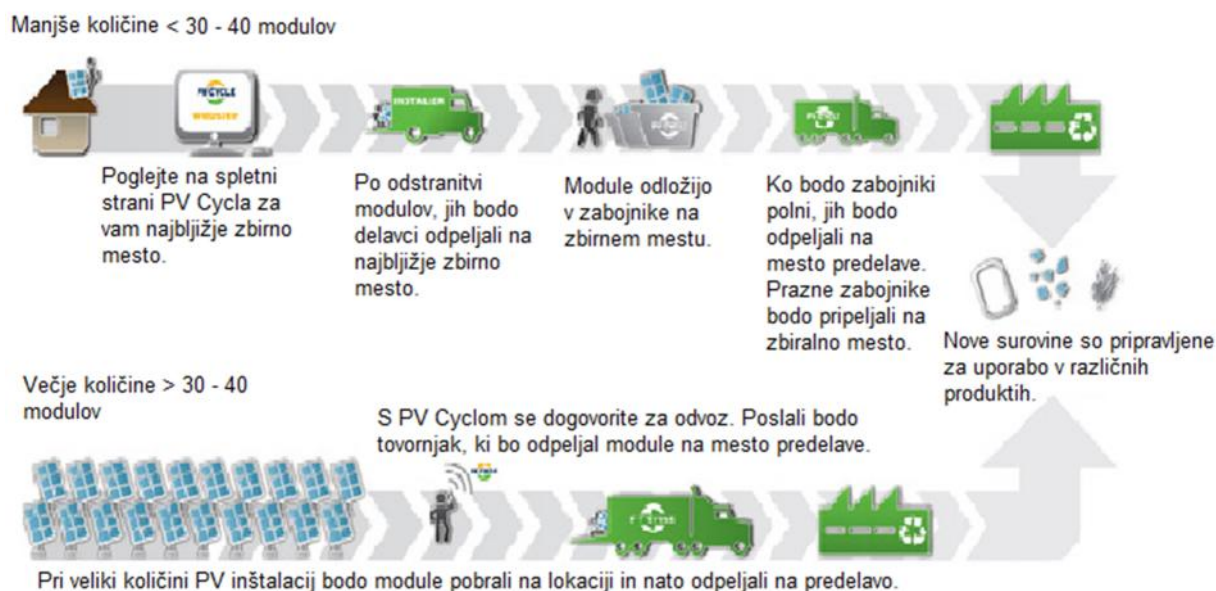
materiali (steklo, plastika in kovina). Materiali se predelajo za izdelavo različnih produktov. Ta metoda je podobna procesu, ki ga uporabljajo predelovalci ravnih stekel [Gandert 2011]. Imajo tudi individualne sheme (Individual Schemes) za posebne tipe PV modulov različnih proizvajalcev, za katere so metode zbiranja in predelave posebej prirejene [Kuehnle 2012].

PV Cycle je nasprotoval vključitvi fotonapetostnih modulov v OEEO direktivo, saj bi to pomenilo dodatne stroške za druga podjetja, ki niso nameravala predelati svojih odpadnih modulov [Janzig 2012].

4.3.2. CERES

CERES je neprofitna organizacija (denar porabi za svoje cilje), ki je bila ustanovljena leta 2011 v Franciji. Ustanovili so jo profesionalci s področja fotovoltaike. Tako kot PV Cycle imajo cilj narediti program za uspešen odzem in predelavo fotonapetostnih modulov. CERES-ov prevzem fotonapetostnih modulov obsega Evropsko unijo in občasno tudi sosednje države. CERES veliko investira v razvoj novih tehnologij za predelavo. Želijo predelati 85% zbranega materiala, do leta 2016 pa 90% zbranega materiala. Da bi zmanjšali ogljični odtis (carbon footprint) pri prevozu odpadkov, so uredili sistem zbirnih mest čim bližje mestu za predelavo zbranih modulov. Ta sistem bo ustvaril dodatna delovna mesta in zmanjšal potrebe po uvozu materialov, saj se bodo lahko materiali dobili lokalno. Imajo podobno shemo za zbiranje kot PV Cycle. Za količine manjše od 50 modulov imajo zbirna mesta, za količine večje od 50 modulov pride tovorno vozilo [Med mreže 14].

Član podjetja CERES je tudi skupina BISOL Group. Podjetje CERES je že odpeljalo nekatere BISOL-ove module. Te module je bilo potrebno pravilno zapakirati, da so jih naložili čim več na tovornjak.



Slika 12: Shema zbiranja za male (zgoraj) in velike količine (spodaj) modulov v organizaciji PV Cycle.

Vir: PV Cycle

Podjetji PV Cycle in CERES skrbita samo za zbiranje in odvoz odpadnih modulov. CERES ima nadalje sklenjene dogovore s partnerji za predelavo, ki module odpeljejo. Za demontiranje elektrarne in stroške demontaže je odgovoren njihov monter/inštalater, graditelj

elektrarne, za predelavo je odgovorno podjetje s katerim je PV Cycle ali CERES sklenil pogodbo. PV Cycle in CERES se financirata iz lanarin. CERES pa se financira tudi s prodajo pridobljenih materialov pri predelavi modulov.

4.4. Predelava modulov

Odpadni elektronski produkti se ne obravnavajo kot odpadki ampak kot uporaben produkt ali sekundarna surovina. Uporaben produkt se predela na naslednje tri načine:

1. Uporaben produkt se obnovi in na novo proda;
2. Produkt se razstavi za rezervne dele, ali
3. Produkt se zdrobi, da se pridobijo materiali.

Produkti, ki se obnovijo ali razstavijo ostanejo produkti. Materiali ali deli produktov, ki se morajo predelati se obravnavajo kot odpadki.

Donosnost iz teh vrst materialov izkazujejo uporabni deli razstavljenih odpadkov ali drugih dragocenih materialov [Fthenakis 2000].

Preden so bili moduli vključeni v OEEO direktivo so se obravnavali kot industrijski odpadki, pri katerih sta se predelala samo aluminij in steklo, celice pa ne [Weadock 2011 v Bombach idr. 2005].

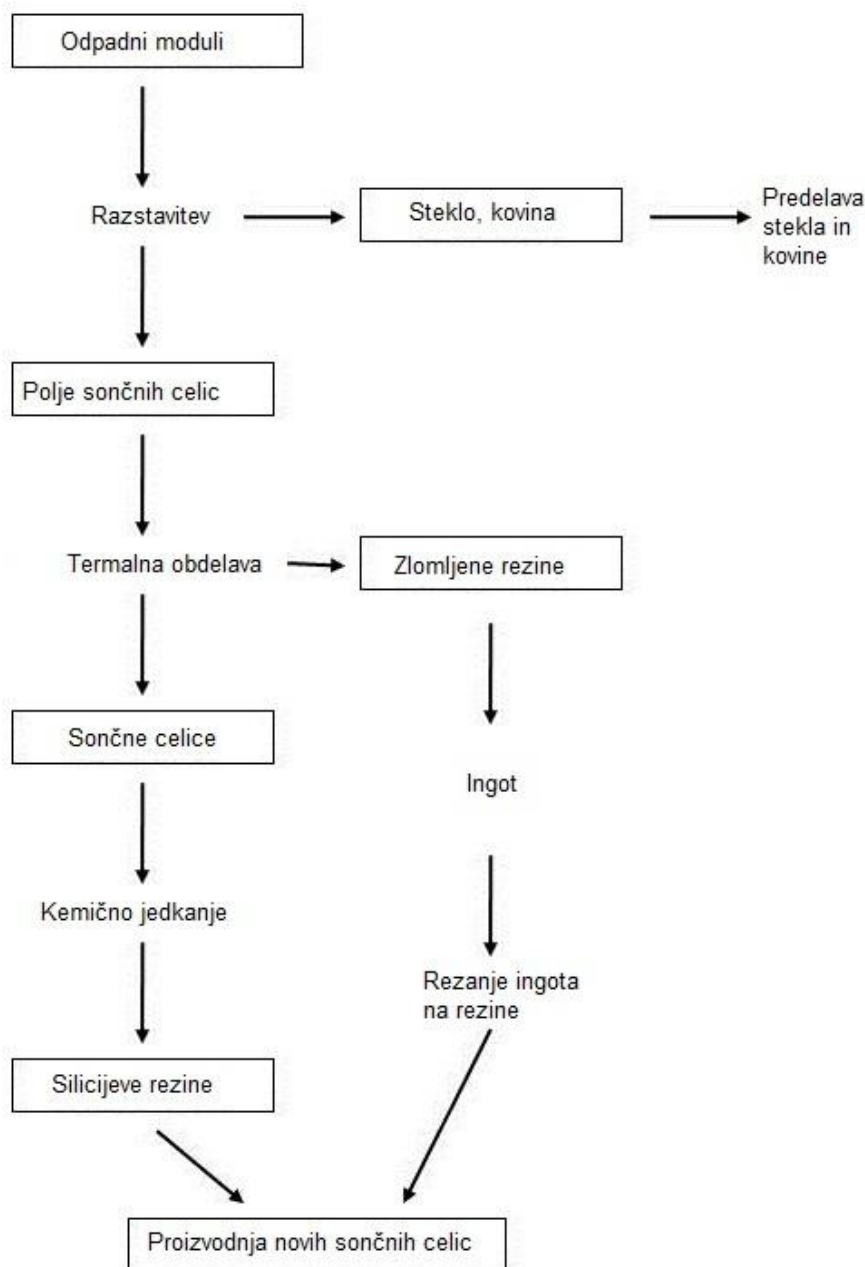
4.4.1. Postopki obdelave fotonapetostnih modulov iz mono in polikristalnega silicija

Koli inški del fotonapetostnih sistemov predstavljajo fotonapetostni moduli. Zaradi manjše količine odpadnih modulov za zdaj recikliranje ni ekonomsko izvedljivo, saj se stroški recikliranja ne bi povrnili [BIO Intelligence Service, 2011]. Vendar se že pripravljajo procesi in postopki za predelavo modulov, ki bodo ekonomsko opravičljivi.

Postopek predelave modulov je sestavljen iz dveh faz [Radziemska idr. 2010]. Pri prvi fazi se najprej odstranita aluminijasti okvir in škatlica s priključki. Ta komponenta se nato posamezno obdelata. Po odstranitvi teh dveh komponentov se modul obdelava s posebnim postopkom, da se ločijo različni materiali (steklo in sonne celice) [Radziemska idr. 2010]. Te materiale nato ločeno obdelajo. Pri tej fazi lahko uporabijo različne postopke za predelavo fotonapetostnih modulov. Med te štejejo fizikalno/mehansko obdelavo, kemično obdelavo, toplotno obdelavo in odstranjevanje, ki vključuje predelavo v enak produkt ali predelavo v drug produkt, odlaganje na odlagališče, ... [BIO Intelligence Service 2011].

Največ raziskav so naredili za toplotni postopek obdelave modulov. Naredili so tudi poskusno recikliranje modulov z organskim topilom. Do zdaj sta samo dve metodi obdelave modulov preizkušeni in uporabljeni: prva je tehnika podjetja Deutsche Solar za kristalne silicijeve module, ki uporablja toplotni postopek za ločevanje in kemični postopek za sonne celice. Druga je tehnika podjetja First Solar za tankoplastne CdTe module.

Druga faza predelave je predelava sonnih celic s kemičnim čistjenjem celic. Na ta način odstranijo različne plasti (zgornje in spodnje metalizacije, protiodsevni premaz in *p-n* spoj) na sonnih celicah [Radziemska idr. 2010].



Slika 13: Potek predelave odpadnega fotonapetostnega modula.

Vir: Weadock, 2011

Najprej bo predstavljena prva faza predelave modulov na podlagi že narejenih raziskav.

Postopek predelave modulov je podoben obravnavi zaslonov s tekoimi kristali (LCD-jev ang. Liquid Cristal Display), ki se uporablja pri računalniških zaslonih in televizijskih sprejemnikih, pri ogledalih, vetrobranskih steklih in drugih laminiranih steklih. Ker je v sestavi modula velika količina stekla, se možnosti predelave modulov vrtijo okoli predelave stekla. Zaradi tega želijo proizvajalci modulov uporabiti lažjo metodo recikliranja. Ena takšnih metod je »float glass recycling«, ki proizvede večjo kvaliteto stekla, zato se lahko uporabi v različnih sektorjih. Druga metoda je »fibre glass recycling«, ki proizvede manjšo kvaliteto stekla. To steklo se lahko uporabi pri izolaciji ali konstrukciji, vendar pri takšni metodi recikliranja dobijo samo steklo, drugih materialov pa ne [BIO Intelligence Service 2011].

V nadaljevanju so predstavljeni na ini predelave za kristalne silicijeve module.

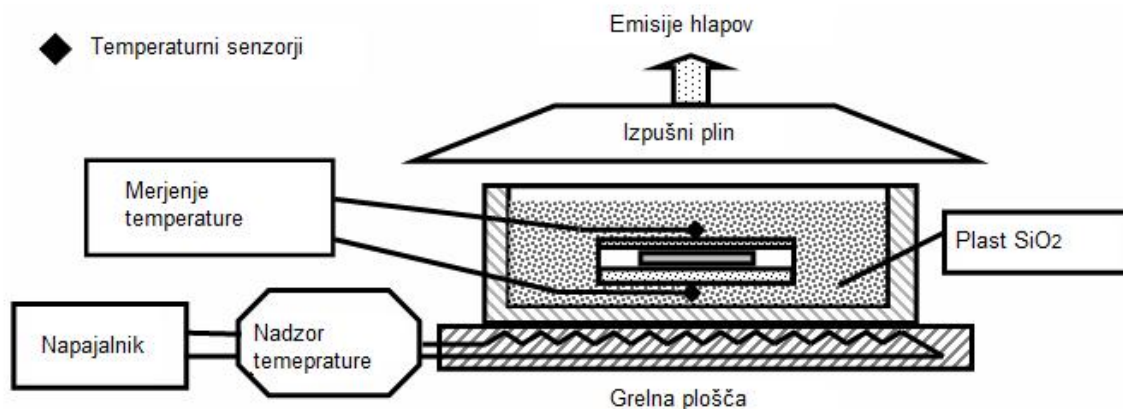
4.4.1.1. Toplotni postopek razslojevanja modulov

Frisson idr. (2000) so raziskovali razli ne postopke za predelavo modulov. Ugotovili so, da sta piroliza v reaktorju s fluidiziranim slojem in piroliza v tra ni pe i primerni metodi za obdelavo modulov ob koncu njihovega življenjskega kroga. S tema metodama se lahko predelajo moduli tako s celimi kot z zlomljenimi celicami.

Piroliza v reaktorju s fluidiziranim slojem (fluidized bed reactor) je najprimernejša metoda za industrijsko recikliranje. Pri tej metodi se reaktor napolni s peskom (SiO_2), ki ga nato segrejejo. Ta pesek dobi lastnosti teko ine zaradi visoke temperature in nizke velikosti delcev. Module položijo v košaro, ki jo nato položijo v vro pesek. Optimalni pogoj za ta proces je 45 minut pri temperaturi okoli 450°C .

Pridobljene son ne celice iz tega postopka imajo zmanjšano u inkovitost, saj so bile izpostavljene visokim temperaturam [Frisson idr. 2000]. Zato morajo celice o istiti. Zlomljene celice morajo tudi jedkati, vendar jih na koncu uporabijo kot surovino (feedstock) za proizvodnjo novih silicijevih rezin [Weadock 2011 v Bombach idr. 2005]. Jedkanje bom podrobneje opisala pri kemi ni obdelavi son nih celic.

Piroliza v tra ni pe i (pyrolysis in a conveyer belt furnace) je še eden toplotni postopek, pri katerem EVA folija ali zgori v zra ni atmosferi ali razpade v dušikovi atmosferi pri temperaturi od 450 do 480°C . Celice izpostavljene zra ni atmosferi imajo nižji mehanski izkoristek. To se lahko zgodi zaradi povišane temperature na površini silicija, saj nastanejo eksotermne reakcije med zrakom in folijo. Zaradi tega lahko nastanejo razpoke v celici. Temu se izognejo tako, da zamenjajo zra no atmosfero z dušikom. Ta tehnika je primerna za industrijsko recikliranje [Frisson idr. 2000].



Slika 14: Toplotni postopek predelave modula.
Vir: Radziemska, Ostrowski, Cenia, Sawczak 2010

4.4.1.2. Kemi ni postopek razslojevanja modulov

Razli ne materiale modulov lahko lo ujejo tudi s kemi nim procesom. Pri raziskavi Radziemska idr. (2010) so naredili primerjavo med kemi nim in toplotnim postopkom razslojevanja fotonapetostnih modulov s silicijevim celicami. Pri kemi ni raziskavi so uporabili kemikalijo tetrahidrofuran (tetrahydrofurane - THF). Razli ne sloje so uspešno lo ili, vendar

so ugotovili, da za ta postopek porabijo veliko asa in velike koli ine kemikalij. Zato so raziskali še toplotni postopek.

Modul so potopili v SiO₂ (pesek) in postopoma višali temperaturo. S to metodo so skrajšali as obdelave, pa tudi odpadnih kemikalij ni bilo. Slabost te metode je, da nastane plin pri razgradnji EVA folije.

Zaklju ili so s tem, da je toplotni postopek boljši za predelavo komercialnih fotonapetostnih modulov [Radziemska idr. 2010].

4.4.1.3. Razslojevanje modulov z organskim topilom

Doi T. idr. (2001) so naredili raziskavo za razslojevanje modulov z organskim topilom. Son ne celice so hoteli pridobiti s pomo jo organskega topila pri temperaturi pod 200°C. Težava pri tem procesu je bila ta, da se je EVA folija pove ala/napihnila, kar je povzro ilo lomljenje celic. Uporabili so ve razli nih topil in razli ne pogoje. Pogoja, pri katerem so preizkusili razli ne raztopine sta: pred cross-linking in za cross-linking. Cross-linking se uporablja kot predhodna obdelava modula, kjer se modul obdela v vakuumski vre i pri temperaturi okoli 150°C za 10 minut.

Najbolj u inkovito topilo je trikloroetilen (trichloroethylene - C₂HCl₃), zato so nadaljevali raziskavo s tem topilom. Naredili so model modula z eno celico. Uporabili so cross-linking obdelavo in modul nato dali v trikloroetilen pri sobni temperaturi za nekaj dni. Pri teh pogojih se je celica zlomila zaradi pove ave EVA folije.

Za prepre evanje pove anja EVA folije so uporabili mehanski pritisk. Eksperiment so opravili pod tremi pogoji: pri sobni temperaturi z enojnim steklom se je celica zlomila po 3-7 dneh, pri 80°C z enojnim steklom so lahko dobili nezlomljeno celico po 7-10 dneh, pri 80°C z dvojn timer steklom se je celica tudi zlomila po 3-7 dneh.

Naredili so še raziskavo z o-diklorobenzenovo (o-dichlorobenzene) raztopino. Pogoji za to raztopino so bili 120°C za en teden brez mehanskega pritiska. Pri tej raztopini so dobili druga ne rezultate kot pri trikloroetilen. Celice so bile nepoškodovane. V tem primeru so ugotovili, da je stopnja raztapljanja ve ja od stopnje naraš anja EVA folije.

S to raziskavo so uspeli dobiti module z eno celico iz organske raztopine [Doi idr. 2001]. e bi lahko razvili to metodo za module prave velikosti in za ve jo koli ino modulov, bi dobili alternativno metodo za predelavo modulov.

Druga faza pri predelavi modulov je obdelava son nih celic. Za to fazo se najve krat uporabi kemi ni proces odstranjevanja razli nih plasti.

4.4.2. Kemi na obdelava son nih celic

S kemi no obdelavo, jedkanjem odstranijo razli ne plasti; zgornje in spodnje metalizacije, protiodsevni premaz in *p-n* spoj. Jedkanje se opravlja dokler ne odstranijo zelene plasti. Pri tem je pomembno, da ne pride do izgube prevelikih koli in silicija. Rezina ne sme imeti premajhne debeline. Za kemi no obdelavo lahko uporabijo razli ne raztopine. V raziskavah Radziemske idr. (2008) so son no celico najprej potopili v raztopino KOH (kalijev hidroksid), da so odstranili metalizirano površino in elektri ne kontakte. To so opravili pri temperaturi 80°C. Za protiodsevni premaz so uporabili mešanico HF:C₂H₄O₂:HNO₃. Po jedkanju so rezine sprali z destilirano vodo. Za raztopino za jedkanje lahko uporabijo razli ne

raztopine. Pri tej raziskavi so hoteli dobiti univerzalno raztopino za obdelavo celic, vendar so z raziskavo ugotovili, da je potrebno spreminjati parametre jedkanja za različne vrste celic [Radziemska 2008].

Pri kemi nemu procesu je potrebno poiskati primerne raztopine, primerno koncentracijo raztopine in primerno temperaturo za proces. Raziskali so tudi uinkovitost obdelave son nih celic z lasersko tehniko. Ugotovili so, da je za to fazo bolj primeren kemi ni proces, saj je laserska tehnika dražja in manj uinkovita [Radziemska idr. 2010].

Frisson idr. (2000) so tudi raziskali postopek kemi ne obdelave son nih celic. Pridobljene celice so najprej obdelali s 15% HF (vodikov fluorid), sledila je obdelava s $H_2SO_4:H_2O_2$ pri temperaturi 80°C. Na koncu je sledila obdelava s 40% HNO_3 pri temperaturi 80°C. Preden so za elije izdelavo nove celice, so morali rezino še obdelati z 20% NaOH pri temperaturi 85°C. Za polikristalne rezine je 20% NaOH neprimerna. Ta problem so rešili z optimiziranim izotropnim teksturnim postopkom (isotropic texturing process). Izkoristek predelanih celic je skoraj enak novim celicam [Frisson 2000]. Predelane celice lahko naredijo po istem postopku kot nove celice [Weadock 2011 v Klugmann-Radziemska idr. 2010].

Naredili so primerjavo, v kateri so ugotovili, da so že reciklirane son ne celice podobno ali enako uinkovite kot nedavno narejene son ne celice. Monokristalne celice so imele uinkovitost od 15% do 16,4%, za polikristalne celice je uinkovitost od 12,7% do 15,9%. Deutsche Solar AG je recikliral module, ki so bili nameš eni leta 1983 v Nem iji. Uinkovitost teh celic se je pove ala z 8% na 14% zaradi izboljšane tehnologije obdelave celic. Na podlagi teh podatkov se zdi predelava modulov ob koncu njihove življenjske dobe izvedljiva [Weadock 2011 v Frisson idr. 2000, Klugmann-Radziemska idr. 2010, Müller idr. 2006].

5. Vplivi fotonapetostnih modulov na okolje

Predelava odpadkov ima veliko prednosti. Nekatere prednosti predelave odpadkov so: varčevanje z energijo in prostorom na odlagališčih, predelava varuje okolje, zmanjšajo se izpusti CO₂, zaradi predelave se ohranjajo naravne dobrine,... Pri predelavi lahko nastajajo tudi določeni negativni vplivi: onesnaževanje okolja na območjih odlagališč, ki niso primerno urejena; različne vrste odpadkov morajo ločevati, kar pomeni več tovornjakov za njihov odvoz in s tem porabo fosilnih goriv; določeni vmesni in končni produkti predelave lahko predstavljajo strupene snovi, dodatno odpadno vodo, pline itd. [Nicks 2012].

Kaj pa predelava modulov? V nadaljevanju so opisani nekateri vplivi, ki jih lahko imajo moduli na okolje, ki jih ne ravna pravilno. Vplivajo tudi na njihovo predelavo.

Uporaba fotonapetostnih sistemov je dober način ohranjanja nekaterih neobnovljivih virov energentov (nafta, premog) ter varovanja narave pred škodljivimi vplivi, kot je izpust CO₂. Prednost fotonapetostnih sistemov je ta, da se lahko uporabljajo povsod, v vsakem delovanju nimajo negativnih vplivov na okolje ali na zdravje ljudi (brez emisij, tiha proizvodnja energije), ne potrebujejo veliko vzdrževanja in so dobra investicija,...[BISOL Group]. Seveda pa ima tudi ta proizvodnja energije svoje slabosti, saj fotonapetostni sistem deluje v oblačnem vremenu z manjšo učinkovitostjo, ponovno elektrarna ne deluje, za takšen sistem je potrebno imeti prostor [Whitburn], zlasti v področjih, kjer je manj sonca (manjša obsevanost), saj je količina energije, ki jo proizvede sončna elektrarna odvisna od intenzitete svetlobe [BIO Intelligence Service 2011]. Čeprav se je v zadnjih letih cena znižala, je cena še vedno relativno visoka [Whitburn]. Nekatere slabosti uporabe fotonapetostnih sistemov se pokažejo, ko se konča njihova življenjska doba.

Če bi z odpadnimi moduli ravnali nepravilno, bi prišlo do naslednjih treh problemov:

- Uhajanje svinca in kadmija – fotonapetostni moduli zlasti starejše vrste modulov vsebujejo majhne količine svinca (svinec vsebujejo kristalni silicijevi moduli - c-Si) in majhne količine kadmija (kadmij vsebujejo CdTe tankoplastni moduli). Te snovi so v moduli dobro zaprte in ne predstavljajo okoljskih težav. Če z moduli ravnajo nepravilno, se lahko te snovi sprostito v okolje. Uhajanje svinca in kadmija je povezano s pH. Pri nizkem pH se namreč topnost kovin poveča. Če je modul izpostavljen nižjemu pH (npr. kisli dež), lahko pride do uhajanja svinca. Svinec lahko vpliva na živni sistem, delovanje ledvic, vpliva na razmnoževanje... Pri uhajanju kadmija je podoben problem. Če je modul izpostavljen nižjemu pH, lahko pride do uhajanja kadmija, ki lahko povzroči težave srca in ožilja.
- Izguba redkih surovin (srebra (c-Si), indija, galija, germanija (a-Si, CIS/CIGS)) – ti materiali zavzemajo zelo majhen delež v fotonapetostnih moduli (samo 1%). Njihova izguba bi bila vseeno zelo draga, saj bi se zaradi manjšanja količin teh materialov povišala njihova cena.
- Izguba konvencionalnih materialov, kot sta aluminija in steklo – ta dva materiala predstavljata večino sestave modulov. Recikliranje odpadkov iz aluminija in stekla bi lahko močno zmanjšalo vpliv odpadkov na okolje [BIO Intelligence Service, 2011].

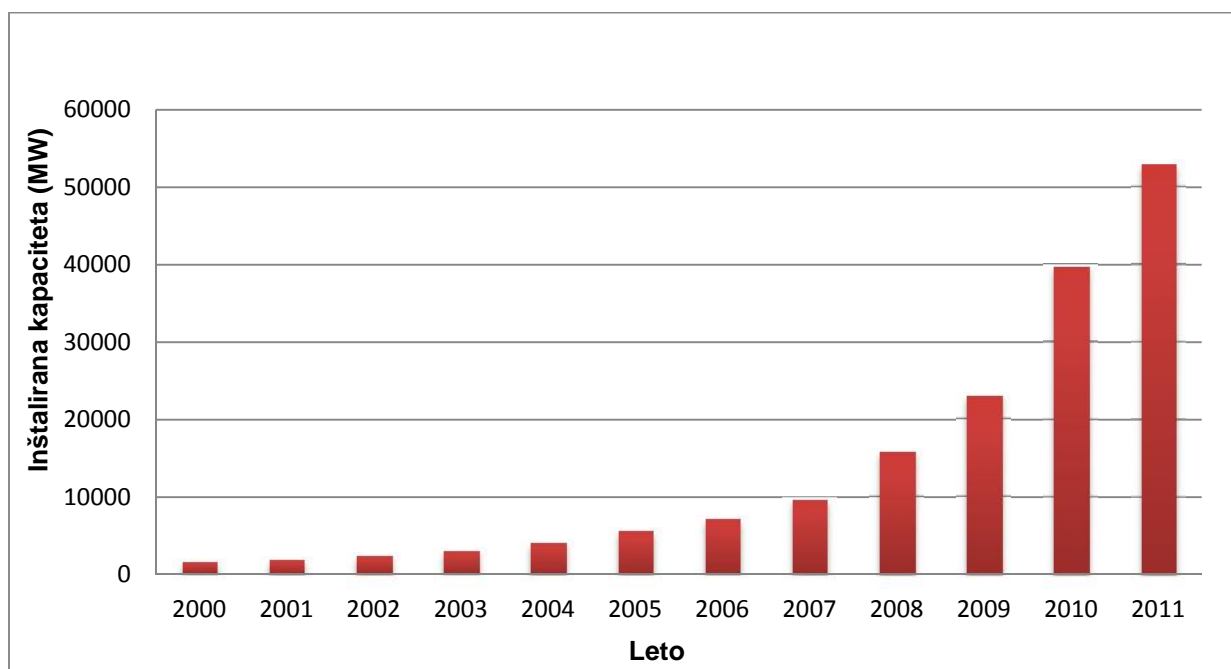
Čeprav fotonapetostni sistem nima med obratovanjem nobenega škodljivega vpliva na okolje, pa ga ima njegova proizvodnja. Največji vpliv na okolje imata proizvodnja in pridobivanje surovin. Pri pridobivanju surovin uporabijo veliko energije za prečiščenje, drugi velik vpliv na okolje ima izkopavanje rudnin [Life-Cycle Environmental... 2008]. Pri obdelavi kremenovega peska (silica sand) je stranski produkt kristalni kremenov prah (crystalline silica dust), ki je rakotvoren. Ko se izdeluje metalurška stopnja silicija, se pri tem procesu pojavijo izpusti ogljikovega dioksida, žveplovega dioksida in kremenovi hlapi (fume

silica), ki lahko pri vdihavanju povzro ijo zdravstvene težave.

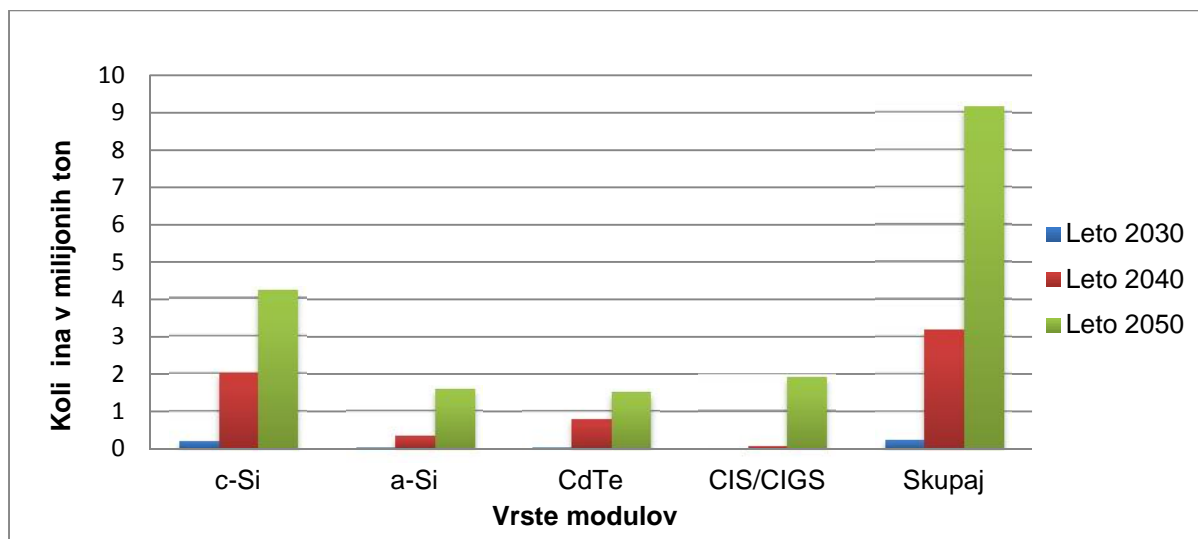
Metalurška stopnja silicija se mora še dodatno o istiti, da lahko nato silicij uporabijo za son ne celice. S procesom Siemens naredijo isti silicij, iz katerega nato naredijo mono ali polikristalni silicij. Pri tem postopku uporabljajo nevarne materiale (vodikov klorid (HCl), klorosilan (H_3ClSi)). Ustvarijo se tudi nevarni stranski produkti (silicijev tetraklorid ($SiCl_4$), diklorosilan (H_2SiCl_2)), ki lahko škodujejo lovekovemu zdravju in naravi, e z njimi ne ravnajo pravilno. Za izdelavo son nih celic je potrebno najprej narezati rezine, tu se pojavi kerf, stranski produkt rezanja silicija, ki je lahko nevaren za okolje in zdravje ljudi. Drugi problemati ni materiali so kemikalije (dušikova kislina, fluorovodikova kislina (hydrofluoric acid)), ki se uporabljajo pri jedkanju in iš enju. Pri izdelavi modulov se za spajkanje celic z bakrenimi trakovi uporabljajo spajke (solders), ki vklju ujejo svinec in druge kovine, ki so lahko škodljive za zdravje ljudi in okolja, e bi prišle v stik z njimi [Health and...]. Seveda je to odvisno od tehnologije, ki jo podjetje uporablja. Bisol-ovi moduli ne vklju ujejo svinca [Interno gradivo BISOL Group]. Veliko energije porabijo tudi za proizvodnjo polikristalnega silicija. Za iš enje rezin uporabijo veliko koli ino iste vode. Pri delovanju fotonapetostnih modulov negativnih vplivov na okolje ni [Life-Cycle Environmental... 2008].

Pri gradnji son ne elektrarne nastanejo emisije CO_2 zaradi transporta gradnikov do mesta, kjer bo elektrarna postavljena [Medmrežje 16]. V svojem življenjskem krogu fotovoltai ni sistem proizvede med 0,032 kg do 0,082 kg ogljikovega dioksida na kilovatno uro, kar je manj od proizvedenih emisij pri življenjskem krogu naravnega plina (0,27 kg - 0,91 kg CO_2E/kWh) in premoga (0,64 kg - 1,63 kg CO_2E/kWh) [Medmrežje 38].

Za zdaj še ni veliko odpadnih modulov, zato je vpliv odpadnih modulov na okolje trenutno majhen. Vendar se bo ta koli ina mo no pove ala do leta 2030. Fotonapetostni moduli vplivajo na okolje, e jih odložijo na mesto, kjer lahko pride do uhajanje kadmija in svinca. Zadnjih 10 let se je hitro ve ala gradnja son nih elektrarn in s tem število proizvedenih modulov. V grafu 1 se lahko vidi naraš anje celotne inštalirane kapacitete PV sistemov, v grafu 2 pa koli ina odpadnih modulov za leta 2030, 2040 in 2050.



Graf 1: Globalna inštalirana kapaciteta son nih elektrarn po l. 2000
Vir: European Photovoltaic Industry Association (EPIA)



Graf 2: Letna koli ina pri akovanih odpadnih modulov v letih 2030, 2040 in 2050 v Evropski uniji.

Vir: BIO Intelligence Service 2011

Zaradi velike koli ine proizvedenih modulov bi bilo potrebno narediti sistem za njihovo odstranjevanje. Najboljša rešitev bi bila predelava fotonapetostnih modulov. Tako bi lahko zmanjšali vpliv modulov in prihranili prostor ter tudi pridobili surovine in zmanjšali vpliv izkopavanja novih. V raziskavi življenjskega cikla silicijevih fotonapetostnih modulov so ugotovili, da se za modul izdelan iz materialov predelanega modula porabi samo 1/3 energije, ki jo uporabijo za izdelavo modula iz novih materialov [Life-Cycle Environmental... 2008].

Pri procesih predelave, ki sem jih predstavila v sekciji 4.4.1. se pojavi kar nekaj stranskih u inkov. Pri termi nemu procesu se pojavijo emisije v zrak zaradi izgorevanja EVA folije in odplake [Radziemska idr. 2010; Müller Idr. 2005]. Pri kemi nemu postopku razslojevanja modulov ostanejo odpadne kemikalije [Radziemska idr. 2010]. Pri razslojevanju modula z organskim topilom ostane odpadno topilo. Topila so lahko nevarna tako za ljudi kot za okolje. Zato je z njimi potrebno ravnati previdno. Topila so zdravju škodljiva. Izpostavljenost topilom lahko povzro i toksi nost na živ ni sistem, poškodbo jeter in ledvic, itd. Nekatera topila so tudi karcinogena. Nekatera organska topila so vnetljiva [Medmrežje 36]. Odpadna organska topila se lo ijo v klorirana in neklorirana odpadna topila. Klorirana odpadna topila se obi ajno sežgejo pri visokih temperaturah. Neklorirana odpadna topila sežgejo za pridobivanje energije [Medmrežje 35]. Topila se lahko tudi predelajo. Najprej se odpadna topila zaprejo v posode, nato sledi za etna obdelava, kjer se topila obdelajo s hlapno predelavo (vapor recovery) in mehanskim lo evanjem (mechanical separation). Po za etni obdelavi se odpadna topila destilirajo, da se odstranijo raztopljene ne isto e in da se lo ijo mešanice topil. Na koncu se topila še o istijo. Tu se odstrani voda od topil s pretakanjem (decanting) ali soljenjem (salting). Na koncu se topila zaprejo v posode [Medmrežje 37].

Pri kemi nemu postopku obdelave son nih celic ostanejo uporabljene kemikalije, nastanejo emisije v zrak in odpadna voda [Müller Idr. 2005]. V okviru ravnanja z odpadnimi vodami, izpušnimi plini in odpadnimi kemikalijami se sledi ustaljenim protokolom ter uredbam s podro ja odpadnih voda, izpušnih plinov in odpadkov. Vpliv predelave modulov na okolje je seveda odvisen od tehnologije, ki je na razpolago in od uporabljenih varnostnih ukrepov. Podjetja zato naredijo analizo življenjskega kroga (LCA – ang. Life Cycle Assessment ali tudi Life Cycle Analysis) svojih produktov, da ugotovijo vpliv njihove dejavnosti na okolje.

5.1. Kaj je LCA

To je metoda, ki ocenjuje okoljske vplive dolo enega produkta skozi njegov življenjski cikel (od pridobitve materialov, do njihove obdelave, proizvodnje produktov, do odstranitve ali predelave produkta, ko mu pote e življenjska doba) [Life Cycle Assessment 2012].

Opravljena je bila analiza procesa predelave kristalnih modulov za Deutsches Solar, da so ugotovili, kakšen vpliv ima njihov proces predelave na okolje. Ker so PV moduli podjetja Deuches Solar v osnovi podobni PV modulom podjetja BISOL, predvidevamo, da tudi za slednje v precejšnji meri veljajo rezultati te analize.

5.2. Ocena življenjskega kroga predelave kristalnih modulov (LCA) podjetja Deutsches Solar

Pri LCA kristalnih modulov podjetja Deutsches Solar so se osredoto ili na vpliv predelave modulov na okolje. Pri Deutsches Solar izvajajo toplotni postopek, kjer uporabljajo vodo in energijo. Pri tem postopku se ustvarijo emisije v zrak in odplake.

Nekateri materiali se lahko predelajo, to sta predvsem steklo in kovina. Son ne celice se o istijo s kemi nim postopkom, kjer potrebujejo kemikalije, vodo in energijo. Pri tem nastanejo emisije v zrak, odplake in uporabljene kemikalije. Kemikalije, ki so se uporabile za jedkanje celic, se obdelajo s kemi nimi in fizikalnimi postopki. Pri tem nastane mulj (sludge), ki se nato odstrani. Primerjali so koli ino energije, ki se uporabi pri proizvodnji modulov, ki so novi in proizvodnjo modulov s predelanimi son nimi celicami. Ugotovili so, da moduli s predelanimi son nimi celicami porabijo manj energije in njihov povratni energetski krog je krajši.

Naredili so tudi primerjavo med predelavo modulov Deutsches Solar in odlaganjem modulov na odlagališ e. Preden se moduli odložijo na odlagališ e, se morajo predhodno obdelati s sežigom. Pred sežigom odstranijo aluminijast okvir, saj ima veliko vrednost za predelavo. eprav pri sežigu porabijo manj energije kot pri toplotni predelavi, je proces predelave kristalnih modulov boljši kot pa sežig. Pri sežigu ne dobijo stekla in celic, ki jih dobijo pri toplotni obdelavi [Müller ldr. 2005].

6. Materiali in metode

6.1. Predstavitev skupine BISOL Group

Skupina BISOL Group je bila ustanovljena leta 2006 kot podjetje BISOL d.o.o. v Velenju, ki zdaj ne obstaja več. Leta 2008 se je BISOL d.o.o. preselil v obino Prebold v Latkovo vas, kjer imajo proizvodnjo in glavno proizvodno enoto.

Skupina BISOL Group, je nastala leta 2011 z združitvijo naslednjih družb:

- krovna družba BISOL Group, d.o.o. se ukvarja z investicijami v fotovoltaike. Naloga BISOL Group je zagotoviti nove proizvodnje storitve (od novih izdelkov do tehnološke izboljšave in inovativno finančno-poslovnih modelov);
- BISOL Proizvodnja, d.o.o. proizvaja fotonapetostne module na množičnem industrijskem nivoju. Proizvajajo monokristalne in polikristalne silicijeve module, na leto pa proizvedejo okoli 120 megavatov fotonapetostnih modulov. Pri neodvisnem mednarodnem testu Photon se BISOL-ovi izdelki uvrščajo v sam svetovni vrh. Podjetje ima tudi prodajna predstavništva v Nemčiji, Italiji, Belgiji, Franciji in Veliki Britaniji;
- družba BISOL EPC, d.o.o., je zadolžena za postavljanje sonnih elektrarn na ključna domača tržišča, ponuja pa tudi lastno podkonstrukcijo (aluminijasto in iz polietilena).

Skupina BISOL Group je članica organizacije CERES, ki predela tudi BISOL-ove module. Iz predelanega materiala je narejena podkonstrukcija BISOL iz polietilena visoke gostote (HDPE) [Interno gradivo BISOL Group].

Interes za izdelavo diplomske naloge so imeli tudi v podjetju BISOL Group. Vzpostavitev sistema predelave elektrarne bi lahko imelo velik potencial tako za podjetje kot za okolje.

6.2. Opis metod na ravnanja zasnove predelave sonnih elektrarn skupine BISOL Group

V nalogi so uporabljene splošne metode dela. Podatki so bili zbrani z raziskavo različnih virov na internetu, v knjigah, člankih, ter pri skupini BISOL Group.

V uvodnem delu naloge je bila opravljena širša teoretična predstavitev postopkov in možnosti predelave sonnih elektrarn. Obravnavani postopki so v nadaljevanju uporabljeni in upoštevani na modelu 1MW sonnih elektrarn podjetja BISOL Group. Zasnova razgradnje sonnih elektrarn in predelave gradnikov je razdeljena na del, ki se opravi v podjetju BISOL Group (razstavitev elektrarne in ponovna uporaba in predelava posameznih gradnikov) ter del, ki jih opravi organizacija CERES (predelava modulov).

Razgradnja sonnih elektrarn s strani BISOL Group je stroškovno ovrednotena. Upošteva stroške dela in najema zabojskih naprav za odlaganje gradnikov ter prevoza gradnikov. V nadaljevanju je ovrednotena tudi odprodaja odpadnega materiala elektrarne z namenom oceniti možnosti pokritja stroškov predelave elektrarne.

7. Rezultati

7.1. Zasnova predelave son ne elektrarne skupine BISOL Group

Po konani življenjski dobi son nih elektrarn morajo za elektrarne primerno poskrbeti. Kot je bilo predstavljeno v pregledu literature, so te elektrarne sestavljene iz gradnikov, ki so dragoceni in primerni za predelavo. Opustitev son ne elektrarne na objektu (ali na tleh) ne bi bila v skladu z zahtevami zakonodaje kot tudi nesprejemljiva z okoljevarstvenega stališča. Ravno tako nesprejemljivo bi bilo odlaganje na odlagališče. V nadaljevanju je predstavljen možen potek predelave son ne elektrarne skupine BISOL Group. Razgradnja son ne elektrarne je načrtovana na koncu njenega življenjskega cikla, ki traja od 30 do 40 let.

Predstavitve modela elektrarne kot modela za idejno zasnovo reciklaže

Zasnova in izraženi so opravljeni na primeru elektrarne velikosti 1MW, na poševni strehi z aluminijasto podkonstrukcijo na lokaciji Maribor. Elektrarna je povezana z omrežjem. Osnovni gradniki, ki jo sestavljajo so razsmernik, aluminijasta podkonstrukcija, napajalni kabli in fotonapetostni moduli. Son na elektrarna takšne velikosti ima približno:

- 4000 modulov (74 ton),
- 42 ton aluminija za podkonstrukcijo,
- 27 ton aluminijastih kablov,
- 1-2 toni bakra za kable in
- 91 razsmernikov (3,367 ton - 1,547 ton).

Predpostavili smo, da je za demontažo potrebnih 6 delavcev, ki bi to delo opravili v 14 delovnih dneh.

V razgradnjo in predelavo gradnikov son ne elektrarne so vključeni štiri udeleženci:

- BISOL Group z razstavitvijo elektrarne in logistiko predaje gradnikov
- Proizvajalec razsmernikov v primeru, da imajo razsmerniki veljaven garancijski rok
- CERES s predelavo modulov in
- Podjetje za predelavo, ki bo poskrbelo za podkonstrukcijo in napajalne kable.

Aktivnosti BISOL Group pri razgradnji elektrarne

V analizi smo predvideli, da bodo BISOL-ovi delavci, elektrarno varno razstavili in gradnike primerno zbrali. Sistem predelave son nih elektrarn bo moral sicer vključevati demontažo, zbiranje, odvoz in predelavo vseh elektrarn BISOL Group v Sloveniji in drugod po Evropi. Biti mora prijazen okolju (nimajo manjši vpliva pri vseh fazah sistema predelave).

Za zagon postopka razgradnje in predelave celotne elektrarne smo predvideli vzpostavitev posebnega sklada, ki bi se polnil z delom prihodka zgrajenih elektrarn. Sklad bi zagotavljal denar za predelavo in odstranjevanje son ne elektrarne in modulov v primeru stečajnega podjetja. Za nadaljnje izražene izvedbe razgradnje elektrarne smo predvideli, da bo BISOL Group kriil stroške storitev, demontaže, dela, najema zabojujnikov, ter tudi za storitve partnerja (odvoz, predelavo). Stroški demontaže, bi se morali povrniti s prodajo odpadnega materiala. V izraženi smo upoštevali, da bodo potrebni zabojujniki. V te zabojujnike bodo zbirali kable, podkonstrukcije in ostale odpadke, ki bi nastali. V oceno prodaje materialov smo vključili najbolj uporabljene materiale – prodajo aluminija in bakra. V oceno prodaje materialov nismo vključili HDPE posod za module, saj se ta uporablja samo za ravne strehe, in izolacijskega plašča za kable - PVC.

BISOL Group bo poskrbel za razsmernike, v primeru, da bo njihov garancijski rok potekel. Podjetje jih bo moralo zbrati lo eno od ostalih gradnikov jih naložiti na tovornjak in jih nato odpeljati na mesto predelave.

Izra un stroškov razgradnje in pri akovanih dohodkov od prodaje nekaterih materialov je prikazan v naslednjem poglavju.

Vloga proizvajalca razsmernikov

Proizvajalci razsmernikov bodo poskrbeli za razsmernike, e bodo ti prenehali delovati v garancijskem roku. e garancijski rok pote e, bo za njih poskrbelo podjetje BISOL Group. BISOL Group bi pri tem imel transportne stroške. Podjetje bo poskrbelo samo za transport razsmernikov do mesta predelave. Podjetje ne bo imelo prihodka.

Vloga CERESa

BISOL Group je lan CERES-a, zato smo predvideli, da bo to podjetje poskrbelo za odpadne module. BISOL Group bo poskrbel za previdno odstranitev modulov in jih zložili na palete, ki se bodo nato naložile na tovornjak. Za odvoz palet bo poskrbelo podjetje CERES, ki bo palete odpeljalo na mesto predelave, kjer se bodo moduli predelali. Stroški prevoza in predelave si bo CERES kril iz materialov pridobljenih med predelavo.

Pri demontaži bo potrebno previdno ravnanje s fotonapetostnimi moduli. e se moduli poškodujejo, lahko to zmanjša možnost kvalitetne predelave celic. Za module, ki imajo okvaro, imajo pri skupini BISOL sistem shranjevanja. Te okvarjene module bi v tem primeru predali CERESu z ostalimi.

Pregled raziskav je pokazal, da bi bila v nadaljevanju najprimernejša toplotna metoda predelave kristalnih silicijevih modulov, kakršne izdeluje BISOL Group. Za celice je iz pregleda raziskav razvidno, da je najuspešnejša kemi na metoda obdelave.

Predvideno je, da se bodo pri predelavi modulov najprej odstranili okvirji in škatlice s priklju ki, ki spadajo pod OEEO direktivo. Po razslojevanju modulov bodo dobili steklo in celice. Stranski produkt te obdelave je odpadna voda. Vsak modul ima 60 celic, vendar je potrebno predvideti, da vse celice ne bodo ponovno uporabne (odvisno od metode predelave in od stanja celic pred predelavo). Nekaterne bodo zlomljene in se bodo nato po iš enju prodale za surovino. Na o iš ene rezine bodo nato na novo nanесли potrebne sloje. Obnovljenim celicam se oceni njihova u inkovitost, za uvrstitev v enake razrede, ki omogo a pravilno vklju itev v module. Ve ji delež modula je steklo, ki ga bo potrebno tudi predelati in nato prodati. Prihodke od prodaje predstavljenih materialov bo prejel CERES.

Vloga podjetja za predelavo

BISOL Group bo sklenil pogodbo s podjetjem za predelavo, ki bo odgovorno za izposajo zabojnikov, odvoz zabojnikov in predelavo materialov, kot so napajalni kabli in podkonstrukcija. BISOL Group bo pla al njihove storitve.

7.1.1. Stroški predelave son ne elektrarne

Izra un stroškov razgradnje 1MW son ne elektrarne

Stroški dela:

Za razgradnjo elektrarne velikosti 1MW potrebujemo 6 delavcev, ki bodo delali okoli 14 dni

po 10 ur na dan in bodo plačani 15 €/uro (bruto bruto ura) [Interno gradivo BISOL Group].

$6 \text{ delavcev} \times (14 \text{ dni} \times 10 \text{ h/dan} \times 15 \text{ €/uro}) = 12.600 \text{ €}$

Ker je ura v bto/bto znesku, so tudi nadure zajete v skupni ceni ure.

Stroški prevoza na delo:

Cena lastnega kombija je 0,80 €/kilometer [Interno gradivo BISOL Group].

Delavci se bodo do elektrarne vozili s kombijem, ki ima dovolj prostora za 6 ljudi in potrebno opremo.

Razdalja BISOL - Maribor - BISOL znaša 132 kilometrov.

Izračun kilometrine na dan:

$0,80 \text{ €} \times 132 \text{ km} = 105,6 \text{ €}$

Ker bo demontaža potekala 14 dni, bo opravljenih 14 prevozov.

Izračun prevoznih stroškov:

$14 \text{ dni} \times 105,6 \text{ €} = 1478,4 \text{ €}$

Stroški najema zabojnikov:

Cena najema zabojnikov znaša 63 €/mesec [Interno gradivo BISOL Group]. Ker se bo delo opravljalo samo 14 dni, se ta cena razpolovi. Torej znaša cena najema zabojnikov 31,5 € za 14 dni.

Stroški najema zabojnikov za 14 dni znašajo 31,5 €.

Strošek odvoza zabojnikov:

Cena odvoza zabojnikov znaša 63 €/odvoz [Interno gradivo BISOL Group]. V 14 dneh bosta opravljena dva odvoza.

Izračun stroškov odvoza odpadkov:

$2 \times 63 \text{ €} = 126 \text{ €}$

Stroški prevoza razsmernikov:

Za 91 razsmernikov bosta potrebna dva tovornjaka vrste hiapa. Razsmerniki se bodo naložili na tovornjaka. Nato se bodo odpeljali na mesto predelave, kjer se bodo razsmerniki predelali.

Cena prevoza je 1500€/tovornjak.

Cena nakladanja in razkladanja je 200€/tovornjak.

[Interno gradivo BISOL Group]

Izračun stroškov odvoza razsmernikov:

$2 \times 1.500 \text{ €} = 3000 \text{ €}$

Izračun stroškov nakladanja in razkladanja:

$2 \times 200 \text{ €} = 400 \text{ €}$

Stroški prevoza razsmernikov bodo znašali 3.400 €.

Prikaz skupnih stroškov razgradnje elektrarne:

Tabela 2: Stroški razgradnje son ne elektrarne velikosti 1MW.

Delo:	12.600 €
Prevoz (delavci):	1478,4 €
Zabojniki (najem):	31,5 €
Odvoza zabojnikov:	126 €
Odvoz razsmernikov:	3.400 €
Skupaj:	17.635,9 €

Stroški za razgradnjo son ne elektrarne velikosti 1MW od demontaže do odvoza znašajo okoli 17.635,9 €, pri čemer DDV najema in odvoza zabojnikov ni bil upoštevan. Za te stroške bo poskrbela skupina BISOL. V te stroške niso vključeni stroški za odvoz modulov, saj bo za to poskrbel CERES. Za son no elektrarno postavljeno na tleh bi se k stroškom prištela še cena za stroje (izkopavanje drogov) in sanacija okolja.

7.1.2. Prodaja odpadnega materiala

Cena odpadnega aluminija se giblje med 0,8 in 1,1 €/kilogram.

Cena odpadnega bakra se giblje med 4,2 in 4,5 €/kilogram.

Cena je odvisna od kvalitete in količine.

(Koprivnikar N. 2013. "Cene odpadnega aluminija in bakra". get-inzeniring@siol.net; osebni vir, 15.5.2013.)

Izračuni:

Izračun izkupa od prodaje aluminija:

Aluminija je skupno s podkonstrukcijo in kabli 69 ton.

Cena odpadnega aluminija se giblje med 0,8 in 1,1 €/kilogram.

Izkupni ek od prodaje aluminija:

69000 kilogramov x 0,8 € = 55.200 €

69000 kilogramov x 1,1 € = 75.900 €

Izračun izkupa od prodaje bakra:

Bakrenih žic je od 1 do 2 toni.

Cena odpadnega bakra se giblje med 4,2 do 4,5 €/kilogram.

Izkupni ek od prodaje bakra:

1000 ~ 2000 kilogramov x 4,2 € = 4.200 € ~ 8.400 €

1000 ~ 2000 kilogramov x 4,5 € = 4.500 € ~ 9.000 €

Prikaz skupne vrednosti izkupa od prodaje aluminija in bakra:

Tabela 3: Vrednost izkupa od prodaje odpadnega aluminija in bakra.

Aluminij (podkonstrukcija in kabli):	55.200 € - 75.900 €
Baker (kabli):	4.200 € - 8.400 € 4.500 € - 9.000 €
Skupaj:	59.400 € - 84.900 €

Od prodaje odpadnega aluminija in bakra bi dobili od 59.400 € do 84.900 €

V izra unih ni upoštevana vrednost PVC izolacija kablov. Morebitne vrednosti odkupa napajalnih kablov kot celote nismo mogli pridobiti. Ravno tako ni bila znana odlo itev o predelavi izolacijskih plaš ev. BISOL Group bi lahko odstranil PVC prevleko in jo lo eno prodal. V stroške prodaje tudi niso vklju ene HDPE podloge, saj se uporabljajo za ravne strehe in se ne uporabljajo z aluminijastimi podkonstrukcijami.

Izra un razlike med stroški razgradnje elektrarne in izkupi kom od odprodaje materiala:

Tabela 4: Razlika med stroški razgradnje elektrarne in izkupi kom od prodaje materiala.

Izkupi ek od prodaje bakra in aluminija	Strošek razgradnje elektrarne	Razlika
A	B	A-B
59.400 €	17.635,9 €	41.764,1 €
84.900 €		67.264,1 €

S prihodkom od prodaje odpadnega aluminija in bakra bodo lahko pokrili vse stroške predelave elektrarne. Podjetju bo ostal znesek med 41.764,1 € do 67.264,1 €.

8. Razprava in sklepi

Predelava elektrarne je možna, saj so narejene iz gradnikov, ki se lahko predelajo. Obstajajo že nekateri procesi in metode za zbiranje in predelavo nekaterih gradnikov. Za fotonapetostne module so se že vzpostavili na ini zbiranja ter na ini predelave. Pri skupini BISOL bi za module poskrbelo podjetje CERES, za aluminijasto podkonstrukcijo in kable bi poskrbela skupina sama, s pomojo podjetja za predelavo. Za razsmernike bi poskrbelo podjetje SMA, v primeru da so razsmerniki v garancijskem roku. Druga e bo za njih poskrbelo podjetje BISOL Group.

Iz analizami EPIA o globalni inštalirani kapaciteti fotonapetostnih elektrarn (v megavatih - MW) je razbrati, da je od leta 2000 letna koli ina naraš ala eksponentno. Koli ina se je mo no pove ala v zadnjih letih. Koli ina se bo v naslednjih letih še pove ala. Po projekcijah BIO Intelligence Service (2011) za leto 2030, 2040 in 2050 pa je pri akovati velik porast koli ine odpadnih modulov. Najve ji delež odpadkov bodo predstavljali moduli iz kristalnega silicija. Pomemben okoljski problem bodo predstavljali moduli iz CdTe, e z njimi ne bodo ravnali pravilno. Tudi starejši kristalni moduli lahko v prihodnosti povzro ajo težave, saj vsebujejo okolju škodljiv svinec. Kot je bilo omenjeno, sta ti dve zlitini dobro zaprti v fotonapetostnih modulih in ne predstavljata ve jega okoljskega problema, razen v primeru, e bi z moduli ravnali neustrezno.

Zdaj, ko so moduli vklju eni v OEEO direktivo, lahko pri akujemo njihovo pravilno odstranjevanje in predelavo. CERES in PV Cycle morata sedaj delovati pod to direktivo. Tako lahko še naprej nudita storitve za zbiranje in predelavo fotonapetostnih modulov svojih lanov.

V zadnjih letih se je koli ina inštaliranih son nih elektrarn mo no pove ala, zato bo v prihodnosti veliko odpadkov povezanih s son nimi elektrarnami. Najve jo skrb povzro ajo fotonapetostni moduli. Moduli predstavljajo najve ji del elektrarne in so sestavljeni iz materialov, ki se lažje predelajo (steklo in aluminij). Do zdaj so se moduli obravnavali kot industrijski odpadki, pri katerih sta se predelala samo aluminij in steklo, celice pa ne. Z razvojem postopkov za predelavo modulov bo možno reciklirati tudi son ne celice. Obstajajo kar dobri razlogi za predelavo modulov. V raziskavi življenjskega cikla silicijevih fotonapetostnih modulov so ugotovili, da se za modul izdelan iz izdelkov predelanih materialov porabi samo 1/3 energije, ki jo uporabijo za izdelavo novega modula. U inkovitost starih celic, ki so se pridobile iz predelanih modulov, se lahko celo izboljša.

Po teh podatkih se predelava modulov zdi primerna rešitev ravnanja z moduli ob koncu njihovega delovanja. V letu 2012 so se moduli vklju ili v OEEO direktivo. V skladu s to direktivo morajo vsi proizvajalci primerno odstraniti module ob koncu njihovega življenjskega cikla. Zakon bo stopil v veljavo konec leta 2013. Do takrat se bodo morali razviti na ini zbiranja in predelave modulov. V diplomski nalogi so predstavljeni nekatere modeli, ki se razvijajo v Združenih državah Amerike. Ti modeli se lahko uporabijo za celoten fotovoltai ni trg ali pa se proizvajalci obrnejo na podjetja kot sta PV Cycle in CERES za predelavo fotonapetostnih modulov. Proizvajalci modulov pa lahko tudi vzpostavijo svoj lasten zbiralni in predelovalni sistem. Takšen sistem že imata podjetja First Solar in Deutsche Solar. Ne glede na izbiro sistema bodo morali proizvajalci narediti primerno infrastrukturo za skladiš enje in predelavo modulov ter poiskati najboljše metode predelave.

Opisane so bile štiri metode, ki so primerne za predelavo monokristalnih in polikristalnih silicijevih modulov. Pri toplotni metodi sta v uporabi piroliza v reaktorju s fluidiziranim slojem in piroliza v tra ni pe i. V primeru kemi ne metode s pomojo kemikalij pridobijo steklo in celice. Druga kemi na metoda je predelava modula z organskim topilom. Pri vseh teh

metodah lahko dobijo steklo in celice. Po teh postopkih sledi iš enje son nih celic. Tu je najbolj u inkovita kemi na metoda, kjer se s pomo jo kemikalij o istijo razli ne plasti na son nih celicah. Po iš enju celic lahko rezine uporabijo za nastanek novih celic po istem postopku kot poteka izdelava nove celice.

Pri predelavi son ne elektrarne bo potrebno poskrbeti še za razsmernik, podkonstrukcijo in napajalne kable.

Pri zasnovi bodo morali vse materiale zbirati lo eno, zlasti fotonapetostne module. Za to bo poskrbel BISOL Group. Module bodo zložili na palete in odpeljali. Za odvoz in predelavo bo poskrbel CERES. Za razsmernike bo poskrbel proizvajalec ali podjetje BISOL Group. Za ostale odpadke bo poskrbelo podjetje za predelavo. Ko se bodo materiali zbrali, jih bo podjetje odpeljalo na predelavo.

Odpadni material, ki se bo prodal, sta aluminij in baker. Prihodek od prodanih materialov bo dobilo podjetje. BISOL Group lahko z odprodajo odpadnega aluminija in bakra pokrije vse stroške razgradnje elektrarne.

Osnovne hipoteze diplomske naloge so:

- Hipoteza 1

Razgradnja elektrarne podjetju ne bo predstavljala stroška.

Hipotezo lahko potrdimo, saj bo podjetje lahko s prodajo odpadnega materiala pokrilo vse stroške, ki nastajajo pri razgradnji elektrarne.

- Hipoteza 2

Nekatere gradnike elektrarne je možno ponovno uporabiti oziroma predelati.

Ta hipoteza je potrjena. Nekatere gradnike son ne elektrarne je možno primerno obdelati, saj so iz materialov ali delov, za katere že obstajajo primerni na ini predelave in ponovne uporabe.

- Hipoteza 3

V bližnji prihodnosti se bo znatno pove ala koli ina odpadnih oziroma odsluženi h fotonapetostnih modulov, od katerih bo mogo e vsaj nekatere dele primerno predelati oziroma ponovno uporabiti.

Ta hipoteza je potrjena. Koli ina odpadnih modulov se bo v prihodnosti pove ala, kar lahko vidimo pri grafu 2. Modul sam je narejen iz materialov, ki se lahko predelajo. Za njegovo predelavo so že razvite nekatere metode.

V moji raziskavi se je izkazala razgradnja son ne elektrarne ekonomsko upravi ena. Stroški za predelavo son ne elektrarne velikosti 1MW od demontaže do odvoza znašajo okoli 17.635,9 €. Za te stroške bo poskrbela skupina BISOL. V te stroške niso vklju eni stroški za odvoz in predelavo modulov, saj bo za to poskrbel CERES. S prihodkom od prodaje odpadnega aluminija in bakra lahko pokrijejo vse stroške predelave elektrarne. Pri predelavi elektrarne bo del prihodkov ostal podjetju.

Predelava son nih elektrarn bi pomenila »zeleno« prihodnost za fotovoltai no energijo.

9. Povzetek

V diplomski nalogi sem izdelala teoretičen sistem poteka recikliranja son nih elektrarn skupine BISOL Group, ob koncu njihovega delovanja. Analizirala sem tudi stroškovni vidik razgradnje son ne elektrarne. Analizo sem osredotočila na monokristalne in polikristalne silicijeve fotonapetostne module, ki jih proizvaja skupina BISOL Group.

Son na elektrarna je sestavljena iz naslednjih gradnikov: razsmernik, napajalni kabli, podkonstrukcija in fotonapetostni moduli.

Razsmernik je potreben za pretvorbo enosmerne energije iz fotonapetosnih modulov v izmeni no energijo. Za razsmernike bo poskrbelo podjetje SMA, e bodo ti še v garanciji, druga e bo za njih poskrbelo podjetje BISOL Group tako, da jih bo odpeljalo do mesta predelave. Napajalni kabli, ki jih uporabljajo pri son nih elektrarnah skupine BISOL, so narejeni iz aluminija ali bakra s PVC izolacijskim plaš em. Podkonstrukcija je narejena iz aluminija. Aluminij je eden od najbolj pogostih recikliranih materialov, tako da predelava podkonstrukcije ne bo predstavljala težave. Za ta materiala bo poskrbel partner za predelavo.

Za fotonapetostne module, ki so sestavljeni iz večjega števila celic, stekla, EVA folije, aluminijastega okvira, bakrenih trakov za elektri ne povezave med celicami, hrbtne folije in škatlice s priklju ki bodo prav tako morali poskrbeti partnerji. V primeru BISOL Group bo za module poskrbel CERES. Še pred vklju itvijo v OEEO direktivo so module obravnavali kot industrijski odpadki, pri katerem sta se predelala samo aluminij in steklo, celice pa ne. Celice so najpomembnejši del modula, zato so razvili metode, ki bodo omogo ale, da se lahko pridobijo nove son ne celice. Obstajajo različne metode za predelavo modulov. V nalogi so opisani štiri. Pri vseh teh metodah lahko pridobijo celice, steklo in kovino. Ti materiali se nato posamezno predelajo. Metode za predelavo modulov so: kemi na metoda razslojevanja modulov, predelava modula z organskim topilom in toplotni postopek razslojevanja modulov, kamor spadata procesa piroliza v reaktorju s fluidiziranim slojem in piroliza v tra ni pe i . Najuspešnejša metoda je toplotna metoda predelave.

Pri toplotni metodi nastaja odpadna voda ter izpušni plini, pri kemi ni metodi pa odpadne kemikalije. eprav lahko prihaja pri teh metodah do negativnih vplivov na okolje, bi odlaganje modulov brez kakršne koli predelave in ponovne uporabe imelo še ve ji negativni vpliv na okolje kot tudi na rabo neobnovljivih virov.

Pri razslojevanju modulov pridobijo celice, ki jih je potrebno nato še nadalje predelati. Celice lahko predelajo s kemi no metodo. Pri tej metodi se s celice odstranijo različne plasti. Pri kemi nemu procesu je potrebno poiskati primerne raztopine, primerno koncentracijo raztopine in primerno temperaturo za proces. Po opravljenem jedkanju ostanejo odpadne kemikalije. V okviru ravnanja z odpadnimi vodami, izpušnimi plini in odpadnimi kemikalijami se sledi ustaljenim protokolom ter uredbam s podro ja odpadnih voda, izpušnih plinov in odpadkov.

Po jedkanju pridobijo rezine, iz katerih lahko na novo izdelajo celice. U inkovitost predelanih celic je podobna ali enaka u inkovitosti novih son nih celic. Zaradi izboljšane tehnologije se lahko u inkovitost starih celic tudi pove a. Takšne rezultate je dobilo podjetje Deutsche Solar AG, ki je predelalo module, ki so bili nameš eni leta 1983 v Nem iji. U inkovitost teh celic se je pove ala z 8% na 14%.

Predstavljene gradnike bodo zbirali posebej. Delavci bodo na mestu elektrarne lo evali odpadke v zabojnike, module pa bodo zlagali na palete. Module so na za etku leta 2012

vkluju ili v OEE0 direktivo. Po tej direktivi bodo glavno odgovornost za zbiranje modulov nosili proizvajalci.

Ti lahko za zbiranje poskrbijo posamezno ali skupinsko, tako da se pridružijo podjetjem, ki so bila ustanovljena za zbiranje, odvoz in predelavo modulov. Takšni podjetji sta PV Cycle in CERES. Skupina BISOL je član CERES-a tako, da bo za njihove module poskrbel CERES.

Pri predelavi son ne elektrarne bodo morali upoštevati naslednjo zakonodajo: Direktiva 2012/19/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 4. julija 2012, o odpadni elektri ni in elektronski opremi (OEE0) (prenovitev) (UL L št. 197 z dne 24.7.2012); Direktiva 2011/65/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 8. junija 2011, o omejevanju uporabe nekaterih nevarnih snovi v elektri ni in elektronski opremi (prenovitev) (UL L št. 174 z dne 1.7.2011) (RoHS Directive); Uredba o odpadkih (Ur.l. RS, št. 103/2011) in uredba o ravnanju z odpadki (Ur.l. RS, št. 34/2008).

Zasnova razgradnje elektrarne in izra uni so opravljeni na primeru elektrarne velikosti 1MW, z aluminijasto podkonstrukcijo na lokaciji Maribor. Son na elektrarna takšne velikosti potrebuje približno: 4000 modulov, 42 ton aluminija za podkonstrukcijo, 27 ton aluminijastih kablov, 1-2 toni bakra za kable in 91 razsmernikov. Za demontažo bo potrebnih 6 delavcev. Demontaža bo potekala 14 delovnih dni.

V razgradnjo in predelavo gradnikov son ne elektrarne so vklju eni štirje vklju ni udeleženci:

- BISOL Group z razstavitvijo elektrarne in logistiko predaje gradnikov - V analizi smo predvideli, da bodo BISOL-ovi delavci, elektrarno varno razstavili in gradnike primerno zbrali. Za zagon postopka razgradnje in predelave celotne elektrarne smo predvideli vzpostavitev posebnega sklada, ki bi se polnil z delom prihodka zgrajenih elektrarn. Sklad bi zagotavljal denar za predelavo/odstranjevanje son ne elektrarne in modulov v primeru ste aja podjetja. BISOL Group bo kril stroške storitev, demontaže, dela, najema zabojujnikov, ter tudi storitev partnerja (odvoz, predelavo). Stroški demontaže naj bi se povrnili s prodajo odpadnih materialov.
- Proizvajalec razsmernikov v primeru, da imajo razsmerniki veljaven garancijski rok.
- CERES s predelavo modulov - BISOL Group je član CERES-a, zato smo predvideli, da bo to podjetje poskrbelo za module. BISOL Group bo poskrbel za previdno odstranitev modulov. Zložili jih bodo na palete, ki se bodo nato naložile na tovornjak. Za odvoz palet bo poskrbel CERES, ki bo palete odpeljal na mesto predelave, kjer se bodo moduli predelali. Stroške prevoza in predelave bo CERES kril iz materialov pridobljenih med predelavo.
- Podjetje za predelavo - BISOL Group bo sklenil pogodbo s podjetjem za predelavo, ki bo odgovorno za izposojno zabojujnikov, odvoz zabojujnikov in predelavo materialov.

Stroški za predelavo son ne elektrarne velikosti 1MW od demontaže do odvoza znašajo okoli 17.635,9 €. Za te stroške bo poskrbela skupina BISOL. V te stroške niso vklju eni stroški za odvoz in predelavo modulov, saj bo za to poskrbel CERES. Od prodaje odpadnega aluminija in bakra bi dobili od 59.400 € - 84.900 €. S prihodkom od prodaje odpadnega aluminija in bakra lahko pokrijejo vse stroške predelave elektrarne.

Po teh podatkih se zdi smiselno predelati son no elektrarno na koncu njihovega delovanja. Ne samo, da se bo zmanjšal vpliv modulov na okolje, ohranjale se bodo tudi surovine, kot sta aluminij in silicij.

Summary

The purpose of this thesis was to establish a theoretical system for recycling solar power plants of BISOL Group at the end of their life cycle. The analysis is centered on monocrystalline and polycrystalline modules, which are manufactured by BISOL Group.

The solar power plant is comprised of the following materials: inverter, cables, mounting system and photovoltaic modules.

The inverter converts direct current (DC) from photovoltaic modules to alternating current (AC). The inverters will be taken care of by SMA, only if its warranty hasn't expired. If the warranty has expired BISOL Group will be responsible for transporting them to a recycling company. Power cables used in construction on solar power plants of BISOL Group are made of copper or aluminum and have a PVC insulation layer. The mounting system is made out of aluminum. Aluminum is one of the most recyclable materials, so recycling the mounting system wouldn't cause problems. Power cables and the mounting system will be recycled by recycling companies. The last components of the power plant are the photovoltaic modules.

Photovoltaic modules are comprised of solar cells, glass, aluminum frame, EVA (foils), copper bus-bars (interconnecting stripes between solar cells) , backsheet, and a junction box. Before modules were included in the WEEE directive they were treated as industrial waste, where aluminum and glass was recycled, and solar cells weren't. The solar cells are an important part of the module and so methods were created where the solar cells can be recovered and recycled. There are a lot of methods for recycling modules. In this thesis four methods are presented. In all four methods solar cells, glass and metal can be recovered. These materials are then processed separately.

Methods for recycling modules are: Chemical Recycling method, PV Module Recycling with Organic Solvent method and Thermal method, which includes the processes of fluidized bed reactor and the pyrolysis in a conveyor belt furnace. The most promising method for recycling modules is the thermal method.

The byproducts of the thermal method are sewage and exhaust fumes and the byproducts of the chemical method are used chemicals. Even though these methods have some negative effects, the effect of disposing modules without any pre-treatment or re-use would have a bigger impact on the environment and on the use of non-renewable resources.

The cells that are obtained from the delaminating methods are then recycled on their own. The solar cells are recycled with the chemical method. In this method different layers are removed from the cell. For this method it is necessary to find proper etching solutions, its proper concentration, and optimal process temperature. After completing the etching waste chemicals remain.

After the etching wafers are obtained, the wafers can be made back into solar cells. The efficiency of the recycled cells is almost or as good as new cells. Due to technological improvements, the efficiency of old cells can be improved. Deutsche Solar AG got these results, after recycling modules that were installed in 1983 in Germany. The efficiency of these cells went from 8% to 14%.

The presented materials are going to be collected separately. The workers will separate the waste materials into containers; the modules will be stacked onto pallets. The modules were included in the WEEE directive at the beginning of the year 2012. According to this directive the manufacturers will be responsible for the collection. The manufacturers can do

this separately or join a group, which was created for collecting, pick up and recycling of modules. Such companies are PV Cycle and CERES. BISOL Group is a member of CERES, so CERES is going to take care of their modules.

Important directives and regulations that set the recycling procedures are Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE) (recast); Directive 2011/65/EU of the European parliament of the Council of 8 June 2011 on the restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment (recast) (RoHS Directive); Decree on Waste and Decree on Waste management.

Scheme and calculations were carried out on a 1MW solar power plant with an aluminum mounting system, located in Maribor. A solar plant this size has approximately the following number of materials: 4000 modules, 42 tons of aluminum for the mounting system, 27 tons of aluminum cables, 1-2 tons of copper for the cables and 91 inverters. For the dismantling 6 workers will be needed. The dismantling will take 14 days.

Four key participants are involved in dismantling and recycling the component of the solar power plant:

- BISOL Group with the dismantling of the plant and the handover logistics of the materials. In the analysis we predicted that the BISOL workers would safely dismantle the plant and appropriately collect the materials. To start the process of dismantling and recycling the entire plant, we predicted the establishment of a special fund that would be filled with the income from working plants. This fund would provide money for recycling/disposal of plants and modules in the case the company goes bankrupt. BISOL Group would cover the cost of services, dismantling, rental containers and also partner services (pick up and recycling). The cost of dismantling would be refunded with the sale of materials.
- The manufacturers of inverters, only if its warranty hasn't expired.
- CERES by recycling modules - BISOL Group is a member of CERES, so we predict that CERES would take care of the modules. BISOL Group would take care of removing the modules carefully and stacking them on pallets, which are then loaded onto a truck. CERES would be responsible for bringing the pallets to a recycling center. The cost of transportation and recycling would be covered by the materials that would be recovered during recycling.
- Recycling companies - BISOL Group would have a contract with a recycling company that would be responsible for: renting the containers, collection of the containers and recycling the materials.

The cost of recycling a 1MW solar power plant, from dismantling to removal is around 17.635,9 €. BISOL Group would take care of this cost. The cost of module transportation is not included because CERES would take care of those costs. From the sale of materials such as aluminum and copper we would get 59.400 € - 84.900 €. With the proceeds from the sale of aluminum and copper we could cover all the costs of dismantling the plant.

According to this data it seems reasonable to recycle solar power plants at the end of their operations. Not only will recycling modules reduce their impact on the environment, it will also preserve raw materials like aluminum and silicon.

10. Viri in literatura

1. Affordable Solar. Solar Inverters. Medmrežje: <http://www.affordable-solar.com/> (29.3.2012)
2. Bellis, M. History: Photovoltaics Timeline Medmrežje: <http://inventors.about.com/od/timelines/a/Photovoltaics.htm> (3.4.2012)
3. Beneking, A. (2012). Shattered dreams. *Photon International*. Št. 1, stran 56 - 58.
4. BIO Intelligence Service, (2011). Study on Photovoltaic Panels Supplementing the Impact Assessment for the Recast of the WEEE Directive. Medmrežje: <http://ec.europa.eu/environment/waste/weee/pdf/Study%20on%20PVs%20Bio%20final.pdf> (7.5.2012)
5. BISOL Group. Elektrarne od A do Ž. Medmrežje: <http://www.bisol.com/sl/druzinski-objekti/elektrarne-od-ado-z.html> (10.5.2013)
6. Bluegrass E-Cycle. Wire & Cable Recycling. Medmrežje: <http://www.bluegrassecycle.com/items-we-recycle/wire-and-cable-recycling.html> (7.5.2012)
7. Bureau of International Recycling. Non-Ferrous Metals. Medmrežje: <http://www.bir.org/industry/non-ferrous-metals/> (28.3.2012)
8. Bureau of International Recycling. Stainless Steel and Special Alloys. Medmrežje: <http://www.bir.org/industry/stainless-steel/> (28.3.2012)
9. Cizek, T. (2010). Silicon Info: Ribbon and Sheet Growth. Medmrežje: <http://www.siliconsultant.com/SIribbonGr.htm> (5.4.2012)
10. Copper Wire Recycling (2008). Medmrežje: <http://www.environment.gov.sk.ca/adx/asp/adxGetMedia.aspx?DocID=2095,423,252,94,88,Documents&MediaID=1166&Filename=Copper+Wire+Recycling.pdf&I=English> (29.3.2012)
11. **Direktiva 2012/19/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 4. julija 2012 o odpadni elektri ni in elektronski opremi (OEEO) (prenovitev) (UL L št. 197 z dne 24.7.2012).** Medmrežje: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:197:0038:0071:SL:PDF> (5.9.2012)
12. **Direktiva 2011/65/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 8. junija 2011 o omejevanju uporabe nekaterih nevarnih snovi v elektri ni in elektronski opremi (prenovitev) (UL L št. 174 z dne 1.7.2011) (RoHS Directive).** Medmrežje: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:174:0088:0110:SL:PDF> (5.9.2012)
13. **Directive 2002/96/EC of the European Parliament and of the Council of 27 January 2003 on waste electrical and electronic equipment (WEEE).** Medmrežje: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:037:0024:0038:en:PDF> (29.3.2012)
14. Doi, T., Tsuda, I., Unagida, H., Murata, A., Sakuta, K., Kurokawa, K. (2001). Experimental Study on PV Module Recycling with Organic Solvent Method. Medmrežje: [http://www.aqr.ee/DsWeb/Lit/SEMISC/SEMISC67\(01\)397_SiModRecycl.pdf](http://www.aqr.ee/DsWeb/Lit/SEMISC/SEMISC67(01)397_SiModRecycl.pdf) (7.5.2012)
15. European Photovoltaic Industry Association (EPIA). Global Market Outlook for Photovoltaics until 2015. Medmrežje: <http://www.pvatvirainovacija.lt/docs/Leidiniai/EPIA-Global-Market-Outlook-for-Photovoltaics-until-2015%285%29.pdf> (7.5.2012)
16. Flegar, M., Škarja, G. (2007). Son na elektrarna od zasnove do realizacije. Medmrežje: <http://www.elektrogorenjska.si/resources/files/pdf/Obnovljivi%20viri%20prihodnost.pdf> (28.3.2012)

17. **Frisson, L., Lieten, K., Bruton, T., Declercq, K., Szlufcik, J., De Moor, H., Goris, M., Benali, A., Aceves, O. (2000).** Recent Improvements in Industrial PV Module Recycling. Medmrežje: http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/solar/bp_solar_spain/STAGING/local_asset_s/downloads_pdfs/0_999/16PVSEC_OA3_5.pdf (7.5.2012)
18. **Fthenakis, V. M. (2000).** End-of-life management and recycling of PV modules. Medmrežje: [http://clca.columbia.edu/papers/End Life Management Recycling Energy Policy.pdf](http://clca.columbia.edu/papers/End_Life_Management_Recycling_Energy_Policy.pdf) (30.3.2012)
19. **Gandert, E. (2011).** Interview with Jan Clyncke, Managing Director of PV Cycle (4.7.2013)
20. **Gómez, V. (2012).** PV Cycle system: Fulfilling the take back and recycling obligation on PV power plants.
21. Gorenjske elektrarne. Delovanje razsmernikov. Medmrežje: <http://www.gek.si/> (28.3.2012)
22. **Green, M.A.** Crystalline Silicon Solar Cells. Medmrežje: http://www.worldscientific.com/doi/suppl/10.1142/p139/suppl_file/p139_chap4.pdf (5.4.2012)
23. Health and Safety Concerns of Photovoltaic Solar Panels. Medmrežje: <http://www.oregon.gov/ODOT/HWY/OIPP/docs/SafetyConcernsPVPanels012510.pdf?ga=t> (8.5.2012)
24. Interno gradivo BISOL Group
25. **Janzig, B. (2012).** Modules become e-waste. *PV magazine*. Št. 3, stran 36, 37
26. **Knier, G. (2002).** How do Photovoltaics Work. Medmrežje: <http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells/> (3.4.2012)
27. **Kuehnle, E. (2012).** Solar modules now officially regarded as e-waste. Medmrežje: http://www.pv-magazine.com/news/details_/beitrag/solar-modules-now-officially-regarded-as-e-waste--_100005611/8/#axzz1p4ZGos00 (28.3.2012)
28. **Larsen, K. (2009).** End of Life PV: then what? – Recycling solar PV Panels. Medmrežje: <http://www.renewableenergyfocus.com/view/3005/end-of-life-pv-then-what-recycling-solar-pv-panels/> (8.5.2012)
29. **Lenardi, D. (2004).** Petdeset let son ne celice. *EGES: energetika, gospodarstvo, ekologija Slovenije*. Ljubljana: Energetika marketing d.o.o., št. 5, 108 - 111.
30. Life Cycle Assessment (LCA) (2012). Medmrežje: <http://www.epa.gov/nrmrl/std/lca/lca.html> (10.5.2012)
31. Life-Cycle Environmental Performance of Silicon Solar Panels (2008). Medmrežje: http://www.oregon.gov/ODOT/HWY/OIPP/docs/solar_panel_lifecycle.pdf?ga=t (10.5.2012)
32. **Mah, O. (1998).** Fundamentals of Photovoltaic Materials. Medmrežje: <http://userwww.sfsu.edu/~ciotola/solar/pv.pdf> (5.4.2012)
33. Medmrežje 1: <http://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaics> (3.4.2012)
34. Medmrežje 2: <http://www.alu-solar.si/fotovoltaika.html> (3.4.2012)
35. Medmrežje 3: <http://photovoltaics.sandia.gov/docs/PVFEffIntroduction.htm> (3.4.2012)
36. Medmrežje 4: <http://www.cea.fr/var/cea/storage/static/gb/library/Clefs50/pdf/encadred.pdf> (3.4.2012)
37. Medmrežje 5: http://www1.eere.energy.gov/solar/pdfs/solar_timeline.pdf (3.4.2012)
38. Medmrežje 6: <http://sunlightelectric.com/pvhistory.php> (3.4.2012)
39. Medmrežje 7: http://meroli.web.cern.ch/meroli/Lecture_silicon_floatzone_czochralski.html (5.4.2012)
40. Medmrežje 8: http://en.wikipedia.org/wiki/Czochralski_process (4.4.2012)
41. Medmrežje 9: http://en.wikipedia.org/wiki/Amorphous_silicon (5.4.2012)
42. Medmrežje 10: http://issuu.com/bisolsolar/docs/110408_brosura_podkonstrukcije_si?viewMode=magazine&mode=embed (30.3.2012)

43. Medmrežje 11: <http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium> (28.3.2012)
44. Medmrežje 12: [http://en.wikipedia.org/wiki/Waste Electrical and Electronic Equipment Directive](http://en.wikipedia.org/wiki/Waste_Electrical_and_Electronic_Equipment_Directive) (29.3.2012)
45. Medmrežje 13: [http://en.wikipedia.org/wiki/Restriction of Hazardous Substances Directive](http://en.wikipedia.org/wiki/Restriction_of_Hazardous_Substances_Directive) (29.3.2012)
46. Medmrežje 14: <http://www.ceres-recycle.org/> (20.3.2012)
47. Medmrežje 15: [http://en.wikipedia.org/wiki/String ribbon](http://en.wikipedia.org/wiki/String_ribbon) (5.4.2012)
48. Medmrežje 16: [http://www.appropedia.org/LCA of silicon PV panels](http://www.appropedia.org/LCA_of_silicon_PV_panels) (29.5.2012)
49. Medmrežje 17: [http://en.wikipedia.org/wiki/Doping \(semiconductor\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Doping_(semiconductor)) (5.9.2012)
50. Medmrežje 18: <http://en.wikipedia.org/wiki/Ingot> (5.9.2012)
51. Medmrežje 19: http://www.aure.gov.si/eknjiznica/IL_5-02.PDF (15.3.2012)
52. Medmrežje 20: [http://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic_effect) (15.3.2012)
53. Medmrežje 21: <http://en.wikipedia.org/wiki/Vulcanization> (5.9.2012)
54. Medmrežje 22: <http://sustainable-tech.inf.um.es/english/informacion2.html> (4.4.2012)
55. Medmrežje 23: <http://www.nano-ou.net/Edu2ImagePages/ingot.aspx> (4.4.2012)
56. Medmrežje 24: <http://www.msc.cornell.edu/~dieck/crystal.html> (4.4.2012)
57. Medmrežje 25: http://soncna-elektrarna.com/index.php/kaj_je_fotovoltaika/proces_izdelave (4.4.2012)
58. Medmrežje 26: http://www.ee.fs.uni-lj.si/diploma1/stran_210.htm (5.4.2012)
59. Medmrežje 27: <http://pv.fe.uni-lj.si/Celice.aspx> (12.9.2012)
60. Medmrežje 28: <http://www.pvsolarchina.com/difference-between-monocrystalline-polycrystalline-and-amorphous-thin-film-solar-cell.html> (6.4.2012)
61. Medmrežje 29: <http://www.ape.si/> (9.4.2012)
62. Medmrežje 30: <http://towel-radiator.com/pages/The-Waste-Electrical-and-Electronic-Equipment-%28WEEE%29-Directive.html> (29.3.2012)
63. Medmrežje 31: <http://advanceddigitalcable.com/technical-information/rohs-compliant.html> (29.3.2012)
64. Medmrežje 32: <http://www.nwpoly.com/> (29.3.2012)
65. Medmrežje 33: <http://www.bisol.com/images/Datasheets/SL/BISOL%20Produktna%20specifikacija%20BMU.pdf> (4.7.2013)
66. Medmrežje 34: <http://www.magneticseparations.com/products/recycling/near-infrared-unisort> (4.7.2013)
67. Medmrežje 35: [http://en.wikipedia.org/wiki/Chemical waste](http://en.wikipedia.org/wiki/Chemical_waste) (4.7.2013)
68. Medmrežje 36: <https://en.wikipedia.org/wiki/Solvent> (4.7.2013)
69. Medmrežje 37: <http://www.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch04/final/c4s07.pdf> (4.7.2013)
- Medmrežje 38: http://www.ucsus.org/clean_energy/our-energy-choices/renewable-energy/environmental-impacts-solar-power.html (4.7.2013)
70. **Meyer, H.** (2012). Act now, to prevent a ban. *PV magazine*. Št. 3, stran 38, 39
71. **Müller, A., Wambach, K., Alsema, E. (2005).** Life Cycle Analysis of a Solar Module Recycling Process. Medmrežje: <http://www.sjsu.edu/people/dustin.mulvaney/courses/envs116/s1/3EADA45D-CAB9-4316-B613-AB16F9CC20D1.pdf> (8.5.2012)
72. **Neidlein, H.C.** (2012). Improving Collection. *PV magazine*. Št. 3, stran 40, 41.
73. **Nicks, J. (2012).** Positive and Negative Effects of Recycling. Medmrežje: <http://www.buzzle.com/articles/positive-and-negative-effects-of-recycling.html> (7.5.2012)
74. Omplast. O materialih. Medmrežje: <http://www.omplast.com/o-materialih/> (28.3.2012)
75. **Phylipsen, G.J.M., Alsema, E.A. (1995).** Environmental life-cycle assessment of multicrystalline silicon solar cell modules. Medmrežje: <http://stuff.mit.edu/afs/athena/dept/cron/project/urban->

- [sustainability/Old%20files%20from%20summer%202009/Bjorn/solar/LCA%20silicon%20solar%20cell%20modules%201995.pdf](http://www.sustainability/Old%20files%20from%20summer%202009/Bjorn/solar/LCA%20silicon%20solar%20cell%20modules%201995.pdf) (3.4.2012)
76. Plastics Europe. Plastics: too valuable to be thrown away: Recovery, recycling and resource conservation. Medmrežje: http://www.plasticseurope.org/Documents/Document/20100511133557-FINAL_Too_valuable_to_waste_2009_LR_300909.pdf (28.3.2012)
77. **Podewils, C.** (2011). No resurrection: European module recycling organization Pv Cycle began with noble intentions, but the group may soon end up in the waste bin. *PHOTON International*. Nem ija, Št. 07, 72.
78. **Pravilnik o omejevanju uporabe dolo enih nevarnih snovi v elektri ni in elektronski opremi**, Ur. l. RS, št. 87/2009. Medmrežje: <http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200987&stevilka=3844> (28.3.2012)
79. PV Cycle. PV Cycle System. Medmrežje: <http://www.pvcycle.org/> (28.3.2012)
80. Recovynyl. PVC, a Recyclable Material - Ideal for Reprocessing. Medmrežje: <http://www.recovynyl.com/pvc-recyclable-material-ideal-reprocessing> (28.3.2012)
81. Recycling Plastics. Medmrežje: http://practicalaction.org/docs/technical_information_service/recycling_plastics.pdf (28.3.2012)
82. **Reddy, P. J.** (2010). *Science and Technology of Photovoltaics*: Second edition. Indija, BS Publications.
83. **Radziemska, E., Ostrowski, P., Seramak, T. (2008)**. Pure Silicon Recovering from Photovoltaic Modules. *Advances in Materials Sciences*. Medmrežje: <http://versita.metapress.com/content/93534lw6409w2874/fulltext.pdf> (8.9.2012)
84. **Radziemska, E., Ostrowski, P., Cenian, A., Sawczak, M. (2010)**. Chemical, Thermal, and Laser Processes in Recycling of Photovoltaic Silicon Solar Cells and Models. Medmrežje: [http://tchie.uni.opole.pl/freeECE/S_17_3/RadziemskaOstrowski_17\(S3\).pdf](http://tchie.uni.opole.pl/freeECE/S_17_3/RadziemskaOstrowski_17(S3).pdf) (8.5.2012)
85. Solar Thin Films. Amorphous Silicon Technology. Medmrežje: http://www.solarthinfilms.com/active/en/home/photovoltaics/amorphous_silicon_technology.html (5.4.2012)
86. **Stewart, D.** Aluminum Element Facts. Medmrežje: <http://www.chemicool.com/elements/aluminum.html> (28.3.2012)
87. Thin-Film Silicon Solar Cells. Medmrežje: http://ocw.tudelft.nl/fileadmin/ocw/courses/SolarCells/res00030/CH7_Thin_film_Si_solar_cells.pdf (5.4.2012)
88. Thomas Jefferson National Accelerator Facility - Office of Science Education. It's Elemental: The Element Aluminium. Medmrežje: <http://education.jlab.org/itselemental/ele013.html> (5.4.2012)
89. Thomas Jefferson National Accelerator Facility - Office of Science Education. It's Elemental: The Element Silicon. Medmrežje: <http://education.jlab.org/itselemental/ele014.html> (3.4.2012)
90. Types of Silicon Used in Photovoltaics (2010). Medmrežje: http://www.eere.energy.gov/basics/renewable_energy/types_silicon.html (5.4.2012)
91. Universal Recycling. Cable Recycling. Medmrežje: <http://www.universalrecyclingcompany.co.uk/cable-recycling.php> (4.9.2012)
92. **Uredba o odpadkih**, Ur.l. RS, št. 103/2011. Medmrežje: <http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=2011103&stevilka=4514> (28.3.2012)
93. **Uredba o ravnanju z odpadki**, Ur.l. RS, št. 34/2008. Medmrežje: <http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=200834&stevilka=1358> (28.3.2012)
94. **Uredba o ravnanju z odpadno elektri no in elektronsko opremo**, Ur.l.RS, št. 107/2006, 100/2010. Medmrežje: <http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=2006107&stevilka=4588> (29.3.2012)
95. **Weadock, N.** (2011). Recycling Methods for Used Photovoltaic Panels. Medmrežje:

<http://2011.solarteam.org/news/recycling-methods-for-used-photovoltaic-panels>
(26.4.2012)

96. **Whitburn, G.** 13 Fundamental Advantages and Disadvantages of Solar Energy. Medmrežje: <http://exploringgreentechnology.com/solar-energy/advantages-and-disadvantages-of-solar-energy/> (7.5.2012)
97. Zbornica za elektronsko in elektroindustrijo, (2011): Cilj omejevanja uporabe nekaterih nevarnih snovi (RoHS). Medmrežje: http://www.gzs.si/slo/panoge/zbornica_elektronske_in_elektroindustrije/rohs (28.3.2012)