

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

Katedra elektroenergetiky a ekologie

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Technologické možnosti materiálové recyklace
fotoelektrických článků**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jaroslav HAVEL**
Osobní číslo: **E09B0468P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Technologické možnosti materiálové recyklace fotoelektrických článků**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Diskutujte současný stav v získávání elektřiny pomocí technologie fotoelektrických článků.
2. Popište principy a technologie fotoelektrických článků pro výrobu elektřiny s ohledem na jejich materiálovou, energetickou a environmentální přijatelnost.
3. Vyhodnoťte současný stav potenciálního odpadu z technologie fotoelektrických článků.
4. Navrhněte nejpřijatelnější způsob materiálové recyklace těchto článků.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 20 - 30 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.


Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Eduard Ščerba, Ph.D.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání bakalářské práce: 17. října 2011

Termín odevzdání bakalářské práce: 3. června 2012


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 17. října 2011

Abstrakt

Předkládaná bakalářská práce je zaměřena na řešení problémů materiálové recyklace fotoelektrických článků. V první a druhé části práce pojednává o současném stavu získávání elektřiny pomocí této technologie. Dále pak hodnotí principy a technologie článků s ohledem na jejich materiálovou, energetickou či environmentální přijatelnost. Ve třetí části popisuje hlavní důvody vyřazení panelů z provozu a snaží se vyhodnotit množství fotovoltaického odpadu. V poslední části pak již popisuje současné nejpřijatelnější metody materiálové recyklace fotoelektrických článků.

Klíčová slova

Fotovoltaika/FV, fotovoltaický/solární/sluneční článek, technologie, struktura, systém, laminace, účinnost, panely, recyklace, konstrukce

Abstract

The presented undergraduate thesis is focused on solutions of photoelectric cell recycling. In the first two parts the thesis is discussing the current state of gathering electricity using this technology. Then principles and technologies of the cells is assessed with consideration of material, energetic or environmental acceptability. The third part is concerned with the main reasons of putting the panels out of order and attempts to evaluate the amount of photovoltaic waste. In the last part, the currently most acceptable methods of photoelectric cell recycling is described.

Key words

Photovoltaics/PV, photovoltaic/solar cell, technology, structure, system, lamination, efficiency, panels, recycling, construction

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě elektrotechnické Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne 15.6.2012

Jméno a příjmení:

Jaroslav Havel

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Mgr. Eduardovi Ščerbovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 FOTOVOLTAIKA A JEJÍ VÝVOJ, TYPY SYSTÉMŮ, LEGISLATIVA A FINANČNÍ NÁSTROJE PODPORY V ČR.....	11
1.1 FOTOVOLTAICKÁ ZAŘÍZENÍ.....	11
1.2 HISTORIE	11
1.3 GENERAČNÍ VÝVOJ	12
1.3.1 První generace.....	12
1.3.2 Druhá generace	13
1.3.3 Třetí generace.....	13
1.4 DRUHY FOTOVOLTAICKÝCH SYSTÉMŮ.....	14
1.4.1 Drobné aplikace.....	14
1.4.2 Grid-on systémy (systémy připojené k síti)	15
1.4.3 Grid-off systémy (samostatné ostrovní systémy).....	16
1.5 LEGISLATIVA A FINANČNÍ NÁSTROJE PODPORY V ČR	17
1.5.1 Princip výkupních cen.....	17
1.5.2 Princip zelených bonusů	18
2 FYZIKÁLNÍ PRINCIP SOLÁRNÍHO ČLÁNKU A PANELU, JEJICH TYPY A VLASTNOSTI	19
2.1 SOLÁRNÍ ČLÁNEK	19
2.2 SOLÁRNÍ PANEL	20
2.3 TYPY SOLÁRNÍCH ČLÁNKŮ A JEJICH VLASTNOSTI.....	21
3 PŘEDPOKLÁDANÉ MNOŽSTVÍ FV ODPADU K RECYKLACI.....	25
3.1 ŽIVOTNOST FV PANELŮ	25
3.2 DŮVODY VYŘAZENÍ FV PANELŮ.....	25
3.3 PV CYCLE	26
3.4 MNOŽSTVÍ INSTALOVANÝCH FV PANELŮ	27
3.5 MNOŽSTVÍ FV PANELŮ K RECYKLACI.....	29
3.6 PŘEDPOKLÁDANÉ MNOŽSTVÍ FV ODPADU V ČR A V EU	29
4 RECYKLACE FV PANELŮ	30
4.1 SOUČÁSTI PANELŮ, ZPŮSOBY A MOŽNOSTI JEJICH RECYKLACE	30
4.2 KONSTRUKČNÍ ÚPRAVY	32
4.3 TECHNOLOGIE RECYKLACE FVE ČLÁNKŮ	33
4.3.1 Termická metoda recyklace (termicko-chemická).....	34
4.3.2 Mechanicko - chemická metoda recyklace (kombinovaná metoda)	36
5 ZÁVĚR	38
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	39

Úvod

Téma této bakalářské práce se věnuje technologickým možnostem materiálové recyklace fotoelektrických článků. Recyklace je totiž vedle samotné výroby jednou z energeticky nejnáročnějších fází celého životního cyklu panelu a vzhledem k tomu, že fotovoltaika má být environmentálně šetrným zdrojem energie, je potřeba na ni klást zvláštní důraz. Momentálně je ale tato problematika zatím poměrně na okraji zájmu, zejména proto, že panely mají poměrně dlouhou životnost a masověji jsou instalovány teprve v posledních letech. Do budoucna nás tento problém ale jistě nemine.

Obsah práce je rozdělen do čtyř hlavních kapitol. V prvním a druhé kapitole se snažím srozumitelnou a jednoduchou formou osvětlit současné základní principy výroby elektrické energie pomocí této technologie. Poslední dvě části se již snaží vyhodnotit do budoucna předpokládané množství tohoto odpadu k recyklaci a popisují v současné době zřejmě nejpokročilejší ozkoušené metody recyklace panelů.

V samotném závěru práce shrnuje a hodnotí tyto metody s ohledem na jejich účinnost a vhodnost pro různé typy fotovoltaických panelů.

Seznam symbolů a zkratk

FV.....	fotovoltaika
OZE.....	obnovitelné zdroje energie
Wp.....	špičkový výkon
N.....	materiál s elektronovou vodivostí
P.....	materiál s děrovou vodivostí
EVA.....	fólie z ethylen vinyl acetátu
PV.....	photovoltaics
UV.....	ultrafialové záření
IČ.....	infračervené záření
Eg.....	šířka zakázaného pásu
Si.....	křemík
Ge.....	germánium
CIS.....	směsné polovodiče

1 Fotovoltaika a její vývoj, typy systémů, legislativa a finanční nástroje podpory v ČR

1.1 Fotovoltaická zařízení

Fotovoltaická (dále většinou už jen FV) zařízení dnes představují vcelku jednoduchou a elegantní metodu výroby energie, při které dochází k přeměně slunečních paprsků na elektřinu. Fotovoltaika je způsob výroby elektřiny pomocí polí FV (solárních) článků, tedy buněk vytvořených z polovodičového materiálu, které jsou schopny fotoelektrického jevu, při němž se energie slunečního záření přímo přeměňuje na elektřinu. Fotoelektrické články využívají principu fotoelektrického jevu, při kterém částice světla (fotony) dopadají na tento článek a předáním své energie z něho tzv. „vyrážejí“ elektrony. Článek následně díky své polovodičové struktuře sjednotí pohyb elektronů na využitelný stejnosměrný elektrický proud. Stejných základních stavebních prvků využívají aplikace s nepatrným výkonem, jako je například napájení kalkulačky až po elektrárny s výkony v MW.



Obr. 1 Fotovoltaické panely [10]

1.2 Historie

Za objevitele fotoelektrického jevu je považován Alexandr Edmond Becquerel, který jej odhalil při experimentech v roce 1839. Slova fotovoltaika má původ v řečtině a je tvořeno ze dvou slov, řeckého φως [phos] = světlo a ze jména italského fyzika Alessandra Volty. Albert

Einstein v roce 1904 tento jev fyzikálně popsal a v roce 1921 dostal za práce pro rozvoj teoretické fyziky a především objev zákona fotoelektrického efektu Nobelovu cenu. Jeden z dalších držitelů tohoto prestižního ocenění Robert Millikan, pak platnost tohoto jevu roku 1916 experimentálně prokázal. Nicméně první pokusy s fotočlánky spadají o dost dále do historie, přesněji až do sedmdesátých let 19. století. V této době byly poprvé zjištěny změny vodivosti u selenu při jeho osvětlení. První selenový fotočlánek s tenkou vrstvou zlata a s účinností pod 1 % byl poté sestrojen Charlesem Frittsem kolem roku 1883. V roce 1941 dochází k rozvoji už křemíkových solárních článků. Russell Ohl, který byl také u počátku tohoto rozvoje podal v roce 1946 první patent na solární článek. O pár let déle roku 1954 je vyroben z krystalického křemíku první skutečný FV článek s 6 % účinností. Na jeho vývoji se podíleli v Bellových laboratořích G.L. Pearson, D. Chapin a C. Fuller. [11]

Nástupem rozvoje kosmického výzkumu v šedesátých letech 20. století dochází zároveň i k většímu rozvoji FV, kde se sluneční články využívají jako zdroj energie pro družice. Ruský Sputnik 3, který byl vypuštěn 15. května 1957, se stal první družicí, která dokázala v praxi využít k získání energie sluneční paprsky. Ropná krize v roce 1973 se stala dalším důležitým mezníkem v rozvoji FV a především výzkumu a vývoje v celé této oblasti. V dnešní době má už samozřejmě FV různé využití, ke kterému se dostaneme v následujících kapitolách. [11]

1.3 Generační vývoj

Prakticky jako všechny technologie, samozřejmě i fotoelektrické články prošli různými stupni vývoje, které se lišili především podle možností dané doby, úrovně výzkumu a vývoje a daných nároků na ně.

1.3.1 První generace

První generace je dodnes nejrozšířenější technologií na trhu, která představuje přibližně 90 % veškeré produkce a ještě v i několika příštích letech bude na trhu suverénně dominovat. Články první generace využívající jako základ křemíkové desky a dosahují docela vysoké účinnosti přeměny energie. V průmyslové výrobě je to okolo 16 až 19 % a u speciálních struktur dokonce až 24 %. Jejich hlavní nevýhodou jsou poměrně vysoké náklady na výrobu a to hlavně kvůli drahému krystalickému křemíku. [11]

1.3.2 Druhá generace

Články druhé generace se na trh dostávají v polovině osmdesátých let. Hlavním důvodem impulsu pro jejich rozvoj je zejména snaha o snížení výrobních nákladů právě úsporou drahého základního materiálu - křemíku. Tyto články mají oproti první generaci 100 krát až 1000 krát tenčí aktivní absorbující polovodičovou vrstvou, odborně nazývanou jako thin-film. Typickými zástupci druhé generace jsou například články z amorfního a mikrokrystallického křemíku, popřípadě silicon-germania nebo silicon-karbidu. Dále také ještě směsné polovodiče, obecně označované zkratkou CIS z materiálů jako Cu, In, Ga, S, Se. Výhodou je tedy určitě pokles potřebných vstupních materiálů a následné snížení výsledných výrobních nákladů oproti první generaci článků. Další plusem technologie tenkovrstvých článků je možnost volby substrátu, na něž se tenkovrstvé struktury deponují. Při použití flexibilních materiálů, jako jsou například organické, kovové či textilní fólie, je pak kladem i jejich značně širší aplikační sféra. Oproti těmto výhodám je naopak hlavním problémem tenkovrstvých článků dosahovaná účinnost. Ta se bohužel v sériové výrobě pohybuje obecně pod 10 %. [11]

1.3.3 Třetí generace

Třetí generace solárních článků měla představovat pokus o FV revoluci. Hlavní cíle u této technologie je snaha o co největší využití dopadajícího slunečního záření. Toho se dosahuje maximalizací počtu absorbovaných fotonů a následně vygenerovaných párů elektron - díra, tzv. „proudového zisku“. Zároveň ale i maximálního využití energie dopadajících fotonů, tzv. „napěťového zisku“ FV článků. Dnes se věnuje ve výzkumu pozornost mnoha dalším směrům technologických inovací, jako například:

- vícevrstvé solární články
- organické články
- články s vícenásobnými pásy
- články, které by používaly „horké“ nosiče náboje pro generaci více párů elektronů a děr
- termofotovoltaická přeměna, kde absorbér je zároveň i radiátorem vyzařujícím selektivně na jedné energii
- termofotonická přeměna, kde absorbér je substituován elektroluminiscencí
- články využívají kvantových jevů v kvantových tečkách nebo kvantových jamách

- prostorově strukturované články vznikající samoorganizací při růstu aktivní vrstvy

Třetí generace má ale momentálně pouze jediného dobře fungujícího zástupce na trhu. Těmi jsou vícevrstvé struktury. Přesněji se jedná o dvojvrstvé, tzv. „tandemy“ a trojvrstvé články, které přímo navazují na druhou generaci. Ty zvyšují energetickou využitelnost dopadajících fotonů tak, že každá ze sub-struktur p-i-n absorbuje jen určitou část spektra. Struktura takového tandemu se skládá z p-i-n přechodu hydrogenovaného amorfního křemíku (a-Si:H) a p-i-n přechodu hydrogenovaného mikrokrytalického křemíku ($\mu\text{c-Si:H}$). Přechod mikrokrytalického křemíku absorbuje dobře v oblasti červené a infračervené a naopak amorfni křemík má velmi dobrou účinnost absorpce v oblasti modré, zelené a žluté části spektra. Také je i možné nahradit mikrokrytalický křemík „slitinou“ křemíku s germániem, čímž se dají měnit optické i elektronické vlastnosti, právě dle zvoleného poměru těchto prvků. Tento kombinovaný materiál se používá u již zmíněných trojvrstvých modulů, kde se liší koncentrace Si a Ge u dvou spodních článků a tím se dosahuje požadovaných vlastností. Důležitou podmínkou pro správnou funkci je generování stejných proudů u každého článku. V případě nesplnění této podmínky pak limituje dosažitelnou účinnost ten nejhorší ze článků. Výsledné napětí je rovno součtu obou, popřípadě všech článků. [11]

1.4 Druhy fotovoltaických systémů

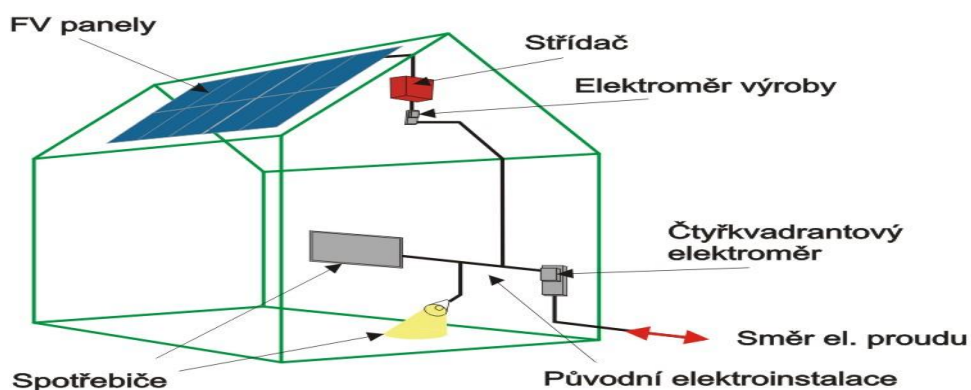
Dle způsobu využití můžeme FV systémy rozdělit do 3 základních skupin a to na drobné aplikace, systémy připojené k síti a samostatné ostrovní systémy. Tyto systémy si stručně popíšeme v dalších kapitolách. Jednoznačně ale tou nejvýznamnější skupinou jsou síťové systémy. To platí jak třeba u nás, tak v sousedním Německu, kde tvoří dokonce přes 90 % veškerých instalací.

1.4.1 Drobné aplikace

Není to asi nic nečekaného, že na FV trhu tvoří zrovna drobné aplikace tu nejmenší část. Nicméně i přes tento fakt se dá ale s jistotou napsat, že to rozhodně není zanedbatelný podíl trhu. Každý určitě zná například FV články v kalkulačkách či třeba solární nabíječky akumulátorů. Drobné aplikace mají své malé, ale přesto pevné místo na trhu, jelikož obzvlášť v dnešní době velmi stoupá poptávka po těchto zařízeních poskytujících okamžité dobíjení akumulátorů. Nabíjecí zařízení jsou totiž velmi praktické například při dovolených ve volné přírodě, kde mohou posloužit k dobíjení mobilních telefonů, notebooků či fotoaparátů. [11]

1.4.2 Grid-on systémy (systémy připojené k síti)

Jak už název sám napovídá, nejvíce uplatnění mají tyto systémy samozřejmě v oblastech s hustou sítí elektrických rozvodů. Vyrobenou elektrickou energií je možné pohánět vlastní spotřebiče budovy a případný přebytek při velkém slunečním svitu je dodáván do veřejné rozvodné sítě. V opačném případě při nedostatku slunečního svitu a tedy následně nedostatku vlastní energie, je pak elektrická energie naopak z rozvodné sítě odebírána. Celý tento systém je zcela automatizovaný díky mikroprocesorovému řízení síťového střídače. Pro připojení do sítě je nutné podat žádost a projít schvalovacím řízením u rozvodných závodů. Systémy připojené k rozvodné síti mají špičkový výkon od jednotek kW až po jednotky MW. [11]



Obr. 2 Schéma grid-on systému [20]

Tento typ systému se jevil obzvlášť teď v minulých letech, za předpokladu dotace od státu, jako velmi dobrá a zajímavá investiční činnost. Veškerá vyprodukovaná energie je prodávána do sítě za tzv. výkupní tarify. U nás byla výkupní cena pro rok 2007 stanovena dokonce na neskutečných 13,46 Kč/kWh, jakožto cena minimální s garancí této částky po dobu minimálně 15 let. Není proto divu, že FV elektrárny za poslední léta opravdu hojně přibývali. Možností aplikací je nespočet, ale mezi nejvyužívanější plochy patří třeba střechy rodinných domů (1-10 kW_p), fasády a střechy administrativních budov (10 kW_p – stovky W_p), FV elektrárny na volné ploše nebo protihlukové bariéry okolo dálnice. Základními komponenty grid-on FV systémů jsou: [11]

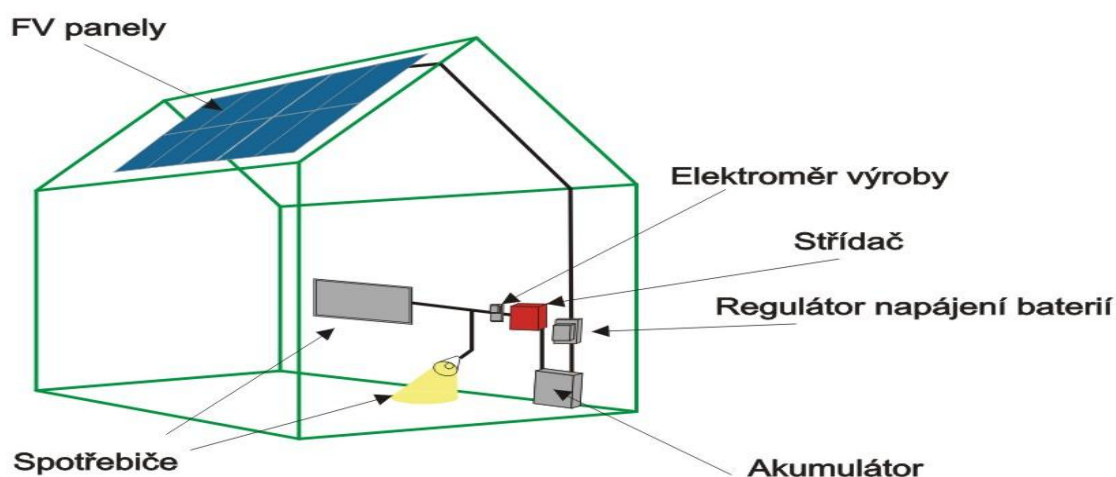
- FV panely
- kabeláž

- střídač neboli měnič napětí, který z napětí stejnosměrného vyrábí střídavé (230V/~50Hz)
- elektroměr na měření vyrobené elektrické energie
- popřípadě ještě sledovač Slunce, indikační a měřicí přístrojů

1.4.3 Grid-off systémy (samostatné ostrovní systémy)

V místech, kde není k dispozici rozvodná síť a je zde potřeba střídavého napětí 230V přichází na řadu poslední skupina FV systémů, nazvaná jako tzv. „ostrovní systémy“. Jejich instalace má zejména ekonomické důvody a využívá se obvykle v místech, kde by vybudování přípojky stálo více či srovnatelně, jako náklady na FV systém. Typickými představiteli jsou především odlehlé objekty, kupříkladu karavany, chaty, jachty, napájení dopravní signalizace, světelné reklamy, zahradní svítidla apod. [11]

Systémy grid-off se ještě dále dělí na systémy hybridní, systémy s přímým napájením a systémy s akumulací elektrické energie. [11]



Obr. 3 Schéma grid-off systému [30]

1.5 Legislativa a finanční nástroje podpory v ČR

V oblasti legislativy hraje v ČR velmi důležitou roli zákon č. číslo 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a o změně některých zákonů (zákon o využívání obnovitelných zdrojů). Hlavním cílem tohoto zákona měla být stabilizace podnikatelského prostředí v oblasti obnovitelných zdrojů energie, dále zvýšení atraktivnosti těchto zdrojů pro investory a v neposlední řadě určitě i vytvoření dobrých podmínek pro vyvážený rozvoj OZE v ČR. [11]

Další významné právní normy:

- Bílá kniha o obnovitelných zdrojích energie (1997)
- Vyhláška č. 475/2005
- Novelizovaná vyhláškou č. 364/2007 Sb.
- Vyhláška č. 150/07 Sb. e
- Cenové rozhodnutí ERÚ č. 7/2007
- Směrnice 2001/77/EC

V oblasti týkající se finanční podpory se ČR zavázala splnit cíl 8 % hrubé výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů na domácí hrubé spotřebě elektřiny k roku 2010. Hlavní myšlenkou tohoto závazkem byla snaha o vytvoření takových tržních a legislativních podmínek, které udrží důvěru a zájem investorů o technologie na bázi OZE. Česká republika proto zavedla do svého právního řádu Směrnicí 2001/77/ES prostřednictvím Zákona č. 180/2005 Sb., jež je takto definována. Konkrétní nástroje k dosažení tohoto cíle už ovšem směrnice nedefinuje a ponechává volbu na rozhodnutí členských států. [11]

U nás se zavedl kombinovaný mechanismus výkupních cen, tzv. „feed-in tariff“, společně v kombinaci se systémem zelených bonusů. Tento systém vcelku dominuje po celé Evropě a nejen zde. Přesto však existují i jiné způsoby podpory, které ve směs feed-in tariff doplňují. [11]

1.5.1 Princip výkupních cen

Pro provozovatele přenosové nebo distribuční soustavy plyne povinnost dle zákona č. 180/05 Sb. připojit FV systém do přenosové soustavy a všechnu vyrobenou elektřinu na kterou se stahuje podpora vykoupit. Cena je určena Energetickým regulačním úřadem (viz.

Cenové rozhodnutí č.8/2006) pro daný rok a tato cena bude po dobu následujících patnácti let vyplácena jako minimální (navyšuje se o index PPI). Povinnost investora je podávat hlášení o naměřené výrobě v půlročních intervalech. [11]

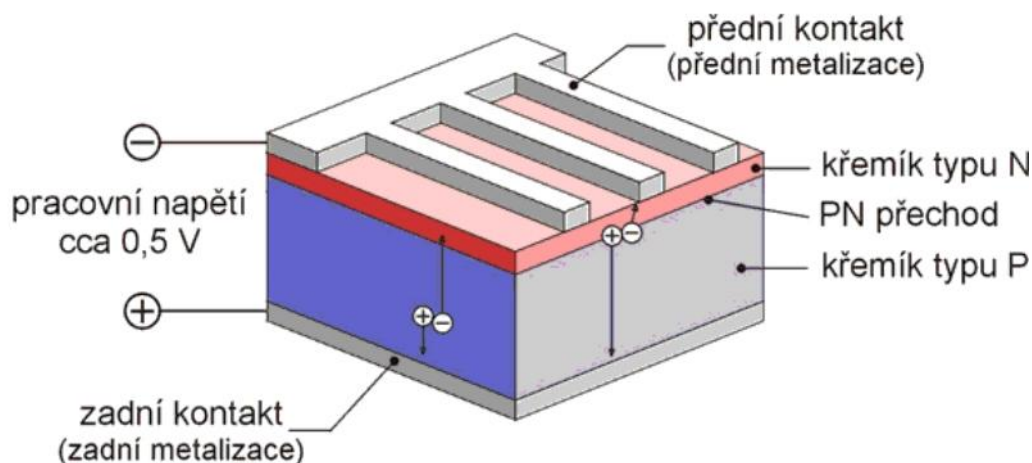
1.5.2 Princip zelených bonusů

Druhé schéma podpory, které si může investor vybrat je tzv. „zelený bonus“. Tímto zeleným bonusem je finanční částka navyšující tržní cenu elektřiny, která bere v potaz snížené poškození životního prostředí využitím obnovitelného zdroje. Výrobce elektřiny si na trhu musí sehnat obchodníka, kterému elektřinu prodá za tržní cenu. Tato cena je nižší oproti ceně konvenční elektřiny, protože v sobě zahrnuje nestabilitu výroby, a je jiná pro různé typy OZE. Ve chvíli prodeje dostává výrobce od provozovatele distribuční soustavy tzv. „zelený bonus neboli prémii“. Výši premii stanovuje regulační úřad tak, aby výrobce dostal za jednotku prodané elektřiny o něco vyšší částku než v systému pevných výkupních cen. [11]

2 Fyzikální princip solárního článku a panelu, jejich typy a vlastnosti

2.1 Solární článek

Fotoelektrický, solární nebo také fotovoltaický článek je polovodičový prvek, jehož fyzikální princip je založen na přímé přeměně dopadající světelné energie v podobě svitu na elektrickou energii. Jedná se vlastně o velkoplošnou diodu minimálně s jedním PN přechodem. V solárním článku jsou generovány elektricky nabitě částice (páry elektron – díra) vlivem dopadajícího slunečního záření, které předává článku část své energie. Díky vnitřnímu elektrickému poli PN přechodu jsou díry a elektrony separovány. Separace náboje způsobuje napěťový rozdíl mezi „předním“ (-) a „zadním“ (+) kontaktem solárního článku. Mezi oba kontakty je zapojený vnější obvod, ve kterém pak protéká stejnosměrný elektrický proud. Velikost protékajícího proudu je přímo úměrná intenzitě slunečního záření a ploše solárního článku. [11]



Obr. 4 Řez polovodičem FV článků [4o]

Hodnota napětí jednoho článku se pohybuje okolo 0,5 V a je příliš malá pro další běžné využití. Ovšem propojením více článků do série dostáváme hodnotu napětí, jež se už dá použít v různých typech FV systémů. Běžně se používají sestavy pro jmenovité provozní napětí 12 nebo 24 V. Sestavy solárních článků v sériovém nebo i občas sériově-paralelním uspořádání jsou nakonec hermeticky zapouzdřeny ve struktuře krycích materiálů výsledného solárního panelu. [11]

Sluneční záření se na povrchu Země skládá z fotonů různých vlnových délek a tedy i různých energií. Lidským okem je viditelná jen část slunečního spektra v oblasti 380 až 780 nanometrů. Část spektra s kratší vlnovou délkou se označuje jako ultrafialová (UV) a má větší

energie, oblast s delší vlnovou délkou se nazývá infračervená (IČ). [11]

Jeden z hlavních a možná i nejdůležitějších požadavků na solární články je jejich schopnost pohlcovat co nejširší oblast slunečního spektra a schopnost co nejlépe využít energii dopadajících fotonů. Pokud totiž dopadne na křemík foton s energií pod 1,1 eV, tak projde křemíkem a nedojde k jeho absorpci. Tato hranice předávané energie totiž odpovídá šířce tzv. zakázaného pásu ($E_g = E_c - E_v$) a tedy „absorpční hraně“ křemíku. V opačném případě, dopadne-li na křemík foton s energií větší než je tato hranice, dochází k jeho absorpci a v polovodiči vznikají překonáním zakázaného pásu volné nosiče náboje v podobě kladně nabitě díry a záporně nabitého elektronu. Sluneční článek je složen z části materiálu typu „N“ s elektronovou vodivostí, což je například křemík s příměsí fosforu a z části materiálu typu „P“ s děrovou vodivostí, jejímž příkladem je křemík s příměsí boru. Na přechodu těchto dvou typů materiálů (p-n přechod) dojde k rozdělení elektronů a děr. Na kontaktech vznikne napětí v případě křemíku typicky 0,5-0,6 V a pokud zapojíme ke kontaktům zátěž, protéká elektrický proud. [11]

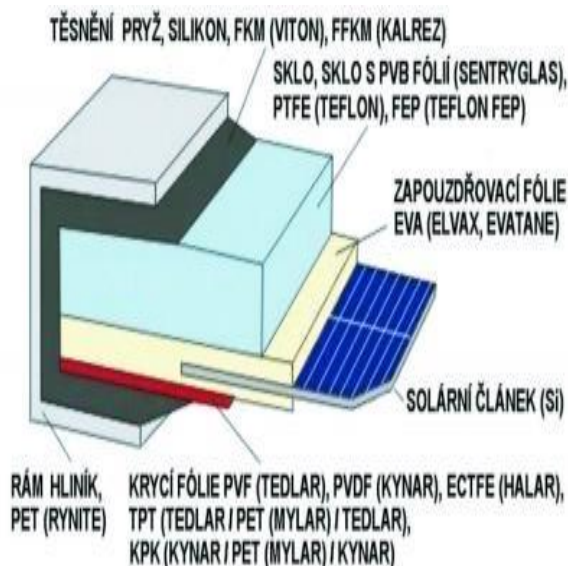
2.2 Solární panel

Zapouzdřením a propojením těchto solárních článků vzniká FV panel. Propojení článků může být sériové či paralelní. Hlavním cílem panelů je hermetické zapouzdření solárních článků, které by mělo zajistit dostatečnou mechanickou a klimatickou odolnost vůči silnému větru, krupobití, mrazu apod. Dle typu využití panelu se používají příslušné konstrukce, kterých je rozmanitá nabídka. Obvod FV panelů je zpravidla zajištěn duralovým rámem, jenž má za úkol zpevnit celou konstrukci panelu a zároveň usnadnit uchycení ke konstrukci FV systému. Na přední část se využívá materiál ze speciálně taveného skla, které zvládá odolávat i velmi nepříznivým vlivům počasí, jako třeba silnému krupobití.

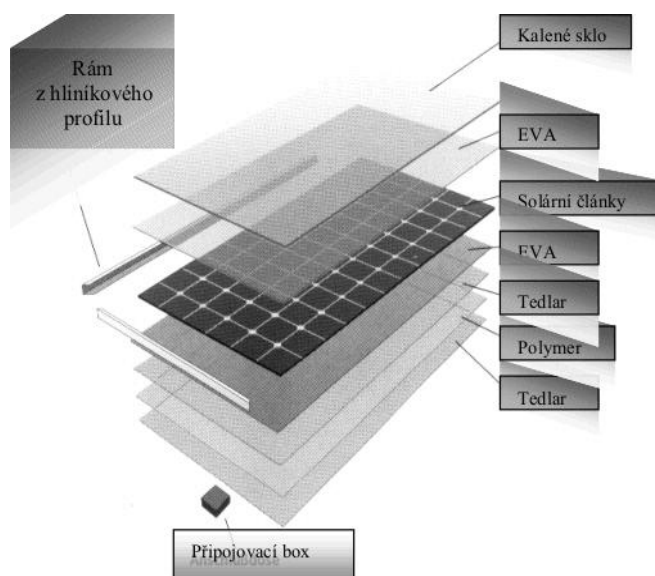


Obr. 5 FV panel [50]

Na obrázku 6 a 7 níže je dobře znázorněný řez a skládané konstrukce FV panelu. Zřejmě je z obrázků i vcelku složitá konstrukce panelu prováděná během výroby, tzv. „laminace“.
[11]



Obr. 6 Řez FV panelem [60]



Obr. 7 Skládaná struktura FV panelu [70]

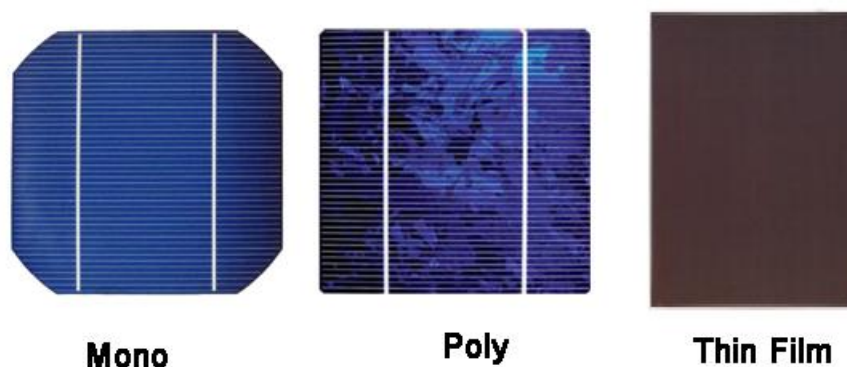
Nejpodstatnější součásti konstrukce z aplikačního hlediska se nachází nad povrchem čelní strany FV článku. Tím je tedy kalené sklo (popřípadě teflon, litá pryskyřice) a tzv. EVA fólie (ethylen vinyl acetát). Ochranné kalené sklo má velice stabilní optické vlastnosti a k úbytku optické prostupnosti u něj může dojít pouze znečištěním povrchu vlivem okolního prostředí. Oproti tomu EVA fólie už tak dobré optické vlastnosti nevykazuje. U tohoto organického materiálu může vlivem silného UV záření docházet k tzv. „efektu žloutnutí“. To má za následek pokles optické transparentnosti s nepříznivým dopadem na počet generovaného elektrického výkonu solárními články. Složení modulů z tenkovrstvých slunečních článků je rozdílné od struktury panelů z krystalických křemíkových článků. To je dáno již užitou naprosto odlišnou technologií při výrobě, při níž je v dílčích krocích na skleněný velkoplošný substrát plazmaticky deponována celá aktivní struktura. [11]

2.3 Typy solárních článků a jejich vlastnosti

Solární článek se skládá ze dvou vrstev krystalického křemíku. Vrchní vrstva křemíkového plátku je sycena obvykle fosforem (polovodič typu N) a spodní strana je potištěna mřížkou stříbra (Ag) s příměsí hliníku (Al). Hliník v průběhu výrobního procesu

pronikne do křemíkového plátku a vytvoří vrstvu P (polovodič typu P). Ve vrstvě N je přebytek elektronů a ve vrstvě P jejich nedostatek (díry). Tento rozdíl je způsoben právě sycením plátku křemíkového krystalu dotujícími látkami. Mezi těmito vrstvami se vytvoří NP přechod, který zabraňuje přenosu volných, přebytečných elektronů z vrstvy N přímo do vrstvy P, tzv. „elektrická bariéra“. Jednotlivé články jsou obvykle spojovány do větších celků, panelů, které jsou schopné podávat dostatečný výkon. Účinnost přeměny energie se obvykle pohybuje mezi 15–25 % (25% obvykle jen v laboratorních podmínkách a se stářím panelů pozvolna klesá). V průběhu vývoje byly křemíkové destičky vyráběny z různých forem křemíku nebo jiných materiálů. [6] [2]

Na našem trhu se nejvíce objevují 3 druhy článků a to monokrystalické, polykrystalické a amorfni. Ty mají svoji specifikaci a vlastnosti dle použitých forem křemíku, jiných materiálů a technologie.



Obr. 8 Monokrystalický, polykrystalický a amorfni článek FV panelu [80]

- **Články z amorfniho křemíku**

Amorfni látky nemají pravidelnou krystalickou mřížku a jsou to látky pevného skupenství. Klasickým příkladem takové látky je například sklo. U těchto článků je křemík v tenké vrstvě nanášen neboli tzv. „napařován“ na sklo nebo fólii. Články z amorfniho křemíku jsou využívány v praxi více než 20 let a jejich hlavní výhodou je nízká cena. Jejich účinnost je ale oproti monokrystalickým nebo polykrystalickým článkům rozhodně nižší. Pohybuje se běžně v rozmezí 7 - 9 % a u nejnovějších typů se blíží 10 %. Zmenší účinnosti pramenní tudíž hned další nevýhoda a to dva a půl krát větší potřebná plocha k dosažení stejného výkonu jako u monokrystalických či polykrystalických panelů. Kladem je naopak udržení napětí na článku i při menším intenzitě svitu, čímž je celoroční výnos průměrně o 10 % vyšší. Články

z amorfních materiálů dnes tedy patří mezi nejlevnější na trhu a jejich volba je především vhodná tam, kde investor není omezen prostorem. [1]

- **Články z monokrystalického křemíku**

Monokrystal je makroskopický krystal, který má minimální počet poškození krystalové struktury. Příkladem monokrystalu je samozřejmě křemík, dále třeba ještě diamant či sůl kamenná. Vyrábí se chemickým procesem tažením roztaveného křemíku ve formě tyčí o průměru až 300 mm, tvořených jediným krystalem křemíku. Krystal je po té rozřezán na tenké plátky o velikosti přibližně 10 cm, tzv. „podložky“. Monokrystalické články jsou zatím v našich podmínkách stále nejčastěji využívány. Účinnost se pohybuje mezi 13 až 17 %. [6]

- **Polykrystalické články**

Polykrystaly jsou pevné látky tvořené z mnoha monokrystalických segmentů, které jsou na sobě nezávisle orientované. Jde o obdobný princip, pouze s tím rozdílem, že rozřezávaná tyč je tvořena více krystaly. Účinnost nepřesahuje 16 %, nicméně výroba je mnohem jednodušší a levnější ve srovnání s monokrystalickými panely, což ve finále vynahradí jejich účinnost. Velmi levné a poměrně účinné (kolem 10%) jsou polykrystalické články z teluria kadmia (CdTe). Nicméně je zde velmi problematický obsah jedovatého kadmia, díky němu jsou po vyřazení považovány za nebezpečný odpad a hůře se recyklují. [2] I tuto technologii lze považovat za ekologičtější ve srovnání s klasickými elektrárnami – emise olova, kadmia a mědi jsou při stejné energetické produkci nižší. [5,6]

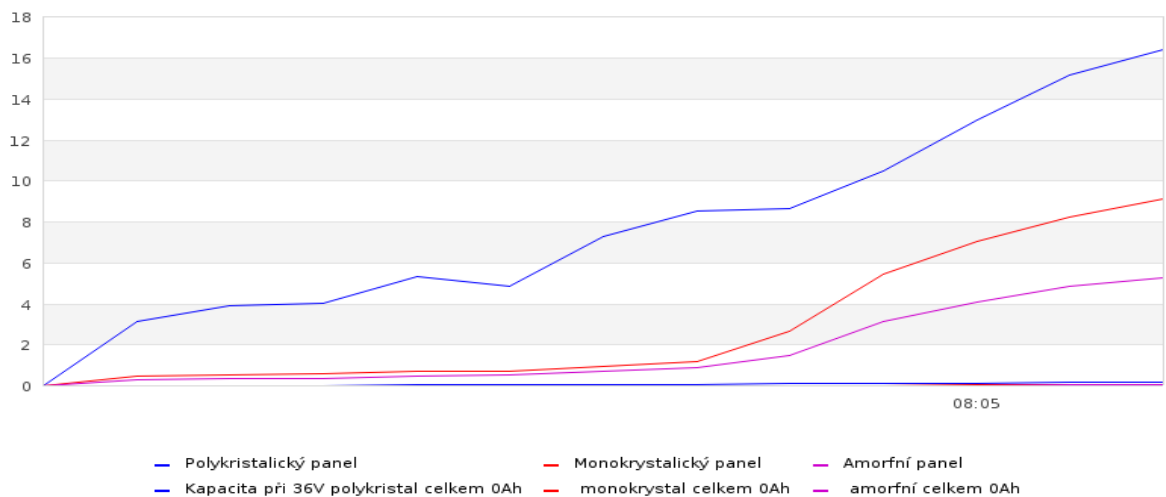
- **Články z jiných materiálů**

Dobré účinnosti až 20% dosahují např. tenkovrstvé články z komplexu CuInGaSSe. Nejsou zatím masově vyráběny a vzhledem k omezeným zdrojům india a náročnosti technologie se pravděpodobně šířit nebudou. Dalšími alternativami jsou články na bázi organických materiálů, které ale dosud nejsou masově vyráběny. [2,4]

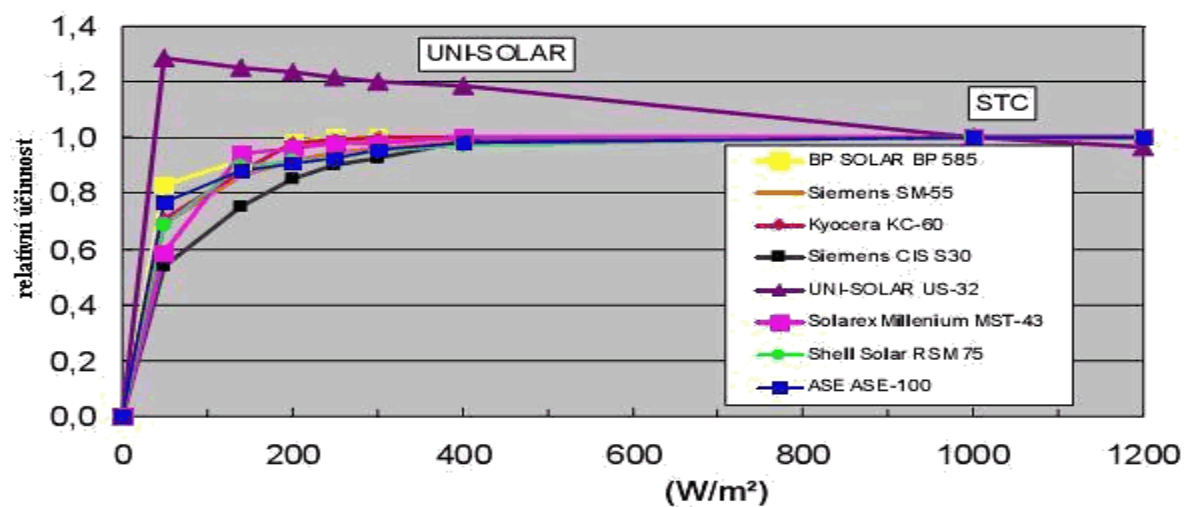


Obr. 9 zleva: amorfnní modul, polykrystalický modul, monokrystalický modul a velkoplošný monokrystalický modul [9o]

Výkon různých solárních panelů popočteny na 1m²



Graf 1 Porovnání stability výkonu různých solárních článků během dne [1g]



Graf 2 Účinnosti přeměny různých solárních článků [2g]

3 Předpokládané množství FV odpadu k recyklaci

3.1 Životnost FV panelů

Životnost panelu definujeme jako snížení jeho výkonu o 20 %. U běžně na trhu dostupných krystalických a tenkovrstvých panelů skoro všichni výrobci zaručují maximální pokles účinnosti za 10 nebo 12 let o 10 % a o 20 % za 25 let. Oproti praxi je tato garance maximálního poklesu účinnosti vcelku přehnaná. Skutečná životnost bude totiž mnohem delší, protože u nejstarších instalovaných modulů byl zatím naměřen pokles účinnosti za 25 let o přibližně 6 až 8 %. [12]

Pokud tedy budeme vycházet z definice životnosti, jako poklesu účinnosti panelu o 20 %, lze očekávat životnost výrazně delší. U kvalitně provedených panelů minimálně 30 až 40 let od jejich instalace. Ovšem i po této době mohou být panely stále funkční, akorát jejich účinnost bude i nadále postupně klesat. V této době se pak naskytne na zvážení otázka, zda zainvestovat do nových panelů nebo vyrábět elektřinu s nižší účinností. To bude už individuální záležitost pro každého investora. Nicméně ani při volbě investora do nových instalací to nemusí znamenat likvidaci panelů. Staré panely mohou být prodány dále právě takovým zájemcům, pro které je nízká cena panelů důležitějším faktorem než jejich účinnost. Tím by se mohla znovu o dost prodloužit životnost panelů a to dle momentálních odhadů až k hranici 50 i více let. [12]

3.2 Důvody vyřazení FV panelů

Hlavním důvodem vyřazení panelů bylo například v roce 2010 jejich mechanické poškození způsobené většinou během montáže nebo při přepravě. Nicméně i přesto tento fakt je mechanická odolnost panelů velmi vysoká. Při standartních zátěžových zkouškách jsou panely mimo jiné například testovány ostřelováním kroupami o velikosti 25 mm s rychlostí až 100 km/h. [12]

Po instalaci panelů se v prvních měsících a letech mohou objevit skryté vady materiálu, na které nepřišla výstupní kontrola kvality ve výrobním závodě. U kvalitního výrobce jde ale podíl těchto závad obvykle hluboko pod 1 % objemu dodávek. [12]

Nejčastějším problémem u panelů bývá tzv. „delaminace“, kdy vlivem působení teploty a UV záření dojde k rozlepení vrstvené (tzv. „sendvičové“) struktury panelu. Tento problém se pak zpravidla týká celé výrobní série. [12]

Dále se mohou projevit ještě třeba výrobní chyby nebo použití nekvalitních materiálů.

Tyto problémy jsou ovšem spojeny už s celkově méně kvalitní produkcí panelů.

3.3 PV Cycle

S narůstajícím počtem vyprodukovaných panelů a na ně navazující průmysl a obchod vznikl k recyklaci FV panelů celoevropský systém PV Cycle. Jde o dobrovolnou aktivitu výrobců a dodavatelů solárních panelů založenou především na budování zeleného image oboru. K tomu tedy samozřejmě patří zodpovědnost za výrobek v průběhu jeho celého životního cyklu až po zodpovědnost za nakládání s odpadem v souladu s rámcovou směrnicí o odpadech 2008/98/ES. Jde vlastně o období kolektivních systémů, které zajišťují třídění, sběr a recyklaci baterií a elektro odpadu (EcoBat, Asekol, Rema aj. působící u nás). Zajišťuje se odvoz jak malých množství panelů z domácností, tak velkých počtů panelů z elektráren. [3]

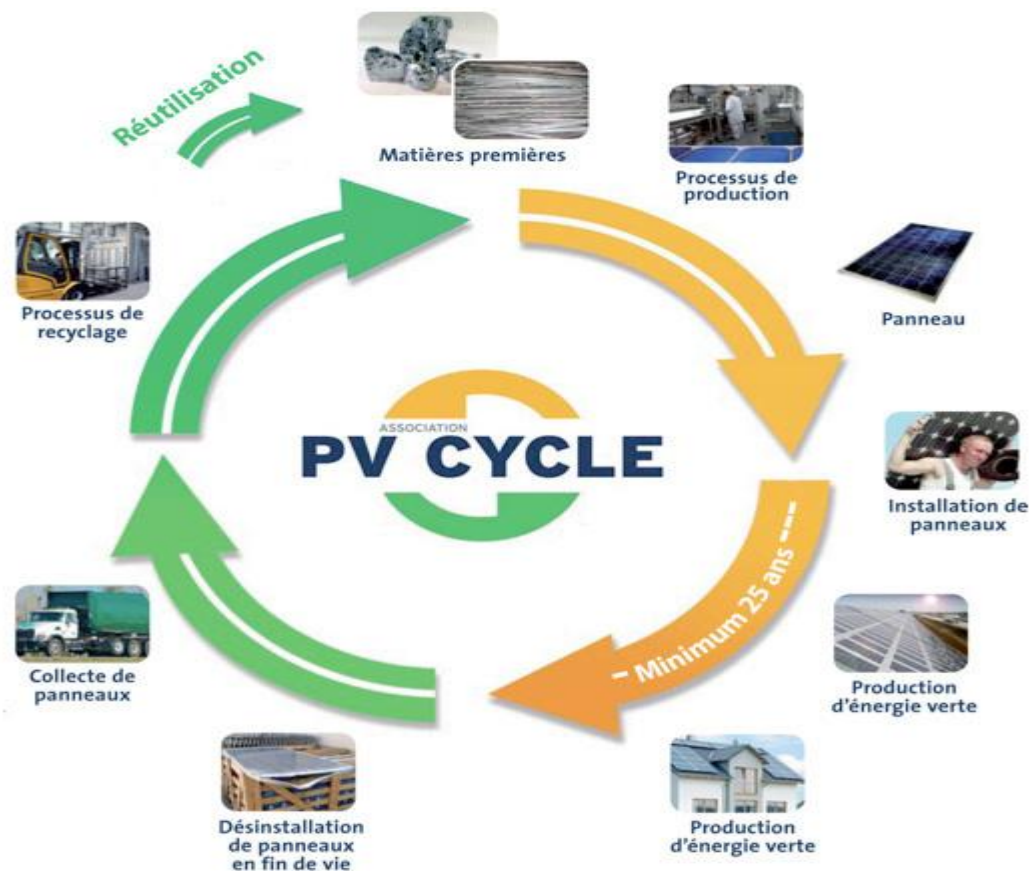
Z důvodů rozdílné technologie u recyklace krystalických křemíkových panelů a tenkovrstvých panelů jsou ve sběrném dvoře zařizovány dva kontejnery. Jeden kontejner je tedy připraven na krystalické křemíkové panely, druhý na panely tenkovrstvé. Po zaplnění jsou odvezeny k recyklaci a kontejner vyměněn za prázdný. Při likvidaci FV elektrárny je volen jednodušší postup, kdy kamion určený pro dopravu panelů k recyklaci přijede přímo k likvidované elektrárně.[12]

V České Republice se nachází první sběrný dvůr na FV panely v Českých Budějovicích (TERMS a.s.). Systém PV Cycle je financován výrobcí panelů respektive dodavateli na evropský trh. [12]



Obr. 10 První sběrný dvůr PV Cycle na FV panely [10o]

Obr. 11 Znárodnění koloběhu PV Cycle [11o]



3.4 Množství instalovaných FV panelů

Pokud nebudeme počítat pár drobných instalací z předchozích let, byly u nás nejstarší panely dány do provozu v období let 2000 až 2006 (tenkrát v rámci programu Slunce do škol). Počet těchto panelů a jejich výkonu je ovšem s porovnáním s nadcházejícími léty naprosto zanedbatelný. [12]

V roce 2006 totiž dochází k velkému nárůstu instalovaného výkonu, a tedy i množství instalovaných panelů. Tento zlom nastává z důvodu zavedení podpory výkupu elektřiny z obnovitelných zdrojů podle zákona č. 180/2005 Sb. Nutnost České Republiky vyhovět kvótě EU na obnovitelné zdroje (kvóta činila do roku 2010 8% z podílu vyrobených energií) měla za následek velmi štědré dotace. To přilákalo nejen ekologické nadšence, ale především spoustu investorů, kterým se zamlouvala slibovaná rychlá návratnost investovaných financí a potom následné vcelku vysoké výdělky. Obrovské navýšení počtu FV elektráren a jejich výkonů zastavili až žádosti na regulaci připojovaných systémů provozovatelů rozvodných sítí, kteří se báli o přetížení rozvodné soustavy. To bylo vládou vyslyšeno na počátku roku 2010

vyhlášením tzv. „stop stavu“. Stop stav byl pak zrušen dnem 19.9.2011, ale podporovány jsou dnes již pouze střešní FV stavebnice s výkonem do 30 kWp. [12]



Obr. 12 Rozvoj FV v ČR a Německu [120]

Vzhledem k době, kdy byli tedy panely instalovány a zároveň vzhledem k jejich očekávané životnosti, můžeme větší množství panelů k recyklaci očekávat nejdříve po roce 2030. Likvidaci do této doby čekají spíše panely poškozené během přepravy, montáže nebo se skrytými výrobními vadami.

Rok	Instalovaný výkon [MWp]	Množství panelů [t]	Předpokládaný konec životnosti [rok]
2007	3,4	400	2030...
2008	60	7 000	
2009	400	45 000	
2010	1 450	160 000	2040...
2011	50	6 000	

Tab. 1 Množství instalovaných FV panelů [1t]

Množství nekvalitní panelů, jejichž účinnost klesne o 10 % dříve, než za garantovaných 10 let se velmi těžce odhaduje. Tyto panely by měli být reklamovány u výrobce nebo dodavatele, kteří by měli být zodpovědní i za jejich následnou recyklaci. [12]

3.5 Množství FV panelů k recyklaci

Předpokládané množství panelů, které budou vyřazeny z provozu během příštích 10 až 20 let již z výše zmíněných důvodů nebo kvůli přírodním pohromám, bude velmi nízké. Odhady na množství FV odpadu se pohybují od několika set do 1000 tun ročně. Jedná se o zlomky promile v porovnání s celkovou produkcí odpadů v České republice (přes 20 mil. tun). U kvalitních panelů zprovozněných v letech 2009 až 2011 se dá očekávat jejich vyřazení z provozu ve větším objemu až po roce 2040 a déle. [12]

Oproti tomu panely nižší kvality se nejspíše vyřadí dříve, bohužel jejich množství je velmi špatně odhadnutelné. Navíc na sklonku roku 2010 ve snaze dokončit projekty velkých FV elektráren za jakoukoliv cenu, byli investoři ochotni nakoupit v podstatě cokoli. Odhady se vyšplhali dokonce až k 30 i více procentům, ale jsou od zástupců firem s kvalitní produkcí a je tedy dost možné, že se jednalo o reklamní tah. Nízké kvalitě výrobků měli snahu v té chvíli bránit i banky, které si sepisovaly seznamy kvalitních doporučených dodavatelů. Častým problémem méně kvalitních panelů je rychlejší pokles účinnosti a celkově nižší výkon. Ovšem ani to stejně nemusí být důvodem k vyřazení panelu z provozu. [12]

Za ekonomicky výnosnou je brána recyklační linka s kapacitou kolem 20 tis. tun panelů ročně. To jinými slovy znamená, že je momentálně výstavba specializované recyklační linky nerentabilní a ke změně by mělo dojít až po roce 2040, kdy už se dají předpokládat právě taková množství panelů k recyklaci. Jako nejlepší řešení se z tohoto důvodu minimálně do roku 2030 jeví systém PV Cycle a recyklování panelů na stávajících linkách v sousedním Německu. [12]

3.6 Předpokládané množství FV odpadu v ČR a v EU

Současný roční odhad výskytu FV odpadu je v ČR přibližně od několika set do 1000 tun ročně a v Evropě okolo 4 000 tun. V roce 2020 se ale předpokládá nárůst výskytu FV panelů pro recyklaci minimálně na 10-ti násobek. Je to z důvodu konce životnosti velkého množství FV panelů instalovaných především v Německu v 90. letech. [8]

4 Recyklace FV panelů

Recyklace panelů je vedle samotné výroby jednou z energeticky nejnáročnějších fází celého „životního cyklu“ panelu a vzhledem k tomu, že FV má být environmentálně šetrným zdrojem energie, je potřeba na ni klást zvláštní důraz. [2]

To platí rovněž z pohledu produkce odpadů a úspory surovin. Recyklace je zatím poměrně na okraji zájmu, zejména proto, že panely mají poměrně dlouhou životnost a masověji jsou instalovány teprve v posledních letech. [4]

4.1 Součásti panelů, způsoby a možnosti jejich recyklace

Na domácím trhu zřetelně převažují panely s články z krystalického křemíku. Největší procento z hmotnosti krystalických panelů připadá na sklo (60 - 70 %) a rám z hliníku (kolem 20 %). U tenkovrstvých modulů je podíl skla a hliníku ještě větší (přes 95 %). Jak hliník tak sklo, jsou běžně recyklovány se skoro 100 % účinností. Další kovové materiály jsou ceněnými surovinami, které se vyplatí z odpadu získat zpět. Plastové komponenty lze recyklovat jen částečně nebo vůbec. V tabulkách je uveden přehled materiálového složení daných typů panelů.

Materiál	Složení panelů (kg/kWp)	Podíl [%]	Výtěžnost recyklace
Sklo	60	67 %	>95%
Hliník	16	18%	100%
Plasty	10	11%	-
Křemík	3	3%	85%
Junction box	2	2%	-
Měď	1	1%	80%

Tab. 2 Podíl jednotlivých surovin ve složení krystalických FV panelů a potenciál jejich materiálové recyklace [2t]

Tab. 3 Podíl jednotlivých surovin ve složení tenkovrstvých FV panelů (CIS, CdTe, tandem Si) a potenciál jejich materiálové recyklace [3t]

Materiál	Složení panelů [kg/kWp]	Podíl [%]	Výtěžnost recyklace [%]
Sklo	150	84 %	> 95 %
Hliník	20	12 %	100 %
Plasty	5	3 %	-
Ostatní	2	1 %	~ 90 %

- **Hliníkový rám**

Z rámu je možné panely bez problémů demontovat. Hliníkové rámy jsou z kvalitního materiálu, který je buď možné použít znovu pro další instalaci nebo materiálově využít přetavením. Ztráty při tavení čistého kusového hliníku jsou nízké a kvalita neklesá. Zároveň je o recyklovanou surovinu zájem (o čemž svědčí i trvale vysoké výkupní ceny), neboť využití recyklátu vykazuje značnou úsporu energie oproti primární výrobě z bauxitu. [1]

- **Plastové komponenty**

Jde jednak o krycí folii EVA (ethylen vinyl acetát), která chrání před povětrnostními vlivy krycí sklo a zbytek panelu, dále pak o další plastové komponenty. Po mnoha letech vystavení slunci a dešti je však obvykle degradovaná a nejde ji dále využít. Při recyklaci je od panelů oddělena v peci, kde se ze skla odpaří a následně se spálí za využití tepla. Další plastové součástky mohou být recyklovány s ohledem na druh materiálu a případnou degradaci vlivem dlouhodobého vystavení povětrnostním vlivům. Z těchto důvodů (jde o poměrně malé množství různorodých a degradovaných plastů) jsou v praxi obvykle spalovány. [1]

- **Sklo**

Nadpoloviční většina skla (51%) je využita jako podklad, krycí vrstva tvoří 33% materiálu. Recyklace skla není problém v případě, že se z něj odstraní ostatní složky (zejména kovy z tištěných spojů, EVA folie apod.). Obvykle sklo lze využít ke stejnému účelu. [1,8]

- ***FV články***

U klasické krystalické technologie se podíl článků na hmotnosti panelů pohybuje v jednotkách procent, v průběhu času se přitom významně snižuje. Krystalické články se však podílejí až 80 % na spotřebě energie na výrobu panelu a zhruba 50 % na jeho ceně. Na konci životnosti jsou přitom články v podstatě nezměněny. S recyklací celých článků nebo desek jsou již první praktické zkušenosti. Podíl funkčních vrstev tenkovrstvých článků na hmotnosti panelů i na nákladech na jejich výrobu je ještě o jeden až dva řády nižší. I v tom případě se však jedná o cenné polovodičové materiály, jejichž zpětné získávání je obvykle výhodnější než ze surovin. [12]

- ***Těžké kovy a další materiály***

Jde zejména o kovy z tištěných spojů a elektrosoučástky. Materiály ze spojů, zejména stříbro, lze získávat vytavením z rozdrčených panelů polymetalurgicky. Elektrosoučástky (střídače, elektroměry apod.) je možné recyklovat podobně jako běžný elektroodpad – ručním rozebráním a přetavením kovů. Těžké kovy představují z hlediska hmotnosti, ceny i spotřeby energie na výrobu panelů zanedbatelné položky. Podíl jednotlivých kovů na hmotnosti panelů se pohybuje v desetinách promile. Energetická i materiálová náročnost recyklace je srovnatelná s výrobou z primárních surovin. Recyklace je však nutná z jiných důvodů. Těžké kovy jsou toxické a je proto nutno je oddělit od životního prostředí. Mimoto zejména u stříbra je již v blízké budoucnosti očekáváno vyčerpání ekonomicky těžitelných zásob a v důsledku toho růst nákladů na těžbu a tedy i cenu stříbra. Je pravděpodobné, že problém bude vyřešen použitím jiných materiálů. [1,12]

4.2 Konstrukční úpravy

Konstrukční úpravy byly navrženy z důvodu zjednodušení likvidace panelu na konci jeho životnosti. Tyto úpravy mají usnadňovat demontáž celých článků z panelu. Navrhovány byly konstrukce bez použití laminačních vrstev, nebo naopak konstrukce s navíc přidanými materiály zjednodušující demontáž.

Jedna z variant je každý článek před laminací do EVA fólie nejprve zapouzdřit do materiálu s malou přilnavostí k článkům, jako má například silikon. Při demontáži se napřed nad jednotlivými články rozřízne a sloupne EVA fólie i s vrstvou separačního materiálu, potom je možno články vyndat. Zbývající vrstvy laminačního materiálu zůstávají pevně spojeny se sklem a je možno se jich zbavit termicky, chemicky nebo mechanicky. Bohužel kvůli

momentálnímu trendu snižování tloušťky desek je nevýhoda v nárůstu ztrát z důvodu rozbíjení článků při demontáži.

Další možností je hermetické zapouzdření článků bez použití EVA fólie, například mezi dvě vrstvy skla, která chrání články před atmosférickými vlivy. Tyto skla jsou po obvodu spojena proužkem stále pružného tmelu. Obdobně, jako u hermetických izolačních dvojskel. Mezeru mezi skly je možno konstrukční úpravou je v podstatě dán i způsob recyklace. [1]

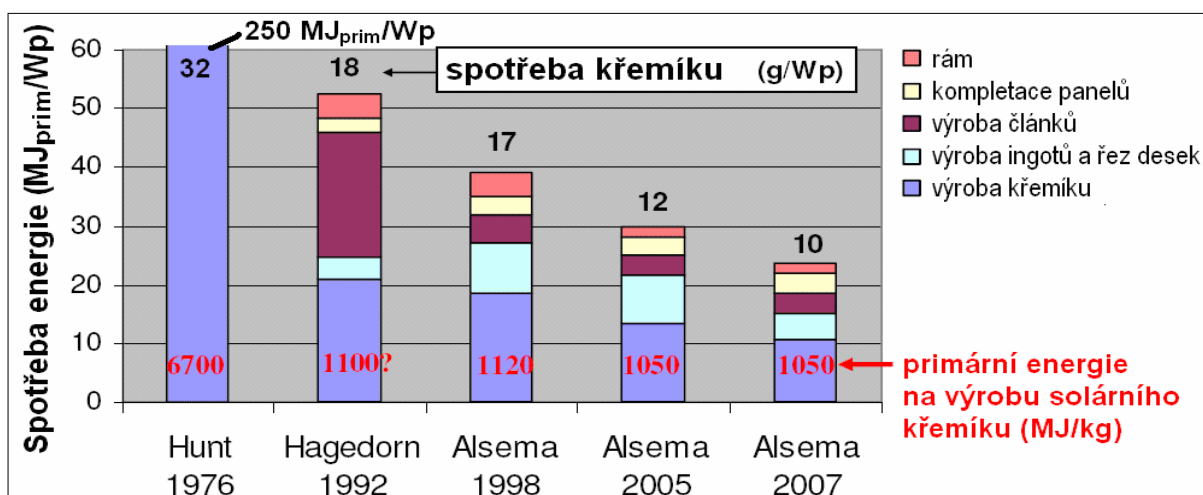
Dutinu mezi skly je možno vyplnit gelem, který má malou přilnavost ke sklu i článku. Druhou možností je výplň inertním plynem. Tato konstrukce má sice finančně nákladnější výrobu oproti klasické laminaci pomocí EVA fólie a Tedlaru, na druhou stranu se však předpokládá vyšší životnost. Při demontáži se nejprve po obvodu rozřízne tmel, tím se skla rozdělí a po té je možno vyjmout celé články. [1]

Vzhledem k tomu, že tyto technologie obvykle výrobu poněkud prodražují a recyklace zatím není na pořadu dne, obvykle nejsou využívány.

4.3 Technologie recyklace FVE článků

Křemíkové články tvoří nejdražší součást FV panelů. I z toho důvodu byl v posledních letech stále intenzivnější trend směřující k jejich miniaturizaci – ztenčení a snižování ztrát při výrobě (zejména během řezání tažené krystalické tyče). Současný standard je spotřeba na úrovni 10 až 12 g/Wp, viz Obrázek 1. V nejbližších letech je očekáván pokles na 4 až 6 g/Wp. Za technologickou mez jsou v současnosti považovány 2 g/Wp. Vzhledem ke klesajícímu podílu křemíku, který je energeticky nejnáročnější složkou, stoupá význam recyklace ostatních složek a jejich podíl na hmotnosti panelů. [2]

Graf 3 Vývoj spotřeby energie na výrobu jednotlivých komponentů FV panelů [3g]



Vzhledem k životnosti panelů okolo 30 a více let, se nyní ve větším množství na recyklační linky dostávají panely vyráběné v 80. letech. Panely instalované nyní budou naopak recyklovány kolem roku 2040. To přináší mnoho komplikací při jejich zpracování. [9]

Recyklace FV článků vyžaduje dva základní kroky:

- separaci jednotlivých článků z modulů termickou nebo chemickou cestou
- vyčištění povrchu článků, který je nutné zbavit antireflexní vrstvy, kovových částí (tištěných spojů) apod. Toho lze dosáhnout chemickou cestou nebo za použití laseru.

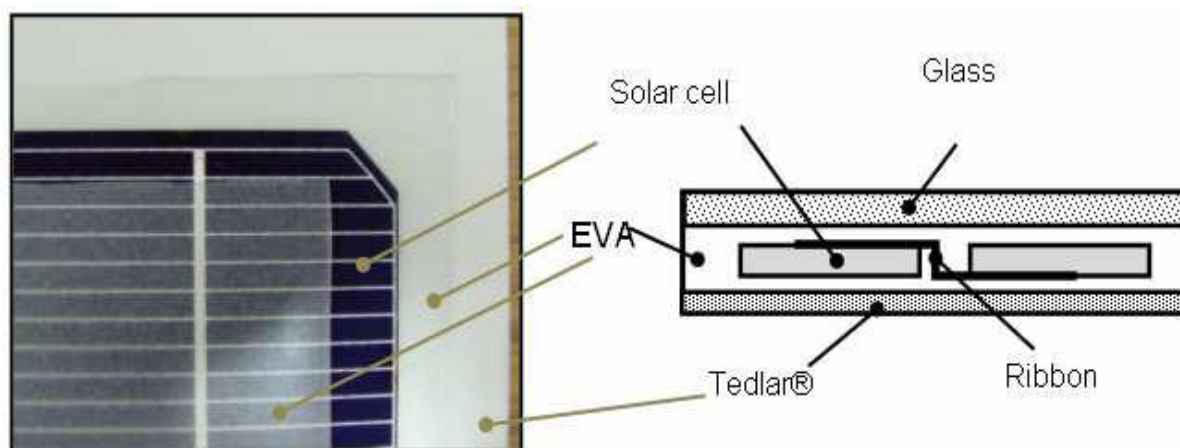
Výsledkem jsou neporušené křemíkové destičky vhodné k dalšímu použití. [9]

4.3.1 Termická metoda recyklace (termicko-chemická)

Termicko – chemická metoda recyklace je v současné době zřejmě nejpokročilejší metodou recyklace panelů. Její vývoj, postupy, možnosti čištění a účinnost si popíšeme více v nadcházejících pod bodech.

- **Separace článku z modulu**

Každý článek je v modulu umístěn mezi několik ochranných a nosných vrstev, které během používání podléhají degradaci – na rozdíl od samotné křemíkové destičky. Způsob uchycení znázorňuje obr. 13.



Obr. 13 Umístění křemíkových destiček v panelu [13o]

- **Chemická cesta**

Delaminace a odstranění EVA laminační vrstvy lze provést za použití tetrahydrofuranu. Nicméně tato procedura vyžaduje poměrně hodně času a nedošla tedy většího komerčního rozšíření. [9]

- **Termická cesta**

Články jsou uloženy do pece na lůžko z oxidu křemičitého a zahřívány. Při teplotě kolem 500°C se EVA laminační vrstva a další plastové materiály odpaří a jsou v další komoře řízeně spalovány. Tato technologie je poměrně energeticky náročná, nicméně při ručním dočištění poskytuje až 85% destiček pro další využití. Vzhledem k tomu, že výše uvedená chemická cesta separace je zdlouhavá a produkuje značné množství nebezpečného odpadu (v podobě použitých chemikálií), komerčně jednoznačně dostává přednost separace termická. [9,1]

- **Vyčištění křemíkových destiček chemicky**

Po vyjmutí je nutné destičky očistit od zbytků materiálů – zejména antireflexní vrstvy a kovových spojů. K odstranění nežádoucích vrstev se používá hydroxid draselný (KOH) a další žíraviny v závislosti na druhu odstraňovaných vrstev. Křemíkové destičky jsou proti jejich účinkům velmi odolné, pro optimalizaci a urychlení procesu je ale nutné zvolit správný druh, koncentraci a teplotu loužícího roztoku. [9]

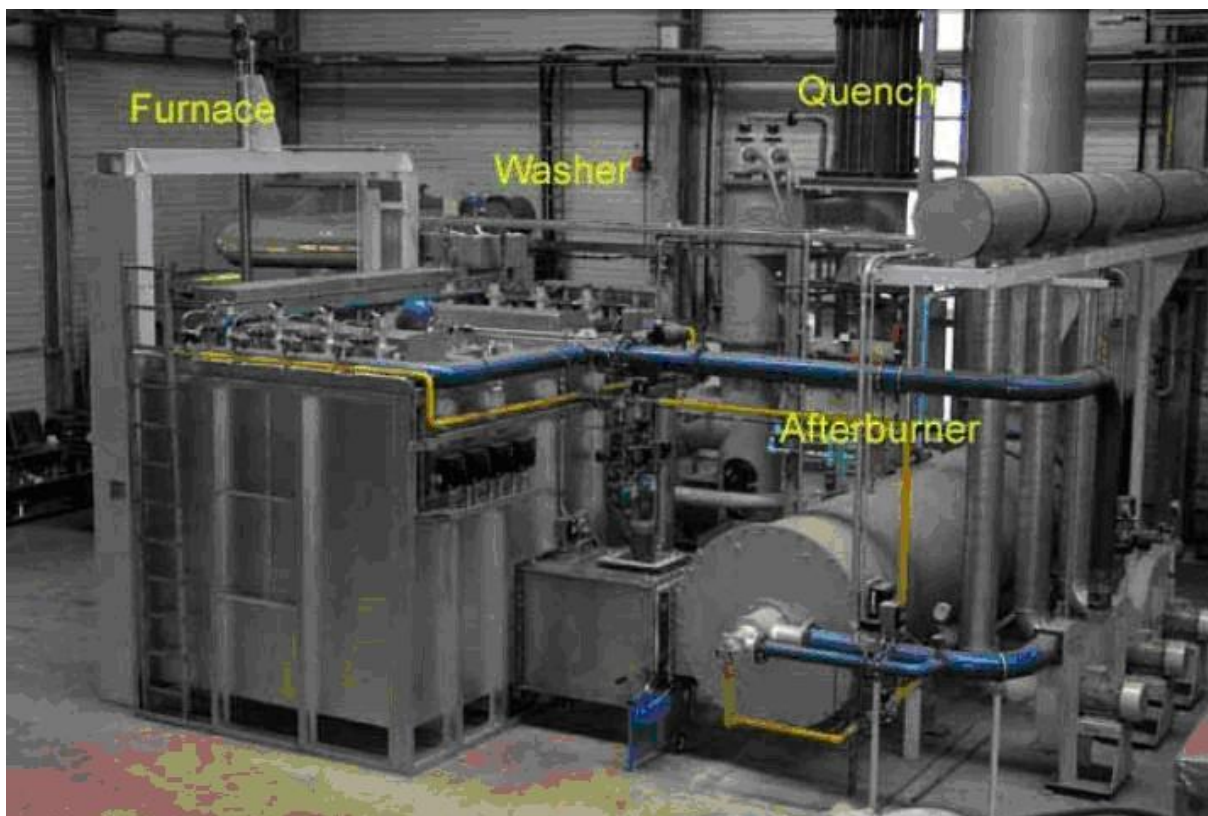
- **Čištění laserem**

Laser byl schopný odstranit kovové součásti i antireflexní vrstvu při pokusu s parametry: vlnová délka $\lambda = 1064$ nm) Nd:YAG (*Yttrium-Aluminum-Garnet*), frekvence 120 Hz, energie paprsku při rázu 300 mJ, impulsy o délce 10 ns. Technologie je ovšem velmi drahá a složitá, takže v tomto případě je v provozních podmínkách upřednostněno chemické čištění. [9]

- **Shrnutí metody**

Popsaná metoda (kombinace termické a chemické cesty - méně účinné alternativní cesty nejsou používány v provozu) je poměrně náročná na technologii a ruční práci. Na druhou stranu pro ni hovoří velmi dobrá výtěžnost kvalitního a použitelného materiálu – křemíkových destiček, která dosahuje až 85 % a v praxi ji využívá firma Deutsche Solar AG. Je využitelná pro všechny typy používaných FV panelů a spotřebu energie na výrobu nových panelů je díky tomu možno snížit až o 70 %. Problematická je v případě recyklace velmi tenkých destiček, které se při manipulaci snadno lámou a znehodnocují. Nicméně k recyklaci (pokud pomineme vadné výrobky) se v současnosti dostávají především silnější články starších typů a tato technologie bude ještě dlouho úspěšně využitelná. Její účinnost zvyšuje výroba metodou

Double Encapsulated Modules (DEM), kdy jsou články před laminací zapouzdřeny do silikonu (případně jiného materiálu s nízkou adhezí ke křemíkové vrstvě a s podobným indexem lomu jako EVA. Při recyklaci se pak laminační vrstvy snadno sloupnou spolu s nepřilnavým silikonem. [1,2]



Obr. 14 Zařízení pro recyklaci panelů s články z krystalického křemíku (Deutsche solar AG, PV Cycle) [14o]

4.3.2 Mechanicko - chemická metoda recyklace (kombinovaná metoda)

Tuto metodu používá pro recyklaci svých panelů firma First Solar a s drobnými obměnami je používána i v jiných provozech nebo při recyklaci LCD televizorů. Její vývoj, postupy, možnosti a účinnost si popíšeme více v nadcházejících pod bodech. [1]

- ***Drcení panelů***

Po odstranění hliníkových rámců a přívodních kabelů jsou panely ve dvou stupních nadrceny na kousky o velikosti 4 -5 mm. Cílem je zejména přerušit vazby mezi křemíkovými destičkami a potahovými vrstvami.

- ***Odstranění potahových vrstev***

Oddělení laminačních vrstev EVA apod. Je prováděno chemickou cestou – promícháním střeptů s kyselinou a peroxidem vodíku. Narušené vazby mezi křemíkem, sklem a laminační

vrstvou se chemicky odstraní úplně. V dalším kroku jsou šroubovicí vyneseny střepy vzhůru a loužící kapalina je oddělena.

- **Oddělení střepů a plastů**

K oddělení střepů a plastů dochází na vibračním sítu, kde jsou odděleny velikostní frakce – sklo se totiž rozdrťí na menší části než zbytky laminačních materiálů, což umožňuje jejich mechanické oddělení.

- **Vyčištění skla a recyklace kovů**

Chemickou cestou jsou ze střepů odstraněny zbytky kovových vodičů a spojů. Sklo je dále recyklováno standardním způsobem. Z výluhu jsou získávány kovy dále využívané pro výrobu nových FV panelů.

- **Shrnutí metody**

Mechanicko-chemická cesta nevyžaduje prakticky žádnou manuální práci, je velmi rychlá a účinná. Nicméně degraduje cennou surovinu – křemíkové články, které již nelze dále využít k původnímu účelu. Z toho důvodu je vhodná spíše pro moderní tenké články, které je obtížné recyklovat předchozí metodou, neboť mají tendenci praskat a u nichž nelze polovodičové materiály získat jiným způsobem. Na začátku se ručně demontuje hliníkový rám. Následuje drcení a třídění velikostních frakcí. K oddělení jednotlivých materiálů slouží separační metody - fluidní a mokré splavy a elektrodynamická separace. Stříbro a další zájmové kovy jsou získávány chemicky a pyrometalurgicky. Získané kovy mohou být použity jako surovina v metalurgickém průmyslu, plasty budou pravděpodobně likvidovány spaláním s možností využít teplo. [1,7,12]



Obr. 15 Zařízení pro likvidaci tenkovrstvých panelů [15o]

5 Závěr

Otázku co s vysloužilými FV panely dnes řeší dva základní způsoby. Těmi jsou buď ekologická likvidace nebo recyklace. První uvedený způsob za sebou ale bohužel zase zanechává odpad, sice ekologický upravený, nicméně zanechává. U druhého způsobu a to tedy recyklace, je už množství opadu sníženo na minimum. V dnešní době již zodpovědní výrobci FV panelů myslí na tuto problematiku a dodávají na trh panely, které jsou recyklovatelné. Díky možnosti recyklace a tedy opětovné využitelnosti většiny součástí panelů klesá výrobní cena nových modulů. Nejpodstatnější součástí při výrobě a následně i recyklaci je samozřejmě křemík, jehož nákupní cena velice ovlivňuje prodejní cenu nových modulů. Pro recyklaci panelů bylo navrženo několik technologických metod. Některé jsou univerzální, jiné jsou vhodné jen pro určité typy panelů.

Nejdříve byl navrhnout systém pro recyklaci krystalických modulů. Ty jsou na ruční práci a technologický postup sice náročný, ale jejich užívání v komerčním prostředí běžnější a tudíž jejich množství k recyklaci větší. Ze začátku byla snaha o recyklaci celých článků, způsobem, kdy byli moduly rozebrány na jednotlivé části a ty pak následně velice důkladně chemicky očištěny. Po tomto procesu byly znovu použity pro výrobu nových panelů. Tímto způsobem vzniklé články dosahují podobných fyzikálních vlastností, jako články na jejichž výrobu byla použita přírodní surovina. Další pozitivní věcí tohoto procesu je, že se energetická návratnost modulů z recyklovaných materiálů snížila z šesti a půl roku na pouhé dva. Energetickou návratností se v tomto smyslu myslí doba, za kterou modul vyrobí stejně energie, jako bylo nutno spotřebovat k jeho výrobě.

Zmíněný technologický proces v poslední době ale narážel na problém s tloušťkou článků. Moderní články jsou totiž stále tenčí a při procesu čištění docházelo velmi často k jejich poškození. Přednost u tenkovrstvých článků tedy nakonec před recyklací dostává spíše využití z recyklovaných surovin. Křemík a další různé kovy společně se stříbrem mohou být upraveny při rozumných finančních nákladech do absolutně čisté formy. Poměr využití tenkovrstvých článků je u nás zatím oproti krystalickým modulům velice malý.

Momentální metody recyklace lze tedy rozdělit na dvě základní skupiny, termicko-chemická metoda vhodná pro krystalické panely a mechanicko-chemická metoda vhodná spíše pro tenkovrstvé moduly.

V dnešní době už také společnosti zabývající se výrobou FV panelů, jako například firma First Solar nabízejí svým zákazníkům rovnou zpětný odběr panelů, které potom recyklují.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Bechník, B., Fotovoltaika: recyklace panelů I – metody recyklace [online]. Vydáno: 5. září 2011 [cit 2012-05-30]. Dostupné z < <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika/fotovoltaika-metody-recyklace-I> >
- [2] Bechník, B., Bařinka, B., Čech, P. Analýza životního cyklu fotovoltaických systémů [online]. Publ. 5. března 2009 [cit 2012-05-25]. Dostupné z <<http://www.czrea.org/files/pdf/BechnikBarinkaCech.pdf>>
- [3] Collection – PV Cycle [online]. Posl. Revize. 23.5. 2012 [cit 2012-05-25]. Dostupné z <<http://www.pvcycle.org/pv-cycle-system/collection/>>
- [4] Fejfar, A., Vaněček, M. Fotovoltaika – jaká je nejlepší dostupná technologie?[online]. Publ. 22.března 2010 [cit 2012-05-25]. Dostupné z <<http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/6327-fotovoltaika-jaka-je-nejlepsi-dostupna-technologie>>
- [5] Fthenakis M. V., Hyung Chul Kim, Alsema, E. Emissions from Photovoltaic Life Cycles *Environ. Sci. Technol.*, 2008, 42 (6) Dostupné zde: z < [ttp://pubs.acs.org](http://pubs.acs.org) >
- [6] Kratochvíl, F. *Užití fotovoltaických článků* [online]. Publ. 8. března 2010 [cit 2012-05-30]. Dostupné z < http://www.enersolis.cz/sbornik/sbornik_enersol_2009.pdf >
- [7] Müller, A., Wambach, K., Alsema, E. Cycle Analysis of a Solar Module Recycling Process. *20 th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 6-10 June 2005, Barcelona, Spain* [online]. Publ. 10. října 2008 [cit 2012-05-30]. Dostupné z < <http://nws.chem.uu.nl/publica/Publicaties2005/E-2005-81.pdf> >
- [8] Pavlíček, J. *Zpětný odběr 2011* [online]. Publ. 1. července 2011 [cit 2012-05-30]. Dostupné z <http://www.asekol.cz/cs/download/jan_pavlicek_legislativni_ramec_pro_odstraneni_fve_po_ukonceni_jejich_zivotnosti.pdf>
- [9] Radziemska, E., Ostrowski, P., Cenian, P., Sawczak, M. Chemical, Thermal and Laser Processes in Recycling of Photovoltaic Silicon Solar Cells and Modules. *Ecological Chemistry and Engineering*. 2010, Vol. 17, iss. 3 [cit 2012-05-30].

- [10] *The First Comprehensive, Prefunded Recycling Program* [online]. Posl. Revize 31. května 2012 [cit 2012-05-30]. Dostupné z < <http://www.firstsolar.com/en/Sustainability/Environmental/Product-life-cycle-management/Recycling-Process>>
- [11] Bechník, B., Fotovoltaika: nejčastější otázky v oblasti fotovoltaiky [online]. Vydáno: 5. září 2011 [cit 2012-05-30]. Dostupné z < <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika> >
- [12] Bechník, B., Fotovoltaika: Recyklace fotovoltaických panelů na konci životnosti [online]. Vydáno: 26. září 2011 [cit 2012-05-25]. Dostupné z < <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti>>
- [1o] Zdroj: http://www2.dupont.com/Photovoltaics/en_US/assets/images/gallery/PVPanels.jpg
- [2o] Zdroj: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [3o] Zdroj: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [4o] Zdroj: <http://www.cne.cz/fotovoltaicke-systemy/uvod-do-fv-systemu/>
- [5o] Zdroj: http://www.czrea.org/files/images/OZE/FV_obr1_5.jpg
- [6o] Zdroj: <http://www.roadenergy.eu/pdf/image1.jpeg>
- [7o] Zdroj: http://www.czrea.org/files/images/OZE/FV_obr1_6.jpg
- [8o] Zdroj: http://www.cne.cz/data/editor/27cs_3_big.jpg
- [9o] Zdroj: <http://www.wattsun.cz/img/panely-v.jpg>
- [10o] Zdroj: <http://oze.tzb-info.cz/docu/clanky/0078/007868o2.jpg>
- [11o] Zdroj: [http://www.toutsurlephotovoltaique.fr/donnees/cms/originales/pv-cycle\(1\).jpg](http://www.toutsurlephotovoltaique.fr/donnees/cms/originales/pv-cycle(1).jpg)
- [12o] Zdroj: <http://www.czrea.org/files/images/clanky/konf-zpetny-odber04.jpg>
- [13o] Zdroj: Radziemska, E., Ostrowski, P., Cenian, P., Sawczak, M. Chemical, Thermal and Laser Processes in Recycling of Photovoltaic Silicon Sola Cells and Modules. *Ecological Chemistry and Engineering*. 2010, Vol. 17, iss. 3 [cit 2012-05-30].
- [14o] Zdroj: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika/fotovoltaika-metody-recyklace-I>
- [15o] Zdroj: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika/fotovoltaika-metody-recyklace-I>
- [16o] Zdroj: <http://www.ekobydleni.eu/solarni-elektrarny/indie-ma-nejvetsi-solarni-elektrarnu-na-svete-600-mw>
- [17o] Zdroj: <http://www.ekobydleni.eu/tag/solarni-elektrarna>
- [18o] Zdroj: <http://www.ekobydleni.eu/solarni-elektrarny/v-nevade-spustena-48mw-solarni-elektrarna-copper-mountain>

- [19o] Zdroj: <http://www.ekobydleni.eu/solarni-elektrarny/japonsko-planuje-70mw-solarni-elektrarnu>
- [20o] Zdroj: <http://www.ceskatelevize.cz/ct24/svet/veda-a-technika/64374-nemecko-otevrelou-druhou-nejvetsi-solarni-elektrarnu-sveta/>
- [21o] Zdroj: <http://byznys.ihned.cz/c1-51797260-projekt-cez-za-5-miliard-komplikuje-zivot-rade-firem-nedostaly-zaplaceno>
- [22o] Zdroj: <http://www.ekobydleni.eu/solarni-elektrarny/v-new-jersey-spustena-nejvetsi-stresni-solarni-elektrarna>
- [23o] Zdroj: <http://www.czrea.org/files/images/clanky/fv-rec-05.jpg>
- [24o] Zdroj: http://www.mesto-albrechtice.cz/data/messages/obsah2_1.jpg?gcm_date=1334641463
-
- [1g] Zdroj: http://cink.tv/wp-content/uploads/2011/03/zobrazeni_dat_graf3.php_.png
- [2g] Zdroj: <http://www.tzb-info.cz/4251-pruzne-fotovoltaicke-moduly-ano-ci-ne>
- [3g] Zdroj: <http://www.czrea.org/files/pdf/BechnikBarinkaCech.pdf>
-
- [1t] Zdroj: <http://oze.tzb-info.cz/fotovoltaika/7868-recyklace-fotovoltaickych-panelu-na-konci-zivotnosti>
- [2t] Zdroj: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika/fotovoltaika-metody-recyklace-I>
- [3t] Zdroj: <http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/fotovoltaika/fotovoltaika-metody-recyklace-I>

Seznam obrázků

OBR. 1 FOTOVOLTAICKÉ PANELE [10].....	11
OBR. 2 SCHÉMA GRID-ON SYSTÉMU [20].....	15
OBR. 3 SCHÉMA GRID-OFF SYSTÉMU [30].....	16
OBR. 4 ŘEZ POLOVODIČEM FV ČLÁNKŮ [40]	19
OBR. 5 FV PANELE [50].....	20
OBR. 6 ŘEZ FV PANELEM [60].....	21
OBR. 7 SKLÁDANÁ STRUKTURA FV PANELE [70].....	21
OBR. 8 MONOKRYSTALICKÝ, POLYKRYSTALICKÝ A AMORFNÍ ČLÁNEK FV PANELE [80]	22
OBR. 9 ZLEVA: AMORFNÍ MODUL, POLYKRYSTALICKÝ MODUL, MONOKRYSTALICKÝ MODUL A VELKOPLOŠNÝ MONOKRYSTALICKÝ MODUL [90].....	24
OBR. 10 PRVNÍ SBĚRNÝ DVŮR PV CYCLE NA FV PANELE [100].....	26
OBR. 11 ZNÁZORNĚNÍ KOLOBĚHU PV CYCLE [110]	27
OBR. 12 ROZVOJ FV V ČR A NĚMECKU [120].....	28
OBR. 13 UMÍSTĚNÍ KŘEMÍKOVÝCH DESTIČEK V PANELE [130].....	34
OBR. 14 ZAŘÍZENÍ PRO RECYKLACI PANELE S ČLÁNKY Z KRYSTALICKÉHO KŘEMÍKU (DEUTSCHE SOLAR AG, PV CYCLE) [140]	36
OBR. 15 ZAŘÍZENÍ PRO LIKVIDACI TENKOVSTVÝCH PANELE [150].....	37
OBR. 16 MOMENTÁLNĚ NEJVĚTŠÍ SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNA NA SVĚTĚ V INDII VE STÁTĚ GUDŽARÁT MÁ VÝKON 600MW[160].....	43
OBR. 17 STAVBA SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNY V POUŠTÍCH KALIFORNIE, KTERÁ BY MĚLA DOSAHOVAT VÝKONU AŽ 1000 MW [180]	43
OBR. 18 JEDNA Z NEJVĚTŠÍ SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNA NA SVĚTĚ STOJÍ TAKÉ V KANADĚ. BYLA VYBUDOVÁNA V LETECH 2009-10 V SARNII V ONTÁRIU A MÁ VÝKON 97 MW [170].....	44
OBR. 19 JADERNÁ ENERGETIKA NEMÁ V JAPONSKU PO KATASTROFĚ ELEKTRÁRNY FUKUŠIMA PŘÁVĚ RŮŽOVOU BUDUCNOST. DOKAZUJE TO I NOVÝ PROJEKT NA VÝSTAVBU NEJVĚTŠÍ 70 MW SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNY V ZEMI, KTERÝ BY MĚL ZAČÍT ČERVENCÍ 2012. [190]	44
OBR. 20 NEJVĚTŠÍ SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNA V SOUSEDNÍM NĚMECKU O VÝKONU 53 MW A ROZLOZE 210 FOTBALOVÝCH HŘIŠŤ [200].....	45
OBR. 21 RALSKO RA 1 JE NEJVĚTŠÍ FVE U NÁS A MÁ INSTALOVANÝ VÝKON 38,3 MW [210].....	45
OBR. 22 NEJVĚTŠÍ STŘEŠNÍ SOLÁRNÍ ELEKTRÁRNA V NEW JERSEY NA OBROVSKÉM PŘÍSTAVNÍM SKLADIŠTI SE MŮŽE POCHLUBIT VÝKONEM 9MW [220].....	45
OBR. 23 SLOUPNUTÍ LAMINAČNÍ VRSTVY PŘI DEMONTÁŽI PANELE [210].....	46
OBR. 24 ZBYLÁ KONSTRUKCE PO DEMONTÁŽI FV PANELE [240].....	46

Seznam tabulek

TAB. 1 MNOŽSTVÍ INSTALOVANÝCH FV PANELE [1T].....	28
TAB. 2 PODÍL JEDNOTLIVÝCH SUROVIN VE SLOŽENÍ KRYSTALICKÝCH FV PANELE A POTENCIÁL JEJICH MATERIÁLOVÉ RECYKLACE [2T]	30
TAB. 3 PODÍL JEDNOTLIVÝCH SUROVIN VE SLOŽENÍ TENKOVSTVÝCH FV PANELE (CIS, CdTe, TANDEM Si) A POTENCIÁL JEJICH MATERIÁLOVÉ RECYKLACE [3T].....	31

Seznam grafů

GRAF 1 POROVNÁNÍ STABILITY VÝKONU RŮZNÝCH SOLÁRNÍCH ČLÁNKŮ BĚHEM DNE [1G].....	24
GRAF 2 ÚČINNOSTI PŘEMĚNY RŮZNÝCH SOLÁRNÍCH ČLÁNKŮ [2G]	24
GRAF 3 VÝVOJ SPOTŘEBY ENERGIE NA VÝROBU JEDNOTLIVÝCH KOMPONENTŮ FV PANELE [3G].....	33

Přílohy



Obr. 16 Momentálně největší solární elektrárna na světě v Indii ve státě Gudžarát má výkon 600MW[16o]



Obr. 17 Stavba solární elektrárny v pouštích Kalifornie, která by měla dosahovat výkonu až 1000 MW [18o]



Obr. 18 Jedna z největší solární elektrárna na světě stojí také v Kanadě. Byla vybudována v letech 2009-10 v Sarnii v Ontáriu a má výkon 97 MW [17o]



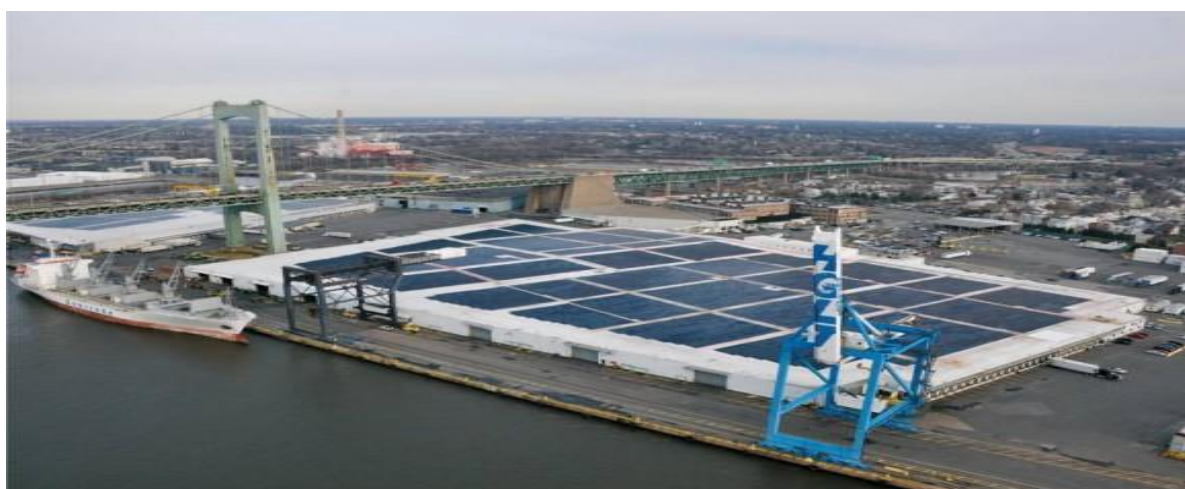
Obr. 19 Jaderná energetika nemá v Japonsku po katastrofě elektrárny Fukušima právě růžovou budoucnost. Dokazuje to i nový projekt na výstavbu největší 70 MW solární elektrárny v zemi, který by měl začít červenci 2012. [19o]



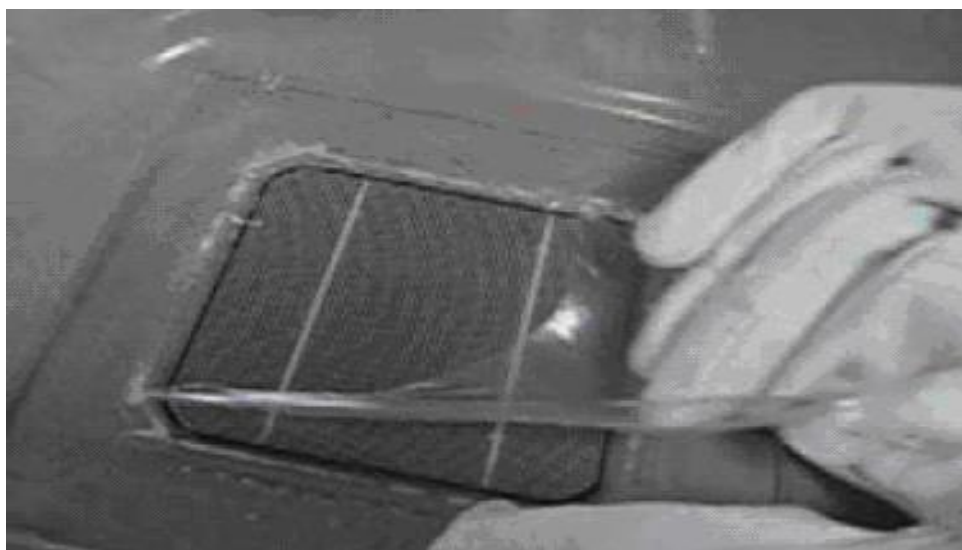
Obr. 20 Největší solární elektrárna v sousedním Německu o výkonu 53 MW a rozloze 210 fotbalových hřišť [20o]



Obr. 21 Ralsko Ra 1 je největší FVE u nás a má instalovaný výkon 38,3 MW [21o]



Obr. 22 Největší střešní solární elektrárna v New Jersey na obrovském přístavním skladišti se může pochlubit výkonem 9MW [22o]



Obr. 23 Sloupnutí laminační vrstvy při demontáži panelu [21o]



Obr. 24 Zbylá konstrukce po demontáži FV panelů [24o]