

FV panely laminované měkkým polysiloxanovým gelem – nová jednoduchá ekologická metoda recyklace

**V. Poulek
V. Beranek
Inova Solar sro**



doi.org/10.3390/su17188167



O životnosti PV panelů rozhoduje kvalita pouzdření

Většina současných PV panelů používá technologii vyvinutou před 30 lety (laminace EVA).

Kvalita použitých materiálů se ale výrazně zhoršila (například zadní laminát PVF>PVDF)

Snížilo se také množství použitých materiálů (typická hmotnost panelů stejné velikosti) 26>22kg

Méně kvalitní je výrobní proces (zkrácená doba laminace 20>10 minut)

Tloušťka skla (panely sklo/sklo)

Dříve 3-4mm dnes 2.0-1.8mm

Sklo pod 3mm tloušťky nelze standardně kalit. Důsledek je velmi časté praskání při zvýšeném zatížení (kroupy, vítr, sníh....)

Pruhyb rámu PV panelu

Průměrná tloušťka rámu PV panelu je nyní cca 35 mm. Ale obvyklá plocha PV panelů je dnes cca 4krát větší než před 25 lety. Délka nosného rámu je zhruba dvojnásobná. Důsledky pro ohýbání rámu PV panelů jsou následující. Odhad maximální hloubky ohybu rámu podle teorie je následující:

$$V_{\max} = 5 q l^4 / 384 E J_z .$$

Pokud předpokládáme, že průřez rámu PV panelu a materiál jsou stejné, potom $5/384 E J_z$ je konstanta k . Potom:

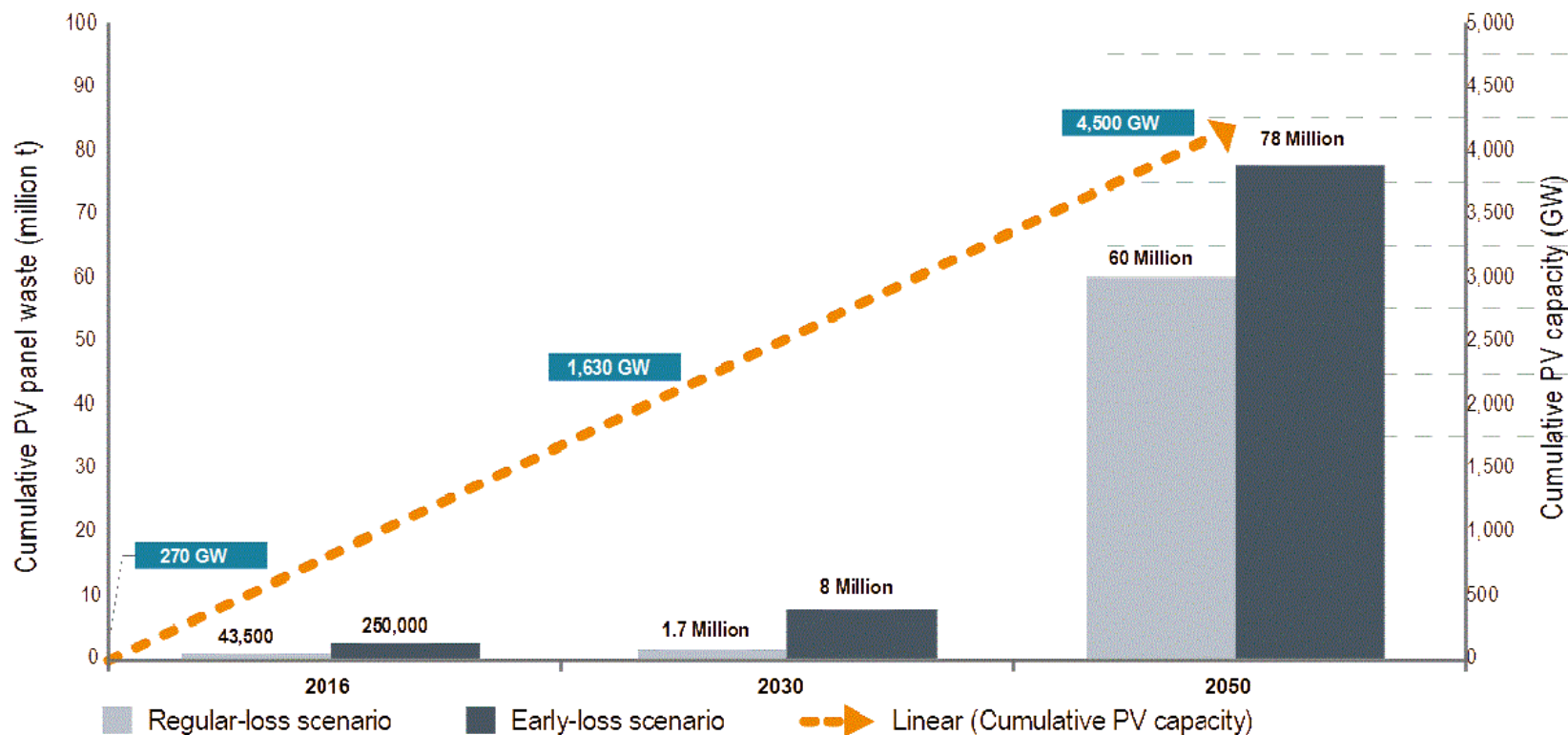
$$V_{\max} = k * q l^4 ,$$

kde l je délka rámu a q je zatížení v přepočtu na jednotku délky (vlastní váha, vítr, sníh). Je-li v současnosti délka i šířka rámu PV panelu cca dvojnásobná oproti 25 let starému, potom $l = 2$. Zatížení PV panelu na jednotku délky rámu je $q = 2$. Po dosazení:

$$V_{\max} = k * 2 * 16, \text{ tedy } V_{\max} = k * 32.$$

Hloubka ohybu nosného rámu PV panelu se zvýší 32krát.

Overview of global PV panel waste projections, 2016-2050

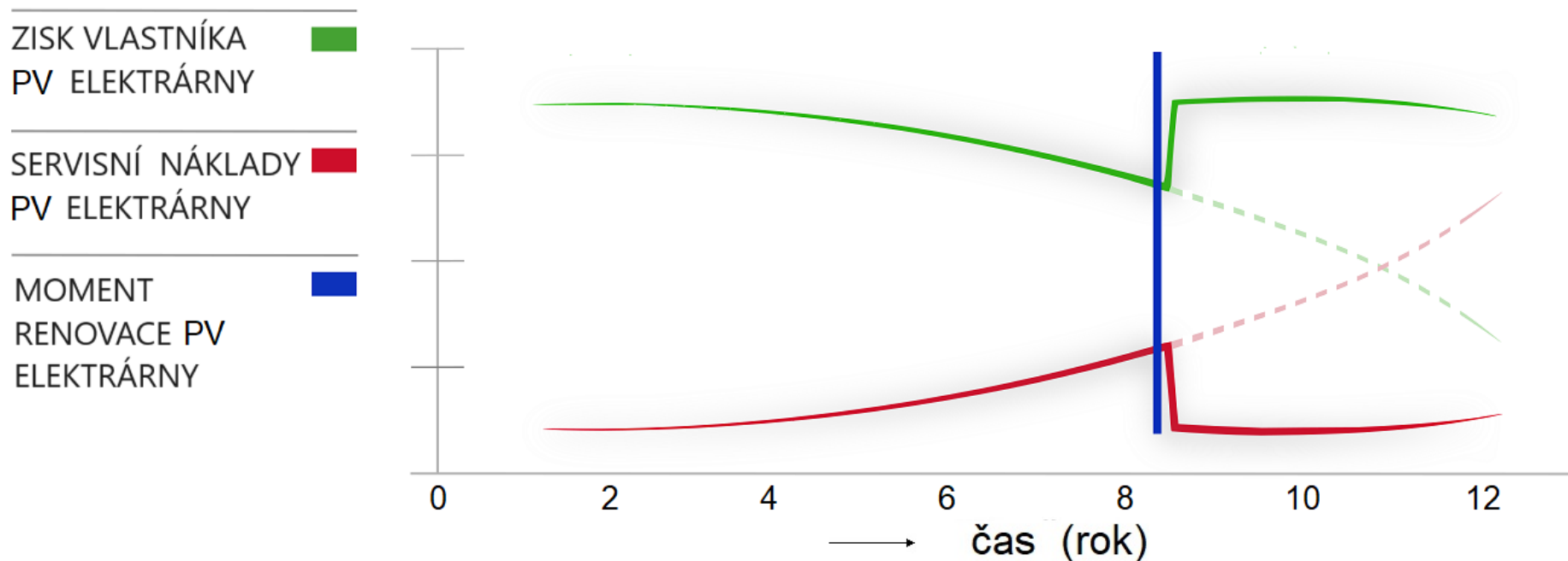


Source: IRENA 2016

Produkce odpadu z FV panelů rychle roste protože SKUTEČNÁ životnost FV panelů se rapidně snižuje.

Brzy (2030) by mělo být recyklováno přibližně ~40 milionů metrických tun nebezpečného odpadu ročně.

MODEL RENOVAČE PV ELEKTRÁRNY



Růst servisních nákladů (červená křivka) si po cca. 10 letech vynutí výměnu PV panelů- REPOWERING (v tropech po 5-7 letech)

REPOWERING VÝRAZNĚ ZVYŠUJE ZATÍŽENÍ ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ NEBEZPEČNÝM PV ODPADEM

**Čím kratší je životnost FV panelu, tím vyšší je
objem odpadu**

V obvyklé praxi se použité fotovoltaické panely zkoušejí v naprosté většině za sucha podle normy IEC 61215 [1].

Tento postup však neodpovídá reálným provozním podmínkám fotovoltaických panelů.

Typický fotovoltaický panel má vysokou emisivitu (vyzařování). Proto se po západu slunce rychle ochlazuje a nad ránem před východem slunce je chladnější než teplota okolního vzduchu.

To způsobuje že se vodní pára (vlhkost) obsažená v okolním vzduchu zákonitě a nevyhnutelně sráží ve formě rosy na povrchu panelů. Po východu slunce pracují obvody/stringy vlhkých /mokrých fotovoltaických panelů se systémovým napětím 600-1500 voltů (ss).



Brouk potemník z pouště Namib využívá vysokou emisivitu krovek ke sběru vody v ranních hodinách.

Měření izolačního odporu použitých mokrých PV panelů



Izolační odpor za vlhka je nejméně 100x nižší než za sucha

Celosvětové množství nebezpečného fotovoltaického odpadu v roce 2030

Teoretická (OPTIMISTICKÁ) degradace ~ 1,7 Mt

Předčasná degradace ~ 8Mt

Repowering po 10 letech (REAL) až na 40Mt

Skutečné množství odpadu se zvýšilo 20krát ve srovnání s optimistickými očekáváními



Obvyklá likvidace FVE odpadů na zemědělské půdě



Obvyklá likvidace FVE odpadů na zemědělské půdě



Obvyklá likvidace FVE odpadů na zemědělské půdě

Stávající recyklační technologie jsou drahé - proto nejsou rentabilní

Stávající recyklační technologie jsou velmi nebezpečné pro životní prostředí

Výsledkem jsou velmi zanedbatelné SKUTEČNÉ recyklační objemy/množství

Nebezpečný fotovoltaický odpad se hromadí ve skladech nebo se likviduje na zemědělské půdě a/nebo se vyváží do Afriky.

**NOVÁ RECYKLAČNÍ TECHNOLOGIE PRO PV
PANELY LAMINOVANÉ PDMS SILOXANOVYM
GELEM JE VELMI ÚČINNÁ (VIZ. TAB. 1)**

Tab. 1 Možné způsoby recyklace komponent FV panelů

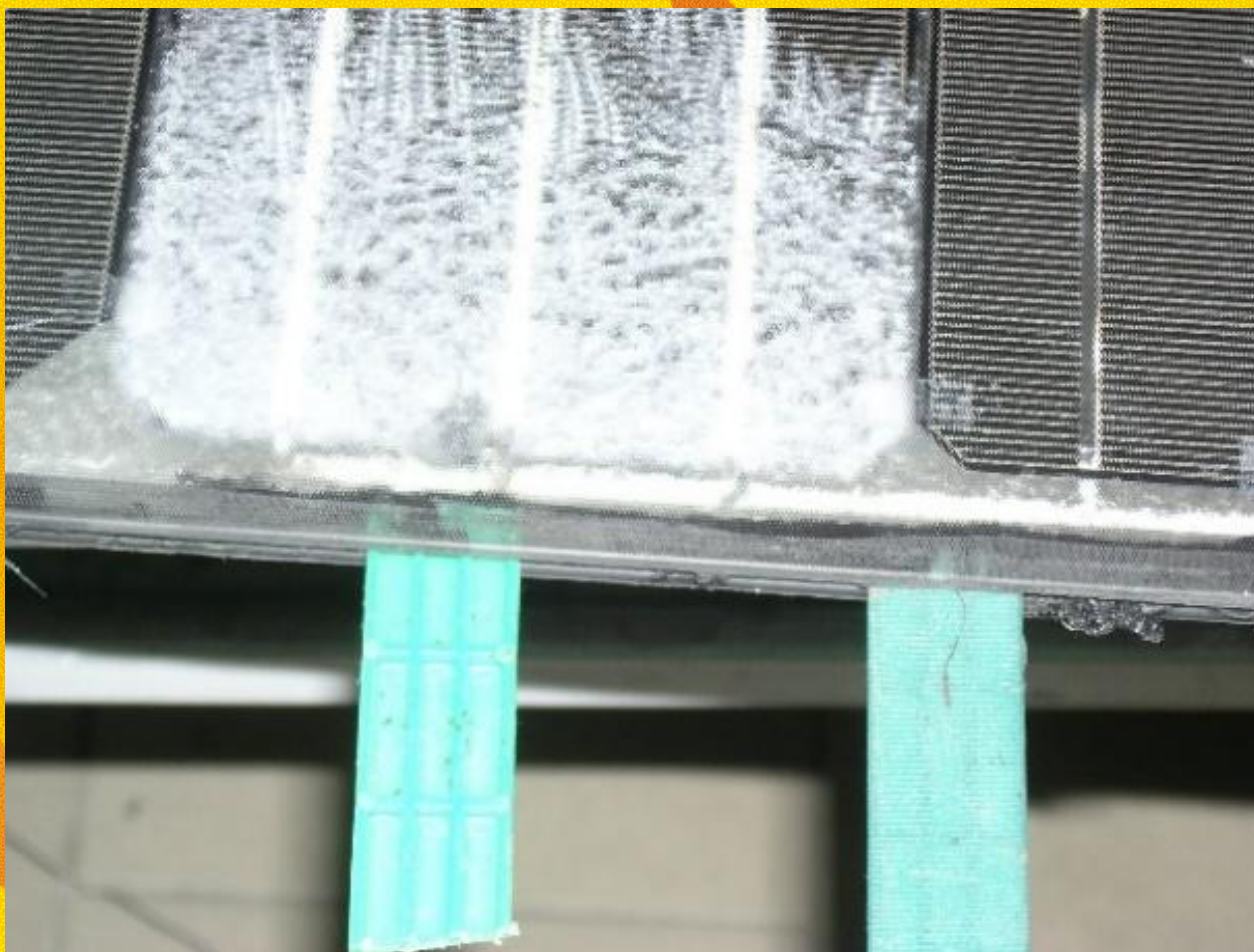
	EVA/POE laminated PV panels	PDMS laminated PV panels
Encapsulant	EVA/POE burning or etching	Siloxane gel e-beam polymerization NO burning/etching
Front sheet	Remelting of glass or glass grit burning	Direcr glass sheet reuse
Back sheet	Polymer film burning	Direcr glass sheet reuse
Polymer J-box	Remelting	Remelting
Aluminum frame	Remelting	Remelting
c-Si solar cells	Remelting- metallurgical silicon	Remelting- metallurgical silicon
RECYCLING EFFICIENCY	~5-90%	~95-98%
DIRECT REUSE	0 kg	30 kg (81% weight)
DIRECT EMISSIONS	+20 kg (83% weight)	0 kg

Proces delaminace při pokojové teplotě je uspořádán následovně:

Obr.1) plastové klíny pronikají mezi přední a zadní sklo

Obr. 2) Ruční (nebo strojová) separace skel

Obr. 3) Sběr měkkých PDMS gelových klastrů.



Obr. 1 Klíny z polyetylenu (PE) jsou zasunuty mezi skleněné tabule



Obr. 2. Oddělené nepoškozené skleněné tabule se zbytky siloxanového gelu



Obr. 3. Měkké siloxanové klastry lze snadno sbírat a recyklovat na silikonový kaučuk

FV panely jsou delaminovány mechanicky při pokojové teplotě.

Nedochází k žádnému spalování nebo chemickému leptání

Hlavní výhody nového recyklačního procesu jsou následující:

Velmi efektivní - Recyklační účinnost 95–98% (Tab.1) Obvyklá recyklační účinnost ~15–90% (Tab.1)

Velmi jednoduchá mechanická delaminace/demontáž při pokojové teplotě

Velmi čisté - Zanedbatelné nebezpečné emise odpadu (žádné spalování nebo chemické leptání).

Přímé opětovné použití komponent FV panelů přesahuje +80 % (obvykle nedochází k opětovnému použití komponent).

Nízké náklady – více než dvakrát levnější recyklace (ve srovnání s běžnou recyklací)

Díky unikátní synergické kombinaci nízké míry degradace (snížená produkce FVE odpadu) a vysoké účinnosti recyklace lze při použití PV laminace měkkou gelovou PDMS snížit produkci FVE odpadu 114x (viz tab. 2)

Tab. 2. Porovnání konečné produkce PV odpadů mezi recyklačními technologiemi EVA laminátu PMDS laminátu

	Waste quantity Year 2030 (Mt)	Best recycling efficiency (%)	Final waste quantity (Mt)	Final waste quantity ratio
“Regular-loss” lamination- (e.g. PDMS) (IRENA, 2016)	1.7	98	0.035	1
“Early-loss” standard EVA lamination (IRENA, 2016)	8.0	90	0.8	23
Repowering after 10 years (IEA 2021)	~ 40	90	4.0	114

Závěry

A)

Byla vyvinuta nová technologie laminace pro velmi nízkou degradaci (-0,22% za rok) s dlouhou životností FV panelů.

B)

Byla vyvinuta nová technologie recyklace fotovoltaických panelů. Umožňuje 98% účinnost recyklace se zanedbatelnými přímými emisemi nebezpečného odpadu (typická standardní účinnost recyklace FV panelů je nyní asi ~90%).

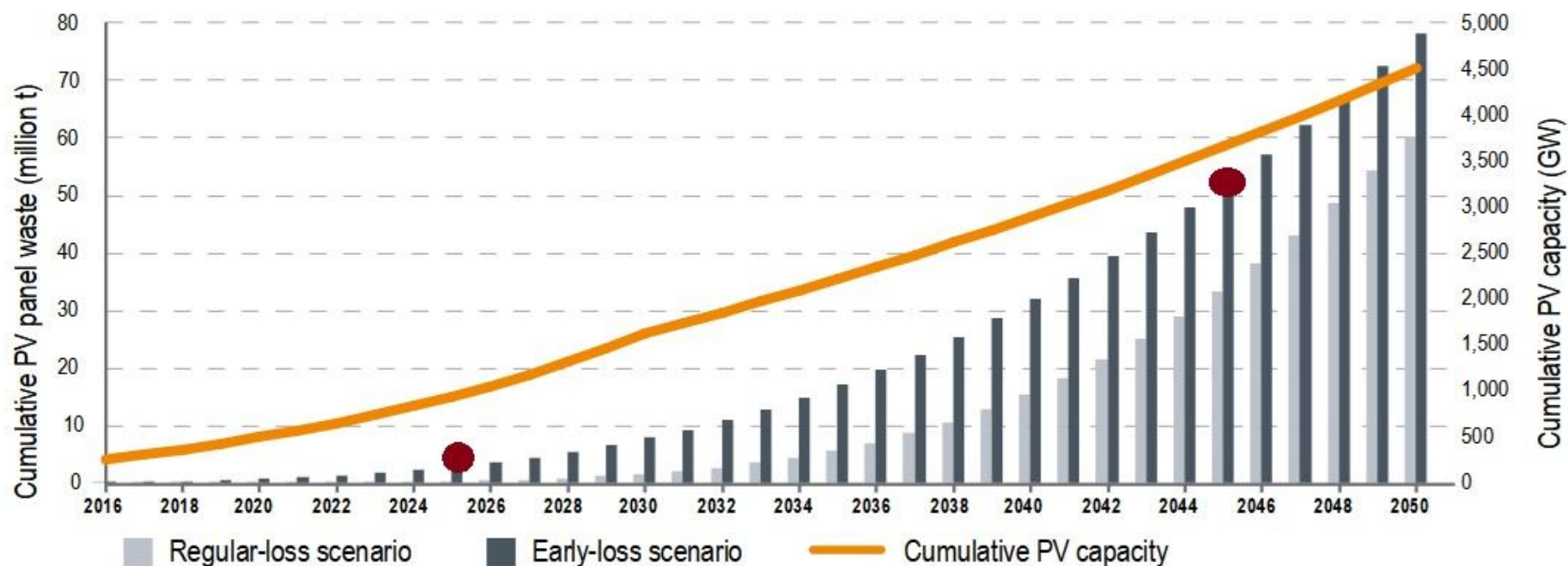
Shrnutí:

Technologie laminace fotovoltaických panelů s použitím velmi měkkých gelů z polydimethylsiloxanu (PDMS) je velmi efektivním řešením jak pro nízkou degradaci na začátku životnosti (BOL), tak pro snadnou recyklaci na konci životnosti (EOL).

Ve srovnání se stávajícími FV panely jsou FV panely laminované velmi měkkými PDMS gely mnohem efektivnější v průběhu celého životního cyklu od BOL po EOL.

**Nove výrobní/laminacní a recyklační technologie
je třeba zavádět co nejrychleji protože nárůst
množství PV odpadu bude v budoucnu extrémní**

Figure 7 Estimated cumulative global waste volumes (million t) of end-of-life PV panels



V následujících 20 letech vzroste objem PV odpadu nejméně 15x