



UNIVERSITY OF PATRAS

Department
Of Chemical
Engineering



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

Ηλιακά φωτοβολταϊκά Οι διαδικασία ανακύκλωσης

Alexis G. Pantziaros
Iacovos C. Iacovides

Prof. Amanatides Lefteris

14/12/2015

Περιεχόμενα

❖ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών (PV)

Γιατί πρέπει να ανακυκλώνονται

Σύνθεση των φωτοβολταϊκών

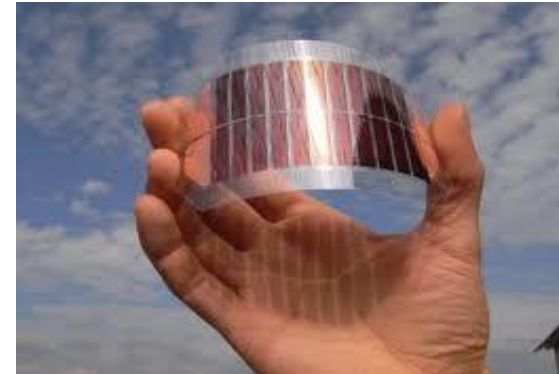
Η τρέχουσα πρακτική της ανακύκλωσης

❖ ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ

Wafer-based Crystalline Silicon Technology

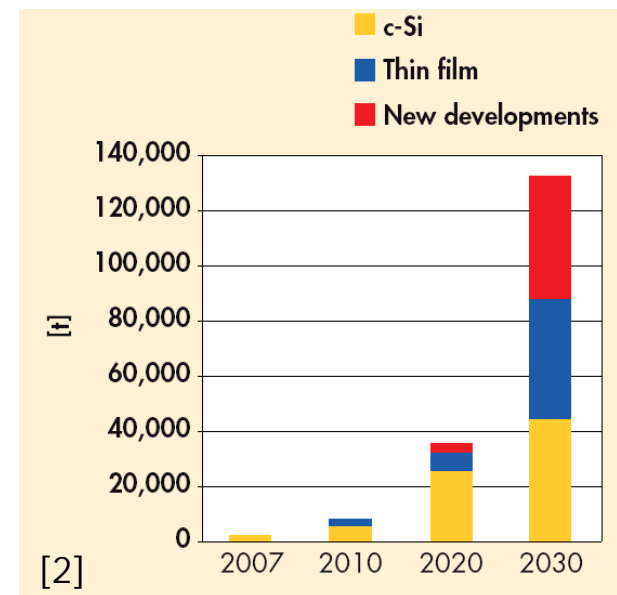
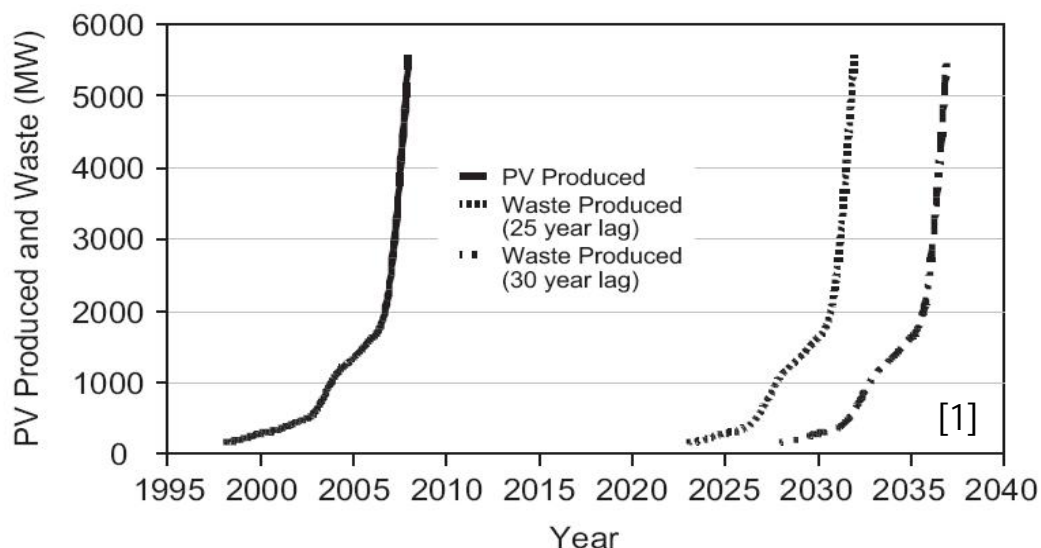
Thin-Film Technologies

Emerging and novel PV Technologies



Ανάπτυξη των φωτοβολταϊκών (PV)

- ❖ Μεγάλης κλίμακας εμπορευματοποίηση των φωτοβολταϊκών ξεκίνησε μετά το 2000, ακολουθώντας τα οικονομικά κίνητρα.
- ❖ Οι κυβερνητικές πολιτικές για τον περιορισμό του CO₂
- ❖ Το πρωτόκολλο του Κιότο
- ❖ Ανάγκη για "πράσινη ενέργεια και τεχνολογία"



1. McDonald, N.C. and J.M. Pearce, *Producer responsibility and recycling solar photovoltaic modules*. *Energy Policy*, 2010. 38(11): p. 7041-7047.
2. Informations dienst, B., *Recycling photovoltaic modules*, 02/2010.

Γιατί πρέπει να ανακυκλώνονται PV

- ❖ Με βάση την εγκατεστημένη ισχύ, ο όγκος των αποβλήτων φωτοβολταϊκών θα αυξηθεί ραγδαία τα επόμενα χρόνια

Country	2012	2013	2014	2020	2021	2022	2026	2027	2028
tn PV wa./ y									
France	50	150	170	390	490	700	15550	71910	152200
Germany	200	300	700	13900	67000	95100	379400	740600	750000
Italy	170	20	70	400	470	680	72300	232100	928000
Spain	0	0	0	500	1200	2500	6000	39200	35490
United Kingdom	10	0	20	180	230	270	350	4380	94422
Rest EU	0	100	0	1300	1000	100	700	5880	6980
Total Europe	690	891	1353	19706	71820	100810	579795	1331150	2153912

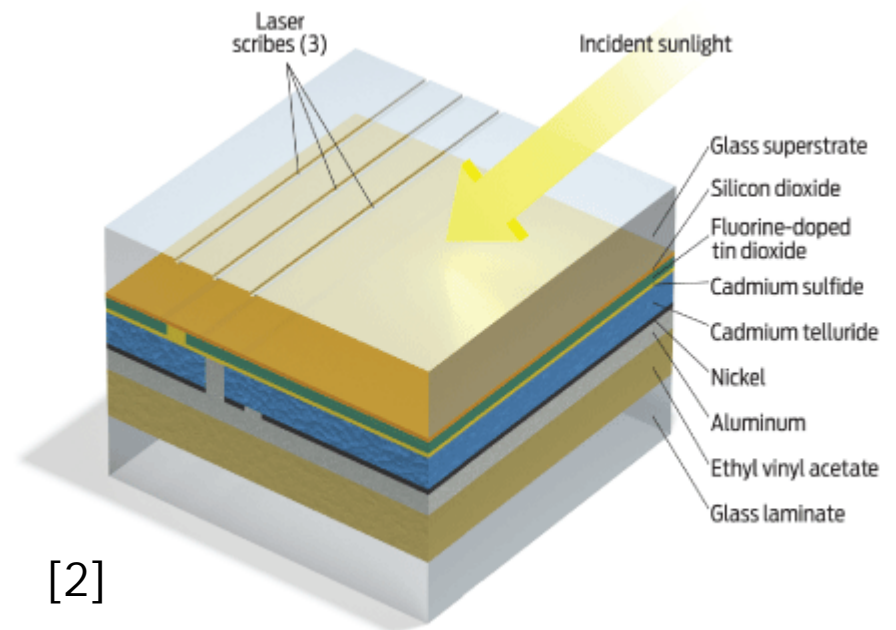
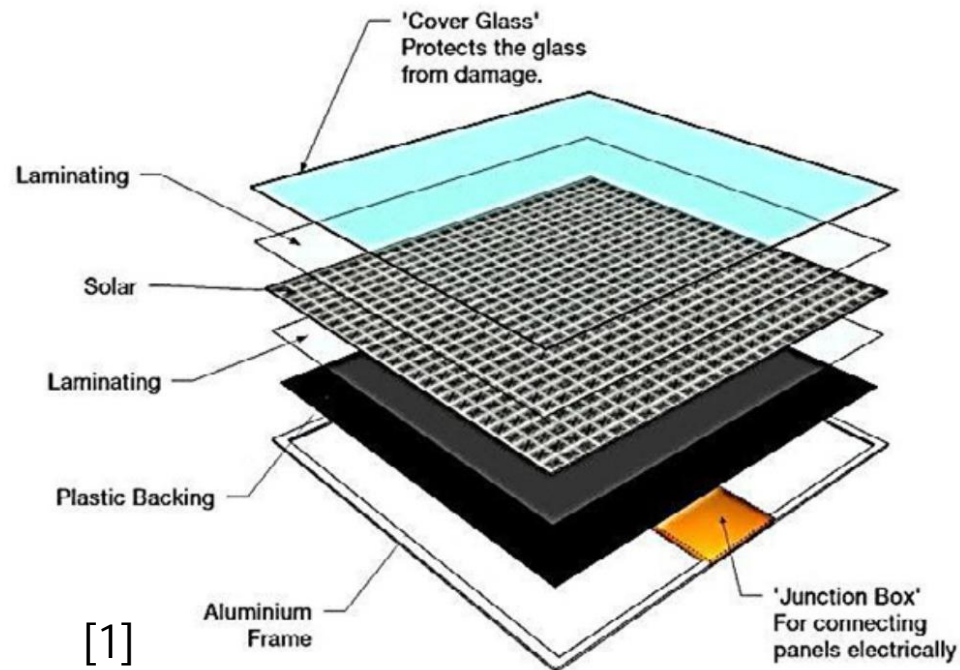
1. Consulting, S.T. *The evolution of photovoltaic waste in Europe. May 2013.*

Γιατί πρέπει να ανακυκλώνονται PV

Αν τα φωτοβολταϊκά πλαίσια δεν απορριφθούν σωστά, μπορούν να προκαλέσουν τις ακόλουθες αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον και την ανθρώπινη υγεία:

- ❖ Εναπόθεση μολύβδου
- ❖ Εναπόθεση καδμίου
- ❖ Απώλεια των συμβατικών πόρων, κυρίως γυαλιού και αλουμινίου
- ❖ Απώλεια σπάνιων μετάλλων όπως το ασήμι, το ίνδιο, το γάλλιο και το γερμάνιο
- ❖ Οικονομικές επιπτώσεις

Σύνθεση των φωτοβολταϊκών



1. Dubey, S., N.Y. Jadhav, and B. Zakirova, *Socio-Economic and Environmental Impacts of Silicon Based Photovoltaic (PV) Technologies*. *Energy Procedia*, 2013. 33(0): p. 322-334.
2. <http://www.nrel.gov/pv/thinfilm.html>

Σύνθεση των φωτοβολταϊκών

Material	Crystalline Silicon Modules	Thin Film Modules		
		a-Si	Cd Te	CIS/CIGS
Glass	74%	86%	95%	84%
Aluminum	10%	<1%	<1%	12%
Other components (including rare metals)	16%	14%	4%	4%
Other key materials (representing over 1% of composition)	EVA, Teblar backing film, silicon, adhesive	Polyol, MDI	EVA	
Rare materials	Silver	Indium, Germanium		Indium, Gallium
Presence of Cd & Pb	Pb		Cd	

1. Monier, H., *Study on photovoltaic panels sumplementing the impact assessment for a recast of the WEEE directive, 2011, BIO Intelligence Service*

2. Sander, K. and I.f.Ö.u. Politik, *Study on the Development of a Take Back and Recovery System for Photovoltaic Products 2007.*

Η τρέχουσα πρακτική της ανακύκλωσης

- ❖ Βασικές λειτουργίες για την επεξεργασία και την ανακύκλωση των φωτοβολταϊκών πάνελ

Τύπος της επεξεργασίας	Πιθανά στάδια
Φυσικές / Μηχανικές	Σύνθλιψη, τριβή, διαχωρισμό βάση πυκνότητας, επίπλευσης, προσρόφηση, ακτινοβολία, Μεταλλικός διαχωρισμός
Χημική	Επεξεργασία με οξύ / βάση, θεραπεία διαλύτη
Θερμικός	Καύσης, πυρόλυσης, τήξη, σκωρίας
Διάθεση	Ανακύκλωση στο ίδιο προϊόν, η ανακύκλωση σε άλλο προϊόν, την ανάκτηση της ενέργειας από την θερμική επεξεργασία των οργανικών στρωμάτων, χρησιμοποίηση του όγκου του μεταλλικού κλασμάτων

1. Monier, H., *Study on photovoltaic panels sumplementing the impact assessment for a recast of the WEEE directive, 2011, BIO Intelligence Service*

Η τρέχουσα πρακτική της ανακύκλωσης

- ❖ Ένας αριθμός διεργασιών επεξεργασίας και ανακύκλωσης είναι υπό ανάπτυξη για την παγκόσμια PV.

Operator	Procedure	Size/Stage of development	PV Technology
Deutsche Solar AG	Thermal separation, chemical processes	Pilot production	Crystalline, thin films
First Solar, BNL	Thermal decomposition in inert gas	Laboratory	Thin films
Isofoton	Cell recycling, swelling, shedding, repairable module	Laboratory	Crystalline
AIST, Sharp, Asahi	Mineral acids, solvent swelling, repairable module	Laboratory	Crystalline
BP Solar	Recycling with mineral acids and fluidized bed	Laboratory	Crystalline
Siemens Solar, Shell solar	High pressure water jet	Laboratory	Crystalline

1. Monier, H., *Study on photovoltaic panels sumplementing the impact assessment for a recast of the WEEE directive, 2011, BIO Intelligence Service*

Δύο μέθοδοι ανακύκλωσης που έχουν δοκιμαστεί και τεθεί σε λειτουργία

➤ Deutsche Solar process

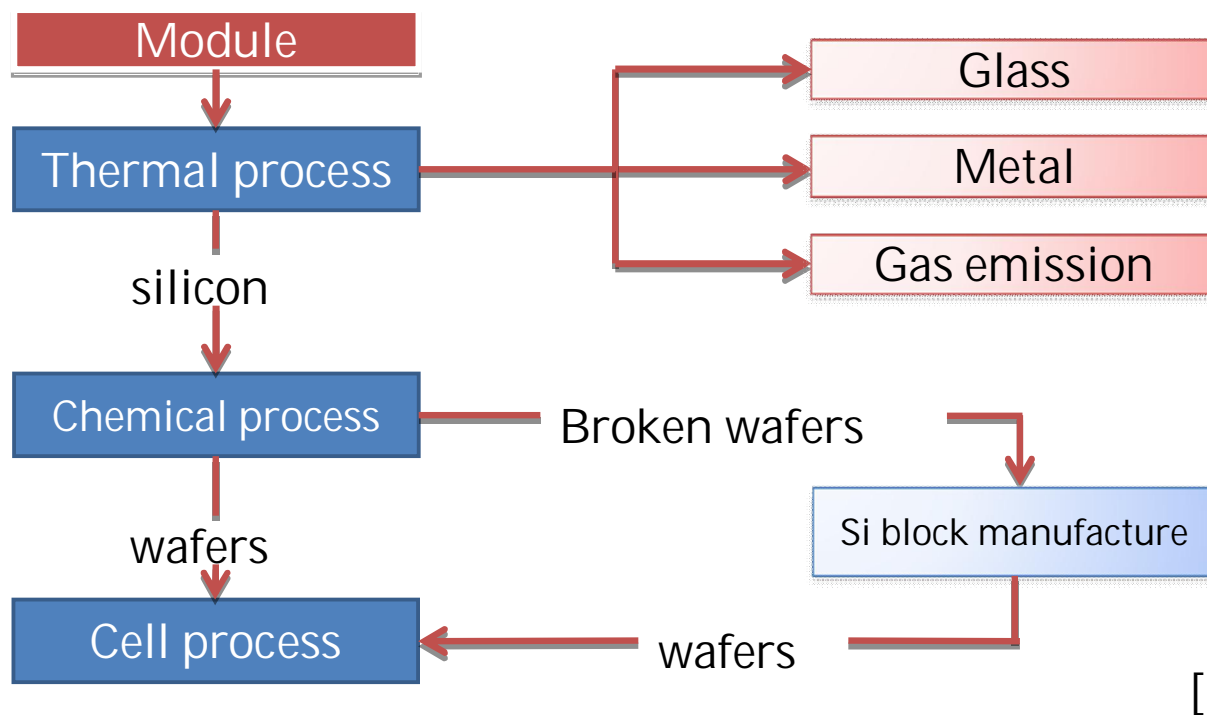


➤ First's Solar process



Deutsche Solar process

- Pilot scheme since 2003



[1,2]



[3]

1. Müller, A., K. Wambach, and E. Alsema, *Life Cycle Analysis of Solar Module Recycling Process*. *MRS Online Proceedings Library*, 2005. 895: p. null-null.
2. Informationsdienst, B., *Recycling photovoltaic modules*, 02/2010
3. Kang, S., et al., *Experimental investigations for recycling of silicon and glass from waste photovoltaic modules*. *Renewable Energy*, 2012. 47(0): p. 152-159.

Deutsche Solar process

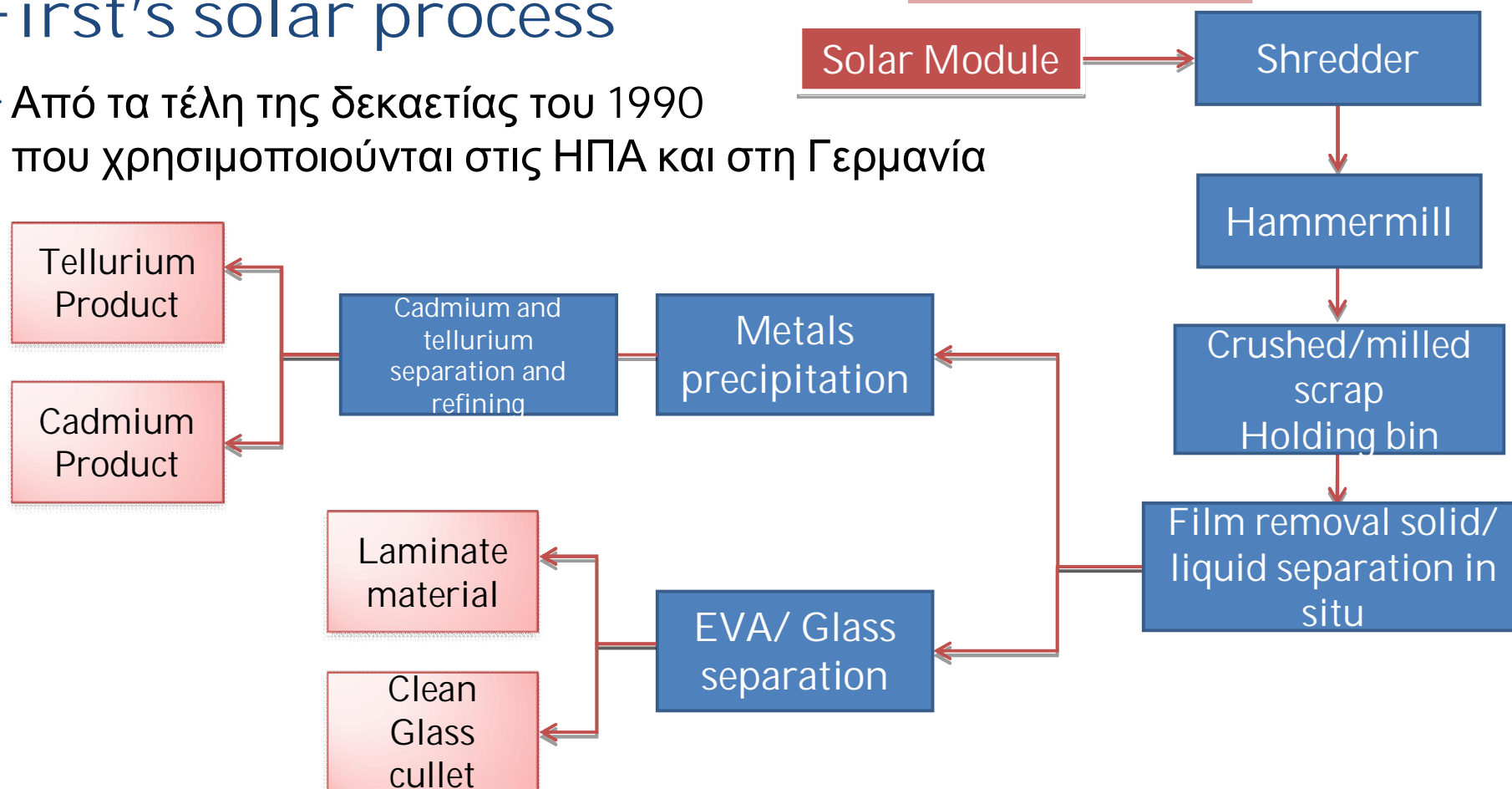
❖ Τα τελικά προϊόντα και υπολείμματα της ανακύκλωσης και τον προορισμό

End products	Destination
Silicon wafer	Sale
Silicon Granulate	Sale, own use
Silver	Sale, metal recycling
Aluminium	Sale, metal recycling
Steel	Sale, metal recycling
Copper	Sale, metal recycling
Glass	Sale, metal recycling
Packaging	Disposal, recycling
Remnants	Disposal, (mixed waste)

1. Monier, H., *Study on photovoltaic panels sumplementing the impact assessment for a recast of the WEEE directive, 2011, BIO Intelligence Service*

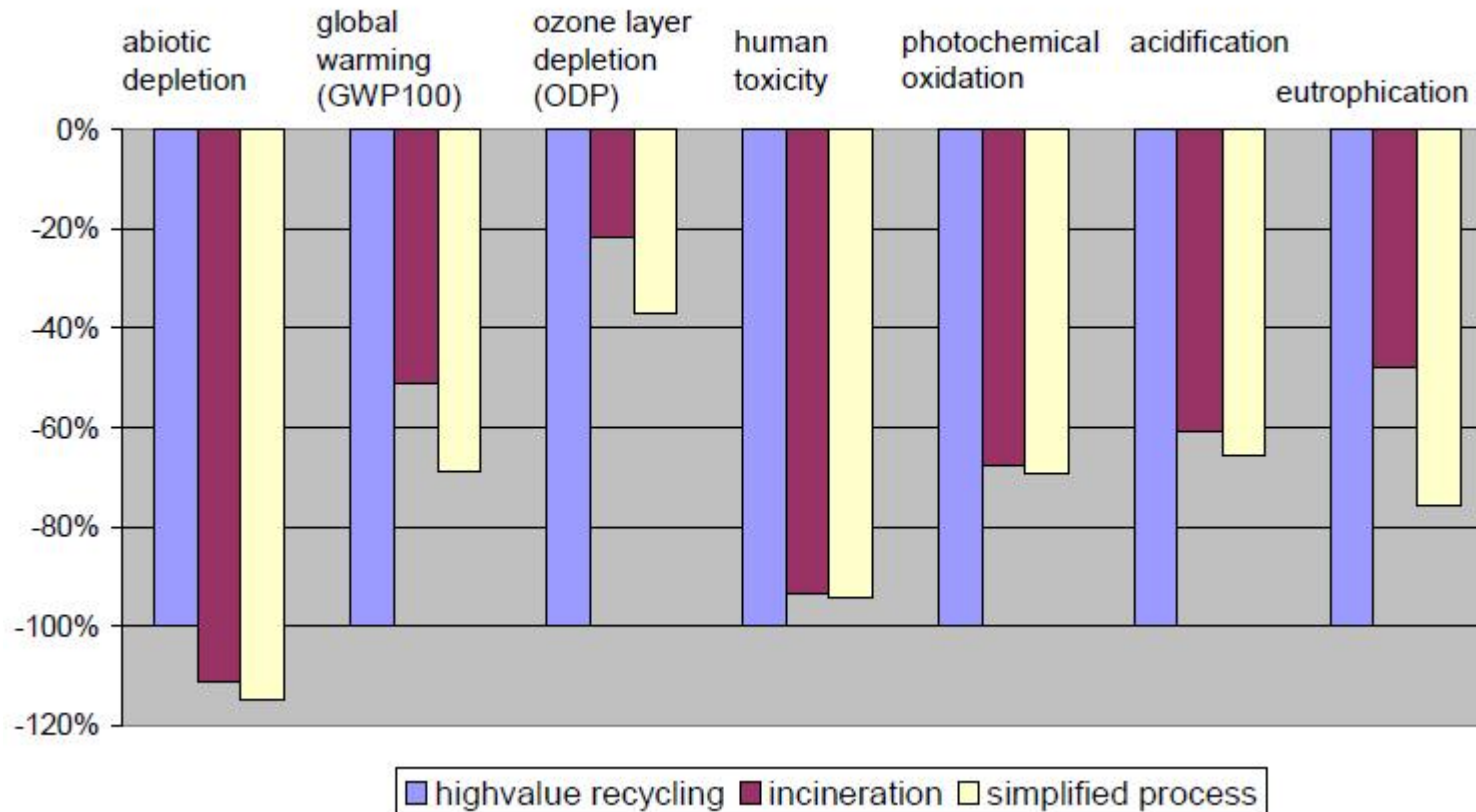
First's solar process

- ❖ Από τα τέλη της δεκαετίας του 1990 που χρησιμοποιούνται στις ΗΠΑ και στη Γερμανία



1. Monier, H., *Study on photovoltaic panels sumplementing the impact assessment for a recast of the WEEE directive*, 2011, BIO Intelligence Service
2. Berger, W., et al., *A novel approach for the recycling of thin film photovoltaic modules*. *Resources, Conservation and Recycling*, 2010. 54(10): p. 711-718.

Σύγκριση των τριών τεχνολογιών επεξεργασίας αποβλήτων



1. Müller, A., K. Wambach, and E. Alsema, *Life Cycle Analysis of Solar Module Recycling Process*. *MRS Online Proceedings Library*, 2005. 895: p. null-null.

Η τρέχουσα πρακτική της ανακύκλωσης

Η ανακύκλωση φωτοβολταϊκών δεν είναι οικονομικά βιώσιμη λόγω του μικρού όγκου των παραγόμενων αποβλήτων

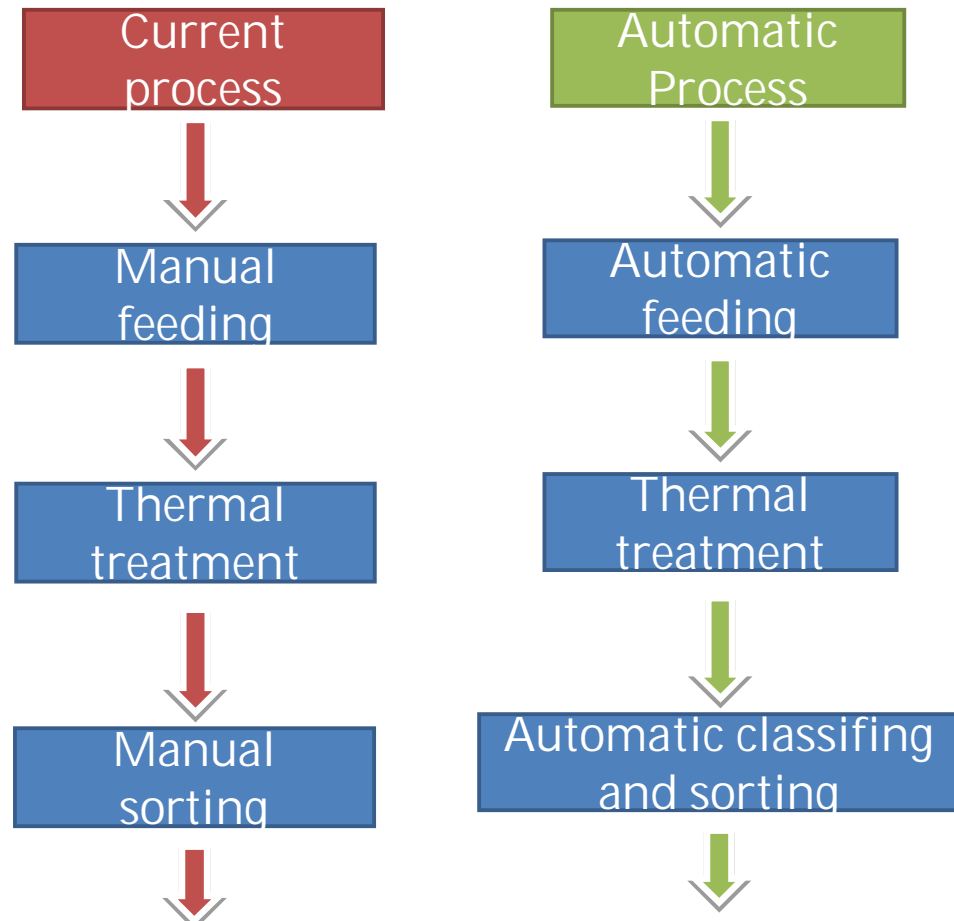
Χρησιμοποιώντας καινούριες πρώτες ύλες στην παραγωγή φωτοβολταϊκών έχουμε χαμηλό κόστος, παρά την υψηλή ένταση ενέργειας που απαιτείται, καθώς δεν υπάρχει φόρος διοξειδίου του άνθρακα

Η πλειοψηφία των φωτοβολταϊκών απόβλητων προέρχεται από την παραγωγή ή θραύση κατά τα δύο πρώτα χρόνια της ζωής τους, λόγω λανθασμένης τοποθέτησης.


Έχουν αναφερθεί 91 πιστοποιημένα σημεία συλλογής για ανακύκλωση φωτοβολταϊκών πάνελ σε όλη την Ευρώπη και αριθμοί πάνω από 180 εταιρείες-μέλη.

1. Fthenakis, V.M., *End-of-life management and recycling of PV modules. Energy Policy, 2000. 28(14): p. 1051-1058.*
2. Larsen, K., *End-of-life PV: then what? Renewable Energy Focus, 2009. 10(4): p. 48-53.*

Παρελθόν και μέλλον της διαδικασίας ανακύκλωσης φωτοβολταϊκά



1. Wambach, K., *A Voluntary Take Back Scheme and Industrial Recycling of Photovoltaic Modules. Recycling Scoping Workshop, 2009..*

A vibrant landscape featuring a bright sun low on the horizon, casting a golden glow over a lush green field. The sky transitions from a deep blue at the top to a lighter blue near the horizon. The text is centered in the middle of the image.

**Σας ευχαριστώ για την
προσοχή σας.**