

ΘΕΡΜΙΚΗ ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

Παραγωγή - Αποθήκευση

Δρ. Ηλίας Παπανικολάου

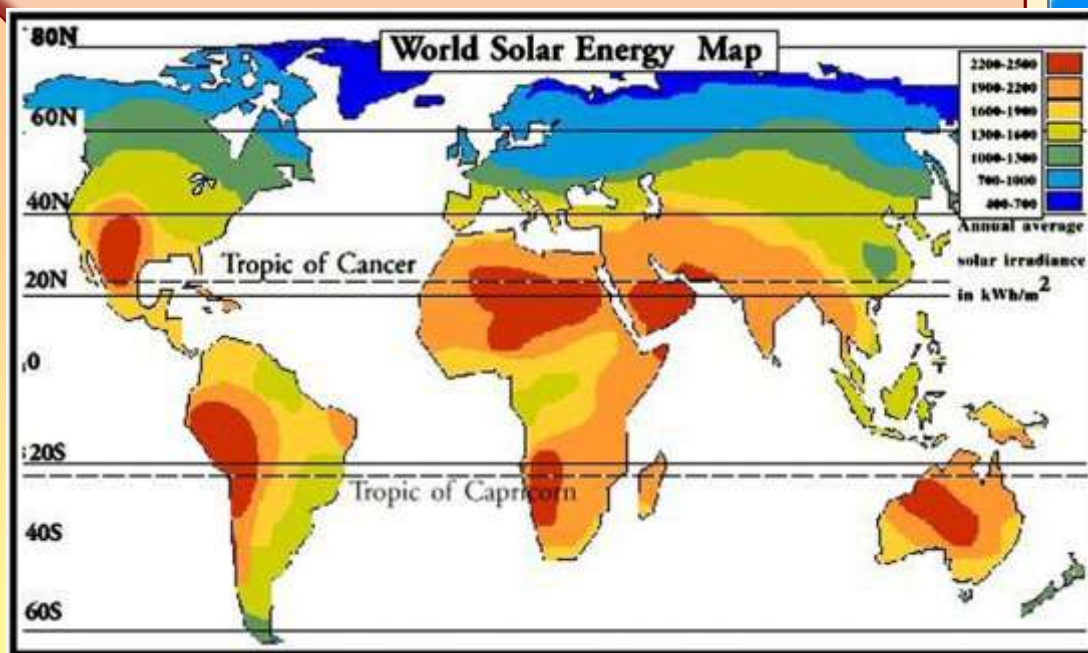
*Εργαστήριο Ηλιακών & άλλων
Ενεργειακών Συστημάτων*



ΗΛΙΑΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

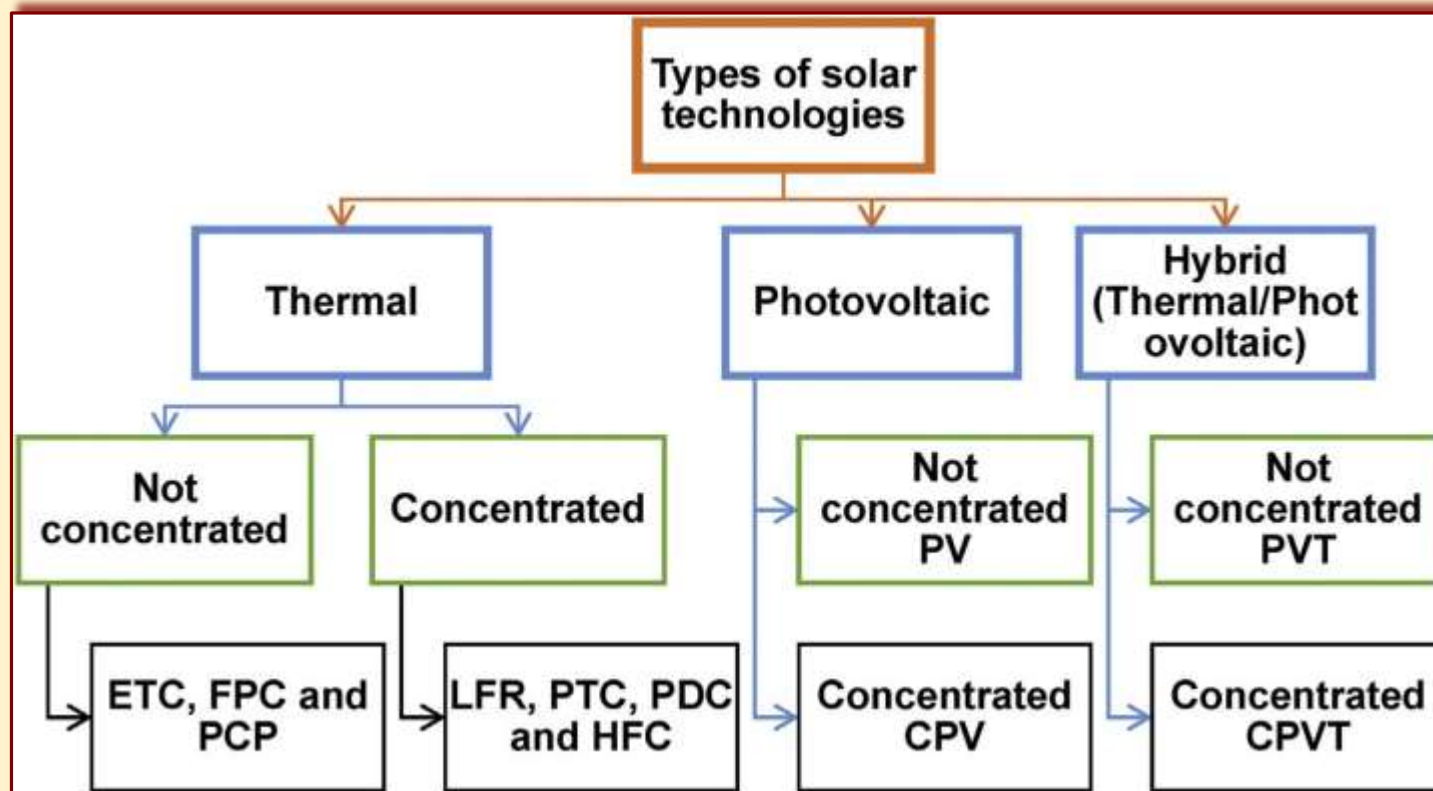
Ηλιακό δυναμικό

- Περισσότερη ενέργεια πέφτει στη γη από τον ήλιο σε μια ώρα απ' αυτήν που καταναλώνεται από τον άνθρωπο σε ένα ολόκληρο χρόνο
- Η διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας υπερβαίνει αυτήν όλων των υπόλοιπων ανανεώσιμων και συμβατικών μορφών



- Μόνο ένα μικρό ποσοστό ($4.5 \times 10^{-8} \%$) της εκπεμπόμενης από τον ήλιο ακτινοβολίας φθάνει στην ατμόσφαιρα της γης και αυτό ίσο με 1.6×10^{14} kW

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΗΛΙΑΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ



ΤΥΠΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΩΝ

Μη συγκεντρωτικοί συλλέκτες

Επίπεδος συλλέκτης :

- Σταθερή θέση, δέχεται την άμεση και την διάχυτη ακτινοβολία
- Μαύρη, επίπεδη απορροφητική επιφάνεια, μεταφέρει θερμότητα σε ένα εργαζόμενο ρευστό (κατά κανόνα νερό ή αέρας)
- Εφαρμογές χαμηλών θερμοκρασιών

Συλλέκτης Σωλήνων Κενού

- Κυλινδρική απορροφητική επιφάνεια, περιβάλλεται από κενό
- Μικρότερες θερμικές απώλειες, υψηλότερη απόδοση



Συγκεντρωτικοί συλλέκτες

- Ηλιακή ενέργεια έχει χαμηλή πυκνότητα ενέργειας σε σχέση με συμβατικές μορφές (στερεά/υγρά καύσιμα)
- Οπτικές διατάξεις μπορούν να συγκεντρώσουν την ακτινοβολία σε μικρή απορροφητική επιφάνεια ➡ Μείωση θερμικών απωλειών
- Υψηλότερες θερμοκρασίες ➡ Υψηλότερη απόδοση στην μετατροπή της ενέργειας



ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ - ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ

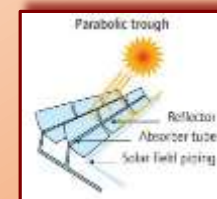
Μεσαίες Θερμοκρασίες

- Τιμές στην περιοχή 80 – 250 °C

Ενδεικτικές εφαρμογές: Θερμότητα για βιομηχανικές διεργασίες (π.χ. Παραγωγή ατμού), ηλεκτροπαραγωγή μικρής κλίμακας

Συγκεντρωτικοί Συλλέκτες : Παραβολικής σκάφης (Parabolic trough), γραμμικής εστίασης με ανακλαστήρες Fresnel.

Ενδιάμεσος βαθμός συγκέντρωσης ($C = 15-20$)



Υψηλές Θερμοκρασίες

- Περιοχή τιμών 250 – 1000 °C

Ενδεικτικές εφαρμογές : Ηλεκτροπαραγωγή μεγάλης κλίμακας (π.χ. Ηλιοθερμικοί σταθμοί)

Συγκεντρωτικοί Συλλέκτες υψηλού βαθμού συγκέντρωσης ($C=200-4000$) : ηλιακός πύργος, ηλιακό πιάτο (dish) κλπ.



ΤΥΠΟΙ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΩΝ - ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ (PTC)

- Παρακολούθηση ηλίου σε έναν άξονα
- Χρήση μόνο άμεσης ακτινοβολίας (DNI)
- Λόγος Συγκέντρωσης C : μέχρι 40
- Θερμοκρασία εστίας T μέχρι 400°C
- Ωριμη Τεχνολογία
- Χαμηλό κόστος
- Μειονέκτημα : Κινούμενα μέρη (συνδέσεις δέκτη)

ΤΥΠΟΥ FRESNEL

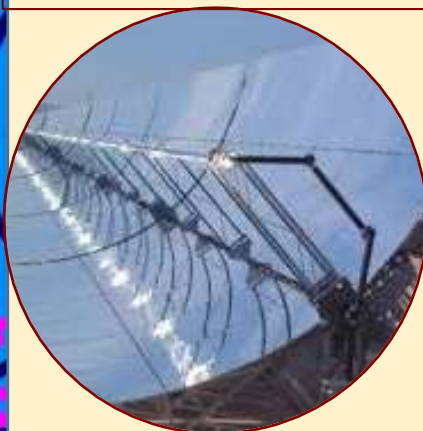
- Ασυνεχής ανακλαστική επιφάνεια από επίπεδα κάτοπτρα υπό μορφή λωρίδων
- Χαμηλότερη οπτική απόδοση σε σχέση με PTC.
- Πλεονεκτήματα : χαμηλότερο κόστος, σταθερή θέση δέκτη, φορτία ανέμου

ΗΛΙΑΚΟΣ ΠΥΡΓΟΣ

- Σημειακής Εστίασης
- Πεδίο επίπεδων ανακλαστήρων (ηλιοστατών) που παρακολουθούν τον ήλιο
- Διάφοροι τύποι δέκτη : ογκομετρικός, με κοιλότητα, σωματιδίων
- Εργαζόμενα ρευστά : αέρας, ατμός, λιωμένο αλάτι
- Πλεονεκτήματα : υψηλότερες θερμοκρασίες (1000°C), καλύτερη απόδοση στη μετατροπή ενέργειας, δυνατότητες για περαιτέρω βελτιώσεις στην απόδοση, μείωση κόστους

ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟ ΠΙΑΤΟ (DISH)

- Σημειακής Εστίασης
- Σύστημα παρακολούθησης του ήλιου σε δύο άξονες (two-axis tracking)
- Απευθείας σύνδεση με θερμικές μηχανές: κύκλοι Stirling, Brayton
- Εργαζόμενα ρευστά : ήλιο, υδρογόνο
- Μικρού μεγέθους συστήματα (< 100kW)
- Πλεονεκτήματα : υψηλοί λόγοι συγκέντρωσης και θερμοκρασίες (μέχρι 2000°C), η καλύτερη απόδοση στη μετατροπή ενέργειας σε σχέση με άλλα ηλιακά συστήματα

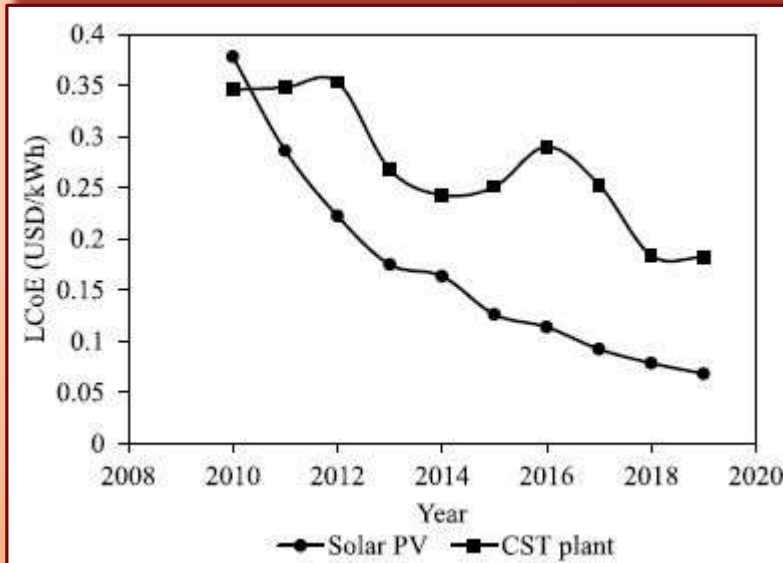
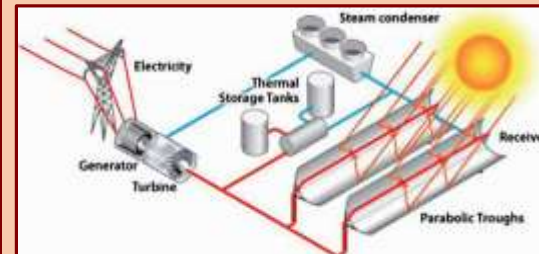
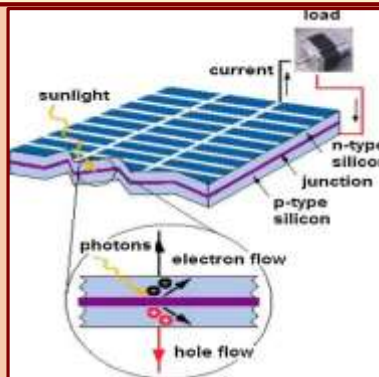


ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

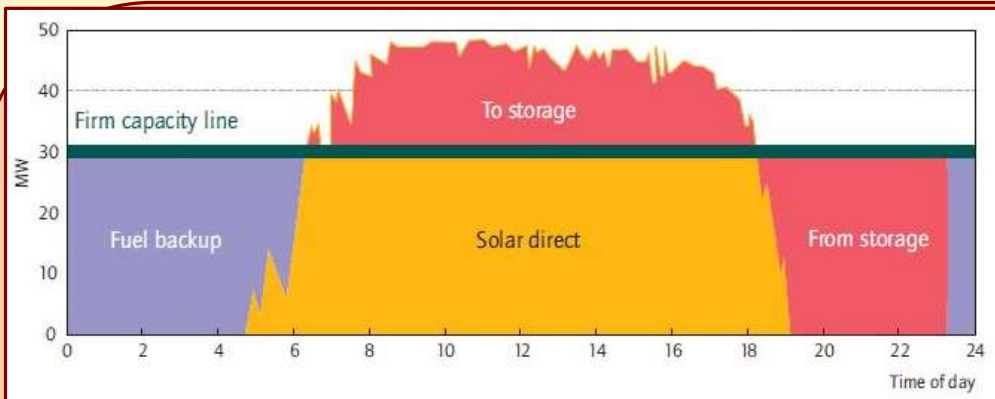
- Άμεση : φωτοβολταϊκά συστήματα (PV)
- Έμμεση : συγκεντρωτικά θερμικά ηλιακά (CSP)

Συγκριτικά

- Για την ίδια επιφάνεια : PV καλύτερη απόδοση
- Μικρότερη περιβαλλοντική επιβάρυνση από τα ΘΗ
- Κόστος/kWh για τα ΦΒ μειώθηκε με πίο γρήγορους ρυθμούς
- Η διαθεσιμότητα των ΘΗ είναι μεγαλύτερη, λόγω της αποθήκευσης θερμότητας



ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

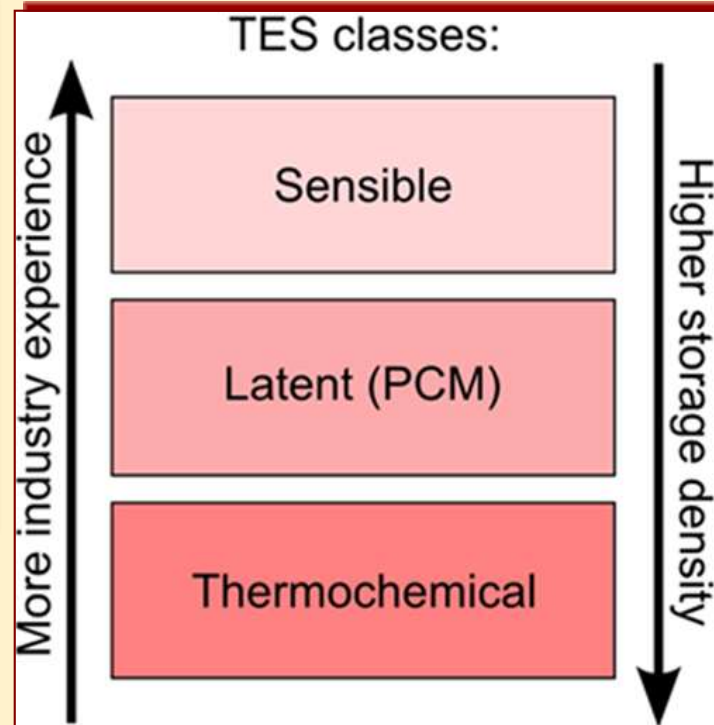
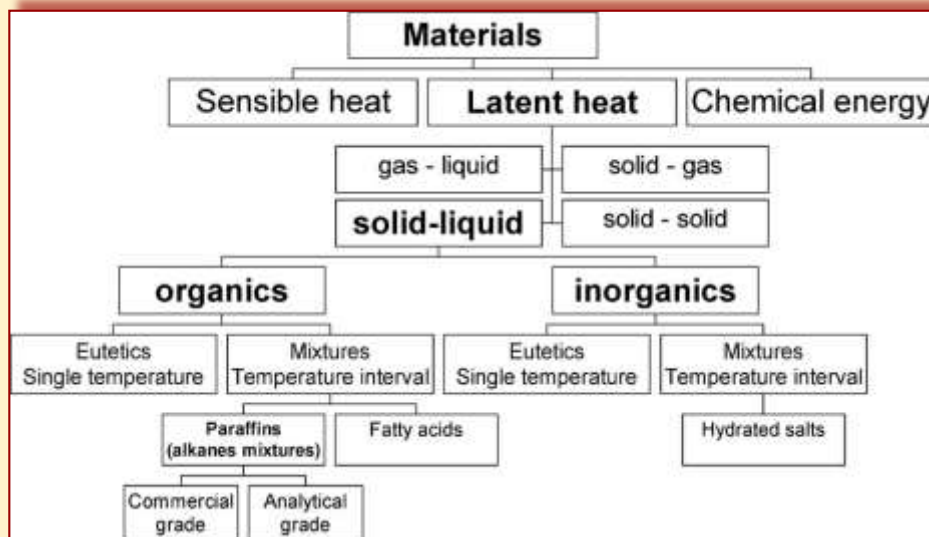


Κριτήρια Σχεδιασμού

- Διάρκεια Αποθήκευσης – Διαστασιολόγηση
- Μορφή Αποθήκευσης (αισθητή / λανθάνουσα θερμότητα)
- Επιλογή Υλικού



ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ - ΜΟΡΦΕΣ



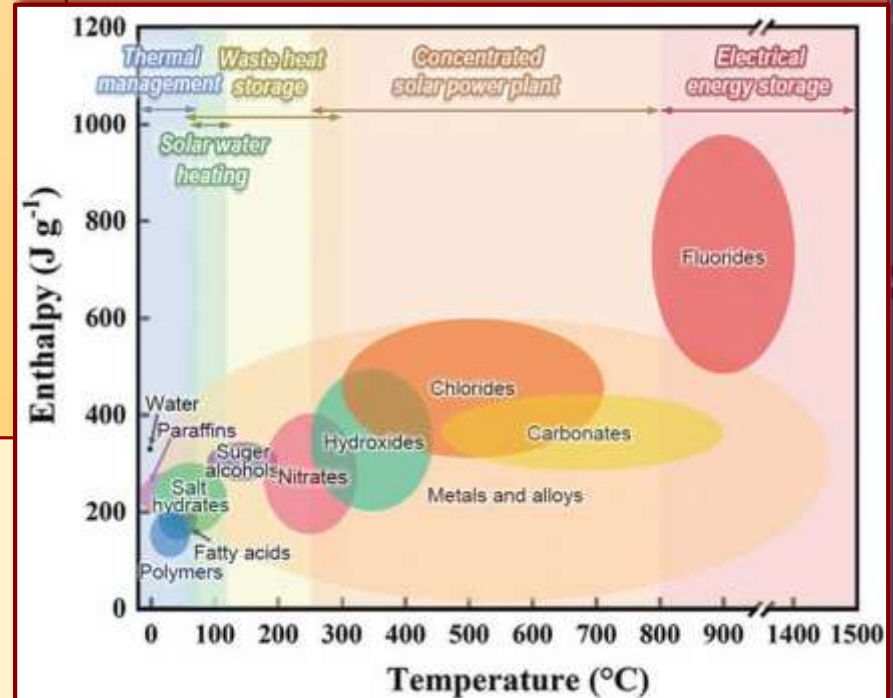
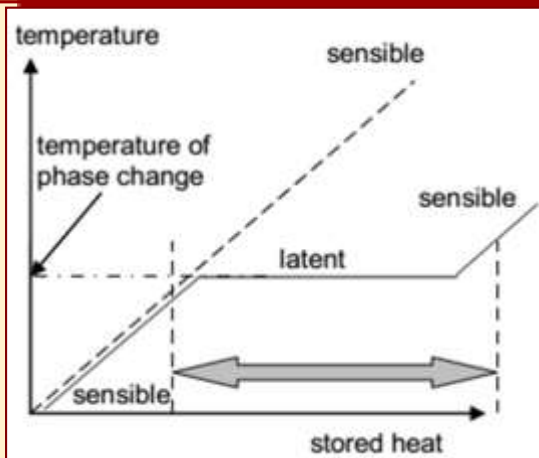
ΥΛΙΚΑ ΑΛΛΑΓΗΣ ΦΑΣΗΣ

Πλεονεκτήματα

- Μικρή θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ φόρτισης-εκφόρτισης
- Μεγάλη χωρητικότητα αποθήκευσης

Μειονέκτημα

- Χαμηλή θερμική αγωγιμότητα



$$Q_{th} = \int_{T_i}^{T_m} mc_p dT + m \cdot \delta \cdot h_{sl} + \int_{T_m}^{T_f} mc_p dT$$

ΕΓΚΑΤΕΣΤΗΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΠΑΓΚΟΣΜΙΩΣ

Table 1

Comparison of the global power capacity between different renewable energy sectors (Unit: GW) [1].

Order	Power capacity	Year		
		2013	2014	2015
1	Total Renewable power	1578	1712	1849
2	Hydropower	1018	1055	1064
3	Bio-power	88	93	106
4	Geothermal	12.1	12.8	13.2
5	Solar PV	138	177	227
6	Concentrating solar thermal	3.4	4.4	4.8
7	Wind power capacity	319	370	433

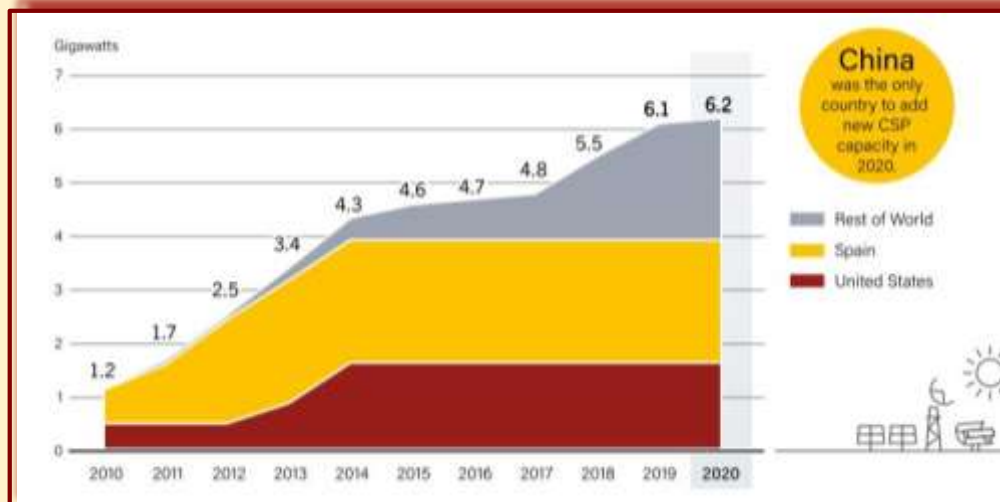
Table 2

The 2015 global ranking for solar power generation capacity. [1].

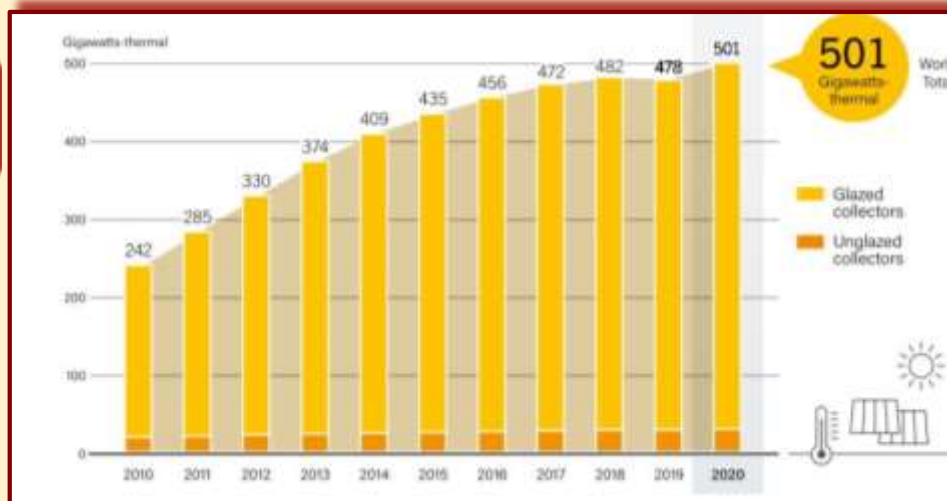
World Ranking	Country Name	Total Capacity (MW) at 2015	Installed (MW) in 2015
1	China	43,180	15,130
2	Germany	39,553	1418
3	Japan	33,300	10,000
4	USA	27,400	7260
5	Italy	19,160	700
6	UK	8437	3109
7	Spain	6967	6946
8	France	6680	1020
9	Australia	5049	913
10	India	4680	2048

ΤΡΕΧΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΕΘΝΩΣ

Ηλιοθερμικοί Σταθμοί



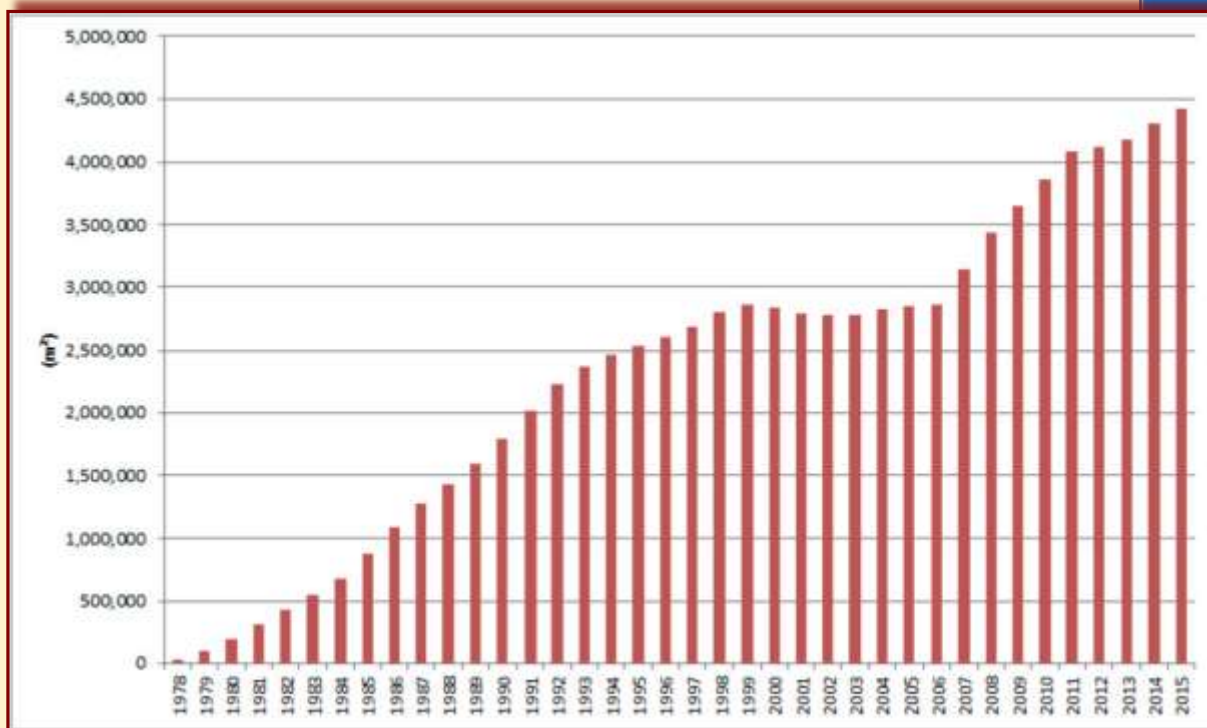
Συστήματα Θέρμανσης Νερού



ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ - ΘΕΡΜΙΚΑ

- Πρωτοπόρος στην χρήση της θερμικής ηλιακής ενέργειας (οικιακά συστήματα θέρμανσης νερού)

- Από τα τέλη της δεκαετίας του 1970 και για αρκετά χρόνια οι εγκαταστάσεις αυξάνονταν με υψηλούς ρυθμούς.
- Εμφάνιζε τον μεγαλύτερο δείκτη συλλεκτικής επιφάνειας ανά κατοικο στην ΕΕ
- Στην 10^η θέση παγκοσμίως το 2016



ΘΕΡΜΙΚΑ ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

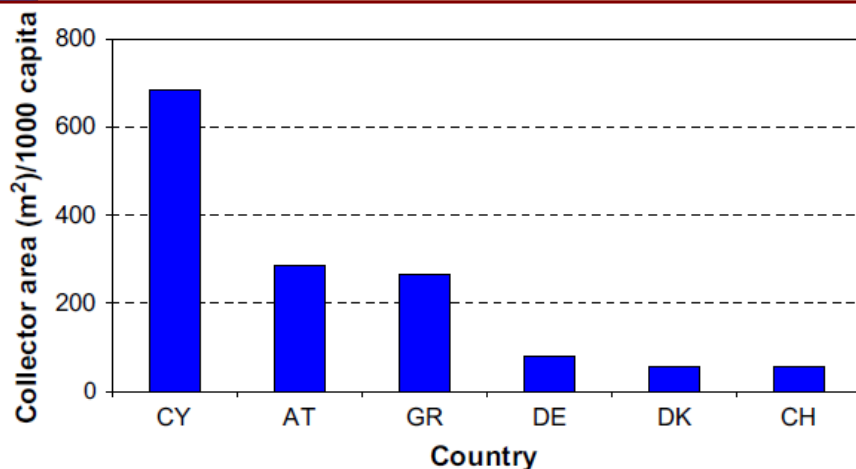
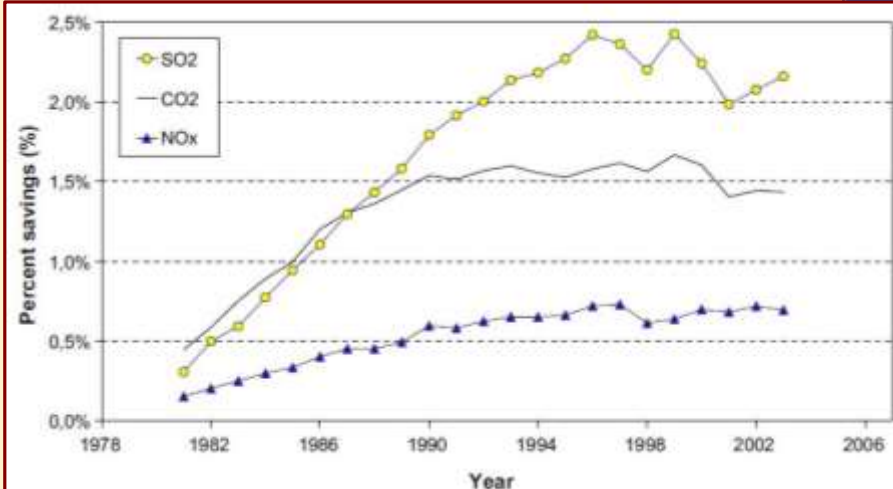
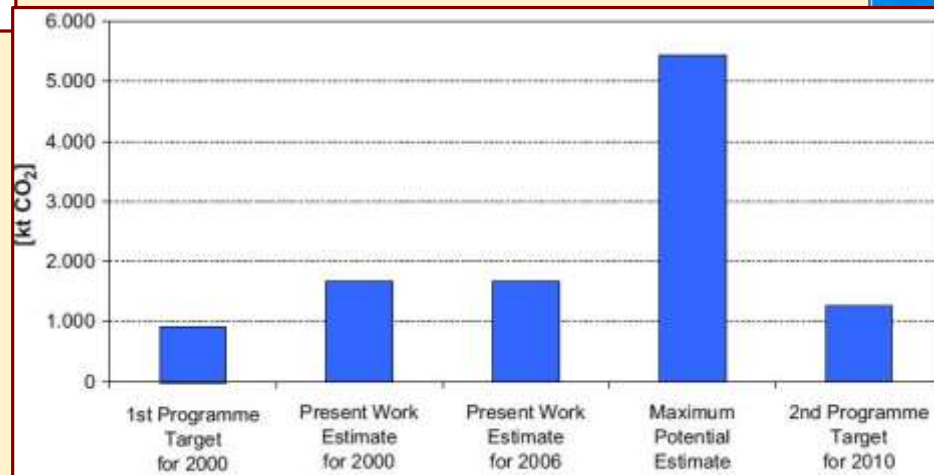


Fig. 1. Installed collectors per 1000 capita in EU (2007) [4].



- **Ενεργειακό και περιβαλλοντικό όφελος :** αντικατάσταση μέρους της παραγόμενης ηλεκτρικής ισχύος. Περιορισμός αντίστοιχων εκπομπών αερίων ανά MWh
- **Υπερκάλυψη στόχου περικοπής εκπομπών με βάση δύο προγράμματα για την Κλιματική Αλλαγή (2000,2010)**

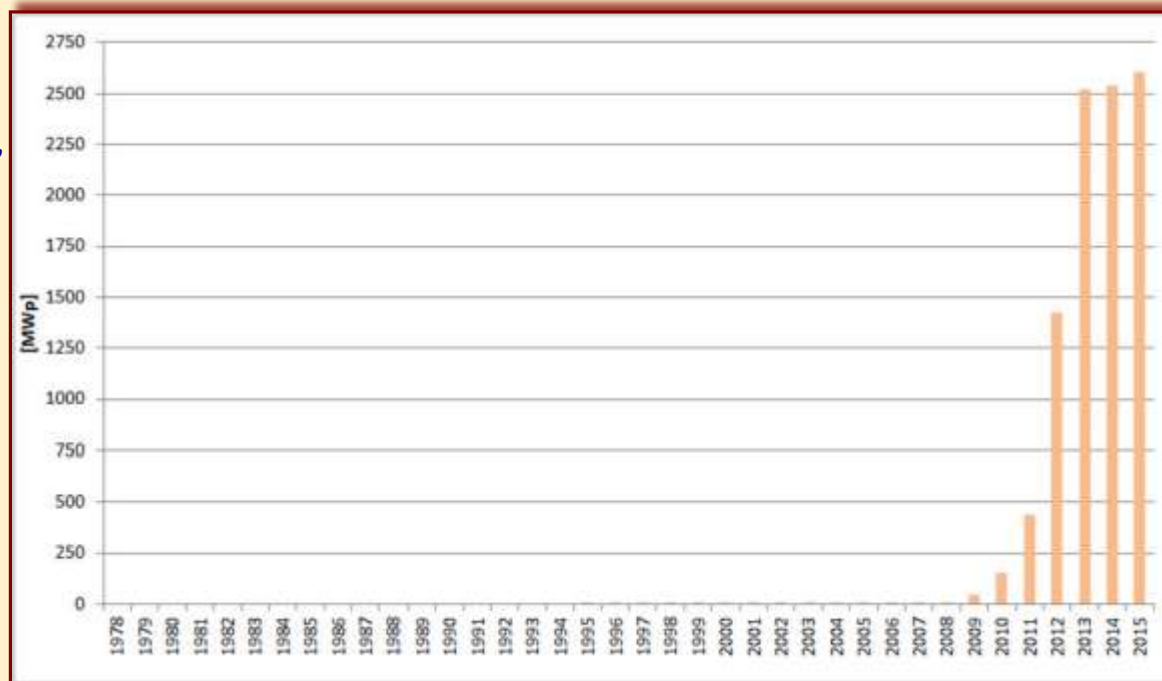




ΗΛΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ - ΦΩΤΟΒΟΛΤΑΪΚΑ

■ Πρώτες εγκαταστάσεις την δεκαετία του '80 (απομακρυσμένα νησιά)

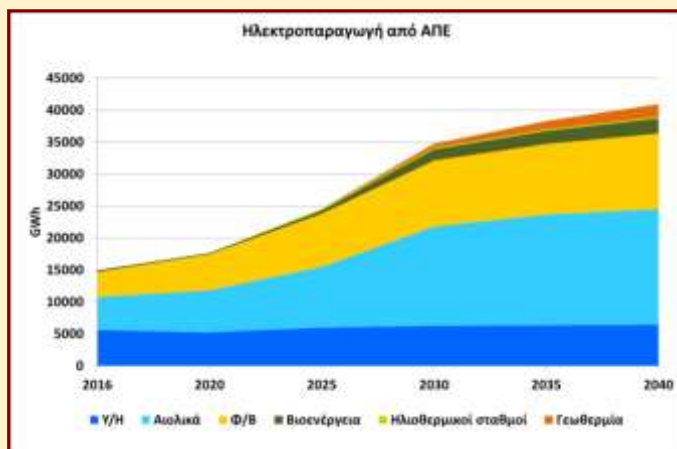
- Λόγω υψηλού κόστους, δεν αναπτύχθηκε η σχετική αγορά
- Από την δεκαετία του 1990 και ιδίως του 2000, επιδότηση μέσω προγραμμάτων (45%-50% της επένδυσης)
- Μεγάλη άνθηση από το 2008 και μετά (feed-in-tarif)
- Υπερκάλυψη στόχου παραγωγής-Επιβράδυνση αγοράς



ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα Ιανουάριος 2019

- Ηλιακή ενέργεια για θέρμανση και ψύξη
- Συγκεντρωτικά θερμικά ηλιακά/ ηλιοθερμικοί σταθμοί για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας



REPowerEU Μάιος 2022

Στρατηγική της ΕΕ για την ηλιακή ενέργεια

- Ηλιακά φωτοβολταϊκά (ΦΒ) και ηλιακές θερμικές τεχνολογίες
- Η ηλιακή ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, θερμότητας ή υδρογόνου μπορεί να αντικαταστήσει την κατανάλωση φυσικού αερίου στις βιομηχανικές διεργασίες.
- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας με συγκεντρωτικά κάτοπτρα (CSP) μέσω θερμικής αποθήκευσης και τα ηλιακά φωτοβολταϊκά με συσσωρευτές

ΣΥΝΟΨΗ

- Η συγκεντρωτική ηλιακή ενέργεια μπορεί να αποτελέσει μια αξιόπιστη εναλλακτική λύση για την μεγάλης κλίμακας παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος με μειωμένες εκπομπές ρύπων.
- Μέχρι σήμερα οι σχετικές τεχνολογίες έχουν κατά κύριο λόγο αναπτυχθεί στις ΗΠΑ και την Ισπανία. Τα τελευταία χρόνια αναπτύσσονται η Κίνα, η Ινδία και οι Αφρικανικές χώρες (Μαρόκο).
- Η ανάπτυξη των συγκεντρωτικών ηλιακών συστημάτων προσφέρει μεγάλες δυνατότητες για ερευνητικές δραστηριότητες και ιδιαίτερα στη χώρα μας με το ηλιακό δυναμικό και την βιομηχανία που διαθέτει
- Στόχος των ερευνητικών προσπαθειών είναι η μείωση του κόστους και η αύξηση της διαθεσιμότητας ισχύος με επιμήκυνση της χρήσης της αποθηκευμένης θερμότητας

ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΗ ΥΠΟΔΟΜΗ ΑΡΧΙΜΗΔΗΣ

ΠΑΡΑΒΟΛΙΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ (PTC)



ΣΥΛΛΕΚΤΗΣ ΜΕ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΕΣ ΤΥΠΟΥ FRESNEL



ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΑΙΣΘΗΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Στερεό
αποθηκευτικό
μέσο (μαγνητίτης)



ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΛΑΘΑΝΟΥΣΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Ενθυλακωμένο
Υλικό Αλλαγής
Φάσης

