



Κόντης Ελευθέριος

Δρ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχανικός Υπολογιστών

kontislefteris@gmail.com

Δικτυακοί τόποι μαθήματος:

ΠΕ: <https://eclass.uowm.gr/courses/HMMY112/>

ΤΕ: <https://eclass.teiwm.gr/courses/EE193/>



- ✓ Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας με θερμικά μέσα:
 - Αποθήκευση ενέργειας από συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια (concentrated solar power) - CPS
 - Αποθήκευση ενέργειας με άντληση θερμότητας (pumped heat energy storage)-PHES
 - Αποθήκευση ενέργειας με υγροποίηση αέρα ή κρυογενική αποθήκευση ενέργειας (liquid air energy storage) - LAES



Ηλιακά Συγκεντρωτικά Συστήματα



- ✓ Τα συστήματα συγκεντρωμένης ηλιακής ενέργειας χρησιμοποιούν την ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση κάποιου υγρού μέσου, το οποίο αεριοποιείται και χρησιμοποιείται για την κίνηση μιας θερμικής μηχανής και την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας
- ✓ Η ηλιακή ενέργεια συγκεντρώνεται μέσω κάποιων κάτοπτρων και θερμαίνει το υγρό μέσο
- ✓ Δεν υπάρχει άμεση αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά αποθήκευση θερμικής ηλιακής ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ηλεκτρισμού

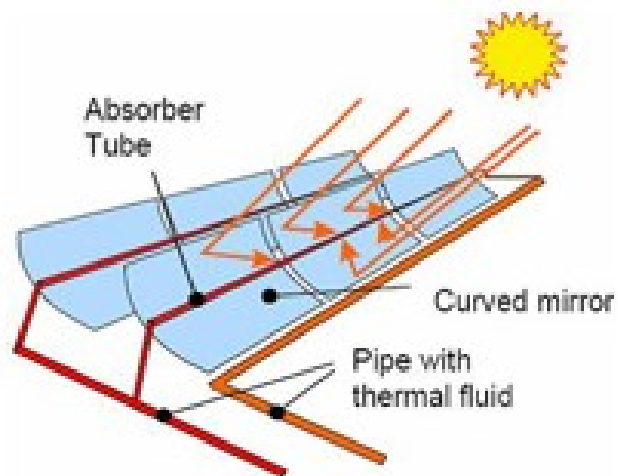




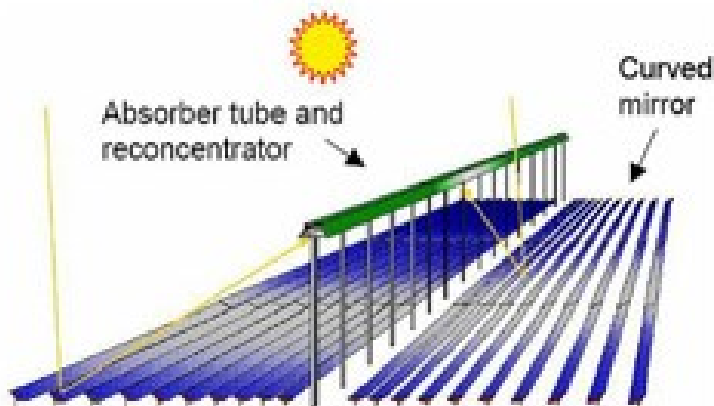
- ✓ Καθρέπτες εστιάζουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα «θερμικό δέκτη» όπου αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες
- ✓ Η θερμότητα που συγκεντρώνεται στο δέκτη χρησιμοποιείται για να παραχθεί ατμός και στη συνέχεια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας όπως στα συμβατικά εργοστάσια
- ✓ Προκειμένου να έχουμε συνεχή συλλογή του ηλιακού φωτός στο δέκτη, είναι απαραίτητο οι καθρέπτες να βρίσκονται σε κίνηση, ακολουθώντας την κίνηση του ήλιου
- ✓ Οι διαθέσιμες τεχνολογίες συγκεντρωμένης αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας συνοψίζονται στις επόμενες διαφάνειες
- ✓ Από τις διαθέσιμες τεχνολογίες, οι πιο διαδεδομένες είναι:
 - Οι παραβολικοί καθρέπτες που εστιάζουν την ηλιακή ακτινοβολία σε ένα σωλήνα
 - Οι ηλιοστάτες, που είναι καθρέπτες εστίασης της ηλιακής ακτινοβολίας σε κεντρικό δέκτη



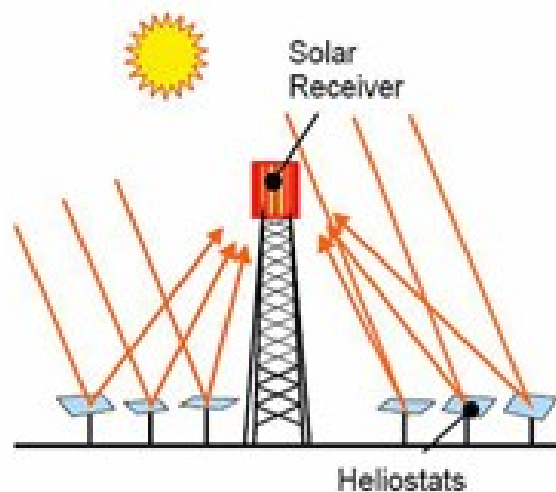
Ηλιακά Συγκεντρωτικά Συστήματα



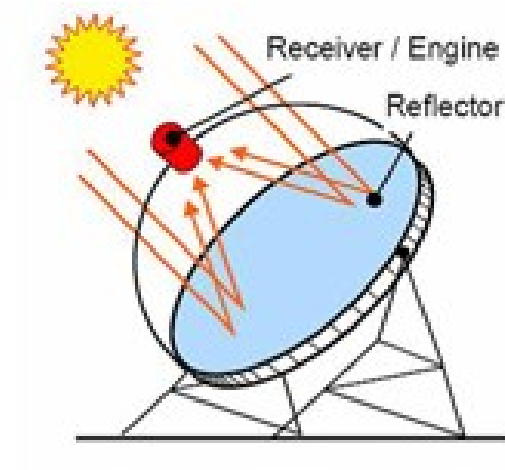
Parabolic Trough



Linear Fresnel



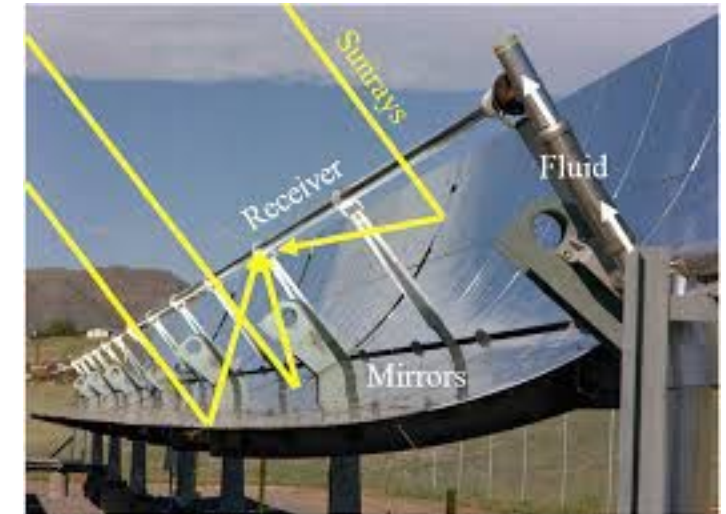
Central Receiver



Dish/Engine

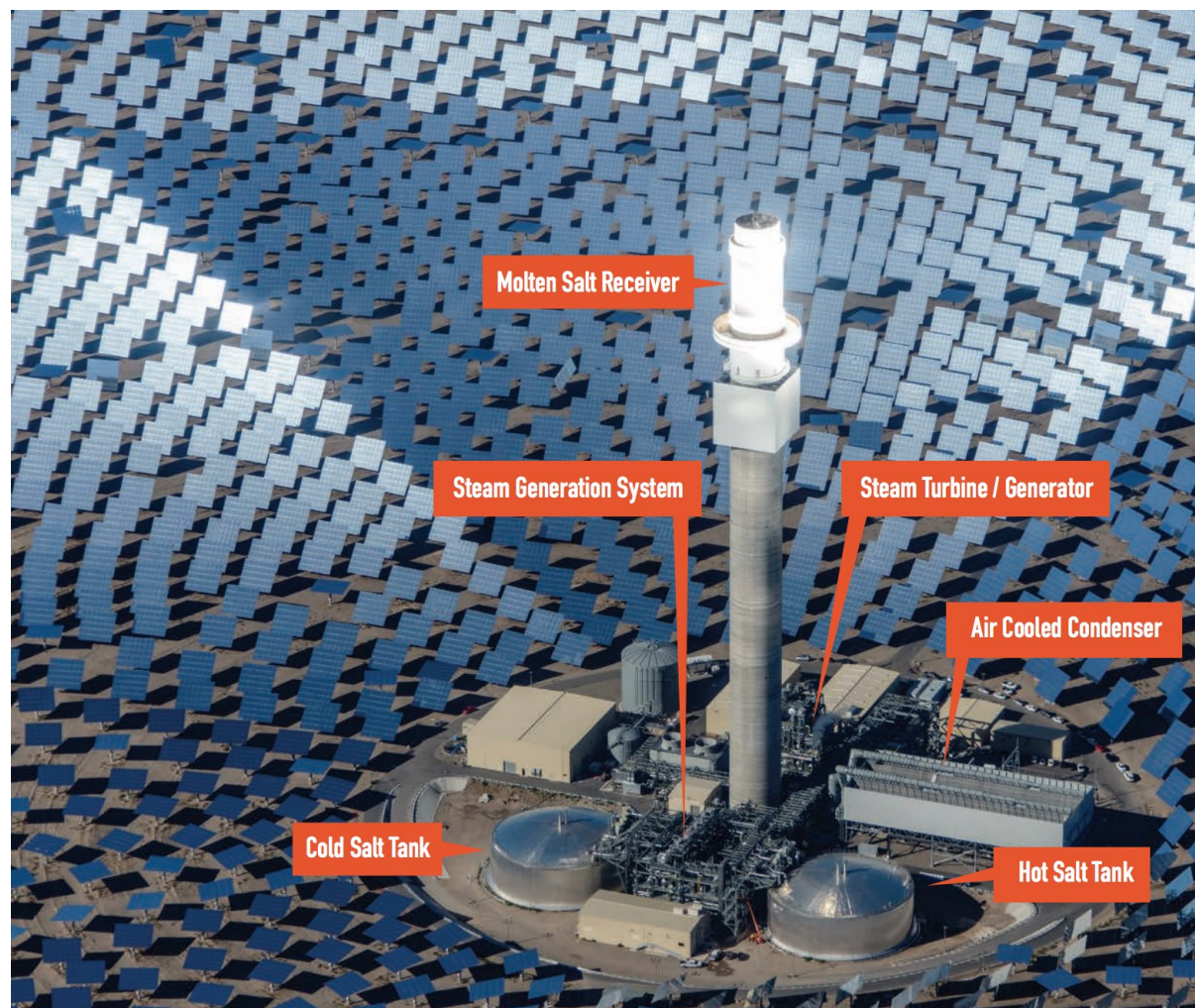


Παραβολικά Ηλιακά Συστήματα



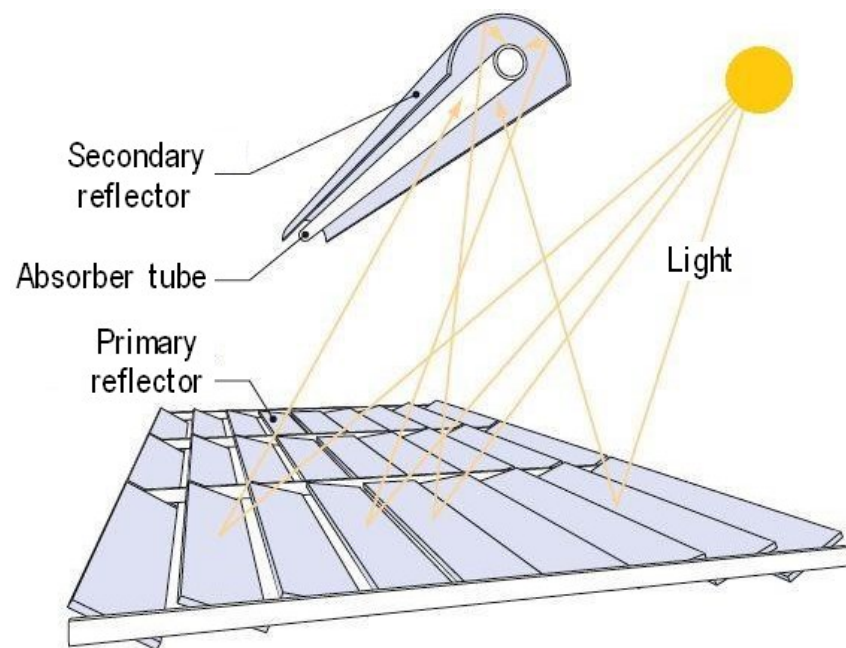


Συστήματα Ηλιακών Πύργων



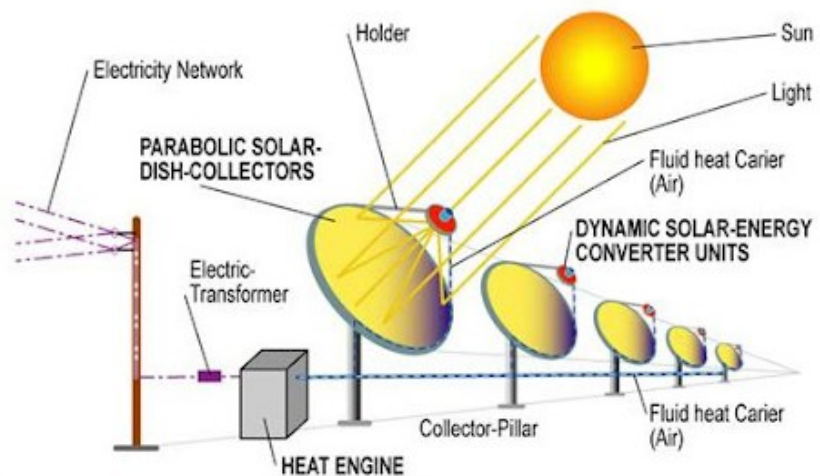
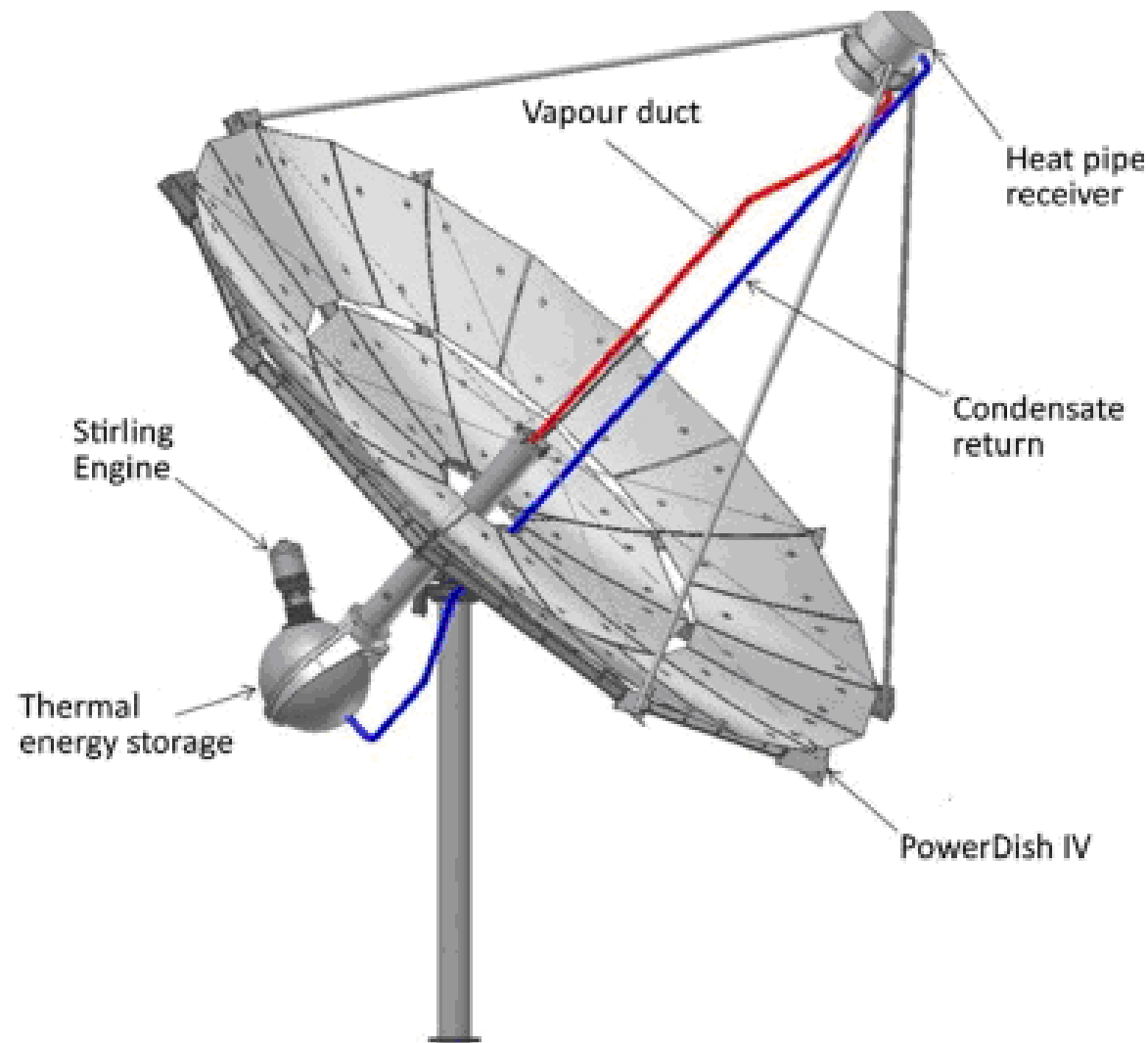


Συστήματα Fresnel





Συστήματα Dish/Engine





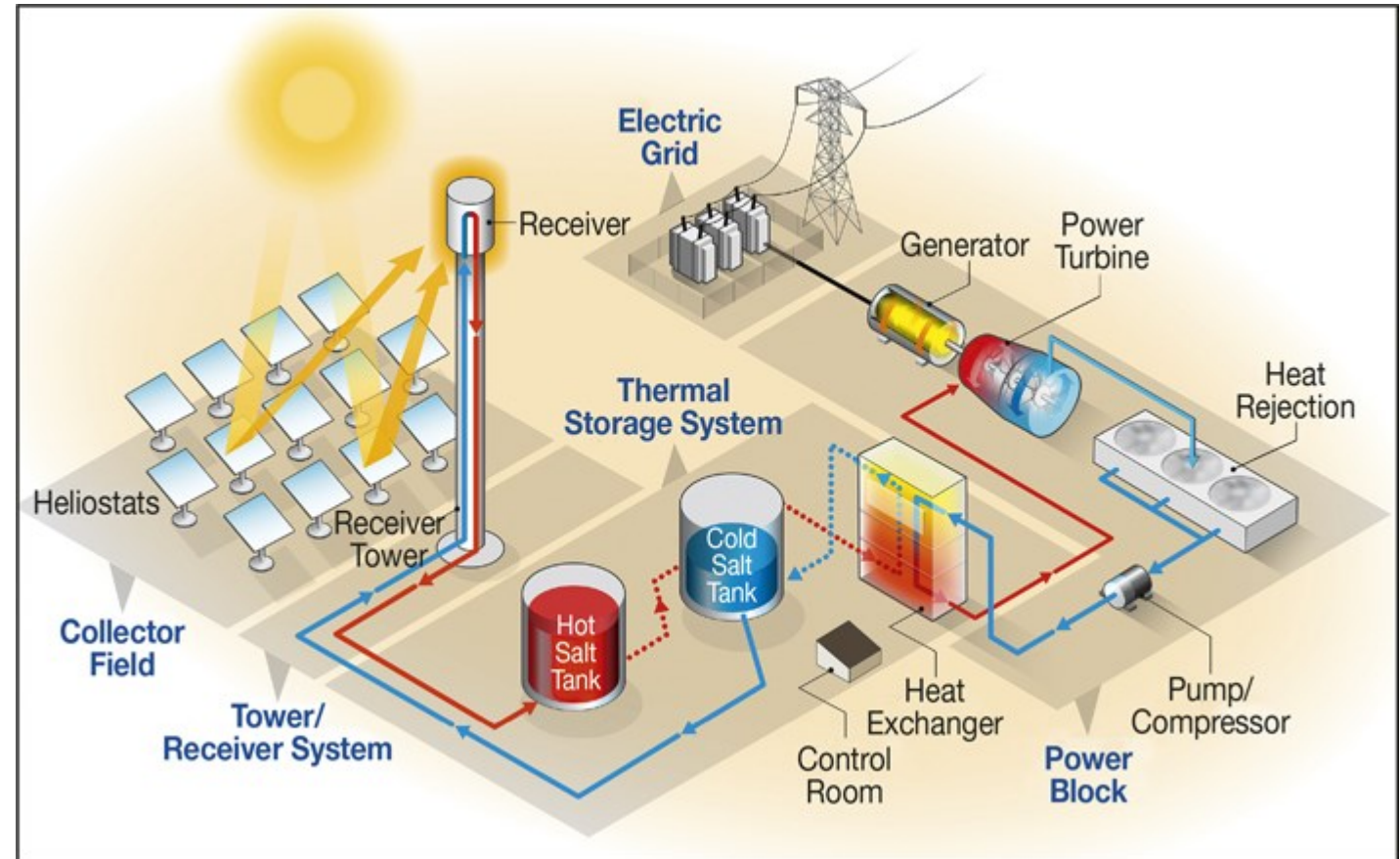
- ✓ Γιατί καταφεύγουμε/χρησιμοποιούμε συγκεντρωμένη ηλιακή ενέργεια??
 - Υψηλές θερμοκρασίες που συνεπάγονται και υψηλότερη απόδοση
 - Παραγωγή και χρήση θερμότητας (παρόμοια με συμβατικές πηγές)
 - Ιδανική για μεγάλης κλίμακας παραγωγή
 - Αποθήκευση ενέργειας (το βασικότερο ίσως πλεονέκτημα!)



Ηλιακά Συγκεντρωτικά Συστήματα

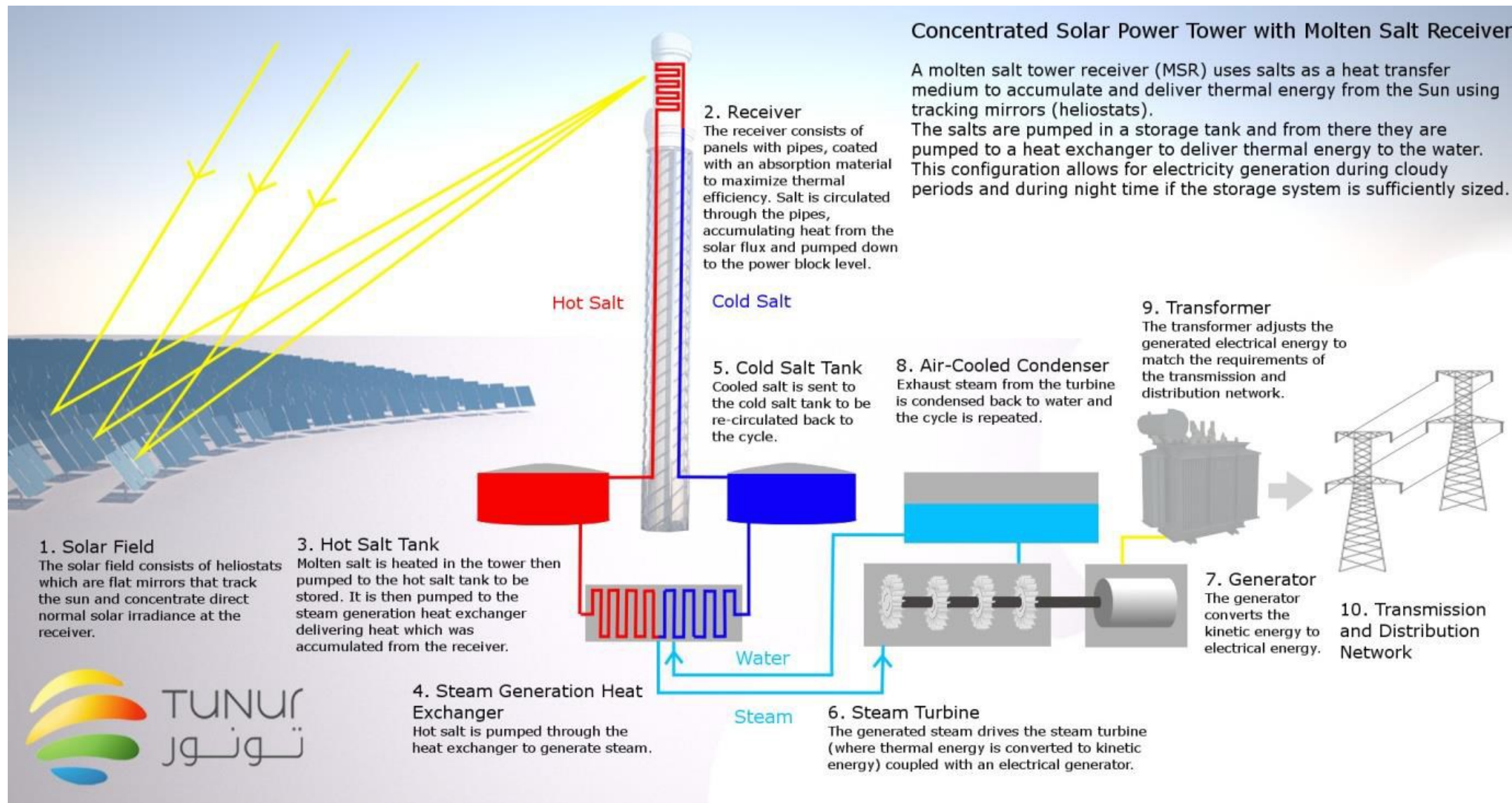


- ✓ Χρήση κατόπτρων ή φακών για να συγκεντρώθει ηλιακό φως (ή ηλιακή θερμική ενέργεια) σε μια μικρή περιοχή
- ✓ Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται όταν το συγκεντρωμένο φως μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία κινεί μια θερμική μηχανή (συνήθως μια ατμοστρόβιλο) συνδεδεμένη σε μια γεννήτρια





Ηλιακά Συγκεντρωτικά Συστήματα





Ηλιακά Συγκεντρωτικά Συστήματα



- ✓ Ο φθηνότερος τρόπος αποθήκευσης ηλιακής ενέργειας για πολλές ώρες
- ✓ Θερμότητα μπορεί να αποθηκευτεί σε δεξαμενές (όπως αυτή του διπλανού σχήματος)
- ✓ Η θερμότητα αποθηκεύεται με τη βοήθεια λιωμένων αλάτων ή ελαίων
- ✓ Κάποιος θα πρέπει να σκεφτεί αυτή τη δεξαμενή αποθήκευσης ως μια στοίβα άνθρακα έξω από ένα παλιό εργοστάσιο άνθρακα που περιμένει να καεί στον κοντινό σταθμό παραγωγής ενέργειας





- ✓ Η μεγάλη διαφορά σε σχέση με τα ορυκτά καύσιμα είναι ότι στα ηλιακά συγκεντρωτικά συστήματα το “καύσιμο” της δεξαμενής αποθήκευσης είναι επαναχρησιμοποιήσιμο σε αντίθεση με το σωρό άνθρακα ενός συμβατικού εργοστασίου
- ✓ Τα άλατα (συνήθως νιτρικές ενώσεις – π.χ. νιτρικό κάλιο, νιτρικό ασβέστιο, νιτρικό νάτριο) που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση της θερμικής ενέργειας μπορούν να ανακυκλώνονται καθημερινά μέσα σε μια δεξαμενή σαν αυτή για τριάντα ή σαράντα χρόνια



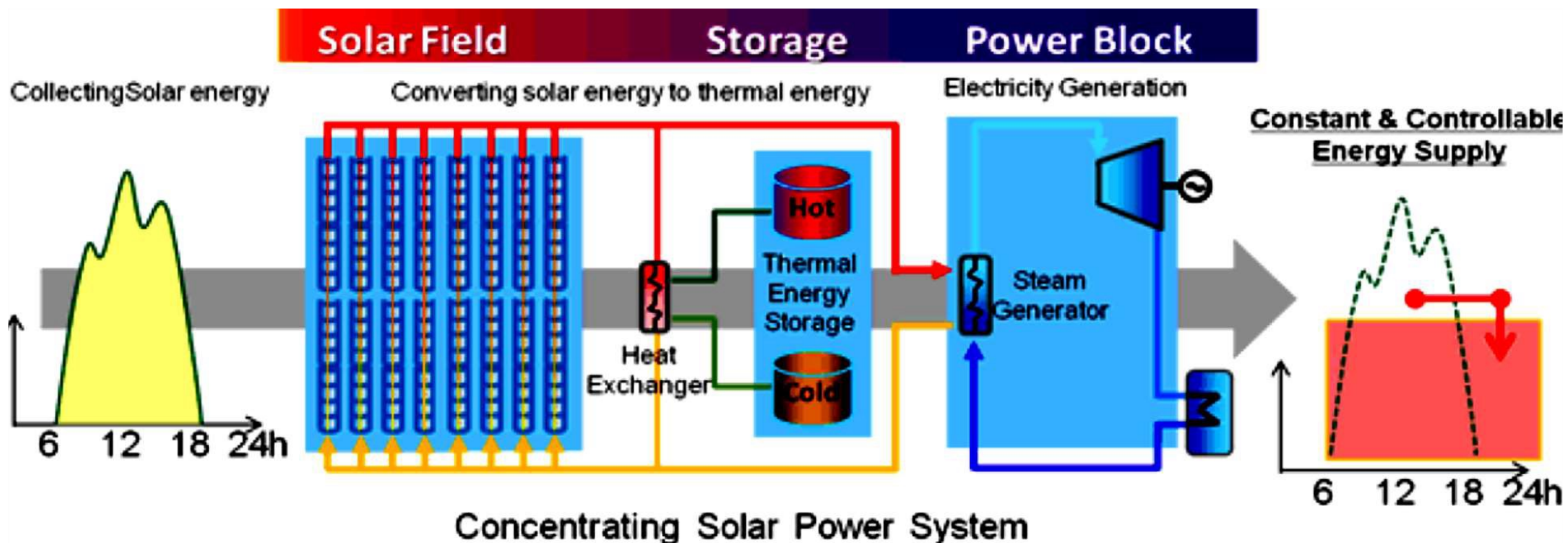


✓ Αρχές λειτουργίας:

- Η θερμική ενέργεια στο τηγμένο άλας μεταφέρεται με τη βοήθεια ενός εναλλάκτη σε νερό, το οποίο ατμοποιείται. Στη συνέχεια, ο ατμός οδηγεί έναν ατμοστρόβιλο (όπως και στους συμβατικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής που χρησιμοποιούν ορυκτά ή πυρηνικά καύσιμα)
- Μετά την απομάστευση της θερμότητας, το πλέον “δροσερό” τηγμένο άλας αποθηκεύεται σε μια δεύτερη δεξαμενή και είναι έτοιμο να μεταφερθεί εκ νέου στον πύργο του συστήματος
- Σε περίπτωση που δεν υπάρχει παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, απλώς αποθηκεύουμε θερμότητα στο τηγμένο άλας. Προφανώς, οι δυνατότητες αποθήκευσης είναι πεπερασμένες και εξαρτώνται από την ποσότητα του διαθέσιμου αλάτος και τα ειδικά χαρακτηριστικά του



Ηλιακά Συγκεντρωτικά Συστήματα





Σύγκριση Ηλιοθερμικών Συστημάτων



	Ηλιακοί Πύργοι	Dish	Fresnel	Παραβολικά Κάτοπτρα
Βαθμός Απόδοσης (ηλεκτρική/ηλιακή)	$\leq 20 \%$	$\leq 31 \%$	$\leq 15 \%$	$\leq 21 \%$
Τεχνολογική Ωριμότητα	Εμπορικά Όριμα	Πιλοτικά	Εμπορικά Νέα	Εμπορικά Όριμα
Κόστος (€/kW)	5500 - 9500	7000 - 12000	3000 - 6000	4000 - 8500
Θερμοκρασίες Λειτουργίας (°C)	550 – 1000	750 – 900	270 - 450	350 - 550
Απαιτήσεις Γης	Υψηλές	Μέτριες	Χαμηλές	Υψηλές
Τυπικά Μεγέθη (MW)	10 - 300	≤ 1	5 - 200	10 - 250



Αποθήκευση με Άντληση Θερμότητας



- ✓ Η ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτεί μια μηχανή αποθήκευσης η οποία είναι συνδεδεμένη με δύο μεγάλες θερμικές δεξαμενές
- ✓ Στην φόρτιση η μηχανή λειτουργεί ως αντλία θερμότητας, αντλώντας θερμότητα από την ψυχρή στη θερμή δεξαμενή. Στην εκφόρτιση η μηχανή λειτουργεί σαν μια θερμική μηχανή, αντλώντας θερμότητα από τη θερμή δεξαμενή, δίνει κίνηση (μηχανικό έργο) στο δρομέα μιας γεννήτριας για την παραγωγή ηλεκτρισμού και απορρίπτει την περίσσεια θερμότητας στην ψυχρή δεξαμενή
- ✓ Το μεγαλύτερο **μειονέκτημα** αυτής της μεθόδου αποθήκευσης είναι ο χαμηλός βαθμός απόδοσης που έχει, εξαιτίας της μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμική μέσω της αντλίας θερμότητας. Η έλλειψη εμπειρίας πάνω σε αυτή την τεχνολογία είναι εξίσου ένα μειονέκτημα
- ✓ Μέχρι στιγμής δεν υπάρχει κάποια εμπορική εφαρμογή αυτού του είδους, αλλά μόνο πειραματικές εφαρμογές σε ερευνητικό στάδιο
- ✓ **Πλεονεκτήματα:** Υψηλή πυκνότητα ισχύος, μπορεί να εγκατασταθεί οπουδήποτε (δεν απαιτεί κάποια συγκεκριμένη μορφολογία εδάφους)



Αποθήκευση μέσω Υγροποίησης Αέρα



- ✓ Αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας με υγροποίηση αέρα ή κρυογενική αποθήκευση ενέργειας
- ✓ Η ηλεκτρική ενέργεια του δικτύου χρησιμοποιείται για την ψύξη του αέρα, μέχρι αυτός να υγροποιηθεί και να αποθηκευτεί σε κατάλληλες δεξαμενές
- ✓ Όταν υπάρχει η ανάγκη για παραγωγή ενέργειας, ο υγροποιημένος αέρας επανέρχεται σε αέρια μορφή με θέρμανση και χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση ενός στροβίλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω μιας γεννήτριας. Η λέξη "κρυογενική" αναφέρεται στην παραγωγή πολύ χαμηλών θερμοκρασιών
- ✓ Καινοφανή συστήματα. Κυρίως σε ερευνητικό επίπεδο
- ✓ Πολύ χαμηλή απόδοση των πρωτότυπων ερευνητικών συσκευών στις οποίες διεξάγονται τα πειράματα
- ✓ Εμφανίζουν όμως αρκετά καλή πυκνότητα αποθηκευμένης ενέργειας



Αποθήκευση μέσω Υγροποίησης Αέρα



- ✓ Φόρτιση: Το σύστημα φόρτισης είναι ένας υγροποιητής αέρα, ο οποίος χρησιμοποιεί ηλεκτρική ενέργεια για να αντλεί αέρα από το περιβάλλον, να τον καθαρίζει και στη συνέχεια να ψύχει τον αέρα σε χαμηλές θερμοκρασίες έως ότου υγροποιηθεί ο αέρας. 700 λίτρα αέρα περιβάλλοντος γίνεται 1 λίτρο υγρού αέρα
- ✓ Αποθήκευση: ο υγρός αέρας αποθηκεύεται σε μονωμένες δεξαμενές χαμηλής πίεσης. Η δεξαμενή λειτουργεί ως η αποθήκη ενέργειας
- ✓ Εκφόρτιση: Όταν απαιτείται τροφοδοσία, ο υγρός αέρας αφαιρείται από τη δεξαμενή και αντλείται σε υψηλή πίεση. Ο αέρας εξατμίζεται και υπερθερμαίνεται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, παράγοντας αέριο υψηλής πίεσης, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για την οδήγηση ενός στροβίλου