

Ενότητα 7_γ

Βέλτιστες διαθέσιμες τεχνολογίες για την αποθήκευση
θερμικής ενέργειας



Η αποθήκευση ενέργειας

- Η αποθήκευση θερμότητας μπορεί να οριστεί ως η αποθήκευση ενέργειας (προσωρινή ή όχι, σε χαμηλή ή υψηλή θερμοκρασία) για χρήση όταν αυτό απαιτηθεί
- Τρεις είναι οι κυριότεροι τύποι αποθήκευσης θερμότητας:
 1. η αποθήκευση αισθητής θερμότητας
 2. αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας (όταν μια ουσία αλλάζει φάση, π.χ. από πάγο σε νερό)
 3. η θερμοχημική αποθήκευση (που χρησιμοποιεί την ενέργεια αποθήκευσης σε αντιστρεπτές χημικές αντιδράσεις)



Η αποθήκευση ενέργειας

- *Αποθήκευση αισθητής θερμότητας*
- Σε αυτή η ενεργειακή αποθήκευση βασίζεται στη θερμοκρασιακή αλλαγή του υλικού αποθήκευσης και εξαρτάται από τη θερμοχωρητικότητα του υλικού
- Τα συστήματα αποθήκευσης χρησιμοποιούν συνήθως **πετρώματα, το έδαφος ή το νερό** ως κύριο μέσο αποθήκευσης, ενώ η θερμική ενέργεια αποθηκεύεται με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας του σώματος
- **Νερό: χαμηλή ειδική θερμότητα ανά όγκο** αλλά είναι ένα υγρό που μπορεί **εύκολα να αντλείται**, και να μεταφέρεται εύκολα
- Τα στερεά έχουν το πλεονέκτημα των **υψηλότερων τιμών ειδικής θερμότητας** (αποθήκευση θερμότητας υψηλής θερμοκρασίας)



Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Τα συγκριμένα συστήματα αποτελούνται από ένα μέσο αποθήκευσης, ένα δοχείο και τις βοηθητικές συσκευές εισόδου/εξόδου
- Τα δοχεία αποθήκευσης θα πρέπει και να διατηρούν το μέσο αποθήκευσης, να αποτρέπουν τις απώλειες ενέργειας και να έχουν θερμική διαστρωμάτωση
- **Η ποσότητα της ενέργειας εισόδου** είναι ανάλογη προς τη θερμοκρασιακή διαφορά, την μάζα του μέσου αποθήκευσης, και την θερμοχωρητικότητα αυτού
- Η ποσότητα της θερμότητας που αποθηκεύεται σε ένα υλικό μπορεί να εκφραστεί από την γενική σχέση

$$Q = mc_p \Delta T$$

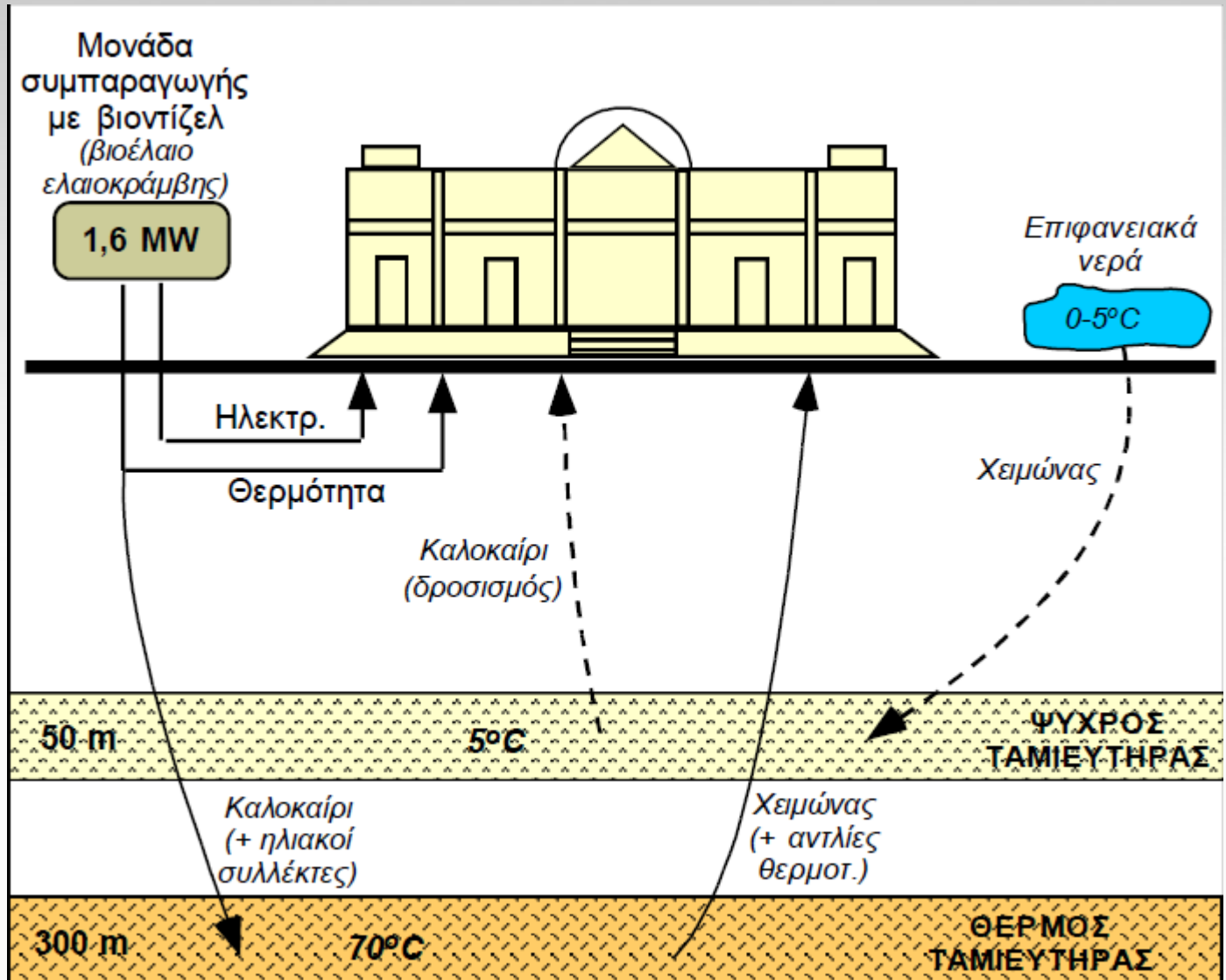


Η αποθήκευση ενέργειας

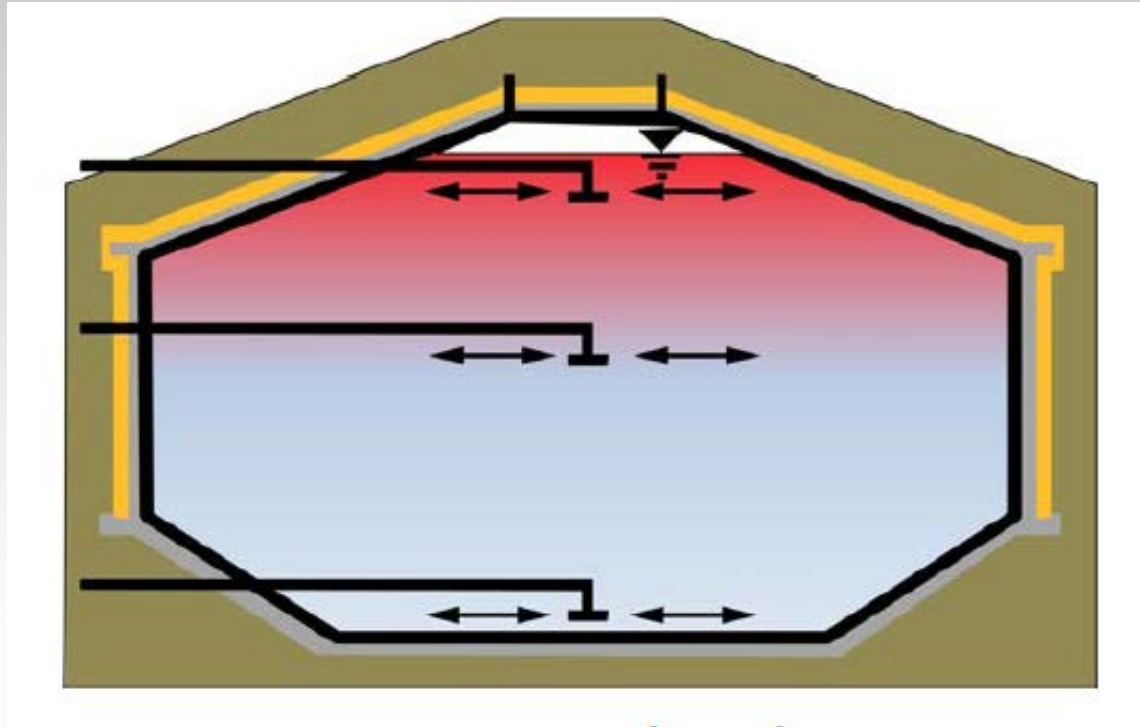
- Δεξαμενές θερμού νερού:
 - Για βραχυπρόθεσμη κυρίως αποθήκευση για αντιμετώπιση φορτίων αιχμής
 - Δεν απαιτείται εναλλάκτης
 - Το δοχείο μπορεί να είναι μεταλλικό (με εσωτερική κάλυψη) ή πλαστικό
- Δεξαμενή θερμού νερού μπορεί θεωρηθεί η διοχέτευση ζεστού νερού στη διάρκεια του καλοκαιριού (από **συστήματα συμπαραγωγής, ηλιακούς συλλέκτες, απορριπτόμενη ενέργεια από τη βιομηχανία**) σε υπόγειους ταμιευτήρες
- Εφαρμογή αυτής περίπτωσης στο Γερμανικό Κοινοβούλιο στο Βερολίνο



Η αποθήκευση ενέργειας



Η αποθήκευση ενέργειας



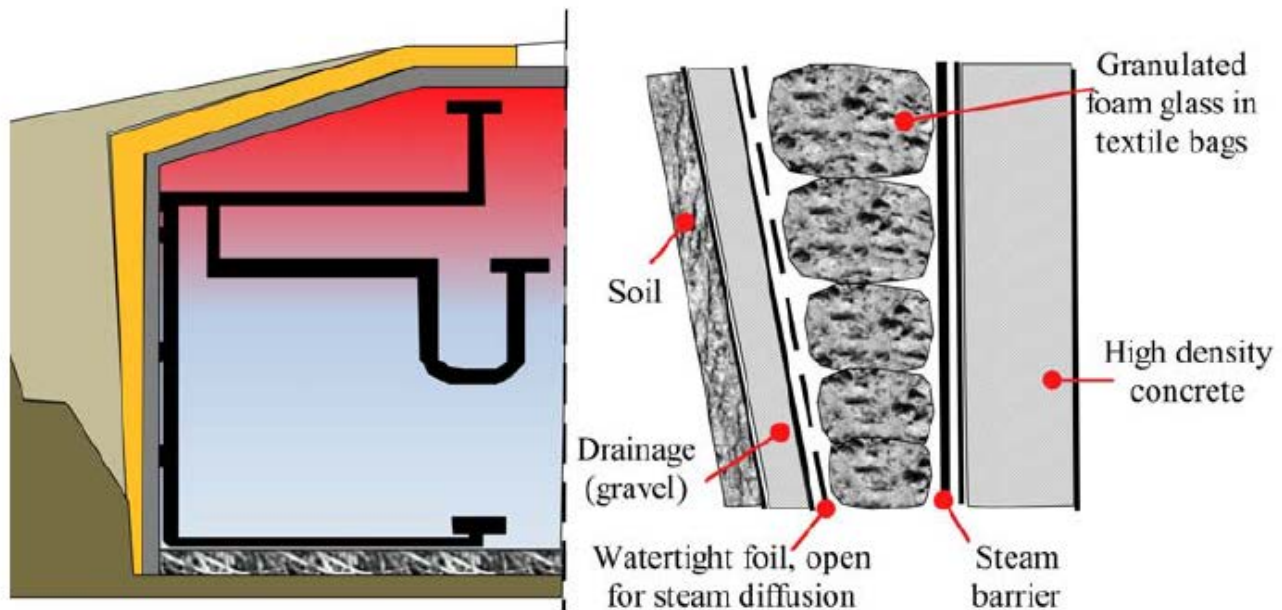
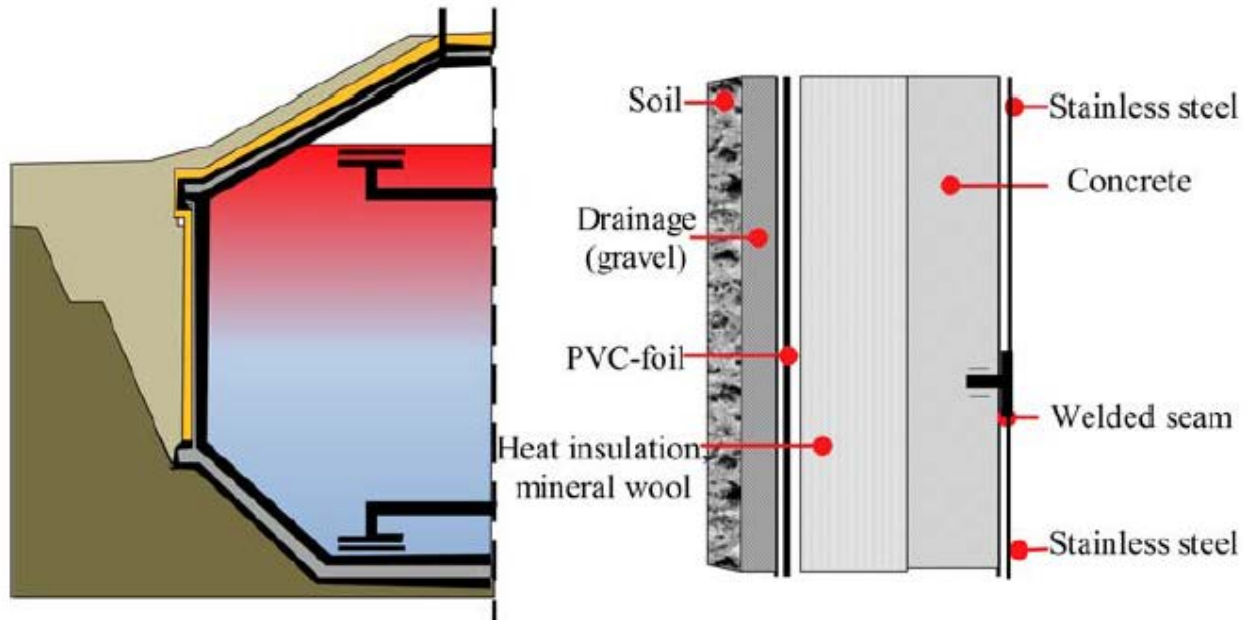
- έχει το ευρύτερο φάσμα χρήσης και μπορεί να κατασκευαστεί σχεδόν ανεξάρτητα από τις γεωλογικές συνθήκες
- έχουν συνήθως μια κατασκευή δεξαμενής κατασκευασμένη από οπλισμένο σκυρόδεμα, μόνωση τουλάχιστον στην περιοχή της στέγης και στους κατακόρυφους τοίχους
- είναι συνήθως χτισμένο με χάλυβα ή ενισχυμένη δεξαμενή σκυροδέματος, πλήρως ή μερικώς θαμμένη στο έδαφος

Η αποθήκευση ενέργειας

- Χρησιμοποιείται το νερό γιατί έχει υψηλό ρυθμό κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης
- Τα πρώτα συστήματα έχουν κατασκευαστεί με μία πρόσθετη εσωτερική επένδυση από ανοξείδωτο χάλυβα για την εγγύηση της στεγανότητας, για την προστασία της θερμομόνωσης στο εξωτερικό και για να μειωθούν οι απώλειες θερμότητας που προκαλούνται από τη διάχυση του ατμού μέσω του τσιμεντένιου τοίχου
- Με την ανάπτυξη ενός νέου υλικού από σκυρόδεμα υψηλής πυκνότητας ήταν δυνατή η κατασκευή του αποθήκη στο Ανόβερο χωρίς εσωτερική επένδυση από χάλυβα



Η αποθήκευση ενέργειας



Η αποθήκευση ενέργειας



- Παράδειγμα «παθητικής» αποθήκευσης θερμότητας αποτελούν οι χοντροί τοίχοι κτιρίων (εκκλησίες, παλιά σπίτια)
- Δηλαδή: ψύχονται κατά τη διάρκεια της νύχτας και κρατούν ένα σχετικά δροσερό περιβάλλον κατά τη διάρκεια της ημέρας
- Ή θερμαίνονται το χειμώνα κατά τη διάρκεια της ημέρας και κρατούν κάποια θερμοκρασία στη διάρκεια της νύχτας

Η αποθήκευση ενέργειας

- *Αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας*
- Βασίζεται στην ιδιότητα των υλικών να αλλάζουν φάση σε μια ορισμένη θερμοκρασία και να απορροφούν ή εκλύουν ποσά θερμότητας κατά την αλλαγή φάσης τους
- Αποτελεί την περισσότερο αποτελεσματική μέθοδο αποθήκευσης θερμότητας
- σημαντική έρευνα - μελετάται η πιθανότητα εφαρμογής των υλικών αλλαγής φάσης στο κέλυφος του κτιρίου με απώτερο στόχο την απαγωγή θερμότητας από το εσωτερικό του κτιρίου και κατά επέκταση την μείωση των απαιτήσεων σε ψυκτικά φορτία
- Μελέτες στην Ελλάδα έδειξαν ότι η εφαρμογή τους επέφερε μικρή πτώση στη θερμοκρασία



Αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας

- Παράδειγμα
- Χρήση σε τοίχους Thrombe
- Εντός των τοίχων ή εναλλακτικά μπορούν να τοποθετηθούν μικροδιατάξεις που περιέχουν υλικά όπως πχ κερί παραφίνης μέσα σε γύψινους τοίχους ή εντός του σοβά
- Στη διάρκεια της νύχτας το υλικό στερεοποιείται εκλύοντας θερμότητα ενώ στην διάρκεια της μέρας **υγροποιείται δεσμεύοντας θερμότητα**



Η αποθήκευση ενέργειας

- Αρκετά άλατα ($\text{Ca}(\text{NO}_3)\cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{CO}_3\cdot 12\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$) και οργανικές ουσίες (οξικό νάτριο, παραφινικοί κηροί) λειώνουν όταν λαμβάνουν θερμότητα (αλλάζουν φάση) και γίνονται ξανά στερεά όταν αποδίδουν τη θερμότητα
- Οι ουσίες αυτές θα πρέπει βέβαια να εγκλειστούν σε κάποιο ανθεκτικό στην υψηλή θερμοκρασία υλικό
- **Κύριο μειονέκτημα των ουσιών αυτών είναι η θερμική στρωμάτωση και η ανομοιομορφία στην τήξη και τη στερεοποίηση**
- **Η δημιουργία πάγου κατά τη διάρκεια της νύχτας, όταν το ηλεκτρικό ρεύμα είναι φθινό, χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο**



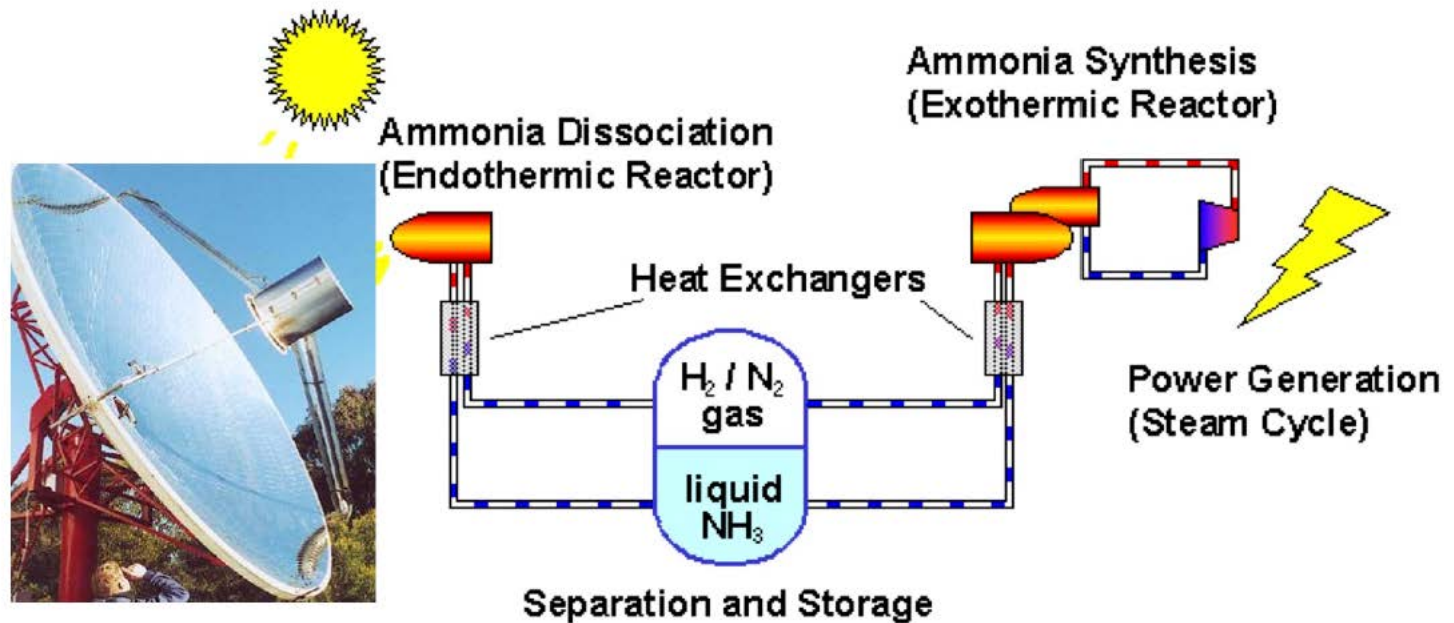
Η αποθήκευση ενέργειας

- *Αποθήκευση θερμοχημικής θερμότητας*
- Βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο
- Συνδυάζεται η θερμότητα από κεντρικούς ηλιακούς δέκτες για να μετατραπεί σε αέριο σύνθεσης ($H_2 + CO$) μεθάνιο και ατμός
- Όταν το αέριο σύνθεσης εκτεθεί σε έναν καταλύτη νικελίου προκαλείται αντίδραση κατά την οποία απελευθερώνεται θερμότητα και ανακτούνται μεθάνιο και ατμός
- Άλλη δυνατότητα είναι η διάσπαση της αμμωνίας σε άζωτο και υδρογόνο



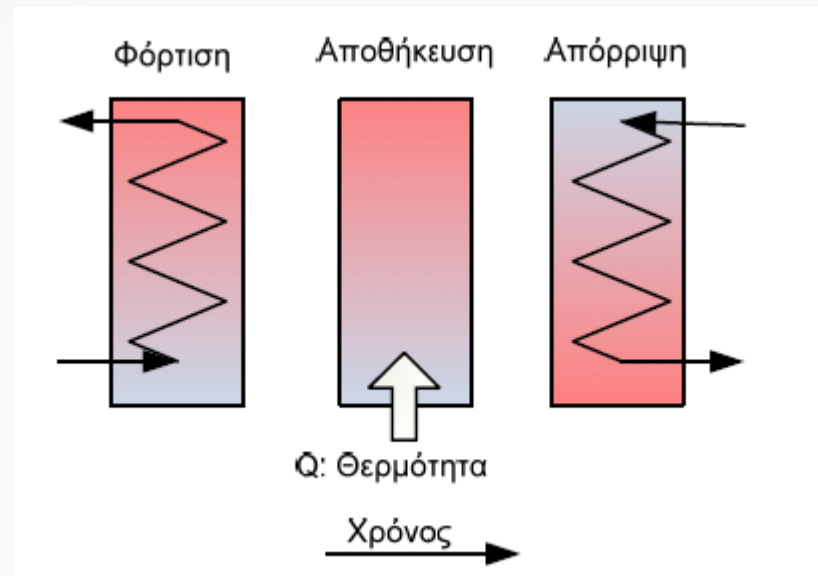
Θερμοχημική αποθήκευση (TCS)

- Σύστημα με χρήση αμμωνίας



Η αποθήκευση ενέργειας

- Η βασική αρχή λειτουργίας όλων των ΣΘΑΕ είναι ίδια και περιλαμβάνει τα στάδια:
 1. της φόρτισης του υλικού αποθήκευσης
 2. της αποθήκευσης της θερμότητας
 3. της αποφόρτισης/ απόρριψης για την τελική χρήση



Σύγκριση τεχνικών ΑΘΕ

- Τα συστήματα αισθητής θερμότητας είναι χαμηλότερου κόστους και χρησιμοποιούνται σε οικιακές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις καθώς και σε συγκεντρωτικά συστήματα παροχής θέρμανσης
- Απαιτούν μεγάλους όγκους λόγω της μικρής σχετικά θερμοχωρητικότητάς τους (περίπου 3 έως 5 φορές μικρότερη από ότι τα PCM και TCS αντίστοιχα)
- Η επιλογή της κατάλληλης τεχνολογίας βασίζεται σε πολυπαραμετρική και κατά περίπτωση ανάλυση
- Βασική παράμετρος **ο αριθμός κύκλων φόρτισης-εκφόρτισης** της εγκατάστασης. Όσο περισσότεροι κύκλοι, τόσο πιο συμφέρουσες είναι τεχνολογίες PCM και TCS

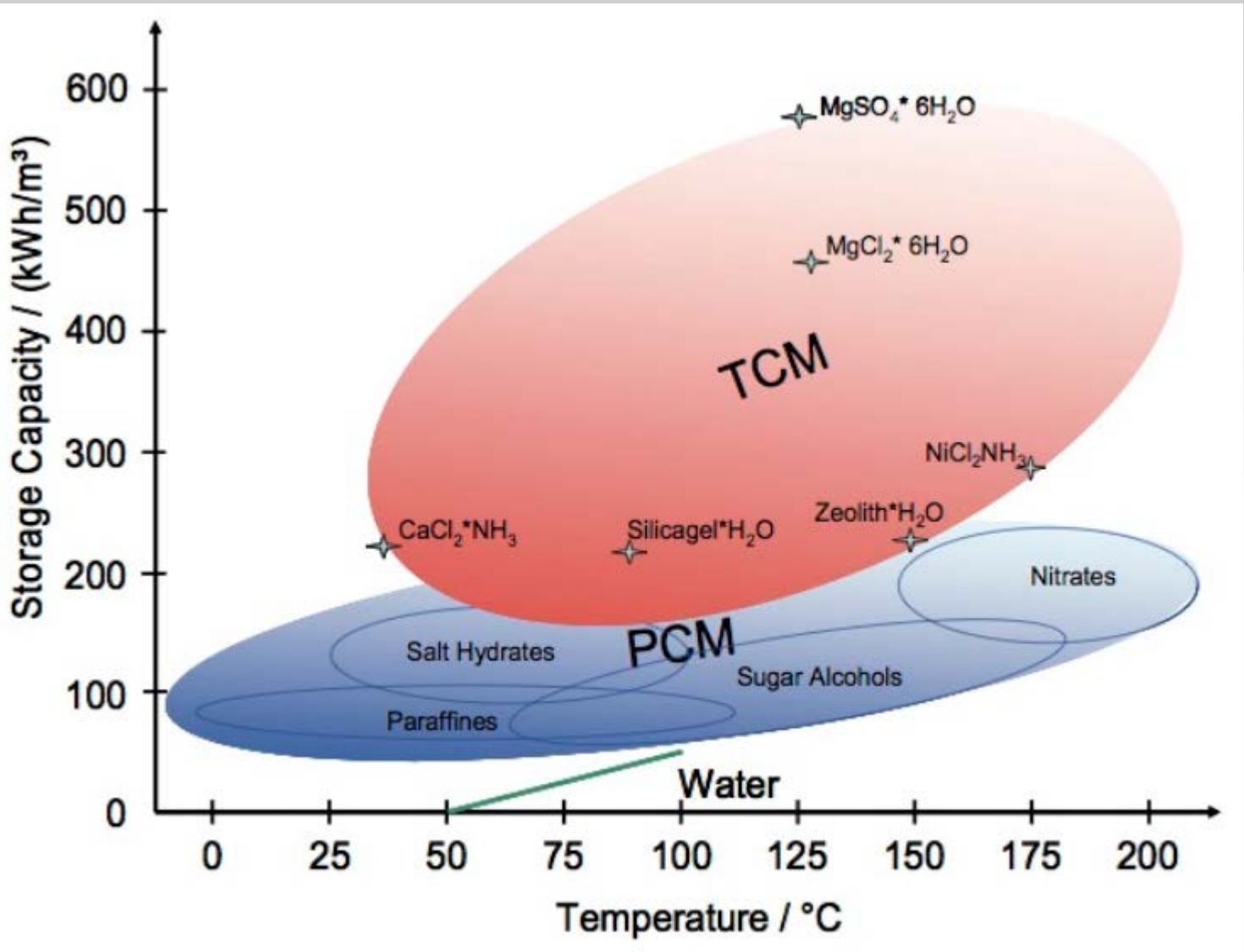


Σύγκριση τεχνικών ΑΘΕ

- Ο επιθυμητός ρυθμός δέσμευσης/αποδέσμευσης ενέργειας καθορίζει την επιλογή καθώς επιβάλλει την επιλογή υλικών και τεχνολογίας (πχ. ρυθμός μετάδοσης θερμότητας μεταξύ υλικού και ρευστού μεταφοράς θερμότητας)
- Τα συστήματα PCM παρουσιάζουν σχετικά υψηλή θερμοχωρητικότητα αλλά χαμηλό συντελεστή μετάδοσης θερμότητας
- Τα συστήματα TCS έχουν την υψηλότερη θερμοχωρητικότητα αλλά παρουσιάζουν προβλήματα όπως:
 - πολύπλοκος σχεδιασμός,
 - υψηλό κόστος,
 - χημική αστάθεια
 - πτώση της απόδοσης της χημικής διεργασίας με τον χρόνο



Σύγκριση τεχνικών ΑΘΕ




Συστήματα ΑΘΕ

- Μια άλλη εξίσου **σημαντική διαφοροποίηση** των δύο συστημάτων (λανθάνουσα και αισθητή θερμοκρασία) είναι η **χρήση των υλικών** και το **χρονικό διάστημα** αποθήκευσης
- Η λανθάνουσα αποθήκευση έχει εφαρμογή σε συστήματα βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης
- Εξαίρεση αποτελεί η χρήση μεγάλων όγκων πάγου για τον δροσισμό των κτιρίων (παράδειγμα κοινοβουλίου Ουγγαρίας)
- Στην κατηγορία αισθητής θερμοκρασίας υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης μεγάλων ποσών θερμικής ενέργειας για μεγάλο χρονικό διάστημα ακόμα και για **περίοδο ενός έτους**
- Τα υλικά που αξιοποιούνται είναι φυσικά, όπως το **έδαφος, πέτρες, όγκοι βράχων** κ.τ.λ., και το νερό, που είτε είναι αποθηκευμένο σε μονωμένες δεξαμενές είτε βρίσκεται σε υπόγειους υδροφορείς



Συστήματα ΑΘΕ

Υλικά και Ικανότητα Χρονικής Διάρκειας Αποθήκευσης ΣΘΑΕ



	Αισθητή	Λανθάνουσα
Βραχυπρόθεσμη Αποθήκευση	Μακροπρόθεσμη Αποθήκευση	Βραχυπρόθεσμη Αποθήκευση
Πετρώματα	Πετρώματα	Ανόργανα υλικά
Εδαφικές Στρώσεις	Εδαφικές Στρώσεις	Οργανικά Υλικά
Δεξαμενές νερού	Μεγάλες Δεξαμενές νερού	Λιπαρά Οξέα
-	Υδροφορείς	Αρωματικές Ενώσεις
-	Ηλιακές Λίμνες	-

Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Δεξαμενές Θερμικής Διαστρωμάτωσης
- Οι Δεξαμενές Θερμικής Διαστρωμάτωσης (ΔΘΔ) βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε **οικιακές εφαρμογές** θέρμανσης και ψύξης όπου το αποθηκευτικό μέσο είναι το νερό
- Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η **θερμική διαστρωμάτωση**
- Η δεξαμενή αποθηκεύει το νερό σε επάλληλα θερμοκρασιακά στρώματα, ενώ ταυτόχρονα εμποδίζει την ανάμειξη τους ακόμα και στις περιόδους φόρτισης και αποφόρτισης
- Η κατασκευή τους θα πρέπει να ελαχιστοποιεί τις “νεκρές ζώνες” δηλαδή τον όγκο του ρευστού που δεν μπορεί να αξιοποιηθεί

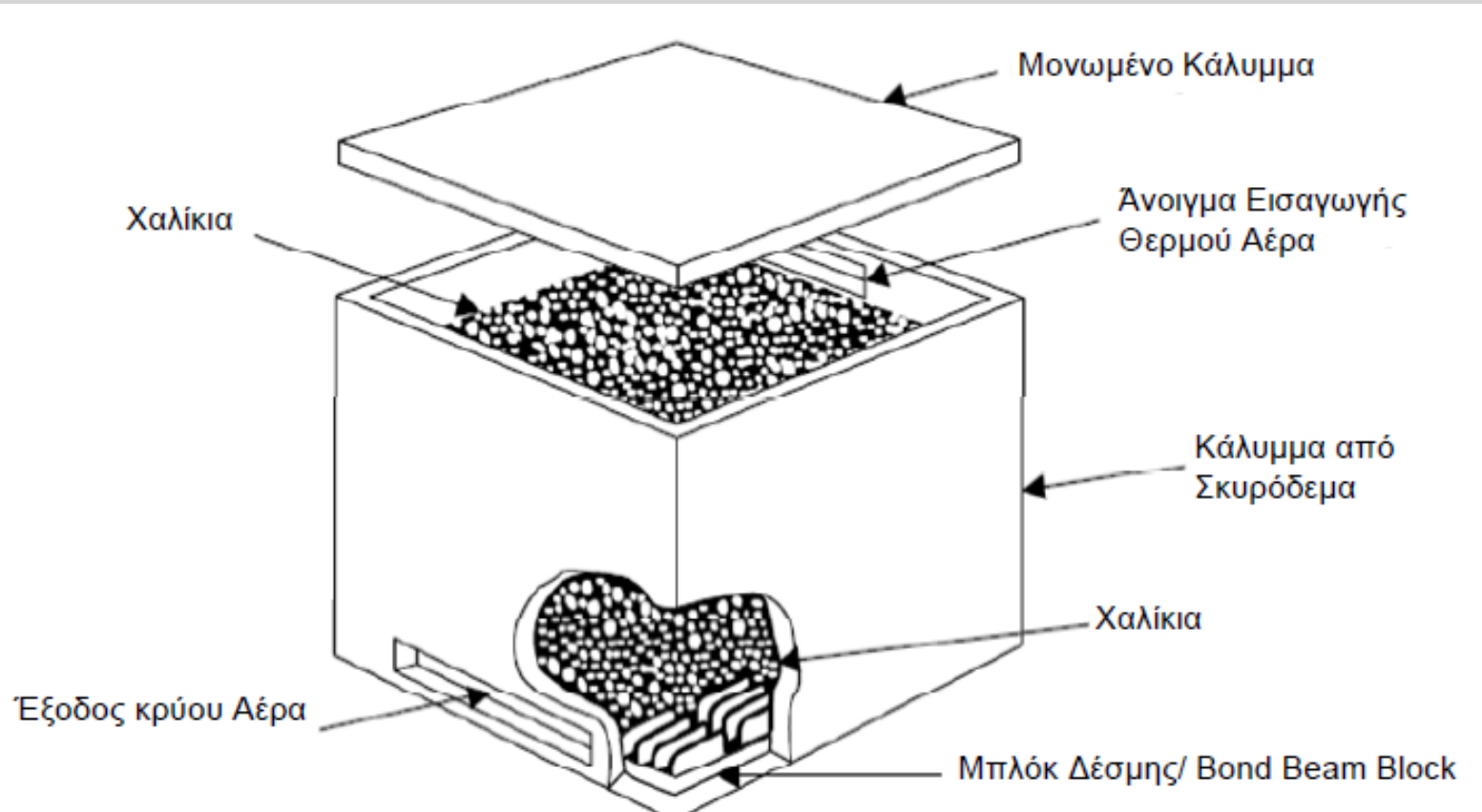


Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Θερμική Αποθήκευση σε Συστήματα Πετρών και Συνδυασμένα Συστήματα νερού-πετρών
- Το συγκεκριμένο σύστημα χρησιμοποιεί πέτρες και χαλίκια αποθηκευμένα σε συμπαγείς κατασκευές, από τις οποίες επιτρέπεται η είσοδος συνήθως ζεστού αέρα, ο οποίος και αποδίδει θερμότητα στα αποθηκευμένα υλικά
- Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η χρήση φτηνών υλικών, τα οποία βρίσκονται σε αφθονία και το ότι είναι απλές κατασκευές
- Το δοχείο συνήθως κατασκευάζεται από μπετόν, τοιχοποιία, ξύλο, ή ένα συνδυασμό αυτών των υλικών, ενώ η ροή του αέρα μπορεί να είναι κατακόρυφη ή οριζόντια

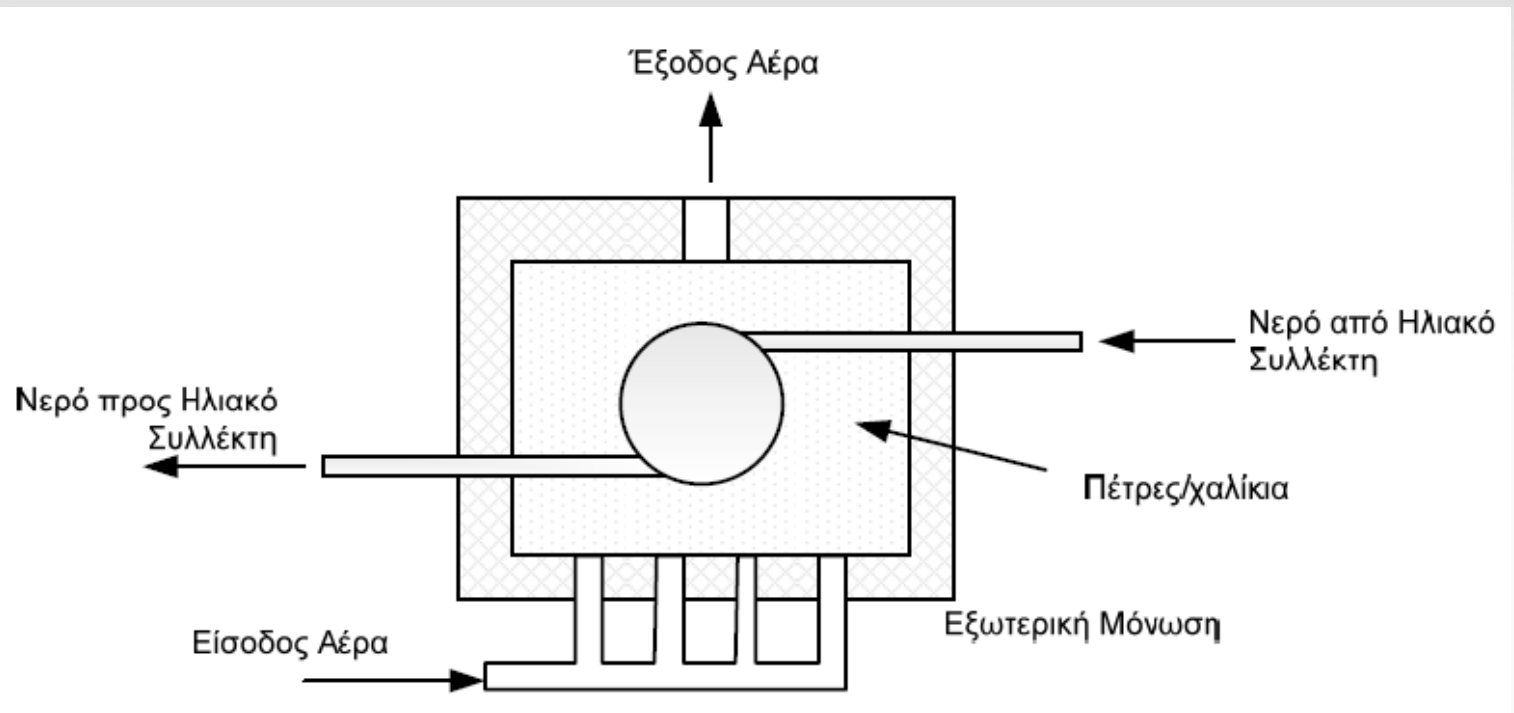


Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας



Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Μια ελκυστική μέθοδος αποθήκευσης που χρησιμοποιεί τόσο το νερό όσο και βράχους, ως μέσα αποθήκευσης είναι γνωστή ως μέθοδος Harry Tomason



Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Θερμική Αποθήκευση σε Ηλιακές Λίμνες
- Πρόκειται για λίμνες άλατος, οι οποίες εμφανίζουν μια φυσική αύξηση της θερμοκρασίας κατά βάθος
- Ουσιαστικά πρόκειται για έναν όγκο **αλατούχου υδατικού διαλύματος**, στο οποίο η συγκέντρωση αυξάνεται με το βάθος, από μια πολύ χαμηλή τιμή στην επιφάνεια σε συγκεντρώσεις κοντά σε κορεσμό, σε βάθος συνήθως 1-2 m
- Η διαστρωμάτωση της πυκνότητας αναστέλλει την ελεύθερη συναγωγή, έχοντας ως αποτέλεσμα τον εγκλωβισμό της ηλιακής ενέργειας στα κατώτερα στρώματα
- Η βασική ιδέα είναι η θέρμανση ενός μεγάλου όγκου νερού με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιήσει τις απώλειες θερμότητας που θα προέκυπταν αν χρησιμοποιούταν θερμαινόμενο νερό μικρότερης πυκνότητας το οποίο θα μπορούσε να ανέλθει στην επιφάνεια και αποδώσει την θερμότητά του στο περιβάλλον μέσω συναγωγής και ακτινοβολίας

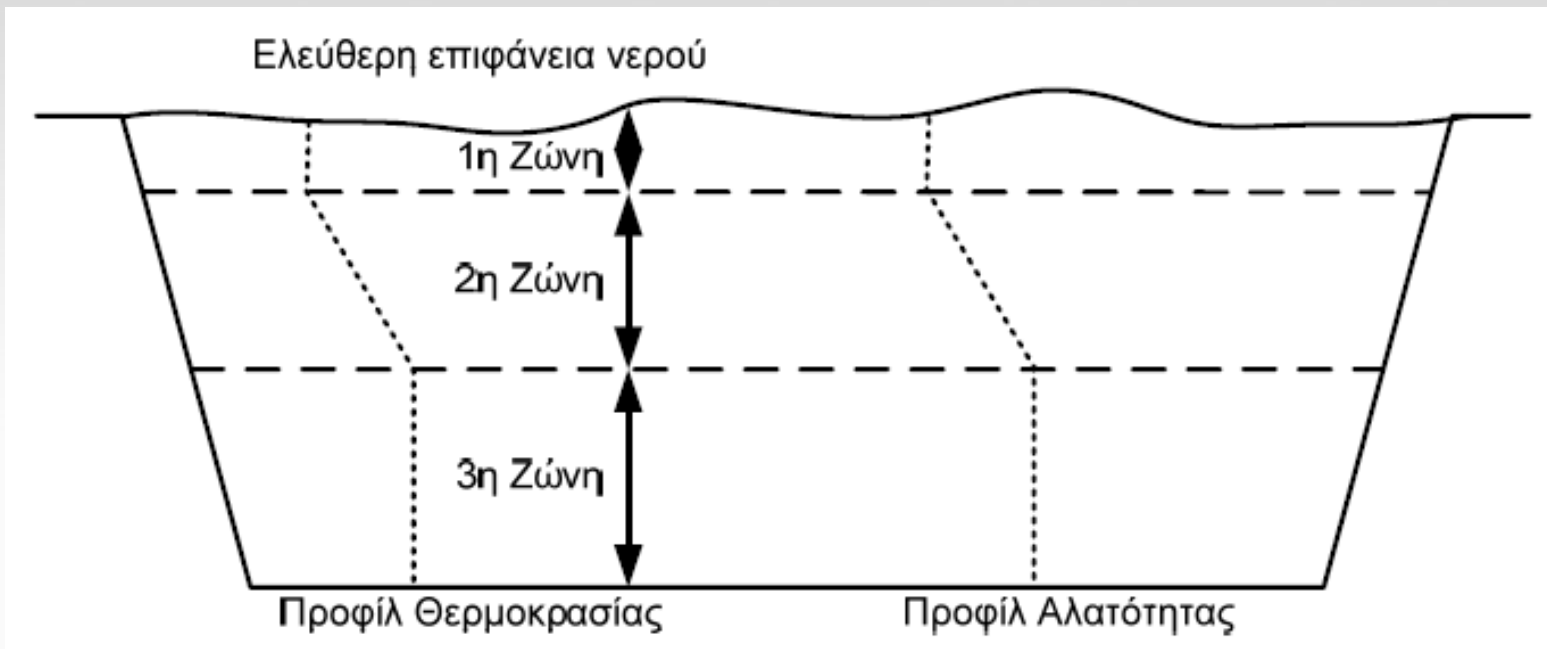


Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

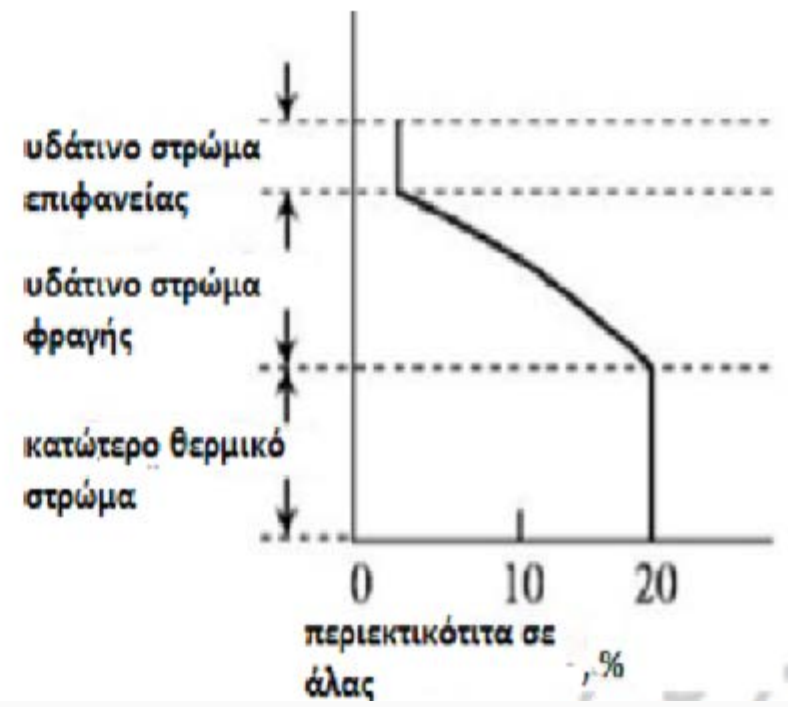
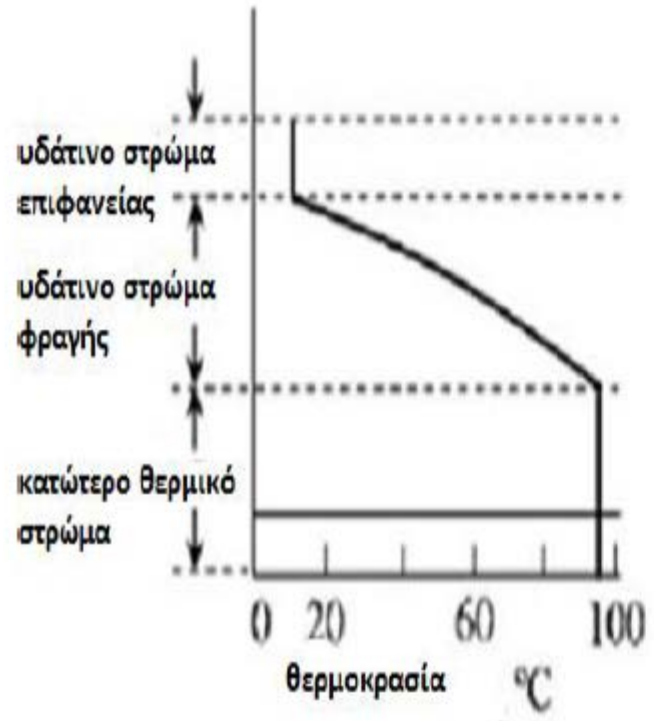
- Μια ηλιακή λίμνη αποτελείται από τρεις ζώνες:
 1. Την άνω ζώνη μεταφοράς: Αυτή είναι μια ζώνη, τυπικά πάχους 0,3m, με σχεδόν σταθερή και χαμηλή αλατότητα, η οποία βρίσκεται κοντά στην θερμοκρασία περιβάλλοντος
 2. Την ζώνη μη συναγωγής: Στη ζώνη αυτή, τόσο η αλατότητα όσο η θερμοκρασία αυξάνουν με το βάθος. Η κατακόρυφη κλίση στο προφίλ αλατότητας αναστέλλει την συναγωγή και έτσι εμφανίζεται ένα φαινόμενο θερμικής μόνωσης
 3. Την κάτω ζώνη αγωγής: Αυτή είναι μια σταθερή ζώνη, σχετικά υψηλής αλατότητας (τυπικά 20% κατά βάρος) σε υψηλή θερμοκρασία



Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας



Αποθήκευση αισθητής θερμότητας



Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας



Η Πρώτη ηλιακή λίμνη στον κόσμο στο Βhubj στην Ινδία



Ηλιακή λίμνη στο Ελ Πάσο, στο Τέξας.

Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Μειονεκτήματα ηλιακών λιμνών:

1. Ξένες ύλες
2. Ανάπτυξη μικροοργανισμών
3. Μεγάλη εξάτμιση
4. Μείξη των δύο κατώτερων υδάτινων στρωμάτων - του στρώματος φραγής και του θερμικού στρώματος

- Η ηλιακή λίμνη είναι ελκυστική, αν:

1. χρησιμότητα είναι σε μια ερημική περιοχή, μακριά από το δίκτυο του φυσικού αερίου και το κόστος για την παροχή της ενέργειας είναι ακριβό
2. Η απαιτούμενη θερμοκρασία είναι μεταξύ 40 και 80 ° C
3. Είναι διαθέσιμη μια επίπεδη φθηνή άγονη περιοχή
4. Ο ετήσιος μέσος όρος ηλιακής ακτινοβολίας της περιοχής είναι αρκετά υψηλός
5. Είναι δυνατόν να έχουμε μια μεγάλη ποσότητα αλατιού φτηνά



Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Θερμική Αποθήκευση σε Εδαφικά Στρώματα (Υπόγεια Αποθήκευση)
- Είναι τα συστήματα που χρησιμοποιούν φυσικές υπόγειες εγκαταστάσεις για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας
- Η εποχική αποθήκευση θερμότητας απαιτεί μεγάλο όγκο μάζας και στις περισσότερες των περιπτώσεων **αξιοποιείται το έδαφος** ή εδαφικά στρώματα κοντά στην επιφάνεια
- Χρησιμοποιούνται για την εποχική θέρμανση/ ψύξη κυρίως κατοικιών
 - σε υδροφορέα
 - με αξιοποίηση γεωτρήσεων
 - σε σπήλαια (caverns)
 - αποθήκευση σε σκάμμα
 - αποθήκευση σε δεξαμενή νερού



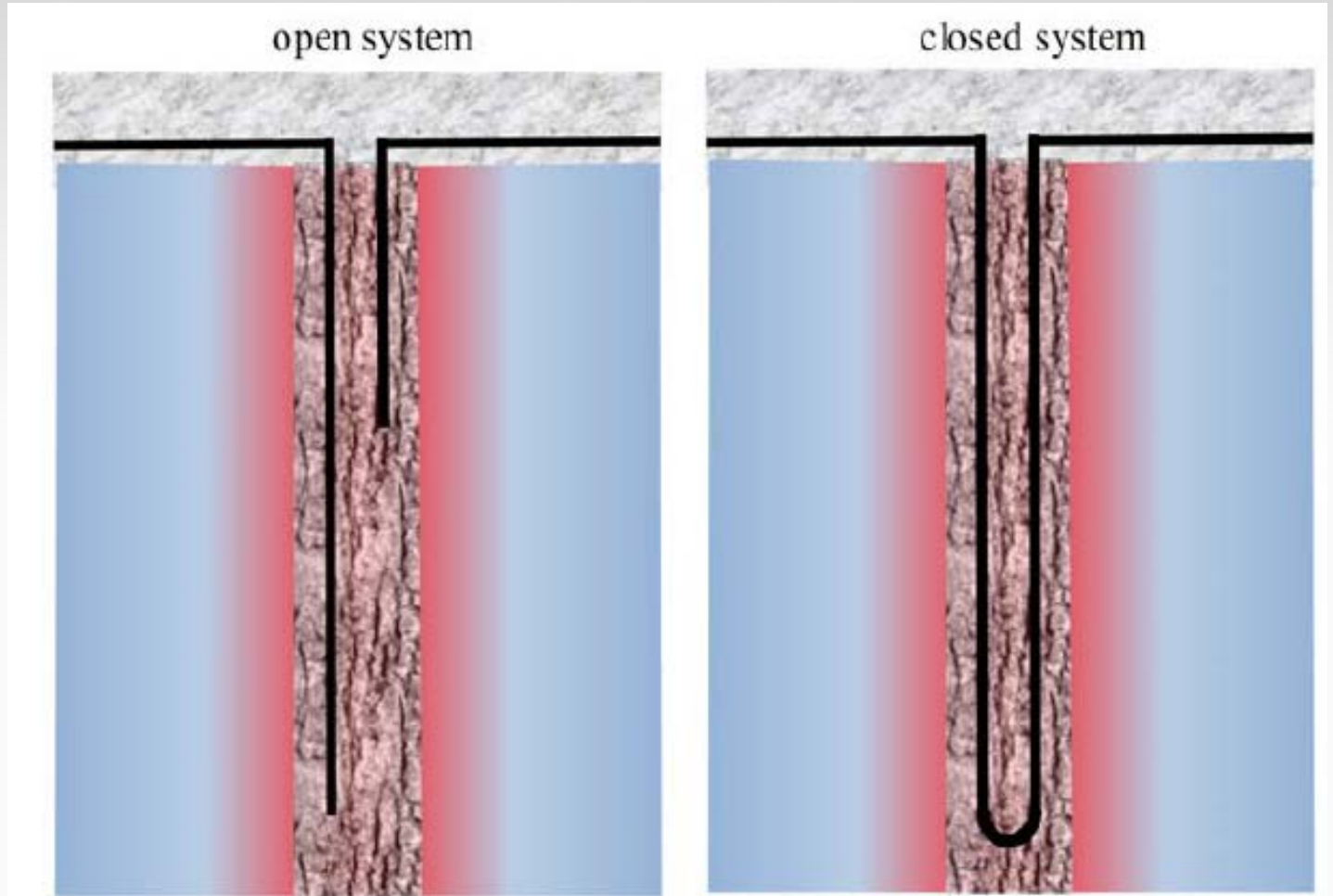
Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Η αποθήκευση θερμικής ενέργειας με αξιοποίηση γεωτρήσεων
- Είναι στην ουσία ένας κατακόρυφος γεω-εναλλάκτης μεγάλου βάθους, που εξασφαλίζει τη μεταφορά της θερμικής ενέργειας προς και από το έδαφος
- Η πλειοψηφία → για την αποθήκευση της ηλιακής θερμότητας το καλοκαίρι για τη θέρμανση χώρων σπιτιών ή γραφείων
- Στα αυτά τα συστήματα **δεν διαχωρίζεται ο όγκος αποθήκευσης, μιας και το έδαφος χρησιμοποιείται απευθείας ως υλικό αποθήκευσης**



Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Η θερμότητα μεταφέρεται στο υπόγειο με τη βοήθεια αγωγίσιμης ροής από έναν αριθμό στενών γεωτρήσεων



Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Στο ανοικτό σύστημα είναι τοποθετημένος ο σωλήνας εισαγωγής με την έξοδο του κοντά στον πυθμένα του ενώ ο σωλήνας εξαγωγής έχει το άνοιγμα εισόδου του κοντά στην κορυφή της οπής, αλλά κάτω από το υπόγειο υδάτινο ορίζοντα
- Το κλειστό σύστημα χρησιμοποιεί υ σωλήνες, και αυτό σημαίνει ότι το θερμικό μέσο αντλείται σε κλειστό κύκλωμα
- Μια τέτοια εγκατάσταση αξιοποιεί τις σταθερές θερμοκρασίες του υπεδάφους (από 18 έως 22°C) μεταφέροντας θερμότητα από το υπέδαφος (ή τα υπόγεια ύδατα) προς τον κλιματιζόμενο χώρο και αντίστροφα, ως εξής:
- Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, το ρευστό που κυκλοφορεί μέσα στον γεωεναλλάκτη απορροφά την αποθηκευμένη θερμότητα του υπεδάφους και τη μεταφέρει στην αντλία θερμότητας, η οποία στη συνέχεια τη μεταφέρει σε μια υψηλότερη θερμοκρασία και την διανέμει στο κτίριο



Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Το καλοκαίρι το σύστημα απάγει θερμότητα από το κτίριο, τη μεταφέρει μέσω της αντλίας θερμότητας στο κύκλωμα του γεωεναλλάκτη και την αποθέτει στην πιο δροσερή γη
- Η γεωθερμική αντλία θερμότητας πρακτικά είναι μια συσκευή που με τη βοήθεια ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να μεταφέρει θερμότητα από έναν ψυχρότερο χώρο σε ένα θερμότερο, ακριβώς όπως λειτουργεί ένα **απλό κλιματιστικό μηχάνημα**
- Το μεγάλο της πλεονέκτημα έγκειται στο ότι ενώ τα κλιματιστικά μηχανήματα αποβάλλουν ή απάγουν θερμότητα από το περιβάλλον, η γεωθερμική αντλία θερμότητας χρησιμοποιεί το σταθερής θερμοκρασίας υπέδαφος



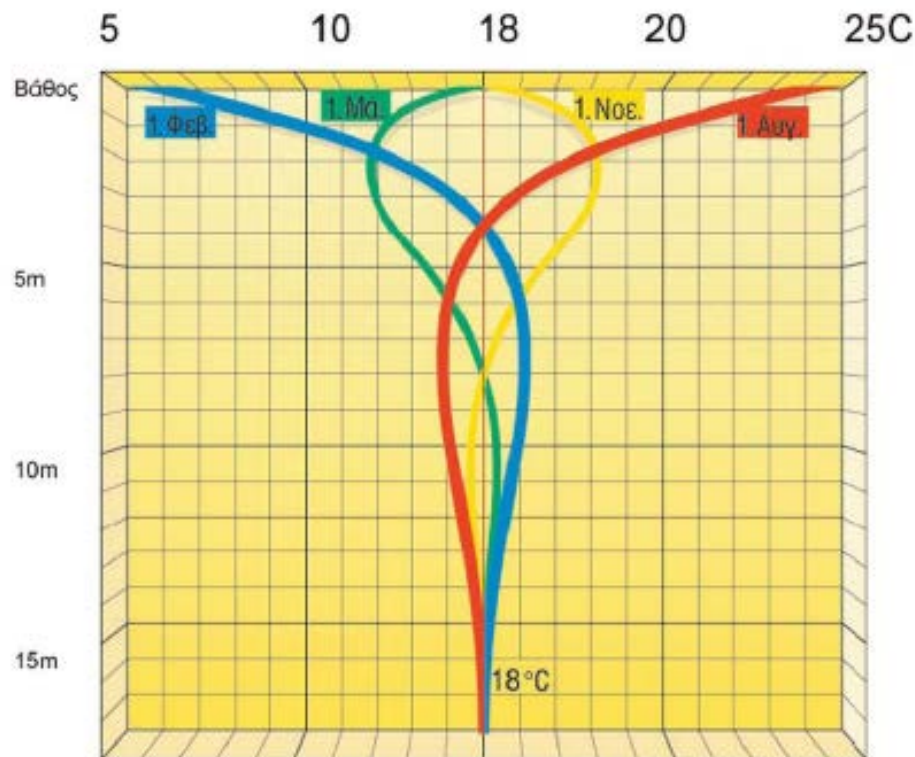
Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Το καλοκαίρι, που το κλιματιστικό μηχάνημα καλείται να αποβάλει θερμότητα σε ένα περιβάλλον ήδη κορεσμένο από θερμικό φορτίο καταναλώνοντας μεγάλα ποσά ηλεκτρικής ενέργειας, η γεωθερμική αντλία θερμότητας αποβάλλει θερμότητα στο υπέδαφος, που η θερμοκρασία του δεν ξεπερνά τους 20°C, με αποτέλεσμα η απόδοσή της να είναι σημαντικά μεγαλύτερη
- Κατ' ανάλογο τρόπο, το χειμώνα, το γεωθερμικό σύστημα καλείται να ανυψώσει τους 15-17°C του εδάφους μέχρι τους 20-22°C για να ζεστάνει το εσωτερικό του κτιρίου, ανεξάρτητα από τις εξωτερικές καιρικές συνθήκες



Αποθήκευση αισθητής θερμότητας

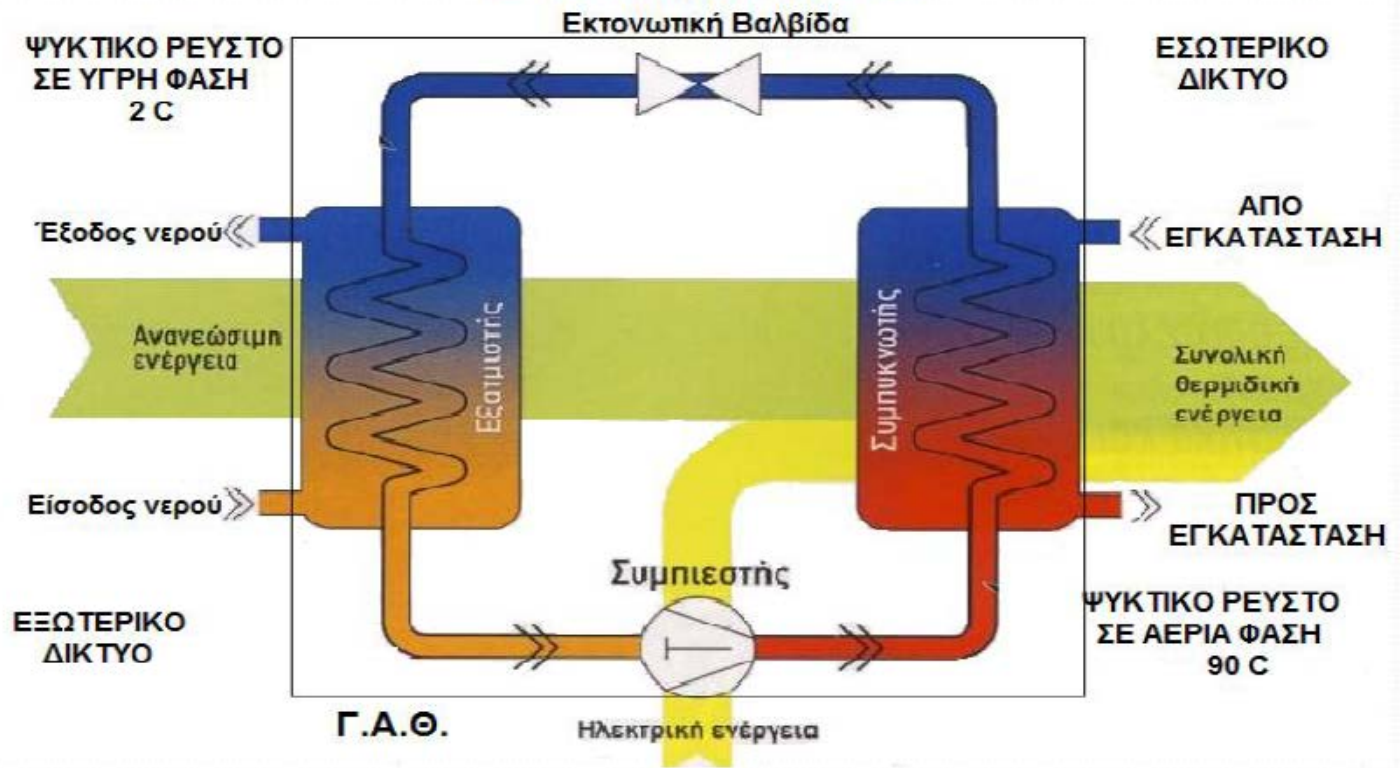
ΜΗΝΙΑΙΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ



Αποθήκευση αισθητής θερμότητας

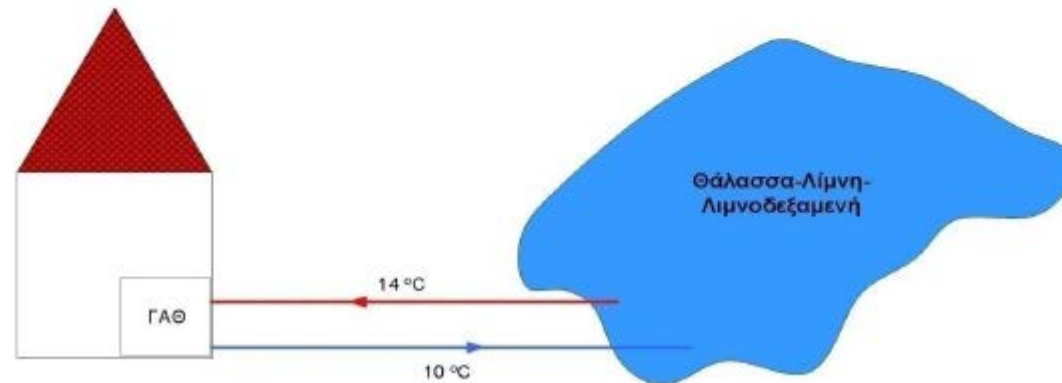


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

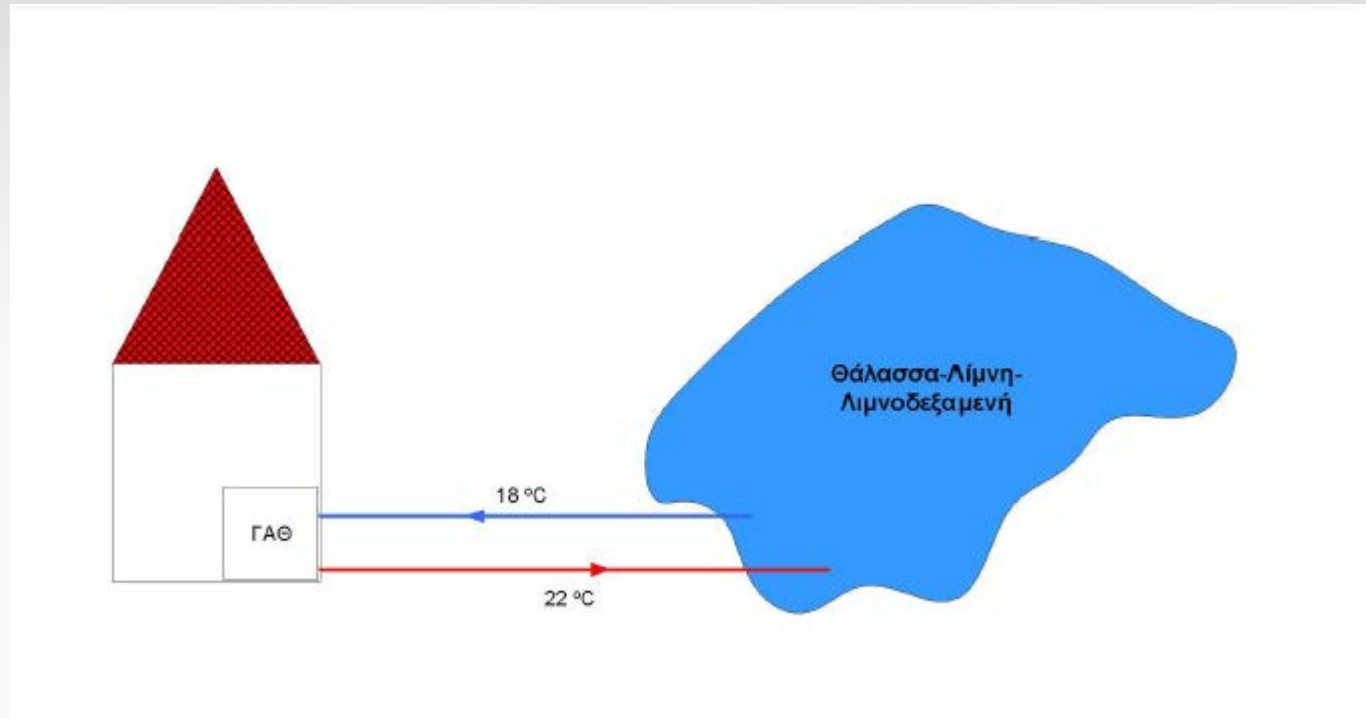


Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

ΑΝΟΙΚΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ (Η ΘΑΛΑΣΣΑΣ)



Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας



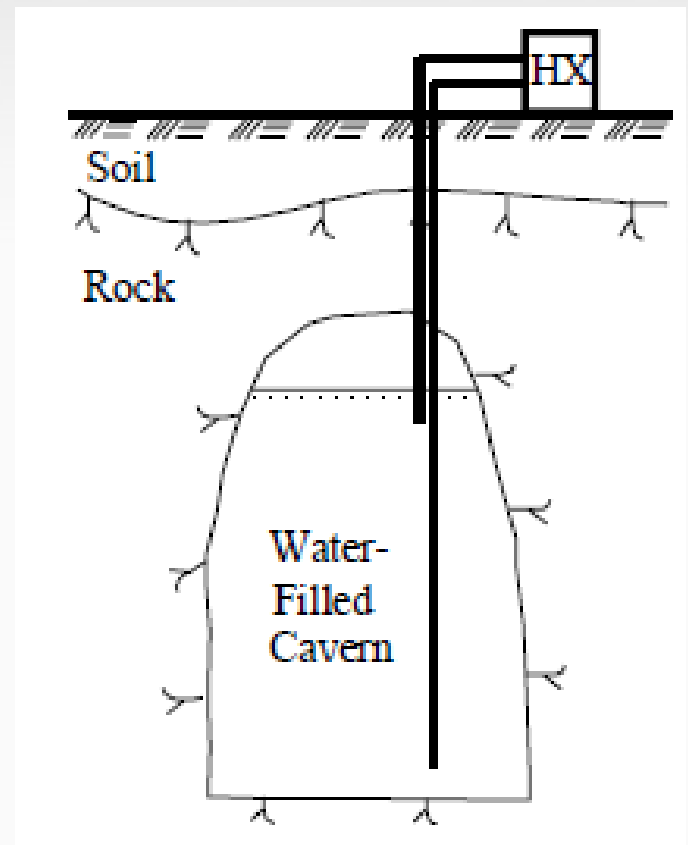
Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Η αποθήκευση θερμικής ενέργειας σε σπήλαια
- Χρησιμοποιεί μεγάλες υπόγειες δεξαμενές νερού που δημιουργούνται στο υπέδαφος
- Η εφαρμογή τους είναι ακόμη περιορισμένη λόγω του υψηλού **κόστους των επενδύσεων**
- Η ενέργεια αποθηκεύεται ως **ζεστό νερό σε υπόγειο σπήλαιο**
- Σε ένα τέτοιο σύστημα με μεγάλο όγκο νερό είναι πολύ σημαντικό να διατηρηθεί ένα στρωματοποιημένο προφίλ θερμοκρασίας στο σπήλαιο
- Κατά τη διάρκεια λειτουργίας ζεστό νερό εγχέεται στην κορυφή υδάτινου όγκου ενώ από το κάτω μέρος εξάγεται ψυχρότερο νερό



Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Λίγες πραγματικές εφαρμογές – 2 στη Σουηδία και μία στη Φινλανδία
- Παρόλο που οι αποθήκες θερμότητας στο σπήλαιο έχουν αποδειχθεί σε πλήρη κλίμακα, εξακολουθούν να είναι υπερβολικά δαπανηρές να γίνει μια εναλλακτική λύση από άλλα συστήματα αποθήκευσης ζεστού νερού



Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας



Κατασκευή δεξαμενής εποχιακής αποθήκευσης 5700 m³ στο Μόναχο Γερμανίας έτος 2007

Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Δεξαμενή αυτή αποθήκευσης είναι συνδεδεμένη με ένα δίκτυο **κεντρικής ηλιακής τηλεθέρμανσης** τροφοδοτεί με ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση χώρων και για τις ανάγκες ζεστού νερού χρήσης σε περίπου 320 διαμερίσματα (95m²) σε 12 πολυώροφα κτίρια
- Το σύστημα έχει σχεδιαστεί για να καλύψει πάνω από το 50% της ετήσιας ζήτησης θερμότητας (δηλ. περίπου 2.000 MWh/έτος) χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια που συλλέγεται από μια επιφάνεια επίπεδων συλλεκτών 2.761 m²
- Η συλλεγόμενη θερμότητα χρησιμοποιείται είτε άμεσα ή αποθηκεύεται στην υπόγεια εποχιακή δεξαμενή αποθήκευσης ζεστού νερού των 36.000 m³

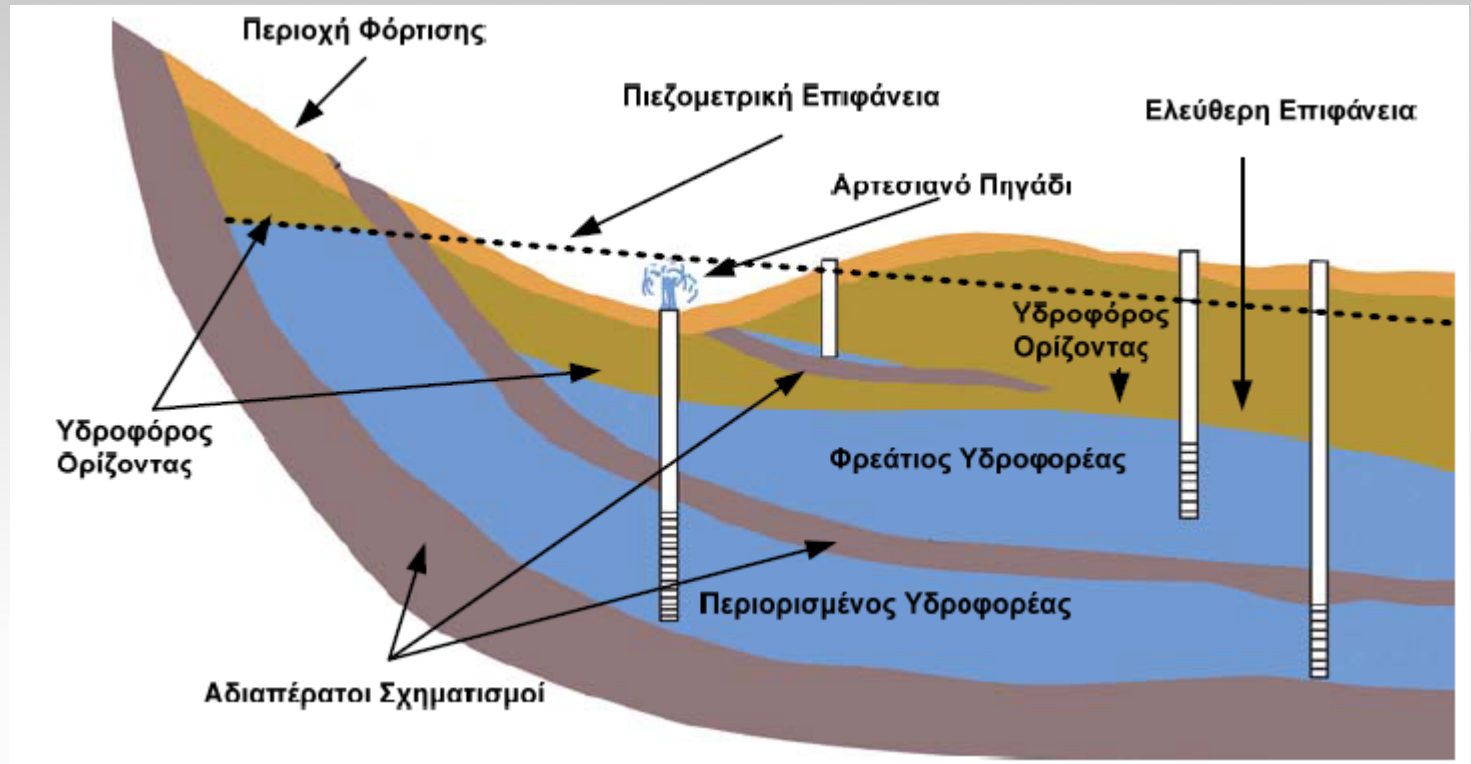


Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Η αποθήκευση θερμικής ενέργειας σε υπόγειο υδροφορέα
- Χρησιμοποιεί ως μέσο αποθήκευσης το φυσικό νερό που βρίσκεται σε ένα κορεσμένο και διαπερατό υπόγειο στρώμα
- Η μεταφορά της θερμικής ενέργειας γίνεται με την **άντληση των υπογείων υδάτων** από τον υδροφόρο ορίζοντα, την **θέρμανση** (ή ψύξη τους) και με την εκ νέου **έγχυση** σε ένα πηγάδι φόρτισης σε κοντινή απόσταση
- Ένας υδροφορέας μπορεί να θεωρηθεί ως μια δεξαμενή αποθήκευσης υπόγειων υδάτων
- Η διάκριση αυτή γίνεται με το αν εμφανίζεται ή όχι ελεύθερη επιφάνεια



Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας



1. Περιορισμένος ή υπό πίεση
2. Με ελεύθερη επιφάνεια ή φρεάτιοι υδροφορείς

Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Η ιδέα της αποθήκευσης θερμικής ενέργειας σε υδροφορέα (ΑΘΕΥ) είναι γνωστή εδώ και αρκετές δεκαετίες
- Τα συστήματα ΑΘΕΥ παρέχουν την δυνατότητα για μεγάλης κλίμακας και μακροπρόθεσμη θερμική αποθήκευση
- Συνήθως η τεχνική περιλαμβάνει την **αποθήκευση περίσσειας θερμότητας** σε ένα υδροφόρο ορίζοντα και την ανάκτηση αργότερα κατά τη διάρκεια των περιόδων ζήτησης
- Προφανώς η βασική ιδέα εδώ είναι η αποτελεσματική αποθήκευση τόσο θερμικών όσο και **ψυκτικών φορτίων** σε διαφορετικές χρονικές περιόδους του έτους



Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Η πρώτη εφαρμογή στον Καναδά, ήταν **συνδυασμένης θέρμανσης και ψύξης** για το νέο κυβερνητικό κτίριο Scarborough Centre
- Η φυσική θερμοκρασία των υπόγειων υδάτων είναι κατάλληλη για άμεση ψύξη (Winnipeg, Manitoba $\rightarrow 6^{\circ}\text{C}$ η φυσική θερμοκρασία των υπόγειων υδάτων)
- Ωστόσο, η “απόβλητη θερμότητα” μπορεί να οδηγήσει σε σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας του υδροφόρου ορίζοντα, οδηγώντας σταδιακά σε υποβάθμιση του υδροφόρου ορίζοντα και σε χαμηλότερη απόδοση του συστήματος ψύξης
- Αυτό μπορεί να ανασταλεί **αξιοποιώντας την απορριπτόμενη θερμότητα** για την προθέρμανση του αέρα στο σύστημα αερισμού το χειμώνα
- *στο νοσοκομείο Sussex, όπου παρατηρήθηκαν ετήσια κέρδη \$50000 από την εφαρμογή*



Αποθήκευση αισθητής θερμοκρασίας

- Άλλο παράδειγμα αποτελεί η εφαρμογή συστημάτων ΑΘΕΥ στα κτίρια του ξενοδοχείου Crowne Plaza, στην Κοπεγχάγη
- Εγκατάσταση είναι μια από τις πρώτες στην Δανία και μπορεί να καλύψει το **60% των συνολικών ψυκτικών αναγκών** ενώ για τις θερμικές ανάγκες του κτιρίου το σύστημα παρέχει ζεστό νερό σε θερμοκρασία 60oC
- Πρωτοπόροι οι Ολλανδοί
- Το 2005, ο αριθμός των καταγεγραμμένων έργων ήταν 537
- Περίπου το 80% αφορούν τον τομέα των εμπορικών κτιρίων (κτίρια γραφείων, νοσοκομεία και εμπορικά κέντρα)



Αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας - Ψύξη

- Για εφαρμογές μεγάλης κλίμακας αποθήκευσης ενέργειας ο πάγος είναι το πιο κοινό μέσο
- Λόγω του χαμηλού σημείου τήξης του πάγου, τέτοια συστήματα χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές ψύξης
- Η παλιά τεχνική της αποθήκης πάγου, χρησιμοποιώντας πριονίδι ως θερμική μόνωση, “ανακαλύφθηκε ξανά”
- Υπάρχουν αρκετά τέτοια συστήματα αποθήκευσης πάγου, π.χ. Σε Ιαπωνία και Καναδά
- Η πρώτη "σύγχρονη" μεγάλης κλίμακας εποχιακή αποθήκευση χιονιού σε κατασκευάστηκε στη Σουηδία



Αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας

Αποθήκευση χιονιού στο αεροδρόμιο New Chitose - Ιαπωνία



Αποθήκευση λανθάνουσας θερμότητας

- Τα αποθέματα χιονιού της πόλης Sundsvall θα χρησιμοποιούνται για την ψύξη ενός νοσοκομείου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού (ψύξη - ζήτηση 1000 MWh, μέγιστο φορτίο 1,5 MW)
- Οι υπολογισμοί δείχνουν ότι χρησιμοποιώντας 0,1 m ξύλινα τσιπ ως θερμομόνωση το 70% του χιονιού θα διαρκέσει το καλοκαίρι

