

**ΣΕΜΙΝΑΡΙΟ ΓΕΩΘΕΡΜΙΑΣ**  
**«Συστήματα Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας (ΓΑΘ)**  
**Καινοτόμες εφαρμογές στο πλαίσιο του έργου CHEAP-GSHPs»**

**6 Φεβρουαρίου 2019**  
**Ξενοδοχείο STRATOS VASSILIKOS, Αθήνα**

**Σχεδιασμός συστημάτων ΓΑΘ**

**Αναστασία Μπένου**  
**Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ, MSc**  
**Τμήμα Γεωθερμίας, ΚΑΠΕ**



# Εφαρμογές συστημάτων ΓΑΘ

1. Εφαρμογές μικρής & μεγάλης κλίμακας - θέρμανση/ψύξη/ζεστό νερό χρήσης (ZNX)
2. Εφαρμογές σε κατοικίες, ξενοδοχεία, κτίρια γραφείων, εμπορικά καταστήματα, νοσοκομεία, κολυμβητικές δεξαμενές, αγροτικές εφαρμογές (π.χ. θερμοκήπια) κ.λπ.
3. Καλύπτουν το 100% του φορτίου για θέρμανση/ψύξη/ZNX χωρίς να απαιτείται συμβατικό σύστημα υποβοήθησης (back-up).



# Δεδομένα για σχεδιασμό συστήματος ΓΑΘ

1. Ανάγκες εφαρμογής σε θέρμανση/ψύξη/ZNX



*προσδιορισμός ισχύος του συστήματος ΓΑΘ*

2. Τοπογραφικό διάγραμμα/διάγραμμα κάλυψης



*επιλογή & χωροθέτηση του συστήματος εναλλαγής θερμότητας*

# Επιλογή ΓΑΘ

1. Ισχύς συστήματος με βάση τις θερμικές/ψυκτικές ανάγκες της εγκατάστασης
2. Θερμοκρασίες σχεδιασμού του συστήματος για θέρμανση/ψύξη



# Θερμοκρασίες σχεδιασμού - θέρμανση

## 1. Σύστημα εναλλαγής θερμότητας εδάφους ή υδροφόρου *είσοδος σε εξατμιστή ΓΑΘ*

- ✓ κλειστό σύστημα  $\sim 12^{\circ}\text{C}$
- ✓ ανοικτό σύστημα  $\sim 16^{\circ}\text{C}$  (εξαρτάται από τον υδροφόρο ορίζοντα)

## 2. Σύστημα θέρμανσης εντός κτιρίου *έξοδος από συμπυκνωτή ΓΑΘ*

- ✓ fan-coils  $\sim 40-45^{\circ}\text{C}$
- ✓ ενδοδαπέδιο  $\sim 35-38^{\circ}\text{C}$

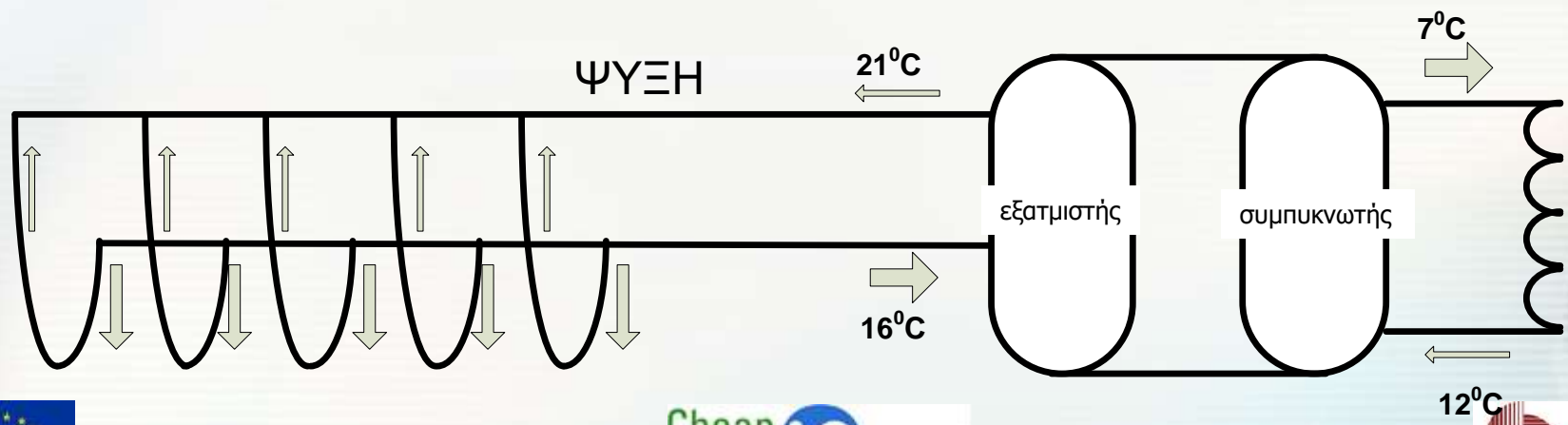
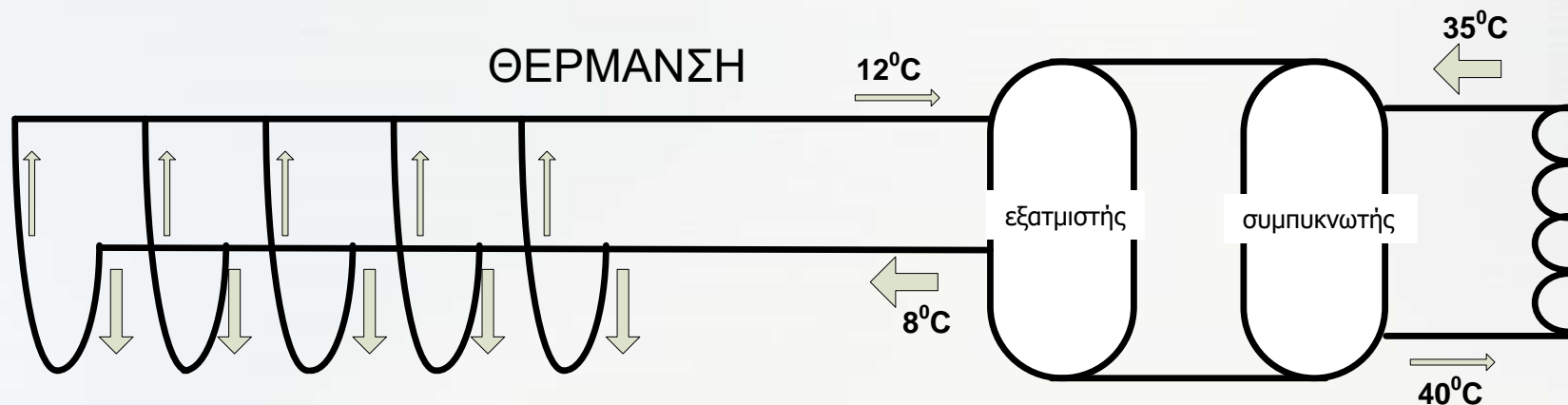


# Θερμοκρασίες σχεδιασμού - Ψύξη

1. Σύστημα εναλλαγής θερμότητας εδάφους ή υδροφόρου *έξοδος από συμπυκνωτή ΓΑΘ*
  - ✓ κλειστό σύστημα  $\sim 21^{\circ}\text{C}$
  - ✓ ανοικτό σύστημα  $\sim 20^{\circ}\text{C}$
2. Σύστημα ψύξης ή δροσισμού εντός κτιρίου *έξοδος από εξατμιστή ΓΑΘ*
  - ✓ fan-coils  $\sim 7^{\circ}\text{C}$
  - ✓ ενδοδαπέδιο  $\sim 17^{\circ}\text{C}$



# Θερμοκρασίες σχεδιασμού συστήματος ΓΑΘ με κατακόρυφους γεωεναλλάκτες



## Θερμοκρασίες σχεδιασμού σε θέρμανση/ψύξη

Όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασιακή διαφορά που πρέπει να καλυφθεί από το συμπιεστή τόσο μικρότερη η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνεται οπότε είναι και μεγαλύτερη η απόδοση του συστήματος





# Επιλογή συστήματος εναλλαγής θερμότητας

## Ανοικτό σύστημα

*Εφαρμογές σε αστικό & μη αστικό περιβάλλον  
απαραίτητη η ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα*

1. Ύπαρξη υδροφόρου ορίζοντα - υδρογεωλογικά στοιχεία περιοχής
2. Προσδιορισμός διαθέσιμης παροχής ( $m^3/h$ )
  - Δοκιμαστική άντληση για 72 ώρες για τον προσδιορισμό της διαθέσιμης παροχής
  - Πραγματοποίηση δοκιμαστικής άντλησης μετά την καλοκαιρινή περίοδο (δυσμενέστερες υδρολογικές συνθήκες)



# Επιλογή συστήματος εναλλαγής θερμότητας

## Κλειστό σύστημα

*Εφαρμογές σε αστικό & μη αστικό περιβάλλον*

Επιλογή οριζόντιου ή κατακόρυφου συστήματος – Διαθέσιμος χώρος

1. Το οριζόντιο σύστημα απαιτεί μεγάλη επιφάνεια για την εγκατάστασή του σε σχέση με το κατακόρυφο σύστημα
2. Το κατακόρυφο σύστημα δεν απαιτεί μεγάλη επιφάνεια αλλά έχει αυξημένο κόστος σε σχέση με το οριζόντιο κυρίως λόγω της κατασκευής γεωτρήσεων



# Επιλογή συστήματος εναλλαγής θερμότητας

**Σε μεγάλες εγκαταστάσεις πραγματοποιούνται συνδυασμοί συστημάτων εναλλαγής θερμότητας**

- ✓ **Ανοικτό & κλειστό σύστημα: μη επαρκής διαθέσιμη παροχή για την κάλυψη του συνολικού φορτίου-διάτρηση επιπλέον γεωτρήσεων για την εγκατάσταση κλειστού συστήματος επιπλέον του ανοικτού**
- ✓ **Οριζόντιο & κατακόρυφο σύστημα: μη επαρκής διαθέσιμη επιφάνεια - διάτρηση γεωτρήσεων για την εγκατάσταση κατακόρυφου συστήματος επιπλέον του οριζοντίου**



# Προσδιορισμός ανοικτού συστήματος

1. Γεωλογικά/υδρογεωλογικά στοιχεία της περιοχής ➡  
προσδιορισμός βάθους υδρογεώτρησης
  1. Δοκιμαστική άντληση ➡ προσδιορισμός παροχής  
υδρογεώτρησης
- .....



- ✓ Μέγιστη δυνατή ισχύς συστήματος ΓΑΘ

# Προσδιορισμός ανοικτού συστήματος

Χωροθέτηση των υδρογεωτρήσεων λαμβάνοντας υπόψη:

- ✓ Θέση κτιρίου - μηχανοστασίου
- ✓ Διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου
- ✓ Ιδιαίτερων χώρων π.χ. υπόγειου γκαράζ κ.λπ.
- ✓ Τήρηση αποστάσεων ασφαλείας από τις θεμελιώσεις του κτιρίου
- ✓ Τήρηση αποστάσεων μεταξύ των παραγωγικών γεωτρήσεων και γεωτρήσεων επανεισαγωγής (>10m ανάλογα με τη γεωλογία και την απαιτούμενη παροχή)
- ✓ Ελαχιστοποίηση αποστάσεων μεταξύ υδρογεωτρήσεων και μηχανοστασίου



# Διαστασιολόγηση ανοικτού συστήματος

## Δεδομένα

στοιχεία υδρογεωτρήσεων & χωροθέτηση, ισχύς ΓΑΘ

- ✓ Επίλυση ανοικτού υδραυλικού κυκλώματος
- ✓ Προσδιορισμός σωληνώσεων, αντλίας γεώτρησης, πλακοειδούς εναλλάκτη και λοιπού εξοπλισμού



# Προσδιορισμός κλειστού συστήματος

1. Γεωλογικά & υδρογεωλογικά στοιχεία του εδάφους



εκτιμώμενη απόληψη θερμότητας γεωεναλλάκτη

2. Ισχύς, απόδοση ΓΑΘ

---

- ✓ προσδιορισμός αριθμού γεωτρήσεων (κλειστό-κατακόρυφο)
- ✓ προσδιορισμός επιφάνειας σκάμματος (κλειστό-οριζόντιο)



# Ειδική απόληψη θερμότητας κατακόρυφου γεωεναλλάκτη

Σύσταση εδάφους	Ειδική απόληψη θερμότητας (W/m) κατακόρυφου γήινου γεωεναλλάκτη*
Ξηρές φερτές ύλες	10-30
Αργιλικοί σχιστόλιθοι	20-55
Ξηρά πετρώματα με υψηλή στάθμη θερμικής αγωγιμότητας (μάρμαρα)	40-80
Συμπαγής ασβεστόλιθος	55-70
Υπέδαφος με μεγάλη ροή υπογείου ύδατος	50-100

\* με βάση τα γερμανικά standards VDI4640





# Μετρήσεις απόδοσης κατακόρυφων γεωεναλλακτών – Thermal Response Test

Για εφαρμογές ΓΑΘ μεγάλης κλίμακας συνήθως πραγματοποιούνται μετρήσεις απόδοσης των κατακόρυφων γεωεναλλακτών προς επαλήθευση των γεωλογικών δεδομένων.

- Σχεδιασμός του συστήματος ΓΑΘ με βάση τα γεωλογικά στοιχεία της περιοχής και τα ενεργειακά δεδομένα του κτιρίου.
- Κατασκευή του πρώτου γεωεναλλάκτη του συστήματος (διάτρηση γεώτρησης, εγκατάσταση γεωεναλλάκτη & πλήρωση της γεώτρησης).



# Μετρήσεις απόδοσης κατακόρυφων γεωεναλλακτών – Thermal Response Test

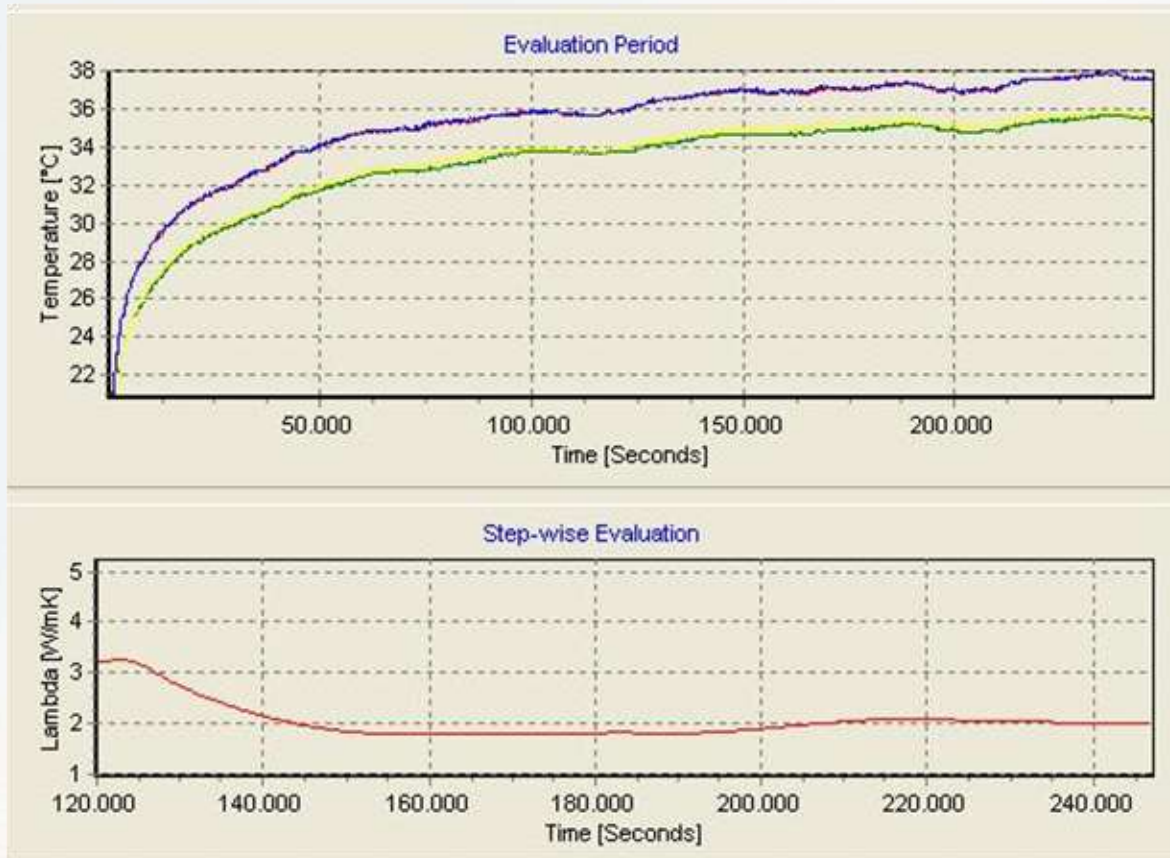
- Μετρήσεις της απόδοσης του πρώτου γεωεναλλάκτη - θερμική αγωγιμότητα & θερμική αντίσταση του γεωεναλλάκτη.
- Επαλήθευση των αποτελεσμάτων σε σχέση με τα γεωλογικά στοιχεία.
- Επανασχεδιασμός του συστήματος ΓΑΘ σε περίπτωση που οι μετρήσεις αποκλίνουν σημαντικά από τα δεδομένα που εισήχθησαν στον αρχικό σχεδιασμό.
  - Αποφυγή υπερδιαστασιολόγησης συστήματος ΓΑΘ – αυξημένο κόστος κατασκευής.
  - Αποφυγή υποδιαστασιολόγησης συστήματος ΓΑΘ – μειωμένη απόδοση συστήματος.



# Μετρήσεις απόδοσης κατακόρυφων γεωεναλλακτών – Thermal Response Test



# Μετρήσεις απόδοσης κατακόρυφων γεωεναλλακτών – Thermal Response Test



Μέση τιμή θερμικής αγωγιμότητας  $\lambda = 2,013\text{W/mK}$   
Μέση τιμή θερμικής αντίστασης  $R_b = 0,152\text{mK/W}$

# Προσδιορισμός κλειστού συστήματος

**Χωροθέτηση των γεωεναλλακτών λαμβάνοντας υπόψη:**

- ✓ **Θέση κτιρίου – μηχανοστασίου.**
- ✓ **Διαμόρφωση περιβάλλοντος χώρου.**
- ✓ **Ιδιαίτερων χώρων π.χ. υπόγειου γκαράζ κ.λπ.**
- ✓ **Τήρηση αποστάσεων ασφαλείας από τις θεμελιώσεις του κτιρίου.**
- ✓ **Τήρηση αποστάσεων μεταξύ των γεωεναλλακτών (5-6m) για αποφυγή θερμικής αλληλεπίδρασης μεταξύ τους.**
- ✓ **Ελαχιστοποίηση αποστάσεων μεταξύ πεδίου κατακόρυφων γεωεναλλακτών και μηχανοστασίου.**



# Διαστασιολόγηση κλειστού συστήματος

## Δεδομένα

μήκος & χωροθέτηση γεωεναλλάκτη, ισχύς ΓΑΘ

- ✓ Επίλυση κλειστού υδραυλικού κυκλώματος (ενδεικτικά για  $\Phi 32$  παροχή  $\geq 0,8 \text{ m}^3/\text{h}$  (single-U) & παροχή  $\geq 1,6 \text{ m}^3/\text{h}$  (double-U)).
- ✓ Προσδιορισμός σωληνώσεων, κυκλοφορητή και λοιπού εξοπλισμού.



# Διαστασιολόγηση & απόδοση συστήματος ΓΑΘ

Η σωστή διαστασιολόγηση του *βοηθητικού εξοπλισμού*, όπως ο κυκλοφορητής και η υποβρύχια αντλία, παίζουν σημαντικό ρόλο στη συνολική απόδοση του συστήματος ΓΑΘ που εκφράζεται με το SPF.



# Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας συστήματος ΓΑΘ 20kW με κατακόρυφους γεωεναλλάκτες θερμότητας

- Θερμική απαίτηση:  $20\text{kW}_{\text{th}}$
- 3 κατακόρυφοι γεωεναλλάκτες συνολικού μήκους 300m (περίπου 100m έκαστος) - αργιλικά πετρώματα με ειδική απόληψη θερμότητας 50W/m
- Κόστος εγκατάστασης συστήματος ΓΑΘ: 24.500ευρώ
- Κόστος συντήρησης συστήματος ΓΑΘ: 100ευρώ ετησίως

Συγκρίνοντας το σύστημα ΓΑΘ με συμβατικό σύστημα (πετρέλαιο/θέρμανση + ηλ.ενέργεια/ψύξη) προκύπτει ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας  $\sim 55\%$





# Συστήματα ΓΑΘ

## σε κτίρια χαμηλής ενεργειακής ζήτησης

Τα συστήματα ΓΑΘ χρησιμοποιούν  
αβαθή γεωθερμία (ΑΠΕ)  
οπότε θα πρέπει να εγκαθίστανται  
σε κτίρια χαμηλής ενεργειακής ζήτησης\*



Προστασία περιβάλλοντος  
& μείωση CO<sub>2</sub> εκπομπών με ΑΠΕ & ΕΞΕ

*\*Κτίρια με ελαχιστοποιημένα  
θερμικά & ψυκτικά φορτία*

*Προσανατολισμός κτιρίου, μόνωση, διπλοί υαλοπίνακες,  
εξωτερική σκίαση κ.λπ.*



# Συστήματα ΓΑΘ

## σε κτίρια χαμηλής ενεργειακής ζήτησης

Εγκατάσταση συστημάτων ΓΑΘ σε κτίρια χαμηλής ενεργειακής ζήτησης – ελαχιστοποίηση εγκατεστημένης ισχύος συστήματος ΓΑΘ



Οικονομικό όφελος: *μείωση κόστους κεφαλαίου & λειτουργικού κόστους συστήματος ΓΑΘ*



Ώθηση της αγοράς συστημάτων ΓΑΘ



# Συστήματα ΓΑΘ

## σε κτίρια χαμηλής ενεργειακής ζήτησης

Με τη βέλτιστη εφαρμογή των συστημάτων ΓΑΘ  
σε μια συνολική λογική για εξοικονόμηση  
ενέργειας στο κτίριο



Τα συστήματα ΓΑΘ συνεισφέρουν στην  
ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων με στόχο  
την δημιουργία κτιρίων nZEB



# Συστήματα ΓΑΘ & ενεργειακή αποδοτικότητα κτιρίων

Υπήρξαν διάφορες νομοθεσίες σε επίπεδο ΕΕ για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων:

- Οδηγία Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (2002)
- Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (2006)
- Αποδοτικότητα του τελικού χρήστη και η οδηγία για τις ενεργειακές υπηρεσίες (2006)
- Η οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (EPBD) ήταν ένα ορόσημο για τη νομοθεσία διατήρησης της ενέργειας και καθόρισε τους ελάχιστους στόχους ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων
- Πολλά κράτη μέλη της ΕΕ έχουν προχωρήσει πέρα από την (EPBD) και καθορίζουν τα δικά τους κριτήρια για κτίρια σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης – κτίρια nZEB.



# Συστήματα ΓΑΘ & ενεργειακή αποδοτικότητα κτιρίων

## *Κτίριο nZEB*

- «...Η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται θα πρέπει να συνίσταται σε πολύ μεγάλο βαθμό σε ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, περιλαμβανομένης της παραγομένης επιτόπου ή πλησίον του κτιρίου».
- Οδηγία 2010/31/ΕΕ - Άρθρο 9:  
«απαιτείται λήψη απαραίτητων μέτρων ανά κράτος για την δημιουργία κτιρίων μηδενικής ή σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης μέχρι τον τέλος του 2018 για τα δημόσια κτίρια και μέχρι το τέλος του 2020 για όλα τα κτίρια».
- Όσοι υποβάλουν αίτηση για πολεοδομική άδεια τον Ιανουάριο του 2021 θα πρέπει να αποδείξουν ότι το κτίριο είναι σχεδόν μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης.



# Συστήματα ΓΑΘ & ενεργειακή αποδοτικότητα κτιρίων

## Κτίριο nZEB

Κριτήρια από άλλες Ευρωπαϊκές χώρες – τελική κατανάλωση ενέργειας kWh/m<sup>2</sup> σύμφωνα με τους εθνικούς ορισμούς των “Κτιρίων με σχεδόν μηδενική κατανάλωση ενέργειας”

Τύπος κτιρίου	Δανία	Γαλλία	Γερμανία	Ολλανδία	Αγγλία
Κατοικία	45	40-65	42	50-65	50
Διαμέρισμα	37	40-60	42	50	n/a
Τριτογενής τομέας	37-50	30-75	42	60-158	95-151

Πηγή: *Towards very low energy buildings, AALBORG UNIVERSITET*



# Συστήματα ΓΑΘ & ενεργειακή αποδοτικότητα κτιρίων

## *Κτίριο nZEB*

*Γιατί συστήματα ΓΑΘ στα κτίρια?*

- Χρήση αβαθούς γεωθερμίας – *ΑΠΕ*
- Εγκατάσταση σε οποιοδήποτε μέρος - *όχι ύπαρξη γεωθερμικού πεδίου*
- Εναλλακτικές λύσεις συστήματος εναλλαγής θερμότητας με το έδαφος ακόμα και σε περίπτωση περιορισμένου χώρου – *αστικό περιβάλλον*
- Συνεχής λειτουργία – *δεν απαιτείται σύστημα back-up με συμβατικά καύσιμα*
- *Πολύ υψηλό COP σε σχέση με άλλα συστήματα Α/Θ*



ΕΥΧΑΡΙΣΤΩ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΧΗ ΣΑΣ

