



ΠΙΟ ΕΥΚΟΛΑ ΣΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΤΑΣΗ,
ΑΠΟΔΟΤΙΚΑ ΚΑΙ ΧΑΜΗΛΟΥ ΚΟΣΤΟΥΣ
ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΥΠΙΚΑ ΚΑΙ
ΓΙΑ ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΚΤΙΡΙΑ

2018 - 2023

1

2

3

4

5

6

7

Ενεργειακές ανάγκες και τεχνικές λύσεις για αποδοτικά κτίρια

Συγγραφείς: Κοινοπραξία GEO4CIVHIC

Συντονιστής του έργου: Adriana BERNARDI

Συντονιστής τόμου: Laura CARNIELETTO

www.geo4civhic.eu

Το έργο GEO4CIVHIC έχει λάβει χρηματοδότηση από το πρόγραμμα έρευνας και καινοτομίας Horizon 2020 της Ευρωπαϊκής Ένωσης στο πλαίσιο της συμφωνίας επιχορήγησης No. 792355





Οποιαδήποτε διάδοση των αποτελεσμάτων πρέπει να υποδεικνύει ότι αντικατοπτρίζει μόνο την άποψη του συγγραφέα και ότι ο Οργανισμός δεν είναι υπεύθυνος για οποιαδήποτε χρήση των πληροφοριών που περιέχει.

ΣΥΝΤΑΚΤΕΣ:

Adriana Bernardi

Doinița - Iuliana Cucușteanu

ΠΡΟΟΙΜΙΟ



Η ρηχή γεωθερμική ενέργεια είναι μια σταθερή και αξιόπιστη ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που είναι πάντα διαθέσιμη παντού. Η ρηχή γεωθερμική ενέργεια και η σύζευξή της με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας έχει πολύ μεγάλες δυνατότητες, αλλά παραμένει υπό εκμετάλλευση σε ορισμένες χώρες και απαιτεί περαιτέρω διάδοση. Στόχος των επτά τόμων που δημιουργήθηκαν είναι η περαιτέρω διάδοση της ρηχής γεωθερμικής ενέργειας.

Οι επτά τόμοι:

ΤΟΜΟΣ 1 – Ενεργειακές ανάγκες και τεχνικές λύσεις για αποδοτικά κτίρια

ΤΟΜΟΣ 2 – Γεωλογία και χαρτογράφηση

ΤΟΜΟΣ 3 – Μεθοδολογία γεωτρήσεων, μηχανήματα και εναλλάκτες θερμότητας

ΤΟΜΟΣ 4 – Τεχνολογία γεωθερμικών αντλιών θερμότητας

ΤΟΜΟΣ 5 – Διαστασιολόγηση ΓΑΘ και υβριδικές τεχνολογίες

ΤΟΜΟΣ 6 – Περιβάλλον και πρότυπα

ΤΟΜΟΣ 7 – Κτίρια Ιστορικής και Παγκόσμιας Κληρονομιάς

Αυτοί οι τόμοι περιγράφουν και συνοψίζουν τις ερευνητικές δραστηριότητες από την καινοτομία έως την υλοποίησή τους και τα διδάγματα που αντλήθηκαν από το 2015 έως το 2023 στο πλαίσιο 2 ευρωπαϊκών έργων: «Πιο εύκολα, αποτελεσματικά και χαμηλού κόστους γεωθερμικά συστήματα για ανακατασκευή αστικών και ιστορικών κτιρίων» (GEO4CIVHIC) και « Φτηνή και αποτελεσματική εφαρμογή αξιόπιστων γεωεναλλακτών και γεωθερμικών αντλιών θερμότητας» (Cheap-GSHPs).

Αποτελούν πολύτιμη πηγή πληροφοριών που προορίζεται να υποστηρίξει και να ενισχύσει τις δεξιότητες των επαγγελματιών, των φοιτητών και άλλων σημαντικών στοχευμένων ενδιαφερομένων (π.χ. υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων δημοσίων πολιτικών, τελικοί χρήστες, επενδυτές κ.λπ.) στην εφαρμογή γεωθερμικών συστημάτων για θέρμανση και ψύξη κτιρίων στον τομέα της εξοικονόμησης ενέργειας.

Οι επτά τόμοι περιγράφουν τα κύρια αποτελέσματα ξεκινώντας από βασικές αρχές, εμπόδια, προσεγγίσεις, μεθοδολογίες, καινοτομίες, καθώς και τη νομοθεσία που διέπει την εφαρμογή της επιφανειακής γεωθερμικής ενέργειας σε όλους τους τύπους κτιρίων. Η εφαρμογή ρηχής γεωθερμίας σε ιστορικά κτίρια έχει πολλά εμπόδια και πολύ αυστηρούς κανονισμούς, αυτά τα ζητήματα επιλύθηκαν με επιτυχία κατά τη διάρκεια του GEO4CIVHIC. Πρόκειται για μια σημαντική ανακάλυψη στο θέμα της θέρμανσης/ψύξης και της εξοικονόμησης ενέργειας σε αυτά τα συγκεκριμένα κτίρια.

Αυτοί οι τόμοι δημιουργήθηκαν για να υποστηρίξουν την εθνική εκπαίδευση σε όλη την Ευρώπη. Ειδικότερα, τα μαθήματα στα τέσσερα νέα «Ευρωπαϊκά Κέντρα Αριστείας για Ρηχή Γεωθερμική Εφαρμογή σε Αστικά και Ιστορικά Κτίρια» που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια του GEO4CIVHIC στα Πανεπιστήμια της Ιταλίας, της Γερμανίας, της Ισπανίας και της Ρουμανίας. Προβλέπεται ένα σχέδιο κατάρτισης υψηλού επιπέδου για την κατάρτιση νέων εμπειρογνομόνων που θα εγγραφθούν κατά συνέπεια νέες δεξιότητες και θέσεις εργασίας.

Επιπλέον, αυτά τα τέσσερα Ευρωπαϊκά Κέντρα Αριστείας θα μπορούσαν να γίνουν ένα δυναμικό εργαλείο όχι μόνο για εκπαίδευση αλλά και για την έναρξη κανονιστικής βελτίωσης σε ολόκληρη την Ευρώπη, ένας τρόπος για να τονωθεί η επικοινωνία μεταξύ των ειδικών και τελικά να βελτιωθεί η μακροπρόθεσμη πρόοδος του τομέα της ρηχής γεωθερμίας.

Κάθε τόμος είναι αφιερωμένος σε συγκεκριμένους στόχους, συμπεριλαμβανομένων των ενεργειακών αναγκών και των τεχνικών λύσεων για αποδοτικά κτίρια, τις γεωλογικές πτυχές των ευρωπαϊκών εδαφών, καινοτόμες λύσεις σχετικά με γεωεναλλάκτες θερμότητας, μηχανήματα γεωτρήσεων, αντλίες θερμότητας και τέλος αντιμετώπιση νομοθετικών, περιβαλλοντικών και οικονομικών πτυχών.

Τα περιεχόμενα των τόμων είναι αποτέλεσμα απαιτητικής επιστημονικής έρευνας, τεχνολογικής ανάπτυξης, πειραμάτων και επιδείξεων που πραγματοποιήθηκαν από τους εταίρους των δύο ευρωπαϊκών ερευνητικών προγραμμάτων H2020 κατά τη διάρκεια των οκτώ ετών συνεργασίας, συζητήσεων και δεσμεύσεων.

Η περίοδος κατά την οποία αναπτύχθηκε το έργο GEO4CIVHIC ήταν πολύ δύσκολη (π.χ πανδημία, μεταπανδημία κ.λπ.). Αυτό παρεμπόδισε σημαντικά τόσο την ερευνητική δραστηριότητα όσο και την υλοποίηση και διαχείριση του έργου. Ειδικότερα, οι δραστηριότητες στους χώρους επίδειξης σε όλη την Ευρώπη (Ιταλία, Βέλγιο, Μάλτα, Ιρλανδία) βάρυναν πολύ τα μέλη της ομάδας, αλλά τελικά όλες αυτές οι προκλήσεις ξεπεράστηκαν με επιτυχία.

Οι δυσκολίες του έργου συγκέντρωσαν μια ισχυρή ομάδα ερευνητών από όλη την Ευρώπη. Αυτοί οι ειδικοί θα συνεχίσουν να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην επιστήμη της ρηχής γεωθερμίας, πέρα από τις ισχυρές φιλίες που δημιουργήθηκαν κατά τα χρόνια των δύο έργων.

Ως συντονιστής και των δύο έργων, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους για τις προσπάθειές τους και για τη βαθιά πίστη τους στη ρηχή γεωθερμία, η οποία θα βοηθήσει πολύ στον τομέα της εξοικονόμησης ενέργειας σε όλη την Ευρώπη που είναι αποκομμένη από τα ορυκτά καύσιμα.

Τέλος, ένα θερμό ευχαριστώ στην Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η οποία με τη χρηματοδότηση αυτών των δύο έργων επέτρεψε να γίνει ένα μεγάλο βήμα προς τα εμπρός, στη μελέτη αποτελεσματικότερων και λιγότερο δαπανηρών τεχνολογιών στον τομέα της αβαθούς γεωθερμίας.

Adriana BERNARDI

**Συντονιστής έργων της ΕΕ GEO4CIVHIC και Cheap-GSHPs
Διευθυντής Έρευνας στο CNR-ISAC**

Τόμος

1

Έργο GEO4CIVHIC

Εκπαιδευτικό Εγχειρίδιο

Ενεργειακές ανάγκες και τεχνικές λύσεις για αποδοτικά κτίρια

Συγγραφείς: Κοινοπραξία GEO4CIVHIC

Συντονιστής του έργου: Adriana BERNARDI

Συντονιστής τόμου: Laura CARNIELETTO

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	7
ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ/ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ	8
ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ	9
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ των ΚΤΙΡΙΩΝ.....	10
1.1. Ανακαίνιση στο υφιστάμενο κτιριακό απόθεμα.....	10
1.2. Νέα κτίρια (ZEB, nZEB, PEH)	11
1.3. Ενέργεια και βιώσιμη σήμανση	12
1.4. Περιβαλλοντικές επιδόσεις και βιωσιμότητα ενός κτιρίου	13
2. ΔΥΝΗΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ	14
2.1. Πιθανές ενέργειες ανακαίνισης	16
2.2. Διαστασιολόγηση των γήινων εναλλακτών θερμότητας.....	17
2.3. Βέλτιστο μήκος γήινων εναλλακτών θερμότητας	18
3. ΜΕΛΕΤΕΣ περιπτώσεων	20
3.1. Αθήνα.....	20
3.2. Στρασβούργο.....	21
3.3. Ελσίνκι	23
3.4. Βέλτιστο μήκος γήινων εναλλακτών θερμότητας	24
4. ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΓΕΩΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΑΠΕ	26
4.1. Γεωθερμικές Αντλίες θερμότητας με ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας	26
4.2. Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας υποβοηθούμενες από θερμικά ηλιακά	27
4.3. Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας με υποβοηθούμενη πηγή αέρα	29
4.4. Φ/Β-Θερμικά ηλιακά υποβοηθούμενες Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας	30
4.5. Εφαρμογή μελετών περιπτώσεων: δείκτες αυτάρκειας και αυτοκατανάλωσης για τα αρχέτυπα GEO4CIVHIC.....	30
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	34
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	36

EΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 2-1. Απλό σχέδιο των στρατηγικών ανακαίνισης που εφαρμόστηκαν	17
Εικόνα 2-2. Πιθανά σενάρια των περιπτώσιολογικών μελετών	19
Εικόνα 3-1. Σύγκριση μεταξύ του μέγιστου διαθέσιμου μήκους και του απαιτούμενου μήκους γεωτρήσεων για την ικανοποίηση της ενεργειακής ζήτησης για τις τρεις τυπολογίες κτιρίων για την Αθήνα χωρίς μόνωση (α) και με μόνωση κελύφους(β).	21
Εικόνα 3-2. Σύγκριση μεταξύ του μέγιστου διαθέσιμου μήκους και του απαιτούμενου μήκους γεωτρήσεων για την ικανοποίηση της ενεργειακής ζήτησης για τις τρεις τυπολογίες κτιρίων για το Στρασβούργο χωρίς μόνωση (α) και με μόνωση (β) κελύφους.	22
Εικόνα 3-3. Σύγκριση μεταξύ του μέγιστου διαθέσιμου μήκους και του απαιτούμενου μήκους γεωτρήσεων για την ικανοποίηση των τυπολογιών ενεργειακής ζήτησης για το Ελσίνκι χωρίς μόνωση (α) και με μόνωση (β) κελύφους.	23
Εικόνα 4-1. Διάταξη συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με υποβοήθηση αιολικού/φωτοβολταϊκού	27
Εικόνα 4-2. Διάταξη συστήματος αντλίας θερμότητας με ηλιακή θερμική υποβοήθηση.	28
Εικόνα 4-3. Διάγραμμα σύνδεσης πύργου ψύξης ή dry cooler με γεωθερμική αντλία θερμότητας.	29
Εικόνα4-4. Σχέδιο Αντλία θερμότητας αέρα – νερού (Air-Water HP) με γεωθερμική αντλία θερμότητας.	30



ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 2-1. Σχεδιασμός και εποχιακές τιμές της αντλίας θερμότητας που συνδέεται με τα διαφορετικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης.....	18
Πίνακας 2-2. Θερμικές ιδιότητες των τριών θεωρούμενων τύπων εδάφους.....	18
Πίνακας 2-3. Βέλτιστο μήκος των γήινων εναλλακτών θερμότητας.....	19
Πίνακας 3-1. Ενεργειακά φορτία για θέρμανση και ψύξη στις τρεις κλιματικές ζώνες [kWh/(m ² y)].....	20
Πίνακας 3-2. Τελικό μήκος γήινων εναλλακτών θερμότητας.....	24
Πίνακας 4-1. Μέση ωριαία ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται [Wh].....	31
Πίνακας 4-2. Καθημερινή ηλεκτρική κουζίνα που χρησιμοποιείται [Wh].....	31
Πίνακας 4-3. Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των αντλιών θερμότητας, φωτισμού και συσκευών [kWh].	31
Πίνακας 4-4. Ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό (PV) σύστημα.....	32
Πίνακας 4-5. Παράμετροι μεγέθους φωτοβολταϊκού (PV) συστήματος.....	32
Πίνακας 4-6. Σύνοψη των αποτελεσμάτων αυτάρκειας και ιδιοκατανάλωσης για τα υφιστάμενα κτίρια με ταράτσα..	33
Πίνακας 4-7. Σύνοψη των αποτελεσμάτων αυτάρκειας και ιδιοκατανάλωσης για τα ιστορικά κτίρια με ταράτσα.....	34

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σύμφωνα με τις πρόσφατες πολιτικές σχετικά με τη χρήση της ενέργειας στα κτίρια και την ανάγκη για στρατηγικές εκσυγχρονισμού για να κινηθούν προς τα κτίρια μηδενικής ή σχεδόν μηδενικής ενέργειας ή ακόμα και σε κτίρια με καθαρή παραγωγή ενέργειας (positive energy). Ο στόχος του έργου GEO4CIVHIC είναι να προωθήσει την ανακαίνιση αστικών και ιστορικών κτιρίων διευκολύνοντας την εγκατάσταση, μειώνοντας το κόστος και αυξάνοντας την απόδοση των διαφόρων εξαρτημάτων μέσω ρηχών γεωθερμικών συστημάτων. Ειδικότερα, οι πολιτικές που αφορούν τη μείωση των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων θα πρέπει να υποστηρίζονται με την πρόταση στρατηγικών που ενσωματώνουν τους γήινους εναλλάκτες θερμότητας με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ο κύριος στόχος είναι η ευαισθητοποίηση σχετικά με την πιθανή εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί με βέλτιστο μέγεθος και περιορισμένο αντίκτυπο στο αστικό περιβάλλον.

Ο ορισμός των αρχετύπων κτιρίων είναι θεμελιώδης για την αναπαραγωγή των περιπτώσιολογικών μελετών σε άλλα κλίματα και τοποθεσίες, επεκτείνοντας ενδεχομένως την ανάλυση σε αστική κλίμακα. Τα αρχέτυπα κτίρια έχουν αναπτυχθεί και διακριθεί μεταξύ υφιστάμενων και ιστορικών κτιρίων και εστιάζονται σε μονοκατοικίες με βεράντα που είναι τα τυπικά κτίρια κατοικιών στα ευρωπαϊκά ιστορικά κέντρα.

Η πιθανή σύνδεση των ΓΑΘ με άλλες ΑΠΕ έχει διερευνηθεί (π.χ. ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες με δεξαμενές αποθήκευσης, αιολική ενέργεια, φωτοβολταϊκά (PV) συστήματα, υβριδικές λύσεις φωτοβολταϊκών με θερμική ενέργεια και αντλίες θερμότητας αέρα-νερού) και έχουν αναπτυχθεί βέλτιστες λύσεις για διαφορετικού τύπου κτίρια σε διαφορετικά κλίματα, τα οποία έχουν οριστεί και ως παραδείγματα εφαρμογής.

Έχει αναπτυχθεί μια μεθοδολογία για την βέλτιστη διαστασιολόγηση των γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, λαμβάνοντας τελικά υπόψη συστήματα διπλής πηγής ή συστήματα αέρα. Έχουν παρουσιαστεί αποτελέσματα για τα αρχέτυπα κτίρια που συνδυάζουν προσομοιώσεις φωτοβολταϊκού συστήματος, για να εκτιμηθεί η αυτάρκεια και η ιδιοκατανάλωση για πέντε διαφορετικούς προσανατολισμούς κτιρίου.

Έχουν ληφθεί αποτελέσματα για θερμά κλίματα, με ελάχιστη ζήτηση ενέργειας για θέρμανσης και με πιθανή χρήση συστημάτων απευθείας ψύξης αντί για συμβατικά συστήματα ψύξης που απαιτούνται το χειμώνα. Με την κατάλληλη κλίση των φωτοβολταϊκών συστημάτων, αυτά θα μπορούσαν να παρέχουν έως και το 40% του μεριδίου αυτάρκειας και στα βόρεια κλίματα.

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ/ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ

UNIPD – Laura Carnieletto, Michele De Carli, Angelo Zarrella, Giuseppe Emmi, Davide Menegazzo

SUPSI – Marco Belliardi

CRES – Dimitris Mendrinos

ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

Συντομογραφίες

<i>AHP</i>	Αντλία θερμότητας αέρα-νερού
<i>BEM</i>	Ενεργειακό μοντέλο κτιρίου
<i>BREEAM</i>	Μέθοδος Περιβαλλοντικής Αξιολόγησης Εγκατάσταση Έρευνας Κτιρίων
<i>ZNX</i>	Ζεστό νερό οικιακής χρήσης
<i>EPBD</i>	Οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων
<i>EPC</i>	Πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης
<i>ESPC</i>	Συμβάσεις απόδοσης εξοικονόμησης ενέργειας
<i>EE</i>	Ευρωπαϊκή Ένωση
<i>GHE</i>	Γήινος Εναλλάκτης Θερμότητας
<i>GHG</i>	Αέρια θερμοκηπίου
<i>GSHP</i>	Γεωθερμική Αντλία Θερμότητας
<i>HGSHP</i>	Υβριδικό GSHP
<i>HVAC</i>	Θέρμανση, εξαερισμός, και κλιματισμός
<i>IAQ</i>	Ποιότητα αέρα εσωτερικού χώρου
<i>IEQ</i>	Ποιότητα περιβάλλοντος εσωτερικού χώρου
<i>LEED</i>	Ηγεσία στον Ενεργειακό και Περιβαλλοντικό Σχεδιασμό
<i>NEEAIΠ</i>	Εθνικό Σχέδιο Δράσης για την Ενεργειακή Απόδοση
<i>NEPC</i>	Εθνικά Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης
<i>MKO</i>	Μη κυβερνητική οργάνωση
<i>NPO</i>	Μη κερδοσκοπική οργάνωση
<i>nZEB</i>	κτίριο σχεδόν μηδενικής ενέργειας
<i>PCM</i>	Υλικό αλλαγής φάσης
<i>PEH</i>	Σπίτι θετικής ενέργειας
<i>PV</i>	Φωτοβολταϊκά
<i>RES</i>	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας
<i>SNBS</i>	Πρότυπο βιώσιμου κτιρίου Ελβετία
<i>ZEB</i>	Κτίριο μηδενικής ενέργειας

Σύμβολα

λ	Θερμική αγωγιμότητα [W/(m K)]
<i>CO2</i>	Διοξείδιο του άνθρακα [-]
<i>COP</i>	Συντελεστής απόδοσης [W/W]
<i>EER</i>	Λόγος ενεργειακής απόδοσης [W/W]
<i>Lc</i>	(γήινος εναλλάκτης) Μήκος για ψύξη χώρου [m]
<i>Lh</i>	(γήινος εναλλάκτης) Μήκος για θέρμανση χώρου [m]
<i>Lmax</i>	Μέγιστο μήκος ανιχνευτή [m]
<i>SCOP</i>	Εποχιακός συντελεστής απόδοσης [W/W]
<i>SEER</i>	Εποχιακός λόγος ενεργειακής απόδοσης [W/W]
<i>PBT</i>	Χρόνος αποπληρωμής [y]
<i>SC</i>	Αυτοκατανάλωση [%]
<i>SS</i>	Αυτάρκεια [%]

Δείκτες

<i>h</i> ή <i>H</i>	Θέρμανση
<i>c</i> ή <i>C</i>	Ψύξη
<i>max</i>	Ανώτατο όριο

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

1.1. Ανακαίνιση στο υφιστάμενο κτιριακό απόθεμα

Το Ευρωπαϊκό Έργο Horizon 2020 GEO4CIVHIC¹ (Most Easy, Efficient and Low Cost Geothermal Systems for Retrofitting Civil and Historical Buildings) στοχεύει στην επιτάχυνση της ανάπτυξης ρηχών γεωθερμικών συστημάτων για θέρμανση και ψύξη μέσω της ανακαίνισης υφιστάμενων και ιστορικών κτιρίων που βρίσκονται στα αστικά κέντρα ξεπερνώντας εμπόδια όπως είναι η διαθεσιμότητα χώρου και οι νομικοί περιορισμοί που σχετίζονται με την αρχιτεκτονική και πολιτιστική σημασία των κτιρίων. Οι καινοτόμες λύσεις βασίζονται στους γήινους εναλλάκτες θερμότητας (ΓΕΘ) και στις Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας (GSHPs). Η ρηχή γεωθερμική ενέργεια είναι μια πολλά υποσχόμενη λύση που δείχνει ενδιαφέρον η Ευρωπαϊκή Επιτροπή με την Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EPBD) και τις αναδιατυπωμένες εκδόσεις της (Το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο και το Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης 2010 και 2018). Πιο πρόσφατα, η Ευρώπη ανέπτυξε ένα σχέδιο για την ταχεία προώθηση της πράσινης μετάβασης, που ονομάζεται REPowerEU², προτείνοντας διάφορες δράσεις για την υποστήριξη των πολιτικών εξοικονόμησης ενέργειας και την προώθηση της διαφοροποίησης των προμηθειών για την αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων με τις ανερχόμενες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η στρατηγική της ΕΕ στοχεύει στον τριπλασιασμό της γεωθερμικής εγκατεστημένης ισχύος έως το 2030. Η νομοθεσία θα βελτιωθεί για να δημιουργηθεί μια σταθερή αγορά για τη γεωθερμική ενέργεια για θέρμανση και ψύξη με χρήση γήινων εναλλακτών θερμότητας για να υποστηριχθεί η απαλλαγή των κτιρίων και της βιομηχανίας από τον ορυκτό άνθρακα. Σύμφωνα με το πακέτο «Fit for 55» της νομοθεσίας για την Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία³, η Επιτροπή της ΕΕ πρότεινε την ενίσχυση των μακροπρόθεσμων μέτρων ενεργειακής απόδοσης, συμπεριλαμβανομένης της αύξησης από 9% σε 13% του υποχρεωτικού στόχου ενεργειακής απόδοσης.

Διάφορες προσεγγίσεις στη βιβλιογραφία στόχευαν στην παροχή στρατηγικών για την αύξηση της βιωσιμότητας του αστικού περιβάλλοντος, με περιβαλλοντικές, οικονομικές και κοινωνικές προοπτικές (Οδηγία 2010/31/ΕΕ) καθώς και πολιτιστικές και θεσμικές πτυχές (Directive 2012/27/EU, Directive 2018 /844). Ωστόσο, η παραγωγή και η βελτιστοποίηση της ενέργειας στα κτίρια θα πρέπει να είναι ένας από τους βασικούς άξονες για την εφαρμογή της διαδικασίας απανθρακοποίησης των πόλεων. Η θέρμανση και η ψύξη των χώρων στα κτίρια είναι μια από τις πιο ενεργοβόρες τελικές χρήσεις που πρέπει να μειωθούν για να επιτευχθούν οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την ενεργειακή απόδοση και τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου (GHG) έως το 2050. Αρκετές μελέτες έχουν επικεντρωθεί στη λεπτομερή ενεργειακή μοντελοποίηση κτιρίων (BEM), βελτιστοποιώντας τα εσωτερικά φορτία, τη μόνωση του κελύφους και τη λειτουργία του συστήματος θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού (HVAC). Ωστόσο, οι στρατηγικές ανακαίνισης θα πρέπει να μελετηθούν ώστε να μπορούν να αναπαραχθούν σε ευρεία κλίμακα. Ως εκ τούτου, τα συνολικά δεδομένα των κτιρίων θα πρέπει να είναι αντιπροσωπευτικά των ευρωπαϊκών ή εθνικών κτιριακών αποθεμάτων για να βοηθήσουν στην αντιμετώπιση τόσο του μεγάλου αριθμού των κτιρίων αλλά και να υποστηρίζουν εργαλεία προσομοίωσης αστικής κλίμακας.

Η ενεργειακή ζήτηση των υφιστάμενων κτιρίων σε όλη την Ευρώπη κυμαίνεται από 150 kWh/(m² έτος) έως 300 kWh/(m² έτος) με βάση πρόσφατες μελέτες (Ballarini και Corgnati, 2014). Ως εκ τούτου, υπάρχει μεγάλο δυναμικό στην Ευρώπη που υπολογίζεται σε περίπου 25.000 km² επιφάνειας. Ωστόσο, τα περισσότερα από τα κτίρια που χρήζουν ανακαίνισης είναι σε αστικές περιοχές, όπου η διαθεσιμότητα χώρου για την εγκατάσταση του γεωτρόπανου για ένα σύστημα Γεωθερμικών Αντλιών Θερμότητας είναι ένα σημαντικό ζήτημα και πρέπει να ξεπεραστεί. Η διαθεσιμότητα χώρου εξαρτάται τόσο από τον πραγματικό ελεύθερο χώρο που διατίθεται (κήποι, χώροι στάθμευσης κ.λπ.), όσο και από το επίπεδο της ανακαίνισης που εφαρμόζεται, επειδή η βαθιά ανακατασκευή του κελύφους και του συστήματος θα μειώσει την ενεργειακή ανάγκη και συνεπώς το μήκος των γήινων εναλλακτών θερμότητας και κατ' επέκταση θα μειωθεί και ο απαιτούμενος χώρος. Η εφαρμογή του συστήματος GSHP σε ιστορικά κτίρια έχει διερευνηθεί από τους Emmi et al. (2017), που έδειξε τον αντίκτυπο ενός βέλτιστου μεγέθους παρά την περίεργη αστική ανάπτυξη δύο περιπτώσεων μελετών στη Βενετία και τη Φλωρεντία. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα με μια αντλία θερμότητας αέρα-νερού (AWHP), η GSHP είχε την καλύτερη απόδοση. Ομοίως, οι Zarrella et al. (2019) έδειξε τον συνδυασμό μεταξύ GSHP και AWHP όταν το θερμικό φορτίο δεν είναι ισορροπημένο, ορίζοντας μια θερμοκρασία αέρα διακόπτη για να εκμεταλλευτεί την υψηλότερη απόδοση του συστήματος. Μια άλλη εφαρμογή της GSHP έχει μελετηθεί από τους Emmi et al. (2020), το οποίο παρείχε ψύξη και θέρμανση σε ένα κτίριο κατοικιών με GHSP που ήταν σε θέση να βοηθήσει ένα ηλιακό πεδίο στην παραγωγή ζεστού νερού χρήσης. Ομοίως, οι Zarrella et al. (2019) έδειξε τον συνδυασμό μεταξύ GSHP και AWHP όταν το θερμικό φορτίο δεν είναι ισορροπημένο, ορίζοντας μια θερμοκρασία αέρα διακόπτη για να εκμεταλλευτεί την υψηλότερη απόδοση του συστήματος. Αν και αρκετές μελέτες εργάστηκαν για την αποτελεσματική ενσωμάτωση των γεωθερμικών συστημάτων ως συστήματα παραγωγής

¹ Διαθέσιμο σε: <https://ec.europa.eu/inea/en/horizon-2020/projects>

² Ανακοίνωση για το REPowerEU: Κοινή Ευρωπαϊκή Δράση για πιο προσιτή, ασφαλή και βιώσιμη ενέργεια, COM (2022) 108 τελικό. Διαθέσιμο σε: <https://eur-lex.europa.eu>

³ Διαθέσιμο σε: <https://www.consilium.europa.eu>

θέρμανσης και ψύξης χώρων, αυτές έγιναν σε επίπεδο κτιρίου. Αντίθετα, η έρευνα κινείται προς μια ευρύτερη προοπτική σε κλίμακα περιφέρειας ή πόλης, για τη βελτιστοποίηση της κοινής χρήσης ενέργειας και την εκμετάλλευση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Οι υπάρχουσες διαθέσιμες πληροφορίες σχετικά με τα αρχέτυπα κτίρια που έχουν ήδη αναπτυχθεί για το ευρωπαϊκό πλαίσιο, όπως TABULA και EPISCOPE⁴, εξαιρέθηκαν οι πληροφορίες που σχετίζονται με την ωριαία ζήτηση ενέργειας, τα φορτία αιχμής και τα δεδομένα για την προσομοίωση της πιθανής ενσωμάτωσης με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ως εκ τούτου, μια πλήρης βάση δεδομένων για θερμικά και ηλεκτρικά προφίλ κτιρίων θα ήταν χρήσιμη για τον καθορισμό της ενεργειακής ζήτησης του κτιριακού αποθέματος. Με αυτό τον τρόπο επιτρέπει στους πολεοδόμους και τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής να αναφέρονται σε έναν κατάλογο περιοχών ή πόλεων που χρειάζονται επείγουσα υποστήριξη για τη μείωση της χρήσης ενέργειας. Τα ολοκληρωμένα αποτελέσματα θα αφορούν τόσο την ανακαίνιση κελύφους όσο και των εγκαταστάσεων παρέχουν μια νέα προοπτική της αστικής μοντελοποίησης, συμπεριλαμβανομένης της δυνατότητας κοινής χρήσης θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της ανάπτυξης ενεργειακών κοινοτήτων.

1.2. Νέα κτίρια (ZEB, nZEB, PEH)

Τα κτίρια υψηλής ενεργειακής απόδοσης σχεδιάζονται και κατασκευάζονται έτσι ώστε να καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια για θέρμανση, ψύξη και φωτισμό από τα συμβατικά κτίρια. Ειδικότερα, τα νέα κτίρια έχουν την ευκαιρία να ενσωματώσουν εξαρχής χαρακτηριστικά εξοικονόμησης ενέργειας, επηρεάζοντας πτυχές που διαφορετικά θα ήταν πιο δύσκολο να αλλάξουν (δομές, εγκαταστάσεις, χώροι, αισθητική κ.λπ.). Παραδείγματα στρατηγικού ενεργειακού και αποδοτικού σχεδιασμού για νέα κτίρια περιλαμβάνουν τη βελτιστοποίηση του φυσικού φωτός, τον ελεγχόμενο μηχανικό αερισμό, τη χρήση καλύτερα μονωμένων τοίχων, στέγης και παραθύρων, την επιλογή ενεργειακά αποδοτικών συσκευών και φωτιστικών, τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως ο ήλιος και ο άνεμος και τεχνολογίες υψηλής απόδοσης όπως αντλίες θερμότητας, με στόχο την μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται.

Οι οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης θεσπίζουν νομοθεσία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. Η πιο πρόσφατη είναι η Οδηγία 2018/844/ΕΕ, γνωστή ως οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (EPBD), η οποία θέτει στόχους για την ενεργειακή απόδοση υφιστάμενων και νέων κτιρίων στην ΕΕ. Η οδηγία απαιτεί από τα κράτη μέλη να λάβουν μέτρα για την επίτευξη υψηλού επιπέδου ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και προωθεί τη χρήση ανανεώσιμων πηγών για θέρμανση και ψύξη στα κτίρια.

Πιο συγκεκριμένα, η οδηγία αναφέρει:

- Πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης κτιρίων (EPC) - Τα κράτη μέλη πρέπει να διασφαλίζουν ότι τα EPC εκδίδονται για όλα τα κτίρια όταν κατασκευάζονται, πωλούνται ή μισθώνονται.
- Κτίρια σχεδόν μηδενικής ενέργειας (nZEB) - Τα κράτη μέλη πρέπει να διασφαλίσουν ότι όλα τα νέα κτίρια που καταλαμβάνονται και ανήκουν σε δημόσιες αρχές είναι nZEB από την 31η Δεκεμβρίου 2018 και όλα τα νέα κτίρια είναι nZEB από την 31η Δεκεμβρίου 2020. Ένα κτίριο με αυτήν την ιδέα έχει πολύ υψηλό επίπεδο ενεργειακής απόδοσης, χρησιμοποιώντας μόνο μικρή ποσότητα ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.
- Ανακαίνιση υφιστάμενων κτιρίων - Τα κράτη μέλη πρέπει να υιοθετήσουν μια μακροπρόθεσμη στρατηγική για την αύξηση του ρυθμού ανακαίνισης υφιστάμενων κτιρίων, με στόχο την επίτευξη σημαντικού επιπέδου ενεργειακής ανακαίνισης έως το 2050.
- Έξυπνος δείκτης ετοιμότητας - Τα κράτη μέλη πρέπει να διασφαλίσουν ότι τα νέα κτίρια, καθώς και τα κτίρια που υπόκεινται σε σημαντικές ανακαινίσεις, σχεδιάζονται και κατασκευάζονται ώστε να είναι «smart ready».
- Συμβάσεις απόδοσης εξοικονόμησης ενέργειας (ESPC) - Τα κράτη μέλη πρέπει να ενθαρρύνουν τη χρήση των ESPC, τα οποία αποτελούν έναν τρόπο χρηματοδότησης των ανακαινίσεων ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων μέσω της εξοικονόμησης ενέργειας στους λογαριασμούς.
- Εθνικά Πιστοποιητικά Ενεργειακής Απόδοσης (NEPC) - Τα κράτη μέλη πρέπει να διασφαλίζουν ότι τα NEPC εκδίδονται για όλα τα κτίρια όταν κατασκευάζονται, πωλούνται ή μισθώνονται.
- Εθνικό Σχέδιο Δράσης για την Ενεργειακή Απόδοση (NEEAP) - Τα κράτη μέλη πρέπει να καταρτίσουν και να εφαρμόσουν ένα σχέδιο κάθε πέντε χρόνια για να καθορίσουν τα μέτρα που θα λάβουν για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

Οι σχεδιαστές κτιρίων, οι σχεδιαστές και οι προγραμματιστές υποχρεούνται να χρησιμοποιούν υλικά και τεχνολογίες που έχουν υψηλή θερμομονωτική αξία και χαμηλότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Αυτό περιλαμβάνει τη χρήση μονωμένων τοίχων, οροφών και δαπέδων, καθώς και παράθυρα και πόρτες υψηλής απόδοσης, για την ελαχιστοποίηση της απώλειας θερμότητας. Επιπλέον, η χρήση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως

⁴Διαθέσιμο σε: <https://episcopes.eu/welcome/>

ηλιακά θερμικά, φωτοβολταϊκά, αντλίες θερμότητας και συστήματα αποθήκευσης θερμικής ενέργειας πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την παροχή ενός σημαντικού ποσοστού της ενέργειας που απαιτείται για θέρμανση και ψύξη του κτιρίου. Το EPBD προωθεί επίσης τη χρήση έξυπνων τεχνολογιών για την παρακολούθηση και τον έλεγχο της κατανάλωσης ενέργειας των κτιρίων για να διευκολύνει τους ενοίκους του κτιρίου να προσαρμόσουν τη χρήση ενέργειας.

Η επιλογή των υλικών και των τεχνολογιών θα εξαρτηθεί από το πλαίσιο, τη διαθεσιμότητα, το κόστος και άλλους παράγοντες κάθε κτιρίου σε κάθε χώρα, αλλά η οδηγία ενθαρρύνει τη χρήση των πιο ενεργειακά αποδοτικών λύσεων.

Τα επιμέρους κράτη μέλη έχουν υιοθετήσει διαφορετικά μέτρα για να συμμορφωθούν με την ευρωπαϊκή νομοθεσία για την ενεργειακή απόδοση στα κτίρια. Κάθε ευρωπαϊκή χώρα έχει τη δική της ειδική νομοθεσία, αλλά όλες υποχρεούνται να ακολουθούν την Οδηγία της Ε.Ε. Για παράδειγμα, στη Γερμανία υπάρχει ένας «Ομοσπονδιακός Νόμος για την Ενεργειακή Απόδοση στα Κτίρια» (2020) που θέτει ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση υφιστάμενων και νέων κτιρίων και προωθεί τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Στην Ιταλία, το νομοθετικό διάταγμα της 26ης Ιουνίου 2015 «Εφαρμογή μεθοδολογιών υπολογισμού ενεργειακής απόδοσης και καθορισμός ελάχιστων προδιαγραφών και απαιτήσεων για κτίρια» τη μεθοδολογία υπολογισμού της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων, συμπεριλαμβανομένης της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, καθώς και ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση κτιρίων, σύμφωνα με τα γενικά κριτήρια που αναφέρονται στο νομοθετικό διάταγμα αρ. 192 της 19ης Αυγούστου 2005.

Στη Γαλλία, ο νόμος «Grenelle 1» του 2007 θέτει στόχους για την ενεργειακή απόδοση σε υπάρχοντα και νέα κτίρια και προωθεί τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η Γαλλία έχει υιοθετήσει ένα σύστημα επισήμανσης ενεργειακής απόδοσης κτιρίων, παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες, για να παρέχει εύκολα κατανοητές πληροφορίες στους καταναλωτές σχετικά με την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων.

Στην Ελβετία, οι εθνικοί κανονισμοί για ενεργειακά αποδοτικά κτίρια περιλαμβάνουν την Οδηγία για την Ενεργειακή Απόδοση των Κτιρίων (EPBD) και το Ελβετικό Ομοσπονδιακό Ενεργειακό Διάταγμα (EnO, 2017). Το EPBD θέτει ελάχιστες απαιτήσεις για την ενεργειακή απόδοση νέων και υφιστάμενων κτιρίων και προωθεί τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Το EnO θέτει πρότυπα ενεργειακής απόδοσης για τα κτίρια και απαιτεί τακτικές επιθεωρήσεις για τη διασφάλιση της συμμόρφωσης. Η Ελβετία έχει επίσης υιοθετήσει ένα σύστημα ενεργειακής σήμανσης κτιρίων παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται και σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες.

Στην Ισπανία, οι εθνικοί κανονισμοί για ενεργειακά αποδοτικά κτίρια περιλαμβάνουν το Documento Básico Ahorro de la Energía (ενημερώθηκε το 2022), μέρος του Código Técnico de la Edificación (CTE), παρέχει κατευθυντήριες γραμμές για τον περιορισμό της κατανάλωσης ενέργειας θέτοντας ελάχιστες απαιτήσεις για τον έλεγχο της ζήτησης ενέργειας (HE1), την εγκατάσταση συσκευών (HE2, HE3) και τις ελάχιστες συνεισφορές από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (HE4, HE5). Το Real Decreto 390/2021, το οποίο αντικατέστησε το Real Decreto 47/2007, ενέκρινε τις κατευθυντήριες γραμμές για τα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης στα κτίρια. Καθιέρωσε τις τεχνικές και διοικητικές διαδικασίες που πρέπει να διέπουν την εκτέλεση των πιστοποιήσεων απόδοσης και τη μεθοδολογία υπολογισμού της βαθμολογίας ενεργειακής απόδοσης, για να υιοθετηθεί ένα σύστημα ενεργειακής σήμανσης κτιρίων παρόμοιο με αυτό που χρησιμοποιείται σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες.

Εκτός από τις προηγούμενες εθνικές απαιτήσεις, η έννοια του PEH (positive energy house) γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής καθώς όλο και περισσότερες χώρες προσπαθούν να μειώσουν το αποτύπωμα άνθρακα και να γίνουν πιο βιώσιμες. Ένα PEH είναι ένα κτίριο που παράγει περισσότερη ενέργεια από όση καταναλώνει, παρέχοντας ενέργεια στο δίκτυο. Ο στόχος ενός PEH είναι να είναι ενεργειακά αυτόνομος ή ακόμα και ενεργειακά θετικός. Επιτυγχάνεται με τη χρήση ενεργειακά αποδοτικού σχεδιασμού και νέων τεχνολογιών, σε συνδυασμό με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως τα ηλιακά πάνελ.

1.3. Ενέργεια και βιώσιμη σήμανση

Ένα σύστημα πιστοποίησης ενεργειακής απόδοσης κτιρίου είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση και την σήμανση των κτιρίων με βάση την ενεργειακή τους απόδοση. Ο στόχος αυτών των συστημάτων είναι να παρέχουν διαφανείς και συγκρίσιμες πληροφορίες σχετικά με την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, επιτρέποντας στους ιδιοκτήτες και τους ενοίκους των κτιρίων να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με τη χρήση και το κόστος της ενέργειας. Τα συστήματα ενεργειακής πιστοποίησης κτιρίων συνήθως αξιολογούν την ενεργειακή χρήση και την απόδοση ενός κτιρίου σε τομείς όπως η θέρμανση, η ψύξη, ο φωτισμός και το ζεστό νερό και αποδίδουν μια βαθμολογία ή ετικέτα με βάση αυτήν την αξιολόγηση. Αυτές οι ετικέτες μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για τη σύγκριση της ενεργειακής απόδοσης διαφορετικών κτιρίων.

Οι ευρωπαϊκές χώρες χρησιμοποιούν διαφορετικά ονόματα για τα πιστοποιητικά ενεργειακής απόδοσης τους. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα:

- Στη Γερμανία, το πιστοποιητικό ονομάζεται "Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης" ή "Energieausweis"
- Στη Γαλλία, το πιστοποιητικό ονομάζεται "Certificat de Performance Énergétique" ή "CPE"
- Στην Ιταλία, το πιστοποιητικό ονομάζεται "Attestato di Certificazione Energetica" ή "ACE"
- Στην Ισπανία, το πιστοποιητικό ονομάζεται "Certificado de Eficiencia Energética" ή "CEE"
- Στην Ελβετία, το πιστοποιητικό ονομάζεται GEAK "Gebäudeenergieausweis der Kantone" ή "Ενεργειακό πιστοποιητικό κτιρίων των καντονιών"
- Στο Ηνωμένο Βασίλειο, το πιστοποιητικό ονομάζεται "Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης" ή "EPC"

Αξίζει να σημειωθεί ότι η μορφή του πιστοποιητικού και οι παρεχόμενες πληροφορίες διαφέρουν ελαφρώς από χώρα σε χώρα.

Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν ιδιωτικά συστήματα πιστοποίησης που θέτουν υψηλότερα πρότυπα ενεργειακής απόδοσης και άνεσης. Τα κτίρια που πληρούν αυτά τα πρότυπα είναι συνήθως πιο ενεργειακά αποδοτικά, με καλύτερες συνθήκες διαβίωσης από τα κτίρια που πληρούν μόνο τις ελάχιστες απαιτήσεις που ορίζονται από κάθε «Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης». Οι ιδιωτικές εθνικές πιστοποιήσεις στοχεύουν στην προώθηση της ενεργειακής απόδοσης και της βιωσιμότητας στα κτίρια και παρέχουν πρόσθετες πληροφορίες στους καταναλωτές και τους ιδιοκτήτες των κτιρίων.

Μερικά παραδείγματα περιλαμβάνουν το γερμανικό «Passive house» (ή «Passivhaus»), το «Minergie» της Ελβετίας, το «Miljöbyggnad» της Σουηδίας, το «CasaClima» της Ιταλίας και το «Effinergie» της Γαλλίας.

Ενδέχεται να υπάρχουν συγκεκριμένοι περιορισμοί σχετικά με τα ιδιωτικά πιστοποιητικά εντός των χωρών, π.χ. στην Ελβετία οι νέες κατασκευές ή οι ανακαινίσεις δημόσιων κτιρίων πρέπει να συμμορφώνονται τουλάχιστον με την πιστοποίηση Minergie (αλλά αυτό δεν είναι υποχρεωτικό για ιδιωτικά κτίρια).

Όλα αυτά τα συστήματα, κατά κάποιο τρόπο, προσπαθούν να επιτύχουν τον ίδιο στόχο, ο οποίος είναι να παρέχουν στους καταναλωτές έναν απλό και κατανοητό τρόπο πρόσβασης στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων και να βοηθήσουν τις κυβερνήσεις και τους ιδιοκτήτες των κτιρίων να παρακολουθούν και να βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων. .

1.4. Περιβαλλοντικές επιδόσεις και βιωσιμότητα ενός κτιρίου

Τα συστήματα πιστοποίησης πράσινων κτιρίων είναι ένα σύνολο συστημάτων και εργαλείων αξιολόγησης που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της απόδοσης ενός κτιρίου ή ενός κατασκευαστικού έργου που σχετίζεται με την βιωσιμότητα του και την περιβαλλοντική του επίδοση. Αυτές οι αξιολογήσεις στοχεύουν στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης των κτιρίων και των υποδομών, στην ενσωμάτωση μιας προσέγγισης κύκλου ζωής στο σχεδιασμό και την κατασκευή τους και στην προώθηση της επίτευξης των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης των Ηνωμένων Εθνών από τον κατασκευαστικό κλάδο. Τα κτίρια που αξιολογούνται και θεωρούνται ικανά να ικανοποιήσουν ένα ορισμένο επίπεδο απόδοσης και ποιότητας λαμβάνουν πιστοποιητικό που πιστοποιεί αυτό το επίτευγμα.

Αυτά τα συστήματα αναπτύσσονται συνήθως από οργανισμούς ή ομάδες ειδικών στον τομέα της βιώσιμης δόμησης και προορίζονται να χρησιμοποιηθούν παγκοσμίως. Έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν μια συνεπή και διαφανή μέθοδο για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής απόδοσης και της βιωσιμότητας των κτιρίων, έτσι ώστε οι ιδιοκτήτες των κτιρίων, οι κατασκευαστές και οι άλλοι ενδιαφερόμενοι να μπορούν να λαμβάνουν τεκμηριωμένες αποφάσεις σχετικά με το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία των κτιρίων.

Παραδείγματα διεθνών συστημάτων πιστοποίησης βιώσιμων κτιρίων περιλαμβάνουν το LEED⁵ (Leadership in Energy and Environmental Design) και το BREEAM⁶ (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), τα οποία είναι ευρέως αναγνωρισμένα και αξιόπιστα συστήματα.

Το BREEAM είναι μια μέθοδος αξιολόγησης βιωσιμότητας για κτίρια που αναπτύχθηκε από το Building Research Establishment (BRE) στο Ηνωμένο Βασίλειο, ενώ το LEED είναι ένα σύστημα αξιολόγησης που αναπτύχθηκε από το Συμβούλιο Πράσινων Κτιρίων των ΗΠΑ (USGBC).

Αυτές οι πιστοποιήσεις έχουν ένα σύνολο κριτηρίων που πρέπει να πληροί ένα κτίριο για να πιστοποιηθεί, όπως η ενεργειακή απόδοση και χρήση του νερού, η ποιότητα του περιβάλλοντος του εσωτερικού χώρου, τα υλικά και οι πόροι και άλλα. Έχουν επίσης διαφορετικά επίπεδα πιστοποίησης όπως Χρυσό, Ασήμι και Χάλκινο. Τα κτίρια που

⁵ Διαθέσιμο σε: <https://www.usgbc.org/>

⁶ Διαθέσιμο σε: <https://bregroup.com/>

πληρούν αυτά τα κριτήρια και αποκτούν πιστοποίηση και μπορούν να αποδείξουν στο κοινό, τους ενοικιαστές και τις ρυθμιστικές αρχές ότι το κτίριο είναι περιβαλλοντικά υπεύθυνο και έχει μικρότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο.

Το LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) και το BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) είναι παραδείγματα διεθνών συστημάτων πιστοποίησης βιώσιμων κτιρίων που χρησιμοποιούνται σε πολλές χώρες παγκοσμίως, συμπεριλαμβανομένης της Ευρώπης.

Τόσο το LEED όσο και το BREEAM χρησιμοποιούνται συχνά επιπλέον των εθνικών συστημάτων που αναφέρθηκαν προηγουμένως. Αυτές οι πιστοποιήσεις μπορούν να αποτελέσουν χρήσιμο εργαλείο για ιδιοκτήτες κτιρίων και προγραμματιστές που θέλουν να επιδείξουν την περιβαλλοντική απόδοση και την αειφορία των κτιρίων τους.

Τα διεθνή συστήματα πιστοποίησης βιώσιμων κτιρίων, όπως το LEED και το BREEAM, αναπτύσσονται συνήθως από οργανισμούς ή ομάδες ειδικών στον τομέα του αειφόρου κτιρίου και προορίζονται να χρησιμοποιηθούν παγκοσμίως. Προορίζονται να είναι αυστηρές και ολοκληρωμένες, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα περιβαλλοντικών πτυχών και πτυχών βιωσιμότητας του σχεδιασμού, της κατασκευής, της θέσης σε λειτουργία και της λειτουργίας των κτιρίων.

Αυτά τα συστήματα δεν δεσμεύονται από συγκεκριμένους εθνικούς ή περιφερειακούς κανόνες και κανονισμούς, αλλά έχουν σχεδιαστεί για να ευθυγραμμίζονται και μερικές φορές ακόμη και να ενσωματώνονται στους τοπικούς οικοδομικούς κώδικες και κανονισμούς.

Τα διεθνή συστήματα πιστοποίησης δεν αντικαθιστούν τους εθνικούς ή τοπικούς κανονισμούς, αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλείο συμμόρφωσης με αυτούς. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως ένας τρόπος για να αποδειχθεί η συμμόρφωση με τους τοπικούς κανονισμούς και κώδικες και να παρέχουν πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την περιβαλλοντική απόδοση και την αειφορία του κτιρίου.

Επιπλέον, πολλές χώρες έχουν τα δικά τους συστήματα αξιολόγησης πράσινων κτιρίων, τα οποία μερικές φορές ευθυγραμμίζονται με τα διεθνή συστήματα αξιολόγησης όπως το LEED ή το BREEAM. Αυτό επιτρέπει στα κτίρια να πιστοποιούνται τόσο από τα εθνικά όσο και από τα διεθνή συστήματα.

Τα διεθνή συστήματα πιστοποίησης βιώσιμων κτιρίων όπως το LEED και το BREEAM έχουν κάποιες ομοιότητες, για παράδειγμα, με το ελβετικό SNBS (Εθνικό Ελβετικό Πρότυπο για Αειφόρα Κτίρια) όσον αφορά την εστίασή τους στην αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων και της βιωσιμότητας των κτιρίων.

Το Sustainable Building Standard Switzerland (SNBS) 2.1 είναι το γενικό πρότυπο για αειφόρο κτίρια στην Ελβετία. Ενσωματώνει τα υπάρχοντα όργανα και εργαλεία όπως η Σύσταση 112/1 της SIA «Βιώσιμη Κατασκευή - Οικοδομικές Εργασίες», οι στόχοι της Εταιρείας 2000 Watt ή τα κριτήρια Minergie και προσανατολίζεται στα βήματα του Μοντέλου Απόδοσης SIA. Σύμφωνα με το γραφείο SNBS/τα διοικητικά, τα οικιστικά και εκπαιδευτικά κτίρια μπορούν να πιστοποιηθούν. Αυτό ισχύει τόσο για νέες κατασκευές όσο και για την ανακαίνιση κτιρίων.

Όλα αυτά τα συστήματα έχουν σχεδιαστεί για να βοηθήσουν τους ιδιοκτήτες και τους κατασκευαστές κτιρίων να σχεδιάσουν, να κατασκευάσουν και να λειτουργήσουν κτίρια που έχουν μικρότερο περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί, αν και η ικανοποίηση των απαιτήσεων ενός από αυτά δεν εγγυάται τη συμμόρφωση με το άλλο.

2. ΔΥΝΗΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΑΝΑΚΑΙΝΙΣΗΣ

Υπάρχει μεγάλη συζήτηση για την ανακαίνιση κτιρίων που μπορεί να είναι δύο τύπων: μερική ή ολική ανακαίνιση. Η μερική ανακαίνιση είναι η πιο διαδεδομένη και εστιάζει σε μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας χαμηλού κινδύνου με σύντομο χρόνο απόσβεσης (PBT), όπως μερική ανακαίνιση φωτισμού, αντικατάσταση HVAC και εκ των υστέρων θέση σε λειτουργία ή εγκατάσταση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ) λόγω πραγματικού ευνοϊκού κόστους ή κινήτρων. Από την άλλη πλευρά, μια ολική ανακαίνιση μειώνει την κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με τα επίπεδα πριν από την ανακαίνιση, που αυτή μπορεί να φτάσει και το 60%. Αυτές οι παρεμβάσεις περιλαμβάνουν συχνά την ανακαίνιση του κελύφους του κτιρίου (μόνωση προσόψεων και/ή στέγης, αντικατάσταση παραθύρων και σημαντικές βελτιώσεις στην αεροστεγανότητα του κτιρίου) και με την αντικατάσταση του συστήματος HVAC.

Σήμερα οι παρεμβάσεις είναι κυρίως μερικής φύσης, λόγω του υψηλού κόστους της αρχικής επένδυσης της ολικής ανακαίνισης: κατά μέσο όρο μια μερική ανακαίνιση μπορεί να κοστίσει περίπου 650 €/m² (αναφέρεται στην καθαρή επιφάνεια ορόφου), ενώ μια συνήθης ολική ανακαίνιση κοστίζει περίπου 830 €/m². Επιπλέον, ο χρόνος που απαιτείται για τις εργασίες ολικής ανακαίνισης είναι 25% υψηλότερος από την μερική ανακαίνιση. Επίσης υπάρχουν και άλλα προβλήματα όπως: δυσκολίες πρόσβασης στο κτίριο, πιθανή αναστάτωση στους ενοίκους και τους γείτονες, χαμηλό

επίπεδο ευαισθητοποίησης, απροθυμία για κινδύνους ή/και έλλειψη εμπειρίας μεταξύ των χειριστών (αρχιτέκτονες, εγκαταστάτες, ιδιοκτήτες κτιρίων) και παροχή λίγων ολοκληρωμένων λύσεων που μπορούν να βοηθήσουν στην επίλυση διαφορετικών ταυτόχρονων προβλημάτων όπως π.χ. δομικές επισκευές σε συνδυασμό με μέτρα ενεργειακής απόδοσης.

Δεδομένου ότι η ΕΕ στοχεύει να κινηθεί προς χρήση κατά 100% των ΑΠΕ στα κτίρια έως το 2050, θα πρέπει να εφαρμόζεται ολική ανακαίνιση όταν είναι δυνατόν για την επίτευξη αυτού του στόχου. Η μείωση του χρόνου που απαιτείται για την ολική ανακαίνιση και το μειωμένο κόστος εγκατάστασης είναι δύο από τα πιο σημαντικά ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν. Η προκατασκευή θα μπορούσε να είναι μια ενδιαφέρουσα λύση, καθώς μειώνει τη διακύμανση στην ποιότητα του προϊόντος, μειώνει τους χρόνους για την παραγωγή και την εγκατάσταση και υποστηρίζει διάφορες τεχνολογίες παρακολούθησης.

Οι εσωτερικές μικρότερες ευέλικτες λύσεις μπορούν να είναι πιο αποτελεσματικές και μπορούν να εφαρμοστούν σε διαφορετικούς τύπους κτιρίων: ιστορικά κτίρια όπου είναι αδύνατη η αλλαγή της εξωτερικής πρόσοψης, πολυώροφα κτίρια όπου η εξωτερική μόνωση μπορεί να είναι πολύπλοκη, κτίρια στα κέντρα των πόλεων όπου το εξωτερικό κριώμα μπορεί να αντιπροσωπεύει πρόβλημα και κτίρια που έχουν ήδη ανακαινιστεί μερικώς (δεύτερο βήμα ανακατασκευής), π.χ. βαφή στέγης ή/και εξωτερικής βαφής. Η εσωτερική μόνωση μπορεί επομένως να είναι μια πολύ ενδιαφέρουσα λύση που θα μπορούσε να επιτρέψει μια ευρύτερη διάδοση των επεμβάσεων ολικής ανακαίνισης. Ωστόσο, εξακολουθεί να υιοθετείται ελάχιστα. Οι εσωτερικές ευέλικτες λύσεις είναι επομένως πολύ ελκυστικές και δεν έχουν διερευνηθεί τόσο βαθιά όσο η εξωτερική μόνωση, και ως εκ τούτου αποτελούν μια πιθανή λύση για τη ολική ανακαίνιση των κτιρίων. Ένα κρίσιμο σημείο είναι ο τρόπος σχεδιασμού, η κατασκευή και η διαχείριση ευέλικτων λύσεων με ταυτόχρονη βιομηχανοποίηση του εργοταξίου ώστε να αυξηθεί η αποδοτικότητα των εργαζομένων και να επιταχυνθεί η διαδικασία της ολικής ανακαίνισης του κτιρίου. Ένα σημαντικό ζήτημα που πρέπει να λυθεί είναι η δυνατότητα ενίσχυσης των κατασκευών και η αντισεισμικότητα του κτιρίου.

Ένα κρίσιμο ζήτημα είναι η Ποιότητα του Εσωτερικού Περιβάλλοντος (IEQ, έλεγχος θερμοκρασίας και υγρασίας, ακουστική, ΙΑQ, ηλιακή σκίαση), η οποία πρέπει να εξεταστεί προσεκτικά και μπορεί να αποτελεί μέρος του υψηλού κόστους και του χρόνου των εργασιών στην ανακαίνιση. Κατάλληλες ολοκληρωμένες λύσεις με εύχρηστες τεχνολογίες συντήρησης, βοηθούν στην παροχή καλού IEQ και στη διατήρηση των προβλεπόμενων άνετων λύσεων στη φάση του σχεδιασμού.

Μεγάλο μέρος της προσπάθειας πρέπει να κατευθυνθεί σε αστικά κτίρια που είναι τόσο οικιστικοί όσο και μη οικιστικοί τύποι. Ιδιαίτερη προσπάθεια πρέπει να καταβληθεί για κτίρια υψηλής εγγενούς αξίας είτε επειδή είναι ιστορικά είτε επειδή έχουν κοινωνικό ρόλο, π.χ. δημοτικές κατοικίες, δημόσια κτίρια, μη κερδοσκοπικές οργανώσεις (ΜΚΟ), μη κυβερνητικές οργανώσεις (ΜΚΟ) και εκκλησίες. Αυτά τα κτίρια μπορεί να αντιπροσωπεύουν κορυφαίες καλές πρακτικές και η μόχλευση μπορεί να αποκτηθεί με την ενίσχυση που έχουν οι δημόσιες εταιρείες/φορείς και οι εκκλησίες, οι ΜΚΟ και οι ΜΚΟ. Στην πραγματικότητα, από τη μία πλευρά, κατέχουν ένα ευρύ χαρτοφυλάκιο κτιρίων μετοχών. από την άλλη πλευρά, έχουν ένα συνεπές δίκτυο. Ως εκ τούτου, χάρη στη δραστηριότητα επικοινωνίας και πληροφόρησης, οι πολίτες μπορούν να γνωρίζουν καλύτερα τις λύσεις ολικής ανακαίνισης.

Ιδιαίτερη προσπάθεια πρέπει να γίνει για να ελεγχθεί η ανάλυση κόστους-οφέλους για να επιτραπεί η χρήση εύκολων εγκαταστάσεων συστημάτων (λύσεις plug and play) μαζί με διαφορετικές τοπικές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά και γεωθερμικές αντλίες θερμότητας. Όπως αποδεικνύεται στη βιβλιογραφία, ο συνδυασμός λύσεων PV και GSHP είναι ένας καλός οδηγός για την αντιμετώπιση λύσεων nZEB με λογικούς χρόνους αποπληρωμής (PBT).

Τα κτίρια-στόχοι είναι υφιστάμενα αστικά κτίρια και ιστορικά κτίρια κατοικιών και μη, όπου η εξωτερική μόνωση μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε κάποιες περιπτώσεις, με ιδιαίτερη προσοχή. Ο καθορισμός στρατηγικών σε αστικό επίπεδο χρειάζεται την ανάπτυξη αρχετύπων κτιρίων για να διευρύνει την προοπτική της ενιαίας κλίμακας κτιρίου (Carnieletto και Ferrando, 2021), που αντιπροσωπεύει την πιο κοινή τυπολογία κτιρίων για σκοπούς μοντελοποίησης. Αυτή η προσέγγιση είναι σημαντική για τον καλύτερο προσδιορισμό των πιθανών εμποδίων στην εφαρμογή μιας συγκεκριμένης στρατηγικής ανακαίνισης. Τα αρχέτυπα κτίρια ορίζονται ως θεωρητικά κτίρια που λαμβάνονται με στατιστική ανάλυση των χαρακτηριστικών του κτιρίου ομαδοποιημένα με βάση τις ομοιότητες (Carnieletto and Ferrando, 2021). Τα αρχέτυπα κτίρια μπορούν επίσης να οριστούν ως μοντέλα που επιτρέπουν την εφαρμογή εργαλείων προσομοίωσης για την αξιολόγηση της ενεργειακής ζήτησης ενός μεγάλου κτιριακού αποθέματος (Ferrando και Causone, 2020). Παρόλο που η εφαρμογή μοντελοποίησης με βάση τα αρχέτυπα κτίρια απαιτεί κάποιες απλοποιήσεις, η βιβλιογραφία δείχνει ότι επιτρέπει την ανάπτυξη καινοτόμων στρατηγικών και τεχνολογιών για την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης με αποδεκτά αποτελέσματα τόσο σε ένα κτίριο όσο και σε αστική κλίμακα, όπως παρουσιάζονται στα έργα των Fracastoro και Ferraino (2011), Dall'O' and Galante (2012), Pratiaviera and Romano (2021) και Teso and Carnieletto (2022). Επομένως, η πιθανή μείωση της κατανάλωσης ενέργειας μπορεί να συγκριθεί με άλλες παραμέτρους.

2.1. Πιθανές ενέργειες ανακαίνισης

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, το έργο GEO4CIVILIC εξετάζει την ανακατασκευή υφιστάμενων και ιστορικών κτιρίων στα αστικά κέντρα των πόλεων, εφαρμόζοντας συστήματα γεωθερμικών αντλιών θερμότητας. Μια τυπική δομή ιστορικών κτιρίων (δηλαδή, χτισμένα πριν από το 1950) αποτελείται από εξωτερικούς τοίχους με συμπαγή τούβλα (50 cm) που τελικά χωρίζονται από ένα διάκενο αέρα 5 cm ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες της εξεταζόμενης τοποθεσίας. Οι τυπικές στέγες των ιστορικών κτιρίων έχουν ξύλινη οροφή με δοκούς που στηρίζουν ένα ξύλινο επίπεδο που τοποθετούνται τα κεραμίδια. Η σοφίτα μπορεί να χωριστεί σε δωμάτια μέσω μιας μη προσβάσιμης σοφίτας που σχηματίζεται από ένα άλλο ξύλινο επίπεδο που υποστηρίζεται από δοκούς.

Λαμβάνοντας υπόψη τα υπάρχοντα κτίρια, μια κατασκευή αναφοράς μπορεί να οριστεί ως διάτρητοι ογκόλιθοι 25 cm ή κυψελωτά μπλοκ από τούβλα, που τελικά χωρίζονται από ένα διάκενο αέρα 5 cm. Οι στέγες πρέπει να ορίζονται ανάλογα με την τοποθεσία. Στο Στρασβούργο και το Ελσίνκι, για παράδειγμα, υπάρχουν επικλινείς στέγες από τούβλο και μπετόν και κεραμίδια, ενώ στην Αθήνα, οι οριζόντιες στέγες έχουν δοκούς από σκυρόδεμα και διάτρητα επίπεδα τούβλα σε μπλοκ. Δεδομένου ότι πολλά ιστορικά κτίρια είναι διατηρητέα κτίρια όπου είναι αδύνατη η εγκατάσταση μόνωσης, έχει επίσης ληφθεί υπόψη η αντικατάσταση του λέβητα αερίου με GSHP υψηλών θερμοκρασιών που θα συντηρεί τα θερμαντικά σώματα. Επομένως, οι λύσεις θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τόσο τα συστήματα ακτινοβολίας υψηλής θερμοκρασίας όσο και τα συστήματα θέρμανσης μεσαίας και χαμηλής θερμοκρασίας (π.χ. fan-coils και συστήματα ακτινοβολίας).

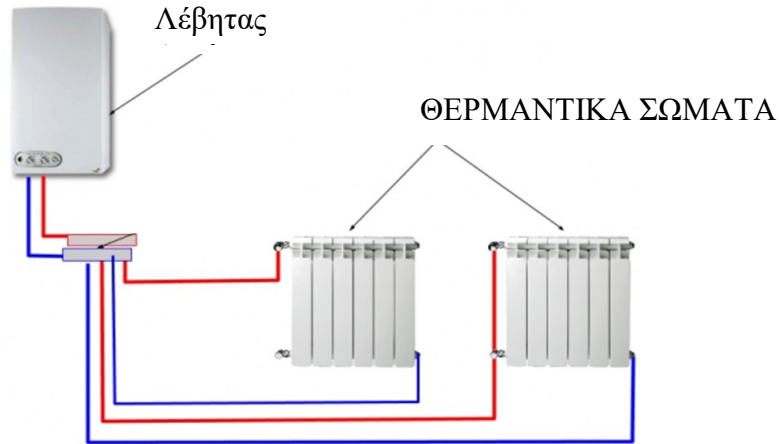
Σε περίπτωση ανακατασκευής του κελύφους, η προτεινόμενη στρατηγική προτείνει τη μόνωση στους αδιαφανείς τοίχους με χρήση EPS 12 cm που εφαρμόζεται στην εσωτερική πλευρά λόγω πιθανών περιορισμών που σχετίζονται με την προστασία της πολιτιστικής κληρονομιάς ή την αστική διάταξη. Αυτή η στρατηγική μπορεί να μην επιτρέπει τη χρήση εξωτερικής μόνωσης στα κέντρα των πόλεων και μπορεί να μειώσει την πεζοδρομημένη ζώνη ως συνέπεια της μείωσης της επιφάνειας του πεζοδρομίου. Το πάχος της μονωτικής στρώσης έχει μια μέση τιμή που δεν μειώνει υπερβολικά τη διαθέσιμη εσωτερική καθαρή επιφάνεια του δαπέδου, οπότε λαμβάνεται θετικά υπόψη από τον χρήστη. Τα εσωτερικά δάπεδα θα πρέπει επίσης να είναι ελαφρώς μονωμένα για να ληφθεί υπόψη η πιθανή εγκατάσταση συστημάτων ακτινοβολίας που μπορούν να συνδυαστούν καλύτερα με γεωθερμικές αντλίες θερμότητας λόγω της χαμηλότερης απαιτούμενης θερμοκρασίας (Carnieletto και Kazanci, 2018).

Υποθέτοντας ότι τα περισσότερα από τα κτίρια τροφοδοτούνται από τυπικούς λέβητες αερίου, η πρώτη στρατηγική που προτείνεται είναι η αντικατάσταση με ένα πιο αποδοτικό GSHP (Περίπτωση 0), σε συνδυασμό με την αντικατάσταση συστημάτων εκπομπών μέσης ή χαμηλής θερμοκρασίας (δηλ. συστήματα fan-coil ή ακτινοβολίας) τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη (Περίπτωση 1), σε συνδυασμό τελικά με τη θερμομόνωση του κελύφους (Περίπτώσεις 2 και 3).

Ως εκ τούτου, συνολικά τέσσερις κύριες πιθανές λύσεις ανακαίνισης έχουν διερευνηθεί (Εικόνα 2-1):

- Περίπτωση 0: ο τυπικός λέβητας αντικαθίσταται με GSHP υψηλής θερμοκρασίας και διατηρούνται τα υφιστάμενα θερμαντικά σώματα.
- Περίπτωση 1: ο τυπικός λέβητας αντικαθίσταται με GSHP και οι θερματικές μονάδες θέρμανσης και ψύξης αντικαθίστανται είτε με fan coils (1a) είτε με ενδοδαπέδιο σύστημα (1b)
- Περίπτωση 2: αντικαθίσταται ο τυπικός λέβητας με GSHP, τα θερμαντικά σώματα διατηρούνται, αλλά βελτιώνεται η μόνωση του κτιρίου.
- Περίπτωση 3: ο τυπικός λέβητας αντικαθίσταται με GSHP, οι θερματικές μονάδες θέρμανσης και ψύξης αλλάζουν είτε με fan coils (3a) είτε με ενδοδαπέδιο σύστημα (3b) και βελτιώνεται η μόνωση του κτιρίου.

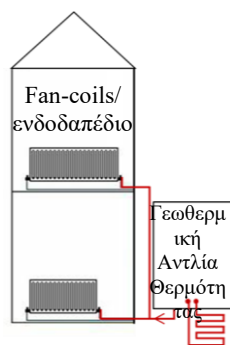
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΒΑΣΗΣ



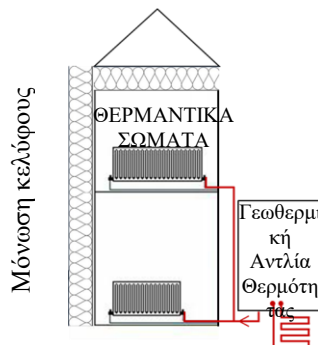
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 0



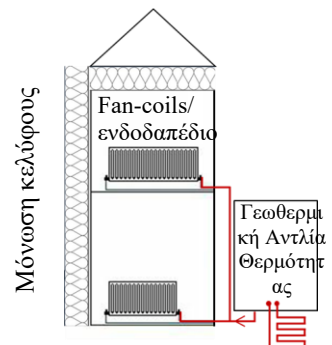
ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 1



ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 2



ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ 3



Εικόνα 2-1. Απλό σχέδιο των στρατηγικών ανακαίνισης που εφαρμόστηκαν

2.2. Διαστασιολόγηση των γήινων εναλλακτών θερμότητας

Το συνολικό μήκος της γεώτρησης που απαιτείται για την παροχή θέρμανσης και ψύξης στους χώρους και η επέκταση του πεδίου των γεωτρήσεων των διπλών U-tube έχει υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ASHRAE (ASHRAE, 2011). Οι πληροφορίες που απαιτούνται είναι η εποχική ζήτηση θερμικής ενέργειας και το μέγιστο φορτίο για θέρμανση και ψύξη του χώρου. Τα αποτελέσματα μπορούν να συγκριθούν με προηγούμενα έργα όπως τα Φτηνά GSHP και με το WebTool ως TABULA⁷.

Για να ληφθεί υπόψη η παρεμβολή των παρακείμενων γεωτρήσεων στον υπολογισμό του συνολικού απαιτούμενου μήκους γεωτρήσεων, η μέθοδος ASHRAE εφαρμόστηκε δύο φορές στη σειρά, εφαρμόζοντας το εργαλείο που αναπτύχθηκε από τους Carozza et al. (Carozza and Zarrella, 2015). Στον πρώτο υπολογισμό υπολογίζονται τα απαιτούμενα μήκη των γεωτρήσεων για θέρμανση (L_h) και ψύξη (L_c). Αφού υπολογιστεί το ιδανικό συνολικό βάθος με βάση το μοντέλο της γραμμής πηγής, η υψηλότερη τιμή μεταξύ L_c και L_h διαιρείται με το βάθος GHEs, τα οποία θεωρούνται ίσου μήκους. Η απόσταση μεταξύ των εναλλακτών θερμότητας των γεωτρήσεων έχει ρυθμιστεί στα 7 μέτρα για περιορισμό της θερμικής παρεμβολής, σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά του χώρου (Lee and Park, 2021). Με τη δεύτερη επανάληψη, τα L_h και L_c αξιολογούνται με μεγαλύτερη ακρίβεια λαμβάνοντας υπόψη τη οριακή θερμοκρασία (t_p).

Το βέλτιστο μέγεθος του μήκους της γεώτρησης για την εγκατάσταση εξαρτάται από την ενεργειακή ζήτηση του κτιρίου σε συνθήκες ψύξης οι οποίες είναι μεγαλύτερες. Για παράδειγμα πολλές φορές η καλοκαιρινή περίοδος είναι

⁷Διαθέσιμο σε: <https://webtool.building-typology.eu>

αυτή που επιβάλλει την πιο κρίσιμη προϋπόθεση για το μέγεθος του συστήματος. Η μείωση των απωλειών η οποία επιτυγχάνεται με τη μόνωση του κελύφους του κτιρίου μπορεί να αυξήσει την απόδοση του συστήματος, κάτι που μπορεί να είναι ευεργετικό για το σύστημα ψύξης σε περιοχές που κυριαρχεί η ψύξη.

Οι τυπικές τιμές των COP και EER λαμβάνοντας υπόψη την αντλία θερμότητας που είναι συνδεδεμένη σε διαφορετικές τερματικές μονάδες θέρμανσης και ψύξης (καλοριφέρ, fan-coils, ακτινοβολία δαπέδου) παρουσιάζονται στο Πίνακα 2-1. Αναφέρεται σε τρεις κλιματικές ζώνες - συνθήκες αντιπροσωπεύοντας μιας θερμής (Αθήνα), μίας ήπιας (Στρασβούργο) και μίας ψυχρής (Ελσίνκι) τοποθεσίας. Οι τιμές αυτές καθορίστηκαν με βάση τα φύλλα δεδομένων των πραγματικών αντλιών θερμότητας, επιλέγοντας τις εποχιακές τιμές COP και EER σύμφωνα με τα κριτήρια σχεδιασμού του συστήματος. Με βάση τις τοπικές θερμοκρασίες, μπορεί να φανεί ότι όσο πιο ψυχρό είναι το κλίμα, τόσο χαμηλότερο είναι το COP και τόσο υψηλότερο το EER.

Πίνακας 2-1. Σχεδιασμός και εποχιακές τιμές της αντλίας θερμότητας που συνδέεται με τα διαφορετικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης.

		Είσοδος/Εξόδος Θερμοκρασία [°C]	ΑΘΗΝΑ		ΣΤΡΑΣΒΟΥΡΓΟ		ΕΛΣΙΝΚΙ	
			Σχέδιο COP/EER	Εποχής COP/EER	Σχέδιο COP/EER	Εποχής COP/EER	Σχέδιο COP/EER	Εποχής COP/EER
Θέρμανση	Σώμα καλοριφέρ	75 - 65	2.4	2.5	2.4	2.5	2.4	2.5
	Fan-coil	45 - 40	3.6	4.1	3.0	3.3	2.7	3.0
	Ενδοδαπέδιο	35 - 30	4.8	5.3	3.8	4.3	3.4	3.8
Ψύξη	Fan-coil/ Ενδοδαπέδιο	7 - 12	4.0	4.4	5.0	5.5	5.9	6.5

Τρεις τιμές θερμικής αγωγιμότητας και θερμοχωρητικότητας καθορίζονται στο Πίνακα 2-2 ως τιμές αναφοράς για τους πιο συνηθισμένους τύπους εδαφών. Αυτές οι τιμές θερμικών ιδιοτήτων επιλέχθηκαν σύμφωνα με τα κύρια αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν από διάφορα ερευνητικά έργα που επικεντρώθηκαν στον προσδιορισμό των θερμικών ιδιοτήτων του εδάφους για εφαρμογές γεωθερμικών αντλιών θερμότητας, συλλέγοντας δεδομένα για μη ενοποιημένους σχηματισμούς, ιζηματογενή, μεταμορφωμένα και πυριγενή πετρώματα (Galgaro and Dalla Santa, 2021). Στα επόμενα κεφάλαια, λαμβάνεται υπόψη μόνο η συνιστώσα της ανταλλαγής θερμότητας μεταξύ του γήινου εναλλάκτη θερμότητας και του εδάφους. Η συμβολή της μεταφοράς θερμότητας λόγω της ροής των υπόγειων υδάτων, η οποία θα μπορούσε να αυξήσει την ισοδύναμη θερμική αγωγιμότητα του εναλλάκτη και έτσι να μειώσει το συνολικό μήκος γεωτρήσεων, παραμελείται για λόγους απλότητας.

Πίνακας 2-2. Θερμικές ιδιότητες των τριών θεωρούμενων τύπων εδάφους

Θερμική αγωγιμότητα [B/(μ K)]	1.5	2.2	3.0
Θερμοχωρητικότητα [MJ/(m ³ K)]	2.0	2.5	2.6

Η εγκατάσταση συστημάτων GSHP σε αστικές περιοχές είναι συνήθως περίπλοκη κυρίως λόγω της περιορισμένης διαθέσιμης έκτασης που συνήθως αντιστοιχεί σε μικρές εσωτερικές αυλές ή κήπους.

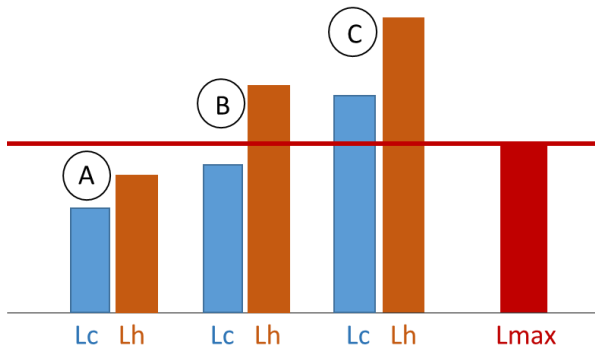
2.3. Βέλτιστο μήκος γήινων εναλλακτών θερμότητας

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην τελευταία παράγραφο, Εικόνα 2-2 και Πίνακα 2-3 δείχνουν τα πιθανά σενάρια, συγκρίνοντας το μέγιστο διαθέσιμο μήκος (L_{max}) με το μήκος των γήινων εναλλακτών θερμότητας που απαιτείται για να ικανοποιήσει την ενεργειακή ζήτηση του κτιρίου για ψύξη (L_c) και για θέρμανση (L_h). Υπάρχουν τρεις επιλογές:

- A: Αρκετός διαθέσιμος χώρος για τους γήινους εναλλάκτες θερμότητας για να ικανοποιήσουν την απαιτούμενη ενέργεια.
- B: Μόνο η ζήτηση για θέρμανση ή ψύξη μπορεί να ικανοποιηθεί σε σύγκριση με τον διαθέσιμο χώρο ($L_{max} < L_h$ ή $L_{max} < L_c$).

- Γ: Δεν υπάρχει αρκετός χώρος για την να ικανοποίηση την ζήτηση σε θέρμανσης και σε ψύξης του κτιρίου ($L_h > L_{max}$ και $L_c > L_{max}$).

Όταν το μήκος των γήινων εναλλακτών θερμότητας δεν επαρκεί για να καλύψει την ενεργειακή ζήτηση του κτιρίου, ο συνδυασμός με μια αντλία θερμότητας αέρα-νερού (AWHP) έχει διερευνηθεί για να μπορέσει το συνδυασμένο σύστημα να παρέχει την απαιτούμενη θερμική ζήτηση.



Εικόνα 2-2. Πιθανά σενάρια των περιπτώσιολογικών μελετών

A) $L_h, L_c < L_{max}$	
1 - $L_h \approx L_c$ (15% απόκλιση αποδεκτή)	$L = \text{μέγιστο}(L_h, L_c)$
2 - $L_h > L_c$	2α) $L = L_h$ 2β) $L = L_c + \text{AWHP}$
3 - $L_c > L_h$	3α) $L = L_c$ 3β) $L = L_h + \text{AWHP}$
1 $L_h \text{ ή } L_c > L_{max}$	
1 - $L_h > L_{max}$	$L = L_c + \text{AWHP}$
2 - $L_c > L_{max}$	$L = L_h + \text{AWHP}$
2 $L_h, L_c > L_{max}$	
$L = L_{max} + \text{AWHP}$	

Πίνακας 2-3. Βέλτιστο μήκος των γήινων εναλλακτών θερμότητας

Λαμβάνοντας υπόψη τον συνδυασμό των πιθανών σεναρίων, μπορούν να μελετηθούν διαφορετικές περιπτώσεις για να αποφασιστεί το βέλτιστο μήκος των γήινων εναλλακτών θερμότητας, ιδίως:

- Περίπτωση A1: το μήκος των γήινων εναλλακτών θερμότητας είναι σχεδόν το ίδιο για θέρμανση και ψύξη, μπορεί να επιλεγεί το μέγιστο από τα δύο (πλήρης κάλυψη της ζήτηση του κτιρίου με αναστρέψιμη αντλία θερμότητας νερού-νερού). Έχει υιοθετηθεί μια απόκλιση περίπου 15%.
- Περιπτώσεις A2 και A3: εάν η διαφορά μεταξύ L_h και L_c είναι μεγαλύτερη από 15%, η επιλογή μπορεί να γίνει λαμβάνοντας υπόψη είτε το μεγαλύτερο μήκος των γήινων εναλλακτών θερμότητας (υποπεριπτώσεις 2α και 3α με πλήρη GSHP) είτε το μικρότερο μήκος των γήινων εναλλακτών θερμότητας (υποπεριπτώσεις 2β και 3β) με υβριδικό σύστημα που χρησιμοποιεί δύο πηγές, νερό και αέρα (GSHP+AWHP). Σε αυτήν την περίπτωση, είναι εφικτό να υιοθετηθεί/εξεταστεί μια κατάλληλη μηχανή που υλοποιεί δύο πηγές ταυτόχρονα (Zarrella and Zecchin, 2019).
- Περιπτώσεις B1 και B2: εάν ένα από τα μήκη της γεώτρησης είναι μικρότερο από το μέγιστο διαθέσιμο μήκος και το άλλο είναι μεγαλύτερο, ένα υβριδικό σύστημα είναι η μοναδική λύση, επιτρέποντας στο GSHP να αντιμετωπίσει το ισορροπημένο μέρος του βασικού φορτίου και το AWHP να λάβει τα υπόλοιπα μέγιστα φορτία – δηλαδή το βέλτιστο συνολικό μήκος των γήινων εναλλακτών θερμότητας είναι μικρότερο από ένα και η ενέργεια που δεν παρέχεται από το GSHP παρέχεται από την AWHP (GSHP+AWHP). Με αυτόν τον τρόπο μεγιστοποιείται ο συντελεστής αξιοποίησης του συστήματος GSHP.
- Περίπτωση Γ: εάν και τα δύο μήκη είναι μεγαλύτερα από το μέγιστο διαθέσιμο μήκος, το βέλτιστο μήκος του γήινου εναλλάκτη θερμότητας που πρόκειται να εγκατασταθεί είναι το μέγιστο επιτρεπόμενο, ενσωματώνοντας την πλεονάζουσα ενέργεια σε μια υβριδική λύση (GSHP+AWHP). Με αυτόν τον τρόπο, όπως και στην περίπτωση B1 και B2, ο συντελεστής χρήσης του GSHP συστήματος μεγιστοποιείται εξισορροπώντας το βασικό φορτίο και το υπόλοιπο μέγιστο φορτίο παρέχεται από το AWHP.

3. ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΩΝ

Οι ακόλουθες παράγραφοι θα παρουσιάσουν τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τρεις περιπτώσιολογικές μελέτες που αναπτύχθηκαν για το έργο GEO4CIVHIC. Ο Πίνακας 3-1 δείχνει την ενεργειακή ζήτηση τόσο για τα υφιστάμενα όσο και για τα ιστορικά κτίρια κατοικιών, για την Αθήνα, το Στρασβούργο και το Ελσίνκι ως βάση για τον προσδιορισμό του μεγέθους του γήινου εναλλάκτη θερμότητας (GHE). Η μείωση της ενέργειας είναι σημαντική όταν εξετάζουμε ανακαινισμένα κτίρια τόσο για τα υφιστάμενα όσο και για ιστορικά κτίρια, λόγω των μικρότερων απωλειών μέσω του κελύφους. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν για τις βασικές περιπτώσεις (δηλαδή υπάρχοντα και ιστορικά κτίρια χωρίς ανακαίνιση), σε ήπια και ψυχρά κλίματα η ζήτηση της ενέργειας για θέρμανση στα κτίρια είναι κυρίαρχη, ενώ στα θερμά κλίματα παρουσιάζεται κυρίαρχη η ζήτηση ενέργειας για ψύξη. Αντίθετα, οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση και ψύξη είναι παρόμοιες για τα ανακαινισμένα κτίρια στο Στρασβούργο, γεγονός που αποτελεί σημαντικό αποτέλεσμα για τη διαστασιολόγηση των γήινων εναλλακτών θερμότητας.

Πίνακας 3-1. Ενεργειακά φορτία για θέρμανση και ψύξη στις τρεις κλιματικές ζώνες [kWh/(m² y)]

Απαιτήσεις ενέργειας [kWh/(m ² y)]		Υφιστάμενα κτίρια		Ιστορικά κτίρια	
		Βασική	Ανακαίνιση	Βασική	Ανακαίνιση
Αθήνα	Θέρμανση	13,1	0,4	32,6	1,1
	Ψύξη	69,5	44,1	78,7	48,8
Στρασβούργο	Θέρμανση	72,6	21,5	104,2	26,4
	Ψύξη	30,2	27,3	35,6	31,2
Ελσίνκι	Θέρμανση	122,3	41,9	158,4	50,5
	Ψύξη	19,1	18,5	23,3	25,4

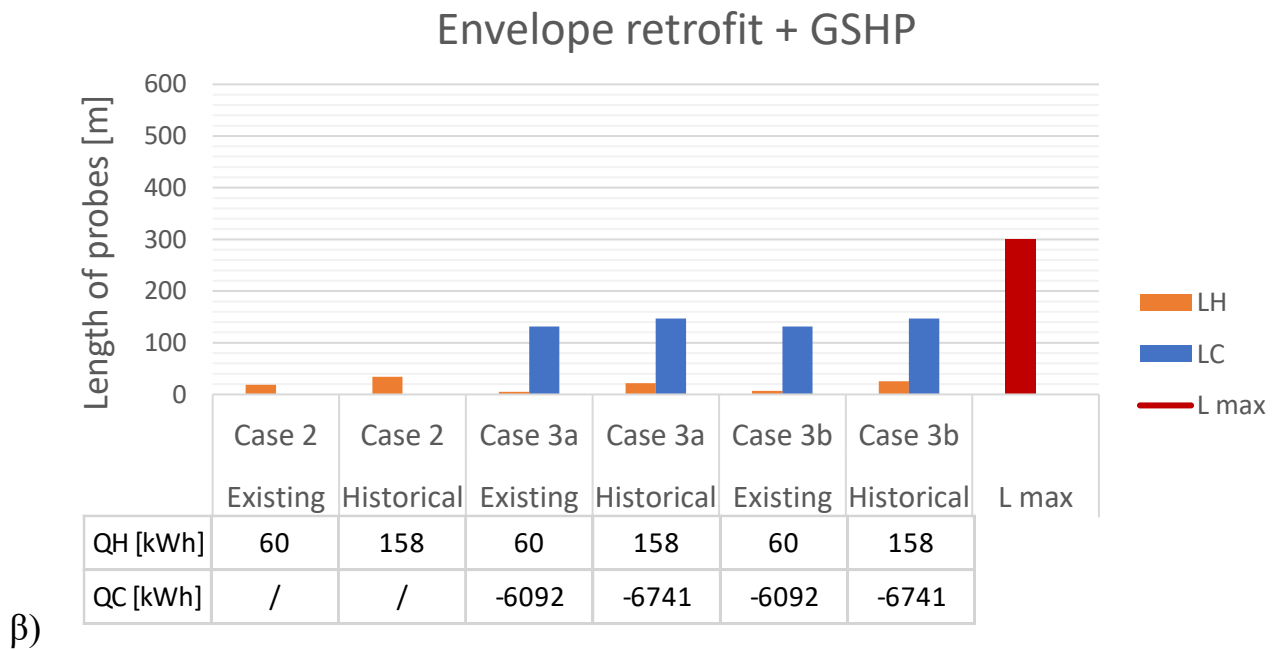
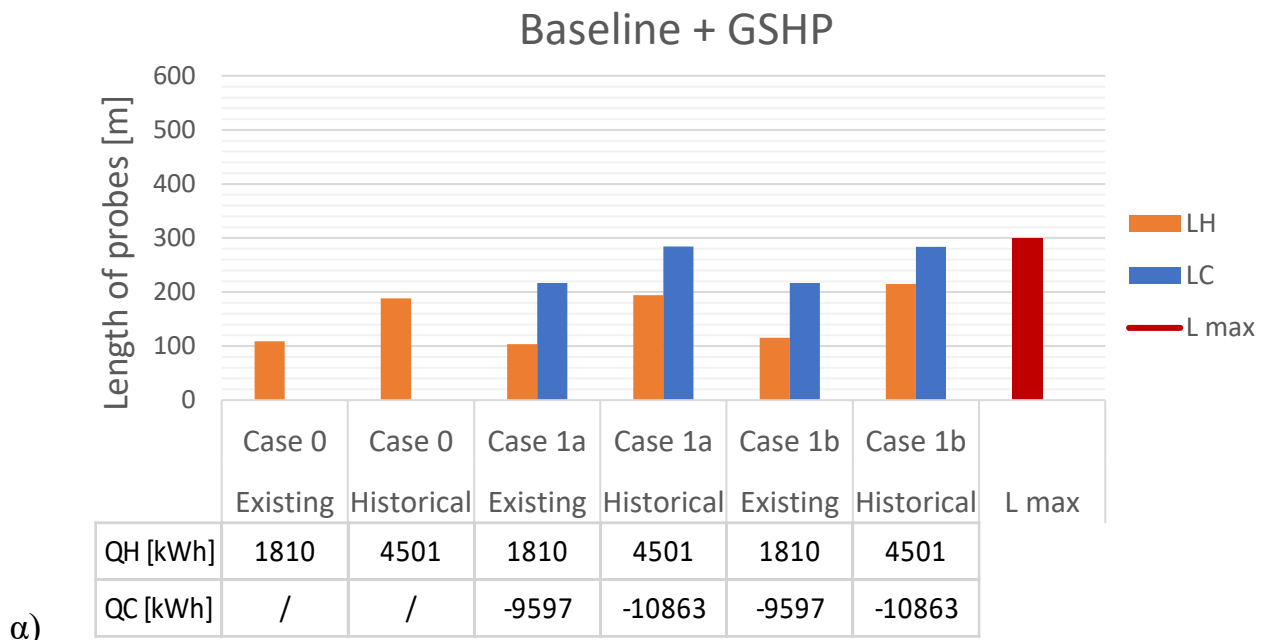
Όπως είναι ήδη γνωστό, η απόδοση του συστήματος GSHP επηρεάζεται από τη θερμική αγωγιμότητα του εδάφους. Η μέση θερμική αγωγιμότητα είναι 2,2 W/(m K) και η θερμοχωρητικότητα είναι 2,5 MJ/(m³ K) επιλέχθηκαν για τη λεπτομερή ανάλυση των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται σε αυτήν την ενότητα.

Τα τελικά αποτελέσματα της μεθόδου ASHRAE που θα παρουσιαστούν για κάθε μελέτη περίπτωσης αντιστοιχούν στα απαιτούμενα μήκη γεωτρήσεων για θέρμανση (L_h) και ψύξη (L_c), τα οποία συγκρίνονται με το μέγιστο δυνατό μήκος. Το αρχέτυπο κτίριο αναφέρεται σε ένα τυπικό σπίτι με ταράτσα που μπορεί να φιλοξενήσει τους γήινους εναλλάκτες θερμότητας (GHEs) διατεταγμένα γραμμικά στην αυλή σε απόσταση περίπου 3,3 m από τη γειτονική ιδιοκτησία και 7 m μεταξύ τους για την αποφυγή θερμικών παρεμβολών. Αυτές οι παραδοχές οδηγούν σε έως και 3 γήινους εναλλάκτες (BHE) για την εγκατάσταση, επομένως ο περιορισμός μήκους για LH και LC είναι 300 m. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με την προϋπόθεση ότι η απαραίτητη έρευνα του εδάφους και οι άδειες έχουν ήδη απαιτηθεί και ληφθεί από την αρμόδια τοπική αρχή όπως απαιτείται από τη σύμβαση για την προστασία της Παγκόσμιας Πολιτιστικής και Φυσικής Κληρονομιάς (UNESCO, 1972).

3.1. Αθήνα

Στην Αθήνα, λαμβάνοντας υπόψη την εγκατάσταση συστήματος GSHP χωρίς καμία μόνωση του κελύφους του κτιρίου (Εικόνα 3-1α) και με ανακαίνιση του κελύφους (Εικόνα 3-1β), το θερμικό φορτίο που απαιτείται από το κτίριο δεν είναι ισορροπημένο. Η ενέργεια που ανταλλάσσεται με το έδαφος το καλοκαίρι, επομένως το απαιτούμενο μήκος γεωτρήσης για ψύξη (L_c), είναι πολύ μεγαλύτερη από την ενέργεια που απαιτείται για θέρμανση (L_h). Το L_c ορίστηκε επειδή αρχικά δεν υπήρχε σύστημα ψύξης, ενώ το L_h μειώθηκε στο 6% και 13% για τα υπάρχοντα και ιστορικά κτίρια αντίστοιχα συγκρίνοντας τη βασική κατάσταση με την περίπτωση 3-1b (ανακαίνιση κελύφους σε συνδυασμό με συστήματα διανομής και παραγωγής). Παρά το μη ισορροπημένο θερμικό φορτίο, το σύστημα GSHP μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποφυγή προβλημάτων σχετικά με τη θερμική μετατόπιση του εδάφους, επειδή η οριακή θερμοκρασία, που υπολογίζεται με τη μέθοδο ASHRAE, είναι χαμηλότερη από 1 °C σε όλες τις περιπτώσεις. Όπως φαίνεται στα διαγράμματα, εάν πραγματοποιηθεί η ανακατασκευή του κελύφους, το απαιτούμενο μήκος γεωτρήσης για θέρμανση μειώνεται σημαντικά λόγω της χαμηλότερης ενεργειακής ζήτησης που απαιτείται από το κτίριο λόγω της μείωσης των απωλειών. Σε αυτήν την περίπτωση, το μήκος ψύξης του γήινου εναλλάκτη θερμότητας μειώνεται ελαφρώς, υποδεικνύοντας μια αύξηση της ανισορροπίας μεταξύ θερμικού και ψυκτικού φορτίου.

Λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά μέσης απόδοσης του εδάφους, τα απαιτούμενα μήκη γεωτρήσης είναι μικρότερα από την περίπτωση με θερμική αγωγιμότητα 1,5 W/(m K) (βλ. Παράρτημα), επομένως τα L_h και L_c είναι μικρότερα από το μέγιστο επιτρεπόμενο μήκος (L_{max}). Το αντίθετο αποτέλεσμα είναι ακόμη πιο εμφανές για λ=3 W/(m K).

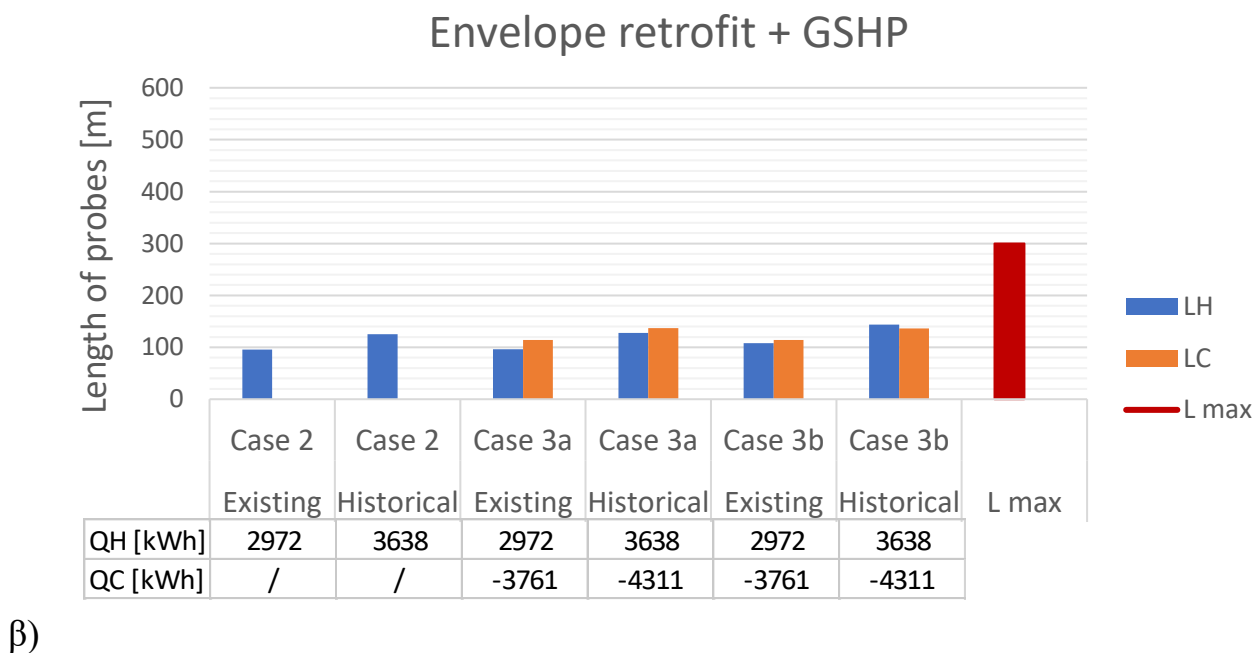
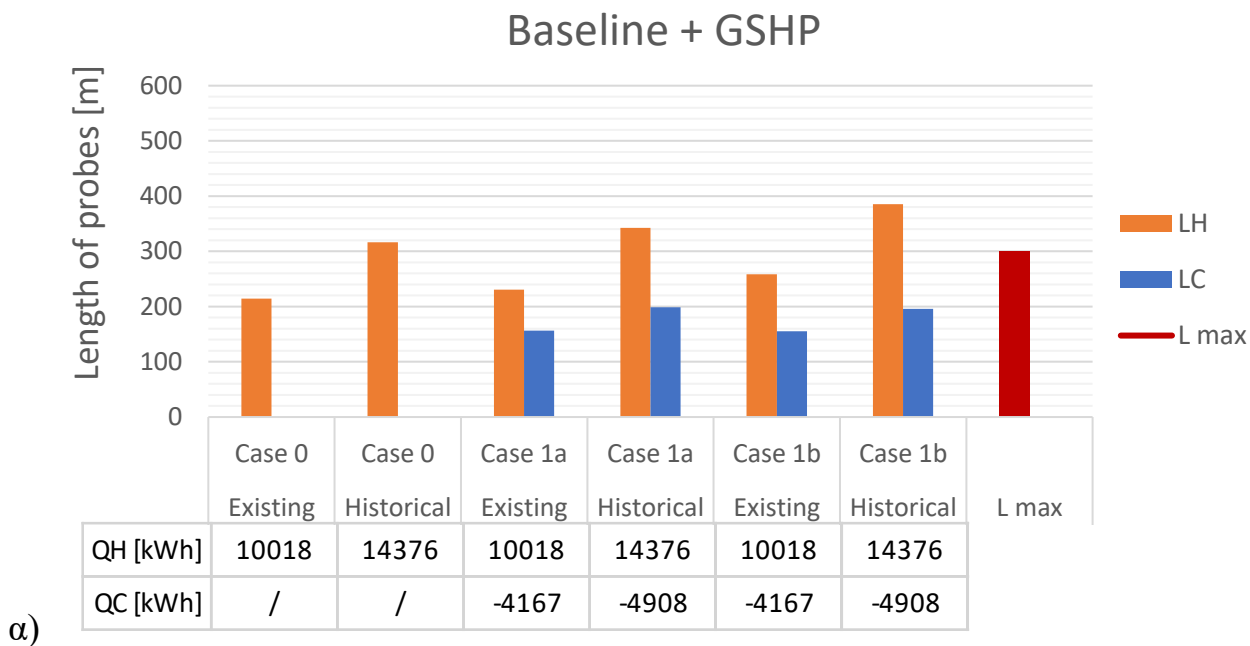


Εικόνα 3-1. Σύγκριση μεταξύ του μέγιστου διαθέσιμου μήκους και του απαιτούμενου μήκους γεωτρήσεων για την ικανοποίηση της ενεργειακής ζήτησης για τις τρεις τυπολογίες κτιρίων για την Αθήνα χωρίς μόνωση (α) και με μόνωση κελύφους(β).

3.2. Στρασβούργο

Η περίπτωση με μετασκευασμένο κέλυφος (Εικόνα 3-2β) εμφανίζει ισορροπημένη ζήτηση ενέργειας σε θέρμανση και ψύξη χάρη στη μείωση του θερμικού φορτίου κατά την περίοδο της θέρμανσης, ενώ η περίπτωση χωρίς μόνωση (Εικόνα 3-2α) έχει μη ισορροπημένο θερμικό φορτίο με μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας στη λειτουργία της θέρμανσης. Επομένως, η εφαρμογή της ολικής ανακαίνισης επιτρέπει ένα βελτιστοποιημένο μέγεθος του γήινου εναλλάκτη θερμότητας, υποθέτοντας ένα βάθος εγκατάστασης που μπορεί υποθετικά να καλύψει σχεδόν την πλήρη ζήτηση

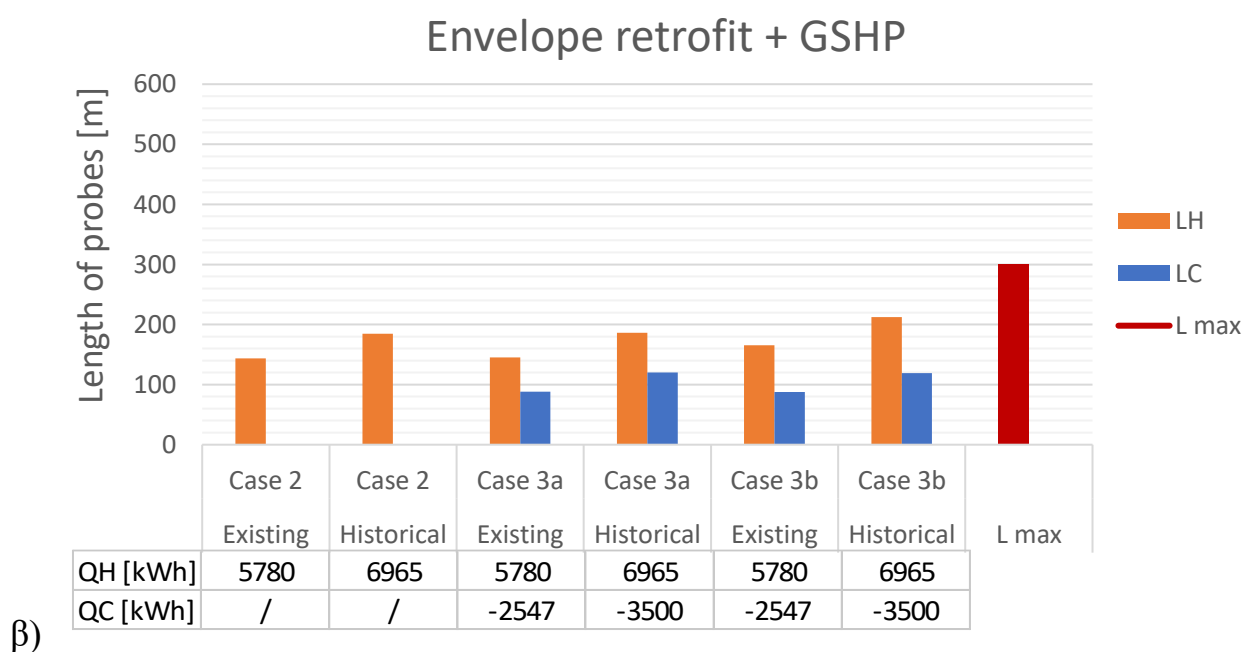
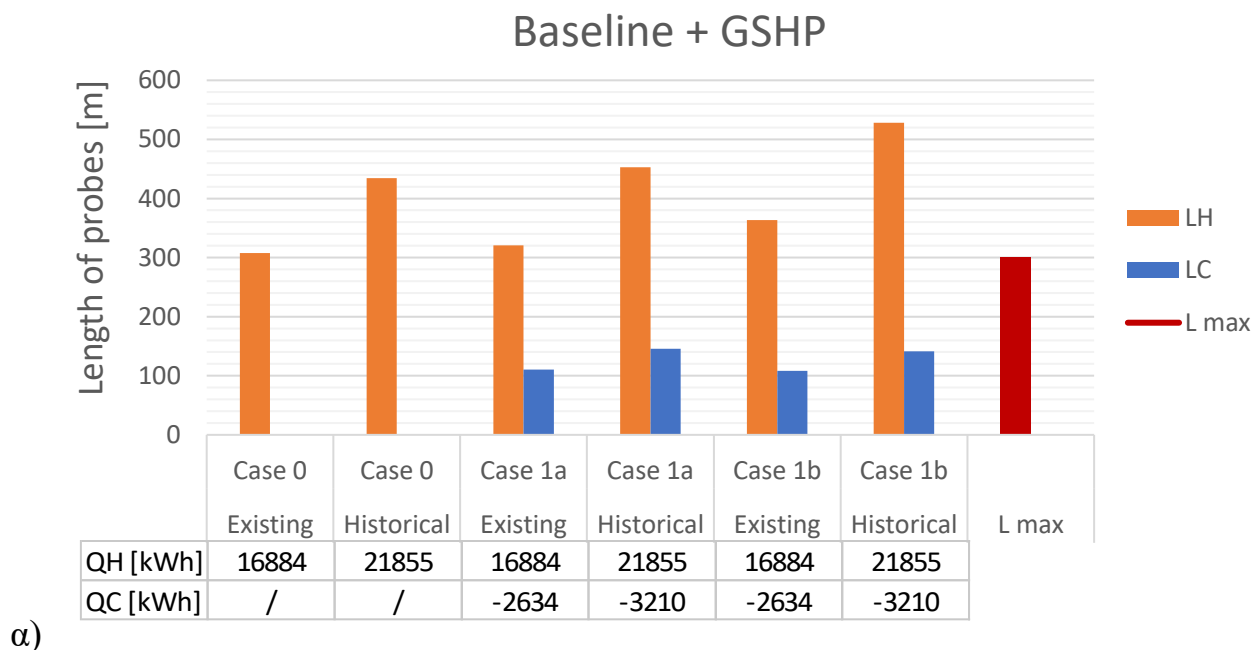
ενέργειας για θέρμανση και ψύξη. Το μήκος των γήινων εναλλακτών θερμότητας για την παροχή θέρμανσης μειώνεται κατά 50% και 55% για υφιστάμενα και ιστορικά κτίρια αντίστοιχα, ενώ έχει προβλεφθεί και το μήκος σχεδιασμού των γήινων εναλλακτών θερμότητας για την ψύξη.



Εικόνα 3-2. Σύγκριση μεταξύ του μέγιστου διαθέσιμου μήκους και του απαιτούμενου μήκους γεωτρήσεων για την ικανοποίηση της ενεργειακής ζήτησης για τις τρεις τυπολογίες κτιρίων για το Στρασβούργο χωρίς μόνωση (α) και με μόνωση (β) κελύφους.

3.3. Ελσίνκι

Λαμβάνοντας υπόψη τις περιπτώσεις που βρίσκονται στο Ελσίνκι, το μη ισοροπημένο θερμικό φορτίο του μη ανακατασκευασμένου κελύφους (Εικόνα 3-3α), είναι ελαφρώς πιο έντονο από το Στρασβούργο. Αν και η εφαρμογή της ολικής ανακατασκευής απαιτεί μικρότερο μήκος γήινων εναλλακτών θερμότητας για θέρμανση, το οποίο μειώνεται κατά 45% έως 61% για υφιστάμενα και ιστορικά κτίρια συγκρίνοντας την περίπτωση αναφοράς με την περίπτωση 3-3b, το θερμικό φορτίο εξακολουθεί να είναι κυρίαρχο, έτσι περιπλέκεται ο σχεδιασμός του μεγέθους των γήινων εναλλακτών θερμότητας για να καλύπτουν αποτελεσματικά την ενεργειακή ζήτηση του κτιρίου.



Εικόνα 3-3. Σύγκριση μεταξύ του μέγιστου διαθέσιμου μήκους και του απαιτούμενου μήκους γεωτρήσεων για την ικανοποίηση των τυπολογιών ενεργειακής ζήτησης για το Ελσίνκι χωρίς μόνωση (α) και με μόνωση (β) κελύφους.

3.4. Βέλτιστο μήκος γήινων εναλλακτών θερμότητας

Η μεθοδολογία που εξηγείται στην Ενότητα 2.2.1 και αναφέρεται στο Πίνακα 2-3 έχει χρησιμοποιηθεί για να ορίσει σωστά το βέλτιστο μήκος του γήινου εναλλάκτη θερμότητας που θα πρέπει να εγκατασταθεί για να αποφευχθούν ζητήματα όπως η θερμική μετατόπιση λόγω του εξαιρετικά μη ισορροπημένου θερμικού φορτίου των κτιρίων (βλ. Πίνακα 3-2 για τις τελικές υποθέσεις αναφοράς).

Όταν η θερμότητα που ανταλλάσσεται με το έδαφος είναι σχεδόν ισορροπημένη μεταξύ της περιόδου θέρμανσης (θερμότητα που εξάγεται από το έδαφος) και της περιόδου ψύξης (θερμότητα που απελευθερώνεται στο έδαφος), η βέλτιστη επιλογή είναι να καθοριστεί το ίδιο μήκος στη θέρμανση και στην ψύξη για να αποφευχθεί για να αποφευχθεί η θερμική ανισορροπία του εδάφους. Η λειτουργία με την πηγή αέρα (AWHP) όταν η πηγή εδάφους (GSHP) δεν είναι επαρκής επιτρέπει τη βελτιστοποίηση των διαθέσιμων πηγών ενέργειας, αυξάνοντας την απόδοση του συστήματος, καθώς το AWHP είναι πιο αποδοτικό κατά τις μεσαίες εποχές, ιδιαίτερα όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη από τη θερμοκρασία του εδάφους (Zarella and Zecchin, 2018).

Μεταξύ των διαφορετικών περιπτώσεων, όταν πραγματοποιείται ολική ανακαίνιση, το μήκος των γήινων εναλλακτών θερμότητας μειώνεται σημαντικά το χειμώνα (Lh), ενώ το μήκος που απαιτείται για την ψύξη (Lc) παραμένει σχεδόν σταθερό. Για το λόγο αυτό, η περίπτωση Β είναι πιο συχνή όταν εξετάζονται τα θερμά κλίματα, καθώς η ζήτηση ενέργειας για θέρμανση μπορεί να παραμεληθεί, αλλά η ζήτηση της ενέργειας για ψύξη είναι σημαντικά υψηλή.

Πίνακας 3-2. Τελικό μήκος γήινων εναλλακτών θερμότητας

			Lh	Lc	Περίπτωση*	L	L
			[M]	[M]		εγκατεστημένο (α)	εγκατεστημένο (β)
						[M]	[M]
Περίπτωση 0 καλοριφέρ	Αθήνα	Υφιστάμενο	85	-	2α	85	-
		Ιστορικό	150	-	2α	150	-
	Στρασβούργο	Υφιστάμενο	190	-	2α	190	-
		Ιστορικό	280	-	2α	280	-
	Ελσίνκι	Υφιστάμενο	265	-	2α	265	-
		Ιστορικό	375	-	4	-	300
Περίπτωση 1 fan-coils	Αθήνα	Υφιστάμενο	75	200	3α/3β	200	75
		Ιστορικό	140	250	3α/3β	250	140
	Στρασβούργο	Υφιστάμενο	180	140	2α/2β	180	140
		Ιστορικό	265	170	2α/2β	265	170
	Ελσίνκι	Υφιστάμενο	250	100	2α/2β	250	100
		Ιστορικό	355	135	2α/2β	300	135
Περίπτωση 1 Ενδοδαπέδιο	Αθήνα	Υφιστάμενο	80	200	3α/3β	200	80
		Ιστορικό	150	250	3α/3β	250	150
	Στρασβούργο	Υφιστάμενο	200	140	2α/2β	200	140
		Ιστορικό	295	170	2α/2β	295	170

	Ελσίνκι	Υφιστάμενο	275	100	2α/2β	275	100
		Ιστορικό	400	130	4	300	130
Περίπτωση 2 καλοριφέρ	Αθήνα	Υφιστάμενο	15	-	2α	15**	-
		Ιστορικό	25	-	2α	25**	-
	Στρασβο ύργο	Υφιστάμενο	85	-	2α	85	-
		Ιστορικό	105	-	2α	105	-
	Ελσίνκι	Υφιστάμενο	115	-	2α	115	-
		Ιστορικό	155	-	2α	155	-
Περίπτωση 3 fan-coils	Αθήνα	Υφιστάμενο	5	115	3α	115	-
		Ιστορικό	15	135	3α	135	-
	Στρασβο ύργο	Υφιστάμενο	75	105	3α/3β	105	75
		Ιστορικό	95	120	3α/3β	120	95
	Ελσίνκι	Υφιστάμενο	105	80	2α/2β	105	80
		Ιστορικό	140	110	2α/2β	140	110
Περίπτωση 3 Ενδοδαπέδιο	Αθήνα	Υφιστάμενο	5	115	3α	115	-
		Ιστορικό	15	135	3α	135	-
	Στρασβο ύργο	Υφιστάμενο	80	105	1	105	-
		Ιστορικό	105	125	3α/3β	125	-
	Ελσίνκι	Υφιστάμενο	120	80	2α/2β	120	80
		Ιστορικό	155	110	2α/2β	110	155
* Αναφ. Πίνακας 2-3							
** Όταν $\max(Lh, Lc) \ll L$ γήινου εναλλάκτη θερμότητας, δεν απαιτείται GSHP							

4. ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗ ΓΕΘΕΡΜΙΚΩΝ ΑΝΤΑΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΜΕ ΆΛΛΕΣ ΑΠΕ

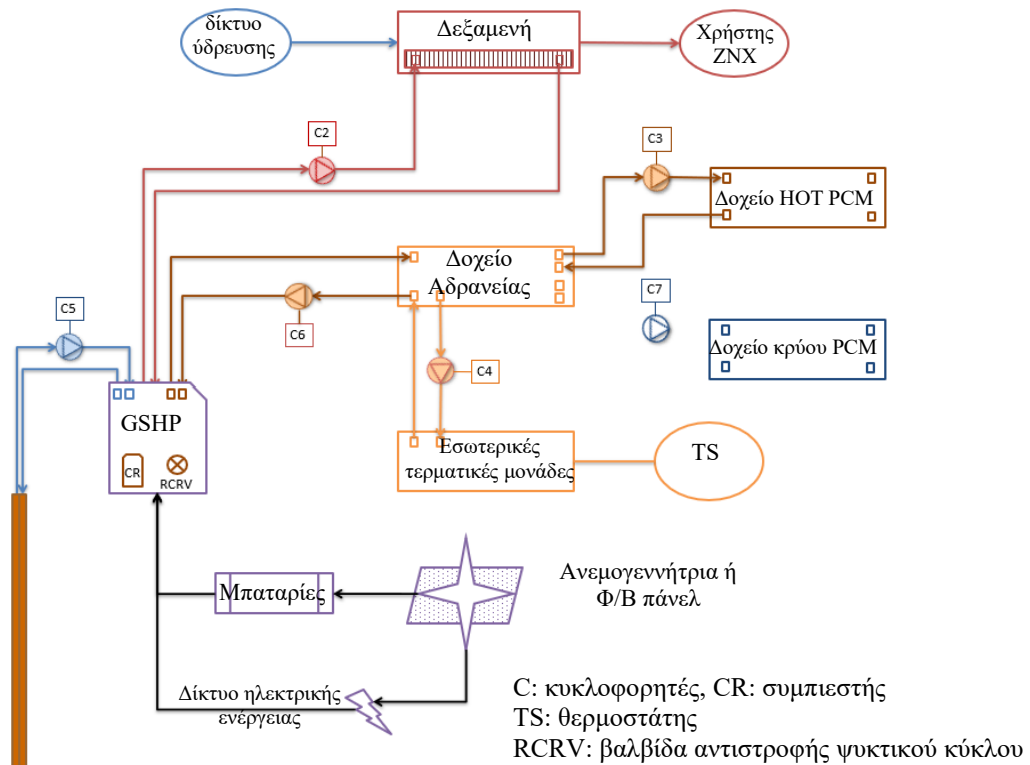
Σε ένα nZEB κτίριο, οι στόχοι χρήσης της ενέργειας μπορούν να επιτευχθούν και η ενεργειακή οικονομία μπορεί να βελτιωθεί με την ενσωμάτωση των συστημάτων GSHP σε συνδυασμό με άλλες ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας ή/και με άλλα συστήματα παροχής θερμικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Αυτά τα συστήματα ονομάζονται Υβριδικά συστήματα GSHP (HGSHP). Μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε ισορροπημένα ετήσια φορτία θέρμανσης και ψύξης των κτιρίων, τα οποία είναι απαραίτητα για την αποφυγή μείωσης της θερμοκρασίας του εδάφους. Η διαθεσιμότητα της επιτόπου ανανεώσιμης ηλεκτρικής ενέργειας από φωτοβολταϊκά πάνελ ή από μικρές ανεμογεννήτριες μπορεί να ελαχιστοποιήσει αποτελεσματικά τις εκπομπές CO₂ που προκύπτουν από τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας από τον συμπιεστή της αντλίας θερμότητας, από τις αντλίες κυκλοφορίας του νερού του υδραυλικού συστήματος και τους ανεμιστήρες των εσωτερικών θερματικών μονάδων. Ενσωμάτωση μπορεί να γίνει με εξαρτήματα αποθήκευσης ενέργειας, είτε θερμική αποθήκευση (π.χ. δεξαμενές με υλικά αλλαγής φάσης PCM) είτε ηλεκτρική αποθήκευση (π.χ. μπαταρίες).

Για να διασφαλιστεί η ομαλή λειτουργία του συστήματος και η βελτιωμένη χρήση της ενέργειας, πρέπει να υιοθετηθούν προηγμένοι αλγόριθμοι ελέγχου. Η ενσωμάτωση με άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιπλέκει τα πράγματα επιβάλλοντας την εισαγωγή βελτιστοποιημένων στρατηγικών ελέγχου. Οι παραδοσιακές στρατηγικές ελέγχου που βασίζονται σε κανόνες είναι απλές και εύκολες στην εφαρμογή και μεταφορά μεταξύ παρόμοιων συστημάτων. Τα μειονεκτήματά τους είναι οι περιορισμένες παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη, η έλλειψη ευελιξίας και η συντηρητική τάση στην πλευρά της άνεσης. Οι τεχνικές μαθηματικής βελτιστοποίησης (είτε βασισμένες σε μοντέλα, βάσει δεδομένων ή χωρίς μοντέλα), από την πλευρά τους, παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση, αν και είναι επίσης πιο πολύπλοκες στην εφαρμογή τους, απαιτώντας φυσικά μοντέλα ή σύνολα δεδομένων. Μεταξύ αυτών, οι αλγόριθμοι AI επιτρέπουν την εκμάθηση της βέλτιστης λειτουργίας λαμβάνοντας υπόψη έναν τεράστιο αριθμό παραμέτρων για μη γραμμικά προβλήματα, γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για τη διαχείριση της πολυπλοκότητας του συστήματος GSHP, ειδικά όταν συνδυάζεται με άλλες ΑΠΕ, και για την εφαρμογή αυτόνομων και προσαρμόσιμων έξυπνων ελέγχων. Ωστόσο, χρειάζονται μεγάλα σύνολα δεδομένων για την ανάπτυξή τους. Η επιλογή της προσέγγισης, σε κάθε περίπτωση, θα είναι ένας συμβιβασμός μεταξύ της απόδοσης του συστήματος και της πολυπλοκότητας της υλοποίησης.

4.1. Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας με ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας

Ο συνδυασμός ανεμογεννητριών ή φωτοβολταϊκών (PV) πάνελ με GSHP συστήματα πραγματοποιείται όσον αφορά την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας στο GSHP σύστημα όταν είναι διαθέσιμη η ηλεκτρική ενέργεια. Το GSHP σύστημα χρησιμοποιεί την ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια για την παραγωγή ζεστού νερού χρήσης (ZNX), τη θέρμανση ή την ψύξη του κτιρίου, καθώς και για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας στο νερό και στα PCM για μετέπειτα χρήση για την κάλυψη των ωρών αιχμής σε θέρμανση ή ψύξη του κτιρίου. Όταν το σύστημα GSHP δεν απαιτεί ενέργεια, η ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται στις μπαταρίες για μελλοντική χρήση ή παρέχεται στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Η βασική διαμόρφωση ενός συστήματος GSHP συνδεδεμένου με αιολικά ή φωτοβολταϊκά εμφανίζεται στην Εικόνα 4-1. Η ανεμογεννήτρια ή τα φωτοβολταϊκά πάνελ παράγουν ανανεώσιμη ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύεται κατά προτεραιότητα στις μπαταρίες, ενώ η περίσσεια ηλεκτρικής ενέργειας εκτρέπεται στο ηλεκτρικό δίκτυο. Το GSHP παρέχει θερμότητα είτε στη δεξαμενή ZNX, είτε στη δεξαμενή αποθήκευσης σε διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας, με προτεραιότητα το ZNX. Η δεξαμενή αποθήκευσης συνδέεται στη δεξαμενή ΖΕΣΤΟΥ ή ΚΡΥΟΥ υλικού αλλαγής φάσης (PCM) ανάλογα με τη λειτουργία θέρμανσης ή ψύξης αντίστοιχα. Σε περιόδους διαθεσιμότητας αιολικής/φωτοβολταϊκής ηλεκτρικής ενέργειας (που παράγεται ή αποθηκεύεται στις μπαταρίες), το GSHP σύστημα φορτίζει τη δεξαμενή PCM αντιστοιχίζοντας το σημείο ρύθμισης της δεξαμενής προσωρινής αποθήκευσης με το επίπεδο PCM. Όταν δεν υπάρχει διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές (παράγεται ή αποθηκεύεται στις μπαταρίες), το GSHP σύστημα καλύπτει το βασικό φορτίο του κτιρίου και το PCM τα φορτία αιχμής.



Εικόνα 4-1. Διάταξη συστήματος γεωθερμικής αντλίας θερμότητας με υποβοήθηση αιολικού/φωτοβολταϊκού

Οι βασικές αρχές της στρατηγικής ελέγχου είναι:

- Η βαλβίδα αντιστροφής του ψυκτικού κύκλου βρίσκεται στη θέση ΘΕΡΜΑΝΣΗ ή ΨΥΞΗ ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας, εκτός εάν ο κυκλοφορητής του ζεστού νερού χρήσης είναι ενεργοποιημένος, όταν είναι πάντα αυτόματα ενεργοποιημένος στη θέση ΘΕΡΜΑΝΣΗ.
- Η αντλία θερμότητας φορτίζει τη δεξαμενή ΖΝΧ κατά προτεραιότητα.
- Η θερμότητα ανταλλάσσεται μεταξύ του δοχείου αδρανείας και του PCM ανάλογα με τα φορτία του χρήστη.
- Το GSHP σύστημα φορτίζει το PCM όταν είναι διαθέσιμη αιολική ηλεκτρική ενέργεια, έτσι ώστε η θερμοκρασία του να διατηρείται στο επιθυμητό επίπεδο συν/πλην του εύρους ζώνης της μισής θερμοκρασίας.
- Το GSHP και το PCM φορτίζουν το δοχείο αδρανείας, έτσι ώστε α) η θερμοκρασία του νερού να διατηρείται στο επιθυμητό επίπεδο συν/πλην το μισό εύρος ζώνης θερμοκρασίας και β) το GSHP να καλύπτει το βασικό φορτίο και το φορτίο αιχμής του PCM.
- Το σύστημα εσωτερικών χώρων χρησιμοποιεί ζεστό/κρύο νερό από το δοχείο αδρανείας σύμφωνα με την εσωτερική θερμοκρασία, έτσι ώστε η θερμοκρασία του εσωτερικού αέρα να διατηρείται στο επιθυμητό επίπεδο συν/πλην του εύρους ζώνης μισής θερμοκρασίας.

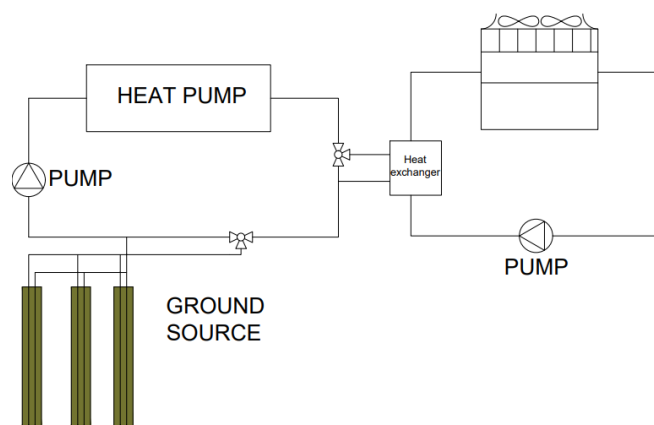
4.2. Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας υποβοηθούμενες από θερμικά ηλιακά

Η βασική διαμόρφωση του συνδυασμού των θερμικών ηλιακών συλλεκτών με συστήματα GSHP παρουσιάζονται στην Εικόνα 4-2. Σε αυτή τη διαμόρφωση, το σύστημα GSHP παρέχει θερμική ενέργεια σε ένα δοχείο αδρανείας, το οποίο είναι υδραυλικά συνδεδεμένο με μια δεξαμενή PCM και με το σύστημα θέρμανσης/ψύξης του κτιρίου και συνδέεται θερμικά με τη δεξαμενή ζεστού νερού χρήσης μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας. Οι ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες παρέχουν θερμική ενέργεια στη δεξαμενή ζεστού νερού χρήσης. Η φιλοσοφία είναι ότι η θερμική ενέργεια ανταλλάσσεται συνεχώς μεταξύ του δοχείου αδρανείας, του συστήματος GSHP, του PCM, της δεξαμενής του ζεστού νερού χρήσης, του κτιρίου σύμφωνα με τη διαθεσιμότητα της ηλιακής ενέργειας και των τιμολογίων της ηλεκτρικής ενέργειας ανάλογα με τις ανάγκες των χρηστών σε θέρμανση – ψύξη και ζεστό νερό χρήσης.

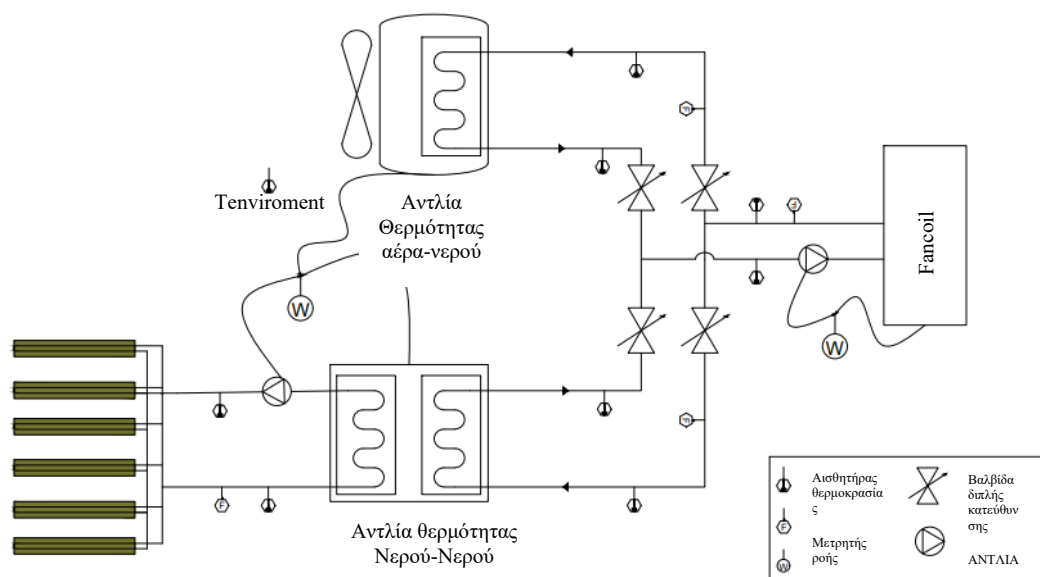
Η εγκατάσταση του GEO4CIVHIC GSHP σε συνδυασμό με το ηλιακό θερμικό σύστημα έχει ως αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής. Η ετήσια εξοικονόμηση χρημάτων είναι επίσης σημαντική, με τους χρόνους απόσβεσης των επενδύσεων να εξαρτώνται από τον τύπο του κτιρίου, τη μόνωση του κελύφους και την κλιματική ζώνη.

4.3. Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας με υποβοηθούμενη πηγή αέρα

Υπάρχουν δύο κύριες επιλογές για την ενσωμάτωση του αέρα ως συμπληρωματική πηγή ενέργειας, ανάλογα με το αν ο αέρας χρησιμοποιείται ως μία από τις πιθανές κύριες πηγές ενέργειας (αντλία θερμότητας αέρα-νερού) ή αν υποστηρίζει τη γεωθερμική αντλία ως αποδέκτη ή πηγή ενέργειας (πύργος ψύξης/dry cooler). Στην πρώτη περίπτωση, το σύστημα ενσωματώνει τόσο μια αντλία θερμότητας αέρα-νερού (AWHP) όσο και μια γεωθερμική αντλία θερμότητας (GSHP). Το σύστημα μπορεί να παρέχει θέρμανση ή ψύξη με AWHP ή GSHP ανεξάρτητα από το εάν η πηγή αέρα χρησιμοποιείται για θέρμανση ή ψύξη. Αυτή η προσέγγιση του συστήματος GSHP είναι να χρησιμοποιεί τον αέρα ως συμπληρωματική πηγή για έγχυση ή εξαγωγή θερμότητας και να χρησιμοποιεί μόνο τον εναλλάκτη θερμότητας εδάφους (GHE) για την έγχυση ή την εξαγωγή μέρους των απαιτήσεων θερμικής ενέργειας του κτιρίου. Υπάρχουν διάφορες δυνατότητες για να συμπεριληφθεί ο αέρας ως συμπληρωματική πηγή. Εικόνα 4-3 ως νέο στοιχείο ανεξάρτητο από τον γήινο εναλλάκτη θερμότητας με διαφορετικές διαμορφώσεις ανάλογα με τις ανάγκες και τη βελτιστοποίηση του συστήματος HVAC. Μια άλλη δυνατότητα είναι μια αντλία θερμότητας διπλής πηγής (DSHP) (Εικόνα4-4) να έχει σχεδιαστεί με όλα τα στοιχεία μέσα στην ίδια την αντλία θερμότητας (HP), τους ανεμιστήρες και τους εναλλάκτες θερμότητας για την πηγή αέρα και τον εναλλάκτη θερμότητας που συνδέεται με το πεδίο των γήινων εναλλακτών θερμότητας.



Εικόνα 4-3. Διάγραμμα σύνδεσης πύργου ψύξης ή dry cooler με γεωθερμική αντλία θερμότητας.



Εικόνα4-4. Σχέδιο Αντλία θερμότητας αέρα – νερού (Air-Water HP) με γεωθερμική αντλία θερμότητας.

Ο συνδυασμός τόσο της πηγής αέρα όσο και της πηγής εδάφους αυξάνει ελαφρώς την ενεργειακή απόδοση και ως εκ τούτου οδηγεί σε εξοικονόμηση χρημάτων. Ωστόσο, το μεγάλο οικονομικό πλεονέκτημα αυτής της επιλογής έγκειται στο γεγονός ότι χρησιμοποιώντας τον αέρα ως πηγή, η εγκατάσταση του γήινου πεδίου μπορεί να μειωθεί έως και 40%, μειώνοντας δραστικά το αρχικό κόστος των γεωτρήσεων και συνεπώς την επένδυση της εγκατάστασης. Πρέπει να διερευνηθούν περαιτέρω προηγμένες στρατηγικές ελέγχου για την υποστήριξη αυτού του σεναρίου.

4.4. Φ/Β-Θερμικά ηλιακά υποβοηθούμενες Γεωθερμικές Αντλίες Θερμότητας

Η χρήση φωτοβολταϊκών θερμικών πάνελ (PVT) επιτρέπει την εξοικονόμηση χώρου στην στέγη, σε σύγκριση με τη λύση χωριστών ηλιακών θερμικών συλλεκτών και φωτοβολταϊκών πάνελ, καθώς και τη βελτίωση της συνολικής απόδοσης ηλιακής μετατροπής, καθώς οι συλλέκτες PVT είναι πιο αποδοτικοί τόσο για την παροχή θερμικής ενέργειας όσο και για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Με αυτή την τεχνολογία το ηλιακό πεδίο συνεισφέρει μια θερμική πηγή υψηλότερης θερμοκρασίας, ενώ ταυτόχρονα καλύπτει και τις ηλεκτρικές ανάγκες της γεωθερμικής αντλίας θερμότητας.

Κατά των συνδυασμό της γεωθερμικής αντλία θερμότητας με φωτοβολταϊκά θερμικά πάνελ δίνεται προτεραιότητα στην παραγωγή ζεστού νερού χρήσης τόσο κατά την περίοδο της θέρμανσης όσο και κατά τη διάρκεια της περιόδου ψύξης, η άμεση θερμική συμβολή από τις ηλιακές εγκαταστάσεις είναι, όπως αναμένεται, υψηλότερη για τις τοποθεσίες με μεγαλύτερες τιμές προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Αναλυτικά, το μερίδιο αυτό αυξάνεται από 27% για τη μελέτη περίπτωσης του Ελσίνκι, σε 34% στο Στρασβούργο και στο Μπιλμπάο και σε 64% στην Αθήνα.

4.5. Εφαρμογή μελετών περιπτώσεων: δείκτες αυτάρκειας και αυτοκατανάλωσης για τα αρχέτυπα GEO4CIVHIC

Για να φανεί η δυνατότητα ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην ανακαίνιση υφιστάμενων κτιρίων στα κέντρα των πόλεων, η ενσωμάτωση φωτοβολταϊκών συστημάτων (PV) στην οροφή έχει διερευνηθεί στο πλαίσιο του έργου GEO4CIVHIC, οδηγώντας σε μια ολοκληρωμένη ανάλυση ανακαίνισης κελύφους σε συνδυασμό, με σύστημα GSHP και PV παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Στην πραγματικότητα, πολλά πλεονεκτήματα σχετίζονται με τη χρήση φωτοβολταϊκών συστημάτων, δεδομένου ότι η ηλιακή ενέργεια είναι καθαρή και δωρεάν, η φάση εγκατάστασης δεν είναι περίπλοκη και μπορεί να σχεδιαστεί σύμφωνα με τις ανάγκες του χρήστη. Το κύριο μειονέκτημα είναι η διακοπόμενη λειτουργία, η οποία μπορεί να λυθεί εν μέρει με ένα σύστημα αποθήκευσης, αν είναι δυνατόν, αυξάνοντας όμως από την άλλη το αρχικό κόστος εγκατάστασης. Για μια πλήρη ανάλυση, η ενεργειακή απόδοση του φωτοβολταϊκού συστήματος πρέπει να αξιολογηθεί σωστά, λαμβάνοντας υπόψη πολλούς παράγοντες όπως η τοποθεσία, η κλίση, ο προσανατολισμός και παρουσία στοιχείων σκίασης. Για το λόγο αυτό, οι προσομοιώσεις έχουν πραγματοποιηθεί με τη χρήση του δυναμικού εργαλείου TRNSYS.

Το ηλεκτρικό φορτίο του κτιρίου έχει υπολογιστεί σύμφωνα με τις ενεργειακές τιμές που παρέχει η Eurostat (Eurostat) και κατανεμήθηκε σε ωριαία βάση σύμφωνα με ένα προφίλ που προτείνουν οι Wilson και Engebrecht (2014).

Ο Πίνακας 4-1 παρουσιάζει τη μέση ωριαία κατανάλωση των ηλεκτρικών συσκευών και του φωτισμού ανά εποχή και ημέρα της εβδομάδας.

Πίνακας 4-1. Μέση ωριαία ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται [Wh]

[Wh]	Καλοκαίρι		Χειμώνας		Άνοιξη-Φθινόπωρο	
	Δευτ-Παρ	Σαβ-Κυρ	Δευτ-Παρ	Σαβ-Κυρ	Δευ.-Παρ	Σαβ-Κυρ
Πλυντήριο	28	30	28	30	28	30
Ψυγείο + Καταψύκτης	130	130	130	130	130	130
H/Y	14	14	14	14	14	14
Τηλεόραση	14	14	14	14	14	14
βίντεο	8	8	8	8	8	8
Φωτισμός	40	40	53	53	51	51

Η ηλεκτρική κουζίνα χρησιμοποιείται συνήθως τρεις φορές την ημέρα, όπως εξηγείται στο Πίνακα 4-2, μεταβάλλοντας την ένταση ανάλογα με την ώρα και την ημέρα της εβδομάδας.

Πίνακας 4-2. Καθημερινή ηλεκτρική κουζίνα που χρησιμοποιείται [Wh]

		Καθημερινές [Wh]	Σαββατοκύριακο [Wh]
Πρωινό	7:00 (h)	100	200
Μεσημεριανό	12:00 (h)	300	600
Βραδινό	19:00 (h)	1000	1500

Ξεκινώντας από τη ζήτηση της ενέργειας που υπολογίζεται στην Ενότητα 2.7, λαμβάνοντας υπόψη τα αντίστοιχα COP και EER για κάθε περίπτωση, έχουν υπολογιστεί τα ηλεκτρικά προφίλ που σχετίζονται με την παραγωγή της αντλίας θερμότητας. Προστέθηκαν οι ωριαίες ανάγκες ηλεκτρικής ενέργειας της αντλίας θερμότητας σε ένα στο κοινό προφίλ ηλεκτρικού φορτίου ενός οικιακού χρήστη (Πίνακας 4-1 και Πίνακας 4-2), η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται από τις οικιστικές μονάδες εμφανίζεται στον Πίνακα 4-3 για κάθε κλιματική ζώνη και τύπο κτιρίου.

Πίνακας 4-3. Συνολική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας, συμπεριλαμβανομένων των αντλιών θερμότητας, φωτισμού και συσκευών [kWh].

Υφιστάμενο	Περίπτωση 0	Περίπτωση 1 - Fan Coil	Περίπτωση 1 - Ενδοδαπέδιο	Περίπτωση 2	Περίπτωση 3 - Fan Coil	Περίπτωση 3 - Ενδοδαπέδιο
Αθήνα	7305	7022	6923	5809	5799	5796
Στρασβούργο	9206	8224	7511	6266	5975	5764
Ελσίνκι	12920	12210	11017	8866	8475	8064
Ιστορικό	Περίπτωση 0	Περίπτωση 1 - Fan Coil	Περίπτωση 1 - Ενδοδαπέδιο	Περίπτωση 2	Περίπτωση 3 - Fan Coil	Περίπτωση 3 - Ενδοδαπέδιο
Αθήνα	8696	7987	7736	5995	5971	5962
Στρασβούργο	11085	9680	8660	6647	6290	6030
Ελσίνκι	15422	13957	12415	9481	9012	8519

Το συνολικό ηλεκτρικό προφίλ του κτιρίου συγκρίθηκε σε ωριαία βάση με την ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό σύστημα (PV), αξιολογώντας δύο δείκτες (Luthander and Widén, 2015): την αυτάρκεια (SS) και την

αυτοκατανάλωση (SC), ο καθένας από αυτούς τους δείκτες ανάλογα με την αυτοχρησιμοποιούμενη ενέργεια (1), δηλαδή την διαφορά μεταξύ της ενέργειας που καταναλώνεται και της ενέργειας που παρέχεται από το δίκτυο.

$$\text{Self Used Energy} = \text{Ενέργεια που καταναλώνεται} - \text{Ενέργεια που παρέχεται από το δίκτυο [kWh]} [1]$$

Η αυτάρκεια ορίζεται από την εξίσωση (2) ως η αναλογία μεταξύ της αυτοχρησιμοποιούμενης ενέργειας και της συνολικής ενέργειας που καταναλώνεται, επομένως είναι το ποσοστό της ενέργειας που καταναλώνεται και που παράγεται από το φωτοβολταϊκό (PV) σύστημα που είναι εγκατεστημένο στο κτίριο.

$$SS = \frac{\text{SelfUsedEnergy}}{\text{TotalConsumed}} [\%] \quad [2]$$

Η εξίσωση (3) ορίζει την ιδιοκατανάλωση ως την αυτοχρησιμοποιούμενη ενέργεια διαιρούμενη με τη συνολική ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό (PV) σύστημα, που είναι το ποσοστό της ηλιακής ενέργειας που παράγεται και καταναλώνεται στο κτίριο σε σύγκριση με τη συνολική ποσότητα ηλιακής ενέργειας που παράγεται.

$$SC = \frac{\text{Self Used Energy}}{\text{Total Produced}} [\%] \quad [3]$$

Η αξιολόγηση αυτών των δεικτών εξαρτάται αυστηρά από την ωριαία ανάλυση του φορτίου, καθορίζοντας την ποσότητα ενέργειας που χρησιμοποιείται ή παρέχεται στο δίκτυο ανάλογα με την ενέργεια που παράγεται από το σύστημα και την ενέργεια που χρησιμοποιεί ο χρήστης. Ως εκ τούτου, έχουν εφαρμοστεί δυναμικές προσομοιώσεις χρησιμοποιώντας το λογισμικό TRNSYS για τον υπολογισμό της ωριαίας ενέργειας που παράγεται από τα φωτοβολταϊκά πάνελ για διαφορετικούς προσανατολισμούς, προκειμένου να συγκριθεί η απόδοση του συστήματος λαμβάνοντας υπόψη τους πολλαπλούς πιθανούς προσανατολισμούς του κτιρίου σε ένα αστικό περιβάλλον. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στο Πίνακα 4-4 δείχνουν ότι η υψηλότερη ενέργεια παράγεται όταν προσανατολίζεται προς το Νότο ή Νοτιοδυτικά, ενώ ο Βόρειος προσανατολισμός τη μειώνει κατά 30 έως 50% ανάλογα με την τοποθεσία.

Πίνακας 4-4. Ετήσια ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το φωτοβολταϊκό (PV) σύστημα.

Τοποθεσία	Ενέργεια που παράγεται από Φ/Β σύστημα [kWh/έτος]				
	0°	45°	90°	180°	270°
	Νότος	Νοτιοδυτικός	Δυτικός	Βόρειος	Ανατολικός
Αθήνα	19533	19255	17229	12828	15563
Στρασβούργο	15930	15767	14250	10997	12880
Ελσίνκι	14118	13577	11385	7292	10311

Η επιφάνεια της στέγης και οι παράμετροι μεγέθους (Πίνακας 4-5) έχουν υπολογιστεί σύμφωνα με τη γεωμετρία του κτιρίου, λαμβάνοντας υπόψη τη διαφορετική κλίση της οροφής ανάλογα με το κλίμα και μειώνοντάς την κατά 5% ώστε να υπάρχει κατάλληλος χώρος για την τεχνική συντήρηση των πάνελ. Στην Αθήνα, η οροφή έχει θεωρηθεί οριζόντια, επομένως ο διαθέσιμος χώρος μειώνεται περαιτέρω λόγω του χώρου που απαιτείται για να αποφευχθεί η αμοιβαία σκίαση μεταξύ των πάνελ. Αυτός είναι ο λόγος για τη χαμηλότερη εγκατεστημένη ισχύ (6 kW) σε σύγκριση με τις άλλες τοποθεσίες (12 kW). Έχουν επιλεγεί πολυκρυσταλλικές φωτοβολταϊκές μονάδες. Για τις μονάδες και τον μετατροπέα, έγινε αναφορά στα τεχνικά δελτία δεδομένων που διατίθενται στην αγορά.

Πίνακας 4-5. Παράμετροι μεγέθους φωτοβολταϊκού (PV) συστήματος

	Αθήνα	Στρασβούργο	Ελσίνκι
Μικτό εμβαδόν στέγης [m ²]	59	117	121
Κλίση στέγης	0°	30°	40°
Αριθμός πάνελ	18	35	37
Αριθμός χορδών	3	9	9
Εγκατεστημένη Ισχύς [kWp]	6.0	11.9	12.3

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν διαιρέθηκαν σε ενέργεια απόρριψης και ενέργεια δικτύου, σύμφωνα με τον ωριαίο δείκτη αυτοχρησιμοποιούμενης ενέργειας (Εξ. 1). Όταν η παραγόμενη ενέργεια είναι μεγαλύτερη από την ενέργεια που απαιτείται σε αυτό το χρονικό στάδιο, θεωρείται ότι παρέχεται πλεονάζουσα ενέργεια στο δίκτυο. Αντίθετα, όταν η απαιτούμενη ενέργεια είναι μεγαλύτερη από αυτή που παράγεται, η ενέργεια που λείπει αγοράζεται από το δίκτυο.

Κάθε στρατηγική ανακαίνισης που εξηγείται στην Ενότητα 3.6 έχει αναλυθεί για πέντε διαφορετικούς προσανατολισμούς των πάνελ, επομένως έχουν προσομοιωθεί συνολικά 180 περιπτώσεις για υφιστάμενα και ιστορικά κτίρια.

Ο Πίνακας 4-6 συνοψίζει τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την υπάρχουσα ταράτσα για κάθε κλίμα, προσανατολισμό και διαμόρφωση εκ των υστέρων. Για την Αθήνα, κάθε προσανατολισμός των πάνελ μπορεί να παρέχει περισσότερο από το 50% της ενέργειας που χρειάζεται ο χρήστης, παρόλο που η ενέργεια που χρησιμοποιείται είναι μόνο το 20-30% της συνολικής παραγόμενης ενέργειας.

Ο δείκτης ιδιοκατανάλωσης είναι παρόμοιος κατά μέσο όρο στο Στρασβούργο, γύρω στο 20-30%, αλλά η αυτάρκεια είναι γύρω στο 40-50%, επειδή η συνολική ακτινοβολία είναι χαμηλότερη από την Αθήνα, άρα η παραγόμενη ενέργεια είναι χαμηλότερη. Τα ίδια αποτελέσματα επιτεύχθηκαν και για το Ελσίνκι με χαμηλότερα ποσοστά.

Ο νότος, ο νοτιοδυτικός και ο δυτικός προσανατολισμός έχουν παρόμοια αποτελέσματα όσον αφορά την αυτάρκεια, καθορίζοντας ένα μεγάλο ποσοστό ενέργειας που χρησιμοποιείται σε σύγκριση με την ενέργεια που απαιτείται. Ο Βόρειος προσανατολισμός παρουσιάζει σημαντικά αποτελέσματα όσον αφορά την ιδιοκατανάλωση, επειδή η ηλιακή ακτινοβολία είναι χαμηλότερη αλλά η αυτοχρησιμοποιούμενη ενέργεια είναι παρόμοια σε σύγκριση με άλλους προσανατολισμούς, επομένως η αναλογία που αντιστοιχεί στον δείκτη ιδιοκατανάλωσης είναι μεγαλύτερη.

Πίνακας 4-6. Σύνοψη των αποτελεσμάτων αυτάρκειας και ιδιοκατανάλωσης για τα υφιστάμενα κτίρια με ταράτσα

Υφιστάμενα		Αυτάρκεια (%)					Ιδιοκατανάλωση (%)				
		Προσανατολισμός Φ/Β					Προσανατολισμός Φ/Β				
		0°	45°	90°	180°	270°	0°	45°	90°	180°	270°
Περίπτωση 0	Αθήνα	57%	59%	58%	57%	54%	21%	22%	25%	32%	26%
	Στρασβούργο	40%	40%	39%	37%	38%	23%	23%	25%	31%	27%
	Ελσίνκι	26%	25%	24%	21%	23%	23%	24%	27%	38%	28%
Περίπτωση 1 Fan-coil	Αθήνα	58%	60%	60%	58%	55%	21%	22%	24%	32%	25%
	Στρασβούργο	43%	43%	42%	41%	41%	22%	23%	25%	30%	26%
	Ελσίνκι	30%	30%	28%	25%	27%	26%	27%	30%	43%	32%
Περίπτωση 1 Ενδοδαπέδι	Αθήνα	58%	60%	60%	59%	55%	21%	22%	24%	32%	25%
	Στρασβούργο	46%	46%	45%	44%	44%	22%	22%	24%	30%	26%
	Ελσίνκι	32%	32%	31%	28%	29%	25%	26%	30%	42%	31%
Περίπτωση 2	Αθήνα	57%	59%	59%	58%	55%	17%	18%	20%	26%	21%
	Στρασβούργο	48%	48%	48%	47%	47%	19%	19%	21%	27%	23%
	Ελσίνκι	36%	36%	35%	34%	34%	23%	24%	28%	41%	29%
Περίπτωση 3 Fan-coil	Αθήνα	57%	60%	60%	58%	55%	17%	18%	20%	26%	21%
	Στρασβούργο	50%	50%	50%	49%	48%	19%	19%	21%	26%	22%
	Ελσίνκι	37%	38%	37%	35%	35%	22%	24%	29%	41%	29%
Περίπτωση 3 Ενδοδαπέδι	Αθήνα	58%	60%	60%	58%	55%	17%	18%	20%	26%	21%
	Στρασβούργο	51%	51%	51%	50%	49%	18%	19%	20%	26%	22%
	Ελσίνκι	39%	39%	38%	36%	37%	22%	23%	27%	40%	29%

Ομοίως, ο Πίνακας 4.7 συνοψίζει τα αποτελέσματα που προέκυψαν για ιστορικά κτίρια με ταράτσα. Τα αποτελέσματα που λαμβάνονται είναι πιο ενδιαφέροντα όσον αφορά τη χρήση ενέργειας παρά την αυτάρκεια, λόγω της μείωσης της ενέργειας που απαιτείται από το δίκτυο με τη χρήση ανανεώσιμης πηγής ενέργειας.

Πίνακας 4-7. Σύνοψη των αποτελεσμάτων αυτάρκειας και ιδιοκατανάλωσης για τα ιστορικά κτίρια με ταράτσα.

ΙΣΤΟΡΙΚΑ		Αυτάρκεια (%)					Ιδιοκατανάλωση (%)				
		Προσανατολισμός Φ/Β					Προσανατολισμός Φ/Β				
		0°	45°	90°	180°	270°	0°	45°	90°	180°	270°
Περίπτωση 0	Αθήνα	54%	56%	55%	53%	52%	24%	25%	28%	36%	29%
	Στρασβούργο	36%	36%	35%	32%	34%	25%	25%	27%	33%	29%
	Ελσίνκι	25%	24%	23%	21%	22%	27%	28%	31%	44%	33%
Περίπτωση 1 Fan-coil	Αθήνα	57%	59%	58%	57%	54%	23%	24%	27%	35%	28%
	Στρασβούργο	40%	39%	39%	36%	37%	24%	24%	26%	32%	28%
	Ελσίνκι	27%	27%	25%	23%	24%	26%	27%	31%	44%	32%
Περίπτωση 1 Ενδοδαπέδι	Αθήνα	58%	60%	59%	58%	55%	23%	24%	27%	35%	27%
	Στρασβούργο	43%	43%	42%	40%	41%	23%	23%	25%	32%	27%
	Ελσίνκι	29%	29%	28%	26%	27%	26%	27%	30%	43%	32%
Περίπτωση 2	Αθήνα	58%	60%	60%	58%	55%	18%	19%	21%	27%	21%
	Στρασβούργο	47%	47%	47%	46%	46%	20%	20%	22%	28%	24%
	Ελσίνκι	35%	35%	34%	33%	33%	24%	25%	29%	43%	30%
Περίπτωση 3 Fan-coil	Αθήνα	58%	60%	60%	58%	56%	18%	19%	21%	27%	56%
	Στρασβούργο	49%	49%	49%	48%	48%	19%	20%	22%	28%	23%
	Ελσίνκι	37%	37%	36%	34%	34%	23%	25%	29%	42%	30%
Περίπτωση 3 Ενδοδαπέδι	Αθήνα	58%	60%	60%	58%	56%	18%	19%	21%	27%	21%
	Στρασβούργο	50%	51%	50%	50%	49%	19%	19%	21%	27%	23%
	Ελσίνκι	38%	39%	38%	36%	36%	23%	24%	28%	42%	30%

Η χρήση ηλεκτρικής αποθήκευσης θα αύξανε την αυτοχρησιμοποιούμενη ενέργεια. Ωστόσο, το μέγεθος της μπαταρίας και ο ορισμός της λειτουργίας της εξαρτάται από διάφορους παράγοντες. Ειδικότερα, ο σχεδιαστής πρέπει να επιλέξει εάν θα δώσει προτεραιότητα στη διατήρηση της μπαταρίας, ελαχιστοποιώντας τους κύκλους φόρτισης-εκφόρτισης, στη μεγιστοποίηση της ενέργειας που καταναλώνεται από τον ίδιο ή στην ελαχιστοποίηση της παροχής από το δίκτυο διανομής. Πολλές υποθέσεις μπορούν να γίνουν για να εκτιμηθεί η συμπεριφορά της αποθήκευσης για να επεκταθεί η εφαρμογή των αποτελεσμάτων που προέκυψαν για αυτά τα αρχέτυπα κτίρια σε αστική κλίμακα, ορίζοντας επίσης διαφορετικά προφίλ χρήσης ενέργειας από τους καταναλωτές για τον σχεδιασμό και την υποστήριξη της ανάπτυξης ενεργειακών κοινοτήτων. Για το σκοπό αυτό θα διεξαχθεί περαιτέρω έρευνα σε μελλοντικές εργασίες.

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΡΑΙΤΕΡΩ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Το Εγχειρίδιο 1 του έργου GEO4CIVHIC στοχεύει να δείξει τη σημασία της μείωσης των ενεργειακών αναγκών και να βοηθήσει στην σύζευξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, υποστηρίζοντας έτσι την ανάπτυξη κτιρίων μηδενικής ή σχεδόν μηδενικής και θετικής ενέργειας (positive energy), όπως απαιτείται από τις πρόσφατες εθνικές και διεθνείς πολιτικές. Για τη διερεύνηση των δυνατοτήτων του ευρωπαϊκού κτιριακού αποθέματος σε αστικές περιοχές, έχουν αναπτυχθεί αρχέτυπα κτίρια όσον αφορά τη γεωμετρία, τις θερμικές ιδιότητες του κελύφους, την τελική χρήση, τον τύπο HVAC που έχει εγκατασταθεί και αργότερα χρησιμοποιείται ως περιπτώσιολογικές μελέτες για τη διερεύνηση των αποτελεσμάτων της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα λεπτομερή χαρακτηριστικά έχουν παρουσιαστεί στο (Carnieletto, 2022). Με βάση τις διαφορετικές πιθανές στρατηγικές και επιλογές, έχουν εξεταστεί τόσο η μερική όσο και η ολική ανακαίνιση. Η μείωση των ενεργειακών αναγκών αναφέρεται κυρίως στο ετήσιο ενεργειακό ισοζύγιο, καθώς τα υψηλά επίπεδα μόνωσης μειώνουν τις απώλειες θερμότητας και μεγιστοποιούν τη συμβολή των εσωτερικών κερδών. Αντίθετα, τα κτίρια με υψηλή μόνωση έχουν μεγαλύτερη ζήτηση ενέργειας ψύξης, λόγω της μείωσης της μεταφοράς θερμότητας του κελύφους.

Στο παρόν κείμενο παρουσιάζεται και αναλύεται η συνέργεια των συστημάτων GSHP με άλλες ΑΠΕ για τον καθορισμό βέλτιστων λύσεων για τους διαφορετικούς τύπους κτιρίων και κλιματικών ζωνών. Έχουν παρουσιαστεί αρκετές εφαρμογές βέλτιστης ολοκλήρωσης μεταξύ των συστημάτων GSHP και άλλων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αν και περιορισμένες σε ένα τυπικό κτίριο με ταράτσα που βρίσκεται σε διαφορετικά κλίματα.

Πραγματοποιήθηκαν δυναμικές προσομοιώσεις για τον προσδιορισμό της ζήτησης ενέργειας σε θέρμανση και ψύξη που χρησιμοποιήθηκε αργότερα για το μέγεθος των γήινων εναλλακτών θερμότητας λαμβάνοντας υπόψη την ποικιλία των γεωλογικών σχηματισμών χρησιμοποιώντας τρεις τυπικές υπόγειες θερμικές συνθήκες, των 1,5 W/(m K), 2,2 W/(m K) και 3 W/(m K), διευρύνοντας έτσι την εφαρμογή των αποτελεσμάτων που προέκυψαν. Το σωστό μέγεθος των συστημάτων μπορεί ενδεχομένως να μειώσει το μήκος του εναλλάκτη θερμότητας που πρόκειται να εγκατασταθεί, επομένως το κόστος εγκατάστασης και ο σχετικός χρόνος απόσβεσης, να μειωθεί. Η ενοποίηση με πολλές πηγές φέρνει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στο σύστημα και περαιτέρω ανάγκη για μια βελτιστοποιημένη στρατηγική ελέγχου. Έχει οριστεί μια μεθοδολογία για τον υπολογισμό του βέλτιστου μήκους των γήινων εναλλακτών θερμότητας σύμφωνα με το θερμικό φορτίο του κτιρίου και τη διαθεσιμότητα του χώρου με στόχο την αποφυγή του υπερμεγέθους συστήματος και βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης με την ενσωμάτωση μιας αντλίας θερμότητας διπλής πηγής ή μιας αντλίας θερμότητας με πηγή των αέρα. Αυτή η λύση θα αυξήσει τις αποδόσεις στις ενδιάμεσες περιόδους, δείχνοντας έτσι μια εξοικονόμηση χρημάτων στους τελικούς χρήστες. Ακραία αποτελέσματα έχουν ληφθεί για θερμά κλίματα, όπου η ζήτηση της ενέργειας για θέρμανσης γίνεται αμελητέα και απαιτούνται ελεύθερα συστήματα ψύξης παρά συμβατικά συστήματα ψύξης ακόμη και το χειμώνα. Σε αυτή την περίπτωση η οριακή θερμοκρασία ήταν αποδεκτή ακόμη και αν η ζήτηση της ενέργειας δεν ήταν ισορροπημένη, υποστηρίζοντας έτσι την εγκατάσταση συστήματος GSHP όταν έχει το σωστό μέγεθος. Η εγκατάσταση GSHP σε συνδυασμό με ηλιακό θερμικό σύστημα έχει ως αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου και τις κλιματικές συνθήκες. Λαμβάνοντας υπόψη την ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από το ηλιακό πεδίο και καταναλώνεται από την αντλία θερμότητας, η αναλογία αυτοχρησιμοποιούμενης είναι υψηλότερη για τα μη ανακαινισμένα κτίρια. Το χαμηλότερο μερίδιο για τα ανακαινισμένα κτίρια οφείλεται στη μικρότερη πιθανότητα χρήσης όλης της παραγόμενης ενέργειας στο ίδιο χρονικό διάστημα, καθώς η ζήτηση της ενέργειας είναι χαμηλότερη λόγω των λύσεων ανακατασκευής που εφαρμόζονται. Οι υψηλότερες τιμές αντιστοιχούν στα θερμότερα κλίματα, καθώς εξαρτάται από τη δυνατότητα αντιστοίχισης της ζήτησης της ενέργειας και της ενέργειας που παράγεται στο ίδιο χρονικό διάστημα.

Η εγκατάσταση ενός φωτοβολταϊκού συστήματος έχει αναλυθεί, μελετώντας την επίδραση του προσανατολισμού στους δείκτες αυτάρκειας και αυτοκατανάλωσης, που μπορεί να δώσει μια ρεαλιστική προβολή για τις ενεργειακές κοινότητες. Ο λόγος κάλυψης είναι γενικά υψηλότερος για τα ανακαινισμένα κτίρια, σε σύγκριση με τα μη ανακαινισμένα. Συγκρίνοντας τις τρεις κλιματικές ζώνες, η τιμή κάλυψης που προκύπτει από την εγκατάσταση φωτοβολταϊκών είναι υψηλή για θερμά και ήπια κλίματα (Αθήνα και Στρασβούργο) μεταξύ 46 και 67%, ενώ το Ελσίνκι παρουσιάζει χαμηλότερο μερίδιο λόγω της υψηλότερης ζήτησης ενέργειας και της χαμηλότερης ηλιακής ακτινοβολίας. Η εγκατάσταση ηλεκτρικής αποθήκευσης θα μπορούσε να μειώσει περαιτέρω τη χρήση πρωτογενούς ενέργειας. Ωστόσο, ορισμένα ζητήματα για το σωστό μέγεθος της μπαταρίας πρέπει να επιλυθούν για να αποφευχθεί η υπερδιαστασιολόγηση της μπαταρίας ή η γρήγορη διακοπή της απόδοσης της φόρτισης.

Όπως μελετήθηκε πρόσφατα στη βιβλιογραφία, η εκτεταμένη χρήση αρχετύπων κτιρίων που εφαρμόζονται στην αστική μοντελοποίηση επιτρέπει πιο εκτεταμένες εφαρμογές ενεργειακής μοντελοποίησης μειώνοντας τον χρόνο προσομοίωσης λόγω της πολυπλοκότητας της εξαγωγής δεδομένων, οδηγώντας έτσι σε ευρύτερη χρησιμότητα από τους ειδικούς χωρίς απώλεια της ποιότητας των αποτελεσμάτων. Έτσι, τα αποτελέσματα που προκύπτουν μπορούν να βοηθήσουν στην ανάλυση του μεγάλου αποθέματος κτιρίων και εγκαταστάσεων, συμπεριλαμβανομένης της ανακαίνισής τους, καθορίζοντας μια λίστα προτεραιότητας ενεργειών προς τον περιορισμό της χρήσης ενέργειας. Αυτές οι πληροφορίες στοχεύουν να επηρεάσουν την ανάπτυξη ενεργειακών πολιτικών για τις ενεργειακές κοινότητες, βελτιστοποιώντας το μερίδιο της θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των διαφορετικών χρηστών, εκμεταλλευόμενοι τη διαφορετική συγχρονικότητα των φορτίων, ενισχύοντας έτσι την απόδοση των συστημάτων. Επομένως, εργαζόμαστε προς την κατασκευή κτιρίων μηδενικής, σχεδόν μηδενικής και θετικής ενέργειας.

Όπως φαίνεται από τις διάφορες λύσεις που παρουσιάστηκαν και διερευνήθηκαν, πολλές στρατηγικές μπορούν να υιοθετηθούν ανάλογα με το κλίμα, την τελική χρήση και την ενεργειακή ζήτηση του κτιρίου, η οποία σχετίζεται με το έτος κατασκευής ή με τις ενεργειακές ανακαινίσεις που εφαρμόστηκαν. Παρόλο που η τοποθεσία επηρεάζει σημαντικά τη διαθεσιμότητα της ηλιακής ακτινοβολίας, τα αποτελέσματα δείχνουν ενδιαφέρουσες επιπτώσεις στην εξοικονόμηση ενέργειας και στο σχετικό ενεργειακό κόστος, επιβεβαιώνοντας έτσι τη δυνατότητα εγκατάστασης συστημάτων GSHP στα αστικά κέντρα των πόλεων.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. The European Parliament and the Council of the European Union, “Directive 2010/31/EU of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast),” pp. 13–35, 2010, : doi:10.3000/17252555.L_2010.153.eng.
2. The European Parliament and the Council of the European Union, “Directive 2012/27/EU on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC.”
3. The European Parliament and the Council, “Directive 2018/844 of 30 May 2018 amending Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings and Directive 2012/27/EU on energy efficiency,” 2018.
4. L. Carnieletto, M. Ferrando, L. Teso, K. Sun, W. Zhang, F. Causone, P. Romagnoni, A. Zarrella., T. Hong, “Italian prototype building models for urban scale building performance simulation,” *Build. Environ.*, vol. 192, 2021.
5. M. Ferrando, F. Causone, T. Hong, and Y. Chen, “Urban building energy modeling (UBEM) tools: A state-of-the-art review of bottom-up physics-based approaches,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 62, 2020.
6. I. Ballarini, S. P. Corgnati, and V. Corrado, “Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock: The experience of TABULA project,” *Energy Policy*, vol. 68, pp. 273–284, 2014, doi: 10.1016/j.enpol.2014.01.027.
7. G. Emmi, A. Zarrella, M. De Carli, S. Moretto, A. Galgaro, M. Cultrera, M. Di Tuccio, A. Bernardi, “Ground source heat pump systems in historical buildings: Two Italian case studies,” *Energy Procedia*, vol. 133, pp. 183–194, 2017, doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.383.
8. A. Zarrella, R. Zecchin, F. De Rossi, G. Emmi, M. De Carli, and L. Carnieletto, “Analysis of a double source heat pump system in a historical building,” 2019.
9. The German Bundestag, The German buildings energy act (GEBÄUDEENERGIEGESETZ, GEG), Berlin, Germany, 13 August 2020
10. President of the Italian Republic, Legislative Decree 192, Implementation of directive 2002/91/EC on energy efficiency in buildings. Rome, Italy, 19 August 2005
11. Ministry of the Environment, Energy and the Sea, Law n.2009-967 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement I. Paris, France, 3 August 2009
12. Swiss Federal Council, Ordinance on Energy (EnO), Berne, Switzerland, 1 November 2017.
13. King of Spain, Law 8/2013 de rehabilitación, regeneración y renovación urbanas, Madrid, Spain, 26 June 2013 (BOE-A-2013-6938).
14. Swiss Federal Energy Office, Swiss Sustainable Building Standard (SNBS), Switzerland, 2018.
15. Institut Wohnen und Umwelt, “The joint EPISCOPE and TABULA Website,” 2016. (accessed Feb. 20, 2005).
16. G. V. Fracastoro and M. Serraino, “A methodology for assessing the energy performance of large scale building stocks and possible applications,” *Energy Build.*, vol. 43, 2011.
17. G. Dall’o’, A. Galante, and M. Torri, “A methodology for the energy performance classification of residential building stock on an urban scale,” *Energy Build.*, vol. 48, pp. 211–219, May 2012, doi: 10.1016/j.enbuild.2012.01.034.
18. E. Prataiviera, P. Romano, L. Carnieletto, F. Pirotti, J. Vivian, and A. Zarrella, “EURECA: An open-source urban building energy modelling tool for the efficient evaluation of cities energy demand,” *Renew. Energy*, vol. 173, 2021.
19. L. Teso *et al.*, “Large scale energy analysis and renovation strategies for social housing in the historic city of Venice,” *Sustain. Energy Technol. Assessments*, vol. 52, 2022.
20. L. Carnieletto, O. B. Kazanci, M. De Carli, and B. W. Olesen, “Why couple renewable energy sources with radiant systems: current trends, limitations and potential,” 2018.
21. A. American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, “ASHRAE Handbook—HVAC Applications. Geothermal Energy.,” 2011.
22. A. Capozza, A. Zarrella, and M. De Carli, “Long-term analysis of two GSHP systems using validated numerical models and proposals to optimize the operating parameters,” *Energy Build.*, vol. 93, pp. 50–64, Apr. 2015, doi: 10.1016/j.enbuild.2015.02.005.
23. S. M. Lee, S. H. Park, Y. S. Jang, E. J. Kim, “Proposition of Design Capacity of Borehole Heat Exchangers for Use in the Schematic-Design Stage,” *Energies*, vol. 14, no. 822, 2021, doi: 10.3390/en14040822.
24. A. Galgaro, G. Dalla Santa, and A. Zarrella, “First Italian TRT database and significance of the geological setting evaluation in borehole heat exchanger sizing,” *Geothermics*, vol. 94, 2021, doi: 10.1016/j.geothermics.2021.102098.
25. UNESCO - United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, “Convention concerning the Protection of the World Cultural and Natural Heritage,” 1972. [Online]. Available: <https://whc.unesco.org/en/conventiontext/>.
26. A. Zarrella, R. Zecchin, P. Pasquier, D. Guzzon, M. De Carli, G. Emmi, M. Quaggia, “A comparison of numerical simulation methods analyzing the performance of a ground-coupled heat pump system,” *Sci.*

- Technol. Built Environ.*, vol. 24, 2018, doi: doi: 10.1080/23744731.2018.1438663.
27. E. Wilson, C. M. Engebrecht, S. Horowitz, and R. Hendron, "Building America House Simulation Protocols," 2014.
 28. R. Luthander, J. Widén, D. Nilsson, and J. Palm, "Photovoltaic self-consumption in buildings: A review," *Appl. Energy*, vol. 142, 2015.
 29. L. Carnieletto, A. Di Bella, D. Quaggiotto, G. Emmi, A. Bernardi, M. De Carli, Potential of GSHP coupled with PV systems for retrofitting urban areas in different European climates based on archetypes definition. *Energy and Built Environment* (2022). DOI: 10.1016/j.enbenv.2022.11.005

1. CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE (CNR)

CNR – ISAC

Adriana BERNARDI
Alessandro BORTOLIN
Gianluca CADELANO

CNR – ITC

Sergio BOBBO
Laura FEDELE
Stefano ROSSI
Mauro SCATTOLINI

2. UNIVERSITA DEGLI STUDI DI PADOVA (UNIPD)

Department of Industrial Engineering

Michele DE CARLI
Angelo ZARRELLA
Giuseppe EMMI
Laura CARNIELETTO
Samantha GRACI
Davide QUAGGIOTTO

Department of Geosciences DG Unit

Antonio GALGARO
Eloisa DI SIPIO
Giorgia DALLA SANTA
Alberto CARRERA

3 UNIVERSITAT POLITECNICA DE VALENCIA (UPV)

Javier F. URCHUEGUÍA
Borja BADENES
Hossein JAVADI
Miguel Á. MATEO

4. R.E.D. SRL RESEARCH AND ENVIRONMENTAL DEVICES (RED)

Luc POCKELÉ
Giulia MEZZASALMA
Silvia CONTINI
Mattia CHINELLO
Nicola MUTINELLI

5. TERRA GEOSERV LIMITED (GEOSERV)

Riccardo PASQUALI
Aisling CUNNINGHAM

6. GALLETTI BELGIUM / HIREF (GALLETTI)

Fabio POLETTO
Andrea TARABOTTI
Enrico PACCHIN

7. FUNDACION TECNALIA RESEARCH & INNOVATION (TECNALIA)

Miguel Ángel ANTÓN
Amaia CASTELRUIZ
Sarah NOYÉ
Beatriz SÁNCHEZ
Arantza LÓPEZ

8. TERRA INFRASTRUCTURE (FORMER THYSSENKRUPP INFRASTRUCTURE)

Arno ROMANOWSKI
Franziska HELBIG

9. UNESCO REGIONAL BUREAU FOR SCIENCE AND CULTURE IN EUROPE

Jonathan BAKER
Francesca BAMPA
Matteo ROSATI
Iuliia KOZLOVA
Francesco LIPPARINI
Anh Thi Ngoc NGUYEN
Akémi LAMARCHE VADEL

10. FRIEDRICH-ALEXANDERUNIVERSITAET ERLANGEN NUERNBERG (FAU)

David BERTERMANN
Oliver SUFT
Moritz FAUDE
Johannes MULLER

11. SOCIETATEA ROMANA GEOEXCHANGE / ROMANIAN GEOEXCHANGE SOCIETY (SRG - RGS)

Robert GAVRILIUC
Doinița- Iuliana CUCUȚEANU
Tiberiu CATALINA
Marian ALEXANDRU

12. CENTRE FOR RENEWABLE ENERGY SOURCES AND SAVING FONDATION (CRES)

Dimitrios MENDRINOS
Constantine KARYTSAS
Ioannis CHOROPANITIS
Ioannis CHALDEZOS
Spyridon KARYTSAS

13. HYDRA SRL (HYDRA)

Davide RIGHINI
Elisabetta GARDENGHI

14. UBEG DR ERICH MANDS U MARC SAUER GBR (UBEG)

Burkhard SANNER
Erich MANDS
Marc SAUER

15. GEO-GREEN SPRL (GEO-GREEN)

Jacques VERCRUYSSÉ

16. PIETRE EDIL SRL (PIETRE)

Elena Loredana FODOR
Leonardo ROSSI
Alexandru TĂNASE

17. SOLINTEL M&P SL (SOLINTEL)

Dery TORRES
Hugo GRASSET
Miguel Angel GOMEZ

18. DIN L-ART HELWA (DLH)

Luciano MULE'STAGNO
Daniel MICALLEF
Ingrid GALEA
Davide POLETTO
Daniele SFERRA
Manuel SCARPA

19. SCUOLA UNIVERSITARIA PROFESSIONALE DELLA SVIZZERA ITALIANA (SUPSI)

Marco BELLIARDI
Linda SOMA
Sebastian PERA
Rodolfo PEREGO

ΣΥΝΕΡΓΑΤΕΣ



INSTITUTE OF ATMOSPHERIC SCIENCES AND CLIMATE
NATIONAL RESEARCH COUNCIL (CNR – ISAC)
www.isac.cnr.it



INSTITUTE OF CONSTRUCTION
TECHNOLOGIES NATIONAL
RESEARCH COUNCIL (CNR-ITC)
www.itc.cnr.it



UNIVERSITA' DEGLI
STUDI DI PADOVA (UNIPD)
www.unipd.it



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
www.upv.es



RESEARCH AND
ENVIRONMENTAL
DEVICES SRL (RED)
www.red-srl.com



TERRA INFRASTRUCTURE
(FORMER THYSSENKRUPP
INFRASTRUCTURE)
www.terra-infrastructure.com



TERRA GEOSERV LIMITED
(GEOSERV)
www.geoservsolutions.com



GALLETTI BELGIUM/
HIREF (GALLETTI)
www.galletti.be/hiref.it



MEMBER OF BASQUE RESEARCH
& TECHNOLOGY ALLIANCE
FUNDACION TECNALIA
RESEARCH & INNOVATION
www.tecnalia.com



GEO GREEN SPRL
(GEO-GREEN)
www.geo-green.be



UNESCO REGIONAL BUREAU
FOR SCIENCE AND CULTURE
IN EUROPE
www.unesco.org/venice



Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

FRIEDRICH-ALEXANDER-
UNIVERSITÄT ERLANGEN
NURNBERG (FAU)
www.uni-erlangen.de



SOCIETATEA ROMANA
GEOEXCHANGE /ROMANIAN
GEOEXCHANGE SOCIETY
(SRG - RGS)
www.geoexchange.ro



CENTRE FOR RENEWABLE
ENERGY SOURCES
AND SAVING FUNDATION
(CRES)
www.cres.gr



HYDRA SRL
(HYDRA)
www.hydrahammer.it



UBEG DR ERICH MANDS
U MARC SAUER
GBR (UBEG)
www.ubeg.de

Scuola universitaria professionale
della Svizzera italiana



SCUOLA UNIVERSITARIA
PROFESSIONALE
DELLA SVIZZERA ITALIANA
(SUPSI)
www.supsi.ch



PIETRE EDIL SRL
(PIETRE EDIL)
www.pietre-edil.ro



SOLINTEL M&P SL
(SOLINTEL)
www.solintel.eu



Dín I-Art Helwa

DIN L-ART HELWA (DLH)
www.dinlarthelwa.org