



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ»

Μεταπτυχιακή Εργασία

**Ενεργειακή και περιβαλλοντική ανάλυση συνδυασμού συστημάτων κτιριακής
θέρμανσης/δροσισμού και Ηλεκτροχρωμικών/Θερμοχρωμικών υαλοπινάκων στον
Τριτογενή Κτηριακό Τομέα**

ΑΝΤΩΝΙΟΣ ΜΙΖΕΡΟΣ

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Μαρία Φούντη

ΑΘΗΝΑ 2022

Περίληψη

Αυτή η εργασία αξιολογεί την εξοικονόμηση ενέργειας και την μείωση των εκπομπών CO₂, όσον αφορά την θέρμανση, την ψύξη, και τον τεχνικό φωτισμό, σε κτήρια γραφείων με μεγάλο λόγο επιφάνειας παραθύρων προς τη συνολική επιφάνεια του κτηρίου, στην Ελλάδα και στη Σουηδία. Σε προηγούμενη μελέτη των Detsi et al., 2020, θεωρήθηκε μόνο αντλία θερμότητας ως μέσο θέρμανσης του κτηρίου, αλλά αντίθετα στην παρούσα εργασία λήφθηκαν υπόψη όλα τα συστήματα θέρμανσης που συναντώνται στα κτήρια γραφείων για την θέρμανσή τους, με βάση τα δεδομένα της ευρωπαϊκής στατιστικής αρχής. Επιπλέον, χρησιμοποιώντας την μέθοδο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής και συνυπολογίζοντας το ενεργειακό μείγμα κάθε χώρας, υπολογίστηκαν για το κτήριο αντιπροσωπευτικοί συντελεστές μετατροπής της τελικής κατανάλωσης ενέργειας, σε πρωτογενή ενέργεια και συντελεστές εκλυόμενων ρύπων. Οι συντελεστές αυτοί, επέτρεψαν στη συνέχεια, να υπολογιστεί η ετήσια απαίτηση σε πρωτογενή ενέργεια και οι ετήσιες εκπομπές CO₂, στην περίπτωση που στα κτήρια αυτά εφαρμόζονταν οι καινοτόμοι τριπλοί θερμοχρωμικοί ή ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες. Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επικαιροποίηση των συντελεστών πρωτογενούς ενέργειας και των εκπομπών CO₂, του κανονισμού κτηρίων KENAK, καθώς τα αποτελέσματα έδειξαν ότι μπορεί να διαφοροποιούνται σημαντικά με τον χρόνο, όσο το ενεργειακό μείγμα μεταβάλλεται, ειδικά στην περίπτωση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στην Ελλάδα η εφαρμογή των καινοτόμων υαλοπινάκων στο 20% των κτηρίων γραφείων το 2030, έδειξε εξοικονόμηση της ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας της τάξης του 2,5% και μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 2,5%, κυρίως λόγω της μείωσης των ηλιακών κερδών μέσω των υαλοπινάκων, που μείωσε την απαίτηση σε ψύξη. Η αντίστοιχη εφαρμογή στη Σουηδία, έδειξε μία μείωση 0,9% της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και μία μικρή αύξηση 0,2% των εκπομπών CO₂, δηλαδή παρουσίασε μικρότερα οφέλη λόγω του ψυχρού κλίματος διότι η μείωση των ηλιακών κερδών αντισταθμίζεται με την αύξηση της απαίτησης σε θέρμανση. Συνεπώς στην περίπτωση της Ελλάδας υπάρχει προοπτική ανάπτυξης και εφαρμογής θερμοχρωμικών/ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας.

Abstract

This thesis assesses the energy and CO₂ emission savings, in terms of heating, cooling, and artificial lighting, achieved in office buildings with high Window to Wall Ratio, located in Greece and Sweden. In a previous study by Detsi et al.,2020, only a heat pump system was considered as a means of heating the building, but instead in the present work, all heating systems that can be found in office buildings were taken into account, based on data from Eurostat. In addition, the Life Cycle Assessment method was used, to calculate the annual primary energy demand and CO₂ emissions, using the actual energy mix of each country, in buildings with triple pane windows combining thermochromic and electrochromic layers. This method can be used to update the primary energy coefficients and CO₂ emission coefficients, in national building regulations, as the results showed that they could vary significantly over time as the energy mix changes, especially in electricity production. In Greece, the application of these innovative glazing systems at the 20% of office building stock, achieved an 2,5% reduction, both in annual primary energy demand and CO₂ emissions, mainly due to the reduction of heat gains through the windows that reduced the demand for cooling. To the contrary, in Sweden, the benefits were minimal, a 0,9% reduction in annual primary energy demand and a 0,2% increase in CO₂ emissions, because of the increase of heating demand compensated the reduction of cooling demand. Therefore, in the case of Greece, there is a prospect of developing and applying thermochromic/electrochromic glazing systems with the aim of saving energy.

Η διπλωματική εργασία είναι αφιερωμένη στους γονείς μου, Βασίλειο και Άννα, για τη πίστη τους σε εμένα καθώς και την αστείρευτη συναισθηματική, ψυχική και ψυχολογική υποστήριξη που μου έδειξαν όλα αυτά τα χρόνια.

Περιεχόμενα

Περίληψη	2
Abstract	4
Περιεχόμενα	6
Κατάλογος Σχημάτων	8
Κατάλογος Πινάκων	11
1 Εισαγωγή	13
1.1 Σκοπός Εργασίας	13
1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	13
1.3 Δομή Εργασίας	15
2 Η παρούσα κατάσταση στον κτιριακό τομέα στην Ευρώπη: Πολιτικές, σχεδιασμοί και τα Κτίρια Μηδενικής Ενέργειας	16
2.1 Εισαγωγή.....	16
2.2 Η αναδιτύπωση της οδηγίας EPDB	17
2.3 Κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας - ορισμοί.....	19
3 Η/Θ υαλοπίνακες για την βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων	21
3.1 Εναλλάξιμα παράθυρα	22
3.1.1 Θερμοχρωμικά παράθυρα.....	23
3.1.2 Φωτοχρωμικοί υαλοπίνακες	24
3.1.3 Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες	25
3.1.4 Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες με νανοκρυστάλλους στον ύαλο	26
3.1.5 Αεριοχρωμικοί υαλοπίνακες	27
3.1.6 Υαλοπίνακες υγρών κρυστάλλων	28
3.2 Χρήσεις και χαρακτηριστικά Ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων	29
3.3 Χρήσεις και χαρακτηριστικά Θερμοχρωμικών υαλοπινάκων	31
4 Συστήματα θέρμανσης/δροσισμού στον τριτογενή τομέα	33
4.1 Παθητικά Συστήματα	33
4.1.1 Παθητικά συστήματα Θέρμανσης	33
4.1.2 Παθητικά συστήματα δροσισμού/ψύξης.....	37
4.2 Ενεργητικά Συστήματα	40
4.2.1 Συστήματα θέρμανσης	40
4.2.2 Συστήματα ψύξης	48
4.2.3 Συστήματα μηχανικού αερισμού-εξαερισμού	52
5 Ενεργειακή / περιβαλλοντική ανάλυση	53

5.1	Μεθοδολογία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ).....	53
5.2	Διατύπωση προβλήματος.....	53
5.3	Κύριοι στόχοι	54
5.4	Στάδια εφαρμογής	54
5.4.1	Καθορισμός ενεργειακών/περιβαλλοντικών δεικτών	55
5.4.2	Περιγραφή εφαρμογής Η/Θ υαλοπινάκων	56
5.4.3	Περιγραφή εναλλακτικών συστημάτων θέρμανσης/δροσισμού.....	59
5.4.4	Αλυσίδες παραγωγής, μεταφοράς και διανομής καυσίμων και ηλεκτρισμού	60
5.4.5	Κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση/ψύξη κτηρίων γραφείων	67
5.5	Υπολογιστικό εργαλείο AKZ (SimaPro)	70
5.5.1	Μοντελοποίηση	70
5.6	Αποτελέσματα	76
5.6.1	Δείκτης Αθροιστικής Ενεργειακής Απαιτήσης	77
5.6.2	Δείκτης Δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη	79
5.6.3	Υπολογισμός συντελεστών μετατροπής πρωτογενούς ενέργειας και εκπομπών CO ₂	80
5.6.4	Υπολογισμός ετήσιας χρήσης πρωτογενούς ενέργειας και εκπομπών CO ₂ , σε κτήρια γραφείων	82
5.6.5	Συγκριτική Αξιολόγηση του κτηρίου στην Αθήνα και στην Στοκχόλμη	89
6	Συμπεράσματα	97
7	Βιβλιογραφία	98
	Παράρτημα Α	101

Κατάλογος Σχημάτων

Εικόνα 2-1 Διαφορετικοί ορισμοί για την κατασκευή χαμηλής ενέργειας (Gilijamse , 1995) .	20
Εικόνα 3-1 Ταξινόμηση των υπαρχόντων τεχνολογιών δυναμικών προσόψεων κατά τους (Attia, et al. 2020).....	22
Εικόνα 3-2 Η λειτουργία του θερμοχρωμικού επιστρώματος (Costanzo, Evola, & Marletta, 2016).....	24
Εικόνα 3-3 Λειτουργία του φωτόχρωμικού επιστρώματος (Fries, Fink-Straube, Menning, & Schmidt, 2011).....	25
Εικόνα 3-4 Λειτουργία του ηλεκτροχρωμικού υαλοπίνακα (Casini, 2018)	26
Εικόνα 3-5 Λειτουργία του NC υαλοπίνακα (Casini, 2018).....	27
Εικόνα 3-6 Λειτουργία του GC υαλοπίνακα (Casini, 2018)	28
Εικόνα 3-7 Λειτουργία υαλοπίνακα υγρών κρυστάλλων (Seung-Won, Sang-Hyeok, Jong-Min, & Tae-Hoon, 2018)	29
Εικόνα 3-8 Εφαρμογή των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων E-Control της Pilkington σε κτίριο γραφείων	30
Εικόνα 4-1 Σύστημα Άμεσου Ηλιακού Κέρδους.....	33
Εικόνα 5-1 Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας που ακολουθήθηκε.....	55
Εικόνα 5-2 (a) το μοντέλο του κτηρίου, (b) κάτοψη του κτηρίου (Detsi et al., 2020).....	57
Εικόνα 5-3 Αλυσίδα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής φυσικού αερίου.....	60
Εικόνα 5-4 Αλυσίδα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής πετρελαίου.	61
Εικόνα 5-5 Αλυσίδα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού.	63
Εικόνα 5-6 Απεικόνιση ενός τυπικού δικτύου διανομής ηλεκτρισμού (Grigsby, L.L. 2012)...	64
Εικόνα 5-7 Ενεργειακό μείγμα του ηλεκτρισμού για την Ελλάδα τα έτος 2020 κα 2030.	65
Εικόνα 5-8 Ενεργειακό μείγμα του ηλεκτρισμού για την Σουηδία τα έτος 2020 κα 2030.	66
Εικόνα 5-9 Ενεργειακό μείγμα τηλεθέρμανσης για την Σουηδία το 2020 και 2030.	66
Εικόνα 5-10 Ενεργειακό μείγμα για την θέρμανση των χώρων σε κτήρια γραφείων στην Ελλάδα.....	68
Εικόνα 5-11 Ενεργειακό μείγμα για την θέρμανση των χώρων σε κτήρια γραφείων στην Σουηδία.	70
Εικόνα 5-12 Γενική σχηματική απεικόνιση των εισόδων και εξόδων των διεργασιών στο SimaPro.	76
Εικόνα 5-13 Σχηματική απεικόνιση της διεργασίας που αφορά την αντλία θερμότητας στο SimaPro.....	76
Εικόνα 5-14 Σχηματική απεικόνιση της διεργασίας που αφορά την παραγωγή τηλεθέρμανσης στο SimaPro.....	76
Εικόνα 5-15 Σχεδιάγραμμα με τους δείκτες Αθροιστικής Ενεργειακής Απαίτησης, για κάθε πηγή ενέργειας στην Ελλάδα.	78
Εικόνα 5-16 Σχεδιάγραμμα με τους δείκτες Αθροιστικής Ενεργειακής Απαίτησης, για κάθε πηγή ενέργειας στην Σουηδία.	78

Εικόνα 5-17	Σχεδιάγραμμα με τους δείκτες δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη, για κάθε πηγή ενέργειας στην Ελλάδα.	79
Εικόνα 5-18	Σχεδιάγραμμα με τους δείκτες δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη, για κάθε πηγή ενέργειας στην Σουηδία.	80
Εικόνα 5-19	Σχεδιάγραμμα με του συντελεστές μετατροπής σε ενεργεία ενός MJ θερμότητας για την Ελλάδα.	81
Εικόνα 5-20	Σχεδιάγραμμα με του συντελεστές μετατροπής σε ενεργεία ενός MJ θερμότητας για την Σουηδία.	81
Εικόνα 5-21	Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την περίπτωση αναφοράς (case 1) με τριπλό υαλοπίνακα στην Αθήνα.	83
Εικόνα 5-22	Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την περίπτωση αναφοράς (case 2) με θερμοχρωμικό υαλοπίνακα στην Αθήνα.	84
Εικόνα 5-23	Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την περίπτωση αναφοράς (case 4) με συνδυασμό θερμοχρωμικού και ηλεκτροχρωμικού υαλοπίνακα στην Αθήνα.	85
Εικόνα 5-24	Ετήσιες εκπομπές CO ₂ για όλες τις περιπτώσεις υαλοπινάκων στην Αθήνα.	86
Εικόνα 5-25	Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την περίπτωση αναφοράς (case 1) με τριπλό υαλοπίνακα στην Στοκχόλμη.	87
Εικόνα 5-26	Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την περίπτωση αναφοράς (case 2) με θερμοχρωμικό υαλοπίνακα στην Στοκχόλμη.	87
Εικόνα 5-27	Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την περίπτωση αναφοράς (case 4) με συνδυασμό θερμοχρωμικού και ηλεκτροχρωμικού υαλοπίνακα στην Στοκχόλμη.	88
Εικόνα 5-28	Ετήσιες εκπομπές CO ₂ για όλες τις περιπτώσεις υαλοπινάκων στην Στοκχόλμη.	89
Εικόνα 5-29	Σύγκριση συντελεστών μετατροπής πρωτογενούς ενέργειας μεταξύ Ελλάδας και Σουηδίας.	90
Εικόνα 5-30	Σχεδιάγραμμα με τους συντελεστές εκπομπών CO ₂ για κάθε MJ θερμότητας, για την Ελλάδα και την Σουηδία.	91
Εικόνα 5-31	Συνολική ετήσια χρήση πρωτογενούς ενέργειας για τους διάφορους υαλοπίνακες στην Αθήνα.	92
Εικόνα 5-32	Συνολική ετήσια χρήση πρωτογενούς ενέργειας για τους διάφορους υαλοπίνακες στην Στοκχόλμη.	92
Εικόνα 5-33	Συνολική αιτήσια χρήση πρωτογενούς ενέργειας για τους διάφορους υαλοπίνακες, χρησιμοποιώντας μόνο αντλίες θερμότητας για την θέρμανση.	93
Εικόνα 5-34	Υπολογισμός της ετήσιας χρήσης ενέργειας, με την αντικατάσταση του 20% των υαλοπινάκων των κτηρίων με θερμοχρωμικούς και ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες στην Ελλάδα.	94
Εικόνα 5-35	Υπολογισμός της ετήσιας χρήσης ενέργειας, με την αντικατάσταση του 20% των υαλοπινάκων των κτηρίων με θερμοχρωμικούς και ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες στην Σουηδία.	95
Εικόνα 5-36	Υπολογισμός των ετήσιων εκπομπών CO ₂ , με την αντικατάσταση του 20% των υαλοπινάκων των κτηρίων με θερμοχρωμικούς και ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες στην Ελλάδα.	95

Εικόνα 5-37 Υπολογισμός των ετήσιων εκπομπών CO ₂ , με την αντικατάσταση του 20% των υαλοπινάκων των κτηρίων με θερμοχρωμικούς και ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες στην Σουηδία.....	96
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 5-1	Θερμικές και οπτικές ιδιότητες των διάφορων μονωτικών παραθύρων (Detsi et al., 2020).....	58
Πίνακας 5-2	Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες για τις διαφορετικές περιπτώσεις υαλοπινάκων στην Αθήνα (Detsi et al., 2020).....	59
Πίνακας 5-3	Ενεργειακές ανάγκες για τις διαφορετικές περιπτώσεις υαλοπινάκων στην Στοκχόλμη (Detsi et al., 2020).....	59
Πίνακας 5-4	Ενεργειακό μείγμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα το έτος 2020 και 2030 (Hellenic Ministry of the Environment and Energy - Hellenic Republic, 2019).....	64
Πίνακας 5-5	Ενεργειακό μείγμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Σουηδία το έτος 2020 και 2030 (Energimyndigheten 2021).	65
Πίνακας 5-6	Ενεργειακό μείγμα για την παραγωγή τηλεθέρμανσης για την Σουηδία το 2020 και 2030 (Energimyndigheten 2021).	66
Πίνακας 5-7	Τελική κατανάλωσης ενέργειας στον τριτογενή τομέα για την Ελλάδα το έτος 2020 και 2030. (European Commission, Directorate-General for Energy, 2016).....	67
Πίνακας 5-8	Τελική κατανάλωσης ενέργειας στα κτήρια γραφείων ανά είδος χρήσης στην Ελλάδα. (European Commission, Directorate-General for Energy, 2016).....	67
Πίνακας 5-9	Ενεργειακό μείγμα για θέρμανση/ψύξη των χώρων σε κτήρια γραφείων στην Ελλάδα. (European Commission, Directorate-General for Energy, 2016).....	68
Πίνακας 5-10	Τελική κατανάλωσης ενέργειας στον τριτογενή τομέα για την Σουηδία το έτος 2020 και 2030 (European Commission, Directorate-General for Energy, 2016).....	69
Πίνακας 5-11	Τελική κατανάλωσης ενέργειας στα κτήρια γραφείων ανά είδος χρήσης στην Σουηδία (European Commission, Directorate-General for Energy, 2016).....	69
Πίνακας 5-12	Ενεργειακό μείγμα για θέρμανση/ψύξη των χώρων σε κτήρια γραφείων στην Σουηδία (European Commission, Directorate-General for Energy, 2016).....	69
Πίνακας 5-13	Πίνακας δεδομένων των διεργασιών στο SimaPro για την παραγωγή ηλεκτρισμού στην Ελλάδα το 2020 και 2030.....	70
Πίνακας 5-14	δεδομένων των διεργασιών στο SimaPro για την παραγωγή ηλεκτρισμού στην Σουηδία το 2020 και 2030.	71
Πίνακας 5-15	Πίνακας δεδομένων της διεργασίας στο SimaPro για την τηλεθέρμανση στην Σουηδία το 2020 και 2030.	71
Πίνακας 5-16	Πίνακας δεδομένων της διεργασίας στο SimaPro για την παραγωγή θερμότητας από την καύση φυσικού αερίου στην Ελλάδα.	72
Πίνακας 5-17	Πίνακας δεδομένων της διεργασίας στο SimaPro για την παραγωγή θερμότητας από την καύση φυσικού αερίου στην Σουηδία.	72
Πίνακας 5-18	Πίνακας δεδομένων της διεργασίας στο SimaPro για την παραγωγή θερμότητας από την καύση πετρελαίου.	73

Πίνακας 5-19	Πίνακας δεδομένων της διεργασίας στο SimaPro για την παραγωγή θερμότητας από την καύση βιομάζας.	74
Πίνακας 5-20	Πίνακας δεδομένων της διεργασίας στο SimaPro για την παραγωγή θερμότητας από ηλιακούς συλλέκτες.	75
Πίνακας 5-21	Πίνακας δεδομένων της διεργασίας στο SimaPro για την λήψη θερμότητας από αντλία θερμότητας αέρα-νερού.	75
Πίνακας 5-22	Συγκεντρωτικός πίνακας με την τιμή του Δείκτη Αθροιστικής Ενεργειακής Απαίτησης για κάθε πηγή ενέργειας στην Ελλάδα.	77
Πίνακας 5-23	Συγκεντρωτικός πίνακας με την τιμή του Δείκτη Αθροιστικής Ενεργειακής Απαίτησης για κάθε πηγή ενέργειας στην Σουηδία.	77
Πίνακας 5-24	Συγκεντρωτικός πίνακας με την τιμή του δείκτη του δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη για κάθε πηγή ενέργειας στην Ελλάδα.	79
Πίνακας 5-25	Συγκεντρωτικός πίνακας με την τιμή του δείκτη του δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη για κάθε πηγή ενέργειας στην Σουηδία.	79
Πίνακας 5-26	Συγκεντρωτικός πίνακας με του συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια ενός MJ θερμότητας που φτάνει στο κτήριο για την Ελλάδα.	80
Πίνακας 5-27	Συγκεντρωτικός πίνακας με του συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια ενός MJ θερμότητας που φτάνει στο κτήριο για την Σουηδία.	82
Πίνακας 5-28	Συγκεντρωτικός πίνακας με του συντελεστές εκπομπών CO ₂ για κάθε MJ θερμότητας που φτάνει στο κτήριο για την Ελλάδα και την Σουηδία.	82
Πίνακας 5-29	Συγκριτικός πίνακας με τους συντελεστές μετατροπής της τελικής κατανάλωσης κτηρίου σε πρωτογενή ενέργεια σε κτήρια για την Ελλάδα. (KENAK)	90
Πίνακας 5-30	Συγκριτικός πίνακας με τους συντελεστές μετατροπής της τελικής κατανάλωσης κτηρίου σε πρωτογενή ενέργεια σε κτήρια για την Σουηδία. (Swedish National Board of Housing)	90
Πίνακας 5-31	Συγκριτικός πίνακας με τους εκλυόμενους ρύπους ανά μονάδα ενέργειας για την περίπτωση της Ελλάδας.	91
Πίνακας 5-32	Προσεγγιστικός υπολογισμός της συνολικής επιφάνειας των κτηρίων παραγωγής και των γραφείων σε Ελλάδα και Σουηδία. (European Commission, Directorate-General for Energy, 2016)	94

1 Εισαγωγή

1.1 Σκοπός Εργασίας

Η παρούσα εργασία πραγματεύεται την ενεργειακή και περιβαλλοντική ανάλυση συνδυασμού Ηλεκτροχρωμικών/Θερμοχρωμικών υαλοπινάκων και υφιστάμενων συστημάτων κτηριακής θέρμανσης/δροσισμού, με εστίαση στα κτίρια του τριτογενούς τομέα.

1.2 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Για πολλά χρόνια, διεθνείς οργανισμοί αποδίδουν τεράστια σημασία στην ενεργειακή απόδοση του κτηρίου. Για παράδειγμα, ένας από τους στόχους των σχεδίων δράσης της ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση για το 2030 είναι η μείωση, έως το 2050, του αερίου του θερμοκηπίου κατά περισσότερο από 95% κάτω από τα επίπεδα του 1990. Επί του παρόντος, ο κατασκευαστικός τομέας αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 35% των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου στην Ευρώπη και περισσότερο από το 40% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας (Raji, Tenpierik, & Van den Dobbela, 2016). Επιπλέον, υπάρχει ανάγκη να ληφθεί μέριμνα για την εσωτερική άνεση των ατόμων μέσα στα κτίρια (Luna-Navarro, et al., 2020). Παράλληλα, λόγω των τρεχουσών αναγκών και όλων των νέων και μελλοντικών καινοτομιών, η Ευρωπαϊκή Ένωση σκοπεύει να αναγνωρίσει την ευφυΐα του κτιρίου με τον λεγόμενο δείκτη ετοιμότητας ευφυΐας (Smart Readiness Indicator - SRI) (Vito, 2020).

Για να επιτευχθούν ορισμένα επίπεδα απαραίτητης άνεσης, όλοι οι τύποι κτιρίων χρειάζονται ενέργεια για να λειτουργήσουν. Για παράδειγμα, τα οικιακά κτίρια χρειάζονται ενέργεια για να λειτουργούν οι διάφορες συσκευές και για να απολαμβάνουν οι ένοικοι την επιθυμητή άνεση ενώ τα εμπορικά κτίρια (βιομηχανία και γραφεία) χρειάζονται ενέργεια για να παρέχουν στους χρήστες διάφορες υπηρεσίες. Όλες αυτές οι λειτουργίες χρειάζονται ηλεκτρικά / τεχνικά συστήματα που χρησιμοποιούν ενέργεια. Με την πάροδο του χρόνου, οι ενεργειακές απαιτήσεις αυξήθηκαν λόγω της κοινωνικοοικονομικής, βιομηχανικής και τεχνολογικής ανάπτυξης. Κατά τη διάρκεια της πετρελαϊκής κρίσης στις αρχές της δεκαετίας του 1970, ζητήματα όπως η ενεργειακή ζήτηση και η αποδοτικότητα ήταν τεράστιου πολιτικού, οικονομικού και τεχνικού ενδιαφέροντος παγκοσμίως. Κατά συνέπεια, αρκετές κυβερνήσεις εισήγαγαν ορισμένα μέτρα σε μια προσπάθεια να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση και να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας.

Δυστυχώς, ο τομέας των κατασκευών, ένας από τους τομείς με τις υψηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις, δεν συμπεριλήφθηκε στα πρώτα μέτρα. Μόνο σχετικά πρόσφατα επιστήμονες παγκοσμίως έχουν συνειδητοποιήσει τις υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις του κτιρίου και τη συμβολή του στην αύξηση των αερίων του θερμοκηπίου. Η συνειδητοποίηση ότι ο τομέας των κτιρίων χρησιμοποιεί περισσότερη ενέργεια από οποιονδήποτε άλλο μεμονωμένο τομέα οδήγησε στη θέσπιση διαφόρων μέτρων ενεργειακής απόδοσης και κτιριακών κανονισμών που στοχεύουν στη μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων. Αυτά τα πρώτα ενεργά μέτρα ήταν θετικά, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις οι βελτιώσεις στην άνεση αύξησαν τις ενεργειακές απαιτήσεις των κτιρίων.

Οι στόχοι ήταν η μείωση της ενεργειακής ζήτησης και η στόχευση της ενεργειακής απόδοσης για τη δημιουργία βιώσιμης ανάπτυξης κτιρίων, εξοικονόμηση φυσικών πόρων,

βοήθεια στην οικονομία και μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου και κατά συνέπεια μείωση της υπερθέρμανσης του πλανήτη. Αυτά είναι κρίσιμα ζητήματα καθώς η ταχεία αλλαγή του κλίματος και ο αυξανόμενος παγκόσμιος πληθυσμός θα έχουν τεράστιο αντίκτυπο στους φυσικούς πόρους και στον απαιτούμενο αριθμό κτιρίων. Ένας οικοδομικός τομέας χωρίς μετασχηματισμό και καινοτομία θα προβάλλει τεράστιες απαιτήσεις για ενέργεια για την ικανοποίηση των αναγκών των ανθρώπων και θα προκαλέσει ακόμη περισσότερα προβλήματα στον ήδη προβληματικό ενεργειακό τομέα.

Οι επιστήμονες έχουν τώρα μια νέα πρόκληση: να μειώσουν την ενεργειακή ζήτηση των κτιρίων χωρίς να συμβιβαστούν στην άνεση τους και να δημιουργήσουν κτίρια ικανά να αντιμετωπίσουν τις συνθήκες ενός μεταβαλλόμενου κλίματος τα επόμενα χρόνια. Η πρόκληση αυξάνεται καθώς οι ενεργειακές απαιτήσεις κτιρίων αντιπροσωπεύουν το 40-50% της παγκόσμιας ενέργειας και τα τελευταία χρόνια οι ενεργειακές απαιτήσεις στον εγχώριο τομέα έχουν αυξηθεί με ρυθμό 1% ετησίως.

Απαιτούνται περισσότερα μέτρα ενεργειακής απόδοσης και καινοτόμες τεχνολογίες για την εξάλειψη ή τουλάχιστον τη μείωση των συνεχώς αυξανόμενων ενεργειακών απαιτήσεων των κτιρίων. Επιπλέον, πρέπει να εφαρμόζονται μέτρα ενεργειακής απόδοσης τόσο στα νέα όσο και στα υπάρχοντα κτίρια. Τα τελευταία χρόνια οι κυβερνήσεις παγκοσμίως αυξάνουν τις προσπάθειες για τη βελτίωση της εξοικονόμησης ενέργειας και της ενεργειακής απόδοσης του κτιριακού τομέα. Για παράδειγμα, ένα σημαντικό βήμα στην Ευρώπη είναι η ευρωπαϊκή οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (2002/91 / ΕΚ, 2010/31 / ΕΕ), με στόχο τη μείωση της ενεργειακής ζήτησης του κτιριακού τομέα και την προώθηση της ενεργειακής απόδοσης.

Καθώς γίνονται γνωστές περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τον αντίκτυπο του κτιριακού τομέα στην ενεργειακή ζήτηση, πίσω από τα παρασκήνια υπάρχουν νέες μελέτες που επισημαίνουν την ανάγκη να εξεταστεί ένα κτίριο στο σύνολό του. Οι ειδικοί συζητούν τη «συνολική προσέγγιση του κτιρίου», μια νέα διαδικασία κτιρίου με την οποία ελαχιστοποιούνται οι απώλειες θέρμανσης και ψύξης, η σημαντική άνεση και το εσωτερικό περιβάλλον για τους επιβάτες είναι σημαντικός παράγοντας. Εν γένει η όλη προσπάθεια τείνει προς την κατεύθυνση της (μελλοντικής) ανάδειξης όλων των νεόκτιστων κτιρίων, είτε πρόκειται για κατοικίες είτε για κτίρια που αντιστοιχούν στον δευτερογενή ή το τριτογενή τομέα, ως κτιρίων μηδενικής κατανάλωσης ή ZEB (Zero Energy Buildings).

Ως προς αυτό, βασικό στοιχείο της εξέτασης αποτελούν οι «φάκελοι» των κτιρίων¹. Οι φάκελοι των κτιρίων είναι η διεπαφή μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού περιβάλλοντος και θα μπορούσαν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις τόσο στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, όσο και στην άνεση των κτιρίων (Raji, et al., 2016). Επιπλέον, οι καινοτόμοι φάκελοι κτιρίων θα μπορούσαν να γίνουν μια από τις βασικές λύσεις για τη μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και την αύξηση των επιδόσεων των κτιρίων (Attia, Lioure, & Declaude, 2020).

Ένα επίσης σημαντικό στοιχείο που εξετάζεται κατά τη προσπάθεια μετατροπής των υπό σχεδίαση και κατασκευή κτιρίων σε ZEB, αλλά και για την μετατροπή των υπάρχοντων σε υπό όρους ZEB κτίρια, αποτελούν και τα αντίστοιχα συστήματα θέρμανσης και δροσισμού των κτιρίων.

¹ Building envelopes

1.3 Δομή Εργασίας

Η δομή της εργασίας έχει ως εξής.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζεται μία συντομη βιβλιογραφική ανασκόπηση για την ανάγκη βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης του κτηριακού τομέα.

Στο δεύτερο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζεται εν συντομία η θεωρητική και σχεδιαστική προσέγγιση προς την κατασκευή κτιρίων ZEB, αναλύοντας τα βασικά χαρακτηριστικά αυτών και την επίδραση που τα εξεταζόμενα συστήματα στην εργασία έχουν προς αυτή την κατεύθυνση.

Στο τρίτο κεφάλαιο της εργασίας, πραγματοποιείται εστίαση στην τεχνολογική εξέλιξη των Ηλεκτροχρωμικών/Θερμοχρωμικών υαλοπινάκων και παρόμοιων τεχνολογιών που αξιοποιούνται για την βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά συστήματα, υπάρχοντα και προτεινόμενα, στην σχετική βιβλιογραφία για την θέρμανση/δροσισμό των κτιρίων και τον τρόπο που αυτά μπορούν να βελτιωθούν και να βελτιώσουν εν γένει την ενεργειακή αποδοτικότητα των κτιρίων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο της εργασίας παρουσιάζεται η μεθοδολογία της ενεργειακής και περιβαλλοντικής ανάλυσης που θα λάβει χώρα στα πλαίσια της εργασίας και τα αποτελέσματα της σχετικής ανάλυσης που διεξήχθη.

Στο έκτο και τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας.

2 Η παρούσα κατάσταση στον κτιριακό τομέα στην Ευρώπη: Πολιτικές, σχεδιασμοί και τα Κτίρια Μηδενικής Ενέργειας

2.1 Εισαγωγή

Η Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) στοχεύει σε δραστικές μειώσεις των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG) κατά 80% το 2050 σε σύγκριση με τα αντίστοιχα επίπεδα του 1990 (Official Journal of the European Union , 2010). Μία από τις κύριες ενεργειακές στρατηγικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης η «Ευρώπη 2020» αφορούσε στην μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας μέσω βελτιώσεων ενεργειακής απόδοσης και στην Ελλάδα, οι εν γένει οδηγίες συμπεριελήφθησαν στον ΚΕΝΑΚ (Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων).

Είναι ευρέως γνωστό ότι στην Ευρωπαϊκή Ένωση (ΕΕ) ο κτιριακός τομέας ευθύνεται για το 40% περίπου της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας και ότι το 36% των συνολικών εκπομπών CO₂ στην Ευρώπη καταλογίζονται στα υπάρχοντα κτίρια. Κατά την τελευταία δεκαετία, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή κυκλοφόρησε το πρώτο νομοθετικό μέσο με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων: «Η οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων» (“Energy Performance of Building Directive -EPBD) θεσπίστηκε το 2002 και ενημερώθηκε το 2010, ενώ συμπληρώθηκε το 2012 με την οδηγία της Ενεργειακής Αποδοτικότητας (Energy Efficiency Directive) (EC 2012)

Η αναδιατυπωμένη οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (EPBD) προέβλεπε ότι έως το 2020 όλα τα νέα κτίρια που έχουν κατασκευαστεί εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα πρέπει να έχουν σχεδόν μηδενικά επίπεδα ενέργειας. Αυτό σήμαινε ότι σε λιγότερο από μία δεκαετία, όλα τα νέα κτίρια έπρεπε να εγγυώνται πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση. Επιπλέον, οι χαμηλές ενεργειακές τους ανάγκες έπρεπε να καλύπτονται αδιαμφισβήτητα από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Ο βαθμός ολοκλήρωσης του εν λόγω προγράμματος δεν έχει ακόμα επιτευχθεί και ως προς αυτό υπάρχουν έντονες συζητήσεις για την επέκταση του χρονοδιαγράμματος.

Η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και η χρήση ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές στον τομέα των κτιρίων αποτελούν τα δύο σημαντικά επιτεύγματα που απαιτούνται για τη μείωση της ενεργειακής εξάρτησης και των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου.

Λαμβάνοντας υπόψη την ποικιλία του κτιριακού πολιτισμού και του κλίματος σε ολόκληρη την Ευρώπη, η οδηγία για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων απαιτεί από τα κράτη μέλη της ΕΕ να εκπονήσουν εθνικούς ορισμούς και να σχεδιάσουν εθνικό χάρτη πορείας προς σχεδόν ZEB κτίρια, αντικατοπτρίζοντας συγκεκριμένες εθνικές και περιφερειακές συνθήκες. Περισσότερο από το ένα τέταρτο του αριθμού των κτιρίων του 2050 δεν έχει ακόμη κατασκευαστεί και συνεπώς απαιτούνται περισσότερες προσπάθειες για την υποστήριξη της αποτελεσματικής εφαρμογής των κτιρίων χαμηλής ενέργειας σε όλη την Ευρώπη παρέχοντας καθοδήγηση, κοινές αρχές και ποιοτικούς ελέγχους των εννοιών. Οι βιώσιμοι, ισχυροί και εφικτοί ορισμοί της χώρας και τα πρότυπα της ΕΕ για την υποστήριξη της επιτυχούς εφαρμογής της οδηγίας είναι θεμελιώδεις για την πραγματοποίηση των προβλεπόμενων δυνατοτήτων εξοικονόμησης και για τη μεγιστοποίηση των κοινωνικοοικονομικών οφελών. Η κίνηση προς κτίρια πολύ χαμηλής

ενέργειας αναμένεται να οδηγήσει σε βαθύ μετασχηματισμό του κατασκευαστικού τομέα και να προκαλέσει σημαντική ανάπτυξη στην αγορά πολύ αποδοτικών τεχνολογιών. Αυτή η αναβάθμιση της αγοράς παρουσιάζει σημαντικό δυναμικό απασχόλησης λαμβάνοντας υπόψη τις θέσεις εργασίας που μπορούν να δημιουργηθούν και να προκληθούν σε ολόκληρη την Ευρώπη (Official Journal of the European Union , 2010).

Εκτός από τις συστάσεις για τα νέα κτίρια, η EPDB επισημαίνει επίσης ότι η ανακαίνιση του υπάρχοντος κτιριακού αποθέματος και η βελτίωση των ενεργειακών της επιδόσεων αναμένεται να διαδραματίσουν βασικό ρόλο στην αύξηση της ευρωπαϊκής ενεργειακής απόδοσης, λαμβάνοντας υπόψη το γεγονός ότι ο μέσος ετήσιος ρυθμός για το η κατασκευή νέων κτιρίων εντός των κρατών μελών της ΕΕ-15 είναι περίπου 1% και το ποσοστό αντικατάστασης είναι το 0,07% του υπάρχοντος αποθέματος. Οι εκτιμήσεις ορίζουν ότι μόνο το 25% των κτιρίων που θα υπάρχουν το 2050 δεν έχουν ήδη κατασκευαστεί, αυτό σημαίνει ότι το 75% των μελλοντικών αποθεμάτων έχει ήδη κατασκευαστεί.

2.2 Η αναδιατύπωση της οδηγίας EPDB

Η αναδιατύπωση της οδηγίας για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων (EPBD) εισήγαγε, στο άρθρο 9, τα «κτίρια σχεδόν μηδενικής ενέργειας» (nZEB) ως μελλοντική απαίτηση που θα εφαρμοζόταν από το 2019 και μετά για δημόσια κτίρια και από το 2021 και μετά για όλα τα νέα κτίρια. Η EPBD ορίζει ένα τέτοιο κτίριο ως εξής: Ένα nZEB είναι ένα «κτίριο που έχει πολύ υψηλή ενεργειακή απόδοση... []. Η σχεδόν μηδενική ή πολύ χαμηλή ποσότητα ενέργειας που απαιτείται πρέπει σε μεγάλο βαθμό να καλύπτεται από ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, συμπεριλαμβανομένης της ανανεώσιμης ενέργειας που παράγεται επί τόπου ή κοντά στο κτίριο.»

Τα σημαντικότερα σημεία της αναδιατυπωμένης οδηγίας περιλαμβάνουν:

- Δεν υπάρχει συγκεκριμένος στόχος για την ανακαίνιση ενός υπάρχοντος κτηρίου, αλλά τα κράτη μέλη αναπτύσσουν πολιτικές και λαμβάνουν μέτρα όπως στόχους προκειμένου να ενθαρρύνουν τον μετασχηματισμό κτιρίων που ανακαινίζονται σε κτίρια πολύ χαμηλής ενέργειας
- Το όριο των 1000 m² για μεγάλη ανακαίνιση, που υπάρχει στην πρώτη έκδοση του εγγράφου, διαγράφηκε και αυτό τέθηκε σε ισχύ όταν οι εθνικοί κανονισμοί είχαν εφαρμοστεί, στις αρχές του 2014.
- Εισάγονται ελάχιστες απαιτήσεις για εξαρτήματα για όλες τις αντικαταστάσεις και ανακαινίσεις, αν και για μεγάλες ανακαινίσεις, η ολιστική μεθοδολογία υπολογισμού είναι η προτιμώμενη μέθοδος με υπολογισμούς απόδοσης με βάση τις απαιτήσεις εξαρτημάτων που επιτρέπονται ως συμπλήρωμα ή εναλλακτικά
- Απαιτείται μια πιο λεπτομερής και αυστηρή διαδικασία για την έκδοση πιστοποιητικών ενεργειακής απόδοσης και θα απαιτηθούν συστήματα ελέγχου για τον έλεγχο της ορθότητας της πιστοποίησης απόδοσης.
- Τα κράτη μέλη θα πρέπει να επιβάλουν κυρώσεις για μη συμμόρφωση, που πρέπει να είναι αποτελεσματικές, αναλογικές και αποτρεπτικές.

Η EPBD δεν ορίζει μια ομοιόμορφη προσέγγιση για την εφαρμογή nZEB και ούτε περιγράφει μια μεθοδολογία υπολογισμού για το ενεργειακό ισοζύγιο. Για να προσθέσει ευελιξία, απαιτεί από τα κράτη μέλη να καταρτίσουν ειδικά σχεδιασμένα εθνικά σχέδια για την αύξηση του αριθμού nZEB που αντικατοπτρίζουν τις εθνικές, περιφερειακές ή τοπικές

συνθήκες. Τα εθνικά σχέδια θα πρέπει να μεταφράσουν την έννοια των nZEB σε πρακτικά και εφαρμόσιμα μέτρα και ορισμούς για να αυξήσουν σταθερά τον αριθμό τους.

Η μη ύπαρξη ενός σαφούς ορισμού nZEB αφήνει περιθώρια για ερμηνεία και η ευελιξία του ορισμού της EPBD και δημιουργεί ορισμένα ερωτήματα:

- πώς να διατηρηθεί ο ορισμός των nZEB αρκετά ευέλικτος ώστε να βασιστεί στα υπάρχοντα πρότυπα χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας
- πώς να προκύψει μια κίνηση προς ενεργειακά θετικά κτίρια
- πώς να οριστεί σωστά το απαιτούμενο μερίδιο των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- πώς να προσδιοριστεί η βέλτιστη ισορροπία μεταξύ ενεργειακής απόδοσης και ανανεώσιμης ενέργειας
- πώς να συνδεθεί ο ορισμός του nZEB με τις αρχές βελτιστοποίησης κόστους, ώστε να υπάρχει σύγκλιση και συνέχεια

Προς το παρόν, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή, τα κράτη μέλη της ΕΕ, οι ενδιαφερόμενοι και οι εμπειρογνώμονες συζητούν τις διάφορες πτυχές των nZEBs. Συνολικά, υπάρχει επείγουσα ανάγκη να καθιερωθούν κοινές αρχές και μέθοδοι που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από τα κράτη μέλη της ΕΕ για την επεξεργασία αποτελεσματικών, πρακτικών και καλά μελετημένων ορισμών nZEB.

Σε ολόκληρη την Ευρώπη υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία ορισμών και εθελοντικών προτύπων για κτίρια υψηλής ενεργειακής απόδοσης ή ακόμη και κτίρια ουδέτερα από το κλίμα, όπως: παθητική κατοικία, μηδενική ενέργεια, θετική ενέργεια, Minergie, Effinergie κ.λπ. Επιπλέον, αυτοί οι ορισμοί αναφέρονται σε διαφορετικά χαρακτηριστικά: ενέργεια τοποθεσίας, πηγή ενέργειας, κόστος ή εκπομπές. Επιπλέον, υπάρχουν πολλές παραλλαγές στις απαιτήσεις των παραπάνω προτύπων, ανάλογα με το εάν εξετάζονται νέα ή υπάρχοντα, οικιστικά ή μη οικιστικά κτίρια.

Συνήθως, τα κτίρια χαμηλής ενέργειας πρέπει να έχουν υψηλό επίπεδο μόνωσης, πολύ ενεργειακά αποδοτικά παράθυρα, υψηλό επίπεδο στεγανότητας και φυσικό / μηχανικό σύστημα εξαερισμού με πολύ αποτελεσματική ανάκτηση θερμότητας για τη μείωση των αναγκών θέρμανσης / ψύξης. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας / πόρων, όπως ως ηλιακοί θερμικοί συλλέκτες, φωτοβολταϊκά συστήματα, επί τόπου ανεμόμυλοι για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή συστημάτων συλλογής όμβριων υδάτων.

Σήμερα, περισσότερα από τα μισά κράτη μέλη (συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας) δεν έχουν επίσημα αναγνωρισμένο ορισμό για κτίρια χαμηλής ή μηδενικής ενέργειας, αλλά διάφορα κράτη μέλη έχουν ήδη καθορίσει μακροπρόθεσμες στρατηγικές και στόχους για την επίτευξη προτύπων χαμηλής ενέργειας για νέες κατοικίες. Μερικά από αυτά παρουσιάζουν κοινές προσεγγίσεις αλλά και σημαντικές διαφορές. Απαιτείται συγκέντρωση και βελτίωση των υφιστάμενων εννοιών για την ευθυγράμμισή τους με τις απαιτήσεις των nZEB που υποδεικνύονται από την EPBD και την οδηγία για τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Τρία βασικά ζητήματα που πρέπει να εξεταστούν καθώς οι υπάρχοντες ορισμοί κτιρίων χαμηλής ενέργειας εξελίσσονται προς έναν ορισμό nZEB πρέπει να επισημανθούν:

- Οι περισσότεροι από τους ορισμούς κτιρίων χαμηλής ενέργειας στις ευρωπαϊκές χώρες καθορίζουν ένα μέγιστο ποσοστό του ορίου των εθνικών κτιριακών προτύπων για την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο και έτος. Ωστόσο, υπάρχουν διαφορές μεταξύ των κρατών μελών της ΕΕ σχετικά με τον τρόπο υπολογισμού και έκφρασης της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας ενός κτιρίου

- Οι υπάρχοντες ορισμοί κτιρίων χαμηλής ενέργειας δεν δείχνουν συγκεκριμένα ένα μερίδιο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Η Αναδιατύπωση της EPBD δείχνει ότι η απαιτούμενη ενέργεια πρέπει να καλύπτεται σε σημαντικό βαθμό από ανανεώσιμες πηγές. Ειδικά αυτή η έλλειψη καθοδήγησης σχετικά με το μερίδιο των ανανεώσιμων πόρων δημιουργεί αναντιστοιχία μεταξύ των ισχυόντων κανονισμών ή ορισμών και του προαναφερθέντος ορισμού σχεδόν μηδενικής ενέργειας EPBD.
- Υπάρχουν διάφορα στοιχεία υπαρχουσών εννοιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάπτυξη του ορισμού των nZEB, όπως η αρχή της εργασίας με πρωταρχικούς στόχους που συνοδεύονται από «δευτερεύοντα όρια» σε συγκεκριμένα ζητήματα (όπως απαιτήσεις για μέγιστο ζήτηση ενέργειας και επιπρόσθετα όρια για τη θέρμανση της ενεργειακής ζήτησης σύμφωνα με την έννοια του παθητικού σπιτιού).

Αυτά τα προβλήματα πρέπει να επιλυθούν προκειμένου να επιτευχθεί ένας κοινός και ομοιογενής ορισμός των κτιρίων χαμηλής / μηδενικής ενέργειας

2.3 Κτίρια μηδενικής κατανάλωσης ενέργειας - ορισμοί

Η έννοια των ZEB δεν είναι κάτι καινούργιο. Τα τελευταία χρόνια, διάφοροι μηχανικοί και επιστήμονες πρότειναν νέες ιδέες και τεχνολογίες στις προσπάθειές τους να υιοθετήσουν νέες προσεγγίσεις για τη συστολή και τα σχέδια των κτιρίων. Δυστυχώς, μέχρι τώρα αυτές οι νέες έννοιες ήταν μόνο ιδέες που υποστηρίζονται από λίγους.

Ωστόσο, φράσεις όπως «ένα κτίριο μηδενικής ενέργειας», «ένα αυτόνομο ενεργειακά ουδέτερο κτίριο» ή «ένα κτίριο ενεργειακά ανεξάρτητο» έχουν εμφανιστεί σε άρθρα από τα τέλη της δεκαετίας του εβδομήντα, όταν εμφανίστηκαν για πρώτη φορά οι συνέπειες της πετρελαϊκής κρίσης. Τότε, το μεγάλο ζήτημα προέκυψε σε σχέση με τις φυσικές πηγές και τα ορυκτά καύσιμα που οδήγησαν τους ερευνητές να αναζητήσουν εναλλακτικές πηγές ενέργειας και να αρχίσουν να συζητούν τη χρήση ενέργειας. Παρά τη σοβαρότητα των ενεργειακών προβλημάτων, οι πρώτες προσεγγίσεις αφορούσαν σε ενεργειακά αποδοτικές τεχνολογίες και παθητικές λύσεις. Επιπλέον, η λέξη «μηδέν» αφορούσε / αναφερόταν μόνο στην ενέργεια για θέρμανση, ψύξη και το νερό (Esbensen & Korsgaard, 1977).

Με τα χρόνια, οι ορισμοί του ZEB διέφεραν λόγω των διαφορετικών προσεγγίσεων. Η έλλειψη κοινής κατανόησης και ορισμού προκάλεσε ευρεία συζήτηση. Κατά τη διάρκεια όλων αυτών των προσπαθειών για την επίτευξη ενός κοινού ορισμού, δόθηκε μια ποικιλία διαφορετικών ορισμών, καθένας από τους οποίους περιλαμβάνει διαφορετικούς παράγοντες και προσεγγίσεις όπως «πώς επιτυγχάνεται ο στόχος μηδενικής ενέργειας», «ποια είναι η αλληλεπίδραση του κτιριακού δικτύου», «άνισες ενεργειακές ιδιότητες στο το ενεργειακό ισοζύγιο », « ποια είναι τα όρια του έργου για το υπόλοιπο; » (Esbensen & Korsgaard, 1977)

Σε γενικές γραμμές, όλες οι προσεγγίσεις στοχεύουν στη δημιουργία κτιρίων νέας γενιάς που θα είναι ενεργειακά αποδοτικά με ενεργειακό προφίλ χαμηλής λειτουργίας και ενέργεια που πρέπει να παρέχεται κυρίως από ανανεώσιμες πηγές. Η καρδιά της έννοιας του ZEB είναι η ιδέα ότι τα κτίρια μπορούν να καλύψουν όλες τις ενεργειακές τους ανάγκες από χαμηλού κόστους, τοπικά διαθέσιμες, μη ρυπογόνες, ανανεώσιμες πηγές (Esbensen & Korsgaard, 1977).

Εδώ και πολλά χρόνια, ένα αδύναμο σημείο των οδηγιών της Ευρώπης ήταν η αδυναμία καθορισμού ενός πλήρους ορισμού των κτιρίων χαμηλής/μηδενικής ενέργειας. Αναμφίβολα, με την πάροδο των ετών υπήρξαν πολλοί προτεινόμενοι ορισμοί από όλη την

Ευρώπη, αλλά το πρόβλημα ήταν πάντα το γεγονός ότι οι προσεγγίσεις διαφέρουν, μερικές φορές ακόμη και στην ίδια χώρα. Ένας κατάλογος ορισμών για τις χώρες της ΕΕ παρουσιάζεται στην εικόνα 1-1 (Charron, 2008).

Country	Official definition
Austria	<ol style="list-style-type: none"> 1. Low energy building = annual heating energy consumption below 60-40 kWh/m²gross area 30 % above standard performance) 2. Passive building = Feist passive house standard (15 kWh/m² per useful area (Styria) and per heated area (Tyrol))
Belgium	<ol style="list-style-type: none"> 1. Low Energy Class 1 for houses: 40 % lower than standard levels, 30 % lower for office and school buildings 2. Very low energy class: 60 % reduction for houses, 45 % for schools and office buildings
Czech Republic	<ol style="list-style-type: none"> 1. Low energy class: 51 – 97 kWh/m² p.a. 2. Very low energy class: below 51 kWh/m² p.a., also passive house standard of 15 kWh/m² is used
Denmark	<ol style="list-style-type: none"> 1. Low Energy Class 1 = calculated energy performance is 50% lower than the minimum requirement for new buildings 2. Low Energy Class 2 = calculated energy performance is 25% lower than the minimum requirement for new buildings (i.e. for residential buildings = $70 + 2200/A$ kWh/m² per year where A is the heated gross floor area, and for other buildings = $95 + 2200/A$ kWh/m² per year (includes electricity for building integrated lighting))
Finland	<ol style="list-style-type: none"> 1. Low energy standard: 40 % better than standard buildings
France	<ol style="list-style-type: none"> 1. New dwellings: the average annual requirement for heating, cooling, ventilation, hot water and lighting must be lower than 50 kWh/m² (in primary energy). This ranges from 40 kWh/m² to 65 kWh/m² depending on the climatic area and altitude. 2. Other buildings: the average annual requirement for heating, cooling, ventilation, hot water and lighting must be 50% lower than current Building Regulation requirements for new buildings 3. For renovation: 80 kWh/m² as of 2009
Germany	<ol style="list-style-type: none"> 1. Residential Low Energy Building requirements = kfW60 (60kWh/(m²•a) or KfW40 (40 kWh/(m²•a)) maximum energy consumption 2. Passive House = KfW-40 buildings with an annual heat demand lower than 15 kWh/m² and total consumption lower than 120 kWh/m²
England & Wales	<p>Graduated minimum requirements over time:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 2010 level 3 (25% better than current regulations), 2. 2013 level 4 (44% better than current regulations and almost similar to Passive House) 3. 2016 level 5 (zero carbon for heating and lighting), 4. 2016 level 6 (zero carbon for all uses and appliances)

Εικόνα 2-1 Διαφορετικοί ορισμοί για την κατασκευή χαμηλής ενέργειας (Gilijamse , 1995)

Αναμφίβολα, όλες αυτές οι προσπάθειες και οι ορισμοί των κτιρίων χαμηλής ενέργειας έχουν τον ίδιο στόχο, δηλαδή τη βελτίωση της υπάρχουσας και μελλοντικής ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων και τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Το επίκεντρο είναι η ανάπτυξη των τυπικών απαιτήσεων εναλλακτικής ενεργειακής απόδοσης στους κωδικούς δόμησης. Σε γενικές γραμμές, το ιδανικό κτίριο χαμηλής ενέργειας χρησιμοποιεί υψηλά επίπεδα μόνωσης, ενεργειακά αποδοτικά παράθυρα, χαμηλά επίπεδα διήθησης αέρα και αερισμού ανάκτησης θερμότητας για χαμηλότερη ενέργεια θέρμανσης και ψύξης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, τα κτίρια χαμηλής ενέργειας χρησιμοποιούν διαφορετικές ενεργειακά αποδοτικές τεχνικές - παθητικά ηλιακά ή ενεργά ηλιακά κτίρια - για να βελτιώσουν την απόδοσή τους (Crawley, 1998).

3 Η/Θ υαλοπίνακες για την βελτιστοποίηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιρίων

Τα τελευταία 30 χρόνια, τα διαθέσιμα νέα υλικά δομικών φακέλων και τα εξαρτήματα της πρόσοψης είναι όλο και περισσότερα. Ως μεσολαβητής μεταξύ του εξωτερικού και του εσωτερικού περιβάλλοντος, υπάρχουν πολλές λειτουργίες για μια πρόσοψη που επηρεάζουν τις αποδόσεις ενός κτιρίου (Böke, Knaack, & Hemmerling, 2019). Οι καινοτόμοι φάκελοι κτιρίων στοχεύουν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης καθώς και στην άνεση των χρηστών του εσωτερικού, την βελτίωση της υγείας τους και την μείωση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων (Casini, 2018). Ονομαζόμενες και προσαρμοστικές προσόψεις, είναι δυναμικοί φάκελοι κτιρίων που μπορούν να προσαρμοστούν στις μεταβαλλόμενες οριακές συνθήκες. Στην πραγματικότητα, αυτές οι καινοτόμες προσόψεις κτιρίων είναι σε θέση να προσαρμοστούν ανάλογα με τις εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες και τις δυναμικές απαιτήσεις των χρηστών τους και να διασφαλίσουν την πρόοδο της αλλαγής ενεργειακής απόδοσης. Οι λέξεις «δυναμική» ή «προσαρμοστική» χρησιμοποιούνται σε σχέση με την ικανότητα μιας πρόσοψης να επωφεληθεί ή να ανταποκριθεί στις οριακές συνθήκες για τη βελτίωση των παραστάσεων και των αναγκών του χρήστη (Attia, et al., 2018).

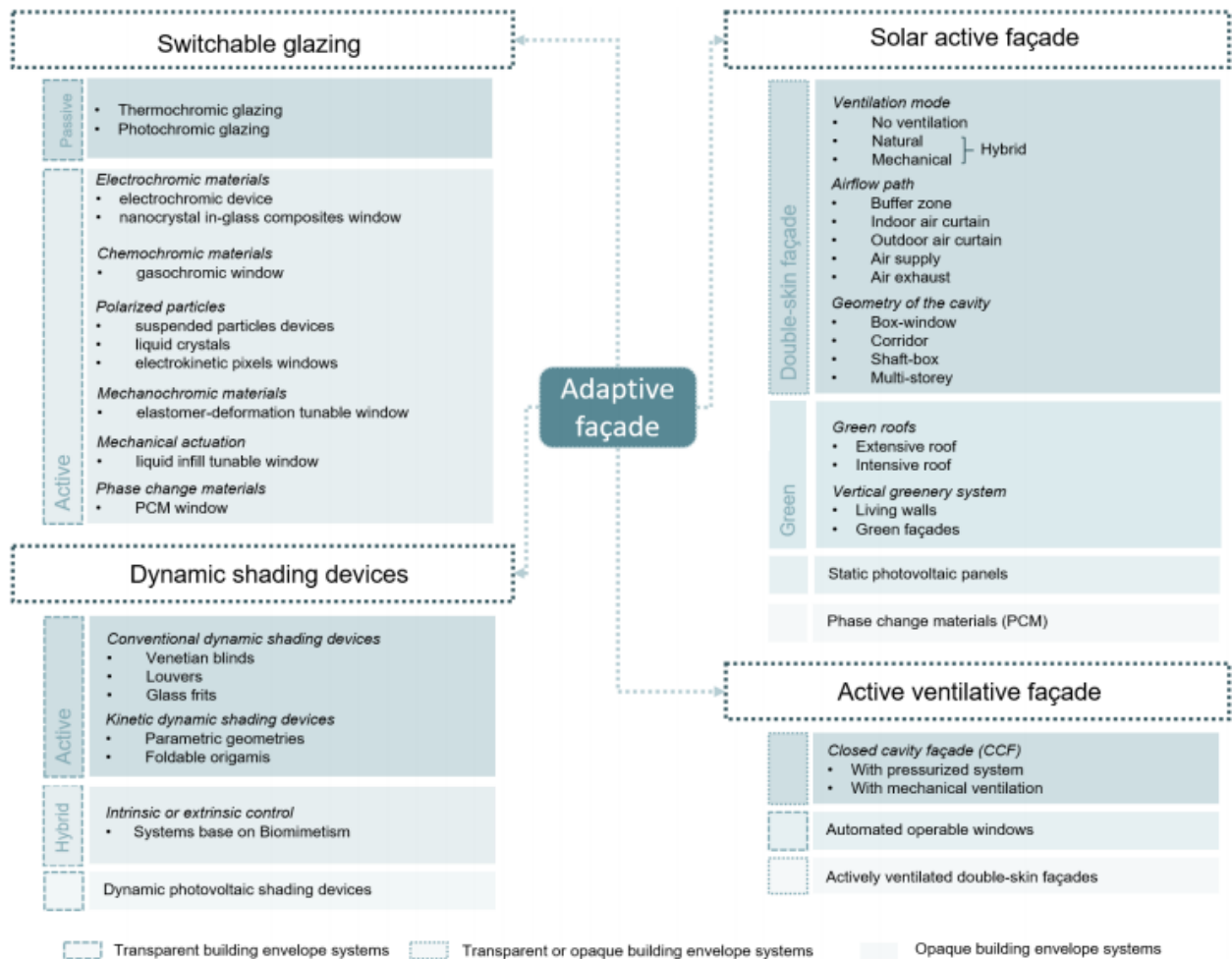
Πολλές επιστημονικές δημοσιεύσεις και σχετικές εργασίες έργα σχετικά με τέτοια συστήματα πρόσοψης δείχνουν σημαντικά οφέλη απόδοσης σε σύγκριση με τις συμβατικές εναλλακτικές λύσεις. Οι κύριες βελτιώσεις σχετίζονται με την εξοικονόμηση ενέργειας και τις θερμικές και οπτικές επιδόσεις με μείωση των αντανάκλασεων και της δυσφορίας (Casini, 2018). Τις περισσότερες φορές, έγιναν αναλύσεις σύγκρισης. Στην πραγματικότητα, με την αξιολόγηση της απόδοσης αυτού του τύπου πρόσοψης, είναι δυνατή η βελτιστοποίηση του σχεδιασμού, της λειτουργίας και της συντήρησής τους. Αντίθετα, ακολουθεί μια πρόκληση για την αξιολόγηση της δυναμικής πλευράς αυτών των προσόψεων. (Attia, et al., 2018).

Πολλές τεχνολογίες είναι επί του παρόντος διαθέσιμες στην αγορά και άλλες βρίσκονται ακόμη στο στάδιο του πειραματισμού. Η ταξινόμηση τους έχει προκύψει από τους Attia, et al. (2020) που πρότειναν μια τεχνική ταξινόμηση της προσαρμοστικής πρόσοψης με βάση συνεντεύξεις εμπειρογνομόνων προσόψεων και ανάλυση περιεχομένου. Σύμφωνα με αυτούς, τα εναλλάξιμα τζάμια, η κινητή σκίαση, η δυναμική μόνωση και οι πολυλειτουργικές προσόψεις είναι η πιο ελπιδοφόρα προσαρμοστική πρόσοψη για κτίρια (Favoino F., et al., 2018). Οι Al-Masrani et al., (2018) εξέτασαν ως επί το πλείστον τις υπάρχουσες συσκευές σκίασης και ο Casini (2018) ανέπτυξε μια ανασκόπηση των λεγόμενων εναλλασσόμενων υαλοπινάκων.

Από αυτές τις πηγές, φαίνεται ότι υπάρχουν τέσσερις κύριες κατηγορίες που μπορούν να θεωρηθούν ως δυναμικοί φάκελοι κτιρίων:

- Εναλλάξιμα παράθυρα
- Κινητές συσκευές σκίασης
- Ηλιακές ενεργές προσόψεις
- Ενεργές προσόψεις αερισμού

Οι δύο πρώτοι και οι τελευταίοι φάκελοι συγκεντρώνουν κυρίως διαφανείς κτιριακούς φακέλους, ενώ οι τρίτες ομάδες κυρίως αδιαφανείς προσόψεις. Η εικόνα 2 παρουσιάζει μια πρώτη ταξινόμηση των ανωτέρω κατηγοριών.



Εικόνα 3-1 Ταξινόμηση των υπαρχόντων τεχνολογιών δυναμικών προσώπων κατά τους (Attia, et al. 2020)

3.1 Εναλλάξιμα παράθυρα

Αυτά τα παράθυρα έχουν τη δυνατότητα να αλλάζουν τις οπτικές τους ιδιότητες και επομένως να διαμορφώσουν τα ηλιακά κέρδη ή το φως της ημέρας των εσωτερικών χώρων αντανακλώντας το ή απορροφώντας το (Sibilio, Iavarone, Mastantuano, Mantona, & D'Ausilio, 2018). Ο κύριος σκοπός αυτών των έξυπνων παραθύρων είναι η βοήθειά τους στη βελτίωση της οπτικής και θερμικής άνεσης. Περιορίζοντας την ηλιακή θερμότητα, η ενεργειακή απόδοση μπορεί επίσης να βελτιωθεί. Μερικά από τα παράθυρα με δυνατότητα εναλλαγής είναι ήδη στην αγορά, μερικά άλλα βρίσκονται σε φάση ανάπτυξης (Casini, 2018). Ονομάζονται επίσης χρωμογενή τζάμια², και ταξινομούνται ως (Sibilio, Iavarone, Mastantuano, Mantona, & D'Ausilio, 2018):

- Με παθητικό δυναμικό έλεγχο ο οποίος ονομάζεται επίσης εγγενής που σημαίνει ότι ο μηχανισμός μεταγωγής ενεργοποιείται αυτόνομα από ένα φυσικό ερέθισμα όπως η θερμοκρασία ή η ηλιακή ακτινοβολία. Αυτή είναι η περίπτωση του θερμοχρωμικού υλικού και της αλλαγής φάσης (θερμικά ερεθίσματα) και των φωτοχρωμικών (φωτεινών ερεθισμάτων) υαλοπινάκων.

² chromogenic

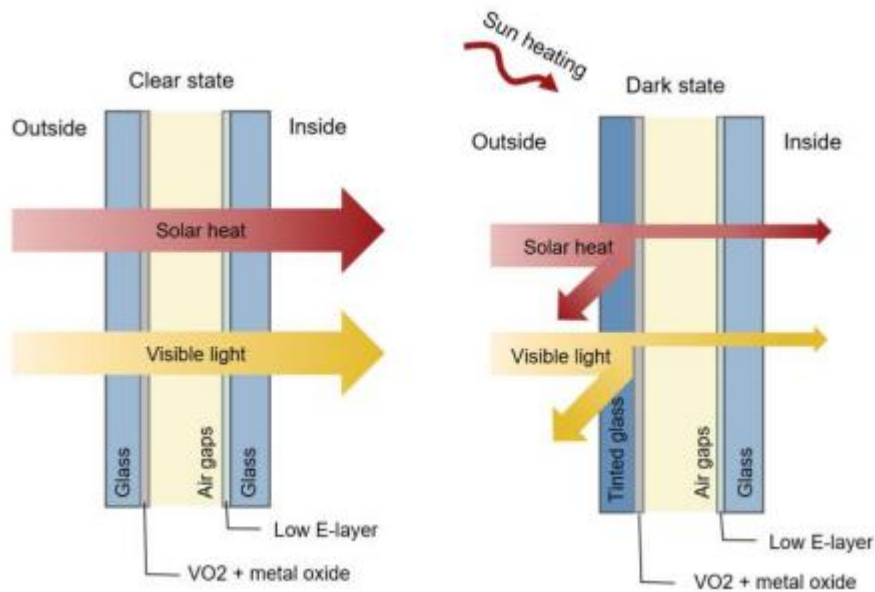
- Ενεργός δυναμικός έλεγχος που ονομάζεται επίσης εξωγενής. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται ένα εξωτερικό ερέθισμα για την αλλαγή του μηχανισμού. Αυτά τα εναλλάξιμα παράθυρα είναι πιο κατάλληλα όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας και αναφέρονται σε:
 - Ηλεκτροχρωμικά υλικά ως ηλεκτροχρωμική συσκευή ή παράθυρο σύνθετων νανοκρυστάλλων σε γυαλί
 - Χημειοχρωμικά υλικά ως αεριοχρωμικό παράθυρο
 - Πολωμένων σωματιδίων ως συσκευές αιωρούμενων σωματιδίων, υγροί κρύσταλλοι ή παράθυρα ηλεκτροκινητικών εικονοστοιχείων
 - Μηχανοχρωμικά υλικά ως ελαστομερές παραμορφώσιμο παράθυρο
 - Μηχανικής ενεργοποίησης ως ρυθμιζόμενο παράθυρο πλήρωσης υγρού
 - Υλικών αλλαγής φάσης που χρησιμοποιούνται επίσης σε αδιαφανείς τοίχους.

3.1.1 Θερμοχρωμικά παράθυρα

Τα θερμοχρωμικά παράθυρα (TCW³) είναι σε θέση να αλλάξουν το χρώμα τους από μια διαυγή σε μια σκοτεινή κατάσταση ανάλογα με τη θερμοκρασία. Στην πραγματικότητα, αυτοί οι τύποι παραθύρων έχουν τη δυνατότητα να ρυθμίζουν το φως και την ηλιακή θερμότητα που μεταδίδονται μέσω του παραθύρου σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του (Tällberg, et al., 2019). Ένα θερμοχρωμικό στρώμα τοποθετείται μεταξύ δύο γυάλινων υαλοπινάκων. Πάνω από ένα ορισμένο όριο θερμοκρασίας, εμφανίζεται μια μεταλλική απόχρωση και κάνει το θερμοχρωμικό υλικό να αντανακλά τις υπέρυθρες ακτινοβολίες. Η συνέπεια είναι ότι τα ηλιακά κέρδη το καλοκαίρι ελέγχονται και επιτρέπουν χαμηλότερη ζήτηση ψύξης.

Στην πραγματικότητα, χρησιμοποιώντας αυτό το είδος τεχνολογίας, οι επιδόσεις του εξαρτώνται πλήρως από τις εξωτερικές κλιματολογικές συνθήκες. Έτσι, τα μεταλλικά οξειδία χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον για την κατασκευή προσόψεων και ειδικά για το VO₂ στο οποίο έχουν επικολληθεί ιόντα βολφραμίου ή φθόριου για να ρυθμιστεί η θερμοκρασία μετάβασης αυτού του μεταλλικού οξειδίου ώστε να είναι κατάλληλη για οικοδομικές εφαρμογές. Συνήθως, μια επίστρωση χαμηλής εκπομπής τοποθετείται κοντά στον εσωτερικό υαλοπίνακα (Costanzo, Evola, & Marletta, 2016). Το παρακάτω Σχήμα (Εικόνα 3) βοηθά στην κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των θερμοχρωμικών υαλοπινάκων και προέρχεται από την τεχνολογική στάθμιση που παρουσίασε ο Costanzo.

³ Thermochromic windows



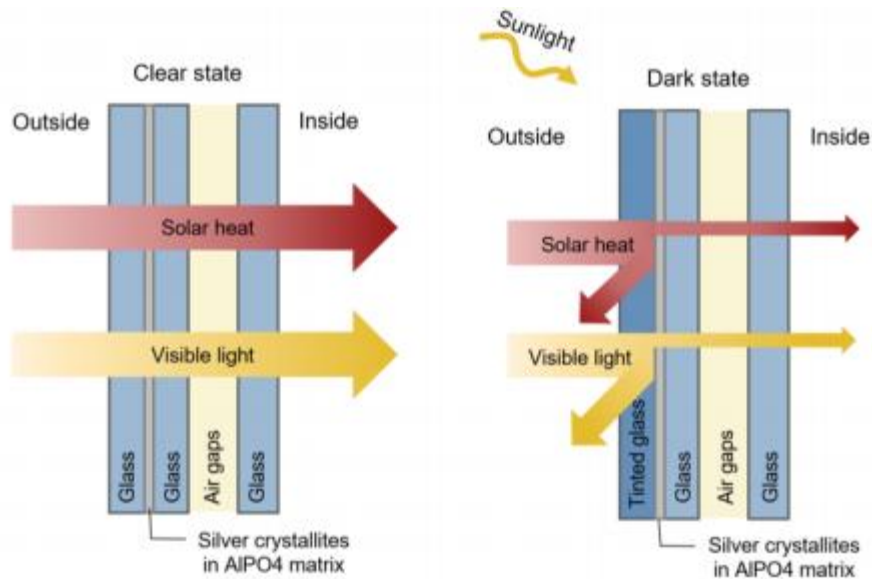
Εικόνα 3-2 Η λειτουργία του θερμοχρωμικού επιστρώματος (Costanzo, Enoia, & Marletta, 2016)

3.1.2 Φωτοχρωμικοί υαλοπίνακες

Τα φωτοχρωμικά παράθυρα (PCW⁴) λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο όπως τα θερμοχρωμικά τζάμια. Ωστόσο, μπορούν να διαμορφώσουν τη μετάδοση φωτός και την ηλιακή θερμότητα που μεταδίδεται ανάλογα με την ηλιακή ακτινοβολία αντί της θερμοκρασίας (Tällberg, et al., 2019). Τις περισσότερες φορές, το φωτοχρωμικό στρώμα είναι κατασκευασμένο από κρυσταλλίτες αργύρου ενσωματωμένους σε ένα AlPO₄ ή μια βοριοπυριπική μήτρα. Το χρώμα του χρωματισμένου γυαλιού εξαρτάται από το μέγεθος των κρυσταλλινών αργύρου. Τα φωτοχρωμικά γυαλιά υπάρχουν για περισσότερα από 50 χρόνια, αλλά έχουν διερευνηθεί ελάχιστα για τη χρήση τους στον κτιριακό τομέα. Στην πραγματικότητα, αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται συνήθως για γυαλιά ηλίου (Fries, Fink-Straube, Menning, & Schmidt, 2011).

Στην πραγματικότητα, πολύ λίγες πληροφορίες είναι διαθέσιμες σχετικά με τα φωτοχρωμικά παράθυρα. Το Σχήμα (Εικόνα 4) που ακολουθεί, απεικονίζει τη λειτουργία του φωτοχρωμικού γυαλιού και βασίζεται στη μελέτη του Fries. Στην πραγματικότητα, τα φωτοχρωμικά παράθυρα καθώς και τα θερμοχρωμικά παράθυρα χρησιμοποιούνται ελάχιστα στον κτιριακό τομέα λόγω της πλευράς τους που δεν επιτρέπει τον έλεγχο. Επιπλέον, λίγοι κατασκευαστές τα παράγουν (Tällberg, et al., 2019).

⁴ Photochromic windows



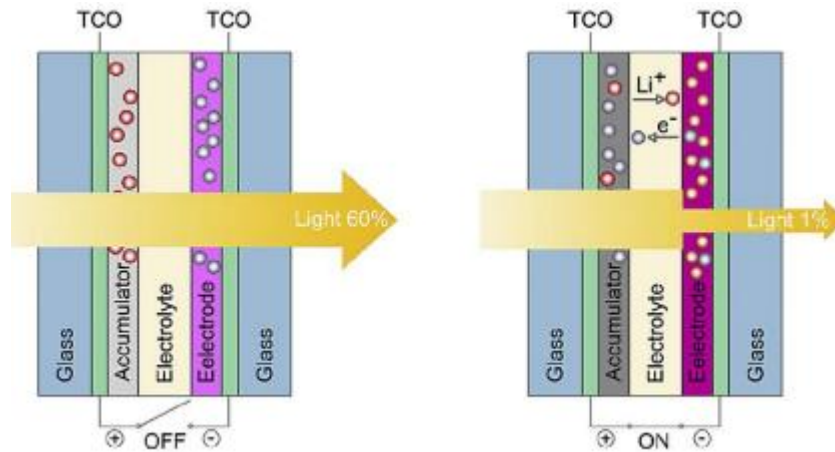
Εικόνα 3-3 Λειτουργία του φωτόχρωμικού επιστρώματος (Fries, Fink-Straube, Menning, & Schmidt, 2011)

3.1.3 Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες

Τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα (ECW) είναι σε θέση να αλλάξουν το χρώμα τους από μια διαυγή σε μια σκοτεινή κατάσταση με αντιδράσεις μείωσης ή οξειδωσης ως απόκριση σε εξωτερικά ηλεκτρικά ερεθίσματα. Αυτό θα βοηθήσει στη μείωση του φωτός και της ηλιακής θερμότητας που μεταδίδεται μέσω των υαλοπινάκων. Το ηλεκτροχρωμικό τζάμι αποτελείται από πέντε στρώσεις. Αποτελούνται από (Casini, 2018):

- Εξωτερική στρώση από διαφανές αγωγίμο οξείδιο
- Στρώμα συσσώρευσης ηλεκτρονίων που λειτουργεί ως αντίθετο ηλεκτρόδιο ($\text{Li}_x\text{V}_2\text{O}_5$)
- Ιονική στρώση αγωγού ή ηλεκτρολύτης (συνήθως LiAlF_4)
- Στρώμα ηλεκτροδίων (συνήθως WO_3 ή Nb_2O_5)
- Εξωτερική στρώση από διαφανές αγωγίμο οξείδιο

Εφαρμόζοντας μια τάση, τα ιόντα Li^+ μεταφέρονται από το στρώμα συσσώρευσης στο ηλεκτρόδιο και αλλάζουν το χρώμα σε σκοτεινή κατάσταση (Iuliano, et al., 2016). Αυτό γίνεται στο στρώμα συσσώρευσης (ανοδικός χρωματισμός λόγω της απώλειας ιόντων) ή στο στρώμα ηλεκτροδίου (καθοδικός χρωματισμός λόγω του κέρδους των ιόντων) ανάλογα με τα χρησιμοποιούμενα ηλεκτροχρωμικά υλικά. Εφαρμόζοντας ξανά μια τάση τα ιόντα επιστρέφουν από το ηλεκτρόδιο στο στρώμα συσσώρευσης και η συσκευή καθίσταται πάλι διαφανής (Sibilio, et al., 2018). Η εικόνα 5 παρουσιάζει τη σχήμα λειτουργία των ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων.



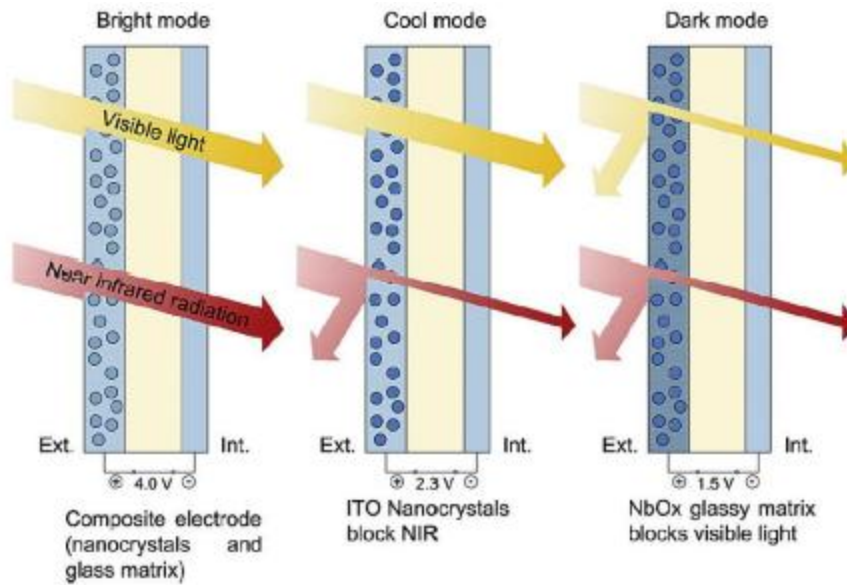
Εικόνα 3-4 Λειτουργία του ηλεκτροχρωμικού υαλοπίνακα (Casini, 2018)

Μία από τις ιδιαιτερότητες των ηλεκτροχρωμικών συσκευών είναι ότι θα μπορούσαν να φθάσουν σε διαφορετικές ενδιάμεσες καταστάσεις μεταξύ της πλήρους διαυγείας και της πλήρους αδιαφάνειας. Σήμερα, οι ηλεκτροχρωμικές συσκευές είναι οι πιο κατάλληλες για την κατασκευή φακέλων και εμπορευματοποιησίμων παραθύρων με δυνατότητα εναλλαγής. Αυτή η τεχνολογία εμφανίστηκε στην αγορά στις αρχές της δεκαετίας του 2000 και από τότε έχει βελτιωθεί. Για παράδειγμα, έχει την καλύτερη αποδεδειγμένη ανθεκτικότητα και μπορεί να αυτο-τροφοδοτείται από μια φωτοβολταϊκή μπαταρία που βρίσκεται στην άκρη του παραθύρου για την αποφυγή καλωδίων τροφοδοσίας (Casini, 2018) Έχουν γίνει πολλές μελέτες για τη διερεύνηση της βελτίωσης της απόδοσης των ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων και αυτές έδειξαν ότι η ηλεκτροχρωμική τεχνολογία επηρεάζει σημαντικά την ενεργειακή απόδοση, τη θερμική και οπτική άνεση (Aldawoud, 2013; Cannavale, Ayra, & Martellotta, 2018; Dussault & Gosselin, 2017; Frattolillo, Loddo, Mastino, & Baccoli, 2019; Mäkitalo, 2013; Tällberg, et al., 2019).

3.1.4 Ηλεκτροχρωμικοί υαλοπίνακες με νανοκρυστάλλους στον ύαλο

Τα Ηλεκτροχρωμικά παράθυρα με νανοκρυστάλλους στον ύαλο (NC⁵) δεν εμπορεύονται αυτήν τη στιγμή, αλλά αντιπροσωπεύουν μια πολλά υποσχόμενη ηλεκτροχρωμική αναδυόμενη τεχνολογία που θα μπορούσε να βελτιώσει τη συνολική απόδοση των ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων. Το NC αποτελείται από νανοκρύσταλλο οξειδίου του νιόβιου που είναι ενσωματωμένος σε μια γυάλινη μήτρα κατασκευασμένη από οξείδιο του νιοβίου (Sibilio, et al., 2018). Σε αντίθεση με τα ηλεκτροχρωμικά τζάμια, η τεχνολογία αυτή λειτουργεί απορροφώντας τόσο τα ιόντα Li⁺ όσο και χάνοντας ηλεκτρόνια από ένα στρώμα δότη. Μια πρώτη τάση μείωσης αυξάνει τους φορείς ιόντων στους νανοκρυστάλλους του λεπτού στρώματος οξειδίου και δίνει την κατάσταση ψύξης που απεικονίζεται στο Σχήμα (Εικόνα 6). Η ηλιακή θερμότητα είναι μπλοκαρισμένη αλλά το φως εξακολουθεί να μεταδίδεται μέσω του γυαλιού. Στη συνέχεια, η μείωση του οξειδίου του νιοβίου της γυάλινης μήτρας δημιουργείται μειώνοντας την τάση και επιτυγχάνεται τη σκοτεινή κατάσταση. Αυτή η κατάσταση εμποδίζει τα ηλιακά κέρδη καθώς και τη μετάδοση φωτός (Casini, 2018).

⁵ Nanocrystal-in-glass electrochromic



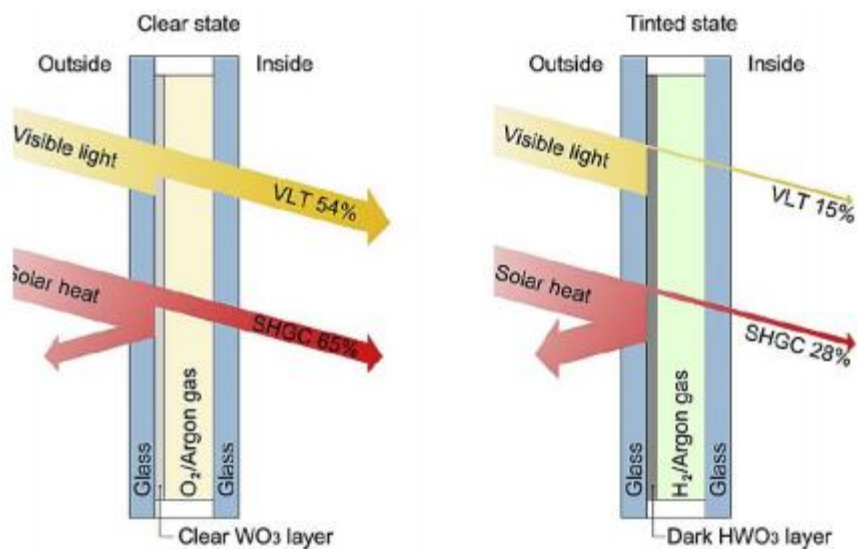
Εικόνα 3-5 Λειτουργία του NC υαλοπίνακα (Casini, 2018)

3.1.5 Αεριοχρωμικοί υαλοπίνακες

Μετά τους ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες, οι αεριοχρωμικοί υαλοπίνακες (GC⁶) είναι το δεύτερο πιο κατάλληλο εναλλάξιμο τζάμι στην αγορά. Αυτή η τεχνολογία είναι φθηνότερη από την ECW επειδή χρειάζεται μόνο ένα λεπτό στρώμα WO₃ που καλύπτεται από καταλύτη πλατίνας ή παλλαδίου⁷ (Casini, 2018). Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι το GC μπορεί να επικαλυφθεί σε οποιοδήποτε διαφανές υπόστρωμα που σημαίνει ότι το υπόστρωμα μπορεί να διαφέρει από το γυαλί. Αυτό το χημειοχρωμικό υλικό αλλάζει σε σκοτεινή κατάσταση εκθέτοντας ένα ευαίσθητο σε αέριο στρώμα σε ένα μείγμα Ag και H₂. Αντίθετα, με την εισαγωγή του O₂, η διαυγής κατάσταση επανέρχεται σε H₂O (Feng, et al., 2016). Για να επιτραπεί μια γρήγορη μεταφορά των μορίων H₂, απαιτείται δομικό νερό στο στρώμα μεμβράνης βολφραμίου. Όσο υψηλότερη είναι η συγκέντρωση του H₂, τόσο πιο σκούρο είναι το χρώμα (Sibilio, et al., 2018). Αυτό απεικονίζεται στην εικόνα 7.

⁶ Gasochromic window

⁷ Καταλύτης παλλαδίου: Έχει αποδειχθεί το 2010 ότι το παλλάδιο δρα ως καταλύτης. Με αυτόν τον τρόπο, επιτρέπει και ενθαρρύνει μια αντίδραση μεταξύ μεμονωμένων ατόμων άνθρακα (Casini, 2018).



Εικόνα 3-6 Λειτουργία του GC υαλοπίνακα (Casini, 2018)

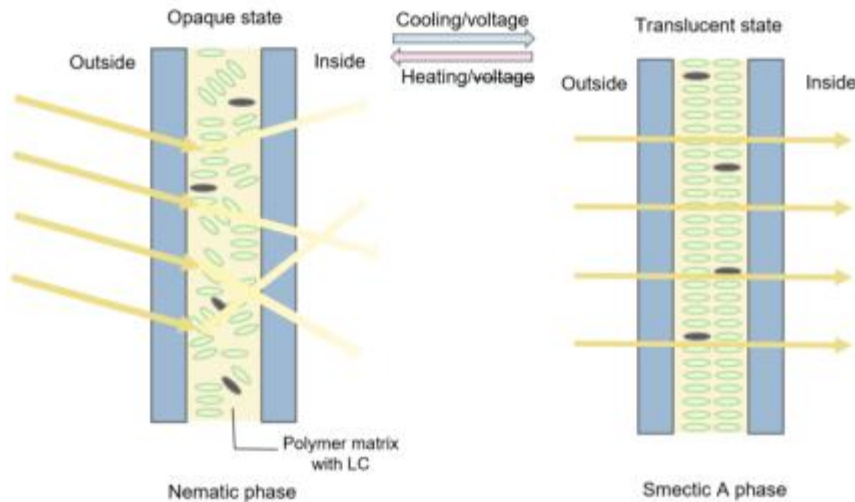
Οι αεριοχρωμικοί υαλοπίνακες είναι φθηνότεροι επίσης λόγω της διαδικασίας κατασκευής και της απλούστερης συναρμολόγησης. Ο χρόνος μεταγωγής είναι ταχύτερος από ό, τι για τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα. Ως ηλεκτροχρωμικά τζάμια, απαιτείται μικρή κατανάλωση ισχύος για την αλλαγή των καταστάσεων, αλλά λόγω της χημικής λειτουργίας τους, δεν απαιτείται ενέργεια για να διατηρηθεί μια σταθερή απόχρωση (Casini, 2018). Μια μελέτη των Feng et al (2016) έδειξε ότι τα φορτία HVAC μπορούν να μειωθούν κατά 28,4% σε σύγκριση με ένα μόνο διαφανές γυαλί. Παρ'όλα αυτά, οι αεριοχρωμικοί υαλοπίνακες καταναλώνουν λιγότερη ενέργεια από ό, τι τα ηλεκτροχρωμικά τζάμια.

3.1.6 Υαλοπίνακες υγρών κρυστάλλων

Οι υαλοπίνακες υγρών κρυστάλλων είναι πολωμένα σωματίδια που περιέχονται στην κοιλότητα ενός γυαλιού που είναι ικανά να ελέγχουν τη διαφάνεια του παραθύρου (Seung-Won, Sang-Hyeok, Jong-Min, & Tae-Hoon, 2018). Στο εσωτερικό, μικρά σταγονίδια υγρού κρυστάλλου εναιωρούνται σε μια μήτρα πολυμερούς που βρίσκεται μεταξύ δύο υποστρωμάτων υαλοπίνακα. Η αδιαφανής και σκοτεινή κατάσταση λαμβάνεται στην κατάσταση «εκτός λειτουργίας» αυτών των σωματιδίων που βρίσκονται σε τυχαία θέση, τη νηματική φάση. Εφαρμόζοντας μια τάση για κάποια εξωγενή συσκευή LC ή με ψύξη για μια εγγενή συσκευή LC, οι υγροί κρύσταλλοι τείνουν να ευθυγραμμίζονται και να μειώνουν τον δείκτη διάθλασης μεταξύ των υγρών κρυστάλλων και του πολυμερούς. Αυτή είναι η σημαντική φάση που φαίνεται στο Σχήμα που ακολουθεί (εικόνα 8). Έτσι, επιτυγχάνεται η διαυγής και ημιδιαφανής κατάσταση. Σε αντίθεση με τα περισσότερα από τα εναλλάξιμα παράθυρα, οι εξωγενείς συσκευές υγρών κρυστάλλων χρειάζονται συνεχή τάση για να διατηρείται η κατάσταση καθαρή. Υπάρχουν αρκετοί τύποι διασκορπισμένων πολυμερών υγρών κρυστάλλων, αλλά οι πιο γνωστοί και χρησιμοποιούνται βασίζονται στην Smectic phase A⁸

⁸ Smectic Μια φάση μιας συσκευής υγρών κρυστάλλων έχει την ιδιαιτερότητα ότι ο προσανατολισμός γίνεται κατά μήκος της κανονικής στρώσης ενώ για κάποιους άλλους ο προσανατολισμός γίνεται σε απόκλιση από αυτό το στρώμα. Οι σημαντικές φάσεις διαφέρουν μεταξύ τους από τους τύπους και τους βαθμούς προσανατολισμού και θέσης. Η φάση Smectic A προτιμάται επειδή η τάση ευθυγράμμισης των υγρών κρυστάλλων σχετίζεται με τη σειρά θέσης. Ο συνδυασμός τους προκαλεί την καθαρή κατάσταση των συσκευών υγρών κρυστάλλων (Gardiner, Morris, & Coles, 2009).

(Gardiner, Morris, & Coles, 2009). Το στην εικόνα 8 παρακάτω προέρχεται από τη μελέτη του Seung που αποδεικνύει καλύτερες οπτικές και θερμικές επιδόσεις.



Εικόνα 3-7 Λειτουργία υαλοπινάκα υγρών κρυστάλλων (Seung-Won, Sang-Hyeok, Jong-Min, & Tae-Hoon, 2018)

Λόγω της αυτο-ευθυγράμμισης του LC, η διαδικασία παραγωγής είναι απλή και απαιτεί μόνο την ένεση του μείγματος LC στην κοιλότητα του παραθύρου. Επίσης, οι συσκευές υγρών κρυστάλλων μπορούν να βελτιωθούν με την προσθήκη άλλων συστατικών στη μήτρα πολυμερούς όπως για παράδειγμα το αζοβενζόλιο που προτείνει ο Seung-Won Oh. Οι συσκευές υγρών κρυστάλλων έχουν εξεταστεί πειραματικά για περισσότερα από 10 χρόνια και έχει αποδειχθεί η οπτική τους βελτίωση (Seung-Won, et al., 2018). Ωστόσο, αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιείται ελάχιστα σε φακέλους κτιρίων επειδή χρειάζεται συνεχή τάση για να ελέγχεται σωστά (Casini, 2018).

3.2 Χρήσεις και χαρακτηριστικά Ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων

Η παραγωγή ηλεκτροχρωμικών παραθύρων έχει ήδη ξεκινήσει από πολλές πολυεθνικές εταιρείες (Pilkington, Sage), ενώ άλλες προβαίνουν σε επενδύσεις σε αυτόν τον τομέα (Glaverbel). Τέτοιου είδους συστήματα μπορούν εύκολα να εφαρμοστούν σε μεγάλα κτίρια με ενσωμάτωση των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων στο σύστημα κεντρικού ελέγχου του κτιρίου, σε βιοκλιματικούς χώρους, αλλά και από ιδιώτες, με σκοπό τη μείωση των αναγκών κλιματισμού το καλοκαίρι, των αναγκών θέρμανσης τον χειμώνα και των αναγκών τεχνητού φωτισμού σε ετήσια βάση.

Παρότι υπάρχουν αρκετοί κατασκευαστές ηλεκτροχρωμικού γυαλιού παγκοσμίως, μόνο τρεις διαθέτουν εμπορικά διαθέσιμα προϊόντα σε διάφορες διαστάσεις: η SAGE Electrochromics Inc. από τις Η.Π.Α και οι Gesimat GmbH και EControl-Glas από τη Γερμανία. Η έλλειψη παραγωγής ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων σε μεγάλη κλίμακα, με αποτέλεσμα την έλλειψη μίας ανταγωνιστικής αγοράς, οδηγεί σε υψηλά κόστη για την τεχνολογία αυτή. Για παράδειγμα, το κόστος για εμπορικά διαθέσιμα προϊόντα των SAGE και Gesimat είναι περίπου 1000 €/m². Ωστόσο, είναι πιθανό ότι η ενεργειακή εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται μέσω των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων θα μπορέσει να αντισταθμίσει σε ένα βαθμό το υψηλό τους κόστος

οδηγώντας στη χρήση τους σε εφαρμογές μεγαλύτερης κλίμακας. Μέσω της ωρίμανσης της τεχνολογίας και της διαδικασίας παραγωγής των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων

αναμένεται σημαντική μείωση του κόστους τους που σταδιακά θα οδηγήσει σε αύξηση της ζήτησής τους σε νέα ή ανακαινιζόμενα κτίρια. Την πρώτη εφαρμογή των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων σε μεγάλη κλίμακα αποτέλεσε το μουσείο Seto στην Ιαπωνία το 1988 από την εταιρεία Asahi. Τα παράθυρα αυτά είναι ενεργά ακόμα και σήμερα και περιλαμβάνουν οργανικούς ηλεκτρολύτες. Μία άλλη εφαρμογή αποτέλεσε η εγκατάσταση της πρώτης πρόσοψης από ηλεκτροχρωμικά παράθυρα στην Ευρώπη στη τράπεζα Dresden Stadtsparkasse στη Δρέσδη το 1999 από την εταιρεία Pilkington. Η πρόσοψη αυτή έχει επιφάνεια μεγαλύτερη από 200 m² και τα οπτικά χαρακτηριστικά των παραθύρων ελέγχονται αυτόματα από το κεντρικό σύστημα ελέγχου και βελτιστοποίησης της ενεργειακής κατανάλωσης του κτιρίου. Ηλεκτροχρωμικά παράθυρα E-Control έχουν επίσης εγκατασταθεί σε πολλές εφαρμογές μικρής κλίμακας, κυρίως σε κτίρια γραφείων. Μέχρι στιγμής η εγκατάσταση ηλεκτροχρωμικών παραθύρων δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη λόγω του υψηλού κόστους και της σχετικά μικρής προβλεπόμενης διάρκειας ζωής, η οποία δεν ξεπερνά τα 10 χρόνια.



Εικόνα 3-8 Εφαρμογή των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων E-Control της Pilkington σε κτίριο γραφείων

Έχουν πραγματοποιηθεί διάφορες προσομοιώσεις κτιρίων με ηλεκτροχρωμικά παράθυρα με σκοπό τον υπολογισμό της προκύπτουσας ενεργειακής εξοικονόμησης. Υπολογισμοί που πραγματοποιήθηκαν για ένα τυπικό μοντέλο γραφείου έδειξαν ότι μπορούν να υπάρξουν σημαντικά ενεργειακά κέρδη ως προς τα φορτία ψύξης, ενώ η ενεργειακή εξοικονόμηση εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής που βρίσκεται το κτίριο. Ο συνδυασμός ηλεκτροχρωμικών διατάξεων και θερμομονωτικών παραθύρων με διπλή υάλωση μπορεί να συμβάλει στην κατασκευή προϊόντων που θα προστατεύουν τον εσωτερικό χώρο των κτιρίων από τις έντονες θερμοκρασιακές μεταβολές του περιβάλλοντος και θα οδηγήσουν στη μείωση των θερμικών απωλειών. Μέσω του ελέγχου των θερμικών κερδών κατά τη θερινή περίοδο και του περιορισμού της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας είναι δυνατή η μείωση των αναγκών κλιματισμού. Παράλληλα, η ανάπτυξη και η χρήση βελτιστοποιημένων ηλεκτροχρωμικών παραθύρων μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της

συνολικής ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης, καθώς και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Η δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας που προσφέρουν τα έξυπνα παράθυρα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι η τοποθεσία, το είδος του κτιρίου, ο προσανατολισμός, οι απαιτήσεις του κτιρίου για φωτισμό και άνεση, καθώς και η επιλογή του παραθύρου αναφοράς με το οποίο γίνεται η σύγκριση. Αναφορικά με την ενεργειακή τους απόδοση, τα έξυπνα παράθυρα ανταγωνίζονται σε σημαντικό βαθμό τα παράθυρα ηλιακού ελέγχου (solar control). Η ενεργειακή εξοικονόμηση σε σχέση με τα καλύτερα στατικά παράθυρα υπολογίζεται κατά προσέγγιση 0-50 kWh/m²yr σε περιοχές με κλιματικές συνθήκες αντίστοιχες με αυτές της Στοκχόλμης, 25-75 kWh/m²yr σε κλιματικές συνθήκες όπως του Denver και 50-150 kWh/m²yr σε κλιματικές συνθήκες όπως του Miami (τα τετραγωνικά μέτρα αναφέρονται σε επιφάνεια γυαλιού) (www.cerv.unlv.edu).

Σε πραγματικές συνθήκες τα αποτελέσματα αυτά εξαρτώνται και από τη συμπεριφορά των χρηστών. Ωστόσο, είναι σαφές ότι τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα παρουσιάζουν ίδια ή και καλύτερη ενεργειακή απόδοση συγκριτικά με τα στατικά παράθυρα, ενώ παρέχουν επιπρόσθετα καλύτερες συνθήκες άνεσης, για παράδειγμα μέσω του αυτοματοποιημένου ελέγχου της θάμβωσης. Στον αντίποδα, τα στατικά παράθυρα είναι πιθανό να χρειαστούν επιπρόσθετα συστήματα σκίασης για την αποφυγή της θάμβωσης. Τα παράθυρα μεταβλητής διαπερατότητας είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε κλίματα με έντονη ηλιοφάνεια και σε κτίρια γραφείων με υψηλές ανάγκες για ψύξη, ενώ ταυτόχρονα επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας και μέσω της ρύθμισης του φωτισμού και του εξαερισμού.

Από άποψη κόστους οι εμπορικές εφαρμογές ηλεκτροχρωμικών παραθύρων θα πρέπει να συνδυάζουν χαμηλό κόστος συντήρησης και λειτουργίας και προσιτό κόστος αγοράς και εγκατάστασης. Καθώς τα ηλεκτροχρωμικά παράθυρα δε διαθέτουν κινητά μέρη, το κόστος συντήρησής τους είναι μηδαμινό. Επίσης, το κόστος λειτουργίας τους είναι χαμηλό, καθώς η ισχύς που καταναλώνεται για τη λειτουργία τους είναι σχετικά μικρή, με τάξη μεγέθους περίπου 8 W/m². Τα εμπορικά διαθέσιμα θερμομονωτικά παράθυρα υψηλής ποιότητας έχουν κόστος περίπου 80 €/m², ενώ τα απλά ηλεκτροχρωμικά παράθυρα υπολογίζεται ότι κοστίζουν περίπου 1000 €/m² [56]. Για να είναι δυνατή η ουσιαστική διείσδυση των ηλεκτροχρωμικών παραθύρων στην αγορά, η τιμή τους θα πρέπει να μειωθεί περίπου κατά μία τάξη μεγέθους, ώστε να φτάσει σε επίπεδο 100-150 €/m². Η τιμή αυτή μπορεί να επιτευχθεί μακροπρόθεσμα με κατάλληλο σχεδιασμό και παραγωγή σε μεγάλη κλίμακα (Καραβασίλη, 1999).

3.3 Χρήσεις και χαρακτηριστικά Θερμοχρωμικών υαλοπινάκων

Μελέτες αναφορικά με τη συσχέτιση των οπτικών ιδιοτήτων των θερμοχρωμικών παραθύρων και της ενεργειακής τους απόδοσης έδειξαν ότι μικρότερος συντελεστής εκπομπής σε μεγαλύτερα μήκη κύματος οδηγεί σε μεγαλύτερη ενεργειακή εξοικονόμηση, ενώ υψηλή απορροφητικότητα μετά από την αλλαγή φάσης του θερμοχρωμικού υλικού οδηγεί σε μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση. Ακόμα, τα θερμοχρωμικά υλικά με VO₂ που εμφανίζουν μεγαλύτερη μείωση στη διαπερατότητά τους στην ηλιακή ακτινοβολία και μικρότερη αύξηση στην απορροφητικότητά τους μετά από την αλλαγή φάσης παρουσιάζουν μεγαλύτερες δυνατότητες για εξοικονόμηση ενέργειας. Επιπρόσθετα, ο ρυθμός μεταβολής της υστέρησης κρίνεται σημαντικός για την εξοικονόμηση ενέργειας. Θερμοχρωμικά υαλοστάσια με χαμηλότερη θερμοκρασία μετάβασης και μεγαλύτερο ρυθμό μεταβολής της υστέρησης είναι ικανά να μειώσουν τη ζήτηση ενέργειας κατά 51 % σε σύγκριση με τα

τυπικά διαυγή παράθυρα. Κατά τη μελέτη μίας σειράς από υποθετικά θερμοχρωμικά παράθυρα με διαφορετικές θερμοκρασίες μετάβασης, μεγέθη, προσανατολισμούς και κλιματικές συνθήκες με σκοπό την εύρεση των βέλτιστων δυνατών θερμοχρωμικών χαρακτηριστικών διαπιστώθηκε ότι τα θερμοχρωμικά παράθυρα μείωσαν τον αριθμό των ωρών κατά τις οποίες οι ένοικοι υπέφεραν από θάμβωση ή έλλειψη άνεσης, ενώ το 13,7 % – 16,7 % της ενεργειακής κατανάλωσης ήταν δυνατό να αποφευχθεί με βελτιστοποιημένο προσανατολισμό και μεγάλη επιφάνεια παραθύρων σε ζεστά κλίματα.

Κατά τη σύγκριση θερμοχρωμικών παραθύρων με βάση το VO₂ με παράθυρα low-e και έγχρωμους απορροφητικούς υαλοπίνακες, οι ερευνητές κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι τα θερμοχρωμικά παράθυρα μπορούν να μειώσουν σε μεγαλύτερο βαθμό την ενεργειακή κατανάλωση ενός κτιρίου. Ακόμα διαπιστώθηκε ότι η εξοικονόμηση ενέργειας που προέκυψε από τα θερμοχρωμικά παράθυρα σε πιο θερμά κλίματα ήταν πιο σημαντική απ' ότι σε ψυχρότερα.

Τα θερμοχρωμικά παράθυρα θεωρούνται κατάλληλα για εφαρμογή σε υαλοπίνακες υψηλού επιπέδου, σε φεγγίτες ή σε παράθυρα οροφών. Μελέτες της αποδοτικότητας των θερμοχρωμικών παραθύρων σε διάφορους προσανατολισμούς έδειξαν ότι παρότι τα θερμικά κέρδη μέσω των παραθύρων δεν μεγιστοποιούνται όταν αυτά βρίσκονται υπό κλίση 0ο, τα παράθυρα είναι περισσότερο ικανά να περιορίσουν τη θερμότητα σε αυτή τη θέση, λόγω της μεγαλύτερης έκθεσής τους στον ήλιο. Η παρεμπόδιση εισόδου της θερμότητας στον εσωτερικό χώρο επιτρέπει στο παράθυρο να παραμένει στην ανακλαστική του κατάσταση για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, σε σχέση με μεγαλύτερες κλίσεις.

Παρότι η ακριβής θέση τοποθέτησης της θερμοχρωμικής επίστρωσης καθορίζεται από τους υπεύθυνους για τον σχεδιασμό του κτιρίου, συνήθως χρησιμοποιείται σε θέσεις όπου η οπτική επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον δε κρίνεται σημαντική, καθώς αυτή θα χαθεί σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από τη θερμοκρασία μετάβασης.

4 Συστήματα θέρμανσης/δροσισμού στον τριτογενή τομέα

4.1 Παθητικά Συστήματα

Τα παθητικά συστήματα θερμαίνουν ή δροσίζουν τα κτίρια με φυσικό τρόπο χωρίς να απαιτείται πρόσθετη παροχή ενέργειας και λειτουργούν χωρίς μηχανολογικά εξαρτήματα. Εντάσσονται στην έννοια του ενεργειακού-βιοκλιματικού σχεδιασμού διότι αποτελούν λύσεις που εξασφαλίζουν συνθήκες άνεσης στους χρήστες.

4.1.1 Παθητικά συστήματα Θέρμανσης

Η παθητική θέρμανση αφορά την εκμετάλλευση του ηλιασμού του κτιρίου κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών. Στόχος: η ενέργεια που προκύπτει να συλλεχθεί, να αποθηκευτεί και στο τέλος να διανεμηθεί, με τον καλύτερο δυνατό τρόπο εξοικονόμησης ενέργειας. Τα παθητικά συστήματα θέρμανσης κατηγοριοποιούνται στις ακόλουθες κατηγορίες (Lechner, 2014):

- **Άμεσου ηλιακού κέρδους**

Ως σύστημα άμεσου κέρδους ορίζεται το σύστημα το οποίο αξιοποιεί την συλλεγόμενη ηλιακή ενέργεια, από ανοίγματα κατάλληλου προσανατολισμού (νότιου) για θέρμανση των χώρων.



Εικόνα 4-1 Σύστημα Άμεσου Ηλιακού Κέρδους

Η αποτελεσματικότητα ενός τέτοιου συστήματος επηρεάζεται από τον προσανατολισμό, τη θέση και το μέγεθος των ανοιγμάτων. Εκτός από τα ανοίγματα το σύστημα θα πρέπει να αποτελείται από την απαιτούμενη θερμική μάζα (χρήση υλικών υψηλής θερμοχωρητικότητας), την κατάλληλη θερμική προστασία (μόνωση του περιβλήματος, διπλοί υαλοπίνακες, νυχτερινή μόνωση) και την απαιτούμενη ηλιοπροστασία κατά τους θερινούς μήνες. Η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται από τους υαλοπίνακες και μέρος αυτής αποδίδεται σε μορφή θερμότητας άμεσα στον αέρα του χώρου, ενώ μέρος αποθηκεύεται στη μάζα του κτιρίου (τοίχοι, δάπεδα, οροφές, όταν αυτά έχουν επαρκή θερμοχωρητικότητα) και αποδίδεται στο χώρο με χρονική υστέρηση. Η απαιτούμενη ηλιοπροστασία για αποφυγή της θερινής υπερθέρμανσης εξασφαλίζεται από τη σκίαση των ανοιγμάτων από σταθερά ή κινητά σκίαστρα. Κατά τη χειμερινή περίοδο, 14 για την αποφυγή των θερμικών απωλειών

απαιτείται νυκτερινή προστασία των ανοιγμάτων με κινητά θερμομονωτικά παντζούρια, ρολά ή κουρτίνες. [8]

- **Έμμεσου ηλιακού κέρδους**

Ως σύστημα έμμεσου κέρδους ορίζεται το σύστημα το οποίο εκμεταλλεύεται με έμμεσο τρόπο την ηλιακή ενέργεια για τη θέρμανση των κτιρίων. Τα συστήματα αυτά συνδυάζουν τις διαδικασίες συλλογής, συσσώρευσης και διανομής της ηλιακής θερμότητας σε ένα μέρος του περιβλήματος του κτιρίου που περικλείει τους χώρους διαβίωσης.

A. Ηλιακοί τοίχοι

Οι ηλιακοί τοίχοι, αποτελούνται από τοιχοποιίες συνδυαζόμενες με υαλοστάσια, τοποθετημένα εξωτερικά 5-15 cm. Η τοιχοποιία μπορεί να είναι αμόνωτος τοίχος μεγάλης θερμικής μάζας είτε τοίχος θερμομονωμένος. Τα υαλοστάσια μπορούν να είναι σταθερά ή ανοιγόμενα κατά περίπτωση με διπλούς υαλοπίνακες.

Ο τοίχος μάζης, αποτελείται από ένα σύστημα που περιλαμβάνει έναν τοίχο που δεν διαθέτει θερμομόνωση, ο οποίος έχει νότιο προσανατολισμό ή με απόκλιση έως 30ο , προς την Ανατολή ή τη Δύση, κατασκευασμένο από υλικά μεγάλης θερμοχωρητικότητας που λειτουργεί ως αποθήκη και διανομέας της θερμότητας, και ένα διαφανές υλικό τοποθετημένο σε μια ελάχιστη απόσταση 10 εκ. προς την εξωτερική του πλευρά, που χρησιμεύει για τη δέσμευση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η ηλιακή ακτινοβολία που εισέρχεται από το διαφανές στοιχείο μετατρέπεται σε θερμότητα στο χώρο μεταξύ του υαλοστασίου και του τοίχου και αποθηκεύεται ως θερμική ενέργεια στον τοίχο. Έπειτα από εκεί δια μέσου της αγωγιμότητας, με ακτινοβολία ή και με μεταφορά, ανάλογα με την κατασκευή του συστήματος, στο χώρο. Ταυτόχρονα το διαφανές υλικό και, σε ορισμένες περιπτώσεις επιπρόσθετα και το ακίνητο στρώμα αέρα μεταξύ τοίχου και υαλοστασίου λειτουργεί ως μονωτικό στρώμα για τη μείωση των θερμικών απωλειών από το θερμό τοίχο προς το εξωτερικό ψυχρό περιβάλλον. Όσο μεγαλύτερη απορροφητικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία εμφανίζει η εξωτερική παρειά του τοίχου π.χ. βαφή με σκούρο χρώμα και αδρή επιφάνεια, τόσο αυξάνεται η απόδοση του συστήματος.

Ο τοίχος νερού, αποτελείται από ένα σύστημα που περιλαμβάνει έναν τοίχο κατασκευασμένο από πλαστικά ή μεταλλικά στεγανά δοχεία, σκούρου χρώματος που περιέχουν νερό, ο οποίος βρίσκεται πίσω από μια γυάλινη επιφάνεια νοτίου προσανατολισμού. Η επιλογή του νερού βασίζεται στη μεγάλη θερμοχωρητική του ικανότητα, δηλαδή στη ικανότητα του να αποθηκεύει θερμότητα κατά τη θέρμανσή του και να θερμαίνεται ή να ψύχεται εύκολα σε σχέση με άλλα υλικά. Έτσι απαιτούνται μικρότερες επιφάνειες τοίχου, σε σχέση με άλλους τοίχους θερμικής αποθήκευσης που είναι κατασκευασμένοι από μπετόν, πέτρα, τούβλο, κ.λ.π. Η εσωτερική επιφάνεια του τοίχου μπορεί να έρχεται κατευθείαν σε επαφή με ένα από τους χώρους του κτηρίου, ή να διαχωρίζεται από αυτούς, με ένα λεπτό τοίχο, ή με ένα στρώμα μόνωσης

Ο τοίχος Trombe-Michelle, αποτελείται από ένα σύστημα που περιλαμβάνει έναν τοίχο θερμικής αποθήκευσης ο οποίος είναι κατασκευασμένος από υλικά τοιχοποιίας, ο οποίος διαθέτει θυρίδες στο επάνω και κάτω τμήμα του συμπαγούς τμήματος του, οπότε η μετάδοση της θερμότητας προς την πλευρά του εσωτερικού χώρου γίνεται -εκτός από την αγωγιμότητα- και με φυσικό θερμοσιφωνισμό. Ο αέρας, που βρίσκεται μεταξύ του υαλοστασίου και του τοίχου, θερμαίνεται καθώς εφάπτεται στο θερμό τοίχο κι από τις θυρίδες που βρίσκονται στο επάνω μέρος του τοίχου εισέρχεται στον εσωτερικό χώρο, ενώ συγχρόνως εξέρχεται από την κάτω θυρίδα στο διάκενο, ψυχρός αέρας από τον εσωτερικό χώρο, ο οποίος και θερμαίνεται. Με αυτόν τον τρόπο αποδίδεται πρόσθετη θερμότητα στο

χώρο στις περιόδους της ηλιοφάνειας και η θέρμανση του χώρου αρχίζει αμέσως με τη θέρμανση του τοίχου και συνεχίζεται έως 2 με 3 ώρες μετά το σκιασμό του.

Ο τοίχος Barra Constantini, αποτελείται από ένα σύστημα παρόμοιας κατασκευής και λειτουργίας με τον τοίχο Trombe - Michel, αλλά δίχως την ύπαρξη και λειτουργία της θερμικής μάζας. Η βασική διαφορά από τον τοίχο Trombe – Michel είναι ότι ο τοίχος του Barra Constantini απομονώνεται θερμικά από το διάκενο με χρήση θερμομονωτικής (συνήθως μεταλλικής) επικάλυψης και η μεταφορά θερμότητας γίνεται αποκλειστικά με συναγωγή (μεταφορά) από τον αέρα του διακένου και όχι με ακτινοβολία. Ο αέρας μεταφέρεται στον εσωτερικό χώρο, πάλι μέσω θυρίδων ή αγωγών. Σε αυτό το σύστημα, έχουμε ένα νότιο τοίχο από συμβατικά υλικά (μπετόν, τούβλα κ.λ.π.), σε συνδυασμό με υαλοστάσιο, ο οποίος πρέπει να είναι καλά μονωμένος εξωτερικά. Ένα στοιχείο ηλιακής συλλογής είναι τοποθετημένο μπροστά από τον τοίχο (μεταλλική επιφάνεια). Το χειμώνα, λόγω του μονωμένου τοίχου δεν έχουμε απώλειες θερμότητας, ενώ το καλοκαίρι αποφεύγουμε ηλιακά κέρδη.

Η οροφή νερού-Ηλιακή λίμνη, αποτελεί μια παραλλαγή του συστήματος θερμικής αποθήκευσης στη μάζα του νερού αποτελεί η οροφή νερού. Πρόκειται για πλαστικούς σκουρόχρωμους σάκους, που δεν διαπερνούνται από την υπεριώδη ακτινοβολία, οι οποίοι περιέχουν νερό και τοποθετούνται στην οροφή του κτιρίου. Η «ηλιακή λίμνη», έχει βάθος περίπου 5 εκατοστά και για καλύτερη απόδοση επιλέγεται εξαιρετικά αγωγίμο υλικό για το δώμα πάνω στο οποίο θα κατασκευασθεί. Το χειμώνα, κατά τη διάρκεια της ημέρας, το νερό απορροφάει και αποθηκεύει θερμότητα. Κατά τις νυχτερινές ώρες, η οροφή νερού καλύπτεται-προστατεύεται με εξωτερική μόνωση και η αποθηκευμένη θερμότητα ακτινοβολείται προς τον εσωτερικό χώρο. Το καλοκαίρι, την ημέρα, η οροφή νερού καλύπτεται με το μονωτικό κάλυμμα για να αποφευχθεί το ανεπιθύμητο ηλιακό κέρδος, ενώ κατά τις νυχτερινές ώρες, απορροφάει τη θερμότητα του εσωτερικού χώρου και την αποβάλλει είτε με ακτινοβολία προς τον ουρανό, είτε μέσω φυσικής συναγωγής με τον εξωτερικό αέρα, με την προϋπόθεση να έχει αφαιρεθεί η εξωτερική μόνωση

B. Ηλιακοί χώροι

Οι ηλιακοί χώροι, είναι κλειστοί χώροι που ενσωματώνονται σε διάφορα τμήματα του κτιριακού κελύφους και περιβάλλονται από υαλοστάσια. Η ηλιακή θερμότητα μεταφέρεται από τον ηλιακό χώρο στους κύριους χώρους του κτιρίου μέσω ανοιγμάτων ή διαπερνά τους τοίχους.

Ο προσαρτημένος ηλιακός χώρος ή θερμοκήπιο, είναι ο συνδυασμός παθητικού συστήματος άμεσου κέρδους και τοίχου θερμικής αποθήκευσης. Το κτήριο, δηλαδή, αποτελείται από δύο θερμικές ζώνες: τον ηλιακό χώρο που προσαρτάται στο κτήριο, όπου γίνεται συλλογή της ηλιακής ακτινοβολίας, και τον έμμεσα θερμαινόμενο από τον ηλιακό χώρο, κύριο κατοικήσιμο χώρο. Οι δύο ζώνες χωρίζονται μεταξύ τους με συμπαγή τοίχο με θερμική μάζα (με ή χωρίς θερμομόνωση) και με ή χωρίς υαλοστάσια. Αντί για υαλοστάσια ο ενδιάμεσος τοίχος μπορεί να διαθέτει θυρίδες για τη μεταφορά του θερμού αέρα από το θερμοκήπιο στον κύριο χώρο. Το θερμοκήπιο συνδέεται με έναν κοινό τοίχο με το κτήριο ή ενσωματώνεται σ' αυτό και συνδέεται με το κτήριο με περισσότερους κοινούς τοίχους, συμπαγείς ή με συνδυασμό τοιχοποιίας και υαλοστασίου. Ευνόητο είναι ότι οι γυάλινες όψεις του θερμοκηπίου πρέπει να έχουν τον κατάλληλο προσανατολισμό για τη μεγιστοποίηση της συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας. Η επιστέγαση του ηλιακού χώρου μπορεί να είναι συμπαγής ή διαφανής. Επίσης, το θερμοκήπιο μπορεί να ενσωματωθεί στο κτήριο, ώστε να έχει τρεις κοινούς τοίχους και έναν υάλινο τοίχο προς το Νότο. Θερμοκήπια θεωρούνται και

τα αίθρια στον πυρήνα των κτηρίων, σκεπασμένα με γυάλινη επιστέγαση, που είναι ανεξάρτητοι μη θερμαινόμενοι χώροι.

Γ. Ηλιακά Αίθρια

Τα ηλιακά αίθρια, αποτελούν τον αιθριακό χώρο ενός κτιρίου ο οποίος επικαλύπτεται με υαλοστάσια και αποτελεί ένα άλλο σύστημα ηλιακού κέρδους. Η ηλιακή ενέργεια συλλέγεται από το γυάλινο στοιχείο της οροφής, συσσωρεύεται στον εσωτερικό χώρο του αιθρίου και μέρος της μεταφέρεται στους περιβάλλοντες εσωτερικούς χώρους του κτιρίου ή των κτηρίων μέσω των ανοιγμάτων τους.

• Απομονωμένου κέρδους

Στα συστήματα απομονωμένου κέρδους η ηλιακή συλλογή είναι θερμικά απομακρυσμένη από τους χώρους διαβίωσης του κτιρίου. Η μεταφορά ενέργειας από το συλλέκτη στο σύστημα συσσώρευσης (που είναι προαιρετικό) και από εκεί στο χώρο διαβίωσης μπορεί να γίνει είτε με υβριδικά συστήματα (π.χ. ανεμιστήρες), είτε με παθητικό τρόπο. Ένα ηλιακό σύστημα απομονωμένου κέρδους, αποτελείται από μια επιφάνεια ηλιοσυλλογής η οποία δεν βρίσκεται σε επαφή με τον χώρο που επιθυμούμε να θερμάνουμε. Μεταξύ αυτής της επιφάνειας και του χώρου διαβίωσης θα πρέπει να υπάρχει ένας μηχανισμός μετάδοσης της θερμότητας όπως για παράδειγμα ένας ανεμιστήρας. Έτσι με την απομόνωση του κτιρίου της συλλογής της ηλιακής ενεργείας, και της αποθήκευσης μπορεί να υπάρξει μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό και στη διαχείριση. Στα πραγματικά παθητικά ηλιακά συστήματα, η μετάδοση της θερμότητας γίνεται με μη μηχανικά μέσα και βασίζεται κυρίως στην άνωση, μεταγωγή και ακτινοβολία της θερμότητας. Ένα παράδειγμα απομονωμένου κέρδους είναι το θερμοσιφωνικό πανέλο με rock bed. Το σύστημα αυτό αποτελείται από υαλοπίνακα, διάκενο αέρα και μεταλλική σκουρόχρωμη επιφάνεια, που φέρει μόνωση εξωτερικά και τοποθετείται εν γένει χαμηλότερα από τους κύριους χώρους του κτιρίου με κλίση 40° περίπου. Η θερμότητα που συλλέγεται στο διάκενο αέρα, μεταφέρεται μέσω αγωγών με θερμοσιφωνική ροή είτε απ' ευθείας στους χώρους του κτιρίου, είτε σε αποθήκη θερμότητας (rock bed) απ' όπου αποδίδεται σταδιακά στους χώρους.

Μία άλλη συνηθισμένη διάταξη βασισμένη σε αυτή τη λογική είναι η θερμοσιφωνική διάταξη του θερμαινόμενου νερού που αποτελεί την πιο απλή μορφή εκμετάλλευσης. Η διάταξη περιλαμβάνει μια επίπεδη πλάκα συλλέκτη που συνδέεται με μια καλά μονωμένη δεξαμενή με μονωμένες επίσης τις σωληνώσεις. Η δεξαμενή βρίσκεται πάντοτε πάνω από τον συλλέκτη για να βελτιώσει την ροή του νερού ή του ρευστού. Το νερό από τη δεξαμενή κυκλοφορεί συνέχεια διαμέσου του σπιτιού για να το ζεστάνει.

• Διπλού κέρδους

Τα συστήματα διπλού κέρδους αποτελούνται από συνδυασμό συστημάτων άμεσου και έμμεσου ηλιακού κέρδους. Μέχρι σήμερα έχουν κατασκευαστεί πολλά συστήματα διπλού κέρδους, παρόλα αυτά η έρευνα σε αυτά συνεχίζεται. Τα συστήματα αυτά σχεδιάστηκαν με σκοπό να επωφελούνται από τα βασικά πλεονεκτήματα της κάθε κατηγορίας που χρησιμοποιούν. Ένα παράδειγμα διπλού κέρδους είναι το σύστημα Transwall. Το σύστημα αυτό αποτελείται από έναν τοίχο νερού φτιαγμένο με διαφανή δοχεία γεμάτα με καθαρό νερό, όπου το απορροφητικό υλικό είναι το γυαλί και είναι βαμμένο γκρι, το σύστημα Transwall συνδυάζει έμμεσο και άμεσο κέρδος το οποίο επιτρέπει, τόσο τη μετάδοση της ακτινοβολίας όσο και την έμμεση ανάκτηση θερμότητας από την αποθήκευση στο ίδιο σύστημα.

4.1.2 Παθητικά συστήματα δροσίμου/ψύξης

Η παθητική Ψύξη αφορά την ανάγκη που έχει κάθε κτίριο να δροσίζεται και να αποβάλλει τα θερμικά του κέρδη κατά τους θερινούς μήνες, ώστε να διατηρεί τις καλύτερες συνθήκες άνεσης. Οι τεχνικές και σχεδιαστικές ρυθμίσεις στο κέλυφος του κτηρίου, οι οποίες συμβάλλουν στον φυσικό του δροσισμό, είναι οι ακόλουθες (Lechner, 2014):

- **Ηλιοπροστασία**

Το καλοκαίρι οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι υψηλές και η ηλιακή ακτινοβολία έντονη, με αποτέλεσμα το κτήριο να απορροφά θερμότητα, πολύ περισσότερη μάλιστα όταν είναι εκτεθειμένο στον ήλιο, με άμεσες επιπτώσεις στο εσωτερικό του (κίνδυνος υπερθέρμανσης). Κατά συνέπεια, τα συστήματα σκίασης πρέπει να παρέχουν αποτελεσματική προστασία από τον ήλιο το καλοκαίρι, χωρίς όμως να παρεμποδίζουν τον ηλιασμό του κτηρίου το χειμώνα ή να περιορίζουν τον φυσικό του φωτισμό.

Η σκίαση μπορεί να γίνεται είτε με χρήση συστημάτων σκίασης, είτε με πιο απλούς τρόπους όπως την τοποθέτηση φυλλοβόλων δέντρων ή βλάστησης που διακόπτουν τον άμεσο ηλιασμό. Τα συστήματα σκίασης χρειάζεται να παρέχουν καλή ηλιακή προστασία κατά το καλοκαίρι, ενώ παράλληλα δεν πρέπει να περιορίζουν τα ηλιακά κέρδη το χειμώνα, να εμποδίζουν το φυσικό φωτισμό ή να παρακωλύουν το φυσικό αερισμό. Τα συστήματα αυτά μπορούν να εμποδίσουν το στοιχείο της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας αλλά συνήθως δεν είναι αποτελεσματικά στο περιορισμό του διάχυτου ή του ανακλώμενου συστατικού της ακτινοβολίας. Διακρίνονται σε σταθερά ή κινητά συστήματα σκίασης και μπορεί να εφαρμοστούν εξωτερικά, εσωτερικά ή μεταξύ των 2 τζαμιών στα συστήματα με διπλά τζάμια.

Τα σταθερά συστήματα σκίασης περιλαμβάνουν δομικά στοιχεία όπως είναι οι πρόβολοι, στοές πέργκολες, καθώς και μη δομικές κατασκευές όπως είναι οι τέντες, τα πατζούρια, τα ρολά και τα παραπετάσματα. Κρίσιμα στοιχεία αποτελούν ο προσανατολισμός και το σχήμα του ανοίγματος που πρόκειται να σκιαστεί. Γενικά, χρησιμοποιείται οριζόντια σκίαση στις νότιες επιφάνειες και κατακόρυφα ή διαγώνια πτερύγια στις ανατολικές και δυτικές όψεις. Τα σταθερά συστήματα σκίασης χρησιμοποιούνται κυρίως στις εξωτερικές όψεις όπου εμποδίζουν την άμεση ακτινοβολία να φτάσει στα υαλοστάσια ή τα άλλα ανοίγματα. Έτσι η θερμότητα που απορροφάται από το σύστημα σκίασης μπορεί να διαχυθεί στον εξωτερικό αέρα. Αν εγκατασταθούν εσωτερικά, η θερμότητα θα μείνει μεταξύ του συστήματος σκίασης και του υαλοστασίου με αποτέλεσμα να περιοριστεί η αποδοτικότητα του συστήματος.

Τα κινητά συστήματα σκίασης μπορούν να χρησιμοποιηθούν εξωτερικά και εσωτερικά και ο έλεγχός τους μπορεί να είναι χειροκίνητος ή αυτόματος. Τυπικά συστήματα αυτού του είδους είναι οι τέντες, τα ενετικά στόρια και οι κουρτίνες.

Η σκίαση από βλάστηση, χρησιμοποιείται κυρίως όταν έχουμε ανατολικό ή δυτικό προσανατολισμό. Στην φύτευση στις όψεις, συνήθως χρησιμοποιούνται αναρριχητικά φυτά ή θάμνοι. Τα φυτά αυτά υπερτερούν σε σχέση με άλλα μέσα σκίασης γιατί δεν υπερθερμαίνονται, επιτρέπουν την κίνηση του αέρα διαμέσου του φυλλώματός τους, μειώνουν τη θερμοκρασία του άμεσου περιβάλλοντός τους. Στην φύτευση δέντρων είναι καλό να επιλέγονται δέντρα με πυκνό φύλλωμα και λίγα κλαδιά, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή σκίαση το καλοκαίρι και η ελάχιστη το χειμώνα.

Η σκίαση από γειτονικά κτίρια, χρησιμοποιείται κυρίως σε θερμά και ξηρά κλίματα, όπου οι πόλεις σχεδιάζονται και χτίζονται σε πολύ συμπαγή μορφή, με στενούς δρόμους, ώστε τα κτήρια να σκιάζονται σε κάποιο ποσοστό. Γενικά η τοπογραφική διαμόρφωση μιας θέσης

μπορεί να δημιουργεί σκιά, η οποία επηρεάζεται από την τροχιά του ήλιου, τον προσανατολισμό του και την κλίση του εδάφους.

- **Χρώμα και υφή των εξωτερικών επιφανειών**

Η επιλογή των χρωμάτων στην εξωτερική επιφάνεια του κτιριακού κελύφους, επηρεάζει το ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου και ειδικότερα το θερμικό και ψυκτικό του φορτίο. Στα ψυχρά κλίματα, όπου οι ανάγκες για θέρμανση είναι αυξημένες, συνήθως επιλέγονται σκούρα χρώματα για τις προσόψεις του κτιρίου, έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Αντίθετα, στα θερμά κλίματα με μεγάλη ηλιοφάνεια θα πρέπει στην εξωτερική επιφάνεια των προσόψεων να χρησιμοποιούνται ανοιχτά χρώματα και υλικά με μικρό συντελεστή απορροφητικότητας και μεγάλη ανακλαστικότητα, ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του κτιρίου. Ομοίως, στα θερμά κλίματα ή στα μικρότερα γεωγραφικά πλάτη, τα σκούρα χρώματα και τα υλικά με μεγάλη απορροφητικότητα θα πρέπει να αποφεύγονται καθώς η χρήση τους αυξάνει την θερμοκρασία των επιφανειών και συντελεί στην αύξηση του ψυκτικού φορτίου του κτιρίου. Ειδικά για τις επιφάνειες που είναι εκτεθειμένες στο ήλιο (όπως η οροφή και οι ανατολικές και δυτικές προσόψεις) συνίσταται η χρήση υλικών με μεγάλη ανακλαστικότητα έτσι ώστε να απορροφάται όσο το δυνατό λιγότερη ηλιακή ακτινοβολία. Μια άλλη τεχνική για την κάλυψη των εξωτερικών επιφανειών του κελύφους είναι η χρήση αναρριχητικών φυτών. Η φύτευση όχι μόνο παρέχει ηλιοπροστασία κατά το θέρος μειώνοντας έτσι τη θερμοκρασία των εξωτερικών επιφανειών και κατ' επέκταση το ποσό θερμότητας που εισέρχεται στο κτίριο, αλλά παράλληλα σχηματίζει ένα θερμομονωτικό στρώμα γύρω από το κτίριο το οποίο περιορίζει τις απώλειες θερμότητας κατά το χειμώνα. Τέλος, η φύτευση της οροφής έχει μία σειρά από θετικά αποτελέσματα, όπως η βελτίωση της ποιότητας του κτιρίου και του μικροκλίματος που αναπτύσσεται γύρω από αυτό, η θερμομόνωση της οροφής και η προστασία της από την ηλιακή ακτινοβολία και η θετική επίδραση στη λύση περιβαλλοντικών προβλημάτων.

- **Επάρκεια θερμικής μάζας (Ψύξη από το έδαφος)**

Μια σημαντική παράμετρος για τη βιοκλιματική λειτουργία του κτηρίου το καλοκαίρι, είναι η διασφάλιση επαρκούς θερμικής μάζας στα δομικά του στοιχεία –τοιχούς, δάπεδα, οροφές, στα οποία αποθηκεύεται η περίσσεια θερμότητας κατά τη διάρκεια της ημέρας, με αποτέλεσμα να διατηρείται η θερμοκρασία του αέρα στον εσωτερικό χώρο σε ανεκτά επίπεδα (άνεσης). Τη νύχτα η αποθηκευμένη θερμότητα διοχετεύεται προς το εξωτερικό περιβάλλον μέσω αερισμού ή/και εκπομπής θερμότητας.

Η κατασκευή υπόσκαφων ή ημιυπόσκαφων κτιρίων, εφόσον τοπογραφικές και άλλες συνθήκες το συνιστούν, συνεισφέρει σημαντικά στη μείωση του ψυκτικού φορτίου των κτιρίων. Κατά τους θερμούς μήνες, το έδαφος βρίσκεται σε αρκετά χαμηλότερη θερμοκρασία από το εξωτερικό περιβάλλον και, ερχόμενο σε επαφή με το κτιριακό κέλυφος, βοηθά στην απομάκρυνση της θερμότητας από το κτίριο. Το χειμώνα, η επαφή του κτιρίου με το έδαφος μειώνει τις θερμικές απώλειες προς το ψυχρό περιβάλλον. Σε περιοχές με πολύ ψυχρούς χειμώνες συνιστάται η θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους, ώστε να μειώνονται οι θερμικές απώλειες προς το έδαφος, ενώ σε περιοχές με θερμά καλοκαίρια συνιστάται να παραμένει αμόνωτο ώστε να διευκολύνεται η μετάδοση της θερμότητας με αγωγή προς το έδαφος.

Οι υπεδάφιοι αγωγοί είναι μια άλλη λύση ως προς αυτή τη τεχνική. Το σύστημα χρησιμοποιείται για την ψύξη των κτιρίων το καλοκαίρι, οπότε και αξιοποιεί το έδαφος, του οποίου η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη κάτω από την επιφάνεια, ως απαγωγέα της θερμότητας. Ο αέρας εισάγεται είτε από το εξωτερικό περιβάλλον είτε από το εσωτερικό του

κτιρίου, κυκλοφορεί στο δίκτυο αγωγών με τη βοήθεια φυσητήρων και εισέρχεται στο κτίριο ψυχρότερος. Παράλληλα, το σύστημα λειτουργεί και το χειμώνα, συμβάλλοντας στην προθέρμανση του ψυχρού εξωτερικού αέρα, καθώς το έδαφος είναι το χειμώνα θερμότερο από τον εξωτερικό αέρα.

- **Θερμομόνωση του κελύφους**

Το καλοκαίρι, όταν οι εξωτερικές θερμοκρασίες είναι υψηλότερες από τις εσωτερικές, δημιουργείται ροή θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον στον εσωτερικό χώρο. Η εφαρμογή θερμομόνωσης στο κέλυφος περιορίζει τη διείσδυση θερμότητας και αποτρέπει, ως ένα βαθμό, την υπερθέρμανση του εσωτερικού χώρου. Για μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα, η θερμομόνωση πρέπει να τοποθετείται στην εξωτερική πλευρά του κελύφους του κτηρίου, η οποία λειτουργεί εξίσου ικανοποιητικά και το χειμώνα. Έτσι επιτυγχάνεται διπλή προστασία του κελύφους, αλλά και προστασία από φθορές και βλάβες της κατασκευής από τις μεταβαλλόμενες καιρικές συνθήκες. Επισημαίνεται ότι η εξωτερική θερμομόνωση πρέπει να μην είναι εκτεθειμένη άμεσα στο εξωτερικό περιβάλλον, γιατί υφίσταται φθορές, κυρίως από την υπεριώδη ακτινοβολία. Συνεπώς η θερμομονωτική στρώση πρέπει να επικαλύπτεται είτε με επίχρισμα είτε με άλλο προστατευτικό υλικό.

- **Φυσικός αερισμός**

Η ανανέωση του αέρα σε ένα οποιοδήποτε κτίριο είναι αναγκαία για την ποιότητα του αέρα που αναπνέουν οι χρήστες και τον εμπλουτισμό του σε οξυγόνο. Ο αερισμός του κτιρίου ανήκει στις τεχνικές φυσικού δροσισμού διότι κατά τους θερινούς μήνες βοηθά στην απομάκρυνση της πλεονάζουσας θερμότητας και κρατάει το κτίριο δροσερό.

Ο μονόπλευρος αερισμός με τα ανοίγματα εισόδου και εξόδου του αέρα να βρίσκονται στην ίδια κατακόρυφο, στην ίδια πλευρά αλλά σε διαφορετικές στάθμες. Ο αέρας κινείται κυρίως λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας.

Ο διαμπερής αερισμό με τα ανοίγματα τοποθετημένα σε απέναντι πλευρές ενός χώρου. Τα ανοίγματα εισόδου πρέπει να είναι μικρότερα ή τουλάχιστον ισομεγέθη με τα ανοίγματα εξόδου που βρίσκονται στην απάνεμη πλευρά. Ο νυχτερινός διαμπερής αερισμός είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, ιδιαίτερα τις θερμές ημέρες, κατά τις οποίες ο ημερήσιος αερισμός δεν είναι δυνατός. Ο νυχτερινός αερισμός συνεισφέρει και στην αποθήκευση «δροσιάς» στη θερμική μάζα του κτιρίου, σαρώνοντας τις επιφάνειες του κτιρίου με δροσερό αέρα, με αποτέλεσμα τη μειωμένη επιβάρυνση του κτιρίου κατά την επόμενη μέρα.

Ο διαμπερής αερισμό με τα ανοίγματα τοποθετημένα σε απέναντι πλευρές ενός χώρου. Τα ανοίγματα εισόδου πρέπει να είναι μικρότερα ή τουλάχιστον ισομεγέθη με τα ανοίγματα εξόδου που βρίσκονται στην απάνεμη πλευρά.

Ο αερισμός με ανοίγματα σε διαφορετικά επίπεδα που εκμεταλλεύεται το φαινόμενο της καμινάδας. Η έξοδος του θερμού αέρα γίνεται από ανοίγματα ψηλά στα τοιχώματα ή στην οροφή του κτιρίου. Παρατηρείται σε χώρους με μεγάλο ύψος ή σε χώρους με πρρατημένα αίθρια.

Εκτός από τον παραδοσιακό και πιο απλό τρόπο φυσικού αερισμού που γίνεται μέσω ανοιγμάτων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και διάφορα ειδικά στοιχεία στα οποία ο αερισμός επιτυγχάνεται μέσω κατακόρυφων αγωγών. Τα πιο γνωστά είναι: η καμινάδα αερισμού, η ηλιακή καμινάδα, το αεριζόμενο κέλυφος.

Η καμινάδα αερισμού λειτουργεί αξιοποιώντας το φαινόμενο του φυσικού ελκυσμού, καθώς ο θερμός αέρας κινείται προς τα επάνω και έτσι δημιουργείται ρεύμα στο εσωτερικό των χώρων, μεταφέροντας τη θερμότητα εκτός του κτιρίου. Η λειτουργία της καμινάδας

αερισμού γίνεται σε συνδυασμό με κατάλληλα ανοίγματα του κτιρίου. Όταν δεν υπάρχει έντονο ρεύμα αέρα γύρω από το κτίριο, το σύστημα μπορεί να λειτουργεί με ανεμιστήρα, ο οποίος ενσωματώνεται στο υψηλότερο τμήμα της καμινάδας, εξασφαλίζοντας συνεχή εναλλαγή του εσωτερικού αέρα. Ως καμινάδες αερισμού μπορεί να λειτουργούν κατάλληλα διαμορφωμένα κλιμακοστάσια ή και εσωτερικά αίθρια ή φωταγωγοί των κτιρίων. Σε περιοχές με έντονο άνεμο υπάρχει η δυνατότητα εφαρμογής πύργων αερισμού, οι οποίοι προεξέχουν σημαντικά από την οροφή του κτιρίου, φέρουν άνοιγμα προς την σημαντική κατεύθυνση του ανέμου και έχουν τη δυνατότητα να «συλλαμβάνουν» τα ψυχρά ρεύματα αέρα και να τα κατευθύνουν μέσα στο χώρο, υποβοηθούμενοι, σε ορισμένες περιπτώσεις, από ανεμιστήρα.

Η ηλιακή καμινάδα αποτελείται από μία σκουρόχρωμη επιφάνεια, τοποθετημένη σε μια καμινάδα εξαερισμού του κτιρίου, σε μικρή απόσταση από την οποία υπάρχει γυαλί. Ο αέρας μεταξύ της σκούρας επιφάνειας και του γυαλιού θερμαίνεται σημαντικά και ανεβαίνει προς τα επάνω, δημιουργώντας έτσι ανοδική ροή του αέρα κατά μήκος της καμινάδας και στη συνέχεια έξω από αυτήν.

Το αεριζόμενο κέλυφος είναι μια διπλού στρώματος δομικών υλικών, είτε στην οροφή είτε στις προσόψεις του κτηρίου, μέσα στο οποίο κυκλοφορεί αέρας που έρχεται σε επαφή με το εξωτερικό περιβάλλον. Λόγω διαφοράς πυκνότητας, δημιουργείται ροή στο διάκενο, και απάγεται ο θερμός αέρας. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, το αεριζόμενο κέλυφος συνεισφέρει στη σκίαση του περιβλήματος και, συνεπώς, στη θερμική προστασία του κτηρίου, αλλά και στη μεταφορά θερμότητας από το περίβλημα στο εξωτερικό περιβάλλον, μέσω του αέρα που κυκλοφορεί στο διάκενο.

4.2 Ενεργητικά Συστήματα

Τα Ενεργητικά Συστήματα, δεν βασίζονται στα φυσικά φαινόμενα θερμότητας, αλλά σε ένα συνδυασμό συστημάτων και μηχανημάτων. Η ενέργεια που καταναλώνουμε στον κτιριακό τομέα παράγεται κατά το μεγαλύτερο μέρος από συμβατικά καύσιμα (άνθρακας-λιγνίτης-πετρέλαιο), τα οποία ρυπαίνουν την ατμόσφαιρα με διοξείδιο του άνθρακα και αποτελούν σπατάλη καυσίμων. Η εφαρμογή των ενεργητικών συστημάτων για την εξοικονόμηση ενέργειας, βελτιώνει την απόδοση των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού, αερισμού, ζεστού νερού χρήσης, φωτισμού και γενικότερα των συστημάτων κάλυψης των αναγκών ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα, για την κάλυψη των αναγκών του κτιρίου, χρησιμοποιούνται συστήματα αξιοποίησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ηλιακή ενέργεια, γεωθερμία, βιομάζα κλπ). Στον σχεδιασμό ενός κτιρίου, η μελέτη και εφαρμογή των ηλεκτρομηχανολογικών συστημάτων, έρχεται μετά τον ενεργειακό-βιοκλιματικό σχεδιασμό των παθητικών συστημάτων, καθώς όσο μικρότερη είναι η ζήτηση ενέργειας στο κτίριο, τόσο πιο αποτελεσματική είναι και η εφαρμογή τους. Όμως, είναι αναγκαία η χρήση των ενεργητικών συστημάτων, διότι οι ενεργειακές ανάγκες του κτιρίου δεν μπορούν να μηδενιστούν μόνο με τον παθητικό σχεδιασμό.

4.2.1 Συστήματα θέρμανσης

Τα συστήματα θέρμανσης παρέχουν θερμότητα, μέσω της κυκλοφορίας θερμού νερού ή αέρα, στους εσωτερικούς χώρους, με σκοπό την κάλυψη των θερμικών τους απαιτήσεων. Κατατάσσονται ανάλογα με τη θέση της συσκευής παραγωγής της θερμότητας σε τοπικά,

κεντρικά και τηλεθερμάνσεις. Στα τοπικά συστήματα θέρμανσης η θερμότητα παράγεται από μια συσκευή, η οποία βρίσκεται τοποθετημένη μέσα στον προς θέρμανση χώρο και αποδίδεται άμεσα σ' αυτόν, χωρίς τη μεσολάβηση οποιουδήποτε φορέα μετάδοσης θερμότητας. Τα πιο γνωστά συστήματα τοπικής θέρμανσης είναι οι θερμάστρες καυσίμων (για ξύλα, κάρβουνα, υγραέριο), οι ηλεκτρικές θερμάστρες, οι θερμάστρες υπέρυθρης ακτινοβολίας, τα αερόθερμα, οι θερμοσυσσωρευτές, οι ανοικτές εστίες καύσης (τζάκια), τα «ενεργειακά» τζάκια. Στα κεντρικά συστήματα η παραγωγή θερμότητας συντελείται σε μια συσκευή η οποία βρίσκεται τοποθετημένη “κεντρικά” σε κάποιο μηχανοστάσιο και η θερμότητα μεταδίδεται στους χώρους με τη βοήθεια ενός ενδιάμεσου φορέα θερμότητας.

Τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης αποτελούνται από τα εξής επί μέρους υποσυστήματα: · Παραγωγής θερμότητας. Αποτελείται από τη συσκευή που παράγει την απαιτούμενη θερμότητα (π.χ. καυστήρας – λέβητας, αντλία θερμότητας κλπ. · Διανομής της θερμότητας. Περιλαμβάνει το δίκτυο διανομής (σωληνώσεις) · Εκπομπής της θερμότητας. Αποτελείται από τις τερματικές συσκευές (π.χ. θερμαντικά σώματα) ή συστήματα εκπομπής · Ελέγχου και ρύθμισης. Περιλαμβάνει τις απαραίτητες συσκευές για τον έλεγχο και τη ρύθμιση της λειτουργίας του συστήματος · Παροχής καυσίμου. Παρέχεται η τροφοδοσία με την απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου · Διαχείρισης και απομάκρυνσης του καυσαερίου. Προαιρετικό υποσύστημα που απαντάται στις συσκευές καύσης ορυκτού καυσίμου ή βιομάζας (καπνοσυλλέκτης, καπνοαγωγός, καπνοδόχος) Στα συστήματα τηλεθέρμανσης διανέμεται θερμότητα που παράγεται από μια απομακρυσμένη κεντρική πηγή. Η εγκατάσταση παραγωγής θερμότητας βρίσκεται εκτός κτιρίων που τροφοδοτεί και έχει τη δυνατότητα να παρέχει θερμότητα σε ένα σύνολο κτιρίων (π.χ. οικισμός). Μια εγκατάσταση τηλεθέρμανσης αποτελείται από τον κεντρικό σταθμό παραγωγής θερμικής ενέργειας, το δίκτυο διανομής, τους υποσταθμούς των κτιρίων και το δίκτυο διανομής του κτιρίου. Ο κεντρικός σταθμός παράγει θερμότητα από την καύση ορυκτών καυσίμων, βιομάζας ή και απορριμμάτων, από την χρήση πυρηνικής ενέργειας. Καθώς επίσης και από την αξιοποίηση γεωθερμικών ρευστών ή και ηλιακής ενέργειας. Εφαρμογές τηλεθέρμανσης στην Ελλάδα έχουμε σε οικισμούς κοντά σε εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τα οποία για την παραγωγή ηλεκτρισμού εκλύουν θερμότητα, που αξιοποιείται για τις ανάγκες θέρμανσης του οικισμού (Reddy et al, 2016).

Λέβητες ορυκτών καυσίμων

Οι τεχνολογίες λεβήτων που κάνουν χρήση της κάυσης ορυκτών καυσίμων (πετρέλαιο θέρμανσης, φυσικό αέριο ή άνθρακας (μπρικέτες)) για την παραγωγή ζεστού νερού για θέρμανση χώρων και παρασκευή νερού βρύσης είναι οι πιο διαδεδομένες τεχνολογίες στα κτίρια. Το 2008, το 45% της θερμότητας σε κτίρια κατοικιών και του τομέα των υπηρεσιών παρέχονταν από φυσικό αέριο και το 19% από προϊόντα πετρελαίου (Connolly et al., 2012). Οι αναλογίες δεν έχουν αλλάξει ουσιαστικά μεταξύ 2008 και 2012, καθώς οι τεχνολογίες λεβήτων πετρελαίου και αερίου εξακολουθούν να κυριαρχούν στις αγορές τεχνολογίας θέρμανσης στις ευρωπαϊκές χώρες όσον αφορά τις πωλούμενες μονάδες. Αυτό συμβαίνει παρά το γεγονός ότι οι εναλλακτικές τεχνολογίες, όπως οι αντλίες θερμότητας, έχουν κερδίσει μερίδια αγοράς τα τελευταία δύο χρόνια. Από την άλλη πλευρά, οι λέβητες και οι φούρνοι με καύση άνθρακα δεν παίζουν σημαντικό ρόλο στις περισσότερες χώρες (εξαίρεση αποτελεί η Πολωνία). Τα συστήματα θέρμανσης με καύση ορυκτών καυσίμων συνήθως περιλαμβάνουν λέβητα, καυστήρα, δεξαμενή αποθήκευσης και σύστημα καμινάδας ή

καυσαερίων και στην περίπτωση συστημάτων καύσης πετρελαίου, LPG (Υγροποιημένο Αέριο Πετρελαίου) ή άνθρακα, απαιτείται επίσης αποθήκευση καυσίμου.

Οι παρακάτω περιγραφές επικεντρώνονται στον λέβητα και τη μονάδα καυστήρα. Οι τεχνολογίες που αναλύονται είναι λέβητες συμπύκνωσης πετρελαίου και φυσικού αερίου, καθώς και «τυποποιημένοι» λέβητες που χρησιμοποιούν πετρέλαιο ή φυσικό αέριο. Αυτό περιλαμβάνει όλες τις άλλες και παλαιότερες τεχνολογίες λεβήτων εκτός από τους λέβητες συμπύκνωσης, αλλά συμπεριλαμβανομένων των λεβήτων χαμηλής θερμοκρασίας. Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο κατηγοριών είναι ότι οι λέβητες συμπύκνωσης περιέχουν μια μονάδα συμπύκνωσης, στην οποία συμπυκνώνονται οι υδρατμοί στα καυσαέρια. Αυτό επιτρέπει τη χρήση της θερμότητας της συμπύκνωσης για σκοπούς θέρμανσης. σε τυπικούς λέβητες αυτή η θερμότητα δεν χρησιμοποιείται. Δεν γίνεται διάκριση μεταξύ εφαρμογών επιτοίχιας και δαπέδου.

Διατίθενται τυπικοί λέβητες συμπύκνωσης με διάφορες θερμικές ικανότητες, για εφαρμογές θέρμανσης ενός δωματίου με χωρητικότητα έως 11 kWth (βλ. Schramek, 2011). Διατίθενται λέβητες για ολόκληρα κτίρια με χωρητικότητα περίπου 2 έως 2.200 kWth και σε ειδικές εφαρμογές έως 5.000 kWth.

Κατά κύριο λόγο, οι λέβητες φυσικού αερίου και μαζούτ μπορούν να τροφοδοτηθούν με βιογενή υγρά ή αέρια καύσιμα. Σύμφωνα με το COWI, TI, DGC (2013) έως και περίπου το 10% του βιοελαίου μπορεί να προστεθεί στο μαζούτ χωρίς να προκληθούν σοβαρά προβλήματα. Τεχνικά είναι επίσης δυνατή η καύση καθαρού βιοελαίου σε λέβητες, αλλά μέχρι τώρα αυτό έχει συνδεθεί με αρκετά τεχνικά προβλήματα και προβλήματα συντήρησης. Απαιτείται περισσότερη έρευνα και ανάπτυξη για να δημιουργηθεί η ευρεία εφαρμογή των λεβήτων με καύση βιοπετρελαίου που έχουν παρόμοια απόδοση με τους λέβητες που καίνε ορυκτέλαια (c.f. COWI, TI, DGC, 2013). Η χρήση βιοαερίου σε λέβητες αερίου δεν αποτελεί τεχνικά πρόβλημα εάν το βιοαέριο αντιμετωπίζεται ως με θερμογόνο δύναμη κοντά στο φυσικό αέριο (μείζονα αφαίρεση CO₂ από το καθαρό βιοαέριο· (COWI, TI, DGC, 2013).

Συστήματα άμεσης ηλεκτρικής θέρμανσης

Τα αποκεντρωμένα συστήματα ηλεκτρικής θέρμανσης αποτελούνται συνήθως από θερμαντικά σώματα εγκατεστημένα σε κάθε δωμάτιο. Τα δωμάτια μπορούν επίσης να εξοπλιστούν με ηλεκτρικά συστήματα θέρμανσης δαπέδου, π.χ. σε μπάνια (π.χ. COWI, TI, DGC, 2013). Η θερμότητα παράγεται από ηλεκτρικές αντιστάσεις. Εάν σε ένα κτίριο έχει εγκατασταθεί ηλεκτρικό σύστημα θέρμανσης χώρου, το ζεστό νερό της βρύσης συνήθως τροφοδοτείται επίσης από ηλεκτρικά συστήματα. είτε με δεξαμενές ζεστού νερού με ηλεκτρικά πηνία θέρμανσης είτε με αποκεντρωμένους ηλεκτρικούς λέβητες για την αποφυγή μεγάλων αποστάσεων μεταξύ της παραγωγής ζεστού νερού και του σημείου βρύσης, προκειμένου να αποφευχθούν απώλειες και να πληρούνται οι απαιτήσεις υγιεινής.

Τα παλαιότερα ηλεκτρικά καλοριφέρ έχουν εσωτερικούς θερμοστάτες που ρυθμίζουν μόνο τη θερμοκρασία του δωματίου. Οι μεταγενέστερες ηλεκτρικές θερμάστρες είναι συχνά εξοπλισμένες με πιο έξυπνη τεχνολογία που επιτρέπει τον προγραμματισμό των χρονοδιαγραμμάτων θερμοκρασίας για κάθε μεμονωμένο δωμάτιο, τον εξωτερικό έλεγχο του συστήματος θέρμανσης ή ακόμα και τον απομακρυσμένο έλεγχο στο Διαδίκτυο (COWI, TI, DGC, 2013).

Τα καλοριφέρ μπορούν να κατασκευαστούν ως θερμαντήρες αποθήκευσης. Οι θερμαντήρες αποθήκευσης μπορούν ακόμα να παρέχουν θερμότητα μετά την απενεργοποίηση του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτά τα συστήματα μπορούν να παράγουν

θερμότητα χρησιμοποιώντας χαμηλές τιμές ηλεκτρικής ενέργειας σε περιόδους υψηλής παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και χαμηλής κατανάλωσης, συμβάλλοντας έτσι στην εξισορρόπηση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

Τα ηλεκτρικά συστήματα θέρμανσης στα κτίρια έχουν συνήθως χωρητικότητα από 5 έως 400 kWth. Τα συστήματα τηλεθέρμανσης και οι μεγάλες εφαρμογές έχουν μεγαλύτερη ισχύ έως και 25 MWth, αλλά αυτά τα συστήματα έχουν διαφορετικές διαμορφώσεις (βλ. παρακάτω). Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των ηλεκτρικών συστημάτων θέρμανσης είναι η ευελιξία τους. Μπορούν να ρυθμιστούν από 0 έως 100% (και αντίστροφα) πολύ γρήγορα επιτρέποντας πολύ ακριβή έλεγχο της θερμοκρασίας του δωματίου (βλ. COWI, TI, DGC (2013)). Η επαναθέρμανση των μονόκλινων δωματίων μπορεί επίσης να επιτευχθεί πολύ γρήγορα και η περιοδική θέρμανση (π.χ. νυχτερινή οπισθοδρόμηση) είναι πολύ αποτελεσματική. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι εξοικονομούνται απώλειες διανομής καθώς δεν υπάρχει διανομή θερμότητας με βάση το νερό στα κτίρια.

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα είναι η απώλεια ενέργειας, οι υψηλές τιμές ενέργειας και, εάν τα ηλεκτρικά συστήματα είναι ευρέως διαδεδομένα, υπάρχει ο κίνδυνος συμφόρησης στο δίκτυο διανομής σε ορισμένες περιοχές (c.f. COWI, TI, DGC, 2013).

Οι μεγάλοι ηλεκτρικοί λέβητες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται κυρίως σε συστήματα τηλεθέρμανσης, διαφέρουν από τα συστήματα που χρησιμοποιούνται σε μεμονωμένα κτίρια. Μικρότερες εφαρμογές με θερμική χωρητικότητα 1-2 MWth χρησιμοποιούν ηλεκτρική αντίσταση για την παραγωγή θερμότητας και είναι τεχνικά παρόμοιες με τις εφαρμογές σε κτίρια που περιγράφονται παραπάνω (βλ. COWI, TI, DGC (2012)). Οι μεγαλύτεροι λέβητες κατασκευάζονται ως λέβητες ηλεκτροδίων. Τα συστήματα ηλεκτροδίων αποτελούνται από ηλεκτρόδια τριών φάσεων και ένα ουδέτερο ηλεκτρόδιο. Η ισχύς τροφοδοτείται στα ηλεκτρόδια και το ρεύμα ρέει απευθείας μέσω του νερού θερμαίνοντάς το έτσι (COWI, TI, DGC (2012)). Οι λέβητες ηλεκτροδίων μπορούν να ελεγχθούν μεταξύ 10-20% και 100% του ονομαστικού φορτίου μετακινώντας έναν άξονα μετάδοσης κίνησης με κινητήρα πάνω και κάτω στα ηλεκτρόδια.

Δυστυχώς, τα ηλεκτρικά συστήματα θέρμανσης μπορούν να λειτουργήσουν με 100% ανανεώσιμες πηγές ενέργειας εάν όλη η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από ανανεώσιμες πηγές. Ως εκ τούτου, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις (δηλαδή οι σχετικές εκπομπές αερίων θερμοκηπίου) εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από το μείγμα ηλεκτρικής ενέργειας στην εν λόγω περιοχή/χώρα.

Δεν θα υπάρξουν σημαντικές βελτιώσεις στη θερμική απόδοση των συστημάτων στο μέλλον. Ωστόσο, η ενοποίηση των έξυπνων δικτύων και η διαδραστικότητα του δικτύου της άμεσης ηλεκτρικής θέρμανσης μπορεί να οδηγήσει σε θετικές τεχνολογικές εξελίξεις και βελτιώσεις (βλ. COWI, TI, DGC, 2013).

Τεχνολογίες συμπαραγωγής θερμότητας και ισχύος

Η συνδυασμένη παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας (CHP) θεωρείται σημαντικό στοιχείο για την επίτευξη των στόχων μείωσης των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου (GHG) της ΕΕ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η θερμότητα για τη θέρμανση χώρων και το ζεστό νερό της βρύσης, καθώς και η ηλεκτρική ενέργεια, παράγονται ταυτόχρονα οδηγώντας σε υψηλότερο βαθμό χρησιμοποίησης των καυσίμων (ορυκτά/ανανεώσιμα) από ό,τι με τη χωριστή παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας. Πολλά κράτη μέλη έχουν αναπτυξιακούς στόχους για τη ΣΗΘ όσον αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την παροχή θερμότητας.

Ορισμένες από τις τεχνολογίες, όπως οι ατμοστρόβιλοι ή το CCGT, χρησιμοποιούνται κυρίως σε εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας όπως τα συστήματα τηλεθέρμανσης. Άλλες τεχνολογίες μόλις εισήχθησαν στην αγορά και δεν είναι ευρέως διαδεδομένες (ακόμα σε φάση έρευνας ή/και εισαγωγής στην Ευρώπη). Επομένως, δεν είναι όλες οι παρατιθέμενες τεχνολογίες ΣΗΘ συναφείς με τον κτιριακό τομέα και επομένως δεν λαμβάνονται υπόψη σε αυτό το έγγραφο που περιγράφει και χαρακτηρίζει μόνο τις ακόλουθες τεχνολογίες:

- Συμπαραγωγή εσωτερικής καύσης (CHP-IC), με αέριο
- Μηχανή Stirling
- Κυψέλη καυσίμου

Συμπαραγωγή εσωτερικής καύσης (CHP-IC)

Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης είναι η πιο διαδεδομένη τεχνολογία CHP για αποκεντρωμένη εφαρμογή σε κτίρια. Η ακόλουθη σύντομη περιγραφή βασίζεται στο COWI, TI, DGC (2013).

Τα CHP-IC βασίζονται κυρίως σε συμβατικούς κινητήρες αερίου, οι οποίοι είναι κινητήρες με έμβολο όπου το μείγμα καυσίμου-αέρα καίγεται μέσα στον κύλινδρο. Το μείγμα καυσίμου-αέρα-συμπιέζεται από το έμβολο και στη συνέχεια αναφλέγεται (ανάφλεξη με σπινθήρα). Μέσω της καύσης, το καύσιμο και το αέριο διαστέλλονται και κινούν το έμβολο, το οποίο λειτουργεί με μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η κίνηση οδηγεί επίσης στη συμπίεση του μίγματος καυσίμου-αέρα σε έναν άλλο κύλινδρο. Ο αέρας εξαγωγής και ο ίδιος ο κινητήρας πρέπει να ψύχονται, κάτι που συνήθως επιτυγχάνεται με σύστημα υδρόψυξης. Το θερμαινόμενο νερό μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για σκοπούς θέρμανσης. Οι μονάδες παραδίδονται σε ντουλάπια με μόνωση θορύβου.

Τα περισσότερα micro και mini CHP-IC είναι τετράχρονοι υδρόψυκτοι κινητήρες, αλλά ορισμένες πολύ μικρές μονάδες (~1 kW_{el}) έχουν μόνο έναν κύλινδρο. Μεγαλύτερες εφαρμογές άνω των 300 kW_{el} διαθέτουν επίσης turbo φορτιστή. Οι κινητήρες Micro CHP έχουν επί του παρόντος απόδοση περίπου 20% και οι μίνι CHP-IC από 28% έως 36%.

Συνήθως, τα CHP-IC τροφοδοτούνται με φυσικό αέριο, αλλά υπάρχουν και κινητήρες που τροφοδοτούνται από πετρέλαιο θέρμανσης, υγραέριο ή βιοαέριο. Οι τυπικές χωρητικότητες για εφαρμογή σε κτίρια (θέρμανση χώρου, ζεστό νερό βρύσης) είναι 3 έως 300 kW_{th} και 1 έως 180 kW_{el}. Τα CHP-IC είναι επίσης διαθέσιμα για δίκτυα τηλεθέρμανσης ή εγκαταστάσεις παραγωγής με πολύ υψηλότερη ισχύ πολλών MW_{el}.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της τεχνολογίας είναι η γρήγορη εκκίνηση και η ικανότητά τους να λειτουργούν με μερικό φορτίο (με κάποιες μειώσεις απόδοσης). Επιπλέον, οι κινητήρες αερίου είναι μια καθιερωμένη τεχνολογία και εάν λειτουργούν ως ηλεκτροκίνηση (σε αντίθεση με τη θερμότητα, που είναι ο συνήθης τρόπος λειτουργίας στα κτίρια), μπορούν να βοηθήσουν στη σταθεροποίηση του ηλεκτρικού δικτύου.

Έχουν επίσης μεγάλη διάρκεια, έχουν μόνο λίγα εξαρτήματα υψηλής τεχνολογίας και είναι αρκετά αποδοτικά. Τα μειονεκτήματα είναι το συγκριτικά υψηλό κόστος O&M, οι υψηλές εκπομπές και κάποιο επίπεδο θορύβου.

Στο παρελθόν, η έρευνα επικεντρωνόταν στην αύξηση της ηλεκτρικής απόδοσης, στη μείωση των εκπομπών και στο σύστημα καταλύτη και πιθανότατα αυτά θα είναι τα πεδία ανάπτυξης στο εγγύς μέλλον.

Κινητήρας Stirling

Οι κινητήρες Stirling (μηχανές θερμού αέρα) είναι κινητήρες με έμβολο όπου σε αντίθεση με τους κινητήρες εσωτερικής καύσης η καύση πραγματοποιείται εκτός του κυλίνδρου (COWI, TI, DGC, 2013). Η κινητήρια δύναμη του κινητήρα είναι μια διαφορά

θερμοκρασίας που προκύπτει από εξωτερικές πηγές θέρμανσης και ψύξης. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει ένα μόνιμα ζεστό και ένα κρύο μέρος στον κινητήρα. Το γεγονός ότι η καύση γίνεται έξω από τον κύλινδρο επιτρέπει τη χρήση διαφορετικών τύπων καυσίμου. Οι περισσότερες εφαρμογές μικρής κλίμακας σε κτίρια τροφοδοτούνται με φυσικό αέριο, αλλά θα μπορούσαν επίσης να τροφοδοτούνται με υγραέριο, μαζούτ ή βιοαέριο. Οι μεγαλύτερες εγκαταστάσεις μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν στερεά βιομάζα ή απόβλητα (π.χ. COWI, TI, DGC, 2013). Αναμένεται ότι οι κινητήρες Stirling με αέριο θα είναι η πιο ρεαλιστική επιλογή στο εγγύς μέλλον, καθώς οι κινητήρες με καύσιμη ύλη βιομάζας είναι πολύ μεγάλοι για κτίρια μεμονωμένων και περισσότερων οικογενειών (COWI, TI, DGC, 2013).

Οι κινητήρες Stirling λειτουργούν με ένα λειτουργικό αέριο, το οποίο μπορεί να είναι ήλιο ή αέρας υπό πίεση. Στην καυτή πλευρά του κινητήρα το αέριο θερμαίνεται και διαστέλλεται, πιέζοντας ένα έμβολο που λειτουργεί. Η κίνηση του εμβόλου έχει ως αποτέλεσμα την κίνηση ενός εμβόλου μετατόπισης που ωθεί το αέριο εργασίας στην ψυχρή πλευρά του κινητήρα. Εκεί το αέριο κρυώνει και συστέλλεται. Η ψύξη του αερίου εργασίας απελευθερώνει θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση χώρου και ζεστό νερό βρύσης. Η κίνηση του εμβόλου μεταφέρεται σε μια γεννήτρια για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Παρόλο που η αρχή των κινητήρων Stirling είναι σχετικά παλιά (εφευρέθηκε το 1816), οι κινητήρες δεν είχαν τη σημαντική εμπορική τους ανακάλυψη σε αυτό το σημείο (COWI, TI, DGC, 2013). Υπάρχουν αρκετοί κινητήρες διαθέσιμοι από διαφορετικές εταιρείες, αλλά όλοι παίζουν δευτερεύοντα ρόλο στην αγορά ΣΗΘ (αποκεντρωμένες εφαρμογές). Οι κινητήρες που είναι σήμερα διαθέσιμοι έχουν ηλεκτρική απόδοση περίπου 25% (μεγαλύτερες εφαρμογές) και 12% (μικρότεροι κινητήρες). Οι μικρές εφαρμογές έχουν χωρητικότητα από 1 έως 7 kW_{el} και 7 έως 15 kW_{th}. Οι μεγάλοι κινητήρες έχουν σήμερα χωρητικότητα έως 120 kW_{th} και 37 έως 40 kW_{el} (COWI, TI, DGC, 2013).

Τα πλεονεκτήματα των κινητήρων Stirling είναι η απλή αρχή και η ικανότητα γρήγορης ρύθμισης της θερμικής απόδοσης. Ωστόσο, η ηλεκτρική έξοδος μπορεί να ρυθμιστεί μόνο σχετικά αργά. Επιπλέον, οι κινητήρες που τροφοδοτούνται με φυσικό αέριο έχουν χαμηλές εκπομπές ρύπων, δονήσεις και απαιτήσεις σέρβις, καθώς και χαμηλό κόστος κεφαλαίου και σχετικά μεγάλη τεχνική διάρκεια ζωής (COWI, TI, DGC, 2013). Τα μειονεκτήματα προκύπτουν από την υψηλή πίεση που απαιτείται για τη λειτουργία (περίπου 80 bar). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα δυσκολίες όσον αφορά την ανθεκτικότητα των εναλλάκτη θερμότητας και τη σύσφιξη των κινητήρων (βλ. COWI, TI, DGC (2013)). Επιπλέον, οι κινητήρες έχουν μεγάλους χρόνους εκκίνησης και σχετικά υψηλή κατανάλωση ενέργειας εκκίνησης. Επιπλέον, η δυνατότητα λειτουργίας με μερικό φορτίο είναι περιορισμένη (COWI, TI, DGC, 2013).

Οι ερευνητικές δραστηριότητες επικεντρώνονται σε μεγάλο βαθμό στην ηλεκτρική απόδοση, την ανθεκτικότητα των εναλλάκτη θερμότητας και τη σύσφιξη του κινητήρα. Οι τιμές που παρουσιάζονται παρακάτω αναφέρονται στον ίδιο τον κινητήρα Stirling, εξαιρουμένων άλλων εγκαταστάσεων που απαιτούνται, όπως αποθήκευση θερμότητας ή καυσίμου.

Κυψέλες καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου βρίσκονται ακόμη στη φάση εκτόξευσης στην Ευρώπη και έχουν εγκατασταθεί μόνο μονάδες επίδειξης. Στην Ιαπωνία, η τεχνολογία διεισδύει ήδη στην αγορά θερμότητας με περισσότερες από 100.000 εγκατεστημένες κυψέλες καυσίμου υδρογόνου σε νοικοκυριά μέχρι το 2014 (Watanabe, 2015). Μέχρι στιγμής, δεν διαδραματίζουν σημαντικό

ρόλο στην παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη, αλλά αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για το μέλλον.

Στις κυψέλες καυσίμου, η ηλεκτρική ενέργεια και η θερμότητα παράγονται μέσω μιας ηλεκτροχημικής αντίδρασης μεταξύ του καυσίμου και του οξυγόνου που χρησιμοποιείται. Τόσο το υδρογόνο όσο και το οξυγόνο χρειάζονται για την αντίδραση, αλλά το καθένα μπορεί να προέρχεται από διαφορετική πηγή, για παράδειγμα αναμόρφωση υδρογόνου από φυσικό αέριο και οξυγόνο από τον αέρα του περιβάλλοντος. Σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες ΣΗΘ σε κτίρια, οι κυψέλες καυσίμου έχουν τη δυνατότητα να επιτύχουν υψηλότερη απόδοση ηλεκτρικής μετατροπής στις ίδιες περιοχές ισχύος (COWI, TI, DGC, 2013). Υπάρχουν διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου όπως PEM (Μεμβράνη Ανταλλαγής Πρωτονίων) και SOFC (Κυψέλη καυσίμου στερεού οξειδίου). Επιπλέον, οι κυψέλες καυσίμου λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας.

Συνδυάζοντας πολλές στοίβες κυψελών καυσίμου, η ισχύς μιας ΣΗΘ κυψέλης καυσίμου μπορεί να αυξηθεί χωρίς μεγάλες απώλειες απόδοσης (COWI, TI, DGC, 2013). Συνήθως, τα ΣΗΘ κυψελών καυσίμου είναι εξοπλισμένα με αποθήκευση θερμότητας προκειμένου να περιοριστεί η χωρητικότητα της κυψέλης καυσίμου (οι τιμές εξακολουθούν να είναι πολύ υψηλές). Ο συνδυασμός με δεξαμενές αποθήκευσης επιτρέπει επίσης την παρακολούθηση των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας/της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας και έτσι οι ΣΗΘ κυψελών καυσίμου μπορούν να βοηθήσουν στην εξισορρόπηση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας σε τοπικό επίπεδο. Οι κυψέλες καυσίμου παρέχουν συνεχές ρεύμα (DC). Επομένως χρειάζονται πρόσθετοι μετατροπείς DC/AC (εναλλασσόμενο ρεύμα).

Η ικανότητα ρύθμισης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τρόπο παροχής του υδρογόνου. Ενώ η ικανότητα ρύθμισης των αναμορφωτών είναι περιορισμένη, οι κυψέλες καυσίμου που τροφοδοτούνται με υδρογόνο από επιτόπιες συσκευές ηλεκτρόλυσης που συνδέονται με αποθήκευση υδρογόνου μπορούν να αντιδράσουν πολύ γρήγορα και η ικανότητά τους να εξισορροπούν τα τοπικά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας είναι υψηλότερη. Ωστόσο, λόγω της απόδοσης και του χρόνου ζωής τους, οι κυψέλες καυσίμου θα πρέπει να λειτουργούν με ονομαστική ισχύ και το μερικό φορτίο θα πρέπει να αποφεύγεται (βλ. (COWI, TI, DGC, 2013).

Οι ΣΗΘ κυψελών καυσίμου μπορούν να τροφοδοτούνται με διαφορετικά καύσιμα. Εάν χρησιμοποιείται φυσικό αέριο, μπορούν εύκολα να συνδεθούν με τα υπάρχοντα δίκτυα φυσικού αερίου. Η ίδια η κυψέλη καυσίμου χρειάζεται υδρογόνο ως είσοδο και επομένως χρειάζεται ένας πρόσθετος αναμορφωτής (είτε εσωτερικός είτε ξεχωριστός). Το υδρογόνο μπορεί επίσης να τροφοδοτηθεί από συσκευές ηλεκτρόλυσης που χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια για τη δημιουργία των απαιτούμενων επιπέδων. Εάν πρόκειται να παρασχεθεί κεντρικά, χρειάζονται δίκτυα διανομής υδρογόνου. Εάν παράγεται τοπικά σε μεμονωμένα κτίρια, κάθε κτίριο χρειάζεται συσκευή ηλεκτρόλυσης και αποθήκευσης υδρογόνου για να μπορέσει να αποσυνδέσει την παραγωγή υδρογόνου από την παραγωγή θερμότητας και ηλεκτρικής ενέργειας στην κυψέλη καυσίμου. Οι ηλεκτρολύτες έχουν επί του παρόντος απόδοση περίπου 85% (COWI, TI, DGC (2013)

Ο περιβαλλοντικός αντίκτυπος των κυψελών καυσίμου εξαρτάται κυρίως από το καύσιμο που χρησιμοποιείται για την παραγωγή υδρογόνου. Εάν το υδρογόνο παράγεται σε συσκευές ηλεκτρόλυσης, δεν υπάρχουν επιτόπιες εκπομπές CO₂ και η μόνη εκπομπή είναι το νερό. Όταν η κυψέλη καυσίμου τροφοδοτείται με φυσικό αέριο, υπάρχουν επί τόπου εκπομπές CO₂ και νερού (π.χ. COWI, TI, DGC, 2013).

Δυνητικά, οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να τροφοδοτηθούν με βιοαέριο, αλλά ορισμένα συστατικά όπως το υδρόθειο πρέπει να αφαιρεθούν. Οι ηλεκτρολύτες χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια για την παραγωγή του υδρογόνου και επομένως μπορούν να χρησιμοποιούν 100% ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χωρίς τεχνικά προβλήματα. Το σύστημα που αποτελείται από ηλεκτρόλυση, αποθήκευση υδρογόνου και κυψέλες καυσίμου μπορεί να αποθηκεύσει χημικά το πλεόνασμα ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές.

Αντλίες θερμότητας

Μια αντλία θερμότητας είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μεταφορά θερμικής ενέργειας από μια πηγή θερμότητας (αέρας, έδαφος ή νερό) σε έναν άλλο προορισμό για διάφορες τελικές ενεργειακές χρήσεις (θέρμανση χώρου, θέρμανση νερού, ψύξη). Οι μηχανικές αντλίες θερμότητας εκμεταλλεύονται τις φυσικές ιδιότητες ενός πτητικού υγρού εξάτμισης και συμπύκνωσης που είναι γνωστό ως ψυκτικό. Η αντλία θερμότητας συμπιέζει το ψυκτικό για να το κάνει πιο ζεστό στην πλευρά που πρόκειται να θερμανθεί και απελευθερώνει την πίεση στην πλευρά όπου απορροφάται η θερμότητα.

Ορισμένες συσκευές είναι αναστρέψιμες. Αυτό το είδος αντλίας θερμότητας λειτουργεί είτε προς τη θερμική κατεύθυνση για να παρέχει θέρμανση ή ψύξη στον εσωτερικό χώρο. Χρησιμοποιεί μια βαλβίδα αναστροφής για να αντιστρέψει τη ροή του ψυκτικού μέσου από τον συμπιεστή μέσω του συμπυκνωτή και των πηνίων εξάτμισης.

Οι τεχνολογίες αντλιών θερμότητας μπορεί να είναι αεροθερμικές συσκευές, οι οποίες λαμβάνουν ενέργεια από τον ατμοσφαιρικό αέρα (εσωτερικός ή εξωτερικός), γεωθερμική (ενέργεια που εξάγεται από το έδαφος) ή υδροθερμική (ενέργεια που εξάγεται από νερό - πηγές λιμνών ή υπόγειων υδάτων). Γενικά, οι υδροθερμικές και γεωθερμικές αντλίες θερμότητας ομαδοποιούνται ως γεωθερμικές τεχνολογίες.

Λέβητες βιομάζας

Ένας κλίβανος βιομάζας είναι ένα κλειστό δοχείο στο οποίο θερμαίνεται νερό ή κάποιο άλλο ρευστό. Το θερμαινόμενο ή εξατμισμένο υγρό εξέρχεται από τον λέβητα για χρήση σε διάφορες διεργασίες ή εφαρμογές θέρμανσης. Στα νοικοκυριά, οι δύο βασικές εφαρμογές είναι: ζεστό νερό και κεντρική θέρμανση.

Μια σόμπα βιομάζας είναι ένα κλειστό κουτί στο οποίο καίγεται καύσιμο για παροχή θέρμανσης, είτε για θέρμανση του χώρου όπου βρίσκεται η σόμπα είτε για θέρμανση της ίδιας της σόμπας και των αντικειμένων που τοποθετούνται σε αυτήν. Η κύρια διαφορά σε έναν λέβητα είναι το γεγονός ότι δεν υπάρχει θερμαινόμενο υγρό στο σύστημα.

Ηλιακό θερμικό

Η ηλιακή θερμική ενέργεια είναι μια μορφή ενέργειας και μια τεχνολογία για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή θερμικής ενέργειας για χρήση στη βιομηχανία, τον οικιακό και εμπορικό τομέα. Η θερμική ενέργεια που λαμβάνεται από την ηλιακή ακτινοβολία χρησιμοποιείται για τη θέρμανση ενός ρευστού (υγρού ή αερίου). Η ενέργεια που αποθηκεύεται στο ρευστό μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί άμεσα (ζεστό νερό, θέρμανση κ.λπ.) ή έμμεσα (για την παραγωγή ατμού για την κίνηση των γεννητριών και έτσι την απόκτηση ηλεκτρικής ενέργειας, την παραγωγή κρούς κ.λπ.). Οι ηλιακοί συλλέκτες χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή του ηλιακού φωτός σε θερμότητα. Εδώ, αναφερόμαστε σε τεχνολογίες ηλιακής θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας που χρησιμοποιούνται μόνο για ζεστό νερό υγιεινής και θέρμανση χώρου (και περιστασιακά για ψύξη).

4.2.2 Συστήματα ψύξης

Η λειτουργία των συστημάτων ψύξης αποσκοπεί στη μείωση της θερμοκρασίας ενός χώρου, ο οποίος τελικά ψύχεται με την απομάκρυνση θερμότητας από αυτόν, για την διατήρηση των επιθυμητών συνθηκών θερμικής άνεσης στον χώρο αυτόν. Οι κατηγορίες των συστημάτων ψύξης και η δομή ενός αντίστοιχου συστήματος, όπως και στα συστήματα θέρμανσης, είναι τα τοπικά, τα κεντρικά και η τηλεψύξη. Η διαφορά με τα συστήματα θέρμανσης είναι η αντίστροφη λειτουργική συμπεριφορά τους. Τα τοπικά συστήματα κλιματισμού αποτελούν αυτόνομες μονάδες κλιματισμού και μπορούν να τοποθετηθούν σε οποιονδήποτε χώρο χωρίς να απαιτείται κεντρικό μηχανοστάσιο. Τα πιο γνωστά τοπικά συστήματα είναι οι «αντλίες θερμότητας» (Air Condition). Για να λειτουργήσει μια αντλία θερμότητας τέτοιου τύπου χρειάζεται ηλεκτρικό ρεύμα και ένα ψυκτικό ρευστό. Η μονάδα αυτή αντλεί τη θερμότητα από μια χαμηλότερη θερμοκρασία προς μια υψηλότερη, αντίθετα από την φυσική ροή. Ένα κεντρικό σύστημα κλιματισμού περιλαμβάνει την κεντρική κλιματιστική μονάδα, το δίκτυο αγωγών, τις τοπικές μονάδες που επεξεργάζονται τον αέρα, ή προσάγουν κλιματισμένο αέρα ή και παραλαμβάνουν αέρα επιστροφής και τέλος τα συστήματα ελέγχου. Ανάλογα με το μέσο μεταφοράς της θερμικής ενέργειας, διακρίνονται στα συστήματα κλιματισμού μόνο με αέρα, μόνο με νερό, με αέρα – αέρα, με ψυκτικό ρευστό – αέρα (Reddy et al, 2016).

Κλιματισμός δωματίου

Υπάρχουν κυρίως δύο διαφορετικοί τρόποι παροχής ενέργειας ψύξης: θερμικά (προσρόφηση, απορρόφηση) ή ηλεκτρική ενέργεια (ψύξη συμπίεσης). Και στις δύο περιπτώσεις, η κινητήρια ενέργεια μπορεί να παρέχεται είτε από ορυκτές είτε από ανανεώσιμες πηγές.

Καθώς το βιοτικό επίπεδο αυξάνεται στην Ευρώπη, η ανάγκη ψύξης στα νοικοκυριά καθώς και στα κτίρια γραφείων αναμένεται να αυξηθεί. Η αναλογία ψυχρού χώρου στα κτίρια γραφείων είναι σημαντικά υψηλότερη από ό,τι στα νοικοκυριά λόγω της δομής του κτιρίου τους (π.χ. μεγαλύτερη επιφάνεια παραθύρων).

Ψύξη με συμπίεση

Για τον ηλεκτρικό κλιματισμό και την ψύξη, ο κύκλος συμπίεσης είναι η τεχνολογία για την παραγωγή κρύου ως χρήσιμης ενέργειας. Το ψυκτικό υγρό συμπιέζεται από έναν ηλεκτρικό συμπιεστή για να αυξήσει την πίεση και τη θερμοκρασία.

Στη συνέχεια ψύχεται σε συμπυκνωτή όπου μετατρέπεται ξανά σε ρευστό ανταλλάσσοντας τη θερμότητα με ψυκτικό. Το ψυκτικό διέρχεται από μια βαλβίδα εκτόνωσης όπου διαστέλλεται σε χαμηλότερη πίεση και θερμοκρασία και μπορεί να κρυώσει το ψυκτικό, το οποίο βρίσκεται σε υψηλότερο επίπεδο θερμοκρασίας.

Κάθε σύστημα ψύξης με συμπίεση έχει τέσσερα βασικά στοιχεία τα οποία διατρέχουν συνεχώς το ψυκτικό:

- Ο εξαμιστής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας στην πλευρά αναρρόφησης του συμπιεστή. Το υγρό ψυκτικό εξαμιζείται υπό χαμηλή πίεση και χαμηλή θερμοκρασία. Η θερμότητα που απαιτείται για την εξαμίση του ψυκτικού μέσου λαμβάνεται από το μέσο που πρόκειται να ψυχθεί.
- Στον συμπιεστή το εξαμιζόμενο ψυκτικό συμπιέζεται μηχανικά. Αφήνει τον συμπιεστή σε υψηλό επίπεδο πίεσης και θερμοκρασίας
- (60 – 120 °C) ακόμα σε αέρια μορφή.

- Ο συμπυκνωτής είναι ένας εναλλάκτης θερμότητας στην πλευρά πίεσης του συμπιεστή. Το ψυκτικό αέριο υψηλής πίεσης δίνει τη θερμότητά του σε ένα ψυκτικό μέσο (αέρας, νερό) και συμπυκνώνεται. Στη συνέχεια το υγρό ψυκτικό συνήθως διατηρείται σε συσσωρευτή μέχρι να χρειαστεί.
- Διαχωρίζεται η πλευρά της υψηλής πίεσης του συστήματος από την πλευρά της χαμηλής πίεσης. Περαιτέρω μετράται η ροή του ψυκτικού μέσα στον εξατμιστή και συνεπώς την ψυκτική ισχύ.

Διαφορετικοί τύποι συμπιεστών αυξάνουν την πίεση του ψυκτικού μέσου και διατίθενται στην αγορά ως: παλινδρομικοί συμπιεστές, κυλιόμενοι συμπιεστές, κοχλιωτοί και φυγοκεντρικοί συμπιεστές.

Παλινδρομικοί Συμπιεστές

Η συμπίεση του ψυκτικού στους παλινδρομικούς συμπιεστές γίνεται με τη χρήση κινητήρων και εμβόλων καθώς και κυλίνδρων και βαλβίδων. Οι παλινδρομικοί συμπιεστές μπορούν να χωριστούν σε ερμητικούς, ημι-ερμητικούς και ανοιχτούς τύπους (Jarn, 2014).

Για εμπορικές, βιομηχανικές εφαρμογές ψύξης και κλιματισμού χρησιμοποιούνται σήμερα διαφορετικοί τύποι ημιαερμητικών και ανοιχτών τύπων. Ειδικότερα, οι ημιαερμητικοί παλινδρομικοί συμπιεστές είναι υψηλής απόδοσης ειδικά στην περιοχή από 15 έως 75 KW. Αυτοί οι τύποι είναι πολύ ανταγωνιστικοί σε βιομηχανικούς εξοπλισμούς ψύξης που απαιτούν από την άλλη συντήρηση. Στην Ευρώπη η ζήτηση για παλινδρομικούς συμπιεστές παραμένει η ίδια το 2014 όπως είχε αναφερθεί για το προηγούμενο έτος. Αυτή η τεχνολογία για χρήσεις ψύξης στην Ευρώπη είναι πολύ προηγμένη και καλά ανεπτυγμένη. Η χρήση αυτών των συμπιεστών με συστήματα ελέγχου μετατροπέα αυξάνεται ελαφρώς στην αγορά της ΕΕ. Το πλεονέκτημα του ελέγχου μετατροπέα είναι ότι επιτρέπει τον έλεγχο ακριβείας της ψυκτικής ικανότητας αυξάνοντας την απόδοση.

Scroll Compressors

Οι συμπιεστές κύλισης είναι επίσης γνωστοί ως συμπιεστές κατακόρυφης κύλισης και χρησιμοποιούνται συχνά σε εφαρμογές κλιματισμού, ενώ οι οριζόντιοι συμπιεστές κύλισης υιοθετούνται συνήθως σε μεταφορές με ψυγεία, βιτρίνες αποθήκευσης και ιατρικές εφαρμογές. Η ζήτηση σε αυτούς τους τομείς αναμένεται να αυξηθεί καθώς διάφοροι παράγοντες οδηγούν σε αυτή την εξέλιξη (τάση προς ψυγεία και γήρανση του πληθυσμού). Η αύξηση της ενεργειακής απόδοσης για αυτόν τον τύπο συμπιεστών ενισχύεται με τεχνολογίες ελέγχου inverter. Αυτό έχει βελτιώσει την ενεργειακή τους απόδοση και την ενεργειακή τους απόδοση. Εξαιτίας αυτού, ο συμπιεστής κύλισης έχει υιοθετηθεί από προϊόντα VRF και PAC.

Οι κυλιόμενοι συμπιεστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε συστήματα κλιματισμού (RACs, PACs) και συστήματα VRF καθώς και σε βιομηχανικά και εμπορικά ψυκτικά συγκροτήματα και αντλίες θερμότητας και συστήματα ψύξης, συμπεριλαμβανομένων των καταψυκτών.

Στην Ευρώπη η ζήτηση για αυτούς τους συμπιεστές παρουσιάζει αυξητική τάση λόγω των εφαρμογών κλιματισμού. Επιπλέον, αυξημένη ζήτηση παρατηρείται επίσης για εμπορική και βιομηχανική ψύξη και τελευταία για εφαρμογές αντλιών θερμότητας. Η χρήση τόσο ψηφιακών όσο και μετατροπέων έχει επίσης αυξηθεί (Jarn, 2014).

Κοχλιωτός Συμπιεστής

Η παγκόσμια ζήτηση για κοχλιωτούς συμπιεστές αυξήθηκε σε περίπου 150.000 μονάδες το 2014 σε τρεις αγορές, ιδιαίτερα στην Κίνα (67.000 μονάδες), την Ευρώπη (35.000 μονάδες) και τις ΗΠΑ (31.000 μονάδες). , Ιαπωνία και Ταϊβάν. Οι κοχλιωτοί

συμπιεστές χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για εμπορικές και βιομηχανικές εφαρμογές ψύξης, συμπεριλαμβανομένων των οχημάτων μεταφοράς με ψύξη. Οι μεγάλες βιομηχανικές εφαρμογές περιέχουν ημερημητικούς και ανοιχτού τύπου κοχλιωτούς συμπιεστές και έχουν υψηλό μερίδιο αγοράς (Jarn, 2015).

Λόγω της δραματικής μείωσης των εξαρτημάτων του συμπιεστή, οι κοχλιωτοί συμπιεστές είναι εύκολοι στη συντήρηση, πιο ανταγωνιστικοί και υψηλής αξιοπιστίας. Οι περισσότερες κοινές χωρητικότητες αποκλίνουν από περίπου 40 kW έως 500 kW για μεγαλύτερες εφαρμογές. Επιπλέον, επιτυγχάνεται μειωμένος θόρυβος και κραδασμοί λόγω του κινούμενου κύριου και δευτερεύοντος ρότορα. Επιπλέον, οι χαμηλές απαιτήσεις χώρου και το χαμηλό βάρος αποτελούν ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα.

Για την ψύξη χώρου στον οικιακό τομέα υπάρχουν κυρίως τρεις διαφορετικές τεχνολογίες που διαφοροποιούνται σύμφωνα με την Οδηγία Οικολογικού Σχεδιασμού LOT 10 συσκευές κλιματισμού κατοικιών (αερισμός και εξαερισμός).

- Κινητές: Η συμπίεση και οι δύο εναλλαγές θερμότητας (για θερμότητα και για ψύξη) συμβαίνουν στην ίδια μικρή συσκευή που τοποθετείται στο δωμάτιο. Η απορριπτόμενη θερμότητα γενικά διοχετεύεται με ένα σωλήνα μέσα από ένα παράθυρο.
- Single Split: Η συμπίεση του ρευστού εργασίας και η απελευθέρωση θερμότητας πραγματοποιείται έξω από το κτίριο. Η διαστολή του ρευστού εργασίας και η ψύξη γίνεται εντός του κτιρίου.
- Multi Split: Η διαφορά στα συστήματα single split είναι η παροχή ρευστού εργασίας σε περισσότερα από ένα δωμάτια που οδηγούνται από μία κεντρική μονάδα ψύξης. Αυτό μπορεί να είναι είτε συμπιεστής είτε ψύκτη απορρόφησης/προσρόφησης.

Συμπύεση οδηγούμενη από φωτοβολταϊκά

Η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται επιτόπου από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λειτουργία συσκευών ψύξης με συμπίεση. Αυτές είναι τεχνικά οι ίδιες με τις συσκευές ψύξης συμπίεσης που λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια από ορυκτά εργοστάσια ηλεκτροπαραγωγής, με ορισμένες πρόσθετες μονάδες ελέγχου για τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται επιτόπου. Μόλις οι τιμές τροφοδοσίας για ηλεκτρική ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές από επιτόπια φωτοβολταϊκά συστήματα καταστούν χαμηλότερες από τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας που αγοράζεται από το δίκτυο κοινής ωφέλειας, μπορεί να προκύψει αυξανόμενο ενδιαφέρον για επιχειρηματικά μοντέλα για τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας που παράγεται επί τόπου. Αυτό μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στη λειτουργία συνδυασμένων συστημάτων που αποτελούνται από φωτοβολταϊκά συστήματα και μηχανές ψύξης συμπίεσης με τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιείται η ιδιοκατανάλωση τοπικά παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας. Η ενσωμάτωση μιας ψυχρής αποθήκευσης μπορεί να βοηθήσει στη μεγιστοποίηση της ιδιοκατανάλωσης. Πιθανότατα στο μέλλον πολλές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν αυτό το μοντέλο θα εμφανιστούν τόσο σε ιδιωτικά κτίρια –ιδίως στη Νότια Ευρώπη– όσο και σε εμπορικά κτίρια και εφαρμογές του τριτογενούς τομέα.

Χρήση χαμηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος

Μια άλλη επιλογή είναι η άμεση χρήση του περιβάλλοντος χώρου για σκοπούς ψύξης. Αυτή θα μπορούσε να είναι η χρήση κρύου υπόγειου νερού για την ψύξη των κτιρίων, η οποία όμως εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις συνθήκες του περιβάλλοντος και δεν ήταν, μέχρι τώρα, ευρέως διαδεδομένη. Επομένως, μόνο τα θερμικά κινούμενα συστήματα ψύξης που λειτουργούν με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας περιγράφονται περαιτέρω εδώ.

Θερμική ψύξη με χρήση ανανεώσιμων πηγών θερμότητας

Τα πιο κοινά συστήματα ψύξης με ΑΠΕ είναι τα ηλιακά συστήματα. Η διαδικασία ψύξης μπορεί να είναι είτε ανοιχτός είτε κλειστός κύκλος. Οι ανοιχτοί κύκλοι χρησιμοποιούνται κυρίως για συστήματα κλιματισμού και ρυθμίζουν απευθείας τον αέρα εισόδου, ενώ οι κλειστοί κύκλοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διαφορετικές εφαρμογές όπως ψυκτικούς θαλάμους ή ψύξη πυρήνα σκυροδέματος. Οι επιλογές στις διαδικασίες ψύξης ανοιχτού κύκλου είναι:

- Υγρά αποξηραντικά: απορροφητές αντίστροφης ροής
- Στερεά αποξηραντικά: ρότορες αφύγρανσης

Σε κλειστούς κύκλους, μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε στερεά (προσοροφητικά) είτε υγρά (απορροφητικά). Η χρήση υγρών ως ροφητών συνήθως περιλαμβάνει δύο υγρά με διαφορετικά σημεία εξάτμισης. Οι ακόλουθοι συνδυασμοί χρησιμοποιούνται σε συστήματα ηλιακής ψύξης:

- νερό/βρωμιούχο λίθιο
- νερό/χλωριούχο λίθιο
- αμμωνία/νερό

Στα συστήματα ψύξης προσρόφησης τα στερεά ροφητικά είναι συνήθως πυριτική γέλη ή ζεόλιθος και το ψυκτικό είναι νερό (βλ. (Wiemken et al., 2013)). Η κύρια διαφορά μεταξύ διεργασιών ψύξης προσρόφησης και απορρόφησης είναι ότι οι διαδικασίες προσρόφησης είναι περιοδικές, ενώ το διάλυμα στις διαδικασίες απορρόφησης μεταφέρεται συνεχώς. Τα συστήματα ψύξης συνήθως περιλαμβάνουν έναν ηλιακό συλλέκτη, έναν κύκλο ψύξης που περιλαμβάνει εξατμιστή και συμπυκνωτή και μια συσκευή ψύξης. Μπορούν να περιλαμβάνουν πρόσθετες θερμικές αποθήκες για να μπορούν να παρέχουν κρύο νερό ακόμα και όταν ο ήλιος δεν λάμπει (π.χ. κατά τη διάρκεια της νύχτας). Σε κλειστούς κύκλους ένα ψυκτικό εξατμίζεται υπό χαμηλή πίεση επιτρέποντας την εξαγωγή θερμότητας από έναν εξωτερικό κύκλο. Ο ατμός του ψυκτικού απορροφάται/απορροφάται από ένα ροφητικό και για να αποφευχθεί ο κορεσμός του ροφητή, στη συνέχεια διαχωρίζεται από το ψυκτικό σε μια γεννήτρια χρησιμοποιώντας (ηλιακή) θερμότητα. Το ψυκτικό στη συνέχεια συμπυκνώνεται και τροφοδοτείται πίσω στον εξατμιστή και το ροφητικό μέσο επαναχρησιμοποιείται σε κλειστό κύκλο.

Θερμοκρασίες 5°C είναι δυνατές με διαδικασίες νερού-βρωμιούχου λιθίου. Σε συστήματα με ψυκτικό μέσο την αμμωνία, είναι δυνατές θερμοκρασίες κάτω από 0°C (π.χ. Wiemken et al., 2013). Μέχρι πρόσφατα αυτή η τεχνολογία χρησιμοποιήθηκε κυρίως για την παροχή ψύξης διεργασιών. Ωστόσο, εδώ και μερικά χρόνια, χρησιμοποιείται επίσης για την ψύξη κτιρίων σε συνδυασμό με έννοιες αποθήκευσης (αποθήκευση πάγου) ή αντλίες θερμότητας που χρησιμοποιούν θερμοκρασίες αέρα περιβάλλοντος κάτω από 0°C.

Η θερμότητα που απαιτείται στη γεννήτρια του κύκλου ψύξης μπορεί να παραχθεί από κανονικούς ηλιακούς συλλέκτες εάν απαιτούνται μόνο χαμηλές θερμοκρασίες ή από συλλέκτες συγκέντρωσης, όταν απαιτούνται θερμοκρασίες οδήγησης πάνω από 140°C σε διαδικασίες με περισσότερα από ένα στάδια.

4.2.3 Συστήματα μηχανικού αερισμού-εξαερισμού

Η εγκατάσταση και λειτουργία μηχανικών συστημάτων για την ανανέωση και την κυκλοφορία του αέρα στους εσωτερικούς χώρους ενός κτιρίου σχετίζεται άμεσα με τις συνθήκες υγιεινής και ευεξίας, δημιουργώντας ένα εσωτερικό περιβάλλον, που θα ικανοποιεί τις απαιτήσεις για ποιότητα αέρα και θα διασφαλίζει είτε την ασφαλή παραμονή των ανθρώπων (αερισμός άνεσης) είτε την ασφαλή λειτουργία των συσκευών και συστημάτων (αερισμός π.χ. λεβητοστασίου). Ο αερισμός ενός κτιρίου μπορεί να γίνει όχι μόνο με φυσικό τρόπο αλλά και με τη χρήση μηχανικών συστημάτων, όσο και με φυσικό τρόπο. Είναι η διεργασία εισαγωγής (προσαγωγής) και κυκλοφορίας μιας ποσότητας φρέσκου αέρα από το φυσικό περιβάλλον (νωπός αέρας) σε εσωτερικούς χώρους, με σκοπό τον εμπλουτισμό του εσωτερικού αέρα με οξυγόνο. Τα συστήματα ανανέωσης του αέρα στα κτίρια μπορούν να διακριθούν στις εξής κατηγορίες (Haines & Myers, 2010):

- Τα συστήματα μηχανικού αερισμού πραγματοποιούν την προσαγωγή και διανομή του αέρα στους χώρους είτε άμεσα, με την απευθείας απόρριψη του αέρα στο χώρο (σύστημα μονού σημείου), είτε έμμεσα, με τη χρήση ενός δικτύου αεραγωγών (σύστημα πολλαπλών σημείων). Βασική συσκευή του συστήματος αποτελεί σε κάθε περίπτωση ο ανεμιστήρας (κυρίως χρησιμοποιείται αξονικός ανεμιστήρας).
- Τα συστήματα μηχανικού εξαερισμού πραγματοποιούν την διεργασία απομάκρυνσης – απόρριψης (απαγωγής) αέρα από το εσωτερικό ενός κτιρίου στο εξωτερικό περιβάλλον, με σκοπό την απομάκρυνση των οσμών. Ρύπων και ανεπιθύμητων ουσιών ή χημικών ενώσεων (π.χ. CO₂). Είναι η αντίστροφη διεργασία του αερισμού και πραγματοποιούνται με αντίστοιχους μηχανικούς ή φυσικούς τρόπους. Τα συστήματα μηχανικού εξαερισμού διακρίνονται και αυτά σε συστήματα μονού ή πολλαπλών σημείων με την βοήθεια μηχανικής συσκευής (ανεμιστήρα).
- Τα συστήματα κεντρικής κλιματιστικής μονάδας αποτελούν συστήματα κεντρικού κλιματισμού και χρησιμοποιούνται για την παροχή κλιματισμένου αέρα στους εσωτερικούς χώρους ενός κτιρίου. Ο κλιματισμένος αέρας μπορεί να είναι είτε ο εξωτερικός αέρας είτε μείγμα εξωτερικού και εσωτερικού αέρα, ο οποίος έχει υποστεί κατάλληλη επεξεργασία που αφορά στη ρύθμιση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του και στον καθαρισμό του από ρύπους.

5 Ενεργειακή / περιβαλλοντική ανάλυση

5.1 Μεθοδολογία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ)

Η ανάλυση του κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment - LCA) είναι μια τυπική και κανονικοποιημένη διαδικασία (ISO 14040, 2006) για τη διερεύνηση και την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων κατά τη διάρκεια διαφορετικών σταδίων του κύκλου ζωής ενός προϊόντος (Hirschberg S.W & Burgherr, P., 2015). Η ανάλυση του κύκλου ζωής θεωρείται αποτελεσματικό εργαλείο για την επίτευξη μιας ολιστικής προσέγγισης για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ενός προϊόντος (Karlsdottir et al., 2010).

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιώντας την ανάλυση κύκλου ζωής για να υπολογιστεί η κατανάλωση ενέργειας όλων των αναφερόμενων συστημάτων, που συμβάλουν στην θέρμανση και ψύξη των εσωτερικών χώρων ενός κτηρίου, θα προκύψουν συμπεράσματα για την περιβαλλοντική επίπτωση του κάθε συστήματος σε όρους πρωτογενούς ενέργειας και εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

5.2 Διατύπωση προβλήματος

Οι ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση και ψύξη καταλαμβάνουν το 51% της τελικής ζήτησης ενέργειας στην ευρωπαϊκή ένωση σε όλους τους τομείς, οικιστικός τομέας, βιομηχανία, και τριτογενής τομέας. Αυτή η ενέργεια προέρχεται από διάφορες πηγές ενέργειας (ορυκτά καύσιμα, ανανεώσιμες πηγές, πυρηνική ενέργεια κτλ), η οποία παράγεται και μεταφέρεται στον καταναλωτή για την τελική χρήση της. Στην παραγωγή και την μεταφορά υπάρχουν φυσικά ενεργειακές απώλειες και κατανάλωση ενέργειας, και γι αυτό το λόγο το ποσό της ενέργειας που φτάνει στον καταναλωτή είναι μικρότερο από το αρχικό ενεργειακό περιεχόμενο.

Συνεπώς η πρωτογενής ενέργεια υπολογίζεται χρησιμοποιώντας συντελεστές μετατροπής που βασίζονται στο ενεργειακό μείγμα της κάθε χώρας και φυσικά διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Στη Ελλάδα οι συντελεστές αυτοί προσδιορίζονται από το Τεχνικό Επιμελητήριο Ελλάδος. Οι συντελεστές μετατροπής είναι προσεγγιστικοί, καθώς δεν λαμβάνουν υπόψη την ακριβή την εφοδιαστική αλυσίδα και την μετάβαση προς ήπιες μορφές ενέργειας και συνεπώς έχουν επίπτωση στον υπολογισμό της πρωτογενούς ενέργειας.

Με την χρήση της ανάλυσης κύκλου ζωής μπορούν να υπολογιστούν με ακρίβεια οι συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια της κάθε μορφής ενέργειας που φτάνει στον καταναλωτή, είτε ανανεώσιμης, είτε μη ανανεώσιμης, καθώς επίσης και οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, λαμβάνοντας υπόψη το ενεργειακό μίγμα της κάθε χώρας και τις ιδιαιτερότητες κάθε χώρας (π.χ. γεωγραφία, υποδομές, κόστος μεταφοράς).

Η εργασία αυτή επικεντρώνεται στον υπολογισμό της ζήτησης σε πρωτογενή ενέργεια και των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, για την θέρμανση και ψύξη κτηρίων γραφείων στον τριτογενή τομέα. Επιπλέον θα εξεταστεί η εξοικονόμηση ενέργειας που μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή θερμοχρωμικών/ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων στα κτήρια αυτά.

5.3 Κύριοι στόχοι

Σε αυτή την μελέτη θα συγκριθεί ένα κτήριο γραφείων που βρίσκεται στην Ελλάδα με ένα αντίστοιχο που βρίσκεται στην Σουηδία, ως προς την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα, και τα οφέλη της εφαρμογής θερμοχρωμικών/ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων, για την θέρμανση και ψύξη τους. Το κτήριο στο οποίο αναφέρεται η εργασία, είναι το κτήριο που μελετήθηκε από τους Detsi et al. (2020).

Στην μελέτη των Detsi et al. (2020) θεωρήθηκε ότι το κτήριο αυτό, χρησιμοποιεί μόνο αντλίες θερμότητας για την κάλυψη των αναγκών του σε θέρμανση και ψύξη. Στην πραγματικότητα η υπόθεση αυτή δεν ισχύει, όπως προκύπτει από την εκτενή μελέτη της ευρωπαϊκής επιτροπής που διεξήχθη από κοινοπραξία με επικεφαλής τον Fraunhofer :“Mapping and analyses of the current and future (2020-2030) heating/cooling fuel deployment (fossil/renewables)”.

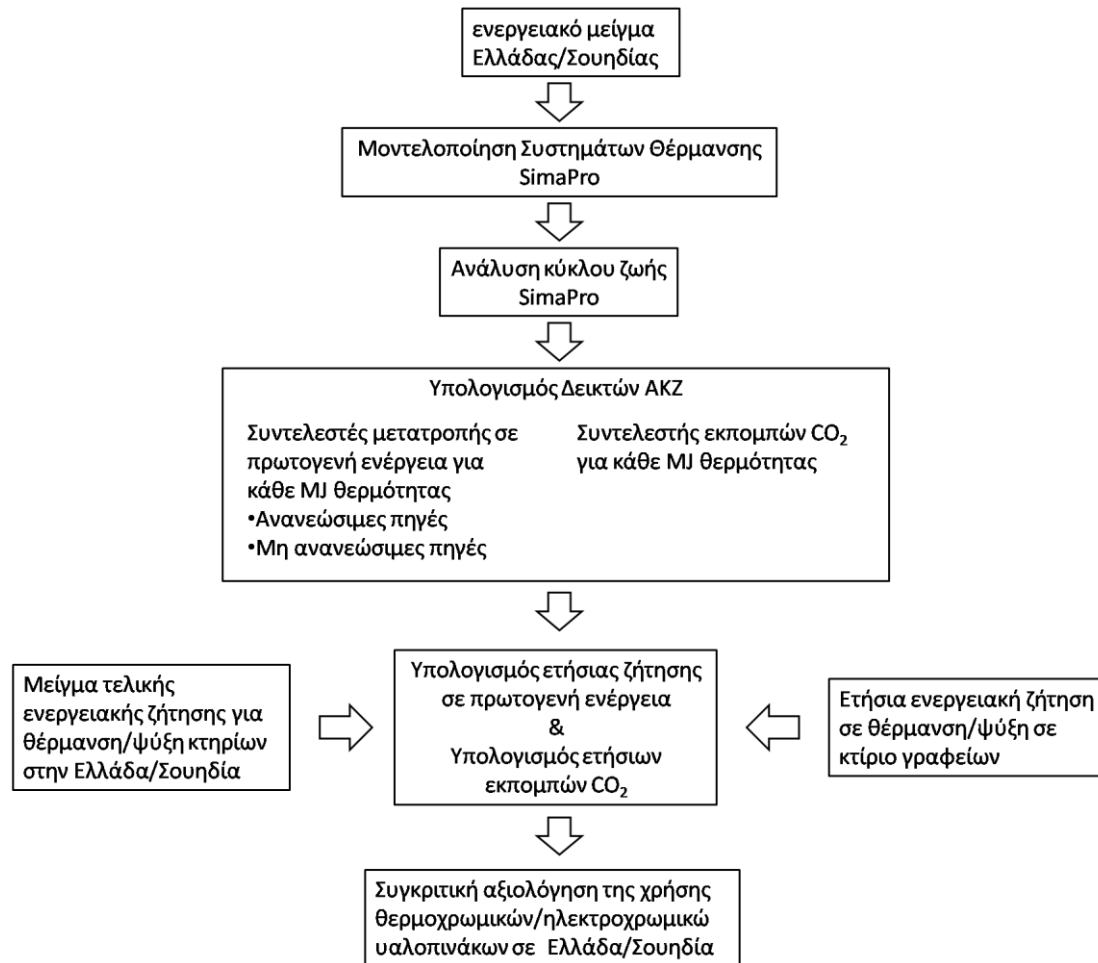
Η παρούσα εργασία θα λάβει υπόψη το σύνολο των συστημάτων που χρησιμοποιούνται στην θέρμανση/ψύξη κτηρίων γραφείων, όπως προκύπτουν από την παραπάνω μελέτη, και αφορούν την κατάσταση για το 2020 και την πρόβλεψη για την μελλοντική κατάσταση το 2030 στις δύο αυτές χώρες. Έτσι με βάση αυτά και το ενεργειακό μείγμα της κάθε χώρας, θα προκύψει μια πιο ακριβής εικόνα για την εξοικονόμηση ενέργειας με την εφαρμογή των καινοτόμων υαλοπινάκων.

Τέλος θα εξεταστεί το συνολικό ενεργειακό όφελος σε κάθε χώρα, αν εφαρμοζόταν συνολικά η τεχνολογία των θερμοχρωμικών/ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων σε ποσοστό των κτηρίων.

5.4 Στάδια εφαρμογής

Για να επιτευχθούν οι στόχοι, ακολουθήθηκαν τα παρακάτω βήματα:

1. Καταγραφή της τελικής ενεργειακής ζήτησης για θέρμανση/ψύξη των κτιρίων γραφείων στην Ελλάδα και στην Σουηδία.
2. Καταγραφή ενεργειακού μείγματος ηλεκτροπαραγωγής και θέρμανσης της κάθε χώρας.
3. Εφαρμογή Ανάλυσης Κύκλου Ζωής για τα διαφορετικά συστήματα θέρμανσης και ψύξης στην κάθε χώρα.
4. Υπολογισμός συντελεστών πρωτογενούς ενέργειας και εκπομπών CO₂, ανά μορφή ενέργειας, στην κάθε χώρα.
5. Υπολογισμός ετήσιας ζήτησης πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση/ψύξη σε ένα κτήριο γραφείου με ή χωρίς θερμοχρωμικούς/ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες, σε κάθε χώρα.
6. Υπολογισμός συνολικών οφελών εξοικονόμησης πρωτογενούς ενέργειας σε κάθε χώρα με την εφαρμογή των θερμοχρωμικών/ηλεκτροχρωμικών υαλοπινάκων σε ποσοστό του συνολικού κτηριακού αποθέματος της χώρας.



Εικόνα 5-1 Σχηματική απεικόνιση της διαδικασίας που ακολουθήθηκε.

5.4.1 Καθορισμός ενεργειακών/περιβαλλοντικών δεικτών

Οι περιβαλλοντικοί δείκτες, που θα χρησιμοποιηθούν στην μελέτη αυτή, και θα βοηθήσουν στην εξαγωγή των συμπερασμάτων είναι δύο:

Αθροιστική Ενεργειακή Απαίτηση

Η μέθοδος υπολογισμού της Αθροιστικής Ενεργειακής Απαίτησης (Cumulative Energy Demand ή CED) βασίζεται στη μέθοδο που δημοσιεύτηκε από την έκδοση 2.0 του Ecoinvent και επεκτάθηκε από την PRé για ενεργειακούς πόρους που είναι διαθέσιμοι στη βάση δεδομένων SimaPro. Η προεπιλογή του δείκτη CED χρησιμοποιεί την ανωτέρα θερμογόνο δύναμη των καυσίμων.

Ο δείκτης CED για ένα προϊόν εκφράζει την άμεση και έμμεση ενεργειακή χρήση που ενσωματώνεται σε αυτό, δηλαδή όλη την ενέργεια που χρειάζεται για να διανύσει το προϊόν όλο τον κύκλο ζωής του. Συμπεριλαμβάνεται σε αυτό τον δείκτη η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την εξόρυξη, παρασκευή και απόθεση πρώτων υλών. Αποτελεί έναν αρκετά παλιό και ανεπτυγμένο δείκτη για το LCA. Είναι ένας αρκετά αξιόπιστος δείκτης και πολύ βοηθητικός για την λήψη αποφάσεων. Το μειονέκτημα του είναι πως δεν έχει τυποποιηθεί ακόμα ο τρόπος της μέτρησης του. Η έννοια και ο τρόπος μέτρησης του CED εκφράζονται από το Ecoinvent Report No.3, όπου ο δείκτης CED χωρίζεται σε δύο κατηγορίες ενεργειακών πηγών: τις μη ανανεώσιμες και τις ανανεώσιμες. Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χωρίζονται σε 3 υποκατηγορίες: ορυκτά καύσιμα, πυρηνικά και πρωτογενή

ξυλεία (primary forest). Οι ανανεώσιμες πηγές χωρίζονται σε 5 υποκατηγορίες: αιολική, ηλιακή, γεωθερμική, βιομάζα και υδροηλεκτρική. Η παραδοχή που γίνεται εδώ είναι πως όλοι οι ενεργειακοί φορείς έχουν μία εγγενή τιμή. Αυτή η εγγενής τιμή καθορίζεται από την ενέργεια που παραλαμβάνεται από το περιβάλλον, η οποία πρέπει να είναι κοινή και για τις 8 υποκατηγορίες. Γι' αυτό και το CED εκφράζεται ισοδύναμα σε MJ, MJ-eq. Ο λόγος που εκφράζεται με αυτή τη μονάδα μέτρησης είναι ώστε να είναι κοινός ο ορισμός της ενέργειας για όλες τις πηγές. Έτσι λοιπόν η τελική ενέργεια που χρησιμοποιείται για τον Κύκλο Ζωής ενός προϊόντος δεν αποτελείται μόνο από την πρωτογενή ενέργεια της ενεργειακής πηγής (της εκάστοτε υποκατηγορίας), αλλά και π.χ. από την ενέργεια που έχει δαπανηθεί για τη μεταφορά των πρώτων υλών στο εργοστάσιο κτλ. Για παράδειγμα για κάθε MJ που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενός κιλού μίας ουσίας, δαπανώνται 3 MJ πρωτογενούς ενέργειας και 2.5 MJ ενέργεια για μεταφορές. Τότε στην παραγωγή του αυτό το προϊόν έχει 5.5 MJ-eq.

Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη

Το Πρωτόκολλο για τα Αέρια Θερμοκηπίου (Greenhouse Gas Protocol - GHG Protocol), που αναπτύχθηκε από το Παγκόσμιο Ινστιτούτο Πόρων (World Resources Institute - WRI) και το Παγκόσμιο Επιχειρηματικό Συμβούλιο για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη (World Business Council for Sustainable Development - WBCSD), είναι ένα πρότυπο για την μέτρηση και την διαχείριση των εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στο προσχέδιο της αναφοράς Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard.

Το δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης (Global Warming Potentials – GWP) αναπτύχθηκε για να συγκρίνει την ικανότητα κάθε αερίου του θερμοκηπίου, σε σχέση με την ικανότητα του CO₂ να απορροφήσει την ακτινοβολία στη ατμόσφαιρα και να συμβάλει στην παγκόσμια θέρμανση. Το δυναμικό του CO₂ ορίστηκε, με την υπόθεση ότι ο μέσος χρόνος παραμονής του στην ατμόσφαιρα είναι 100 χρόνια. Έτσι για την ίδια ποσότητα εκπομπών η σειρά το δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης, ξεκινώντας από το μεγαλύτερο, είναι: CFC>N₂O>CH₄>CO₂. Για τους ρυπαντές CO, NO_x, μη μεθανιούχες οργανικές ενώσεις και SO₂ δεν έχει εκτιμηθεί το δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης, επειδή δεν υπάρχει αξιόπιστη μέθοδος εκτίμησης της άμεσης ή έμμεσης επίδρασης τους.

Το δυναμικό παγκόσμιας θέρμανσης εξαρτάται από χαρακτηριστικά όπως : α) η απορροφητικότητα του αερίου στην υπέρυθη περιοχή του φάσματος, β) η φασματοσκοπική περιοχή απορρόφησης και γ) από τον χρόνο ζωής του αερίου στην ατμόσφαιρα.

Το GWP υπολογίζεται, με τον ορισμό που δίνεται από το Ecoinvent Report No.3 (Implementation of Life Cycle Assessment Methods) σε ισοδύναμη μάζα αερίου διοξειδίου του άνθρακα ανά μονάδα μάζας της μελετώμενης ουσίας (Ecoinvent report No.3). Δηλαδή το GWP για ένα κιλό της μελετούμενης ουσίας, μετριέται σε ισοδύναμα κιλά του διοξειδίου του άνθρακα, που έχουν την ίδια επίδραση. Όταν μία ουσία έχει για παράδειγμα GWP=10 kg CO₂ - eq σημαίνει πως 1 kg της μελετώμενης ουσίας προκαλεί στο φαινόμενο του θερμοκηπίου ίδια επιβάρυνση όσο και 10 kg CO₂ . Είναι λογικό ότι χρησιμοποιείται το CO₂ σαν αέριο αναφοράς, διότι είναι το πιο γνωστό και καλά μελετημένο αέριο του θερμοκηπίου.

5.4.2 Περιγραφή εφαρμογής Η/Θ υαλοπινάκων

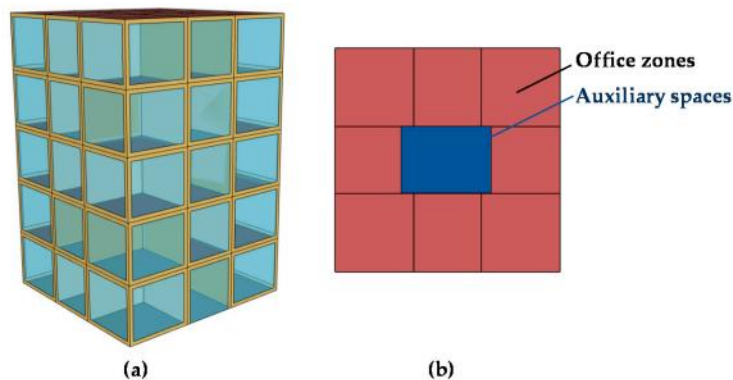
Τοποθεσία

Η Αθήνα και η Στοκχόλμη επιλέχθηκαν σαν τοποθεσίες των κτηρίων, ώστε να ληφθούν υπόψη οι διαφορετικές κλιματικές συνθήκες που επικρατούν σε αυτές τις περιοχές. Το κλίμα στην Αθήνα είναι μεσογειακό ενώ στη Στοκχόλμη ωκεάνιο και αρκετά ψυχρότερο.

Το εξεταζόμενο κτήριο

Το μέσο κτήριο γραφείων που κατασκευάστηκε στην Ευρώπη μετά το 1980, έχει λόγο επιφάνειας υαλοπινάκων προς συνολική επιφάνεια κτηρίου (Window to Wall Ratio - WWR) ίσο με 60%. Συνεπώς το μοντέλο του κτηρίου που χρησιμοποιήθηκε από τους Detsi et al. (2020), είναι ένα κτήριο με μεγάλο WWR, που βρίσκεται στην Ελλάδα και στην Σουηδία. Αυτές οι δύο χώρες επιλέχθηκαν λόγω της μεγάλης διαφοράς στο κλίμα τους, που θα επιτρέψει την μελέτη της ενεργειακής απόδοσης των Η/Θ υαλοπινάκων, σε δύο πολύ διαφορετικές περιπτώσεις (Detsi et al., 2020).

Το εξεταζόμενο κτήριο φαίνεται στην εικόνα 5-2. Είναι ένα κτήριο γραφείου με τετράγωνη διάταξη γραφείων 10m × 10m, και ωφέλιμη επιφάνεια δαπέδου 455m². Το κτήριο διαθέτει γυάλινη πόρτα και συνολική επιφάνεια υαλοπινάκων 457.6m², με WWR ίσο με 76%. Το κτήριο αποτελείται από τα γραφεία, που βρίσκονται σε δωμάτια περιμετρικά του κτηρίου, και μια κεντρική ζώνη που χρησιμεύει ως βοηθητικός χώρος (διάδρομος, σκάλες και ανελκυστήρας). Η φέρουσα δομή του κτηρίου αποτελείται από σκυρόδεμα, ενώ οι εσωτερικοί τοίχοι είναι από τούβλα. (Detsi et al., 2020).



Εικόνα 5-2 (a) το μοντέλο του κτηρίου, (b) κάτοψη του κτηρίου (Detsi et al., 2020)

Το πρόγραμμα της χρήσης του κτηρίου και της χρήσης του ηλεκτρολογικού εξοπλισμού και του φωτισμού, μοντελοποιήθηκε με βάση το πρότυπο ASHRAE 90.1, που περιέχει ακριβές ωριαίο πρόγραμμα χρήσης και είναι εκφρασμένη ως ένα ποσοστό του μέγιστου φορτίου. Επίσης δεν συμπεριλαμβάνεται στο ευρωπαϊκό ή στα κρατικά (Ελλάδα και Σουηδία) πρότυπα (Detsi et al., 2020).


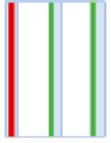
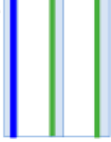
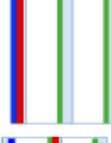
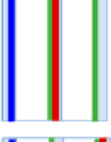
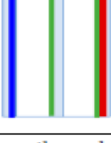
Οι απαιτήσεις σε φωτισμό υπολογίστηκαν με βάση το πρότυπο EN12464-1, λαμβάνοντας υπόψη ταυτόχρονα το φυσικό και τεχνικό φως. Ρυθμιζόμενα φώτα ως προς την ένταση, συμπεριλήφθηκαν στο μοντέλο και το σημείο αναφοράς του φωτισμού τοποθετήθηκε στο μέσο του κάθε γραφείου. Ο απαιτούμενος φωτισμός υπολογίστηκε σε ύψος 0.8m που θεωρείται αντιπροσωπευτικό για ένα άτομο που εργάζεται σε γραφείο. Με αυτόν τον τρόπο το επίπεδο του τεχνικού φωτισμού στα δωμάτια των γραφείων, ελέγχθηκε σύμφωνα με την ένταση του φυσικού φωτός, ώστε να διατηρείται στο χώρο ελάχιστος φωτισμός ίσος με 500 lux. Στους βοηθητικούς χώρους δεν χρησιμοποιήθηκε ρυθμιζόμενος φωτισμός, αφού δεν υπάρχει πρόσβαση σε φυσικό φως, και ο φωτισμός έντασης 100 lux θεωρήθηκε επαρκής. (Detsi et al., 2020).

Η προσομοίωση των ενεργειακών αναγκών του κτηρίου έγινε με το λογισμικό EnergyPlus, και τα αποτελέσματα της απαιτούμενης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη ανά τ.μ. παρουσιάζονται στους πίνακες 5-2 και 5-3.

Εναλλακτικές διαμορφώσεις υαλοπινάκων

Η μελέτη από τους Detsi et al. (2020), διερεύνησε μια σειρά μονωτικών υαλοπινάκων με θερμοχρωμικές και ηλεκτροχρωμικές στρώσεις. Σαν περίπτωση αναφοράς (case 1) χρησιμοποιήθηκε ένας τριπλός υαλοπίνακας με επιστρώσεις χαμηλής εκπομπής (low-e). Αυτές οι επιστρώσεις ελαχιστοποιούν το ποσό της υπέρυθρης και υπεριώδης ακτινοβολίας που διαπερνά το παράθυρο. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν εσωτερικά στόρια για να προστατευτούν οι εργαζόμενοι από το εκτυφλωτικό φως. Για την αξιολόγηση της εξοικονόμησης ενέργειας, εξετάστηκαν οι περιπτώσεις ενός τριπλού θερμοχρωμικού υαλοπίνακα (case 2) και ενός τριπλού ηλεκτροχρωμικού υαλοπίνακα (case 3), με επιστρώσεις low-e. Επιπλέον εξετάστηκαν τρεις περιπτώσεις υαλοπινάκων με συνδυασμό ηλεκτροχρωμικών και θερμοχρωμικών ιδιοτήτων: ένας τριπλός υαλοπίνακας με θερμοχρωμική και ηλεκτροχρωμική επίστρωση στο εξωτερικό τμήμα (case 4), ένας τριπλός υαλοπίνακας με ηλεκτροχρωμική επίστρωση στο εξωτερικό τμήμα και θερμοχρωμική επίστρωση το μεσαίο τμήμα (case 5), και τέλος ένας τριπλός υαλοπίνακας με ηλεκτροχρωμική επίστρωση στο εξωτερικό τμήμα, και θερμοχρωμική επίστρωση στο εσωτερικό τμήμα (case 6). Οι θερμικές και οπτικές ιδιότητες των υαλοπινάκων παρουσιάζονται στον πίνακα 5-1 και υπολογίστηκαν με το λογισμικό WINDOW 7.7.

Πίνακας 5-1 Θερμικές και οπτικές ιδιότητες των διάφορων μονωτικών παραθύρων (Detsi et al., 2020)

Case	Window System	Configuration ¹	U-Value (W/(m ² K))	g-Value (-)	τ_{vis} (-)
1	Triple low-e with interior blinds (reference case)		0.68	0.51	0.75
2	Triple with TC and low-e		0.67	0.44/0.13	0.60/0.01
3	Triple with EC and low-e		0.67	0.36/0.04	0.58/0.01
4	Triple with EC and TC on the outer pane and low-e		0.67	0.29/0.04	0.46/0.00
5	Triple with EC on the outer and TC on the middle pane and low-e		0.67	0.33/0.03	0.46/0.00
6	Triple with EC on the outer and TC on the inner pane and low-e		0.67	0.35/0.04	0.46/0.00

¹ The green line refers to a low-e coating, the red line to a thermochromic layer, and the blue line to an electrochromic layer.

Σε όλες τις διατάξεις υαλοπινάκων, χρησιμοποιήθηκε στα διάκενα των 14mm το ευγενές αέριο αργό, για να διασφαλιστεί η χαμηλή μετάδοση θερμότητας. Η θερμοχρωμική επιστρωση μεταβάλλεται σε ποιο σκούρες καταστάσεις λόγω της αύξησης θερμοκρασίας, ενώ η ηλεκτροχρωμική αλλάζει στην σκούρα κατάσταση όταν υπάρχει ενοχλητικό φως και λάμπεις (Detsi et al., 2020).

Αποτελέσματα προσομοίωσης

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης των ενεργειακών αναγκών του κτηρίου που προέκυψαν από τους Detsi et al. (2020), θα παρθούν ως δεδομένα που θα εισαχθούν στον υπολογισμό της πρωτογενούς ενέργειας στα παρακάτω στάδια. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες 5-2 και 5-3 για την περίπτωση της Αθήνας και της Στοκχόλμης αντίστοιχα.

Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκαν να συγκριθούν οι περιπτώσεις υαλοπινάκων 1, 2 και 4, η περίπτωση 1 ως σημείο αναφοράς, η περίπτωση 2 διότι παρουσιάζει την μικρότερη απαίτηση σε θέρμανση και μεγαλύτερη σε ψύξη, και η περίπτωση 4 διότι παρουσιάζει την μεγαλύτερη απαίτηση σε θέρμανση και την μικρότερη σε ψύξη.

Πίνακας 5-2 Ετήσιες ενεργειακές ανάγκες για τις διαφορετικές περιπτώσεις υαλοπινάκων στην Αθήνα (Detsi et al., 2020).

Case	Heating (kWh/m ²)	Cooling (kWh/m ²)	Lighting (kWh/m ²)
1	22.87	114.93	18.07
2	28.56	76.37	18.06
3	38.12	73.21	18.60
4	42.73	55.81	19.88
5	40.33	68.62	19.86
6	37.33	75.48	19.07

Πίνακας 5-3 Ενεργειακές ανάγκες για τις διαφορετικές περιπτώσεις υαλοπινάκων στην Στοκχόλμη (Detsi et al., 2020).

Case	Heating (kWh/m ²)	Cooling (kWh/m ²)	Lighting (kWh/m ²)
1	85.97	32.72	21.15
2	89.42	15.46	21.33
3	97.84	7.28	21.77
4	99.48	2.25	22.42
5	99.86	5.19	22.58
6	96.66	8.21	22.40

5.4.3 Περιγραφή εναλλακτικών συστημάτων θέρμανσης/δροσισμού

Τα συστήματα θέρμανσης/δροσισμού που θα συμπεριλάβουμε στην ανάλυση κύκλου ζωής στο πρόγραμμα SimaPro είναι τα εξής:

- Λέβητας φυσικού αερίου
- Κλίβανος πέλλετ
- Λέβητας πετρελαίου
- Ηλιακοί συλλέκτες
- Αντλίες θερμότητας
- Ηλεκτρικά συστήματα θέρμανσης
- Τηλεθέρμανση

5.4.4 Αλυσίδες παραγωγής, μεταφοράς και διανομής καυσίμων και ηλεκτρισμού

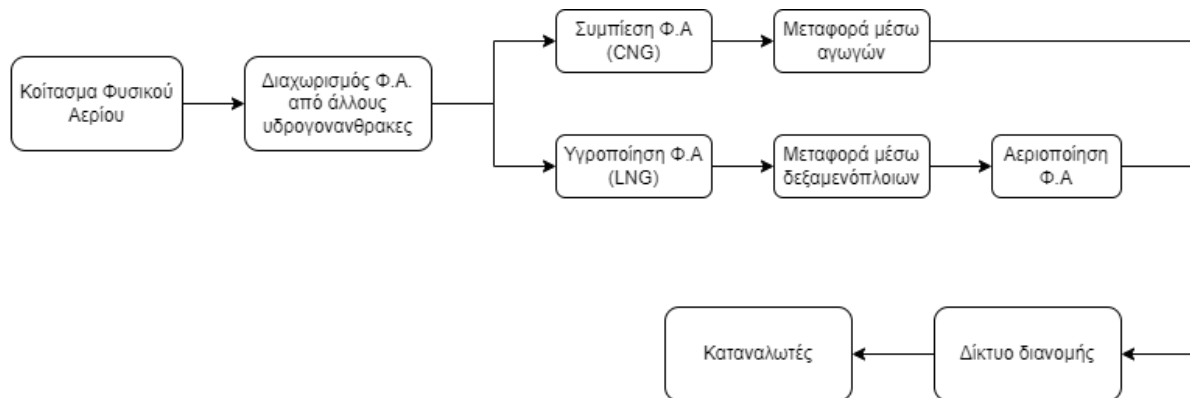
Εδώ θα αναλυθεί ο τρόπος με τον οποίο η ενέργεια που βρίσκεται σε μορφή καυσίμων ή ηλεκτρισμού παράγεται, μεταφέρεται και διανέμεται στον τελικό καταναλωτή.

Ορυκτά καύσιμα

Το πετρέλαιο είναι ένα σύνθετο μείγμα υδρογονανθράκων που απαντάται στη Γη σε υγρή, αέρια ή στερεή μορφή. Ο όρος συχνά περιορίζεται στην υγρή μορφή, που συνήθως ονομάζεται αργό πετρέλαιο, αν και ως τεχνικός όρος περιλαμβάνει επίσης φυσικό αέριο και την παχύρρευστη ή στερεή μορφή που είναι γνωστή ως άσφαλτος. Η υγρή και η αέρια φάση του πετρελαίου αποτελούν τα σημαντικότερα ορυκτά καύσιμα. Ακολουθούν μερικά από τα πιο σημαντικά προϊόντα του πετρελαίου.

Τα αέρια προϊόντα διυλιστηρίου περιλαμβάνουν υδρογόνο, μεθάνιο, αιθάνιο και προπάνιο ή υγραέριο. Το μεγαλύτερο μέρος του υδρογόνου καταναλώνεται σε εγκαταστάσεις αποθείωσης των διυλιστηρίων. Το μεθάνιο έχει συνήθως θερμική αξία παρόμοια με το φυσικό αέριο και καταναλώνεται στις διεργασίες της μονάδας. Το αιθάνιο μπορεί να ανακτηθεί από το διυλιστήριο για χρήση ως πετροχημική πρώτη ύλη. Το υγραέριο είναι ένα βολικό, φορητό καύσιμο για οικιακή θέρμανση και μαγείρεμα ή για ελαφριά βιομηχανική χρήση. (Curley, R. 2012)

Μετά την εξόρυξη, το φυσικό αέριο διαχωρίζεται από άλλους υδρογονάνθρακες και ρευστά (π.χ. νερό), σε μονάδες επεξεργασίας, ώστε το φυσικό αέριο να έχει την κατάλληλη καθαρότητα για να μεταφερθεί από αγωγούς. Υπάρχουν δύο τρόποι μεταφοράς του φυσικού σε μεγάλες αποστάσεις. Ο πρώτος είναι μέσω αγωγών και ο δεύτερος είναι μέσω δεξαμενόπλοιων αφού πρώτα υγροποιηθεί. Τέλος διανέμεται στους καταναλωτές μέσω ενός δικτύου διανομής, για παράδειγμα σε μία πόλη. (Devold, H. 2013)



Εικόνα 5-3 Αλυσίδα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής φυσικού αερίου.

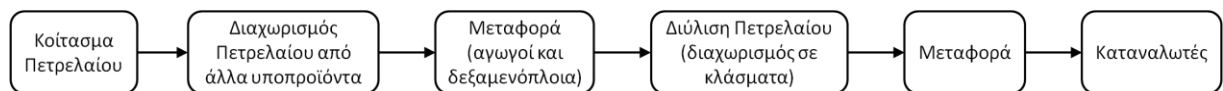
Τα παράγωγα σε υγρή φάση, που χρησιμοποιούνται ως καύσιμα είναι κυρίως η βενζίνη, η κηροζίνη, το ντίζελ και το μαζούτ.

Η βενζίνη αποτελείται κυρίως από 4 με 12 άτομα άνθρακα ανά μόριο και έχει σημείο βρασμού έως 120 °C. Η κύρια χρήση του είναι ως καύσιμο για κινητήρες εσωτερικής καύσης.

Η κηροζίνη αποτελείται από μόρια υδρογονανθράκων που έχουν 10-16 άτομα άνθρακα ανά μόριο, και έχει σημείο βρασμού μεταξύ 150 °C και 275 °C. Η κύρια χρήση του είναι ως καύσιμο στην αεροπορία.

Το ντίζελ χρησιμοποιείται στους κινητήρες ντίζελ σε αυτοκίνητα, φορτηγά, πλοία και τρένα. Το εύρος των ατόμων άνθρακα ανά μόριο είναι μεταξύ 8-21 (κυρίως 16-20), και το κλάσμα έχει σημείο βρασμού μεταξύ 200 °C και 350 °C.

Το μαζούτ αποτελείται σε μεγάλο βαθμό από τα υπολείμματα της διύλισης του αργού πετρελαίου, πριν την πίσσα. Αυτά αναμιγνύονται με άλλα κατάλληλα κλάσματα πετρελαίου προκειμένου να επιτευχθεί το επιθυμητό ιξώδες, για ευκολότερο χειρισμό. Είναι το καύσιμο με την χαμηλότερη ποιότητα και χρησιμοποιείται κυρίως σε πλοία, σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρισμού με μηχανές εσωτερικής καύσης και σε μονάδες τηλεθέρμανσης. Το μαζούτ είναι το μόνο διυλισμένο προϊόν που έχει τιμή αγοράς χαμηλότερη από το κόστος του αργού πετρελαίου. (Devold, H. 2013)



Εικόνα 5-4 Αλυσίδα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής πετρελαίου.

Η εξόρυξη από την πετρελαιοπηγή ξεκινά είτε στην στεριά είτε στη θάλασσα σε πλατφόρμες εξόρυξης και μεταφέρεται απευθείας σε μονάδα επεξεργασίας, που διαχωρίζει την υγρή από την αέρια φάση. Στη συνέχεια το αργό πετρέλαιο μεταφέρεται μέσω αγωγών στο διυλιστήριο. Αν δεν υπάρχουν αγωγοί, τότε το αργό πετρέλαιο αποθηκεύεται σε δεξαμενές και μεταφέρεται μέσω δεξαμενόπλοιων. Στο διυλιστήριο το αργό πετρέλαιο διαχωρίζεται στα συστατικά του, με κλασματική απόσταξη σε στήλη απόσταξης και τα διάφορα συστατικά (LPG, νάφθα, βενζίνη, κηροζίνη, ντίζελ, λιπαντικά λάδια, βαρύ πετρέλαιο, πίσσα) αποθηκεύονται δεξαμενές. Τέλος τα καύσιμα μεταφέρονται στους καταναλωτές μέσω βυτιοφόρων και δεξαμενοπλοίων. (Devold, H. 2013)

Ηλεκτρισμός

Σκοπός του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας είναι η διασύνδεση των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ή των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τα φορτία κατανάλωσης. Ένα τριφασικό σύστημα AC χρησιμοποιείται για τις περισσότερες γραμμές μεταφοράς. Η συχνότητα λειτουργίας είναι 60 Hz στις Ηνωμένες Πολιτείες και 50 Hz στην Ευρώπη, την Αυστραλία και μέρος της Ασίας. (Grigsby, L.L. 2012)

Στους συμβατικούς σταθμούς παραγωγής μετατρέπεται η ενέργεια του φυσικού αερίου, του πετρελαίου, του άνθρακα και του πυρηνικού καυσίμου σε ηλεκτρική ενέργεια μέσω ενός θερμοδυναμικού κύκλου. Επιπρόσθετα οι πράσινες πηγές ενέργειας χρησιμοποιούν τον αέρα και τον ήλιο και το νερό για την παραγωγή ηλεκτρισμού. Οι πιο διαδεδομένες μονάδες παραγωγής ενέργειας είναι οι εξής:

- Θερμοηλεκτρικός σταθμός

Το καύσιμο είναι κονιοποιημένος άνθρακας ή φυσικό αέριο και οι παλαιότεροι σταθμοί χρησιμοποιούν πετρέλαιο. Το καύσιμο αναμιγνύεται με αέρα και καίγεται σε λέβητα που παράγει ατμό. Ο ατμός υψηλής πίεσης και υψηλής θερμοκρασίας περιστρέφει τον στρόβιλο, ο οποίος κινεί τη γεννήτρια που παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

- Πυρηνικός σταθμός

Το εμπλουτισμένο ουράνιο, το οποίο υπόκειται σε ατομική σχάση στον πύρινα, παράγει θερμότητα που θερμαίνει το νερό και παράγει ατμό. Ο ατμός κινεί τον στρόβιλο και τη γεννήτρια, και παράγει ηλεκτρισμό.

- Υδροηλεκτρικός σταθμός

Η κατασκευή ενός φράγματος, αυξάνει τη στάθμη του νερού σε ένα ποτάμι. Όταν το νερό απελευθερώνεται η δυναμική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική και έτσι η γρήγορη ροή νερού κινεί έναν υδροστρόβιλο. Ο υδροστρόβιλος με τη σειρά του κινεί μια γεννήτρια που παράγει ηλεκτρική ενέργεια.

- Αεριοστρόβιλος

Ο αεριοστρόβιλος χρησιμοποιεί φυσικό αέριο ως καύσιμο. Τα καυσαέρια δημιουργούν μια ροή αερίου υψηλής ταχύτητας που περιστρέφει τον στρόβιλο και τη γεννήτρια.

- Αιολικό πάρκο

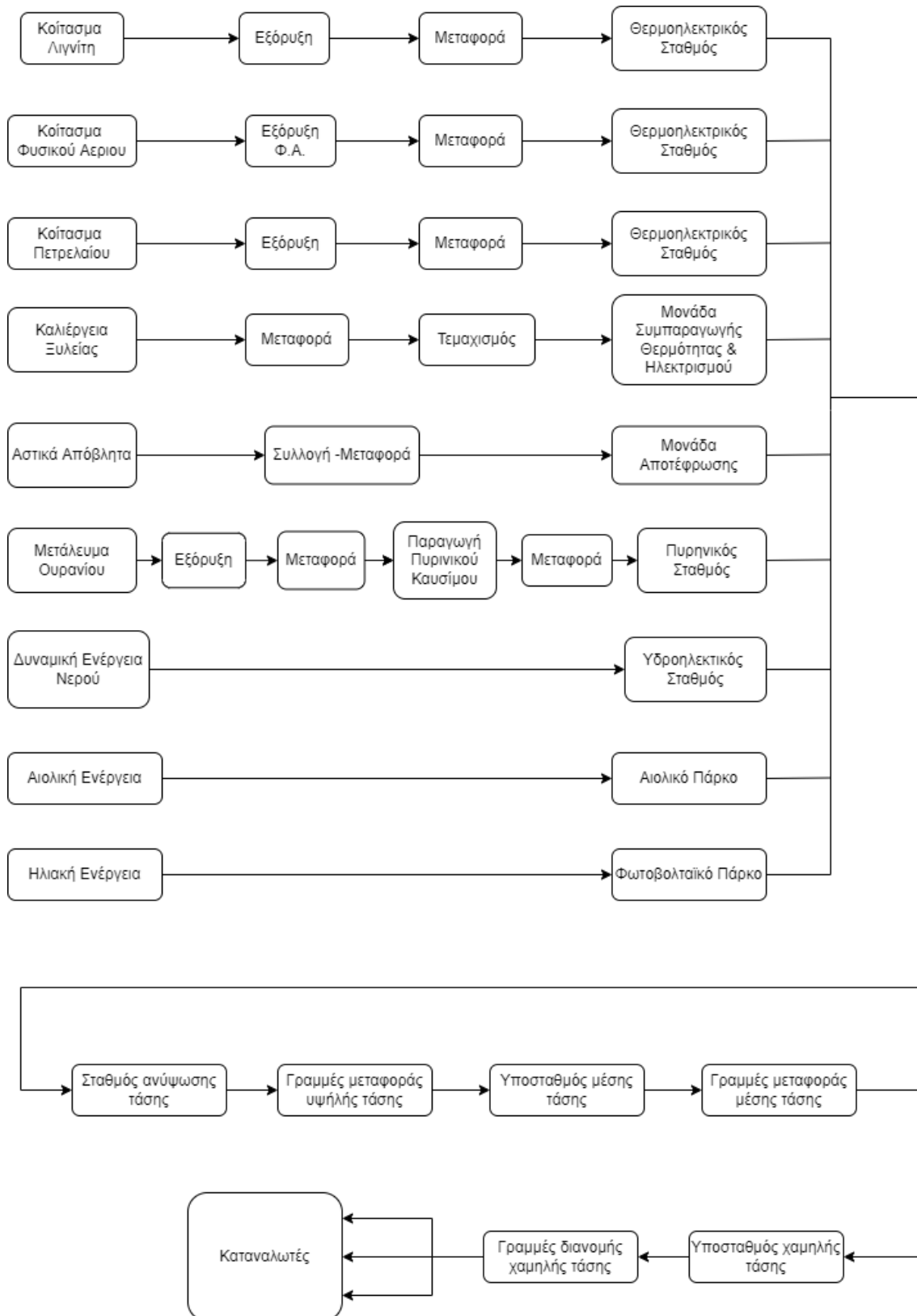
Η αιολική ενέργεια γνωρίζει μία μεγάλη ανάπτυξη, διότι οι περισσότερες χώρες μετατοπίζονται προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας είναι μέρος των σχεδιασμών των κρατών. Οι ανεμογεννήτριες χρησιμοποιούν την κινητική ενέργεια του αέρα για να περιστρέψουν την γεννήτρια και να παράγουν ηλεκτρισμό.

- Φωτοβολταϊκό πάρκο

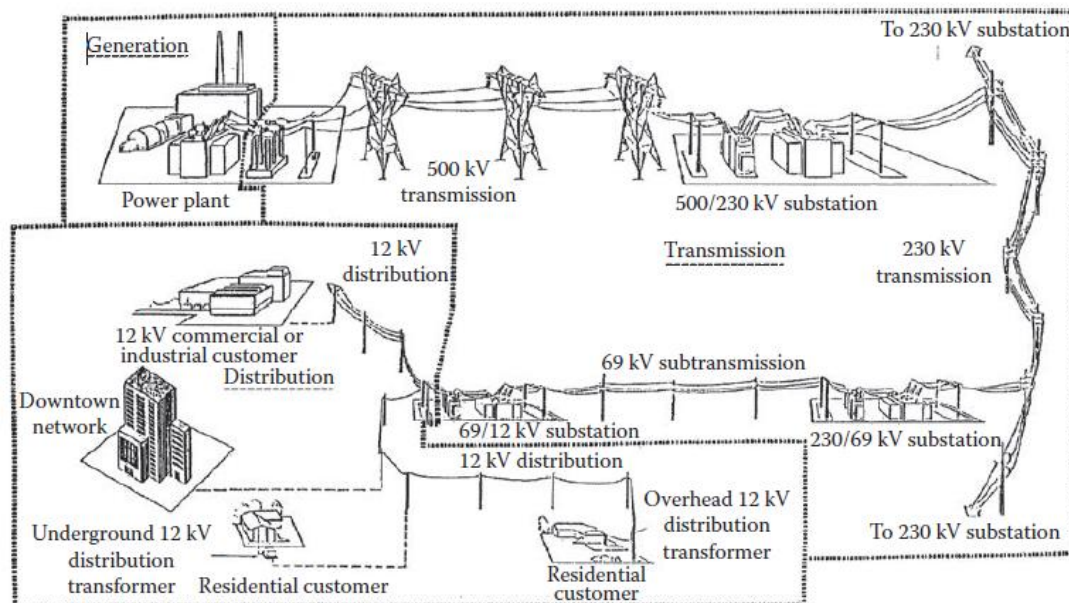
Η ηλιακή ενέργεια είναι μία ανανεώσιμη πηγή ενέργειας που και αυτή γνωρίζει μεγάλη ανάπτυξη. Το κόστος των φωτοβολταϊκών στοιχείων μειώνεται συνεχώς και αυτό βοηθάει στην ανάπτυξη. Η παραγωγή ηλεκτρισμού στηρίζεται στο φωτοβολταϊκό φαινόμενο που είναι η δημιουργία διαφοράς δυναμικού σε υλικά όπως οι ημιαγωγοί, όταν εκτεθούν σε φωτεινή ακτινοβολία.

Η εικόνα 5-5 δείχνει σχηματικά την παραγωγή, μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας, από την πηγή έως τον καταναλωτή. Η ηλεκτρική ενέργεια που προέρχεται από τα ορυκτά καύσιμα, ξεκινά από το υπέδαφος απ' όπου τα καύσιμα εξορύσσονται. Στην συνέχεια μεταφέρονται σε θερμοηλεκτρικούς σταθμούς όπου μετατρέπονται σε ηλεκτρική ενέργεια. Παρόμοια πορεία έχει η πυρηνική ενέργεια, όπου το πυρηνικό καύσιμο ξεκινά με την εξόρυξη και επεξεργασία του μεταλλεύματος. Επίσης υπάρχουν μονάδες αποτέφρωσης αστικών αποβλήτων, όπου η θερμική ενέργεια των αποβλήτων μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό. Από την άλλη, οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μετατρέπονται πιο άμεσα σε ηλεκτρική ενέργεια, είτε μέσω ανεμογεννητριών, είτε μέσω φωτοβολταϊκών, είτε μέσω υδροστροβίλων.

Στο σταθμό παραγωγής ηλεκτρισμού, η τάση της γεννήτριας είναι χαμηλή και ακατάλληλη για μετάδοση ισχύος σε μεγάλες αποστάσεις. Συνεπώς χρησιμοποιείται ένας μετασχηματιστής για την αύξηση της τάσης (υπερ-υψηλή τάση 400KV) και τη μείωση του ρεύματος κι έτσι η ισχύς μεταφέρεται σε μεγάλες αποστάσεις. Στην συνέχεια υποβιβάζεται σε υψηλή τάση (150KV) και σε μέση τάση (6,6KV, 15KV, 20KV) μέσω υποσταθμών. Τέτοιοι υποσταθμοί βρίσκονται στα περίχωρα μεγάλων πόλεων ή στο κέντρο πολλών μεγάλων φορτίων. Οι γραμμές διανομής από τον κάθε υποσταθμό μέσης τάσης είναι εναέριες ή υπόγειες και διανέμουν την ενέργεια στους δρόμους και τα σοκάκια. Κάθε γραμμή συνδέεται με αρκετούς μετασχηματιστές υποβιβασμού τάσης (230 V, 400V) που διανέμονται κατά μήκος της γραμμής. Συνεπώς η ηλεκτρική ενέργεια διανέμεται στους καταναλωτές, όπως για παράδειγμα, σε σπίτια, εμπορικά κέντρα και άλλα τοπικά φορτία. Οι μεγάλοι καταναλωτές τροφοδοτούνται απευθείας με μέση τάση.



Εικόνα 5-5 Αλυσίδα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρισμού.



Εικόνα 5-6 Απεικόνιση ενός τυπικού δικτύου διανομής ηλεκτρισμού (Grigsby, L.L. 2012).

Ενεργειακό μείγμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Το ενεργειακό μείγμα για την παραγωγή ηλεκτρισμού της κάθε χώρας καθορίστηκε ώστε να εισαχθεί ως δεδομένο στην ανάλυση κύκλου ζωής και να υπολογιστεί στη συνέχεια το κόστος της κάθε κιλοβατώρας ηλεκτρισμού σε πρωτογενή ενέργεια.

1. Περίπτωση Ελλάδας

Για την Ελλάδα το ενεργειακό μείγμα καθορίστηκε με στοιχεία του Διεθνούς Οργανισμού Ενέργειας του έτους 2020. Για το έτος 2030 η μελλοντική πρόβλεψη για το ενεργειακό μείγμα πάρθηκε από την έκθεση του Υπουργείου Ενέργειας και Περιβάλλοντος «National Energy and Climate plan». Το ενεργειακό μείγμα είναι ως εξής (Πίνακας 5-4):

Πίνακας 5-4 Ενεργειακό μείγμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Ελλάδα το έτος 2020 και 2030 (Hellenic Ministry of the Environment and Energy - Hellenic Republic, 2019).

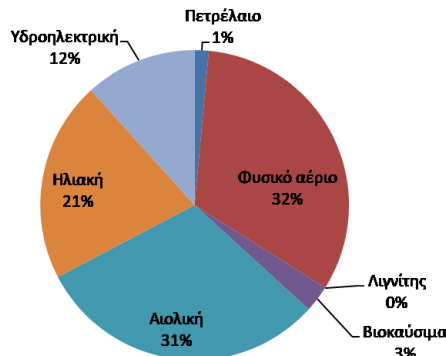
Ελλάδα	Έτος 2020		Έτος 2030	
	Μερίδιο %	Παραγωγή (TWh)	Μερίδιο %	Παραγωγή (TWh)
Υδροηλεκτρική	7.48	3.45	11.71	6.60
Ηλιακή	9.46	4.36	20.98	11.82
Αιολική	20.23	9.32	30.55	17.21
Βιοκαύσιμα	0.72	0.33	2.80	1.58
Λιγνίτης	12.97	5.98	0.00	0.00
Φυσικό αέριο	39.15	18.04	32.48	18.30
Πετρέλαιο	10.00	4.61	1.47	0.83
Σύνολο	100.00	46.08	100.00	56.34

Παρατηρούμε ότι στην μελλοντική πρόβλεψη, η παραγωγή από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξάνεται ενώ υπάρχει πλήρης απολιγνιτοποίηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και μεγάλος περιορισμός της χρήσης του πετρελαίου. Όμως σύμφωνα με τις πρόσφατες γεωπολιτικές εξελίξεις (2022), η ηλεκτροπαραγωγή από λιγνίτη αναμένεται να επανέλθει σε σημαντικά επίπεδα, τουλάχιστον για τα επόμενα χρόνια.

**Ενεργειακό μείγμα ηλεκτρισμού
Ελλάδα-2020**



**Ενεργειακό μείγμα ηλεκτρισμού
Ελλάδα - 2030**



Εικόνα 5-7 Ενεργειακό μείγμα του ηλεκτρισμού για την Ελλάδα τα έτος 2020 κα 2030.

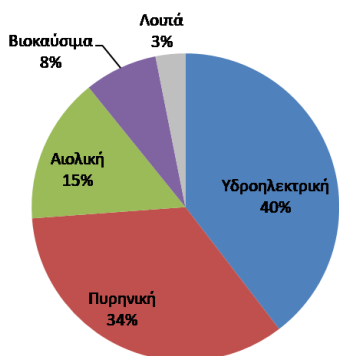
2. Περίπτωση Σουηδίας

Στην περίπτωση της Σουηδίας, υπάρχει μία πιο λεπτομερής καταγραφή του ενεργειακού μείγματος, από τον κρατικό οργανισμό ενέργειας. Το μεγαλύτερο ποσοστό καταλαμβάνει η υδροηλεκτρική ενέργεια και ακολουθεί η πυρηνική. Η Σουηδία έχει ήδη απολιγνιτοποιηθεί και στη μελλοντική εκτίμηση για το 2030, διπλασιάζεται η παραγωγή της αιολικής ενέργειας.

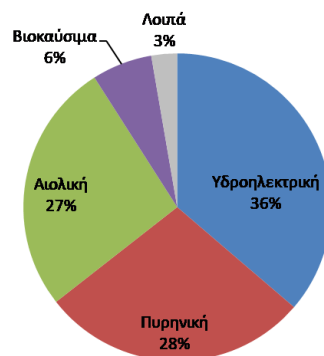
Πίνακας 5-5 Ενεργειακό μείγμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην Σουηδία το έτος 2020 και 2030 (Energimyndigheten 2021).

Σουηδία	2020		2030	
	Μερίδιο %	Παραγωγή (TWh)	Μερίδιο %	Παραγωγή (TWh)
Υδροηλεκτρική	39.57	67.00	36.28	67.00
Ηλιακή	0.47	0.80	0.65	1.20
Αιολική	15.36	26.00	26.53	49.00
Πυρηνική	34.26	58.00	28.15	52.00
Βιοκαύσιμα (ξυλεία)	7.68	13.00	6.33	11.70
Απόβλητα (αστικά)	1.36	2.30	1.52	2.80
Τύρφη	0.00	0.00	0.00	0.00
Λιγνίτης	0.00	0.00	0.00	0.00
Αέρια οπτάνθρακα & υψικαμίνου	0.59	1.00	0.43	0.80
Φυσικό αέριο	0.53	0.90	0.11	0.20
Πετρέλαιο	0.18	0.30	0.00	0.00
Σύνολο	100.00	169.30	100.00	184.70

**Ενεργειακό μείγμα ηλεκτρισμού
Σουηδία - 2020**



**Ενεργειακό μείγμα ηλεκτρισμού
Σουηδία - 2030**



Εικόνα 5-8 Ενεργειακό μείγμα του ηλεκτρισμού για την Σουηδία τα έτος 2020 κα 2030.

Ενεργειακό μείγμα για την παραγωγή τηλεθέρμανσης

Η τηλεθέρμανση ενώ υπάρχει ως τρόπος θέρμανσης σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες, στην Ελλάδα ουσιαστικά δεν υπάρχει. Αντίθετα η Σουηδία κάλυπτε το 69% της ανάγκης για θέρμανση των κτήριων γραφείων με τηλεθέρμανση. Το τρόπος με τον οποίο παράγεται η θερμότητα παρουσιάζεται στο ενεργειακό μείγμα στον πίνακα 5-6.

Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο μέρος της τηλεθέρμανσης παράγεται με την καύση βιομάζας και ακολουθεί η καύση των αστικών αποβλήτων.

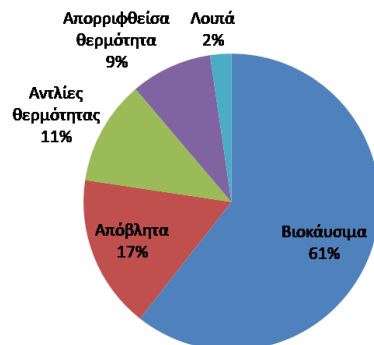
Πίνακας 5-6 Ενεργειακό μείγμα για την παραγωγή τηλεθέρμανσης για την Σουηδία το 2020 και 2030 (Energimyndigheten 2021).

Σουηδία	2020		2030	
	Μερίδιο %	Παραγωγή (TWh)	Μερίδιο %	Παραγωγή (TWh)
Βιοκαύσιμα (ροκανίδια)	66.6	41	60.6	34
Απόβλητα (αστικά)	13.8	8.5	16.8	9.4
Πετρέλαιο	1.0	0.6	0.7	0.4
Λιγνίτης, Τύρφη, Αέρια οπτάνθρακα	1.8	1.1	1.6	0.9
Φυσικό αέριο	1.1	0.7	0.0	0
Μεγάλες αντλίες θερμότητας	8.1	5	11.4	6.4
Απορριφθείσα θερμότητα	7.6	4.7	8.9	5
Σύνολο	100.0	61.6	100.0	56.1

**Ενεργειακό μείγμα τηλεθέρμανσης
Σουηδία - 2020**



**Ενεργειακό μείγμα τηλεθέρμανσης
Σουηδία - 2030**



Εικόνα 5-9 Ενεργειακό μείγμα τηλεθέρμανσης για την Σουηδία το 2020 και 2030.

5.4.5 Κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση/ψύξη κτηρίων γραφείων

Η εργασία επικεντρώνεται στον καθορισμό του ενεργειακού μείγματος που χρησιμοποιείται μόνο στην θέρμανση και ψύξη των χώρων σε κτήρια γραφείων. Άλλες ανάγκες όπως για παράδειγμα η χρήση ζεστού νερού ή η χρήση ψυγείων δεν λαμβάνονται υπόψη. Αυτό το ενεργειακό μείγμα θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια στον υπολογισμό της πρωτογενούς ενέργειας και των εκπομπών CO₂.

Περίπτωση Ελλάδας

Με βάση την αναφορά της ευρωπαϊκής επιτροπής στην Ελλάδα καταναλωθήκαν συνολικά το 2020, 14.76 TWh ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε ολόκληρο τον τριτογενή τομέα. Η πρόβλεψη για το 2030 αναφέρει 16.77 TWh, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα 5-7 (European Commission, Directorate-General for Energy, 2016).

Πίνακας 5-7 Τελική κατανάλωσης ενέργειας στον τριτογενή τομέα για την Ελλάδα το έτος 2020 και 2030. (European Commission, Directorate-General for Energy, 2016)

Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά υπο κατηγορία (GWh)	2020		2030	
	Θέρμανση	Ψύξη	Θέρμανση	Ψύξη
Χονδρικό & Λιανικό εμπόριο	1204	5344	1322	6134
Ξενοδοχεία, καφετέριες και εστιατόρια	1604	1624	1819	1841
Συγκινωνίες & Μετάδοση δοδομένων	362	182	422	204
Χρηματοοικονομικός & Ασφαλιστικός τομέας	122	353	142	412
Υγειονομικός τομέας	504	40	581	44
Εκπαίδευση	1139	175	1233	190
Δημόσια κτήρια γραφείων	369	182	377	194
Άλλες υπηρεσίες	838	716	965	888
ΣΥΝΟΛΟ	6142	8618	6860	9906

Από τις παραπάνω κατηγορίες, εργασία αφορά μόνο την κατηγορίας των δημοσίων κτηρίων γραφείων, όπως υπογραμμίζεται στον παραπάνω πίνακα.

Επίσης η κατανάλωση ενέργειας ανά είδος χρήσης στα κτήρια γραφείων είναι ως εξής στον πίνακα 5-8:

Πίνακας 5-8 Τελική κατανάλωσης ενέργειας στα κτήρια γραφείων ανά είδος χρήσης στην Ελλάδα. (European Commission, Directorate-General for Energy, 2016)

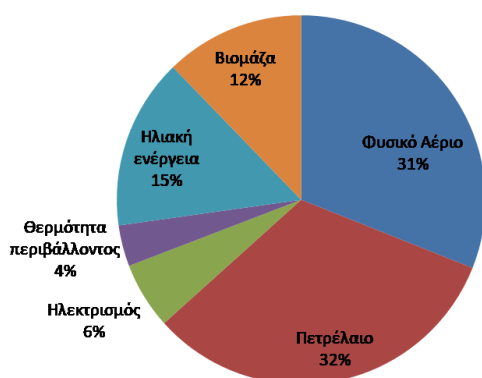
Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τελική χρήση, σε κτήρια γραφείων (GWh)	2020	2030
Θέρμανση χώρου	234	219
Θέρμανση νερού	134	158
Ψύξη χώρου	146	161
Ψύξη θαλάμου (Ψυγείο)	36	33

Τα δεδομένα που χρειάζονται τελικά στην εργασία, είναι το μείγμα της ενέργειας δηλαδή από ποιες πηγές προέρχεται η ενέργεια, για θέρμανση και ψύξη. Από τον πίνακα 5-9 προκύπτει ότι για θέρμανση στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται διάφορες πηγές, με κύριες το πετρέλαιο και το φυσικό αέριο, ενώ για την ψύξη των χώρων χρησιμοποιείται μόνο ηλεκτρισμός.

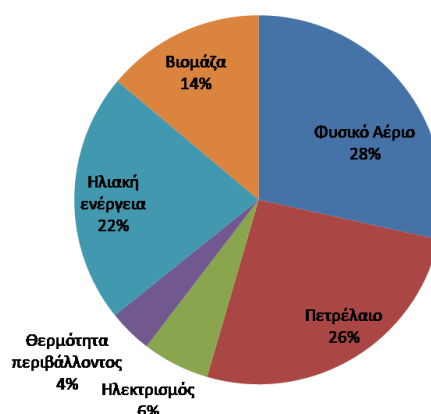
Πίνακας 5-9 Ενεργειακό μείγμα για θέρμανση/ψύξη των χώρων σε κτήρια γραφείων στην Ελλάδα. (European Commission, Directorate-General for Energy, 2016)

Ενεργειακό μείγμα για θέρμανση/Ψύξη Κτηρίων Γραφείων (GWh)	2020		2030	
	Θέρμανση Χώρου	Ψύξη Χώρου	Θέρμανση Χώρου	Ψύξη Χώρου
Φυσικό Αέριο	73	0	62	0
Λιγνίτης	0	0	0	0
Βιομάζα	29	0	30	0
Πετρέλαιο	76	0	57	0
Τηλεθέρμανση	0	0	0	0
Ηλεκτρισμός	14	146	13	161
Ηλιακή ενέργεια	35	0	48	0
Θερμότητα περιβάλλοντος	8	0	8	0
Σύνολο	234	146	219	161

**Θέρμανση Χώρου
Ενεργειακό μείγμα 2020**



**Θέρμανση Χώρου
Ενεργειακό μείγμα 2030**



Εικόνα 5-10 Ενεργειακό μείγμα για την θέρμανση των χώρων σε κτήρια γραφείων στην Ελλάδα.

Περίπτωση Σουηδίας

Η Σουηδία με βάση τα στοιχεία, έχει μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας από ότι η Ελλάδα, και συνολικά η τελική κατανάλωση ενέργειας ήταν 30 TWh για το 2020, και στο μέλλον προβλέπεται να είναι 29 TWh. Ο πίνακας 5-10 δείχνει τις ενεργειακές ανάγκες του κάθε τομέα.

Η μεγάλη διαφορά είναι ότι στη περίπτωση της Σουηδίας, οι ανάγκες για θέρμανση είναι αυξημένες λόγω του ψυχρού κλίματος της χώρας. Επίπλέον, ο κύριος τρόπος θέρμανσης είναι η τηλεθέρμανση, με κάλυψη σε ποσοστό 69% το 2020 που προβλέπεται να αυξηθεί σε 78% το 2030. Ουσιαστικά μειώνονται οι ενεργειακές ανάγκες σε θέρμανση, αλλά ταυτόχρονα διατηρείται η τηλεθέρμανση στα ίδια επίπεδα σε απόλυτους αριθμούς. Συγκεκριμένα στον τομέα των κτηρίων γραφείων, οι ενεργειακές ανάγκες παρουσιάζονται στους πίνακες 5-11 και 5-12.

Πίνακας 5-10 Τελική κατανάλωσης ενέργειας στον τριτογενή τομέα για την Σουηδία το έτος 2020 και 2030 (European Commission, Directorate-General for Energy, 2016)

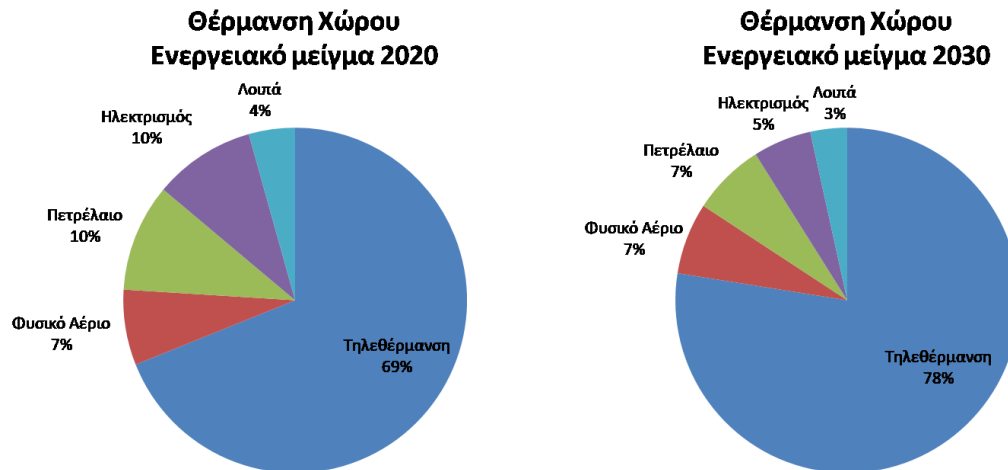
Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά υπό κατηγορία (GWh)	2020		2030	
	Θέρμανση	Ψύξη	Θέρμανση	Ψύξη
Χονδρικό & Λιανικό εμπόριο	1921	2277	1876	2390
Ξενοδοχεία, καφετέριες και εστιατόρια	2069	641	2032	708
Συγκοινωνίες & Μετάδοση δεδομένων	2634	161	2535	167
Χρηματοοικονομικός & Ασφαλιστικός τομέας	348	79	330	87
Υγειονομικός τομέας	4590	64	3955	62
Εκπαίδευση	6361	100	5915	109
Δημόσια κτήρια γραφείων	1499	131	1370	142
Άλλες υπηρεσίες	6839	258	6776	317
ΣΥΝΟΛΟ	26260	3711	24790	3983

Πίνακας 5-11 Τελική κατανάλωσης ενέργειας στα κτήρια γραφείων ανά είδος χρήσης στην Σουηδία (European Commission, Directorate-General for Energy, 2016)

Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά τελική χρήση, σε κτήρια γραφείων (GWh)	2020	2030
Θέρμανση χώρου	1318	1180
Θέρμανση νερού	181	190
Ψύξη χώρου	15	17
Ψύξη θαλάμου (Ψυγείο)	116	125
Σύνολο	1630	1512

Πίνακας 5-12 Ενεργειακό μείγμα για θέρμανση/ψύξη των χώρων σε κτήρια γραφείων στην Σουηδία (European Commission, Directorate-General for Energy, 2016)

Ενεργειακό μείγμα για θέρμανση/ψύξη κτηρίων γραφείων (GWh)	2020		2030	
	Θέρμανση Χώρου	Ψύξη Χώρου	Θέρμανση Χώρου	Ψύξη Χώρου
Φυσικό Αέριο	93	0	79	0
Λιγνίτης	0	0	0	0
Βιομάζα	26	0	18	0
Πετρέλαιο	133	0	81	0
Τηλεθέρμανση	908	0	915	0
Ηλεκτρισμός	126	15	65	17
Ηλιακή ενέργεια	5	0	5	0
Θερμότητα περιβάλλοντος	26	0	18	0
Σύνολο	1318	15	1180	17



Εικόνα 5-11 Ενεργειακό μείγμα για την θέρμανση των χώρων σε κτήρια γραφείων στην Σουηδία.

5.5 Υπολογιστικό εργαλείο AKZ (SimaPro)

5.5.1 Μοντελοποίηση

Για την παραγωγή των αποτελεσμάτων μοντελοποιήθηκαν ή τροποποιήθηκαν στο εργαλείο SimaPro, οι διεργασίες για την παραγωγή και διανομή του ηλεκτρισμού και τηλεθέρμανσης και οι διεργασίες που αφορούν την θέρμανση κτηρίων, με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν για τις χώρες εφαρμογής Ελλάδας και Σουηδίας.

Παραγωγή ηλεκτρισμού

Στο SimaPro δημιουργήθηκαν οι εξής διεργασίες για το ηλεκτρικό ρεύμα, για την Ελλάδα και την Σουηδία αντίστοιχα, με βάση το μείγμα ενέργειας των δύο χωρών.

- Electricity, production mix GR/GR U-2020
- Electricity, production mix GR/GR U-2030
- Electricity, production mix SE/SE U-2020
- Electricity, production mix SE/SE U-2030

Στους επόμενους πίνακές φαίνονται οι είσοδοι της διεργασίας από την τεχνόσφαιρα, για την παραγωγή μίας kWh, ηλεκτρικής ενέργειας.

Πίνακας 5-13 Πίνακας δεδομένων των διεργασιών στο SimaPro για την παραγωγή ηλεκτρισμού στην Ελλάδα το 2020 και 2030.

Products	2020	2030	
Electricity, production mix GR/GR U-2020/2030	1	1	kWh
Inputs			
Electricity, lignite, at power plant/GR U	0.129731	0	kWh
Electricity, oil, at power plant/GR U	0.099957	0.01473	kWh
Electricity, natural gas, at power plant/UCTE U	0.391515	0.32481	kWh
Electricity, hydropower, at power plant/GR U	0.074761	0.11715	kWh
Electricity, at wind power plant/RER U	0.202279	0.30547	kWh
Electricity, at cogen with biogas engine, allocation exergy/CH U	0.007183	0.02804	kWh
Electricity, production mix photovoltaic, at plant/GR U	0.094575	0.2098	kWh

Πίνακας 5-14 δεδομένων των διεργασιών στο SimaPro για την παραγωγή ηλεκτρισμού στην Σουηδία το 2020 και 2030.

Products	2020	2030	
Electricity, production mix SE/SE U-2020/2030	1	1	kWh
Inputs			
Electricity, oil, at power plant/SE U	0.001772	0	kWh
Electricity, natural gas, at power plant/NORDEL U	0.005316	0.001083	kWh
Electricity, industrial gas, at power plant/NORDEL U	0.005907	0.004331	kWh
Electricity, hydropower, at power plant/SE U	0.395747	0.36275	kWh
Electricity, nuclear, at power plant/UCTE U	0.342587	0.281538	kWh
Electricity, at wind power plant/RER U	0.153574	0.265295	kWh
Electricity, at cogen ORC 1400kWth, wood, allocation exergy/CH U	0.076787	0.063346	kWh
Electricity from waste, at municipal waste incineration plant/CH U	0.013585	0.01516	kWh
Electricity, production mix photovoltaic, at plant/SE U	0.004725	0.006497	kWh

Παραγωγή τηλεθέρμανσης

Στο SimaPro δημιουργήθηκαν οι εξής διεργασίες για την παραγωγή θερμότητας από τηλεθέρμανση:

- District heat 2020
- District heat 2030

Η τηλεθέρμανση χρησιμοποιήθηκε μόνο στην περίπτωση της Σουηδίας

Πίνακας 5-15 Πίνακας δεδομένων της διεργασίας στο SimaPro για την τηλεθέρμανση στην Σουηδία το 2020 και 2030.

Products	2020	2030	
District heat 2020/2030	1	1	MJ
Inputs			
Heat, hardwood chips from forest, at furnace 300kW/CH U	0.665584	0.606061	MJ
Heat from waste, at municipal waste incineration plant/CH U	0.137987	0.167558	MJ
Heat, light fuel oil, at boiler 100kW condensing, non-modulating/CH U	0.00974	0.00713	MJ
Heat, at hard coal industrial furnace 1-10MW/RER U	0.017857	0.016043	MJ
Heat, natural gas, at boiler condensing modulating >100kW/RER U	0.011364	0	MJ
Heat, at air-water heat pump 10kW/RER U-2020	0.081169	0.114082	MJ
Waste heat	0.076299	0.089127	MJ

Θέρμανση κτηρίων

Θερμότητα από την καύση φυσικού αερίου

Ο υπολογισμός της πρωτογενούς ενέργειας για την λήψη θερμότητας που λαμβάνεται από την καύση του φυσικού αερίου επιλέχθηκε να γίνει με τις διεργασίες

- Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER U-GR 2020
- Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER U-GR 2030
- Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER U-SE 2020
- Heat, natural gas, at boiler modulating >100kW/RER U-SE 2030

Εδώ επιλέχθηκε ο καυστήρας να είναι ρυθμιζόμενος, δηλαδή να ρυθμίζει την ροή του φυσικού αερίου και του αέρα ανάλογα με την απαίτηση για θέρμανση. Επίσης η ονομαστική

ισχύ είναι πάνω από 100kW, για να καλύπτει την ανάγκες ενός κτηρίου με γραφεία που συνήθως έχουν μεγάλη έκταση.

Η παραπάνω διεργασία έχει ως εισόδο το φυσικό αέριο που προμηθεύεται η Ελλάδα, το οποίο προέρχεται από την Ρωσία μέσω αγωγού (65%), την Αλγερία σε μορφή υγροποιημένου φυσικού αερίου (17%), και την Τουρκία μέσω αγωγού (18%). Η βιβλιοθήκη του SimaPro ωστόσο διαθέτει το φυσικό αέριο που προέρχεται από την Ρωσία με αγωγούς και από την Αλγερία σε LNG. Οπότε έγινε η παραδοχή ότι το 83 % του φυσικού αερίου προέρχεται από τη Ρωσία από αγωγούς και το 17% από την Αλγερία σε LNG. Η διεργασίες για την Ελλάδα που τροποποιήθηκαν είναι:

- Natural gas, high pressure, at consumer/GR U 2020
- Natural gas, high pressure, at consumer/GR U 2030

Πίνακας 5-16 Πίνακας δεδομένων της διεργασίας στο SimaPro για την παραγωγή θερμότητας από την καύση φυσικού αερίου στην Ελλάδα.

Products		
Natural gas, high pressure, at consumer/GR U 2020/2030	1	MJ
Inputs		
Natural gas, burned in industrial furnace >100kW/RER U	0.00167	MJ
Electricity, medium voltage, production GR, at grid/GR U-2020/2030	0.0000728	kWh
Natural gas, production RU, at long-distance pipeline/RER U	0.0228	m3
Natural gas, production DZ, at long-distance pipeline/RER U	0.0047	m3
Pipeline, natural gas, high pressure distribution network/RER/I U	2.59E-10	km
Transport, natural gas, pipeline, long distance/RER U	0.0148	tkm

Στην περίπτωση της Σουηδίας, το φυσικό αέριο προέρχεται από την Βόρεια Θάλασσα μέσω της Δανίας, και αυτό αντικατοπτρίζεται και στη βιβλιοθήκη του SimaPro, οπότε δεν χρειάστηκε μετατροπή στην αναλογία του προμηθευόμενου αερίου. Το μόνο που τροποποιήθηκε είναι η χρήση της επικαιροποιημένης διεργασίας του ηλεκτρικού ρεύματος, ως εισόδος. Η διεργασίες για την Σουηδία που τροποποιήθηκαν είναι:

- Natural gas, high pressure, at consumer/SE U-2020
- Natural gas, high pressure, at consumer/SE U-2030

Πίνακας 5-17 Πίνακας δεδομένων της διεργασίας στο SimaPro για την παραγωγή θερμότητας από την καύση φυσικού αερίου στην Σουηδία.

Products		
Natural gas, high pressure, at consumer/SE U-2020/2030	1	MJ
Inputs		
Natural gas, burned in industrial furnace >100kW/RER U	0.00167	MJ
Electricity, medium voltage, production SE, at grid/SE U-2020/2030	6.48E-05	kWh
Natural gas, production NO, at long-distance pipeline/RER U	0.0245	m3
Pipeline, natural gas, high pressure distribution network/RER/I U	4.83E-10	km
Transport, natural gas, pipeline, long distance/RER U	0.0106	tkm

Θερμότητα από την καύση πετρελαίου

Ο υπολογισμός της πρωτογενούς ενέργειας για την λήψη θερμότητας που λαμβάνεται από την καύση του πετρελαίου επιλέχθηκε να γίνει με τις διεργασίες:

- Heat, light fuel oil, at boiler 100kW, non-modulating/CH U-GR 2020
- Heat, light fuel oil, at boiler 100kW, non-modulating/CH U-GR 2030
- Heat, light fuel oil, at boiler 100kW, non-modulating/CH U-SE 2020
- Heat, light fuel oil, at boiler 100kW, non-modulating/CH U-SE 2030

Όπως και στην περίπτωση του καυστήρα φυσικού αερίου, και εδώ επιλέχθηκε ένας καυστήρας με ισχύ 100kW, κατάλληλο για θέρμανση μεγάλων κτηρίων, ο οποίος όμως δεν είναι ρυθμιζόμενος και δεν συμπυκνώνει τα αέρια, διότι είναι το πιο κοινό σύστημα στην αγορά, με απόδοση 94%.

Η διεργασία αυτή υπολογίζει τη θερμότητα που παραδίδεται από τον λέβητα χωρίς να λαμβάνει υπόψη τις απώλειες και τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για την διανομή της θερμότητας στο κτήριο.

Ουσιαστικά οι τέσσερις διεργασίες είναι ίδιες και τροποποιούνται μόνο στην ηλεκτρική ενέργεια, ως είσοδος της παρακάτω διεργασίας, όπως φαίνεται στον πίνακα 5-18.

- Light fuel oil, burned in boiler 100kW, non-modulating/CH U

Πίνακας 5-18 Πίνακας δεδομένων της διεργασίας στο SimaPro για την παραγωγή θερμότητας από την καύση πετρελαίου.

Products		
Light fuel oil, burned in boiler 100kW, non-modulating/CH U	1	MJ
Inputs		
Light fuel oil, at regional storage/CH U	0.02342	kg
Electricity, low voltage, production GR, at grid/GR U-2020/2030 ή Electricity, low voltage, production SE, at grid/SE U-2020/2030	0.0016628	kWh
Oil boiler 100kW/CH/I U	0.000000066138	p
Chimney/CH/I U	0.00000029762	m
Oil storage 3000l/CH/I U	0.00000017637	p

Θερμότητα από την καύση βιομάζας

Ο υπολογισμός της πρωτογενούς ενέργειας για την λήψη θερμότητας που λαμβάνεται από την καύση βιομάζας επιλέχθηκε να γίνει με τις διεργασίες

- Heat, hardwood chips from forest, at furnace 300kW/CH U-GR 2020
- Heat, hardwood chips from forest, at furnace 300kW/CH U-GR 2030
- Heat, hardwood chips from forest, at furnace 300kW/CH U-SE 2020
- Heat, hardwood chips from forest, at furnace 300kW/CH U-SE 2030

Σε αυτή την διεργασία η απόδοση του συστήματος είναι 82 % για τη μετατροπή της καύσης του καυσίμου σε θερμότητα. Το σύνολο του συστήματος είναι στην έξοδο του καυστήρα. Οι αέριες εκπομπές προσαρμόστηκαν με βάση τις εμπειρικές μετρήσεις σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας εγκατεστημένων μονάδων. Τα αποτελέσματα θεωρούνται έγκυρα και για λέβητες ονομαστικής ισχύος από 100 έως 700 kW. Η διεργασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συνθήκες κεντρικής Ευρώπης.

Η διεργασία αυτή επιλέχθηκε διότι, από τις διαθέσιμες επιλογές, είναι η πιο κοντινή για την περιγραφή της θέρμανσης με καύση βιομάζας.

Επίσης στην παρακάτω διεργασία, τροποποιήθηκε η ηλεκτρική ενέργεια ως είσοδος, ανάλογα με την χώρα.

- Wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 300kW/CH U

Πίνακας 5-19 Πίνακας δεδομένων της διεργασίας στο SimaPro για την παραγωγή θερμότητας από την καύση βιομάζας.

Products		
Wood chips, from forest, hardwood, burned in furnace 300kW/CH U	1	MJ
Inputs		
Electricity, low voltage, production GR, at grid/GR U-2020/2030 ή Electricity, low voltage, production SE, at grid/SE U-2020/2030	0.00417	kWh
Wood chips, hardwood, u=80%, at forest/RER U	0.000247	m ³
Furnace, wood chips, hardwood, 300kW/CH/I U	1.81E-08	p
Transport, lorry 20-28t, fleet average/CH U	0.00213	tkm

Θερμότητα από την χρήση ηλεκτρισμού

Το ηλεκτρικό ρεύμα που αρχικά παράγεται σε κάποιον σταθμό παραγωγής ή σε κάποιο αιολικό, ηλιακό πάρκο, υπόκεινται σε μια σειρά μετατροπών τάσης ώστε να διανεμηθεί και να φτάσει στον καταναλωτή για χρήση. Εδώ λήφθηκαν υπόψιν οι απώλειες μεταφοράς και διανομής και οι αντίστοιχες υποθέσεις αναφέρονται στο παράρτημα

Ο ηλεκτρισμός χαμηλής τάσης 220V που φθάνει στον καταναλωτή, θεωρείται ότι στη συνέχεια μετατρέπεται σε θερμότητα με τις θερμαντικές συσκευές με απόδοση 100%.

Ελλάδα

Στο SimaPro χρησιμοποιήθηκε η παρακάτω διεργασία που περιγράφει την παραγωγή ηλεκτρισμού χαμηλής τάσης.

- Electricity, low voltage, production GR, at grid/GR U

Σουηδία

Ομοίως για την Σουηδία έχουμε την παρακάτω διεργασία που περιγράφει την παραγωγή ηλεκτρισμού χαμηλής τάσης. Στο παράρτημα παρατηρείται ότι υπάρχουν μικρές αριθμητικές διαφορές σε σχέση με την Ελλάδα.

- Electricity, low voltage, production SE, at grid/SE U

Θερμότητα από τον ήλιο

Η εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για την θέρμανση ενός κτηρίου γίνεται κυρίως με ηλιακούς συλλέκτες με την θέρμανση νερού. Σε μία μεγάλη εγκατάσταση, το θερμό νερό με την σειρά του, μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σύστημα κεντρικής θέρμανσης, συμπληρωματικά ή εξολοκλήρου.

Η διεργασία που χρησιμοποιήθηκαν για την λήψη θερμότητας μέσω ηλιακών συλλεκτών στο SimaPro είναι:

- Heat, at flat plate collector, one-family house, for combined system/CH U-GR20
- Heat, at flat plate collector, one-family house, for combined system/CH U-GR30
- Heat, at flat plate collector, one-family house, for combined system/CH U-SE20
- Heat, at flat plate collector, one-family house, for combined system/CH U-SE30

Η διεργασία περιγράφει την παράδοση θερμότητας με ηλιακό σύστημα, συμπεριλαμβανομένης της συντήρησης και της χρήσης ηλεκτρικής ενέργειας για λειτουργία. Η διεργασία τροποποιήθηκε ώστε να έχει ως είσοδο το ηλεκτρικό ρεύμα της κάθε χώρας όπως φαίνεται στον πίνακα 5-20:

Πίνακας 5-20 Πίνακας δεδομένων της διεργασίας στο SimaPro για την παραγωγή θερμότητας από ηλιακούς συλλέκτες.

Products		
Heat, at flat plate collector, one-family house, for combined system/CH U	1	MJ
Inputs		
Energy, solar, converted	1.126	MJ
Electricity, low voltage, production GR, at grid/GR U-2020/2030 ή Electricity, low voltage, production SE, at grid/SE U-2020/2030	0.009023	kWh
Solar system, flat plate collector, one-family house, combined system/CH/I U	2.19E-06	p
Transport, van <3.5t/CH U	0.000241	tkm

Θερμότητα από το περιβάλλον

Οι αντλίες θερμότητας, μεταφέρουν θερμότητα από το περιβάλλον, στο εσωτερικό ενός χώρου με τη χρήση ενός θερμοδυναμικού κύκλου. Εδώ επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί στην ανάλυση αντλία θερμότητας αέρα-νερού 10KW, επειδή είναι η μόνη επιλογή από την βιβλιοθήκη του SimaPro που πλησιάζει τον σκοπό της ανάλυσης. Η θερμότητα που συγκεντρώνεται από την αντλία αέρα-νερού μπορεί να τροφοδοτήσει το ενδοδαπέδιο σύστημα, τα θερμαντικά σώματα και το ζεστό νερό χρήσης κάθε σπιτιού. Η ίδια αντλία θερμότητας μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως μονάδα κλιματισμού για το δροσισμό του χώρου κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού.

Η βιβλιοθήκη του SimaPro έχει την διεργασία που περιγράφει μία αντλία θερμότητας αέρα-νερού, και τροποποιήθηκε ώστε να λαμβάνει ως είσοδο την ηλεκτρική ενέργεια κάθε χώρας.

- Heat, at air-water heat pump 10kW/RER U-GR2020
- Heat, at air-water heat pump 10kW/RER U-GR2030
- Heat, at air-water heat pump 10kW/RER U-SE2020
- Heat, at air-water heat pump 10kW/RER U-SE2030

Η διεργασία περιλαμβάνει το σύστημα και την ηλεκτρική ενέργεια για τη λειτουργία. Επίσης περιλαμβάνει τις εκπομπές του ψυκτικού μέσου (R134a) κατά τη λειτουργία. Δεν περιλαμβάνει τη διανομή θερμότητας στο κτήριο.

Πίνακας 5-21 Πίνακας δεδομένων της διεργασίας στο SimaPro για την λήψη θερμότητας από αντλία θερμότητας αέρα-νερού

Products		
Heat, at air-water heat pump 10kW/RER U	1	MJ
Inputs		
Electricity, low voltage, production GR, at grid/GR U-2020/2030 ή Electricity, low voltage, production SE, at grid/SE U-2020/2030	0.35712	MJ
Refrigerant R134a, at plant/RER U	0.000004	kg
Heat pump, brine-water, 10kW/CH/I U	1.11E-06	p

Ψύξη κτιρίου

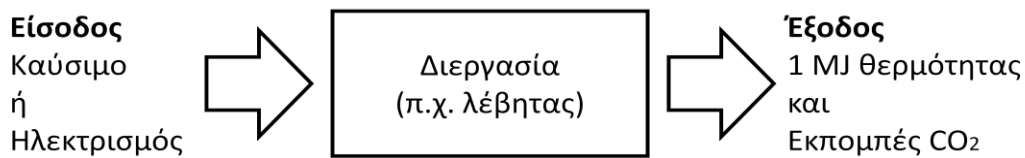
Όπως προέκυψε από την ανάλυση των δεδομένων, για την ψύξη των κτηρίων στον τριτογενή τομέα, χρησιμοποιείται μόνο ηλεκτρισμός που σημαίνει χρήση αντλιών θερμότητας

με κύκλο ψύξης. Συνεπώς έγινε η υπόθεση ότι ο συντελεστής $COP_{Refrigeration}$ είναι ίσος με 3,2 και στις δύο χώρες. Δεν έγινε κάποια ανάλυση στο SimaPro για αυτή τη διεργασία.

5.6 Αποτελέσματα

Από την ανάλυση στο SimaPro υπολογίστηκε ο δείκτης Αθροιστικής Ενεργειακής Απαιτήσης και ο δείκτης του Δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη. Ο πρώτος δείκτης όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των συντελεστών μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια. Ο δεύτερος δείκτης χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου.

Για τις διεργασίες που αφορούν την θερμότητα που λαμβάνεται από φυσικό αέριο, την βιομάζα, το πετρέλαιο, τον ηλεκτρισμό και τον ήλιο, η ανάλυση είναι απλή, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 5-12.



Εικόνα 5-12 Γενική σχηματική απεικόνιση των εισόδων και εξόδων των διεργασιών στο SimaPro.

Στην διεργασία που προσομοιώνει την αντλία θερμότητας, στην είσοδο υπάρχει η θερμότητα του περιβάλλοντος, και η ηλεκτρική ενέργεια. Όμως το ζητούμενο είναι να υπολογιστούν οι δείκτες AKZ, από την λήψη 1 MJ θερμότητας από το περιβάλλον, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Αρα πρέπει να ζητηθεί ως έξοδος :

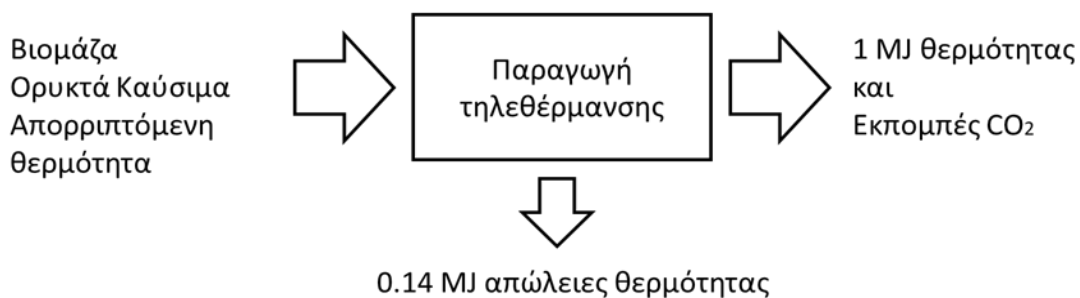
$$\frac{1}{1-0.357} = 1.555 \text{ MJ} \quad 5-1$$



Εικόνα 5-13 Σχηματική απεικόνιση της διεργασίας που αφορά την αντλία θερμότητας στο SimaPro.

Επίσης η διεργασία της τηλεθέρμανσης, δεν λαμβάνει υπόψη τις απώλειες θερμότητας από το δίκτυο διανομής. Στην Σουηδία οι απώλειες του δικτύου είναι 12.5%, άρα για να φτάσει 1MJ θερμότητας στον κτήριο θα πρέπει να ζητηθεί ως έξοδος:

$$\frac{1}{0.875} = 1.143 \text{ MJ} \quad 5-2$$



Εικόνα 5-14 Σχηματική απεικόνιση της διεργασίας που αφορά την παραγωγή τηλεθέρμανσης στο SimaPro.

5.6.1 Δείκτης Αθροιστικής Ενεργειακής Απαίτησης

Για κάθε μία διεργασία που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα, τα αποτελέσματα ερμηνεύονται ως εξής: Για 1 MJ ενέργειας που λαμβάνεται, ο δείκτης Αθροιστικής Ενεργειακής Απαίτησης δίνει ως αποτέλεσμα την συνολική ενέργεια που απαιτήθηκε ώστε το 1 MJ να φθάσει στο χρήστη.

Ο κάθε δείκτης που προκύπτει από την ανάλυση, στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό του συντελεστή, που αφορά την μετατροπή ενός MJ θερμότητας που φτάνει στο κτήριο, σε πρωτογενή ενέργεια.

Οι δείκτες Αθροιστικής Ενεργειακής Απαίτησης για κάθε μία πηγή ενέργειας, προβάλλονται στους παρακάτω πίνακες 5-22, 5-23 και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τον δείκτη που προκύπτει από την χρήση ορυκτών καυσίμων, και τον δείκτη που προκύπτει από την χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

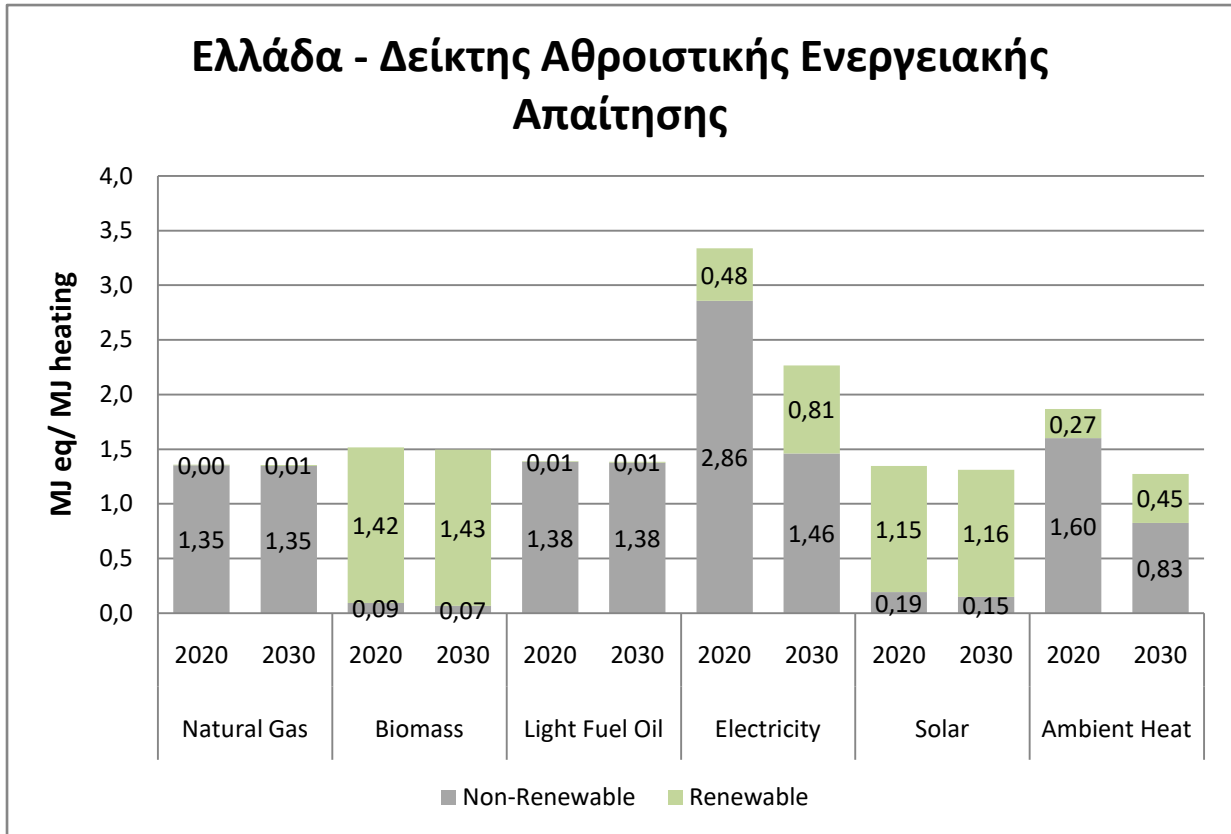
Πίνακας 5-22 Συγκεντρωτικός πίνακας με την τιμή του Δείκτη Αθροιστικής Ενεργειακής Απαίτησης για κάθε πηγή ενέργειας στην Ελλάδα.

Ελλάδα 2020-2030 (MJ eq/ MJ heating)	2020		2030	
	Δείκτης Μη Ανανεώσιμων πηγών	Δείκτης Ανανεώσιμων πηγών	Δείκτης Μη Ανανεώσιμων πηγών	Δείκτης Ανανεώσιμων πηγών
Φυσικό αέριο	1.354	0.005	1.348	0.006
Βιομάζα	0.092	1.425	0.067	1.431
Πετρέλαιο	1.384	0.007	1.375	0.009
Τηλεθέρμανση	-	-	-	-
Ηλεκτρισμός	2.859	0.478	1.461	0.807
Ηλιακή ενέργεια	0.193	1.153	0.148	1.164
Θερμότητα περιβάλλοντος	1.602	0.266	0.826	0.449

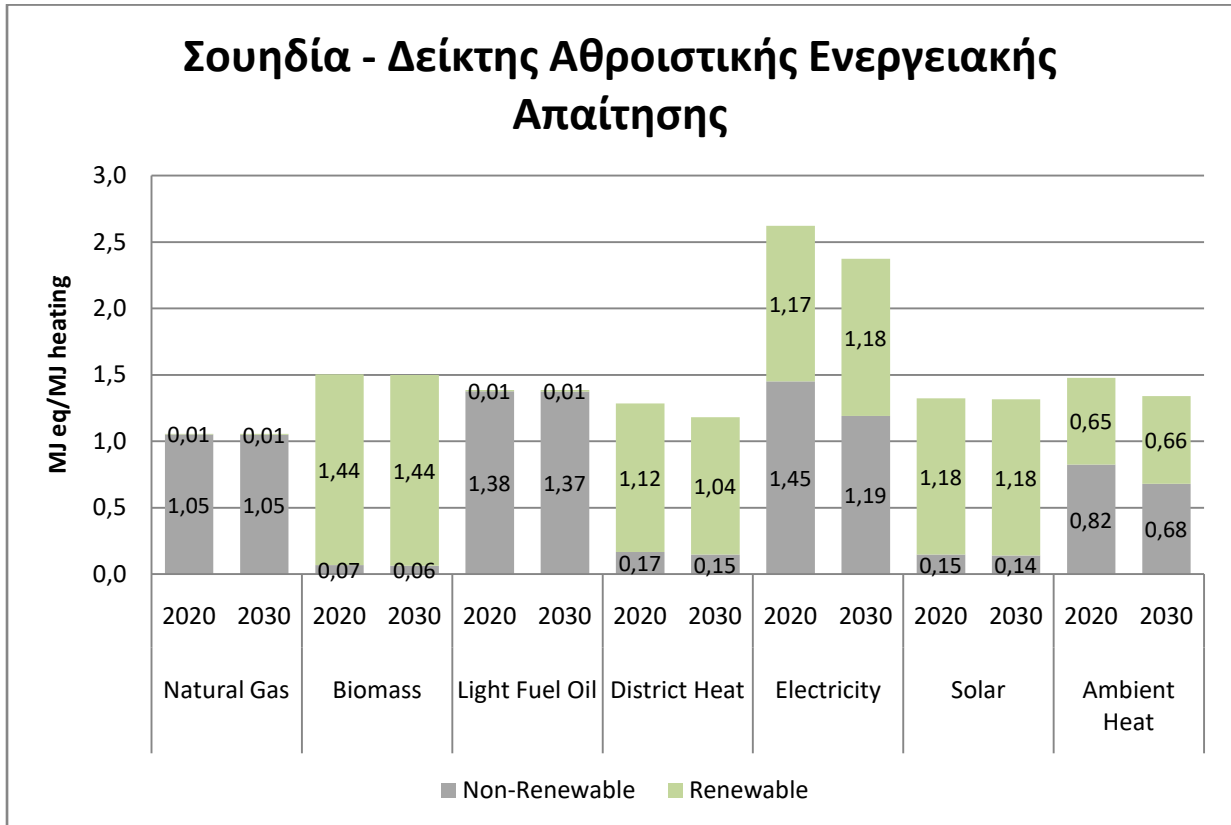
Πίνακας 5-23 Συγκεντρωτικός πίνακας με την τιμή του Δείκτη Αθροιστικής Ενεργειακής Απαίτησης για κάθε πηγή ενέργειας στην Σουηδία.

Σουηδία 2020-2030 (MJ eq/ MJ heating)	2020		2030	
	Δείκτης Μη Ανανεώσιμων πηγών	Δείκτης Ανανεώσιμων πηγών	Δείκτης Μη Ανανεώσιμων πηγών	Δείκτης Ανανεώσιμων πηγών
Φυσικό αέριο	1.050	0.007	1.049	0.007
Βιομάζα	0.066	1.437	0.062	1.438
Πετρέλαιο	1.375	0.011	1.374	0.011
Τηλεθέρμανση	0.167	1.118	0.146	1.036
Ηλεκτρισμός	1.451	1.170	0.190	1.182
Ηλιακή ενέργεια	0.148	1.176	0.139	1.176
Θερμότητα περιβάλλοντος	0.824	0.654	0.679	0.661

Παρατηρείται ότι οι τιμές στους δείκτες αθροιστικής ενεργειακής απαίτησης για της ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για την Σουηδία είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τους αντίστοιχους δείκτες στην Ελλάδα, και αυτό διότι στα αποτελέσματα αυτά αντικατοπτρίζεται το γεγονός ότι στη Σουηδία οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας είναι πιο ανεπτυγμένες το 2020 και το 2030. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, όπως φαίνεται στις εικόνες 5-15 και 5-16.



Εικόνα 5-15 Σχεδιάγραμμα με τους δείκτες Αθροιστικής Ενεργειακής Απαίτησης, για κάθε πηγή ενέργειας στην Ελλάδα.



Εικόνα 5-16 Σχεδιάγραμμα με τους δείκτες Αθροιστικής Ενεργειακής Απαίτησης, για κάθε πηγή ενέργειας στην Σουηδία.

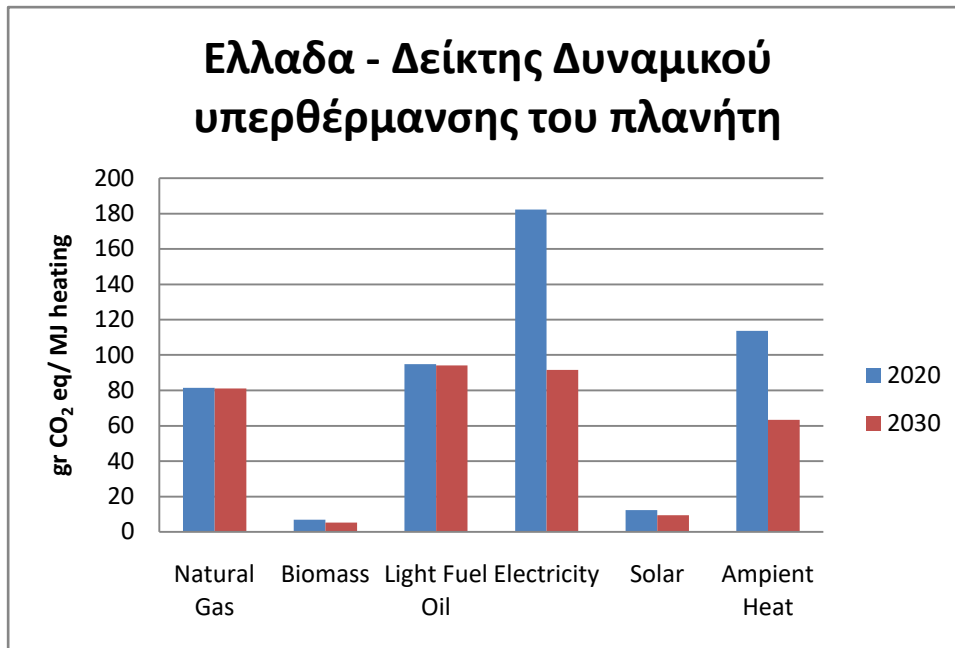
5.6.2 Δείκτης Δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης στο SimaPro, δίνουν τον δείκτη του δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη, σε ισοδύναμα gr CO₂ για κάθε MJ θερμότητας.

Ο κάθε δείκτης, θα χρησιμοποιηθεί στην συνέχεια για τον υπολογισμό του συντελεστή που αφορά την ποσότητα των εκπομπών CO₂ για κάθε MJ θερμότητας που φτάνει στο κτήριο.

Πίνακας 5-24 Συγκεντρωτικός πίνακας με την τιμή του δείκτη του δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη για κάθε πηγή ενέργειας στην Ελλάδα

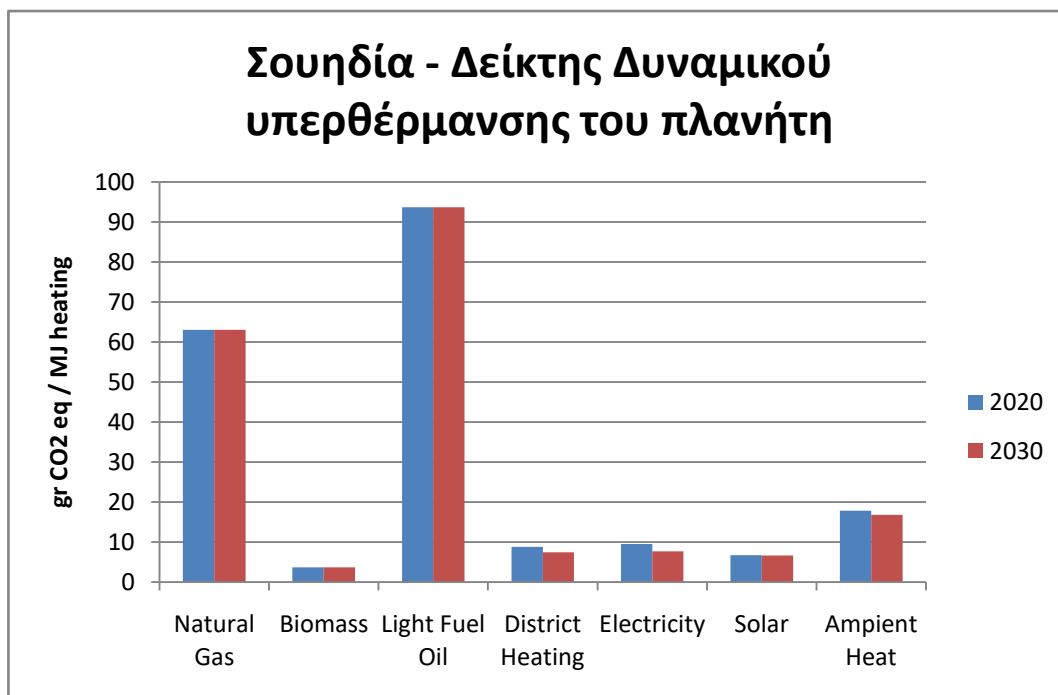
Ελλάδα (gr CO ₂ eq/ MJ heating)	2020	2030
Φυσικό αέριο	81.4	81.0
Βιομάζα	6.9	5.2
Πετρέλαιο	94.8	94.2
Τηλεθέρμανση	-	-
Ηλεκτρισμός	182.2	91.7
Ηλιακή ενέργεια	12.3	9.4
Θερμότητα περιβάλλοντος	113.6	63.3



Εικόνα 5-17 Σχεδιάγραμμα με τους δείκτες δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη, για κάθε πηγή ενέργειας στην Ελλάδα.

Πίνακας 5-25 Συγκεντρωτικός πίνακας με την τιμή του δείκτη του δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη για κάθε πηγή ενέργειας στην Σουηδία

Σουηδία (gr CO ₂ eq/ MJ heating)	2020	2030
Φυσικό αέριο	63.0	63.0
Βιομάζα	3.7	3.7
Πετρέλαιο	93.7	93.7
Τηλεθέρμανση	8.8	7.4
Ηλεκτρισμός	9.5	7.7
Ηλιακή ενέργεια	6.7	6.6
Θερμότητα περιβάλλοντος	17.8	16.8



Εικόνα 5-18 Σχεδιάγραμμα με τους δείκτες δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη, για κάθε πηγή ενέργειας στην Σουηδία.

5.6.3 Υπολογισμός συντελεστών μετατροπής πρωτογενούς ενέργειας και εκπομπών CO₂

Ο υπολογισμός των συντελεστών μετατροπής ενός MJ θερμότητας σε πρωτογενή ενέργεια, γίνεται με τη χρήση του σταθμισμένου μέσου όρου των δεικτών της ΑΚΖ, (πίνακες 5-26, 5-27)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i w_i)}{\sum_{i=1}^k w_i} \quad 5-3$$

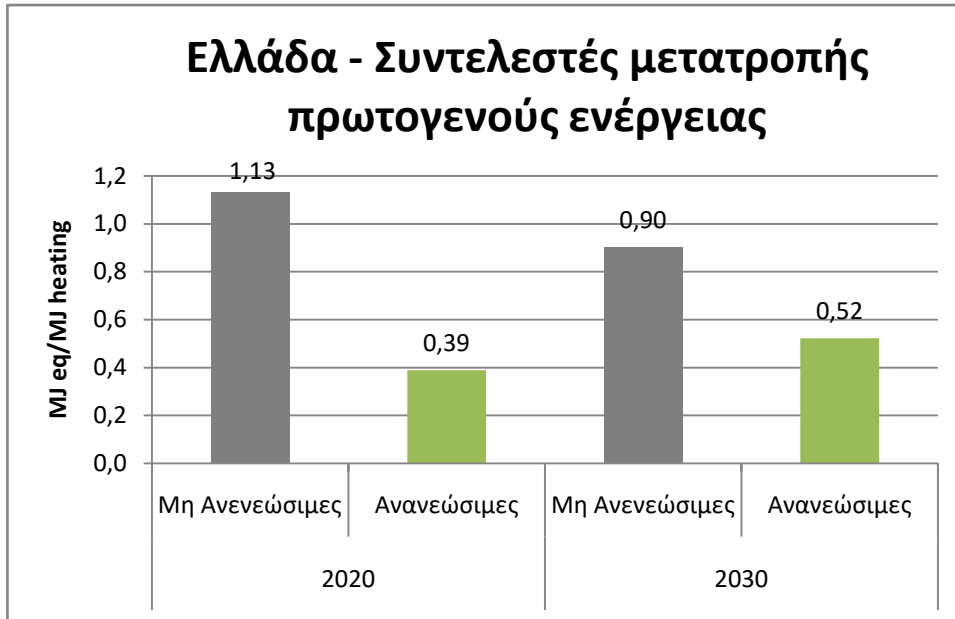
Όπου x_i , είναι ο δείκτης Αθροιστικής Ενεργειακής Απαιτήσης ή ο δείκτης δυναμικού υπερθέρμανσης του πλανήτη για κάθε πηγή ενέργειας i (πίνακες 5-22, 5-23) και ο συντελεστής βαρύτητας w_i , είναι το ποσοστό συμμετοχής της κάθε πηγής ενέργειας i στη θέρμανση (εικόνα 5-10, 5-11)

Οι συντελεστές αυτοί θα χρησιμοποιηθούν στην συνέχεια σε συνδυασμό με τις ετήσιες ενεργειακές ανάγκες του εξεταζόμενου κτηρίου, για να υπολογιστεί η ετήσια κατανάλωση σε πρωτογενή ενέργεια, για την θέρμανση, την ψύξη και τον φωτισμό του κτηρίου. (πίνακες 5-2, 5-3)

Αντίστοιχα υπολογίζονται οι εκπομπές CO₂, με την χρήση του συντελεστή εκπομπών CO₂, (πίνακες 5-24, 5-25) και τις ετήσιες ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου.

Πίνακας 5-26 Συγκεντρωτικός πίνακας με του συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια ενός MJ θερμότητας που φτάνει στο κτήριο για την Ελλάδα

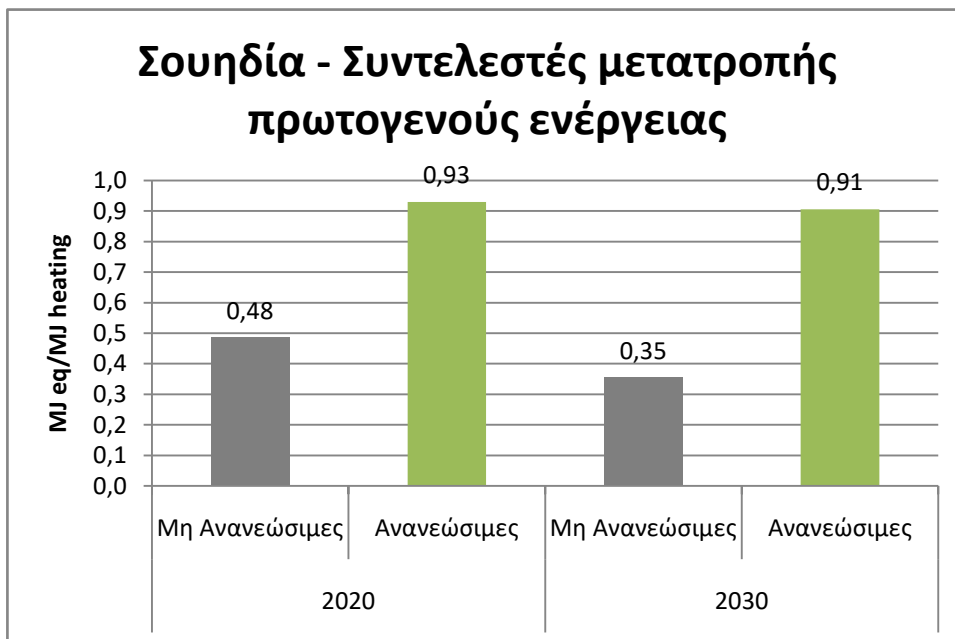
Συντελεστές μετατροπής πρωτογενούς ενέργειας (MJ eq/MJ heating)		
Ελλάδα	2020	2030
Μη ανανεώσιμες	1.13	0.90
Ανανεώσιμες	0.39	0.52



Εικόνα 5-19 Σχεδιάγραμμα με του συντελεστές μετατροπής σε ενεργεία ενός MJ θερμότητας για την Ελλάδα

Στην περίπτωση της Ελλάδας, παρατηρείται ότι καθώς η χρήση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αυξάνεται από το 2020 στο 2030, η συνεισφορά της πρωτογενούς ενέργειας από μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, στο 1MJ θερμότητας που φτάνει στον καταναλωτή, μειώνεται, και αντίθετα η συνεισφορά από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας αυξάνεται. Αυτό συμβαίνει κυρίως για δύο λόγους, πρώτον μειώνεται η συνεισφορά του πετρελαίου και του φυσικού αερίου στην θέρμανση των κτιρίων και δεύτερον μειώνεται η χρήση ορυκτών καυσίμων στην ηλεκτροπαραγωγή.

Επίσης παρατηρείται ότι υπάρχει ακόμα μεγάλη διαφορά σε σύγκριση με την Σουηδία όπου οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας συνεισφέρουν το μεγαλύτερο ποσοστό στην θέρμανση.



Εικόνα 5-20 Σχεδιάγραμμα με του συντελεστές μετατροπής σε ενεργεία ενός MJ θερμότητας για την Σουηδία

Πίνακας 5-27 Συγκεντρωτικός πίνακας με του συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια ενός MJ θερμότητας που φτάνει στο κτήριο για την Σουηδία

Συντελεστές μετατροπής πρωτογενούς ενέργειας (MJ eq/MJ heating)		
Σουηδία	2020	2030
Μη ανανεώσιμες	0.48	0.35
Ανανεώσιμες	0.93	0.91

Στην περίπτωση της Σουηδίας, παρατηρείται ότι ήδη από το 2020 και στη συνέχεια το 2030, η συνεισφορά των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην παραγωγή 1MJ θερμότητας, είναι το 66% το 2020 και αντίστοιχα το 72% το 2030.

Ομοίως υπολογίζεται και ο συντελεστής εκπομπών CO₂ για κάθε MJ θερμότητας. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 5-28.

Πίνακας 5-28 Συγκεντρωτικός πίνακας με του συντελεστές εκπομπών CO₂ για κάθε MJ θερμότητας που φτάνει στο κτήριο για την Ελλάδα και την Σουηδία

Συντελεστής εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (gr CO ₂ eq/ MJ heating)		
	2020	2030
Ελλάδα	73.3	58.2
Σουηδία	21.3	17.1

5.6.4 Υπολογισμός ετήσιας χρήσης πρωτογενούς ενέργειας και εκπομπών CO₂, σε κτήρια γραφείων

Ο στόχος της μελέτης είναι να υπολογιστεί η ετήσια κατανάλωση ενέργειας και οι εκπομπές CO₂ για ένα κτήριο γραφείων, που βρίσκεται στην Ελλάδα και την Σουηδία αντίστοιχα, και να συγκριθούν τα αποτελέσματα για τα έτη 2020 και 2030, καθώς το ενεργειακό μείγμα μεταβάλλεται.

Στην μελέτη (Detsi et al., 2020), θεωρήθηκε ότι το κτήριο χρησιμοποιεί μόνο αντλίες θερμότητας για να καλύψει την ανάγκη για θέρμανση και συνεπώς καταναλώνει μόνο ρεύμα. Στην παρούσα διπλωματική η υπόθεση αυτή δεν ισχύει πλέον και αντί αυτού λαμβάνονται υπόψη όλοι οι τρόποι θέρμανσης/ψύξης. Συνεπώς τα αποτελέσματα θα είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι μία ακριβή εικόνα για το κόστος θέρμανσης/ψύξης σε πρωτογενή ενέργεια, μέσω της ανάλυσης κύκλου ζωής, από όπου υπολογίστηκαν οι συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια. Χρησιμοποιώντας αυτούς τους συντελεστές σε συνδυασμό με την ετήσια ζήτηση του κτηρίου σε ενέργεια υπολογίστηκε η ετήσια ζήτηση σε πρωτογενή ενέργεια.

Συνεπώς θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των περιπτώσεων υαλοπινάκων 1, 2 και 4 (πίνακας 5-1). Η περίπτωση 1 αποτελεί το σημείο αναφοράς με χρήση απλών υαλοπινάκων, η περίπτωση 2 χρησιμοποιεί θερμοχρωμική στρώση και παρουσιάζει την μικρότερη απαίτηση σε θέρμανση και μεγαλύτερη σε ψύξη, και η περίπτωση 4 χρησιμοποιεί συνδυασμό θερμοχρωμικής και ηλεκτροχρωμικής στρώσης και παρουσιάζει την μεγαλύτερη απαίτηση σε θέρμανση και την μικρότερη σε ψύξη (πίνακες 5-2, 5-3).

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω σε μορφή γραφημάτων για την ετήσια χρήση πρωτογενούς ενέργειας για τα κτήρια που βρίσκονται στην Αθήνα και την Στοκχόλμη. Συγκεκριμένα τα διαγράμματα διακρίνουν την πρωτογενή ενέργεια που προέρχεται από μη-

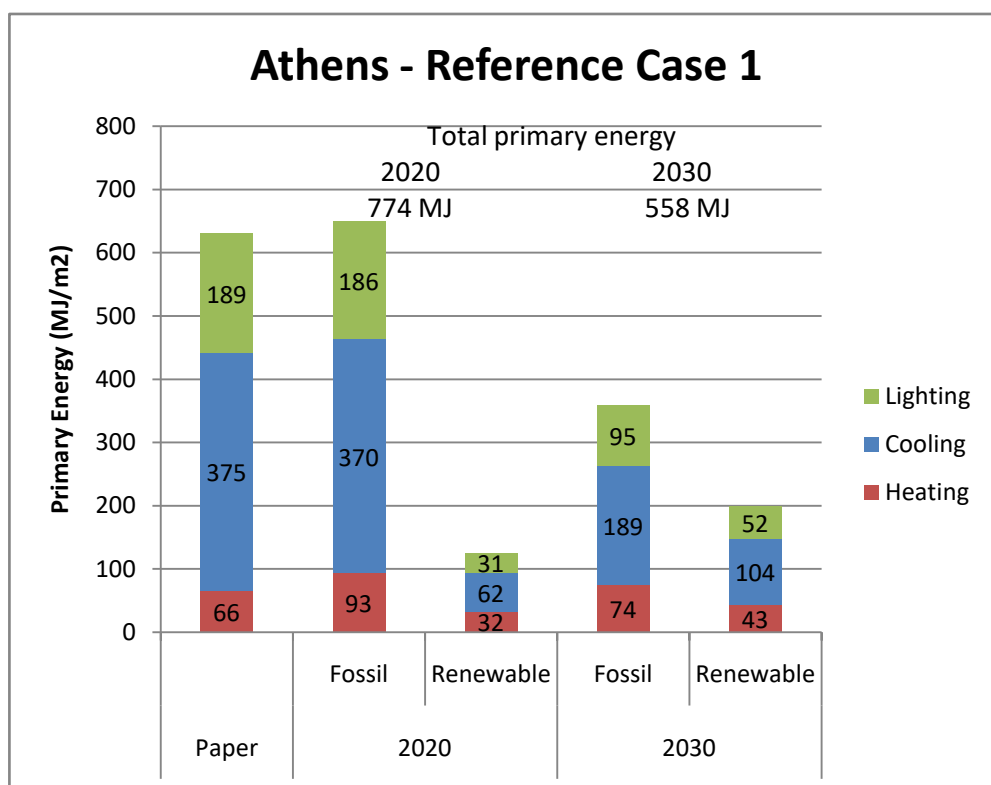
ανανεώσιμες πηγές και την ενέργεια που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Σε κάθε σενάριο εφαρμογής υαλοπινάκων παρουσιάζεται:

- Η μη-ανανεώσιμη πρωτογενής ενέργεια ανά τ.μ. κτιρίου, η οποία περιλαμβάνει τις εξής πηγές ενέργειας: πετρέλαιο, φυσικό αέριο και γαιάνθρακας.
- Η ανανεώσιμη πρωτογενής ενέργεια ανά τ.μ. κτιρίου, οι οποία περιλαμβάνει τις εξής πηγές ενέργειας: αιολική, ηλιακή, γεωθερμική, βιομάζα και υδροηλεκτρική.
- Οι εκπομπές του θερμοκηπίου σε CO₂, ανά τ.μ. κτιρίου.

Περίπτωση Αθήνας

Στην Αθήνα, λόγω της γεωγραφικής της θέσης, υπάρχει μεγαλύτερη απαίτηση για ψύξη και λιγότερο για θέρμανση. Επίσης συγκρίνοντας την απαίτηση σε πρωτογενή ενέργεια της μελέτης Detsi et al., 2020, με αυτήν που υπολογίστηκε μέσω της AKZ για το 2020, παρατηρούμε ότι σε όλες της περιπτώσεις, η μελέτη των Detsi et al., 2020, υποεκτίμησε την απαίτηση πρωτογενούς ενέργειας.

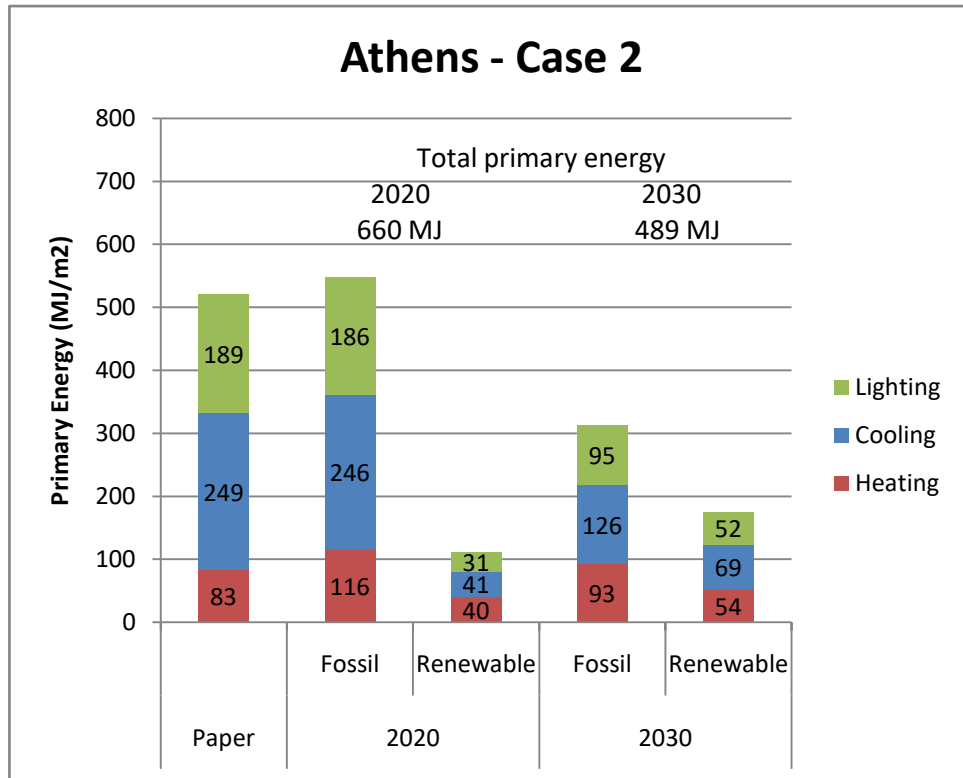
Η περίπτωση αναφοράς (case 1), αφορά τον τριπλό υαλοπίνακα, έχει την μεγαλύτερη πρωτογενή ενεργειακή απαίτηση, συνολικά 774MJ/m². Το 2020 μόνο το 16% προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Στο 2030 προβλέπεται να μειωθεί κατά 28% η συνολική ενεργειακή απαίτηση πρωτογενούς ενέργειας, κυρίως λόγω της μετάβασης της ηλεκτροπαραγωγής σε καθαρές πηγές ενέργειας. Επίσης το 2030 το 36% της ενέργειας θα προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές.



Εικόνα 5-21 Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την περίπτωση αναφοράς (case 1) με τριπλό υαλοπίνακα στην Αθήνα.

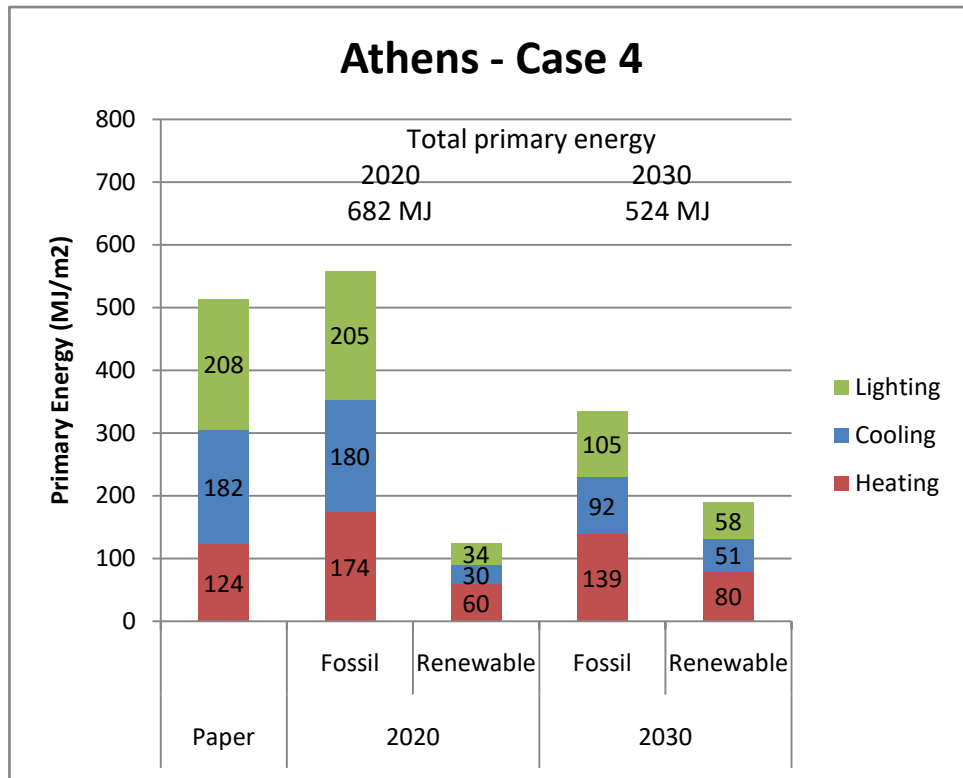
Στην περίπτωση 2, χρησιμοποιείται τριπλός υαλοπίνακας με θερμοχρωμική στρώση. Παρουσιάζει την μικρότερη ενεργειακή απαίτηση και το 2020 και το 2030 σε σύγκριση με τις άλλες περιπτώσεις. Σε σύγκριση με την περίπτωση αναφοράς, η ενεργειακή απαίτηση είναι χαμηλότερη κατά 14.7% και 12.4% για το 2020 και 2030 αντίστοιχα. Αυτό συμβαίνει κυρίως

διότι π.χ. το 2020 μειώνει κατά 145 MJ/m² την απαίτηση για ψύξη και αντίθετα αυξάνει κατά 31 MJ/m² την απαίτηση για θέρμανση. Το 2020 το 17% της ενέργειας προερχόταν από ανανεώσιμες πηγές ενώ το 2030, θα το ποσοστό θα είναι 36%.



Εικόνα 5-22 Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την περίπτωση αναφοράς (case 2) με θερμοχρωμικό υαλοπίνακα στην Αθήνα

Στην περίπτωση 4, χρησιμοποιείται τριπλός υαλοπίνακας με θερμοχρωμική και ηλεκτροχρωμική στρώση. Όσο αφορά την ενεργειακή απαίτηση, βρίσκεται ενδιάμεσα της περίπτωσης αναφοράς και της περίπτωσης 2. Σε σύγκριση με την περίπτωση αναφοράς, η ενεργειακή απαίτηση είναι χαμηλότερη κατά 11.8% και 6.1% το 2020 και 2030 αντίστοιχα. Αυτό συμβαίνει διότι ενώ η απαίτηση για ψύξη μειώνεται κατά 51%, αντισταθμίζεται από την αύξηση της απαίτησης για θέρμανση κατά 87% και του φωτισμού κατά 10%.



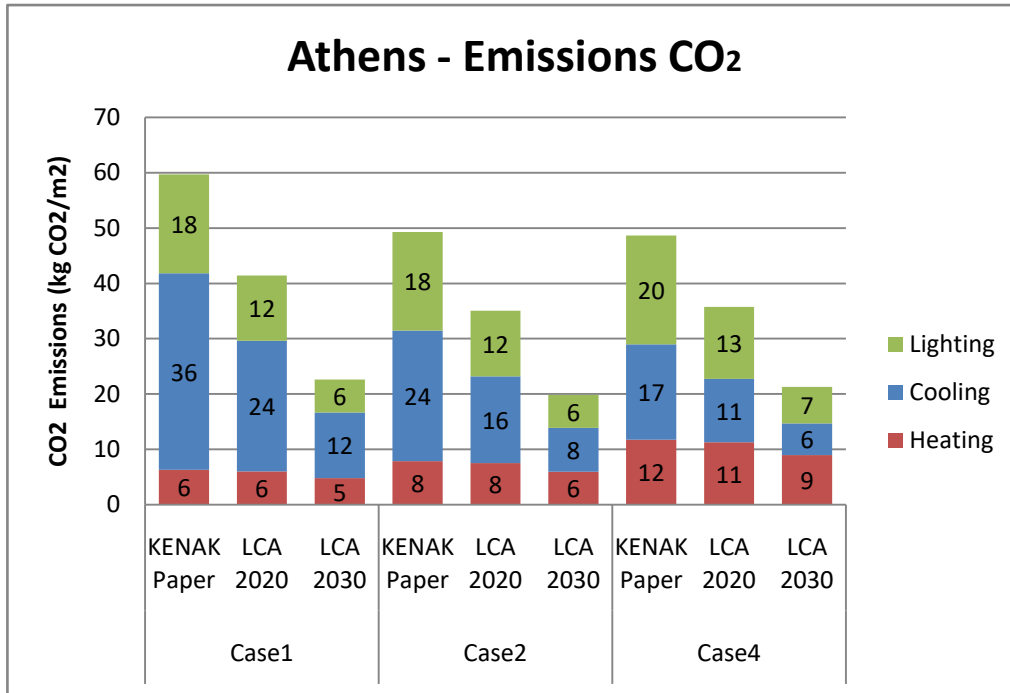
Εικόνα 5-23 Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την περίπτωση αναφοράς (case 4) με συνδυασμό θερμοχρωμικού και ηλεκτροχρωμικού υαλοπινάκα στην Αθήνα.

Παρακάτω στο γράφημα 5-24 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των εκπομπών CO₂. Το πρώτο αποτέλεσμα (KENAK Paper) υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τους εκλυόμενους ρύπους ανά μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας από τον KENAK και τις ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου όπως αναφέρονται στην μελέτη των Detsi et al., 2020. Τα άλλα δύο αποτελέσματα υπολογίστηκαν χρησιμοποιώντας τους συντελεστές εκπομπών CO₂, που προέκυψαν από την AKZ (πίνακας 5-28).

Στο παρακάτω γράφημα, φαίνεται ότι ο KENAK υπερεκτιμά τις εκπομπές CO₂, για το 2020, σε σύγκριση με την μέθοδο AKZ. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι εκλυόμενοι ρύποι από την ηλεκτροπαραγωγή είναι σημαντικά υψηλότεροι σε σχέση με τις άλλες μορφές ενέργειας.

Όσο αφορά την σύγκριση μεταξύ των εκπομπών CO₂ το 2020 και 2030 από την AKZ, όπως αναμενόταν προέκυψε μείωση των εκπομπών το 2030, καθώς το μείγμα ενέργειας μεταβάλλεται με την αύξηση της χρήσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Τέλος μεταξύ των περιπτώσεων υαλοπινάκων 1,2 και 4, η περίπτωση 2 έχει τις μικρότερες εκπομπές CO₂, και το 2020 και το 2030.

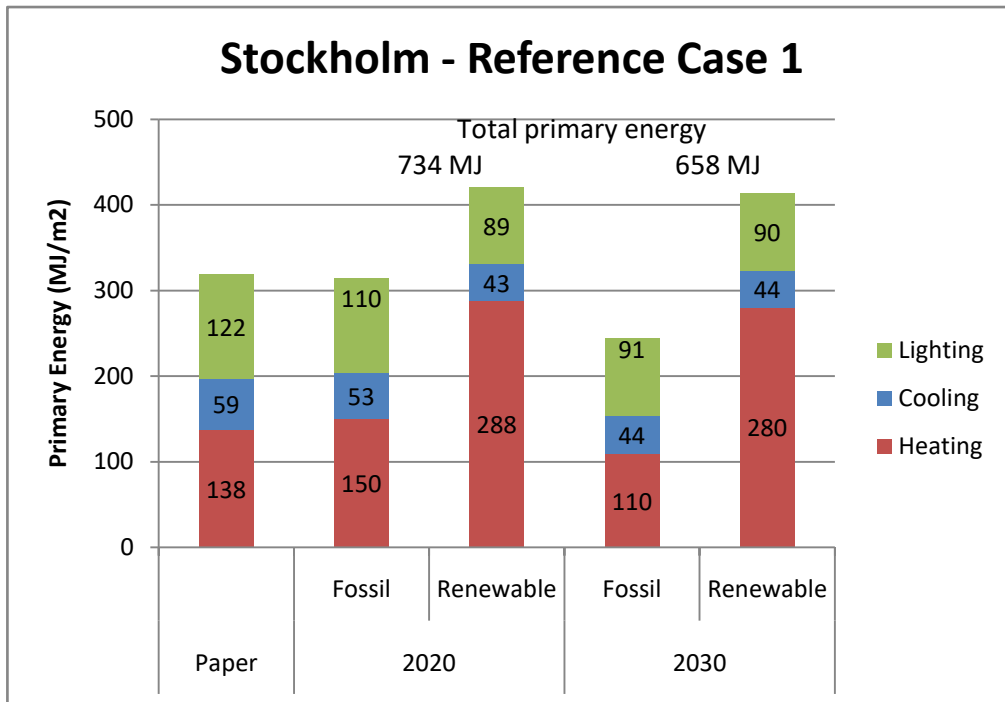


Εικόνα 5-24 Ετήσιες εκπομπές CO₂ για όλες τις περιπτώσεις υαλοπινάκων στην Αθήνα.

Περίπτωση Στοκχόλμης

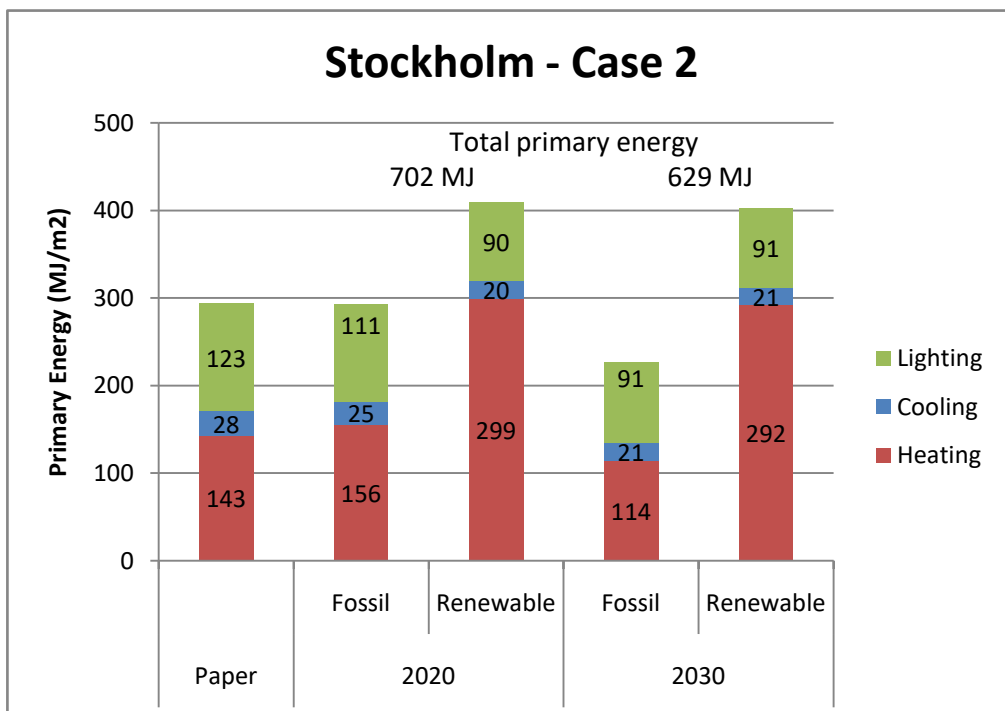
Στην περίπτωση του κτηρίου που είναι στην Στοκχόλμη, παρατηρείται ότι η ενεργειακή απαίτηση σε θέρμανση κυριαρχεί. Επιπλέον και εδώ φαίνεται ότι η μελέτη των Detsi et al., 2020, υποεκτίμησε την απαίτηση πρωτογενούς ενέργειας.

Για την περίπτωση αναφοράς, η συνολική ενεργειακή απαίτηση πρωτογενούς ενέργειας για το 2020 και 2030 είναι 734MJ/m² και 658MJ/m² αντίστοιχα. Το μεγαλύτερο ποσοστό προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δηλαδή το 57% και το 63% για το 2020 και 2030 αντίστοιχα. Δηλαδή παρατηρούμε ότι οι ίδιες ενεργειακές ανάγκες, το 2030 καλύπτονται με μικρότερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, και αυτό συμβαίνει διότι το κόστος σε πρωτογενή ενέργεια ενός MJ θερμότητας, μειώνεται εξαιτίας της περαιτέρω ανάπτυξης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Σουηδία. Επιπλέον, το 2030 μειώνεται η χρήση μη ανανεώσιμων πηγών κατά 22% σε σχέση με το 2020.



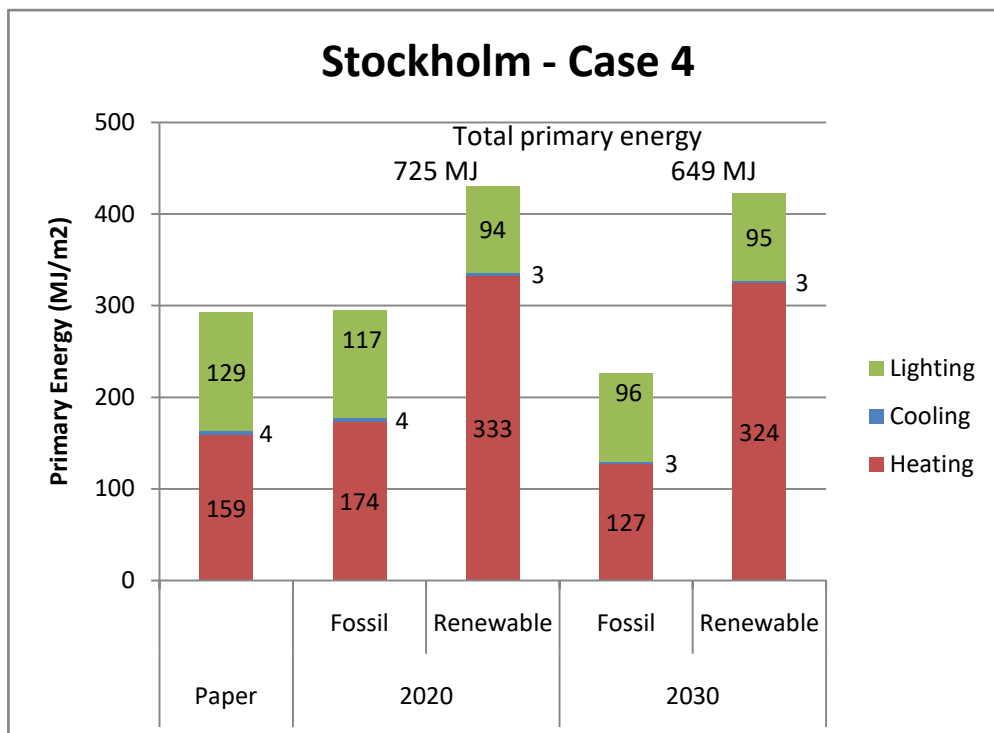
Εικόνα 5-25 Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την περίπτωση αναφοράς (case 1) με τριπλό υαλοπίνακα στην Στοκχόλμη.

Η περίπτωση 2, παρουσιάζει μία μικρή μείωση στην πρωτογενή ενέργεια σε σχέση με την περίπτωση αναφοράς κατά 4,3,% και 4,4% το 2020 και 2030 αντίστοιχα. Εδώ παρατηρείται ότι η πρωτογενής ενέργεια για ψύξη μειώνεται κατά 53% ενώ για την θέρμανση και τον φωτισμό αυξάνεται κατά 4% και 1% αντίστοιχα, σε σχέση με την περίπτωση αναφοράς. Και εδώ, το 2030 μειώνεται κατά 23% η χρήση μη ανανεώσιμων πηγών, σε σχέση με το 2020.



Εικόνα 5-26 Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την περίπτωση αναφοράς (case 2) με θερμοχρωμικό υαλοπίνακα στην Στοκχόλμη.

Η περίπτωση 4, όπως την 2, παρουσιάζει μείωση της πρωτογενούς ενέργειας σε σχέση με την περίπτωση αναφοράς κατά 1,2% και 1,4%, το 2020 και 2030 αντίστοιχα. Η πρωτογενής ενέργεια για ψύξη μειώνεται κατά 93% ενώ για την θέρμανση και τον φωτισμό αυξάνεται κατά 16% και 6% αντίστοιχα, σε σχέση με την περίπτωση αναφοράς. Και εδώ, το 2030 μειώνεται κατά 23% η χρήση μη ανανεώσιμων πηγών, σε σχέση με το 2020. Συνεπώς, ενώ η απαίτηση για ψύξη μειώνεται στο ελάχιστο, αντισταθμίζεται από την αύξηση των ενεργειακών αναγκών σε θέρμανση και φωτισμό.



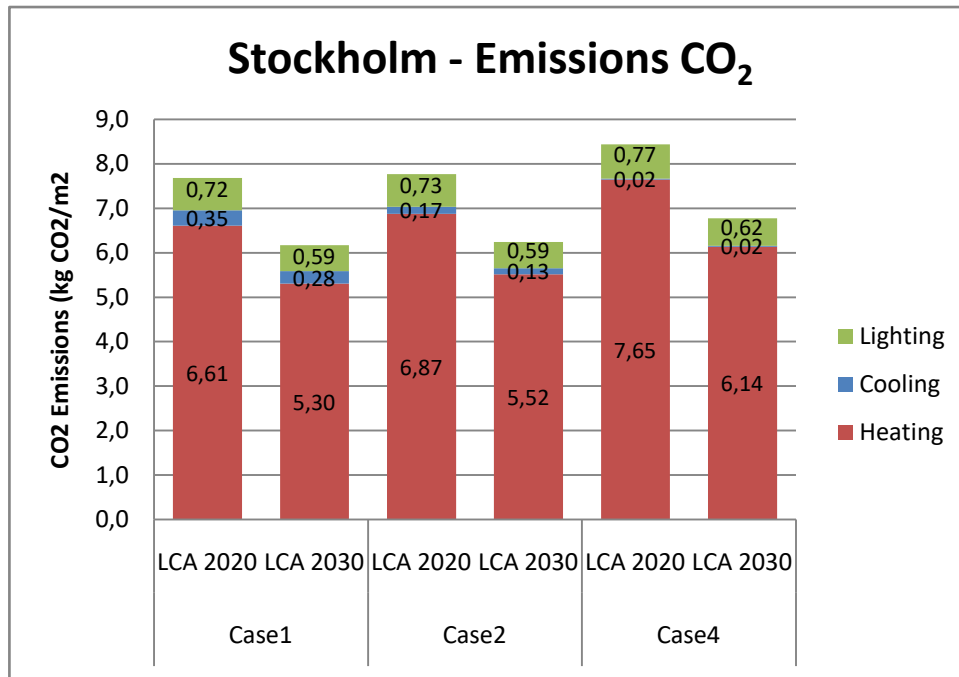
Εικόνα 5-27 Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας για την περίπτωση αναφοράς (case 4) με συνδυασμό θερμοχρωμικού και ηλεκτροχρωμικού υαλοπίνακα στην Στοκχόλμη.

Τα αποτελέσματα των εκπομπών CO₂ που παρουσιάζονται στο γράφημα 5-28, αφορούν την AKZ για το 2020 και 2030. Εδώ δεν ήταν διαθέσιμη η σύγκριση των εκπομπών CO₂, με τον αντίστοιχο κανονισμό κτηρίων της Σουηδίας.

Αρχικά παρατηρείται ότι οι εκπομπές CO₂ είναι αρκετά χαμηλότερες σε σχέση με την Αθήνα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στην Σουηδία είναι ήδη ανεπτυγμένες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας και χρησιμοποιεί πυρινική ενέργεια σε μεγάλο ποσοστό.

Επίσης παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των εκπομπών CO₂ οφείλεται στην θέρμανση, λόγω του κρύου κλίματος της Στοκχόλμης.

Τέλος οι περιπτώσεις υαλοπινάκων 1 και 2 παρουσιάζουν τις χαμηλότερες εκπομπές CO₂, με την μεταξύ τους διαφορά να είναι αμελητέα.



Εικόνα 5-28 Ετήσιες εκπομπές CO₂ για όλες τις περιπτώσεις υαλοπινάκων στην Στοκχόλμη

5.6.5 Συγκριτική Αξιολόγηση του κτηρίου στην Αθήνα και στην Στοκχόλμη

Σε αυτή την ενότητα θα γίνει μία σύγκριση των αποτελεσμάτων μεταξύ του κτηρίου της Αθήνας και της Στοκχόλμης.

Οι συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια που υπολογίστηκαν μέσω της ΑΚΖ, μπορούν να συγκριθούν με τους συντελεστές στον ΚΕΝΑΚ για την Ελλάδα, και με τους συντελεστές στον αντίστοιχο κανονισμό κτηρίων της Σουηδίας. Τα αποτελέσματα αυτά συγκρίνονται στους πίνακες 5-29 και 5-30.

Η πρώτη παρατήρηση είναι ότι οι συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια στους κανονισμούς των κτηρίων της Ελλάδας και της Σουηδίας, δεν συμφωνούν με τους αντίστοιχους που υπολογίστηκαν μέσω της μεθόδου LCA. Αυτό σημαίνει το ενεργειακό αποτύπωμα του κάθε κτηρίου, που μελετάται με βάση τους κανονισμούς, θα απέχει από την πραγματικότητα.

Η δεύτερη παρατήρηση είναι ότι οι συντελεστές αυτοί μεταβάλλονται με τον χρόνο, ως αποτέλεσμα της ενεργειακής μετάβασης σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα στην περίπτωση της ηλεκτροπαραγωγής.

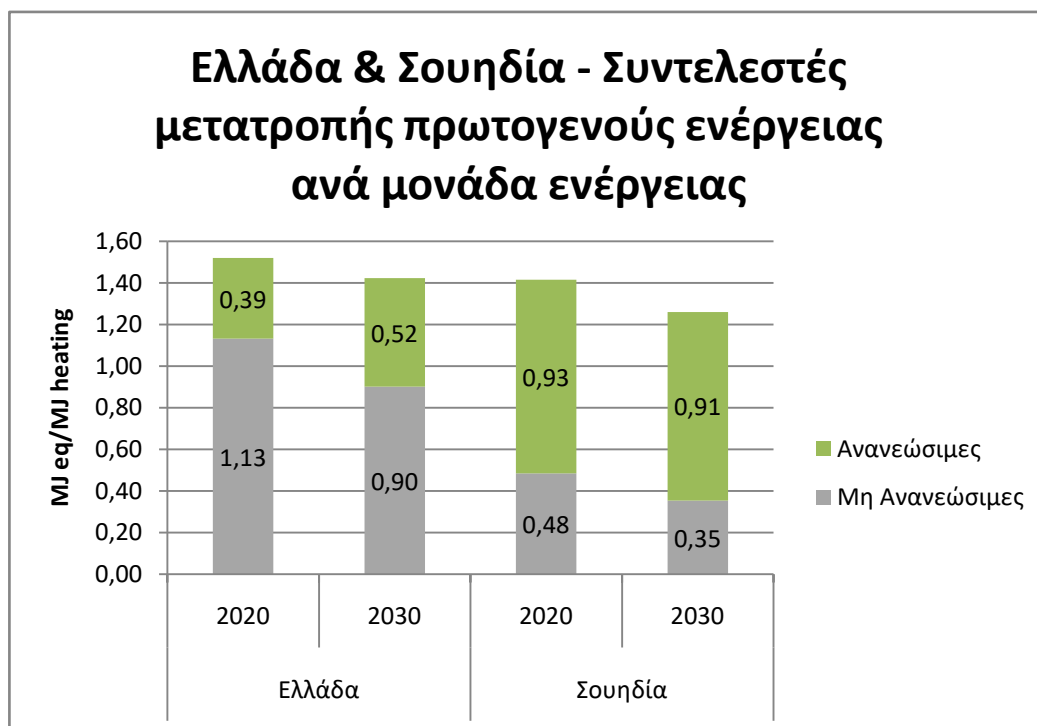
Η τρίτη παρατήρηση όπως προκύπτει από το σχεδιάγραμμα 5-29 είναι ότι για την Ελλάδα το κόστος της ενέργειας είναι υψηλότερο σε σχέση με την Σουηδία. Επίσης στην Ελλάδα το μεγαλύτερο μερίδιο της ενέργειας προέρχεται από μη ανανεώσιμες πηγές, σε αντίθεση με την Σουηδία που προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές. Κοινό στοιχείο των δύο χωρών είναι ότι το 2030 το κόστος της ενέργειας είναι μειωμένο σε σχέση με το 2020, που σημαίνει μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση.

Πίνακας 5-29 Συγκριτικός πίνακας με τους συντελεστές μετατροπής της τελικής κατανάλωσης κτηρίου σε πρωτογενή ενέργεια σε κτήρια για την Ελλάδα. (ΚΕΝΑΚ)

Ελλάδα	Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια		
Πηγή ενέργειας	ΚΕΝΑΚ	AKZ (2020) <i>NonRen + Ren = Coef_{total}</i>	AKZ (2030) <i>NonRen + Ren = Coef_{total}</i>
Φυσικό αέριο	1.1	$1.354 + 0.005 = 1.359$	$1.348 + 0.006 = 1.354$
Πετρέλαιο θέρμανσης	1.1	$1.384 + 0.007 = 1.391$	$1.375 + 0.009 = 1.384$
Ηλεκτρική ενέργεια	2.9	$2.859 + 0.478 = 3.337$	$1.461 + 0.807 = 2.268$
Βιομάζα	1.0	$0.092 + 1.425 = 1.517$	$0.067 + 1.431 = 1.498$

Πίνακας 5-30 Συγκριτικός πίνακας με τους συντελεστές μετατροπής της τελικής κατανάλωσης κτηρίου σε πρωτογενή ενέργεια σε κτήρια για την Σουηδία. (Swedish National Board of Housing)

Σουηδία	Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια		
Πηγή ενέργειας	BFS 2017:5	AKZ (2020) <i>NonRen + Ren = Coef_{total}</i>	AKZ (2030) <i>NonRen + Ren = Coef_{total}</i>
Φυσικό αέριο	1.0	$1.050 + 0.007 = 1.057$	$1.049 + 0.007 = 1.056$
Πετρέλαιο θέρμανσης	1.0	$1.375 + 0.011 = 1.386$	$1.374 + 0.011 = 1.385$
Ηλεκτρική ενέργεια	1.6	$1.451 + 1.170 = 2.621$	$1.190 + 1.182 = 2.372$
Βιομάζα	1.0	$0.066 + 1.437 = 1.503$	$0.062 + 1.438 = 1.500$
Τηλεθέρμανση	1.0	$0.167 + 1.118 = 1.285$	$0.146 + 1.036 = 1.182$



Εικόνα 5-29 Σύγκριση συντελεστών μετατροπής πρωτογενούς ενέργειας μεταξύ Ελλάδας και Σουηδίας

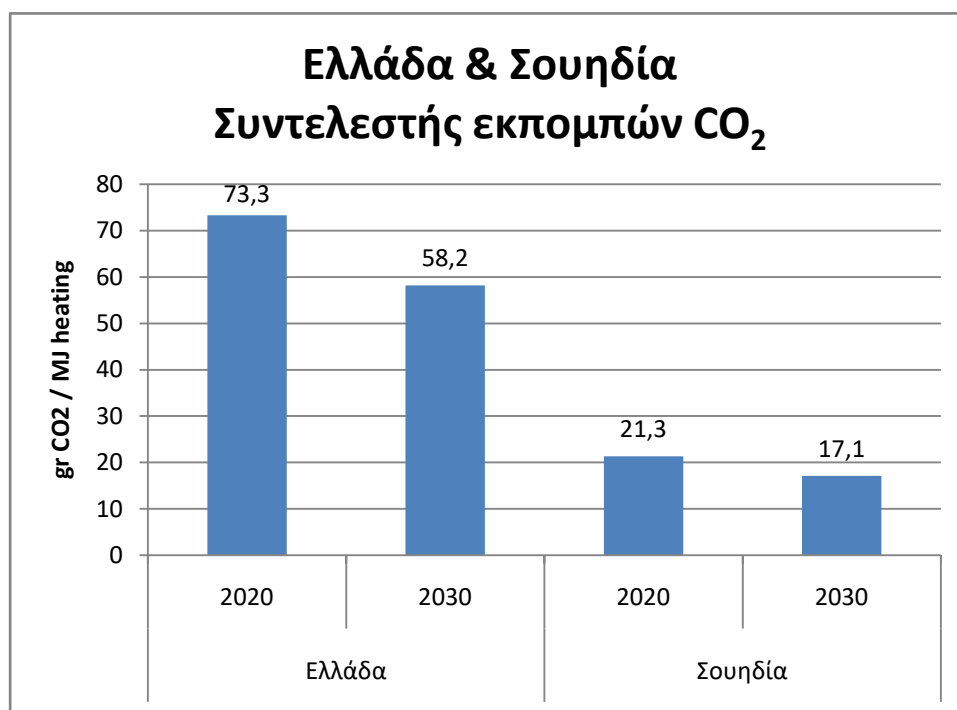
Όσο αφορά της εκπομπές του CO₂, παρατηρούμε από το γράφημα 5-30 ότι η Σουηδία έχει σημαντικά χαμηλότερες εκπομπές CO₂ ανά MJ θερμότητας, σε σχέση με την Ελλάδα, καθώς ήδη χρησιμοποιεί μορφές ενέργειας με χαμηλούς ρύπους. Επιπλέον το 2030 και οι

δύο χώρες θα έχουν χαμηλότερες εκπομπές CO₂, λόγω της ενεργειακής μετάβασης σε καθαρή ενέργεια και της μεγαλύτερης ενεργειακής απόδοσης των συστημάτων.

Επιπλέον στον πίνακα 5-31 παρατηρούμε ότι στον ΚΕΝΑΚ οι εκλυόμενοι ρύποι δεν συμφωνούν με τους αντίστοιχους συντελεστές ΑΚΖ. Αυτό συμβαίνει διότι ο ΚΕΝΑΚ δεν λαμβάνει υπόψη μεταβολές στο ενεργειακό μείγμα με τον χρόνο.

Πίνακας 5-31 Συγκριτικός πίνακας με τους εκλυόμενους ρύπους ανά μονάδα ενέργειας για την περίπτωση της Ελλάδας.

Ελλάδα	Εκλυόμενοι ρύποι ανά μονάδα ενέργειας (gr CO ₂ / MJ)		
Πηγή ενέργειας	ΚΕΝΑΚ	ΑΚΖ (2020)	ΑΚΖ (2030)
Φυσικό αέριο	54.4	81.4	81.0
Πετρέλαιο θέρμανσης	73.3	94.8	94.2
Ηλεκτρική ενέργεια	274.7	182.2	91.7
Βιομάζα	-	6.9	5.2

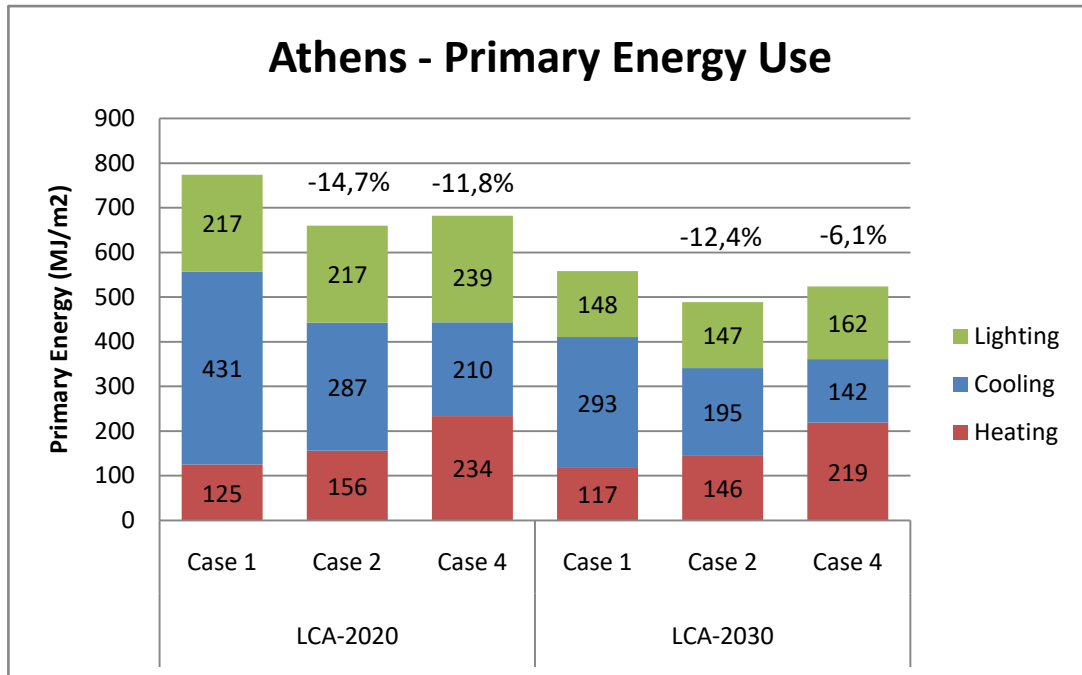


Εικόνα 5-30 Σχεδιάγραμμα με τους συντελεστές εκπομπών CO₂ για κάθε MJ θερμότητας, για την Ελλάδα και την Σουηδία

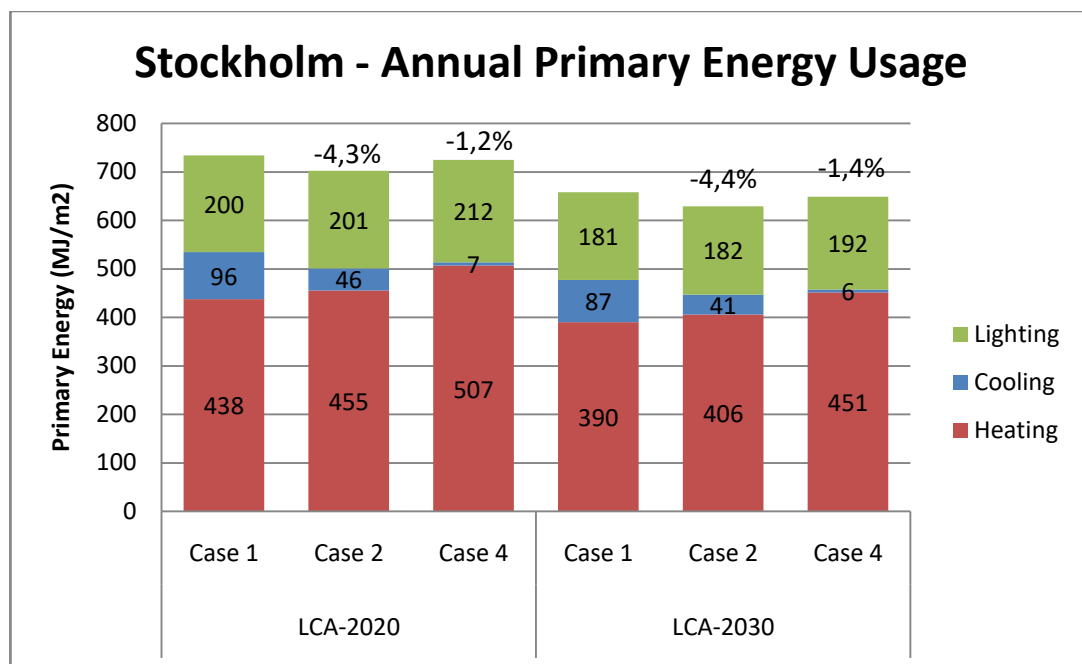
Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, οι συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια και οι συντελεστές εκπομπών CO₂ από την ΑΚΖ, χρησιμοποιήθηκαν για να υπολογιστεί με ακρίβεια η ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας και οι εκπομπές CO₂, για το κτήριο της μελέτης Detsi et al., 2020.

Συνεπώς θα συγκριθούν τα αποτελέσματα μεταξύ των περιπτώσεων υαλοπινάκων 1, 2 και 4 (πίνακας 5-1). Υπενθυμίζουμε ότι η περίπτωση 1 αποτελεί το σημείο αναφοράς με χρήση απλών υαλοπινάκων, η περίπτωση 2 χρησιμοποιεί θερμοχρωμική στρώση και παρουσιάζει την μικρότερη απαίτηση σε θέρμανση και μεγαλύτερη σε ψύξη, και η περίπτωση 4 χρησιμοποιεί συνδυασμό θερμοχρωμικής και ηλεκτροχρωμικής στρώσης και παρουσιάζει την μεγαλύτερη απαίτηση σε θέρμανση και την μικρότερη σε ψύξη.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα συγκριτικά αποτελέσματα σε μορφή γραφημάτων (γράφημα 5-31 και 5-32) για την ετήσια χρήση πρωτογενούς ενέργειας για τα κτήρια σε κάθε χώρα.



Εικόνα 5-31 Συνολική ετήσια χρήση πρωτογενούς ενέργειας για τους διάφορους υαλοπίνακες στην Αθήνα



Εικόνα 5-32 Συνολική ετήσια χρήση πρωτογενούς ενέργειας για τους διάφορους υαλοπίνακες στην Στοκχόλμη

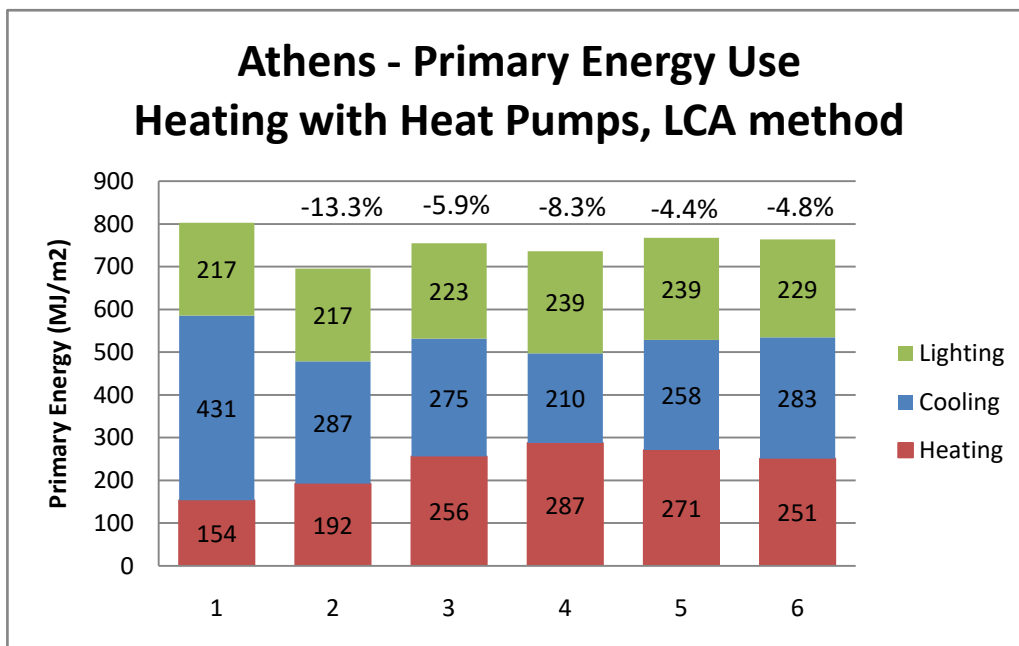
Παρατηρείται ότι στην Αθήνα, το μελετώμενο κτήριο έχει σημαντικά οφέλη από την εφαρμογή των καινοτόμων υαλοπινάκων, και ειδικά οι υαλοπίνακες της περίπτωσης 2 παρουσιάζουν την μεγαλύτερη εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας.

Για το κτήριο στη Στοκχόλμη, υπάρχει μικρότερο όφελος και στις δύο περιπτώσεις 2 και 4. Αυτό εξηγείται, διότι η αύξηση της πρωτογενούς ενέργειας για θέρμανση και φωτισμό, αντισταθμίζει, την μείωση της ενέργειας για ψύξη, και οφείλεται στο ψυχρό κλίμα της Στοκχόλμης .

Επίσης παρατηρείται ότι τα δύο κτήρια σε Αθήνα και Στοκχόλμη το 2020, με την εφαρμογή των Θ/Η υαλοπινάκων, χρησιμοποιούν σχεδόν ίδια ποσότητα πρωτογενούς ενέργειας. Όμως το 2030, το κτήριο σε Αθήνα, χρησιμοποιεί λιγότερη ποσότητα πρωτογενούς ενέργειας, για τις ενεργειακές ανάγκες του. Αυτό συμβαίνει διότι το 2030, η ηλεκτροπαραγωγή χρησιμοποιεί λιγότερους πρωτογενής πόρους. Επιπλέον, αυξάνεται η χρήση συστημάτων που χρησιμοποιούν λιγότερη πρωτογενή ενέργεια, όπως αντλίες θερμότητας και ηλιακά πάνελ, και τέλος, όπως είδαμε, το όφελος στην Αθήνα από την εφαρμογή Θ/Η υαλοπινάκων είναι μεγαλύτερο.

Ενδιαφέρον θα είχε να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα της δυνητικής εξοικονόμησης ενέργειας της μελέτης Detsi et al., 2020, με αυτά που προκύπτουν από την ανάλυση κύκλου ζωής χρησιμοποιώντας μόνο, αντλίες θερμότητας για την θέρμανση του κτηρίου (γράφημα 5-33).

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η εξοικονόμηση ενέργειας είναι ποσοστιαία μικρότερη σε σχέση με το αποτέλεσμα της μελέτης Detsi et al., 2020.



Εικόνα 5-33 Συνολική αιτήσια χρήση πρωτογενούς ενέργειας για τους διάφορους υαλοπίνακες, χρησιμοποιώντας μόνο αντλίες θερμότητας για την θέρμανση.

Τέλος μπορούμε να εξετάσουμε την δυνητική εξοικονόμηση ενέργειας σε επίπεδο χώρας, αν αντικατασταθούν στο 20% των κτηρίων οι υαλοπίνακες της περίπτωσης 1 (τριπλός υαλοπίνακας με εσωτερικά στόρια), με αυτούς της περίπτωσης 2 (τριπλός υαλοπίνακας με θερμοχρωμική επίστρωση), και της περίπτωσης 4 (τριπλός υαλοπίνακας με θερμοχρωμική και ηλεκτροχρωμική επίστρωση).

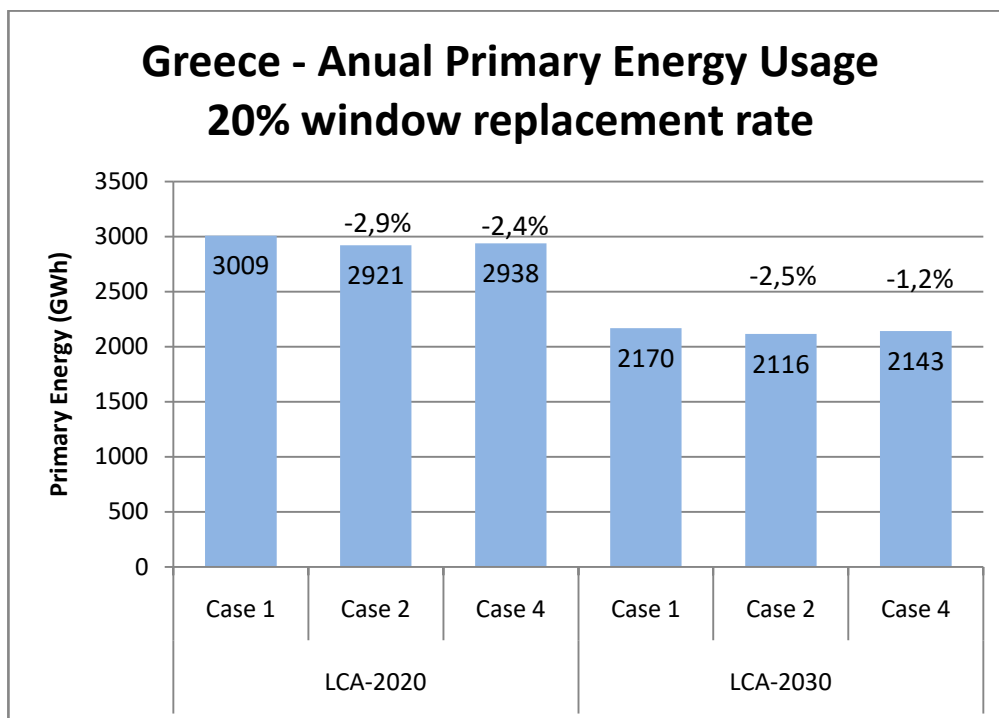
Τα δεδομένα για τα συνολικά τετραγωνικά μέτρα των γραφείων σε Ελλάδα και Σουηδία πάρθηκαν από την μελέτη της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (Directorate-General for Energy, 2016) καθώς δεν υπήρχε τέτοια πληροφορία στις στατιστικές υπηρεσίες της Ελλάδας και της Σουηδίας. Στη μελέτη υπολογίστηκε η συνολική επιφάνεια των κτηρίων ανά χώρα, με βάση

στατιστικά στοιχεία απασχόλησης της Eurostat και τις τυπικές τιμές επιφάνειας m² ανά εργαζόμενο. Τα στατιστικά στοιχεία για την απασχόληση κάνουν διάκριση μεταξύ των εργαζομένων σε χειρονακτική εργασία και σε εργασία γραφείου, επομένως με βάση αυτές τις πληροφορίες κατανεμήθηκε η επιφάνεια, είτε σε κτίρια παραγωγής είτε σε κτίρια γραφείων. Λόγω της μεγάλης αβεβαιότητας αυτού του υπολογισμού, τα αποτελέσματα πρέπει να ερμηνεύονται με προσοχή. Ωστόσο, αυτή τη στιγμή, αυτά είναι τα καλύτερα διαθέσιμα στοιχεία.

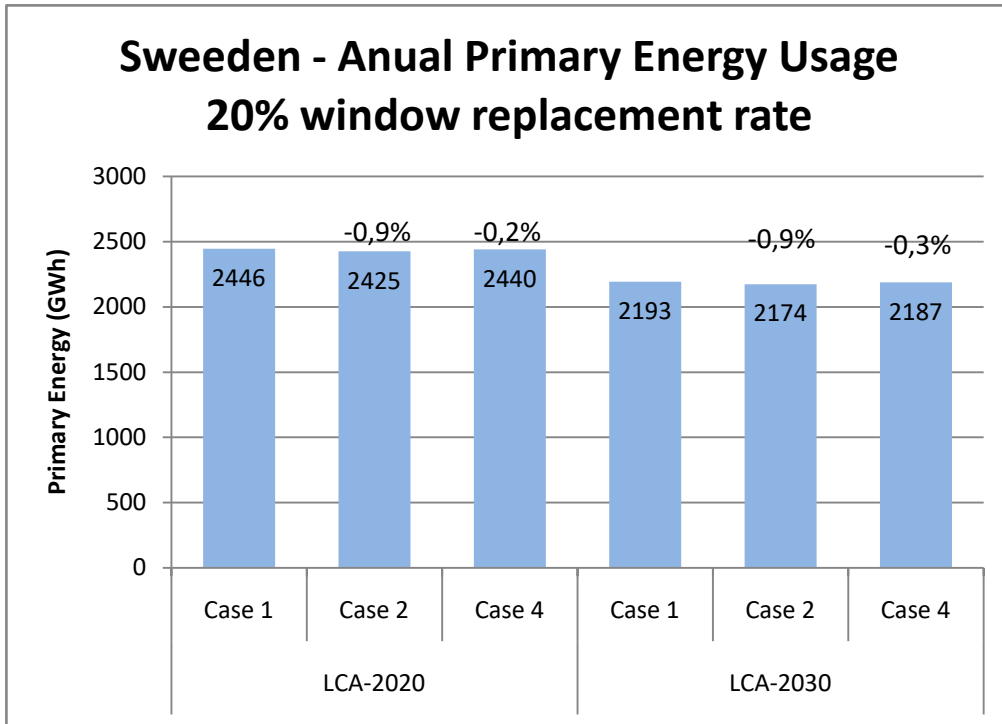
Πίνακας 5-32 Προσεγγιστικός υπολογισμός της συνολικής επιφάνειας των κτηρίων παραγωγής και των γραφείων σε Ελλάδα και Σουηδία. (European Commission, Directorate-General for Energy, 2016)

Επιφάνεια (σε εκατομμύρια m²)

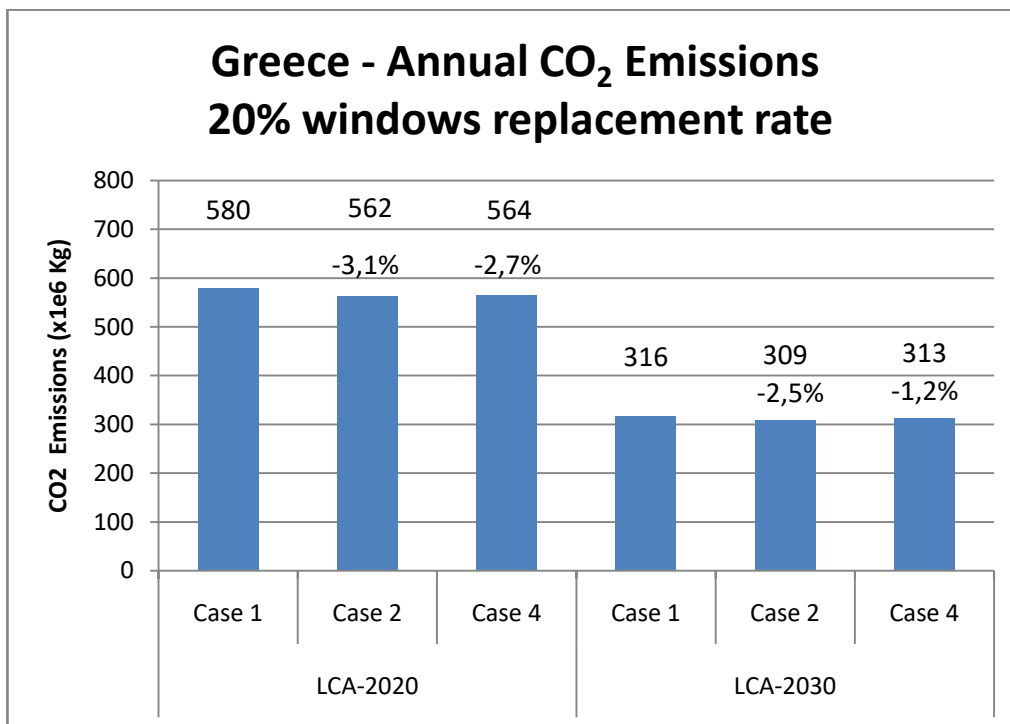
Χώρα	Κτήρια Παραγωγής	Κτήρια Γραφείων
Ελλάδα	21	14
Σουηδία	21	12



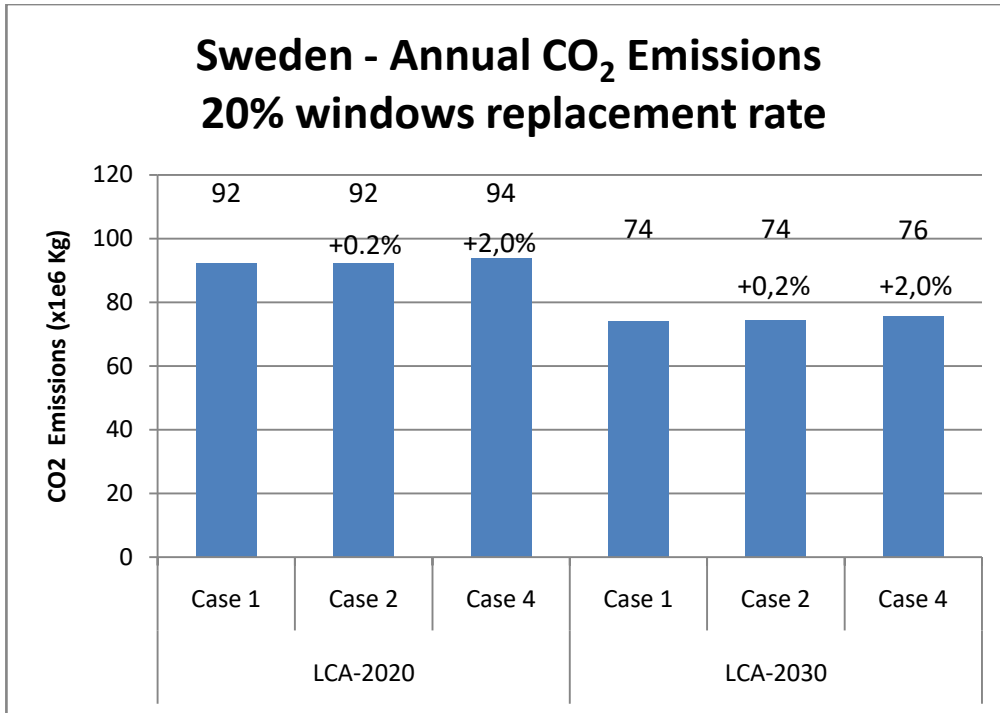
Εικόνα 5-34 Υπολογισμός της ετήσιας χρήσης ενέργειας, με την αντικατάσταση του 20% των υαλοπινάκων των κτηρίων με θερμοχρωμικούς και ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες στην Ελλάδα.



Εικόνα 5-35 Υπολογισμός της ετήσιας χρήσης ενέργειας, με την αντικατάσταση του 20% των υαλοπινάκων των κτηρίων με θερμοχρωμικούς και ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες στην Σουηδία.



Εικόνα 5-36 Υπολογισμός των ετήσιων εκπομπών CO₂, με την αντικατάσταση του 20% των υαλοπινάκων των κτηρίων με θερμοχρωμικούς και ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες στην Ελλάδα.



Εικόνα 5-37 Υπολογισμός των ετήσιων εκπομπών CO₂, με την αντικατάσταση του 20% των υαλοπινάκων των κτηρίων με θερμοχρωμικούς και ηλεκτροχρωμικούς υαλοπίνακες στην Σουηδία.

Ο υπολογισμός των παραπάνω γραφημάτων 5-34, 5-35, 5-36 και 5-37 βασίζεται στην υπόθεση ότι όλα τα κτήρια έχουν εγκατεστημένα τους τριπλούς υαλοπίνακες της περίπτωσης 1, και στη συνέχεια το 20% αυτών αντικαθιστάται. Το μεγαλύτερο όφελος παρατηρείται με την εφαρμογή των υαλοπινάκων της περίπτωσης 2 και στις 2 χώρες.

Παρατηρούμε ότι στην Ελλάδα, για την περίπτωση εφαρμογής των υαλοπινάκων 2, θα μπορούσαν να εξοικονομηθούν 88 GWh το 2020, και 54 GWh το 2030 ενώ παράλληλα θα μειώνονταν κατά 17945 μετρικούς τόνους οι εκπομπές CO₂ το 2020 και κατά 7805 το 2030.

Αντίστοιχα στην Σουηδία, για την περίπτωση εφαρμογής των υαλοπινάκων 2, θα μπορούσαν να εξοικονομηθούν 21 GWh το 2020, και 19 GWh το 2030 ενώ αντίθετα θα αυξανόταν κατά 208 μετρικούς τόνους οι εκπομπές CO₂ το 2020 και κατά 164 το 2030.

6 Συμπεράσματα

Ο σκοπός της μελέτης ήταν να εξεταστεί η δυνητική εξοικονόμηση ενέργειας στην εφαρμογή υαλοπινάκων που συνδυάζουν θερμοχρωμικά και ηλεκτροχρωμικά υλικά σε κτήρια γραφείων με μεγάλη επιφάνεια παραθύρων, σε δύο πόλεις διαφορετικό κλίμα όπως η Αθήνα και η Στοκχόλμη, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής. Για την ΑΚΖ χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό SimaPro, όπου έγιναν οι κατάλληλες μετατροπές στις διεργασίες της βάσης δεδομένων του, ώστε το ενεργειακό μείγμα της ηλεκτροπαραγωγής και της θέρμανσης/ψύξης των κτηρίων, να είναι αντιπροσωπευτικό για την κάθε χώρα.

Από τις περιπτώσεις υαλοπινάκων που εξετάστηκαν και στις δύο τοποθεσίες, ο τριπλός υαλοπίνακας με την θερμοχρωμική επίστρωση στο εξωτερικό τζάμι, είχε το μεγαλύτερο ενεργειακό όφελος. Στην υπόθεση ότι αυτός ο υαλοπίνακας αντικαθιστά τον απλό τριπλό υαλοπίνακα στο 20% των κτηρίων στην Ελλάδα, υπολογίστηκε μία μείωση 2,9% και 2,5% της ετήσιας κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, και μείωση των εκπομπών CO₂ κατά 3,1% και 2,5% το 2020 και 2030 αντίστοιχα. Στην Ελλάδα η εξοικονόμηση προκύπτει από την μείωση της ενεργειακής απαίτησης σε ψυξη, που ξεπερνά την αύξηση της απαίτησης σε θέρμανση. Όσο αφορά την ίδια εφαρμογή στην Σουηδία, υπολογίστηκε μία μείωση 0,9% στην ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας, το 2020 και 2030. Παράλληλα υπήρξε αύξηση 0,2% των εκπομπών CO₂ το 2020 και 2030. Στην Σουηδία το όφελος είναι μικρότερο, διότι η μείωση των ηλιακών κερδών μέσω των υαλοπινάκων, αντισταθμίζεται με την αύξηση της απαίτησης σε θέρμανση.

Η ΑΚΖ, έδειξε ότι οι συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια, δεν είναι σταθεροί με το χρόνο αλλά μεταβάλλονται εξαιτίας της μεταβολής του ενεργειακού μείγματος της κάθε χώρας. Στην Ελλάδα ένα MJ θερμότητας κοστίζει σε πρωτογενή ενέργεια 1,13MJ από μη ανανεώσιμες και 0,39MJ, από ανανεώσιμες πηγές, το 2020. Αντίστοιχα στην Σουηδία ένα MJ θερμότητας κοστίζει σε πρωτογενή ενέργεια 0,48MJ από μη ανανεώσιμες και 0,93MJ, από ανανεώσιμες πηγές, το 2020. Δηλαδή ένα κτήριο στην Ελλάδα, που βρίσκεται ακόμα στην διαδικασία μετάβασης σε πράσινες μορφές ενέργειας, χρησιμοποιεί περισσότερη πρωτογενή ενέργεια από το αντίστοιχο στην Σουηδία, καλύπτοντας τις ίδιες ανάγκες για θέρμανση. Εξετάζοντας τους ίδιους δείκτες το 2030, με βάση την πρόβλεψη για το ενεργειακό μείγμα της κάθε χώρας, το μερίδιο των μη ανανεώσιμων πηγών μειώνεται, ενώ το μερίδιο των ανανεώσιμων αυξάνεται, και στις δυο χώρες.

Όσο αφορά τους εκλυόμενους ρύπους CO₂ ανά MJ θερμότητας, στην Ελλάδα εκλύονται 73 gr και 58 gr, το 2020 και 2030 αντίστοιχα. Στην Σουηδία οι τιμές είναι 21 gr και 17 gr, το 2020 και 2030 αντίστοιχα. Και εδώ παρατηρείται ότι η Ελλάδα έχει πάνω από 3 φορές τις εκπομπές CO₂ της Σουηδίας, για θέρμανση, ψύξη και τεχνικό φωτισμό, κυρίως λόγω της χρήσης πυρηνικής ενέργειας.

Επιπλέον παρατηρήθηκε ότι στον ΚΕΝΑΚ οι συντελεστές μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια, και οι εκλυόμενοι ρύποι CO₂ ανά μονάδα ενέργειας, θα χρειαστούν αναθεώρηση στο μέλλον, τουλάχιστον στην περίπτωση της ηλεκτροπαραγωγής, καθώς η ΑΚΖ έδειξε ότι αυτοί οι δείκτες το 2030 θα διαφέρουν αρκετά από τις σημερινές τιμές του κανονισμού. Συνεπώς η μέθοδος της παρούσας εργασίας μπορεί να συνεισφέρει σε αυτό.

7 Βιβλιογραφία

- [1] Aldawoud, A. (2013). Conventional fixed shading devices in comparison to an electrochromic glazing. *Energy and Buildings*, 59, pp. 104-110
- [2] Al-Masrani, S. M., Al-Obaidi, K. M., Zalin, N. A., & Aida Isma, M. (2018). Desing optimisation of solar shading systems for tropical office buildings: Challenges and future trends. *Solar Energy*, 170, pp. 849-872.
- [3] Attia, S., Bilir, S., Safy, T., Struck, C., Loonen, R., & Goia, F. (2018). Current trends and future challenges in the performance assessment of adaptive façade systems. *Energy and Building* 179, pp. 165-182
- [4] Attia, S., Lioure, R., & Declaude, Q. (2020, February). Future trends and main concepts of adaptive façade systems. *Energy Science and Engineering*, pp. 1-18
- [5] Böke, J., Knaack, U., & Hemmerling, M. (2019). State-of-the-art of intelligent building envelopes in the context of intelligent technical systems. *Intelligent Buildings international*, Vol. 11, No. 1, pp. 27-45.
- [6] Cannavale, A., Ayra, U., & Martellotta, F. (2018). Innovative electrochromic devices: Energy savings and visual comfort effects. *Energy Procedia*, 148, pp. 900-907
- [7] Casini, M. (2018). Active dynamic windows for buildings: A review. *Renewable Energy*, 119, pp. 923-934.
- [8] Charron, R. (2008). A review of design processes for low energy solar homes. *Open House International* Vol. 33, Issue 3, 2008, p7-16
- [9] Costanzo, V., Evola, G., & Marletta, L. (2016). Thermal and visual performance of real and theoretical thermochromic glazing solutions for office buildings. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, pp. 110-120
- [10] Drury B. Crawley. (1998). "Which Weather Data Should You Use for Energy Simulations of Commercial Buildings?", *ASHRAE Transactions*, pp. 498-515, Vol. 104, Pt. 2. Atlanta: ASHRAE.
- [11] Dussault, J.-M., & Gosselin, L. (2017). Office buildings with electrochromic windows: A sensitivity analysis of design parameters on energy performance, and thermal and visual comfort. *Energy and Buildings*, 153, pp. 50-62
- [12] Esbensen, T.V, Korsgaard, V. (1977). Dimensioning of the solar heating system in the zero energy house in Denmark. *Solar Energy* Vol. 19, Issue 2, 1977, p. 195-199
- [13] European Commission, (2012), Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?qid=1399375464230&uri=CELEX:32012L0027> (Πρόσβαση 4ος 2021)
- [14] Favoino, F., Loonen, R., Doya, M., Goia, F., Bedon, C., & Babich, F. (2018). Building Performance Simulation and Characterization of Adaptive Facades - Adaptive Facade Network. Delft: TU Delft Open
- [15] Feng, W., Zou, L., Gao, G., Wu, G., Shen, J., & Li, W. (2016). Gasochromic smart window: optical and thermal properties, energy simulation and feasibility analysis. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 144, pp. 316-323
- [16] Frattolillo, A., Loddo, G., Mastino, C., & Baccoli, R. (2019). Heating and cooling loads with electrochromic glazing in Mediterranean climate. *Energy & Buildings*, 201, pp. 174- 182.
- [17] Fries, K., Fink-Straube, C., Menning, M., & Schmidt, H. (2011). Photochromic coatings. In *Sol-Gel Technologies for Glass Producers and Users* (pp. 251-259). Springer, Boston, MA.

- [18] Gardiner, D., Morris, S., & Coles, H. (2009). High efficiency multistable switchable glazing using smectic A liquid crystals. *Solar Energy Materials & Solar Cells*, 93, pp. 301-306
- [19] Gilijamse W., (1995), Zero-energy houses in the Netherlands. *Proceedings of Building Simulation*. (1995). 1st ed. [ebook] USA, August 14–16; 1995, p. 276–283.
- [20] Haines, R. W., & Myers, M. E. (2010). *HVAC systems design handbook*. McGraw-Hill Education.
- [21] Iuliano, G., Rosato, A., Sibilio, S., Scorpio, M., Vanoli, G. P., & de Rossi, F. (2016). *Electrochromic Windows: State of Art and Future Developments.*, (pp. 1-16).
- [22] Lechner, N. (2014). *Heating, cooling, lighting: Sustainable design methods for architects*. John Wiley & Sons.
- [23] Luna-Navarro, A., Loonen, R., Juaristi, M., Monge-Barrio, A., Attia, S., & Overend, M. (2020). Occupant-Façade interaction: a review and classification scheme. *Building and Environment*, 177, pp. 1-13.
- [24] Mäkitalo, J. (2013). *Simulating control strategies of electrochromic windows*. Uppsala: Uppsala Universitet
- [25] Official Journal of the European Union, Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings
- [26] Raji, B., Tenpierik, M. J., & Van den Dobbelsteen, A. (2016). An assessment of energysaving solutions for the envelope design of high-rise buildings in temperate climates: A case study in the Netherlands. *Energy and Buildings*, 124, pp. 210-221
- [27] Reddy, T. A., Kreider, J. F., Curtiss, P. S., & Rabl, A. (2016). *Heating and cooling of buildings: principles and practice of energy efficient design*. CRC press.
- [28] Seung-Won, O., Sang-Hyeok, K., Jong-Min, B., & Tae-Hoon, Y. (2018). Optical and Thermal Switching of Liquid Crystals for Self-Shading Windows. *Advanced Sustainable Systems*, pp. 1-6.
- [29] Sibilio, S., Iavarone, R., Mastantuano, S., Mantova, M., & D'Ausilio, L. (2018). Adaptive and dynamic façade: a new challenge for the built environment. *World Heritage and Knowledge. XVI International forum Vie dei Mercanti*, (pp. 1-13). Capri.
- [30] Tällberg, R., Petter Jelle, B., Loonen, R., Gao, T., & Hamdy, M. (2019). Comparison of the energy saving potential of adaptive and controllable smart windows: A state-of-art review and simulation studies of thermochromic, photochromic and electrochromic technologies. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, (200), pp. 1-29
- [31] Vito NV. (2020). Summary of State of affairs in 2nd technical support study on the Smart Readiness Indicator for buildings
- [32] Καραβασίλη, Μ, (1999), Κτίρια για ένα πράσινο κόσμο, ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗ ΔΟΜΗΣΗ - ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΗ – ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ, Π-ΣΥΣΤΗΜΣ ΙΝΤΕΡΝΑΣΙΟΝΑΛ (Π-SYSTEMS INTERNATIONAL)
- [33] Hirschberg, S. (2015). *Energy from the earth: Deep geothermal as a resource for the future?* vdf Hochschulvlg AG.
- [34] Karlsdóttir, Marta & Pálsson, Olafur & Pálsson, Halldór. (2010). LCA of combined heat and power production at Hellisheidi geothermal power plant with focus on primary energy efficiency. 12th International Symposium on District Heating and Cooling.
- [35] European Commission, Directorate-General for Energy (2016). *Mapping and Analyses of the Current and Future (2020–2030) Heating/Cooling Fuel Deployment (Fossil/Renewables)*. 2019. Available online: https://energy.ec.europa.eu/mapping-and-analyses-current-and-future-2020-2030-heatingcooling-fuel-deployment-fossilrenewables-1_en
- [36] Goedkoop, Mark. (2008). *SimaPro database manual: methods library*. Pré Consultants

- [37] Π., Μπαξεβανίδης. Ανάπτυξη Μοντέλων Ανάλυσης Κύκλου Ζωής για Βέλτιστο Σχεδιασμό Καινοτόμων Χημικών Προϊόντων . Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2014.
- [38] Ν., Ανδρίτσος. Ενέργεια και Περιβάλλον. Διδακτικές Σημειώσεις. s.l. : Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, 2008.
- [39] Το μεθάνιο ως αέριο του θερμοκηπίου. [Ηλεκτρονικό] http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_CH4.htm.
- [40] Π., Μπαξεβανίδης. Ανάπτυξη Μοντέλων Ανάλυσης Κύκλου Ζωής για Βέλτιστο Σχεδιασμό Καινοτόμων Χημικών Προϊόντων . Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2014.
- [41] Detsi, M., Manolitsis, A., Atsonios, I., Mandilaras, I., & Founti, M. (2020). Energy savings in an office building with high WWR using glazing systems combining thermochromic and electrochromic layers. *Energies*, 13(11), 2020. <https://doi.org/10.3390/en13113020>
- [42] Curley, R. (2012). *Fossil fuels* (First Edition). Britannica Educational Pub
- [43] Devold, H. (2013). *Oil and Gas Production Handbook: An Introduction to oil and gas production, transport, refining and petrochemical industry*. Lightning Source.
- [44] Grigsby, L.L. (Ed.). (2012). *Electric Power Generation, Transmission, and Distribution: The Electric Power Engineering Handbook (3rd ed.)*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315222424>
- [45] Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, [online] 21(9), pp.1218–1230. Available at: <http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>
- [46] Boverket, "Boverket's building regulations – mandatory provisions and general recommendations, BBR," vol. BFS 2011:6 with amendments up to BFS 2018:4, B. a. P. B. Swedish National Board of Housing, Ed., ed. Stockholm: Swedish National Board of Housing, Building and Planning (Boverket). 2018, p. 147
- [47] Ministry of the Environment and Energy - Hellenic Republic, National Energy and Climate Plan, https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/el_final_necp_main_en.pdf
- [48] Energimyndigheten 2021, *Scenarier över Sveriges Energisystem 2020*, ER 2021:6, <https://energimyndigheten.a-w2m.se/Home.mvc?ResourceId=185971>
- [49] Jarn 2014, Japan Air Conditioning, Heating and Refrigeration News, 2014: World Compressor Market 2014.
- [50] Jarn 2015, Japan Air Conditioning, Heating and Refrigeration News, 2015: World Compressor Market 2015

Παράρτημα Α

Παραγωγή και Διανομή Ηλεκτρισμού Ελλάδας και Σουηδίας

- Electricity, high voltage, production GR, at grid/GR U
Η διεργασία περιλαμβάνει τη μεταφορά του ηλεκτρισμού υψηλής τάσης στην Ελλάδα.

Products		
Electricity, high voltage, production GR, at grid/GR U-2020/2030	1	kWh
Inputs		
Electricity, production mix GR/GR U-2020/2030	1.0114	kWh
Transmission network, long-distance/UCTE/I U	0.00000000317	km
Transmission network, electricity, high voltage/CH/I U	0.00000000844	km

- Electricity, medium voltage, production GR, at grid/GR U
Αυτή η διεργασία περιγράφει τη μετατροπή από υψηλή σε μέση τάση καθώς και τη μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας σε μέση τάση. Επίσης λογίζονται οι απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας κατά τη μετάδοση μέσης τάσης και τον μετασχηματισμό από την υψηλή τάση.

Products		
Electricity, medium voltage, production GR, at grid/GR U-2020/2030	1	kWh
Inputs		
Electricity, high voltage, production GR, at grid/GR U-2020/2030	1.0133	kWh
Sulphur hexafluoride, liquid, at plant/RER U	0.00000007825	kg
Transmission network, electricity, medium voltage/CH/I U	0.0000000324	km

- Electricity, low voltage, production GR, at grid/GR U
Αυτή η διεργασία περιγράφει τη μετατροπή από μέση σε χαμηλή τάση καθώς και τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας σε χαμηλή τάση.

Products		
Electricity, low voltage, production GR, at grid/GR U-2020/2030	1	kWh
Inputs		
Electricity, medium voltage, production GR, at grid/GR U-2020/2030	1.1378	kWh
Sulphur hexafluoride, liquid, at plant/RER U	0.00000004589	kg
Distribution network, electricity, low voltage/CH/I U	0.000000294	km

- Electricity, high voltage, production SE, at grid/SE U

Η διεργασία περιλαμβάνει τη μεταφορά του ηλεκτρισμού υψηλής τάσης στην Σουηδία.

Products		
Electricity, high voltage, production SE, at grid/SE U-2020/2030	1	kWh
Inputs		
Electricity, production mix SE/SE U-2020/2030	1.0103	kWh
Transmission network, long-distance/UCTE/I U	0.000000000317	km
Transmission network, electricity, high voltage/CH/I U	0.00000000844	km

- Electricity, medium voltage, production SE, at grid/SE U

Αυτή η διεργασία περιγράφει τη μετατροπή από υψηλή σε μέση τάση καθώς και τη μετάδοση ηλεκτρικής ενέργειας σε μέση τάση, λαμβάνοντας υποψιν ενεργειακές απώλειες στη μετατροπή και μεταφορά.

Products		
Electricity, medium voltage, production SE, at grid/SE U-2020/2030	1	kWh
Inputs		
Electricity, high voltage, production SE, at grid/SE U-2020/2030	1.0111	kWh
Sulphur hexafluoride, liquid, at plant/RER U	0.000000037262	kg
Transmission network, electricity, medium voltage/CH/I U	0.0000000324	km

- Electricity, low voltage, production SE, at grid/SE U

Αυτή η διεργασία περιγράφει τη μετατροπή από μέση σε χαμηλή τάση καθώς και τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας σε χαμηλή τάση.

Products		
Electricity, low voltage, production SE, at grid/SE U-2020/2030	1	kWh
Inputs		
Electricity, medium voltage, production SE, at grid/SE U-2020/2030	1.1132	kWh
Sulphur hexafluoride, liquid, at plant/RER U	0.000000002185	kg
Distribution network, electricity, low voltage/CH/I U	0.000000294	km