

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
Μ.Π.Σ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ - ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Συστήματα &
τεχνολογίες για
αποθήκευση ενέργειας
σε κτίρια

ΧΡΗΣΤΟΣ Α. ΑΓΓΕΛΙΔΗΣ

Επιβλέπουσα: Μαρία Φούντη
Καθηγήτρια Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών

ΕΜΠ, Σεπτέμβριος 2010



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑ



ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

&

ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΕΘΝΙΚΟΥ ΜΕΤΣΟΒΙΟΥ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ

Μ.Π.Σ ΟΡΓΑΝΩΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΙΚΗΣΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΕΙΔΙΚΕΥΣΗ:

‘ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ’

Συστήματα & τεχνολογίες για αποθήκευση ενέργειας σε κτίρια

Διπλωματική Εργασία

ΤΟΥ

ΧΡΗΣΤΟΥ Α. ΑΓΓΕΛΙΔΗ

Επιβλέπων: Μαρία Φούντη Καθηγήτρια ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την

.....
Μ. Φούντη
Καθηγήτρια ΕΜΠ

.....
Δ. Διακουλάκη
Καθηγήτρια ΕΜΠ

.....
Δ. Ασημακόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Σεπτέμβριος 2010

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑ

.....
Χρήστος Α. Αγγελίδης

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Τεχνολογίας Ηλεκτρονικών Υπολογιστών Πολυτεχνικής Σχολής Πανεπιστημίου Πατρών.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	9
1. Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	13
1.1 Γενικά.....	13
1.2 Ελληνική πραγματικότητα – Κατανάλωση ενέργειας σε κτίρια.....	14
1.3 Δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας στην Ελλάδα.....	18
1.4 Τα εμπόδια και οι μελλοντικές προκλήσεις.....	24
1.5 Σύνοψη – Ενεργειακός σχεδιασμός σε κτίρια.....	25
2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ...	27
2.1 Γενικά.....	27
2.2 Συστήματα θέρμανσης-ψύξης/δροσίσιμου.....	28
2.2.1 Συστήματα θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού (HVAC).....	29
2.2.1.1 Συστήματα θέρμανσης χώρων.....	31
2.2.1.2 Συστήματα κλιματισμού χώρων.....	33
2.2.1.2.1 Συγκεντρωμένα συστήματα αέρα.....	33
2.2.1.2.2 Μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα αέρα/νερού.....	35
2.2.1.2.3 Τοπικά συστήματα.....	37
2.2.2 Συστήματα Εποπτείας και Ελέγχου.....	39
2.3 Αντλίες θερμότητας.....	41
2.4 Συστήματα συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ).....	44
2.5 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας.....	46
2.5.1 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα.....	47
2.5.2 Ενεργητικά Ηλιακά συστήματα.....	48
2.5.3 Φωτοβολταϊκά Συστήματα.....	52
2.5.3.1 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών κυττάρων.....	54
2.5.4 Αιολική Ενέργεια.....	56
2.5.6 Γεωθερμία.....	59
2.5.6.1 Συστήματα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας.....	61

2.5.6.2	Συστήματα ανατροφοδότησης με χρήση αντλίας θερμότητας.....	63
2.5.7	Η Υδραυλική Ενέργεια.....	66
2.6	Κυψέλες καυσίμου.....	68
2.6.1	Τύποι κυψελών καυσίμου.....	70
2.6.2	Ενεργειακά αυτοδύναμο σύστημα με κυψέλη καυσίμου αμφίδρομης λειτουργίας.....	73
2.6.3	Εφαρμογές και πλεονεκτήματα των κυψελών καυσίμων υδρογόνου.....	74
2.7	Σύνοψη - Εξοικονόμηση Ενέργειας στον κτιριακό τομέα.....	76
3.	ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	81
3.1	Γενικά.....	81
3.2	Εφαρμογές αποθήκευσης με βάση τις τεχνικές/μεθόδους μετατροπής.....	87
3.3	Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας.....	90
3.3.1	Ηλεκτρικές στήλες.....	90
3.3.2	Υπερπυκνωτής.....	94
3.4	Αποθήκευση Κινητικής ενέργειας - Κινούμενοι τροχοί.....	95
3.5	Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας συμπιεσμένου αέρα.....	97
3.6	Αποθήκευση Δυναμικής Ενέργειας - Αντλησιοταμίευση.....	99
3.7	Αποθήκευση Θερμικής Ενέργειας.....	101
3.7.1	Τύποι υλικών αποθήκευσης.....	102
3.7.2	Υλικά αλλαγής φάσης (PCM).....	104
3.7.2.1	Πώς λειτουργούν οι λανθάνοντες θερμοσυσσωρευτές.....	105
3.7.2.2	Εφαρμογές των υλικών αλλαγής φάσης.....	106
3.8	Σύνοψη - Προοπτικές και όρια των PCM.....	110
4.	ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ	113
4.1	Γενικά.....	113
4.2	Ανάλυση των θερμικών ιδιοτήτων των δομικών υλικών ενός κτιρίου με την ενσωμάτωση υλικών αλλαγής φάσης.....	114
4.3	Περιγραφή πειραματικών δεδομένων των πρότυπων σταθμών (pilot houses).....	115
4.4	Ανάπτυξη Υπολογιστικού εργαλείου.....	119

4.5 Παραδοχές - Παράμετροι προσομοίωσης.....	120
4.6 Αποτελέσματα προσομοίωσης.....	125
4.7 Συμπεράσματα από τη μελέτη περίπτωσης.....	127
4.8 Σύνοψη - Προοπτικές ανάπτυξης υλικών αλλαγής φάσης.....	131
5. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ.....	133
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ.....	146

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Όπως είναι γνωστό, το ενεργειακό πρόβλημα είναι σήμερα ένα από τα πλέον σημαντικά θέματα της παγκόσμιας κοινότητας. Η ενέργεια είναι ένα αγαθό που εξυπηρετεί κοινωνικές και αναπτυξιακές ανάγκες, παρουσιάζει συνεχώς αυξανόμενη ζήτηση, ενώ οι επιπτώσεις από τη χρήση της στο περιβάλλον είναι καθοριστικές.

Οι επιπτώσεις της υποβάθμισης του περιβάλλοντος και της εξάντλησης των φυσικών πόρων, καθώς και η πολυπλοκότητα των ζητημάτων που συνδέονται με το περιβάλλον και την ανάπτυξη δεν είναι νέα θέματα. Σήμερα, η προστασία του περιβάλλοντος και η βιώσιμη ανάπτυξη (ανάπτυξη που πραγματοποιείται με την παράλληλη και ισότιμη προώθηση της οικονομίας, της κοινωνίας και του περιβάλλοντος) αποτελούν πλέον διαπιστωμένες αναγκαιότητες και προτεραιότητες της διεθνούς κοινότητας.

Ο κτιριακός τομέας συμμετέχει με υψηλό ποσοστό στην κατανάλωση ενέργειας και στην έκλυση ρύπων, ιδιαίτερα στην Ευρωπαϊκή Ένωση, όπου το ποσοστό συμμετοχής των κτιρίων στη συνολική κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται περίπου στο 40% (EuroACE: Investing in Building Energy Efficiency in the Enlarged EU). Το έτος 2005 τα Ελληνικά κτίρια (οικιακός και τριτογενής τομέας) συμμετείχαν με ποσοστό 34% στο Ελληνικό ενεργειακό ισοζύγιο και με ποσοστό 65% στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Το άμεσο αποτέλεσμα είναι ότι το ποσοστό των εκπομπών του CO₂ που αντιστοιχεί στα κτίρια να υπερβαίνει το 43% (ΕΑΑ 2007, Πρόβλεψη αερίων ρύπων του Θερμοκηπίου, Ετήσια έκθεση για ΕΕ). Το έτος 1995, το αντίστοιχο ποσοστό συμμετοχής των Ελληνικών κτιρίων στην κατανάλωση ενέργειας ήταν 25% ενώ το έτος 1985 ήταν 20% (ΥΠΑΝ, ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟ ΙΣΟΖΥΓΙΟ 1985-2005).

Ο μέσος ετήσιος ρυθμός αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας στα Ελληνικά κτίρια αυξάνεται συνεχώς και για τη δεκαετία 1995-2005 ανέρχεται στο 5,5%, ενώ ο αντίστοιχος ρυθμός αύξησης για το σύνολο της καταναλισκόμενης ενέργειας στην Ελλάδα είναι περίπου 3% (ΤΕΕ, Πρακτικά συνεδρίου: Εξοικονόμηση και διαχείριση Ενέργειας στα

κτίρια, Ιούλιος 2009). Με αυτούς τους ρυθμούς αύξησης της κατανάλωσης ενέργειας καθίσταται εξαιρετικά δύσκολη η επίτευξη των στόχων της Ελλάδας στο πλαίσιο του Πρωτοκόλλου του Κυότο, οι οποίοι αφορούν στην εξοικονόμηση ενέργειας και στη μείωση των εκλυόμενων ρύπων. Για τον λόγο αυτό θα πρέπει να ληφθούν άμεσα μέτρα, με την εφαρμογή οικονομικών υποστηρικτικών κινήτρων για την επίτευξη της αναγκαίας εξοικονόμησης ενέργειας σε όλους του τομείς και ιδιαίτερα στα κτίρια.

Επομένως κρίνεται αναγκαίο αφενός η εξεύρεση λύσεων με αποτέλεσμα την ορθολογική χρήση της ενέργειας με χρήση αποδοτικών συστημάτων εξοικονόμησης και αφετέρου η σταδιακή απεξάρτηση από τα συμβατικά καύσιμα (πετρέλαιο) με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα πλαίσια της αειφόρου ανάπτυξης. Οι ΑΠΕ αποτελούν, θεωρητικά, την απόλυτη λύση στο ενεργειακό ζήτημα: είναι ανεξάντλητες, δεν προκαλούν περιβαλλοντικές επιπτώσεις και είναι προσβάσιμες σε όλους. Επισημαίνεται δε ότι οι λόγοι που, παρά την αφθονία των ΑΠΕ, εξακολουθούμε να εξαρτιόμαστε από τις συμβατικές πηγές ενέργειας είναι οι λόγοι που, παραδοσιακά, αποτελούν τις παραμέτρους του ενεργειακού ζητήματος:

- Απαιτείται η ύπαρξη της κατάλληλης τεχνολογίας για την αποδοτική αξιοποίηση κάθε ενεργειακού πόρου, επομένως απαιτούνται ώριμα ενεργειακά συστήματα.
- Το κόστος μετατροπής της ενέργειας σε αξιοποιήσιμη μορφή, ώστε να μπορεί να παραχθεί ωφέλιμο έργο, πρέπει να είναι εύλογο.
- Η πρόσβαση στους ενεργειακούς πόρους πρέπει να είναι διασφαλισμένη.

Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν θα μπορέσουν να αντικαταστήσουν τις υφιστάμενες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας χωρίς σημαντικές αλλαγές στον σύγχρονο τρόπο ζωής. Ο βασικότερος λόγος, είναι η διαλείπουσα φύση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η οποία δεν μπορεί να ακολουθεί την διαρκώς μεταβαλλόμενη ζήτηση. Η ενέργεια

που προέρχεται από ΑΠΕ μπορεί να χορηγηθεί on-demand μόνο αν γίνει δυνατή η αποθήκευσή της για μεταγενέστερη χρήση.

Επιπλέον το μεγάλο μειονέκτημα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η δύσκολη, σχεδόν αδύνατη μακροχρόνια αποθήκευσή της. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να καταναλώνεται ταυτόχρονα με την παραγωγή της ή να αποθηκεύεται αφού πρώτα μετατραπεί σε άλλες μορφές ενέργειας (π.χ. χημική, δυναμική κλπ.).

Η πρόσφατη πρόοδος της έρευνας στη τεχνολογία αποθήκευσης ενέργειας αναδεικνύει το κεφάλαιο της αποθήκευσης ενέργειας μια εφαρμόσιμη λύση με σκοπό τη βελτίωση της διαχείρισης ενέργειας στην κατανάλωση αλλά και της αξιοπιστίας μέσω της εφεδρείας που επιτυγχάνεται. Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας αναφέρονται οι σπουδαιότερες μέθοδοι αποθήκευσης ενέργειας αλλά και οι δυνατότητες στην εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια καθώς μεν η αποθήκευση είναι αναγκαία συνθήκη προς τη κατεύθυνση της ορθολογικότερης διαχείρισης της ενέργειας αλλά όχι ικανή αν προηγουμένως δεν επιτευχθεί μείωση των θερμικών και ηλεκτρικών φορτίων στην κατανάλωση με χρήση νέων τεχνολογιών εξοικονόμησης ενέργειας.

Ο κτιριακός τομέας απαιτεί μεγάλη ποσότητα ενέργειας τόσο για ψύξη όσο και για θέρμανση. Τα φορτία αυτά συμβάλλουν αρκετά στην ενεργειακή κατανάλωση όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Η μείωση επομένως των φορτίων που απαιτούνται για ψύξη όσο και για θέρμανση των εσωτερικών χώρων των κτιρίων, προκειμένου να επιτύχουμε περιορισμό της ενεργειακής κατανάλωσης, είναι πολύ σημαντικό ζήτημα. Υπάρχει ένα αυξημένο ενδιαφέρον για την ανάπτυξη παθητικών και ενεργητικών συστημάτων θέρμανσης/ψύξης με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας αλλά και καινούργιων τεχνικών αποθήκευσης ενέργειας στο κέλυφος των κτιρίων με σκοπό την βελτίωση των ιδιοτήτων των δομικών υλικών με χρήση υλικών αλλαγής φάσης.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε κατάλληλο μοντέλο προσομοίωσης της διαδικασίας αποθήκευσης θερμικής ενέργειας σε κτιριακό κέλυφος, με χρήση υλικών αλλαγής φάσης, με σκοπό την εξαγωγή κατάλληλων συμπερασμάτων όσων αφορά στην

εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια. Η δομή της διπλωματικής εργασίας απαρτίζεται από πέντε κύριες ενότητες. Στο πρώτο κεφάλαιο εξετάζεται η ενεργειακή κατάσταση στην Ελλάδα με έμφαση στην κατανάλωση ενέργειας στον κτιριακό τομέα, δίνοντας σαφή στοιχεία για τις ενεργειακές καταναλώσεις αλλά και τη δυνατότητα εξοικονόμησης. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται οι τεχνολογίες παραγωγής θερμικής και ηλεκτρικής ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Στο τρίτο κεφάλαιο εξετάζεται η αποθήκευση ενέργειας τόσο σε μεγάλης κλίμακας εφαρμογές όσο και σε μικρότερες που αφορούν στην εξοικονόμηση ενέργειας σε κτιριακές εγκαταστάσεις. Στο τέταρτο κεφάλαιο εξετάζεται η μελέτη χρήσης υλικού αλλαγής φάσης για αποθήκευση θερμικής ενέργειας σε πρότυπο κτίριο και γίνεται αναφορά στην προσομοίωση του συστήματος, με παράθεση και ανάλυση των αλγεβρικών εξισώσεων που χρησιμοποιήσαμε και των παραδοχών που κάναμε. Συγκεκριμένα μελετάται υπολογιστικά μέσω κατάλληλου μαθηματικού εργαλείου η επίδραση της ενσωμάτωσης υλικών αλλαγής φάσης (Phase Change Materials - PCMs) σε διακοσμητικά πετρώματα με στόχο τη χρήση σε εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια. Τέλος, γίνεται εκτενής ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εκτέλεση της προσομοίωσης. Στο πέμπτο κεφάλαιο ακολουθούν τα γενικά συμπεράσματα που προκύπτουν από τις διάφορες τεχνολογίες των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας.



1. Η ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

1.1 Γενικά

Οι ραγδαίες κλιματικές αλλαγές επιβάλλουν μια νέα θεώρηση απέναντι στην ηλεκτρική ενέργεια και στους τρόπους που όλη η Ευρώπη προσπαθεί να μειώσει τις εκπομπές ρύπων με στόχο ένα πιο «πράσινο» περιβάλλον.

Όπως είναι γνωστό, η ηλεκτρική βιομηχανία διανύει μια μεταβατική περίοδο επιχειρηματικής και τεχνολογικής προσαρμογής στις απαιτήσεις του σύγχρονου περιβάλλοντος. Το νέο περιβάλλον καθορίζεται από το απελευθερωμένο καθεστώς ανταγωνισμού, τους περιορισμούς των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, και από την ανάγκη ενσωμάτωσης σημαντικού ποσοστού διασπαρμένης παραγωγής ηλεκτρισμού από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (20% στην Ευρωπαϊκή Ένωση το 2020 σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Οδηγία 2009/28/EK), συμπαραγωγή, κλπ.

Η τελευταία απαίτηση, αλλά και η ανάγκη της βέλτιστης διαχείρισης της ηλεκτρικής κατανάλωσης, θα οδηγήσει στη σταδιακή μετατροπή των δικτύων μεταφοράς ηλεκτρισμού σε έξυπνα και ευέλικτα δίκτυα ηλεκτρισμού στα οποία θα διακινούνται, παράλληλα με την ηλεκτρική ενέργεια, και θα αξιοποιούνται όλες οι πληροφορίες για τη λειτουργία και τον έλεγχο του συστήματος αλλά και τη διασφάλιση της βέλτιστης συνεργασίας της κατανάλωσης και της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Οι προκλήσεις για την προσεχή δεκαετία και μετά, είναι: ο ανταγωνισμός των επιχειρήσεων στα πλαίσια της πλήρως απελευθερωμένης ηλεκτρικής αγοράς, η μεγιστοποίηση της εκμετάλλευσης των εγκαταστάσεων, η αύξηση λειτουργικής απόδοσης και ποιότητας προϊόντων-υπηρεσιών, η μακροχρόνια διασφάλιση επαρκούς ισχύος και η παροχή ενέργειας με περιβαλλοντική υπευθυνότητα. Σημειωτέον ότι η ηλεκτρική ενέργεια είναι

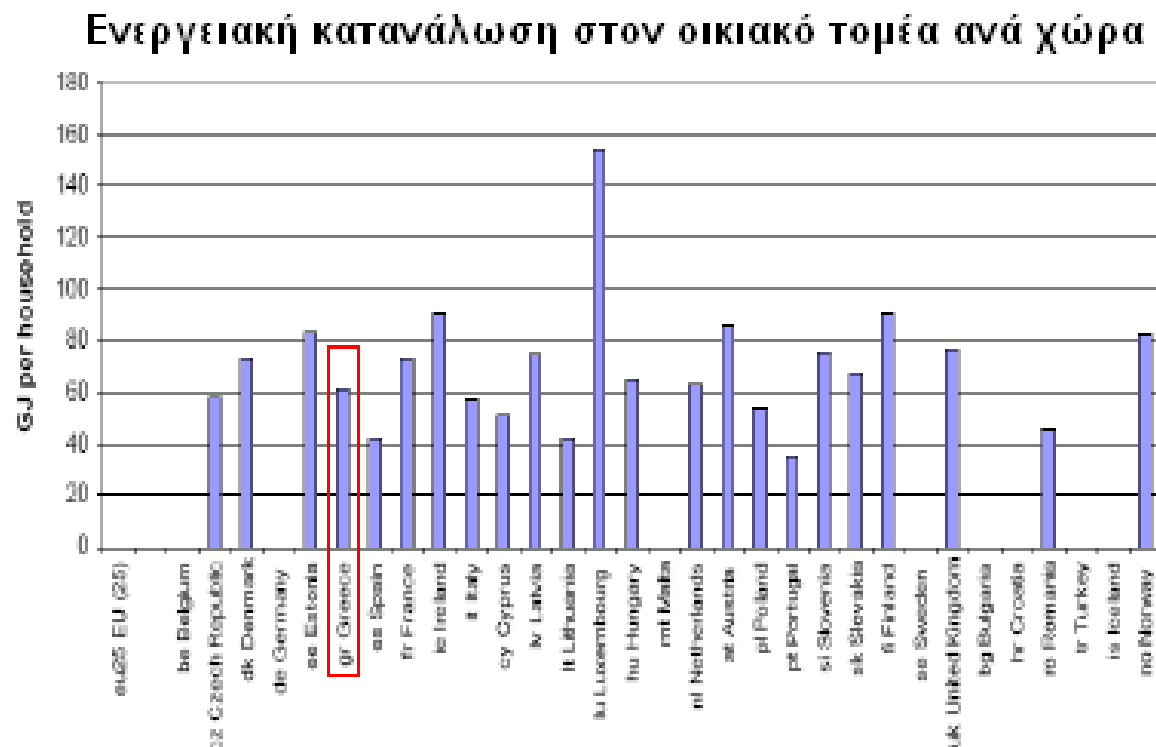
αναπόσπαστο στοιχείο και βάση για το σύγχρονο βιοτικό και πολιτιστικό επίπεδο.

Έτσι, η αυτοσυντηρούμενη (αειφόρος) χρήση διαθέσιμων ενεργειακών πόρων για την παραγωγή ηλεκτρισμού αφενός και η ορθολογική και αποτελεσματική χρήση του ηλεκτρισμού αφετέρου είναι ζωτικής σημασίας για τις σύγχρονες κοινωνίες. Ο τομέας των κτιρίων (οικιακός και τριτογενής) αποτελεί τον μεγαλύτερο καταναλωτή τελικής ενέργειας χρήσης με ποσοστό 40% στην Ευρωπαϊκή κοινότητα και στην Ελλάδα. Το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας στον τομέα είναι επίσης μεγάλο και κυμαίνεται μεταξύ 27% για τα κτίρια κατοικιών και 30% για τα εμπορικά κτίρια (Παράρτημα 3: Δράσεις ενημέρωσης, Ευαισθητοποίησης για την προώθηση της Εξοικονόμησης Ενέργειας, ΥΠΑΝ). Επομένως στη σύγχρονη εποχή των ραγδαίων τεχνολογικών εξελίξεων και ταυτόχρονα έντονων περιβαλλοντικών μεταβολών κρίνεται αναγκαία η υπολογιστική και εμπειρική μελέτη της ενεργειακής συμπεριφοράς των κτιρίων και η χρήση μεθόδων κατάλληλων για μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας με σκοπό την μείωση των ενεργειακής εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα και ταυτόχρονα την προστασία του περιβάλλοντος.

1.2 Ελληνική πραγματικότητα – Κατανάλωση ενέργειας σε κτίρια

Η αναφορά σε απόλυτα μεγέθη ενεργειακής κατανάλωσης δεν βοηθά να γίνει αντιληπτό το πρόβλημα της υπερκατανάλωσης ενέργειας από τα ελληνικά κτίρια. Αντιθέτως, η συγκριτική παρουσίαση της σχετικής κατανάλωσης ανά χώρα για αντίστοιχους τύπους κτιρίων προσφέρει σημαντική πληροφόρηση και σαφέστερη εικόνα της πραγματικότητας. Σύμφωνα με την Eurostat, η συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά νοικοκυριό στην Ελλάδα, είναι περίπου 61 GJ , η 1,46 Toe, (Σχήμα 1.1). Σύγκριση ανάμεσα στις Μεσογειακές χώρες καταδεικνύει ότι τα ελληνικά νοικοκυριά παρουσιάζουν την μεγαλύτερη σχετική κατανάλωση, σχεδόν 30% μεγαλύτερη της Ισπανίας και περίπου

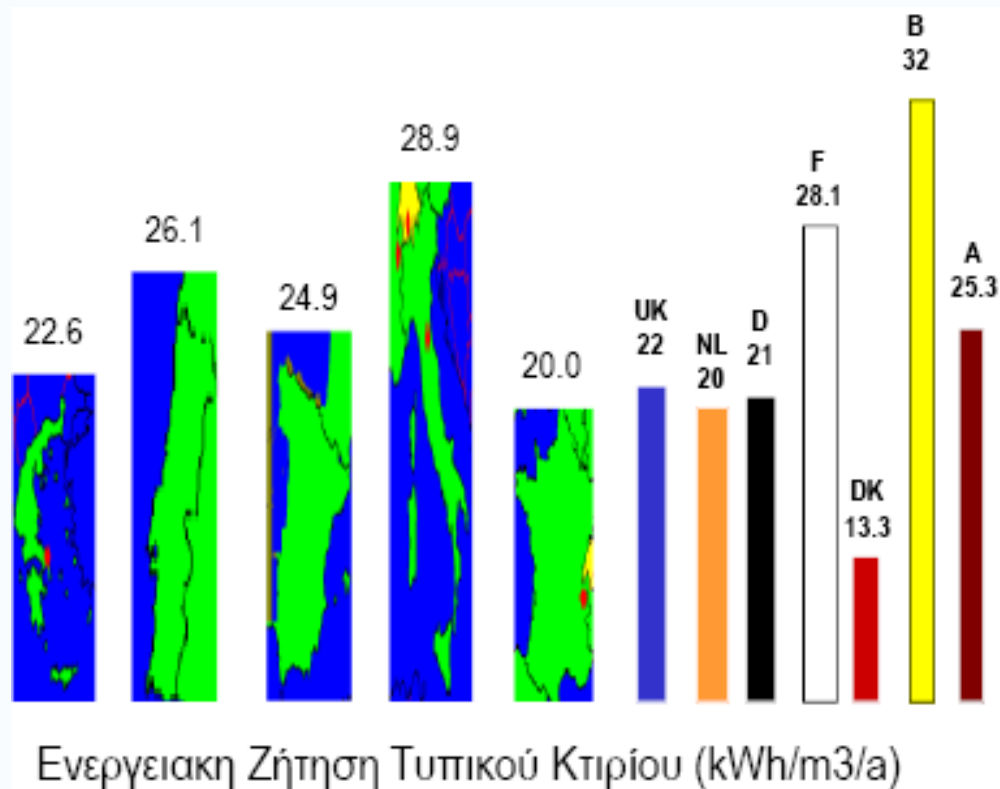
διπλάσια της Πορτογαλίας. Ταυτόχρονα, είναι σχεδόν ίση με αυτήν της Ολλανδίας και σημαντικά μεγαλύτερη από χώρες με ψυχρότερο κλίμα όπως το Βέλγιο και η Τσεχία.



Σχήμα 1.1. Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας ανά Νοικοκυριό [1].

Δεδομένου ότι, η επιφάνεια κάθε νοικοκυριού καθώς και ο βαθμός χρήσης του κτιρίου, δεν ταυτίζονται ανά τις διάφορες χώρες, η παραπάνω σύγκριση μπορεί να οδηγήσει σε λάθος συμπεράσματα. Για παράδειγμα, η μέση κατοικία στην Ελλάδα προσεγγίζει τα 80m^2 και κατοικείται κατά μέση τιμή από 2.8 άτομα, ενώ η αντίστοιχη στην Ολλανδία τα 100m^2 και κατοικείται από 2.4 κατοίκους. Έτσι, είναι πλέον ενδεδειγμένο η σύγκριση να πραγματοποιείται ανά μονάδα επιφάνειας (m^2) ή ανά μονάδα όγκου (m^3) κατοικίας. Μια τέτοια σύγκριση πραγματοποιήθηκε από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό EUROACE, (Σχήμα 1.2), όπου υπολογίστηκε η κατανάλωση για θέρμανση μιας κατοικίας κατασκευασμένης σύμφωνα με την τοπική νομοθεσία.

Όπως διαπιστώνεται, η ενεργειακή θερμική κατανάλωση στην Ελλάδα είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από χώρες όπως η Δανία, η Γερμανία η και ακόμα η Βρετανία.

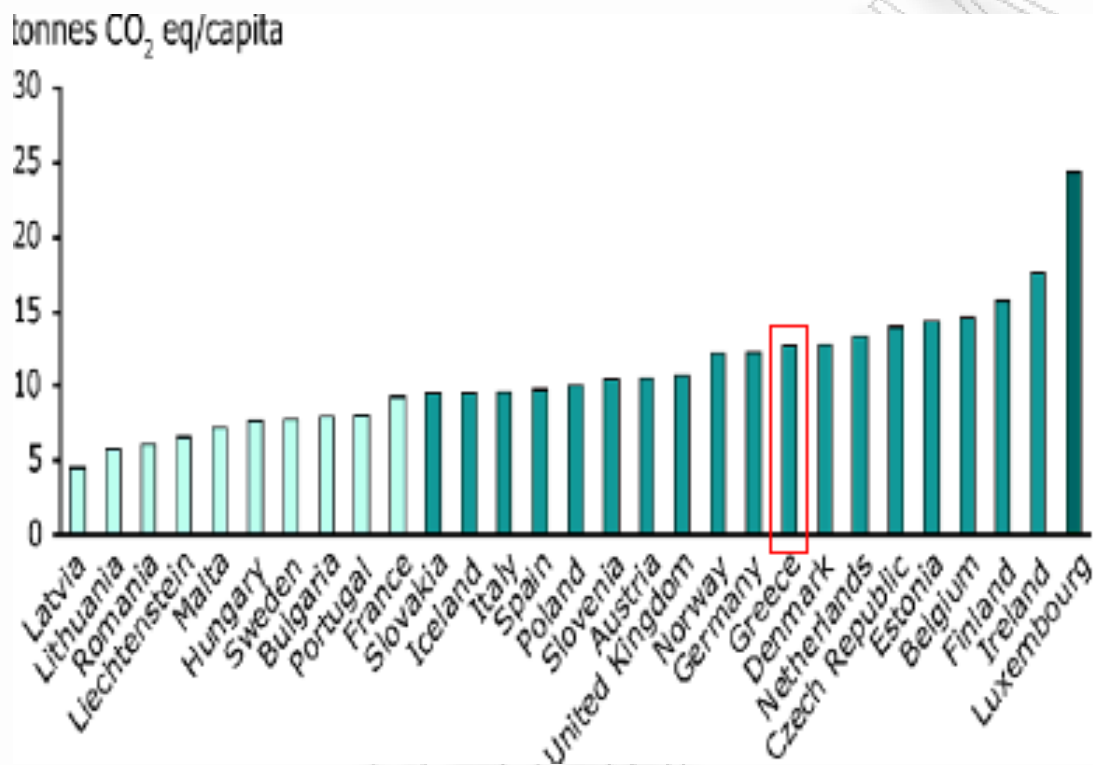


Σχήμα 1.2. Ενεργειακή Ζήτηση Τυπικού Κτιρίου Κατοικίας [2].

Η ενέργεια στα ελληνικά νοικοκυριά δαπανάται κυρίως για θερμικές χρήσεις και συγκεκριμένα για θέρμανση των χώρων, (περίπου 59% του συνολικού φορτίου). Το ευρωπαϊκό πρόγραμμα EPA-ED υπολόγισε συγκριτικά το ποσοστό της ενεργειακής κατανάλωσης των νοικοκυριών ανά είδος χρήσης.

Όπως διαπιστώθηκε από το πρόγραμμα αυτό, το ποσοστό που αντιστοιχεί στην θέρμανση των κτιρίων στην Ελλάδα είναι σχετικά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ποσοστό σε ένα νεόκτιστο κτίριο της Δανίας. Μια εναλλακτική μέθοδος αξιολόγησης της ενεργειακής και περιβαλλοντικής ποιότητας των κτιρίων κατοικίας είναι ο υπολογισμός των εκπομπών CO₂ ανά κάτοικο σε ετήσια βάση. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, οι κατοικίες στην Ελλάδα παράγουν περίπου 12-13 τόνους CO₂/κάτοικο/έτος. Η τιμή αυτή είναι

συγκριτικά μεγαλύτερη από όλες τις άλλες μεσογειακές χώρες και μεγαλύτερη ακόμα από πολύ βορειότερες χώρες όπως η Νορβηγία, η Γερμανία, η Αυστρία και η Βρετανία (Σχήμα 1.3).



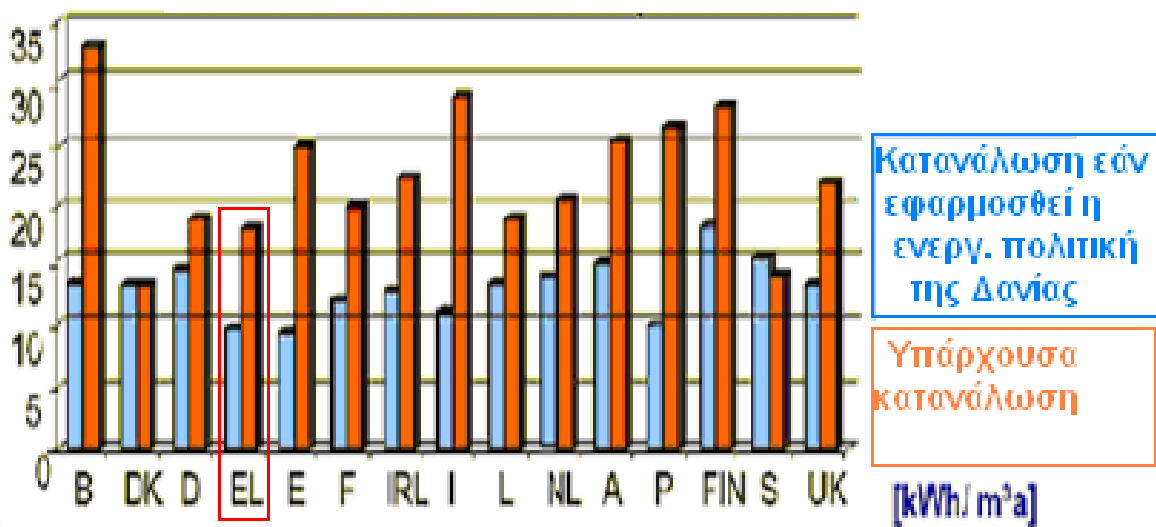
Σχήμα 1.3. Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) ανά κάτοικο και έτος, από τα κτίρια κατοικίας σε διάφορες χώρες και στην Ελλάδα [3].

Είναι λοιπόν προφανές ότι τα κτίρια κατοικίας στην Ελλάδα είναι κατά πολύ περισσότερο ενεργοβόρα από τα αντίστοιχα κτίρια σε όλη την Μεσογειακή λεκάνη και ταυτόχρονα παρουσιάζουν μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας από πολλές βόρειες χώρες. Είναι προφανές λοιπόν ότι το δυναμικό (δηλ. τα περιθώρια) εξοικονόμησης ενέργειας των κατοικιών στην Ελλάδα είναι εξαιρετικά μεγάλο.

1.3 Δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας στην Ελλάδα

Πλήθος μελετών έχουν πραγματοποιηθεί είτε στην Ελλάδα είτε σε άλλες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, για τον υπολογισμό του δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας στα ελληνικά κτίρια. Δεδομένου ότι η υψηλή ενεργειακή κατανάλωση οφείλεται αφενός στην έλλειψη αποδοτικής νομοθεσίας αφετέρου στο είδος και τον τρόπο που αξιοποιείται και εφαρμόζεται η σχετική κτιριακή τεχνολογία, οι σχετικές μελέτες επιχειρούν να διερευνήσουν το δυναμικό εξοικονόμησης που σχετίζεται με κάθε μια από τις δυο αυτές παραμέτρους. Μελέτη που πραγματοποίησε ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός EUROACE, διαπίστωσε ότι η μη εφαρμογή ενεργειακά αποδοτικής νομοθεσίας στα ελληνικά κτίρια έχει ιδιαίτερα σημαντικές συνέπειες. Διαπιστώθηκε, ότι εάν η σχετική νομοθεσία της Δανίας εφαρμοζόταν για τα ελληνικά κτίρια κατοικίας, θα προέκυπτε εξοικονόμηση ενέργειας περίπου κατά 45% (Σχήμα 1.4).

Εκτίμηση της τελικής κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση σε κτίρια ανά χώρα της ΕΕ με βάση την κτιριακή ενεργειακή πολιτική της Δανίας



Σχήμα 1.4. Ενεργειακή κατανάλωση για θέρμανση ενός τυπικού κτιρίου κατοικίας σε διάφορες Ευρωπαϊκές χώρες, (κόκκινο), και εκτίμηση της τελικής κατανάλωσης του ίδιου κτιρίου εάν εφαρμοσθεί η ενεργειακή κτιριακή νομοθεσία της Δανίας [4].

Παράλληλα, σημαντικό πλήθος μελετών έχουν εκπονηθεί για την εκτίμηση του δυναμικού εξοικονόμησης ενέργειας εάν εφαρμοσθεί σύγχρονη ενεργειακή τεχνολογία στο κέλυφος των κτιρίων, στα συστήματα παραγωγής ενέργειας, στον φωτισμό καθώς και παθητικά συστήματα θέρμανσης και δροσισμού. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης αποτελεί προτεραιότητα για την ενεργειακή πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης και κατ'επέκταση της Ελλάδας. Η ενεργειακή πολιτική στην ΕΕ διέπεται από τρεις στόχους οι οποίοι υιοθετούνται και σε εθνικό επίπεδο. Ο πρώτος αφορά στην ανταγωνιστικότητα της οικονομίας, ο δεύτερος στην ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και ο τρίτος στην προστασία του περιβάλλοντος. Η βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης κατά την τελική χρήση θα καταστήσει δυνατή την εκμετάλλευση του εξοικονομούμενου ενεργειακού κόστους με οικονομικά αποτελεσματικό τρόπο. Τα μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε εξοικονόμηση ενέργειας, βοηθώντας έτσι την Ελλάδα να μειώσει την εξάρτησή της από τις εισαγωγές ενέργειας. Επιπλέον, η στροφή προς τεχνολογίες με καλύτερη ενεργειακή απόδοση μπορεί να ενισχύσει την καινοτομία και την ανταγωνιστικότητα της, σύμφωνα με τις Κοινοτικές δεσμεύσεις και όπως υπογραμμίζεται στη στρατηγική της Λισσαβόνας.

Με βάση το Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (ΣΔΕΑ), σύμφωνα με τις απαιτήσεις της Οδηγίας 2006/32/ΕΚ, τα μέτρα βελτίωσης της ενεργειακής απόδοσης, συντονισμένα σε όλους τους τομείς, θα οδηγήσουν σε εξοικονόμηση ενέργειας τουλάχιστον έως 16,41TWh το 2016 εκπληρώνοντας το στόχο του 9% και βοηθώντας έτσι την Ελλάδα να μειώσει την εξάρτησή της από τις εισαγωγές ενέργειας. Από πλευράς βαρύτητας η δυνατότητα εξοικονόμησης τόσο στον τριτογενή τομέα όσο και στον οικιακό τομέα ως ποσοστό συμμετοχής σε εξοικονόμηση είναι 30% και 29% αντίστοιχα (ΚΑΠΕ, ΕΤΗΣΙΑ ΕΚΘΕΣΗ 2009).

Ο κλάδος των εμπορικών κτιρίων παρουσιάζει συνολικά το μεγαλύτερο δυναμικό εξοικονόμησης (44% του συνόλου της εξοικονόμησης του τριτογενούς) και ο κλάδος των Ξενοδοχείων (24% του συνόλου της εξοικονόμησης του τριτογενούς) σύμφωνα με τα στοιχεία της Πρότασης

Εθνικού πλαισίου Δράσης για την εξοικονόμηση ενέργειας του ΤΕΕ, Νοέμβριος 2009.

Οι καταναλώσεις με το μεγαλύτερο δυναμικό εξοικονόμησης είναι η θέρμανση χώρων (70% της εξοικονόμησης) ο φωτισμός (15% της εξοικονόμησης) και η ψύξη χώρων (13% της εξοικονόμησης σύμφωνα με τον Πίνακα 1.1).

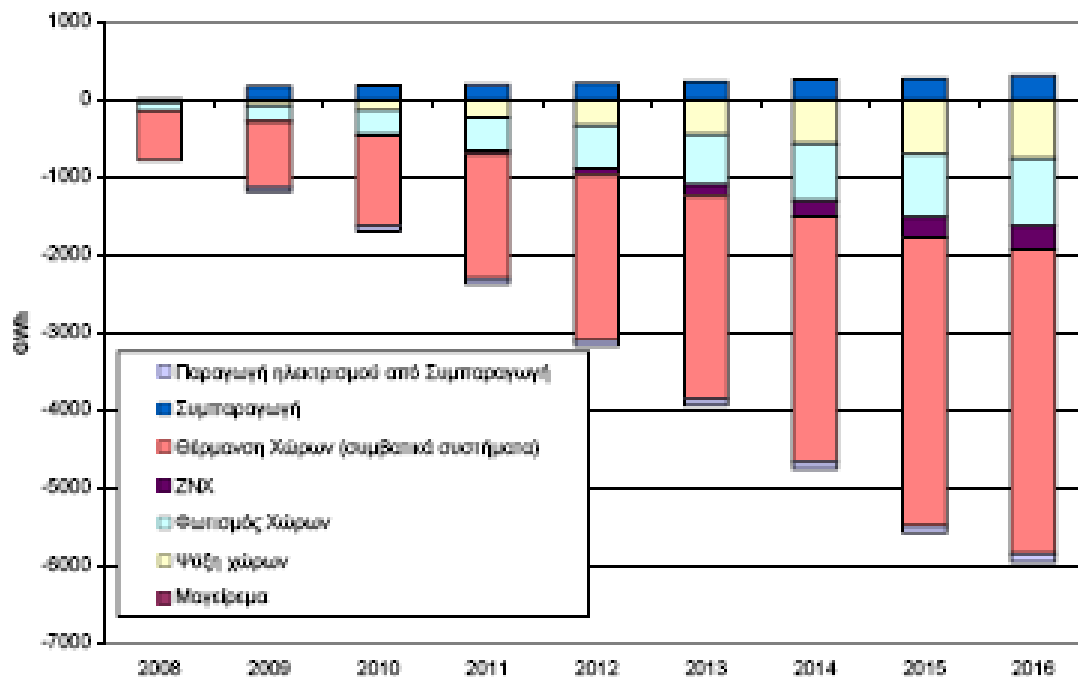
GWh	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Μαγείρεμα	0	0	0	-3	-3	-5	-5	-6	-6
Ψύξη χώρων	-16	-52	-116	-232	-339	-450	-598	-793	-862
Φωτισμός	-85	-179	-278	-391	-514	-608	-694	-771	-829
ZNX	-43	-77	-107	-187	-288	-411	-540	-672	-745
Θέρμανση Χώρων (συμβατικά συστήματα)	-511	-800	-1095	-1450	-1919	-2350	-2794	-3209	-3369
Συμπαραγωγή	0	122	130	137	149	162	178	179	202
Παραγωγή ηλεκτρισμού από Συμπαραγωγή		-58	-62	-66	-72	-80	-89	-93	-106
Σύνολο	-755	-1044	-1529	-2192	-2986	-3743	-4543	-5365	-5715

Πίνακας 1.1. Διαφορά κατανάλωσης ανά χρήση στον τριτογενή τομέα με βάση τον στόχο εξοικονόμησης ενέργειας, υπολογισμένο σύμφωνα με τη μεθοδολογία της οδηγίας 2006/32/ΕΚ, για το 2016 καθώς και τον ενδιάμεσο στόχο για το 2010 [5].

Σύμφωνα με Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης, στα πλαίσια της Οδηγίας 2006/32/ΕΚ, στη θέρμανση χώρων είναι δυνατόν να επιτευχθεί μια εξοικονόμηση της τάξης 0.6TWh συνολικά στον τριτογενή τομέα, που οφείλεται στην χρήση τεχνολογιών βελτίωσης τους κελύφους (μονώσεις, υαλοπίνακες), ενώ παρατηρείται επίσης διεύρυνση τεχνολογιών φυσικού αερίου. Επιπλέον παρατηρείται σημαντική διεύρυνση τεχνολογιών αντλιών θερμότητας που παράγουν ταυτόχρονα ψύξη χώρων, και ζεστό νερό, καθώς και διεύρυνση της τηλεθέρμανσης. Επίσης παρατηρείται διεύρυνση της συμπαρογωγής με χρήση φυσικού αερίου και LPG (Liquefied petroleum gas- Υγραέριο) για την κάλυψη θερμικών - ηλεκτρικών φορτίων στα Νοσοκομεία, Ξενοδοχεία, Εμπορικά κτίρια και στον άλλο τριτογενή τομέα.

Για την ψύξη χώρων η δυνατότητα εξοικονόμησης προέρχεται από τη διείσδυση νέων ηλεκτρικών τεχνολογιών καλύτερης απόδοσης, καθώς και αντλιών θερμότητας που παράγουν ταυτόχρονα θέρμανση-ψύξη χώρων και ζεστό νερό.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 1.5) παριστάνεται γραφικά η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται με βάση το Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (ΣΔΕΑ) έως το έτος 2016.



Σχήμα 1.5. Διαφορά κατανάλωσης ανά χρήση στον οικιακό τομέα [5].

Αντίστοιχα οι χρήσεις που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο δυναμικό εξοικονόμησης στον οικιακό τομέα είναι η θέρμανση χώρων που καλύπτει το 57% της δυνατής εξοικονόμησης, το ζεστό νερό χρήσης (22%) και ο φωτισμός (9%) (Πίνακας 1.2).

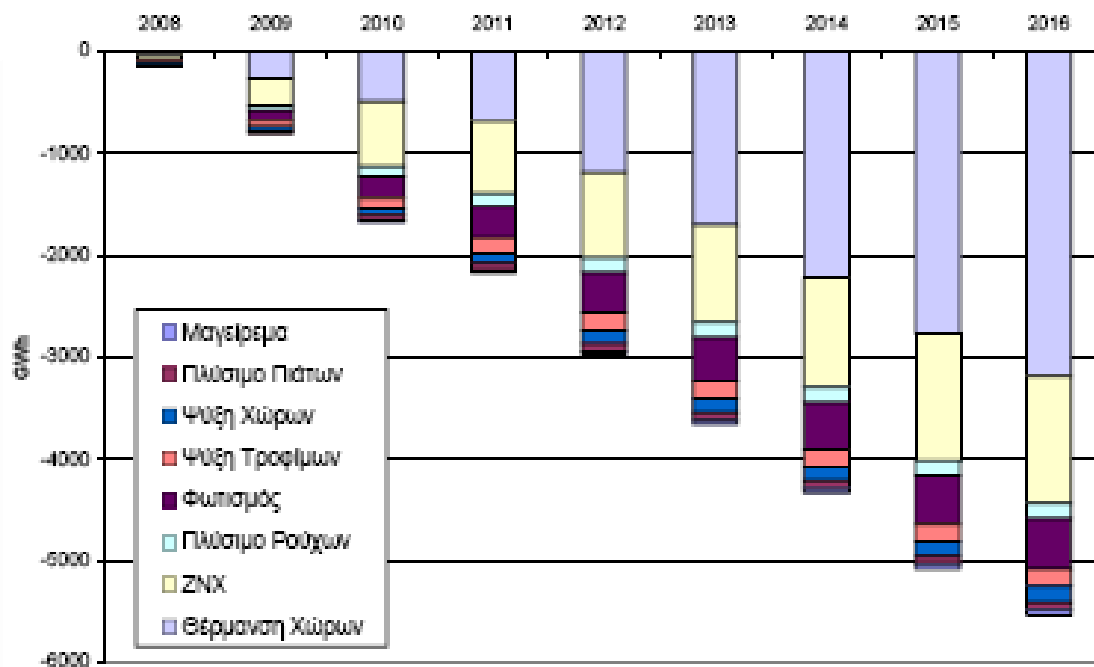
GWh	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Μαγείρεμα	0	0	-13	-20	-27	-33	-39	-44	-49
Πλύσιμο Πιάτων	0	-24	-52	-71	-76	-75	-74	-73	-73
ZNX	-31	-253	-628	-690	-828	-964	-1116	-1276	-1298
Πλύσιμο Ρούχων	0	-47	-98	-132	-144	-153	-152	-151	-149
Φυτισμός	-18	-106	-207	-302	-392	-425	-453	-477	-499
Ψύξη Τροφίμων	-27	-67	-109	-153	-182	-177	-172	-167	-163
Ψύξη Χώρων	-20	-40	-69	-97	-126	-136	-146	-156	-161
Θέρμανση Χώρων	-55	-276	-503	-706	-1200	-1696	-2185	-2737	-3142
Σύνολο	-152	-814	-1679	-2171	-2974	-3659	-4337	-5082	-5533

Πίνακας 1.2. Διαφορά κατανάλωσης ανά χρήση στον οικιακό τομέα με βάση τον στόχο εξοικονόμησης ενέργειας, υπολογισμένο σύμφωνα με τη μεθοδολογία της οδηγίας 2006/32/ΕΚ [5].

Με βάση το Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης για την θέρμανση χώρων, η εξοικονόμηση επιτυγχάνεται με συνδυασμό της θερμομόνωσης του κελύφους, της χρήσης διπλών υαλοπινάκων στα παράθυρα, της διείδυσης λεβήτων φυσικού αερίου, καθώς και της διείδυσης της τηλεθέρμανσης. Η συνολική εξοικονόμηση φτάνει στις 3,2TWh περίπου το 2016, από τις οποίες το 60% περίπου οφείλεται στις δράσεις βελτίωσης κελύφους (θερμομονώσεις, υαλοπίνακες) σύμφωνα με τα στοιχεία της Πρότασης Εθνικού πλαισίου Δράσης για την εξοικονόμηση ενέργειας του ΤΕΕ, Νοέμβριος 2009.

Για το ζεστό νερό χρήσης η εξοικονόμηση της τάξης των 1,2TWh οφείλεται κυρίως στη διείδυση ηλιακών συλλεκτών με χρήση ηλεκτρικής αντίστασης και φυσικού αερίου σαν εναλλακτική πηγή με απομάκρυνση των ηλεκτρικών θερμοσιφώνων (99% της εξοικονόμησης). Παράλληλα η διείδυση της τηλεθέρμανσης και της χρήσης φυσικού αερίου για την παραγωγή ζεστού νερού σε συνδυασμό με θέρμανση χώρων συνεισφέρει στο υπόλοιπο ποσοστό εξοικονόμησης.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 1.6) παριστάνεται γραφικά η εξοικονόμηση που επιτυγχάνεται με βάση το Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Αποδοτικότητας (ΣΔΕΑ) έως το έτος 2016.



Σχήμα 1.6. Διαφορά κατανάλωσης ανά χρήση στον οικιακό τομέα [5].

Τα κτίρια καταναλώνουν ενέργεια για την επίτευξη θερμικής και οπτικής άνεσης εντός των χώρων, καθώς και για την χρήση ειδικών συσκευών. Όπως παρατηρείται η θέρμανση των χώρων αποτελεί την σημαντικότερη ειδική ενεργειακή κατανάλωση για όλα τα κτίρια στην χώρα. Το γεγονός αυτό οφείλεται σε μια σειρά από παραμέτρους που σχετίζονται με το πλήθος των εγκαταστημένων συστημάτων θέρμανσης και κλιματισμού το είδος της προστασίας των κτιρίων κατά την διάρκεια του χειμώνα και του θέρους, καθώς και στο γεγονός ότι για τον δροσισμό των χώρων χρησιμοποιείται ηλεκτρική ενέργεια και συσκευές με συντελεστή απόδοσης κατά πολύ μεγαλύτερο της μονάδας.

1.4 Τα εμπόδια και οι μελλοντικές προκλήσεις

Όπως αναφέρθηκε προηγούμενα, η θέρμανση χώρων κυρίως, αλλά και η ψύξη παρουσιάζουν το μεγαλύτερο μερίδιο στην κατανάλωση ενέργειας τελικής χρήσης. Υπάρχουν τεχνικά εμπόδια στο δρόμο που οδηγεί προς την κατεύθυνση ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων ψύξης / θέρμανσης και αερισμού και οι πιθανοί τρόποι για να ξεπεραστούν αυτά αφορούν στη:

- Μακροπρόθεσμη αξιοπιστία των εναλλακτικών συστημάτων ψύξης / θέρμανσης και αερισμού, κυρίως για τα συστήματα που χρησιμοποιούν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Η συσσωρευμένη εμπειρία στη λειτουργία και τη συντήρηση αυτών των συστημάτων, καθώς και βελτιώσεις όσον αφορά τον έλεγχο των στρατηγικών θα βοηθήσουν να ξεπεραστεί αυτό το εμπόδιο.
- Συνθετότητα των εφαρμογών για τα συστήματα ψύξης / θέρμανσης και αερισμού όταν αυτά εξυπηρετούν ταυτόχρονα πολλαπλές ανάγκες (π.χ. ηλιακοί συλλέκτες, συστήματα απορρόφησης, συστήματα θέρμανσης δαπέδου και οροφών) τα οποία υστερούν έναντι χαμηλού κόστους διαδεδομένων λύσεων, που έχουν να κάνουν με την εγκατάσταση και συντήρηση τους.
- Ένταξη συστημάτων εποπτείας και ελέγχου με τα άλλα συστήματα διαχείρισης (Smart BMS / ECMS), για τη μεγιστοποίηση των επιδόσεων του συστήματος. Αυτό θα μπορούσε να διευκολυνθεί με την αυξανόμενη ένταξη των τεχνολογιών δικτύων και πληροφορικής (ICT- Information and communication technologies) στον κτιριακό τομέα.
- Χρήση ολοκληρωμένων συστημάτων CHP (Συστήματα Συμπαραγωγής Ηλεκτρισμού και Θερμότητας) στα κτίρια: η έλλειψη αξιοπιστίας, η έλλειψη υποδομής για επαρκή έλεγχο, το μη κατάλληλα εκπαιδευμένο προσωπικό, η μη αποδεδειγμένη λειτουργία και η ανάπτυξη αναξιόπιστων πρακτικών συντήρησης για τη βέλτιστη λειτουργία των συστημάτων αυτών, καθώς και το υψηλό κόστος

είναι ένα θέματα που πρέπει να εξεταστούν και να εξευρεθούν τρόποι λύσεις τους.

- Εισαγωγή της θερμικής ενέργειας με χρήση μεθόδων αποθήκευσης, ως αναπόσπαστο μέρος των συστημάτων ψύξης / θέρμανσης και αερισμού, κυρίως για να ξεπεραστεί το πρόβλημα της διακύμανσης όσον αφορά τη διαθεσιμότητα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, αλλά και λειτουργίας του συστήματος για να μεγιστοποιείται η απόδοση και να ελαχιστοποιείται το ενεργειακό κόστος.

Οι βελτιώσεις σε όλους αυτούς τους τομείς θα πρέπει να συμβάλουν στην αύξηση και την ευρεία αποδοχή των συστημάτων θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού (HVAC) ως μια πραγματική εναλλακτική λύση για τον κτιριακό τομέα και να αποφευχθεί η ανάγκη χρήσης εφεδρείας των συστημάτων αυτών που επιβαρύνει σημαντικά το κόστος συντήρησης και λειτουργίας, προκειμένου να εξασφαλίσει την πλήρη αξιοπιστία των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.

1.5 Σύνοψη – Ενεργειακός σχεδιασμός σε κτίρια

Λόγω της συνεχούς αύξησης του κόστους της ενέργειας και του αυξανόμενου αριθμού νομοθετικών διατάξεων, η ενεργειακή απόδοση των κτιρίων παίρνει ολοένα και πιο σημαντική θέση στη συνείδηση των εργολάβων, των μελετητών των ιδιοκτητών και χρηστών κτιρίων. Η μεγαλύτερη δυνατότητα εξοικονόμησης ενέργειας στα υφιστάμενα κτίρια, σύμφωνα με το σχέδιο δράσης της Ευρωπαϊκής Επιτροπής βρίσκεται, με ποσοστό 27 έως 30% ως το 2020 (IEA, August 2005). Με βάση το ισχύον νομοθετικό πλαίσιο είναι δυνατόν να υπολογισθούν τα περιθώρια εξοικονόμησης ενέργειας αλλά και ο τρόπο επίτευξης του στόχου αυτού.

Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στους παράγοντες που συμβάλλουν στην ενεργειακή απόδοση ενός κτηρίου, όπως είναι:

- Η μόνωση έναντι των καιρικών συνθηκών και της ηλιακής ακτινοβολίας. Εδώ περιλαμβάνεται επίσης η μείωση των απωλειών ενέργειας μέσω βελτιωμένης μόνωσης.
- Η ορθολογική παραγωγή ενέργειας για θέρμανση ή/και ψύξη.
- Η αποτελεσματική εκμετάλλευση της θερμότητας από εξωγενείς παράγοντες στο κτίριο ή της υπάρχουσας χαμηλής θερμοκρασίας (π.χ. η φυσιολογική πτώση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της νύχτας).
- Η αποτελεσματική, με όσο το δυνατό μικρότερες απώλειες, κατανομή της ενέργειας θέρμανσης και ψύξης στο κτίριο.
- Η μεγιστοποίηση εκμετάλλευσης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η επίτευξη ενός όσο το δυνατόν υψηλότερου βαθμού ενεργειακής απόδοσης με τη χρήση ορυκτών καυσίμων (λέβητες συμπύκνωσης καυσαερίων ή λέβητες χαμηλών θερμοκρασιών).
- Η βέλτιστη ρύθμιση/παραμετροποίηση των υφισταμένων εγκαταστάσεων θέρμανσης, ψύξης και εξαερισμού.
- Η μείωση της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος σε εγκαταστάσεις θέρμανσης, ψύξης και εξαερισμού (αντλίες θερμότητας, ανεμιστήρες κλπ.).

Στην Ελλάδα με βάση τον κανονισμό Ενεργειακής Απόδοσης Κτιριακού Τομέα (περιλαμβάνει κανονιστικές διατάξεις για την εφαρμογή του Νόμου 3661/08) προβλέπεται η ενσωμάτωση ενός ολοκληρωμένου ενεργειακού σχεδιασμού των κτιρίων με σκοπό τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσής τους, την εξοικονόμηση ενέργειας και την προστασία του περιβάλλοντος, με συγκεκριμένες δράσεις που αφορούν κυρίως στην εκπόνηση Μελέτης Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων, ενεργειακή κατάταξη των Κτιρίων (Πιστοποιητικό Ενεργειακής Απόδοσης) και τις ενεργειακές Επιθεωρήσεις Κτιρίων, λεβήτων & εγκαταστάσεων θέρμανσης και εγκαταστάσεων κλιματισμού.

2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

2.1 Γενικά

Περίπου το ένα τρίτο της πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας στην Ευρώπη χρησιμοποιείται για θέρμανση, ψύξη, αερισμό και ζεστό νερό σε κτίρια. Καθώς το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση, ψύξη και αερισμό στα κτίρια παράγεται από την καύση πετρελαίου, άνθρακα και φυσικού αερίου (είτε άμεσα είτε σε ηλεκτρικές μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας), τα συστήματα θέρμανσης/ψύξης στην ΕΕ που χρησιμοποιούνται στον κτιριακό τομέα συνεισφέρουν σημαντικά στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου. Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (European Environment Agency), η τελική ενεργειακή κατανάλωση των νοικοκυριών αυξήθηκε κατά περίπου 16% κατά τη διάρκεια του 1990-2005 όσο η αύξηση των προσωπικών εισοδημάτων επέτρεψε υψηλότερο βιοτικό επίπεδο και κατ'επέκταση υψηλότερα επίπεδα άνεσης. Ωστόσο, πρόσφατες μελέτες δείχνουν ότι η εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια θα μπορούσε δυνητικά να ξεπεράσει το 20%, χωρίς να μειωθεί η άνεση και η ποιότητα της ζωής.

Υπάρχει σημαντικό δυναμικό μείωσης της κατανάλωσης ενέργειας, ιδίως στους ενεργοβόρους τομείς, όπως τα κτίρια, οι μεταποιητικές βιομηχανίες και η μετατροπή της ενέργειας. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή εξήγγειλε μια δέσμη προτάσεων με αντικείμενο την ενεργειακή απόδοση που στοχεύει στην εξοικονόμηση ενέργειας σε καίριας σημασίας τομείς όπως η ενίσχυση της νομοθεσίας για την ενεργειακή απόδοση στα κτίρια (Κοινοτική οδηγία 2002/91/EC) και σε προϊόντα που καταναλώνουν ενέργεια, και στην ενίσχυση του ρόλου των πιστοποιητικών ενεργειακών επιδόσεων καθώς και των εκθέσεων ελέγχου για συστήματα θέρμανσης και κλιματισμού του αέρα.

Επιπλέον, σήμερα είναι διαθέσιμες αρκετές τεχνολογίες για την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η αιολική, η ενέργεια από μικρά υδροηλεκτρικά, η βιομάζα και η ηλιακή θερμική ενέργεια, καθώς έχουν φτάσει σε υψηλό επίπεδο τεχνολογικής ωριμότητας, οικονομικής βιωσιμότητας και ανταγωνιστικότητας. Άλλες, όπως η φωτοβολταϊκή, παρότι έχουν ήδη επιτύχει σημαντικό βαθμό τεχνολογικής ωριμότητας προσπαθούν να δείξουν ότι είναι οικονομικά βιώσιμες, ενώ η ανάπτυξη τους εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το ευνοϊκό νομοθετικό πλαίσιο, τόσο στη Ευρωπαϊκή, όσο και στην Εθνική νομοθεσία των κρατών-μελών.

2.2 Συστήματα θέρμανσης-ψύξης/δροσισμού

Οι ερευνητικές προσπάθειες που απαιτούνται για την ανάπτυξη ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων θέρμανσης/ψύξης ήταν περιορισμένες κατά τις τελευταίες δεκαετίες, λόγω της διαθεσιμότητας σε φθηνή ενέργεια και οικονομικά αποδοτικών συσκευών θέρμανσης/ψύξης (π.χ. ηλεκτρικά καλοριφέρ/εναλλάκτες θερμότητας για τη θέρμανση, ηλεκτρικά συστήματα ψύξης (chillers)/διαιρούμενα συστήματα για την ψύξη). Εφόσον ήταν αποδοτική η κατασκευή και η εγκατάσταση του συστήματος θέρμανσης/ψύξης, το ίδιο σύστημα μπορούσε να υλοποιηθεί με βάση τα ίδια χαρακτηριστικά σε κτίρια χωρίς να δίνεται έμφαση στο είδος του κτηρίου ή τη χρήση του, ή τις περιβαλλοντικές συνθήκες κάτω από τις οποίες θα έπρεπε να λειτουργεί.

Ευτυχώς, τα τελευταία χρόνια σημειώθηκε μια απότομη αύξηση των προσπαθειών έρευνας και ανάπτυξης τόσο στον δημόσιο όσο και στον ιδιωτικό τομέα, προκειμένου να αναπτυχθούν πιο αποτελεσματικά συστήματα θέρμανσης/ψύξης στα κτίρια και να αυξηθεί η διείσδυση των λύσεων που βασίζονται σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας στον κτιριακό τομέα. Παρά την ήδη αισθητές βελτιώσεις, είναι σαφές ότι οι μεγάλες προσπάθειες έρευνας και ανάπτυξης θα εξακολουθήσουν να κινούνται προς την κατεύθυνση περισσότερο αποδοτικών συστημάτων

θέρμανσης/ψύξης στον κτιριακό τομέα στο μέλλον. Στα υπάρχοντα συστήματα θέρμανσης/ψύξης εντάσσονται τα συστήματα θέρμανσης/αερισμού και κλιματισμού (HVAC), ενώ στα νέα συστήματα θέρμανσης/ψύξης με σημαντική εξοικονόμηση ενέργειας και χαμηλή ρύπανση του περιβάλλοντος εντάσσονται οι αντλίες θερμότητας Αέρος - Νερού και τα συστήματα Γεωθερμίας.

Στις περιπτώσεις που εξετάζεται η πιθανότητα αυτοπαραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος, οι μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και θερμότητας (ΣΗΘ) είναι οι πλέον κατάλληλες. Η λύση αυτή μπορεί να είναι πολύ ελκυστική, ακόμα και στις περιπτώσεις εκείνες όπου το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται κοστίζει το ίδιο με αυτό που παρέχεται από την ηλεκτρική εταιρεία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, με αυτή τη διάταξη, η πλεονάζουσα θερμότητα που παράγεται στη θερμική μηχανή χρησιμοποιείται για τη θέρμανση του νερού κυκλοφορίας, αντί να χρειάζεται να παράγεται θερμότητα ειδικά για το σκοπό αυτό.

Προκειμένου να εκτιμηθεί ορθά η οικονομική βιωσιμότητα μιας τέτοιας λύσης, πρέπει να γίνει προσεκτικά ο υπολογισμός του λόγου του ηλεκτρικού ρεύματος προς τη θερμότητα που απαιτούνται, καθώς και του κόστους αγοράς και λειτουργίας της μονάδας ΣΗΘ.

2.2.1 Συστήματα θέρμανσης, αερισμού και κλιματισμού (HVAC)

Τα συστήματα HVAC μπορούν να ταξινομηθούν γενικά ως εξής: μόνο θέρμανσης, μόνο εξαερισμού, μόνο δροσισμού (συστήματα κλιματισμού) ή συνδυασμό αυτών.

Ένα σύστημα θέρμανσης σχεδιάζεται για να προσθέτει θερμική ενέργεια σε ένα χώρο ή κτίριο, προκειμένου να διατηρείται κάποια επιλεγμένη θερμοκρασία αέρα, η οποία ειδάλλως δεν θα μπορούσε να επιτευχθεί λόγω της ροής της θερμότητας προς το εξωτερικό περιβάλλον (απώλεια θερμότητας).

Ένα σύστημα εξαερισμού έχει ως σκοπό του το να κυκλοφορεί τον αέρα σε ένα χώρο, ώστε να τον κινεί χωρίς να χρειάζεται να αλλάξει

η θερμοκρασία του. Τα συστήματα εξαερισμού μπορούν, και σε ορισμένες περιπτώσεις πρέπει, να χρησιμοποιούνται για να βελτιώνουν την ποιότητα του εσωτερικού αέρα και, κατ' αυτόν τον τρόπο, τα επίπεδα άνεσης των ενοίκων.

Ένα σύστημα ψύξης (ή αλλιώς δροσισμού), σχεδιάζεται για να αφαιρεί θερμική ενέργεια από ένα χώρο ή κτίριο. Αυτό είναι ανάγκη να γίνεται προκειμένου να διατηρείται κάποια επιλεγμένη θερμοκρασία του αέρα, χαμηλότερη συγκριτικά με αυτή που, αλλιώς, θα επικρατούσε λόγω της αναπόφευκτης ροής θερμότητας τόσο από τις εσωτερικές πηγές της, όσο και από το εξωτερικό περιβάλλον προς το εσωτερικό του χώρου (κέρδος θερμότητας). Οι τεχνολογίες των συστημάτων αυτών κατηγοριοποιούνται σε δυο κύρια μέρη:

- Συστήματα θέρμανσης & ψύξης χώρων, όπως είναι τα θερμαινόμενα δάπεδα και οι οροφές.
- Μηχανικά συστήματα αερισμού, όπως είναι:

- Τα συστήματα εξαερισμού με ανάκτησης θερμότητας (Heat Recovery Ventilation): μπορεί να θερμαίνεται ή να ψύχεται ο εισερχόμενος καθαρός αέρας, χωρίς καμία πρόσθετη πηγή ενέργειας, ανακτώντας 60% έως 90% της ενέργειας που διαφορετικά θα είχε χαθεί.

Τα συστήματα ανάκτησης ενέργειας έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως σε μεγάλα συστήματα εξαερισμού τα τελευταία χρόνια, κυρίως χάρη σε περιοριστικούς κανόνες που θέτουν οι σύγχρονες προδιαγραφές των κτιρίων. Σε αυτά τα συστήματα, η ενέργεια που ανακτάται από την έξοδο του αέρα πριν αυτή εξαχθεί στην ατμόσφαιρα, μεταφέρεται για να προθερμάνει ή να ψύξει του εισερχομένου αέρα. Η αποτελεσματικότητα εξαρτάται από τον τύπο και το σύστημα ανάκτησης και τη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ρεύματος εισόδου και εξόδου. Τα συστήματα μπορούν να είναι στατικά ή περιστροφικά, ελεγχόμενα από την ενθαλπία και την θερμοκρασία του χώρου, με σταθερή ή μεταβλητή ταχύτητα του αέρα, κλπ. Η απόδοση ποικίλλει από τη μία κατηγορία στην άλλη, αλλά ποτέ δεν είναι χαμηλότερη από 45%.

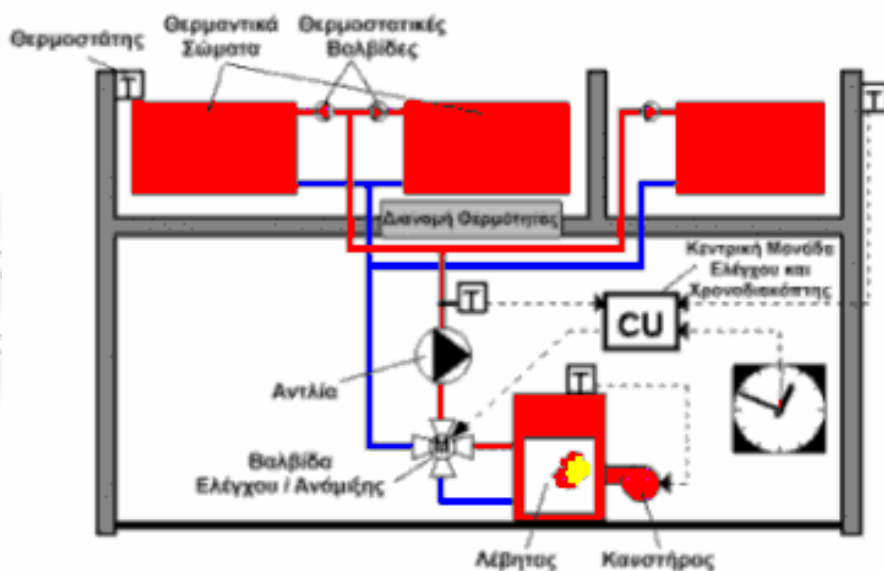
Τα συστήματα αυτά μπορούν επομένως να συμβάλουν σημαντικά στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης των συστημάτων θέρμανσης/ψύξης και εξαερισμού HVAC.

- Τα συστήματα εξαερισμού με Ανάκτησης Ενέργειας (Energy Recovery Ventilation): Χρησιμοποιούνται για επανάκτηση της ενέργειας, όπως τα συστήματα HRV καθώς και για να συμβάλουν στον έλεγχο της υγρασίας.

- Τα συστήματα αύξησης της θερμοκρασίας μέσω υπόγειων σωλήνων: Σύστημα μέσω υπόγειων σωλήνων το οποίο μπορεί να είναι συνδεδεμένο με το σύστημα ανάκτησης θερμότητας HRV (Heat Recovery Ventilation) και να ενεργεί ως πηγή-αέρος θερμότητας και προ-θερμότητας (ή προ-ψύξης) στον αέρα εισαγωγής για το σύστημα εξαερισμού.

2.2.1.1 Συστήματα θέρμανσης χώρων

Τα συστήματα μόνο θέρμανσης χώρων (Σχήμα 2.1) στηρίζονται συνήθως σε μία κεντρικά τοποθετημένη θερμαντική μονάδα, στην οποία αυξάνεται η θερμοκρασία του μέσου που χρησιμοποιείται για τη διανομή της θερμότητας στους χώρους που πρέπει να θερμανθούν.



Σχήμα 2.1. Σχηματική Παράσταση ενός Συστήματος Κεντρικής Θέρμανσης.

Σήμερα πλέον, οι περισσότερες, αν όχι όλες, κτιριακές μονάδες χρησιμοποιούν κεντρική θέρμανση. Ένα κεντρικό σύστημα θέρμανσης αποτελείται από τα παρακάτω κύρια υποσυστήματα:

- Μία μονάδα παραγωγής ή μία ομάδα από τέτοιες μονάδες. Αυτή μπορεί να είναι ένας λέβητας ορυκτού καυσίμου, μία αντλία θερμότητας ή ένας υποσταθμός εναλλαγής θερμότητας, συνδεδεμένος σε ένα σύστημα περιφερειακής θέρμανσης. Πρόσφατα έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται και μονάδες συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) για το σκοπό αυτό. Στην περίπτωση των μονάδων ορυκτού καυσίμου, τα καυσαέρια από το λέβητα οδηγούνται στην ατμόσφαιρα μέσω της καμινάδας.
- Ένα δίκτυο αγωγών διανομής, για τη μεταφορά του θερμαινόμενου μέσου, που συνήθως είναι νερό ή ατμός, στους προς θέρμανση χώρους.
- Συσσκευές απόδοσης της θερμότητας στο χώρο, οι οποίες διατίθενται σε μεγάλη ποικιλία και επιλέγονται ανάλογα με τις ανάγκες του θερμαινόμενου χώρου. Αυτές περιλαμβάνουν τα θερμαντικά σώματα (καλοριφέρ), τα οποία είναι και οι πιο συνηθισμένες από τις συσκευές αυτές, τους μεταγωγείς, αλλά και τους θερμαντήρες πατώματος χαμηλής θερμοκρασίας.

Η μονάδα παραγωγής του συστήματος τροφοδοτείται με νερό, το οποίο θερμαίνει και το μετατρέπει σε ζεστό νερό ή ατμό (σε μεγαλύτερα συστήματα). Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται μέσω ενός λέβητα που καίει κάποιο ορυκτό καύσιμο. Το καύσιμο μπορεί να είναι πετρέλαιο, αέριο ή ξύλο, το οποίο καίγεται στην κατάλληλη συσκευή, τον καυστήρα. Αυτός είναι εν γένει ενσωματωμένος στο λέβητα και αποτελεί μία πολύ σημαντική για τη σωστή λειτουργία του συστήματος συνιστώσα του.

Η διανομή της θερμότητας γίνεται μέσω του κατάλληλα προθερμασμένου στην κεντρική μονάδα μέσου, συνήθως νερό, το οποίο στη συνέχεια μεταφέρεται στους θερμαινόμενους χώρους μέσω του

δικτύου αγωγών. Εκεί, η θερμότητα αποδίδεται προς χρήση στο χώρο μέσω μίας κατάλληλης συσκευής θέρμανσης (μονάδες απόδοσης), ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε χώρου. Η θερμοκρασία του μέσου εναλλαγής θερμότητας πέφτει, καθώς αυτό διέρχεται μέσα από ένα μεγάλο αριθμό μονάδων απόδοσης προς χρήση και συναλλάσει θερμότητα με τον αέρα των δωματίων. Στο τέλος του βρόχου που δημιουργείται, το θερμαντικό μέσο επιστρέφει στην κεντρική μονάδα για να ξαναζεσταθεί.

2.2.1.2 Συστήματα κλιματισμού χώρων

Υπάρχουν τρεις γενικοί τύποι συστημάτων κλιματισμού, με πολλές διαθέσιμες παραλλαγές για τον κάθε έναν, όπως φαίνεται παρακάτω:

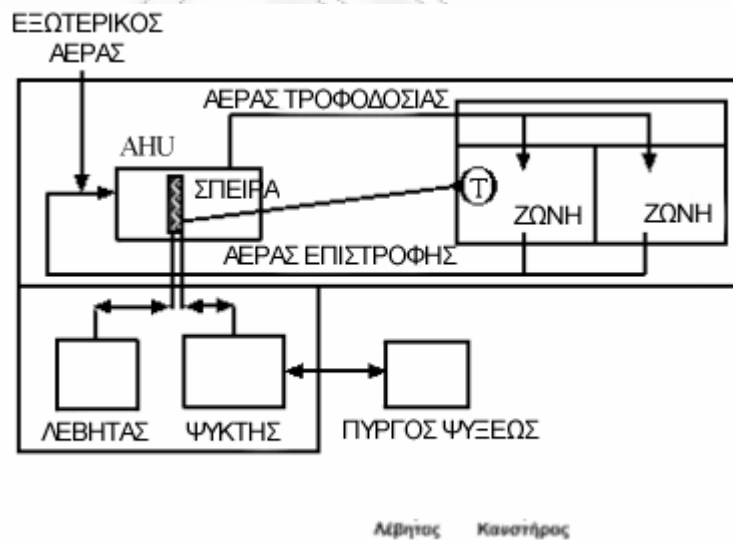
- Συγκεντρωμένα (ή κεντρικά) συστήματα αέρα, στα οποία όλα τα φορτία θέρμανσης ή/και ψύξης παράγονται σε ένα κεντρικό δωμάτιο εγκαταστάσεων και μεταβιβάζονται στα δωμάτια με τη βοήθεια ενός δικτύου αγωγών.
- Μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα αέρα/νερού, στα οποία ο κεντρικά δροσισμένος ή ζεσταμένος αέρας δροσίζεται ή θερμαίνεται περαιτέρω τη στιγμή που εισέρχεται στα δωμάτια.
- Τοπικά συστήματα, στα οποία όλες οι διαδικασίες εκτελούνται τοπικά, στους χώρους που υπάρχει ανάγκη να κλιματισθούν.

2.2.1.2.1 Συγκεντρωμένα συστήματα αέρα

Αυτά τα συστήματα συνήθως κτίζονται γύρω από μια προ-συσκευασμένη μονάδα διαχείρισης του αέρα (AHU), η οποία αποτελείται από έναν ανεμιστήρα και συνδυασμούς σπειρών θέρμανσης ή/και δροσισμού, φίλτρων, υγραντών και αποσβεστήρων ελέγχου. Μπορούν επίσης να περιλαμβάνουν συσκευασμένες αντλίες θερμότητας και έναν ανεμιστήρα απόρριψης ή/και να έχουν τη δυνατότητα να ανακυκλώνουν τον απορριπτόμενο αέρα πίσω στο κτίριο. Η μονάδα διαχείρισης του

αέρα συνήθως τοποθετείται μέσα σε ένα κεντρικό δωμάτιο εγκαταστάσεων, με τις ψυκτικές μονάδες και τους λέβητες τοποθετημένους σε γειτονικές θέσεις. Όταν ο εξωτερικός αέρας είναι αρκούντως πιο δροσερός από το επιθυμητό επίπεδο, μπορεί να εισαχθεί φρέσκος αέρας απ' ευθείας στον κλιματιζόμενο χώρο και, πλέον, να μην απαιτείται η μηχανική κατάψυξη του από την κεντρική μονάδα. Πρέπει εν γένει να ανιχνεύονται οι δυνατότητες και να διευκολύνεται αυτή η "ελεύθερη ψύξη", προκειμένου να ελαχιστοποιείται η ανάγκη για ψύξη με μηχανικά μέσα. Οι μονάδες διαχείρισης του αέρα μπορούν να διαμορφωθούν κατάλληλα ώστε να εξυπηρετούν μία σειρά από διαφορετικούς τύπους συστημάτων διανομής.

Τα συστήματα ενιαίας ζώνης σταθερού όγκου (Σχήμα 2.2) είναι απλά, σχετικά χαμηλού κόστους και εύκολα στην εγκατάσταση, αλλά δεν μπορούν να παράσχουν επαρκή έλεγχο για τις περιοχές (ζώνες) που παρουσιάζουν διαφορετικές ή/και ταυτόχρονες ανάγκες θέρμανσης ή ψύξης. Στην περίπτωση αυτή, μπορεί να απαιτηθεί η εισαγωγή διάφορων διαιρούμενων συστημάτων για να εξυπηρετηθούν οι διαφορετικές ζώνες, αυξάνοντας έτσι τις δαπάνες αγοράς και τον απαραίτητο χώρο εγκατάστασης.

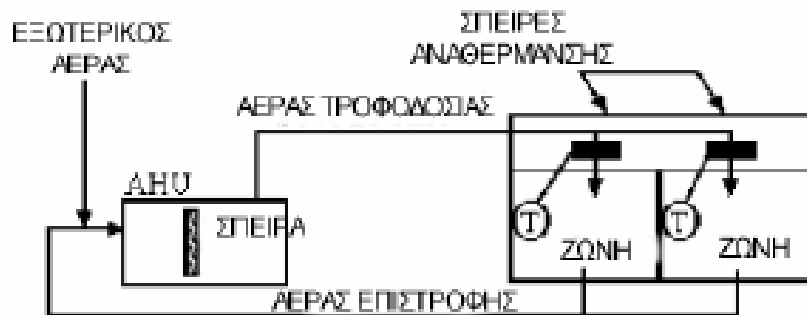


Σχήμα 2.2. Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος HVAC ενιαίας ζώνης αέρα-αέρα, με ένα χωριστό διαχειριστή αέρα, ένα λέβητα και μία ψυκτική μονάδα.

2.2.1.2.2 Μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα αέρα/νερού

Ο κοινός παράγοντας σε αυτά τα συστήματα είναι ότι χρησιμοποιείται μία κεντρική μονάδα διαχείρισης του αέρα (AHU), όπως περιγράφηκε προηγούμενα, αλλά ο περαιτέρω κλιματισμός του δωματίου μπορεί να είναι τοπικά ελεγχόμενος. Τα μερικώς συγκεντρωμένα πολυζωνικά συστήματα και τα συστήματα μεταβλητού όγκου αέρα επιτρέπουν την ελεύθερη ψύξη, μέσω του ελέγχου απόσβεσης στην κεντρική μονάδα διαχείρισης του αέρα.

Τα μερικώς συγκεντρωμένα συστήματα αέρα με αναθέρμανση (σχήμα 2.3), τόσο τα σταθερού όσο και τα μεταβλητού όγκου, είναι κατάλληλα για τις περιπτώσεις όπου ο αέρας από τον κεντρικό ανεφοδιασμό πρέπει να θερμαίνεται ή να δροσίζεται περαιτέρω, προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις σε κλιματισμό των δωματίων. Αυτό γίνεται μέσω πρόσθετων σπειρών θέρμανσης ή δροσισμού. Στα συστήματα σταθερού όγκου, η λειτουργία αυτή βελτιώνει σημαντικά τη δυνατότητα ελέγχου του συστήματος και το δίκτυο των αγωγών μπορεί να διαμορφωθεί κατάλληλα ώστε να εξυπηρετεί χώρους με αρκετά διαφορετικές απαιτήσεις (πολυζωνικά συστήματα σταθερού όγκου) (Σχήμα 2.4).



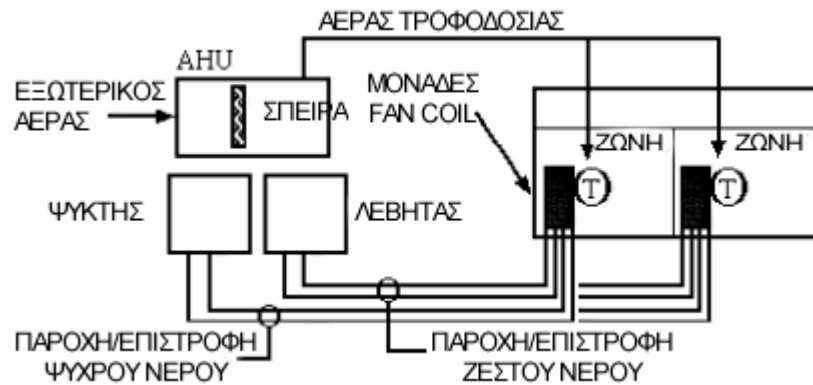
Σχήμα 2.3. Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος τερματικής αναθέρμανσης.



Σχήμα 2.4. Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος πολλαπλών ζωνών.

Οι σπείρες θέρμανσης ή/και δροσισμού μπορεί να βρίσκονται είτε μέσα στους ελεύθερους χώρους της οροφής (μερικώς συγκεντρωμένο σύστημα), είτε στο δωμάτιο της κεντρικής εγκατάστασης (πλήρως συγκεντρωμένο σύστημα). Στην τελευταία περίπτωση, η τοποθέτηση αυτή των σπειρών μπορεί να αυξήσει τις κύριες δαπάνες και τις απαιτήσεις χώρου, δεδομένου ότι οι χωριστοί αγωγοί θα πρέπει να διατρέχουν το διάστημα μεταξύ του δωματίου εγκαταστάσεων και της κάθε ζώνης. Τα συστήματα επαγωγής χρησιμοποιούν τον αέρα από την κεντρική μονάδα διαχείρισης (πρωτογενής αέρας), ο οποίος εγχέεται μέσω ακροφυσίων προκειμένου να προκληθεί κυκλοφορία του αέρα του δωματίου γύρω από μια σπείρα, στην οποία εφαρμόζεται ανάλογα θέρμανση ή δροσισμός. Ο πρωτογενής αέρας περιορίζεται γενικά στην ελάχιστη ποσότητα φρέσκου αέρα που απαιτείται για τον εξαερισμό, με αποτέλεσμα τα συστήματα αυτά να παρέχουν περιορισμένες δυνατότητες για ελεύθερη ψύξη και έλεγχο της υγρασίας.

Αντίθετα τα συστήματα fan-coil είναι παρόμοια με σύστημα πολλαπλών ζωνών, εκτός του ότι σ'αυτά ο αέρας κινείται με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα, αντί να κινείται εξαιτίας του φαινομένου της επαγωγής. Ο φρέσκος αέρας μπορεί να παράσχεται από μία μονάδα διαχείρισης ή να προέρχεται άμεσα από το εξωτερικό περιβάλλον και να διέρχεται μέσω του ανεμιστήρα, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 2.5).



Σχήμα 2.5. Σχηματικό διάγραμμα μιας μονάδας fan-coil νερού-αέρα.

Σε μερικούς τύπους των μονάδων αυτού του είδους, ο φρέσκος αέρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρασχεθεί και ελεύθερη ψύξη, κατά τον τρόπο που περιγράφεται στα προηγούμενα. Τα συστήματα μονάδων επαγωγής και μονάδων fan-coil κανονικά ανεφοδιάζονται πλήρως με φρέσκο αέρα από τη μονάδα διαχείρισης του αέρα. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων σε φρέσκο αέρα και, επομένως, τα συστήματα αυτά χρειάζονται για την ορθή λειτουργία τους πολύ μικρότερο όγκο αέρα απ' ότι ένα ισοδύναμο πολυζωνικό σύστημα. Απαιτούνται επίσης μικρότερα μεγέθη τόσο για τη μονάδα διαχείρισης του αέρα όσο και για τους αγωγούς, αν και τα συστήματα επαγωγής μπορεί να εμφανίζουν αυξημένες, σε σχέση με αυτές των fancoil, απαιτήσεις σε χώρο λόγω της ανάγκης επαγωγής του αέρα των δωματίων.

Οι μονάδες fan coil μπορούν να τοποθετούνται στην περίμετρο ή την οροφή των δωματίων, ενώ αξίζει να σημειωθεί ότι οι σύγχρονοι ανεμιστήρες είναι εκπληκτικά αθόρυβοι.

2.2.1.2.3 Τοπικά συστήματα

Τα συστήματα αυτά χαρακτηρίζονται από την εγκατάσταση μιας μονάδας ανά κλιματιζόμενη ζώνη, όταν μόνο μερικά μέρη ενός κτιρίου απαιτούν κλιματισμό ή εάν ο κλιματισμός πρόκειται να εισάγεται σε ένα δωμάτιο κάθε φορά.

Οι διαμέσου του τοίχου συσκευασμένες μονάδες είναι δημοφιλείς στις Μεσογειακές περιοχές αλλά ασυνήθιστες στις Βόρειο-ευρωπαϊκές χώρες. Οι μονάδες αυτές αποτελούνται γενικά από μια μικρού μεγέθους ψυκτική μονάδα, με έναν ενσωματωμένο ανεμιστήρα για την κυκλοφορία του αέρα. Ο αέρας απορροφάται από το χώρο, δροσίζεται καθώς διέρχεται από τη μονάδα και επιστρέφεται στον κλιματιζόμενο χώρο. Η θερμότητα που αφαιρείται από τον αέρα περνά διαμέσω του τοίχου και απορρίπτεται στον εξωτερικό αέρα. Οι μονάδες είναι απλές, χαμηλού κόστους κτήσεως, εύκολες στη χρήση και προσφέρουν τη δυνατότητα για τοπική ρύθμιση από το χρήστη. Αντιθέτως, οι δυνατότητες ελέγχου της θερμοκρασίας του χώρου είναι φτωχές, λόγω της θέσης των αισθητήρων και της σχετικής δράσης ελέγχου, η οποία γίνεται θέτοντας είτε σε λειτουργία είτε εκτός λειτουργίας τη μονάδα. Επιπλέον, οι μονάδες αυτές μπορεί να είναι θορυβώδεις και, γενικά, δεν είναι πολύ αποδοτικές. Οι απαιτήσεις συντήρησης ενός μεγάλου αριθμού τέτοιων μονάδων μπορεί να είναι σημαντικές, ενώ οι περισσότερες από αυτές δεν προσαρμόζονται εύκολα σε κάποιο σύστημα κεντρικού ελέγχου. Μερικές μονάδες προσφέρουν δυνατότητα θέρμανσης, με τη βοήθεια ηλεκτρικών στοιχείων, που όμως μπορεί να είναι ενεργοβόρα στη χρήση τους.

Επιπλέον οι μεμονωμένες αντιστρέψιμες αντλίες θερμότητας διατίθενται τόσο ως συστήματα διαμέσω του τοίχου, όσο και ως συσκευασμένες διαιρούμενες μονάδες. Σε αυτές η ψύξη μπορεί να λειτουργήσει και κατά την αντίστροφη φορά, αντλώντας θερμότητα μέσα στο, καθώς επίσης και από το, δωμάτιο. Έχουν δηλαδή τη δυνατότητα να παρέχουν τόσο θέρμανση όσο και ψύξη, όποτε αυτή χρειάζεται.

Τα συστήματα μεταβλητής παροχής ψυκτικού μέσου αποτελούν μία σχετικά νέα τεχνολογία. Πρόκειται για μία παραλλαγή των πολυδαιρούμενων συσκευασμένων συστημάτων αντλιών θερμότητας. Διάφορα δοχεία ψύξης δωματίων συνδέονται απευθείας με μια ενιαία υπαίθρια ψυκτική μονάδα. Η παροχή του ψυκτικού μέσου μπορεί να μεταβάλλεται, χρησιμοποιώντας ένα συμπιεστή μεταβλητής ταχύτητας, σε ανταπόκριση στις αλλαγές των απαιτήσεων ψύξης. Ένα περίπλοκο

σύστημα ελέγχου επιτρέπει την εναλλαγή μεταξύ των λειτουργιών θέρμανσης και ψύξης.

2.2.2 Συστήματα Εποπτείας και Ελέγχου

Η εφαρμογή τεχνολογιών ελέγχου και εποπτείας στα συστήματα HVAC θα δώσει πιο αισθητά αποτελέσματα, καθώς στην πραγματικότητα υπάρχει μεγάλη έλλειψη συστημάτων που να μπορεί να ανταποκρίνονται επαρκώς σε θερμική ενέργεια, της προσφοράς και της ζήτησης, ενώ ταυτόχρονα θα ελαχιστοποιεί τις ανάγκες σε κατανάλωση ενέργειας και κόστους. Ένα άλλος σημαντικός τομέας της έρευνας αφορά την ένταξη των HVAC σε συστήματα εποπτείας και έλεγχου με τη βοήθεια συστημάτων διαχείρισης κτιρίων Smart BMS (Business Management System / ECMS (Enterprise Content Management Systems). Τα συστήματα αυτά θα επιτρέπουν, τον ολοκληρωμένο έλεγχο των εγκαταστάσεων θέρμανσης/ ψύξης, εξαερισμού και των συστημάτων φωτισμού, μέσω του δικτυωμένου έλεγχου που θα επιτρέπει τον περιορισμό της ζήτησης καθώς και την πρόβλεψη της (ευφυή συστήματα διαχείρισης της ενεργειακής ζήτησης).

Το σύστημα Διαχείρισης της Ενέργειας Κτιρίου (BEMS) είναι ένα αυτοματοποιημένο σύστημα που προσπαθεί να ελέγξει όλες τις διαδικασίες ενεργειακής κατανάλωσης σε ένα κτίριο. Αυτές οι διαδικασίες μπορεί να συμπεριλάβουν την θέρμανση και τον αερισμό, το φωτισμό, το εσωτερικό κλίμα και άλλα. Ανάλογα με το επίπεδο περιπλοκότητας, όλα τα παραπάνω μπορούν να ελεγχθούν ανεξάρτητα η όχι. Κατ'αυτό τον τρόπο αναμένεται ότι οι λεπτές αμοιβαίες σχέσεις μεταξύ των διαφόρων παραμέτρων λαμβάνονται υπόψιν, με συνέπεια τη βέλτιστη λειτουργία.

Συνεπώς ένα σύστημα διαχείρισης πρέπει να ικανοποιεί τους ακόλουθους στόχους:

- Να διατηρήσει τη άνεση της θερμικής, οπτικής και εσωτερικής ποιότητας του αέρα,

- Να δίνει προτεραιότητα στις παθητικές τεχνικές προκειμένου να επιτευχθούν οι απαιτήσεις άνεσης,
- Να είναι ευέλικτο, δηλαδή να έχει τη δυνατότητα να ικανοποιήσει τις προτιμήσεις των χρηστών που παρεμβάλλονται στο σύστημα.

Τα σύγχρονα συστήματα έλεγχου παρέχουν μια βελτιστοποιημένη λειτουργία των ενεργειακών συστημάτων με ταυτόχρονη άνεση στους χρήστες. Οι πρόσφατες τεχνολογικές εξελίξεις βασισμένες στις τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης προσφέρουν διάφορα πλεονεκτήματα έναντι των κλασσικών συστημάτων έλεγχου. Για τα συστήματα Εποπτείας και Έλεγχου των Συστημάτων βελτιώσεις αναμένονται με την ανάπτυξη έξυπνων, υψηλής απόδοσης συστημάτων, με σκοπό την βελτιστοποίηση την απόδοσης του συστήματος σε κάθε στιγμή της λειτουργίας του.

Σήμερα, ο όρος έξυπνο σπίτι κερδίζει έδαφος, με μεγάλες προοπτικές στη αγορά εξοικονόμησης και διαχείρισης ενέργειας. Αν και η 'νοημοσύνη' στα κτίρια είναι ένας διφορούμενος όρος, αναφέρεται στα αντικείμενα που μπορούν να αντιδράσουν σωστά στις απρόβλεπτες περιστάσεις με την επιλογή ενός συνόλου πιθανών ενεργειών και μπορούν να μάθουν από την ανατροφοδότηση. Οι έννοιες της ανοχής, της αυτό-διόρθωσης ή της αυτοπροσαρμογής θεωρούνται ως απαραίτητα στοιχεία της λειτουργίας των συστημάτων αυτών. Γίνεται επίσης ευρέως αποδεκτό ότι για να επιτευχθεί η νοημοσύνη ταυτίζονται με τα εργαλεία που προσομοιάζουν τις ανθρώπινες μεθόδους νοημοσύνης, όπως τα νευρωνικά δίκτυα και η ασαφής λογική.

Η τεχνολογία συστημάτων διαχείρισης ενέργειας ενός κτιρίου αναφέρεται γενικά στην ενσωμάτωση τεσσάρων συστημάτων ένα σύστημα αυτοματοποίησης κτιρίου (TS), ένα σύστημα τηλεπικοινωνιών (TS), ένα σύστημα Αυτοματισμού Γραφείου (OAS) και ένα σύστημα διαχείρισης Εγκατάστασης με τη βοήθεια υπολογιστή (CAFMS).

2.3 Αντλίες Θερμότητας

Μερικές κατηγορίες εξοπλισμού σήμερα είναι τόσο πολύ αποδοτικές, που το αυξημένο κόστος εγκατάστασής τους αντισταθμίζεται σε σύντομο χρονικό διάστημα από το μειωμένο κόστος λειτουργίας τους. Ειδικότερα, όταν στα υπάρχοντα σχέδια περιλαμβάνεται, εκτός από τη θέρμανση, και η ψύξη των χώρων, οι αντλίες θερμότητας μπορούν να καταστούν πολύ αποδοτικές. Επίσης, με αυτές μπορεί να ανακτάται η περίσσεια θερμότητας από άλλες διατάξεις του συστήματος, η οποία αλλιώς θα έπρεπε να αποβληθεί στο περιβάλλον, βελτιώνοντας έτσι περαιτέρω το βαθμό απόδοσης του συστήματος.

Οι αντλίες θερμότητας είναι θερμικές μηχανές οι οποίες λειτουργούν με βάση τη μεταφορά ή την άντληση θερμότητας από ένα απομονωμένο σύστημα σε ένα άλλο. Σημαντικό χαρακτηριστικό τους είναι η δυνατότητα λειτουργίας τόσο για την παραγωγή θέρμανσης όσο και ψύξης. Έτσι, με μία κεντρική μονάδα μπορεί να αντικατασταθεί ένας αριθμός άλλων θερμικών συσκευών, για θέρμανση και ψύξη, οδηγώντας σε ολοκληρωμένες λύσεις κλιματισμού. Υπάρχουν δυο βασικές λειτουργίες :

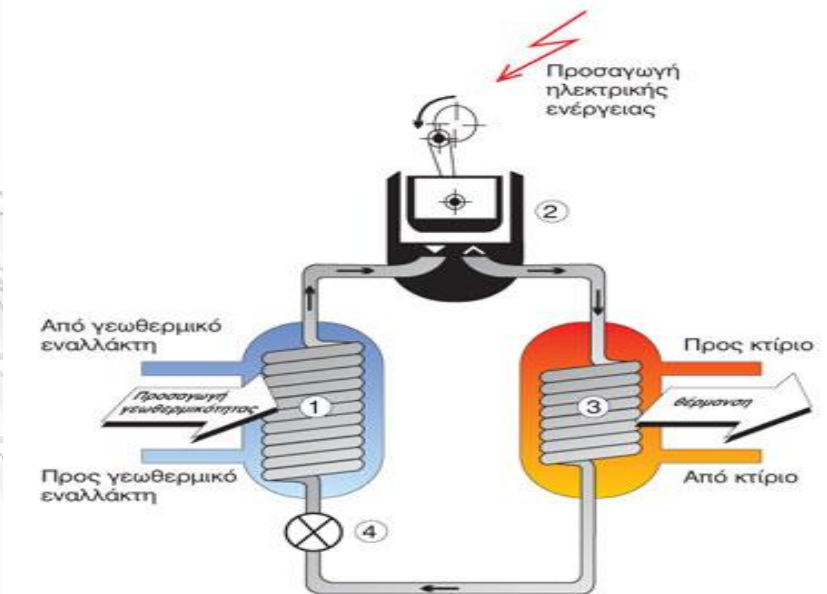
- Λειτουργία ψύξης (καλοκαίρι). Η αντλία θερμότητας «αντλεί» θερμότητα από το εσωτερικό του κτηρίου και την απορρίπτει σε εξωτερική "δεξαμενή" θερμότητας (αέρας/έδαφος). Όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασία της εξωτερικής δεξαμενής θερμότητας τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση της αντλίας θερμότητας.

- Λειτουργία θέρμανσης (χειμώνας). Η αντλία θερμότητας «αντλεί» θερμότητα από εξωτερική πηγή θερμότητας (αέρας / έδαφος) και την προσάγει στο εσωτερικό του κτηρίου. Όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία της εξωτερικής πηγής θερμότητας τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση της αντλίας θερμότητας.

Κατά τη λειτουργία της ψύξης η αντλία θερμότητας λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο όπως ένα τυπικό σύστημα κλιματισμού. Χρησιμοποιεί ένα εξατμιστή για την απορρόφηση θερμότητας από το εσωτερικό του σπιτιού και απορρίπτει αυτή την θερμότητα έξω απ' αυτό μέσω του

συμπυκνωτή. Το μόνο βασικό συστατικό που κάνει μια αντλία θερμότητας από μια διαφορετική από ένα σύστημα κλιματισμού (A/C) είναι η βαλβίδα αντιστροφής. Η βαλβίδα αντιστροφής επιτρέπει την αλλαγή της κατεύθυνσης της ροής του ψυκτικού μέσου. Αυτό επιτρέπει τη θερμότητα να αντλείται προς τις δύο κατευθύνσεις.

Η αρχή λειτουργίας του συστήματος κατά τη λειτουργία ψύξης φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα (Σχήμα 2.6). Στον ατμοποιητή (εναλλάκτης θερμότητας) η θερμική ενέργεια μεταφέρεται από το ψυχρό μέσο στο ψυκτικό μέσο, το οποίο και εξατμίζεται. Το ψυκτικό μέσο μεταφέρεται στο κύκλωμα μέσω του συμπιεστή, ο οποίος αυξάνει την πίεση και την θερμοκρασία του. Έπειτα στον συμπυκνωτή (εναλλάκτης θερμότητας) το ψυκτικό μέσο ψύχεται και συμπυκνώνεται. Η ενέργεια που απορροφήθηκε κατά την συμπύκνωση μεταφέρεται, διαμέσου του ψυκτικού μέσου στο θερμαντικό σύστημα της οικίας. Η εκτονωτική βαλβίδα ρυθμίζει την ροή μάζας του ψυκτικού μέσου, ούτως ώστε να διατηρείται η διαφορά πίεσης μεταξύ της 'περιοχής χαμηλής-υψηλής πίεσης'. Ο κύκλος ολοκληρώνεται όταν το ψυχρό ψυκτικό υγρό επανέρχεται στον εξατμιστή για να πάρει θερμότητα από το δωμάτιο όντας υγρό. Το χειμώνα μια βαλβίδα αλλάζει τη σπείρα εισόδου, η οποία πλέον λειτουργεί ως συμπυκνωτής ενώ η σπείρα εξόδου να λειτουργεί ως εξατμιστής.



Σχήμα 2.6. Κύκλος λειτουργίας θέρμανσης/ψύξης συστήματος αντλίας θερμότητας [6].

Τα είδη των αντλιών θερμότητας που θεωρούνται κατάλληλα για χρήση σε κατοικίες και εμπορικά κτίρια είναι τα εξής:

- ηλεκτρικές αντλίες θερμότητας Ζεστού νερού αποθήκευσης (συμπεριλαμβανομένων των υβριδικών αντλιών θερμότητας, τα οποία χρησιμοποιούν το δυναμικό της θέρμανσης και για τη θέρμανση χώρων),
- ηλεκτρικές αντλίες θερμότητας για τη θέρμανση χώρων,
- αντλίες θερμότητας με πηγή αερίου για θέρμανση χώρων.

Οι αντλίες θερμότητας επομένως «αντλούν» θερμότητα (με τη μορφή ψύξης ή θέρμανσης) από μια δεξαμενή θερμότητας (αέρας περιβάλλοντος, δεξαμενή νερού, υπόγεια νερά, λίμνη κλπ) προς ένα χώρο, μέσω ενός κύκλου εξάτμισης και συμπύκνωσης ενός εργαζόμενου μέσου, με την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο λόγος που η θέρμανση με χρήση αντλιών θερμότητας είναι σημαντικά οικονομικότερος από τη συμβατική θέρμανση με καύση οφείλεται στην άντληση θερμότητας από το εξωτερικό περιβάλλον.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της μετατροπής ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης/ψύξης σε αντλία θερμότητας είναι ότι:

- δεν ρυπαίνει την τοπική ατμόσφαιρα με καυσαέρια,
- εξοικονομεί χώρο (λεβητοστασίου και δεξαμενής καυσίμου),
- χρησιμοποιεί ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο στην Ελλάδα παράγεται σε μεγαλύτερο ποσοστό από εγχώρια καύσιμα (λιγνίτη και υδροηλεκτρικά), ενώ το πετρέλαιο εισάγεται,
- με την ίδια εγκατάσταση μπορεί να επιτευχθεί ψύξη το καλοκαίρι.

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της μετατροπής ενός συμβατικού συστήματος θέρμανσης/ψύξης σε αντλία θερμότητας είναι:

- το υψηλό κόστος εγκατάστασης,
- η υψηλότερη στάθμη θορύβου στο εσωτερικό του θερμαινόμενου χώρου.

2.4 Συστήματα συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ)

Τα συστήματα συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας (ΣΗΘ) παράγουν ταυτόχρονα ηλεκτρική και θερμική ενέργεια σε ένα ενιαίο, ολοκληρωμένο σύστημα. Ένα τέτοιο σύστημα όχι μόνο καλύπτει τις ανάγκες θέρμανσης μιας κατοικίας, αλλά και τις ανάγκες της σε ηλεκτρική ενέργεια. Η θερμική ενέργεια που ανακτάται σε ένα σύστημα ΣΗΘ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση ή ψύξη στη βιομηχανία, σε μεμονωμένα κτίρια ή σε μια βιομηχανική πόλη που εξυπηρετείται από ένα κεντρικό σύστημα θέρμανσης /ψύξης (τηλεθέρμανση) αυξάνοντας κατακόρυφα τον βαθμό απόδοσης του συστήματος.

Με το συμβατικό τρόπο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, μεγάλες ποσότητες θερμότητας απορρίπτονται στο περιβάλλον, είτε μέσω των ψυκτικών κυκλωμάτων (συμπυκνωτές, πύργοι ψύξης κλπ), είτε μέσω των καυσαερίων (αεροστρόβιλοι κλπ). Με τη μέθοδο της συμπαραγωγής, σημαντικό μέρος της θερμότητας αυτής ανακτάται και χρησιμοποιείται ωφέλιμα.

Η τεχνολογία της συμπαραγωγής, προκειμένου να είναι οικονομικά βιώσιμη, εφαρμόζεται σε περιπτώσεις όπου υπάρχει ταυτόχρονη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας (ή ψύξης).

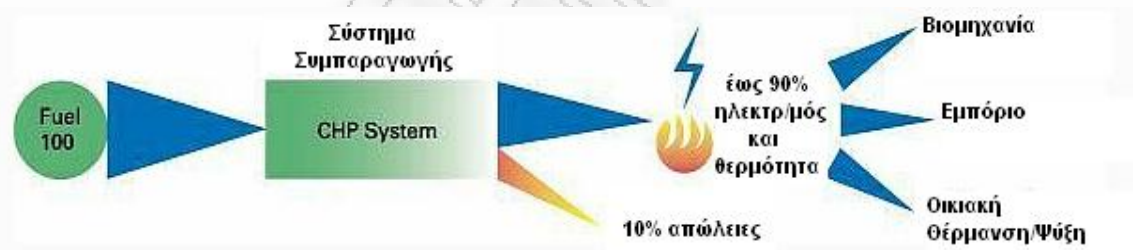
Τα συστήματα συμπαραγωγής μπορούν να θεωρηθούν ολοκληρωμένα ενεργειακά συστήματα, με την έννοια ότι μπορούν να καλύψουν όλες τις τελικές ενεργειακές χρήσεις (ηλεκτρισμό, θερμό νερό, ατμό, θερμό αέρα, ψύξη). Ο βαθμός απόδοσης των συστημάτων συμπαραγωγής μπορεί να φθάνει το 85% με 90% (μέγιστη απόδοση με σύστημα αεροστρόβιλου φυσικού αερίου) σύμφωνα με το πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης «GREEN LODGES» στο πλαίσιο του προγράμματος «Ευφυής Ενέργεια» (Intelligent Energy for Europe).

Η συμβατική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας είναι από τη φύση της μη αποδοτική, αφού μετατρέπεται μόνο το ένα τρίτο της ενέργειας των καυσίμων σε ωφέλιμη ενέργεια (βαθμός απόδοσης 30-45%) σύμφωνα με στοιχεία του ΕΛΚΕΠΑ (Συμπαραγωγή Θερμότητας και Ηλεκτρισμού, Ελληνικό κέντρο Παραγωγικότητας, Νοέμβριος 1994). Η σημαντική

αύξηση της αποδοτικότητας με τη ΣΗΘ οδηγεί σε μικρότερη κατανάλωση καυσίμων και σε μειωμένες εκπομπές ρύπων σε σχέση με τη χωριστή παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Η ΣΗΘ αποτελεί μια οικονομικά παραγωγική προσέγγιση για τη μείωση των ατμοσφαιρικών ρύπων μέσω της πρόληψης της ρύπανσης, ενώ ο παραδοσιακός έλεγχος της ρύπανσης που επιτυγχάνεται απλά μέσω της επεξεργασίας των καυσαερίων δεν παρέχει κανένα οικονομικό όφελος και στην πραγματικότητα, μειώνει την απόδοση και την ωφέλιμη παραγωγή ενέργειας. Τα συστήματα συμπαραγωγής μπορεί να λειτουργήσουν με διάφορα καύσιμα (πετρέλαιο, αέριο, βιομάζα, βιοκαύσιμα) προσφέροντας σχετική ανεξαρτησία από τις τιμές των καυσίμων.

Η συμπαραγωγή προσφέρει εξοικονόμηση ενέργειας που κυμαίνεται μεταξύ 15-40% σε σύγκριση με την προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας από συμβατικές σταθμούς παραγωγής ενέργειας και λέβητες (European Standard (EN 15265), 6 July 2007).

Ένα τυπικό σύστημα συμπαραγωγής ενέργειας έχει το ακόλουθο διάγραμμα όσων αφορά την ενεργειακή του κατανάλωση και απόδοση (Σχήμα 2.7).



Σχήμα 2.7. Ενεργειακή απόδοση συστήματος συμπαραγωγής ενέργειας [7].

Στις τεχνολογίες συμπαραγωγής, το φυσικό αέριο έχει σημαντικό πεδίο ως καύσιμο και ιδιαίτερα στους αεροστρόβιλους και στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Παρουσιάζει υψηλό ενεργειακό βαθμό απόδοσης, καθώς και χαμηλές εκπομπές αέριων ρύπων.

Οι εφαρμογές των συστημάτων ΣΗΘ μπορούν να διακριθούν στις εξής κύριες κατηγορίες:

- Βιομηχανικός τομέας. Ο τομέας αυτός καταλαμβάνει το μεγαλύτερο μέρος των εφαρμογών της ΣΗΘ στη χώρα μας. Εφαρμοζόμενες

τεχνολογίες είναι κυρίως με αεριοστρόβιλο και ατμοστρόβιλο και συνήθως το θερμικό προϊόν είναι ατμός υψηλής πίεσης.

- Εμπορικός, κτιριακός τομέας (τριτογενής τομέας). Η τεχνολογία που εφαρμόζεται είναι κυρίως μηχανές εσωτερικής καύσης, ενώ το θερμικό προϊόν είναι ζεστό νερό ή ατμός χαμηλής πίεσης. Επίσης, γίνεται χρήση συστημάτων απορρόφησης για τη μετατροπή των θερμικών φορτίων σε ψυκτικά (κλιματισμός).
- Θερμοκήπια. Η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια στα θερμοκήπια διατίθεται στο Εθνικό Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας, ενώ με τα θερμικά φορτία γίνεται θέρμανση του χώρου του θερμοκηπίου και εμπλουτισμός του με διοξείδιο του άνθρακα για την ταχύτερη ανάπτυξη των καλλιεργούμενων φυτών.

2.5 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ) αναπληρώνονται μέσω των φυσικών κύκλων και θεωρούνται πρακτικά ανεξάντλητες. Ο ήλιος, ο άνεμος, η γεωθερμία, τα ποτάμια, οι οργανικές ύλες, όπως το ξύλο και ακόμη τα απορρίμματα οικιακής και γεωργικής προέλευσης, είναι πηγές ενέργειας, που η προσφορά τους δεν εξαντλείται ποτέ. Εξάλλου, η αξιοποίησή τους για την παραγωγή ενέργειας δεν επιβαρύνει το περιβάλλον. Η Ελλάδα διαθέτει αξιόλογο δυναμικό ΑΠΕ, οι οποίες μπορούν να προσφέρουν μια πραγματική εναλλακτική λύση για την κάλυψη μέρους των ενεργειακών μας αναγκών, συνεισφέροντας στη μείωση της εξάρτησης από συμβατικά καύσιμα, στην ελάττωση του φαινόμενου του θερμοκηπίου, στη δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και στην ανάπτυξη αποκεντρωμένων περιοχών. Η ηλιακή ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί με τους ακόλουθους τρόπους.

2.5.1 Παθητικά Ηλιακά Συστήματα

Τα παθητικά ηλιακά συστήματα είναι δομικά στοιχεία του κτιρίου, που, αξιοποιώντας τους νόμους μεταφοράς θερμότητας, συλλέγουν την ηλιακή ενέργεια, την αποθηκεύουν σε μορφή θερμότητας και τη διανέμουν στο χώρο. Η συλλογή της ηλιακής ενέργειας βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και ειδικότερα, στην είσοδο της ηλιακής ακτινοβολίας μέσω του γυαλιού ή άλλου διαφανούς υλικού και τον εγκλωβισμό της θερμότητας στο εσωτερικό του χώρου. Τα παθητικά ηλιακά συστήματα συνδυάζονται και με τεχνικές φυσικού φωτισμού καθώς και παθητικά συστήματα και τεχνικές για το φυσικό δροσισμό των κτιρίων το καλοκαίρι. Μπορούν δε να εφαρμοστούν τόσο σε καινούργια, όσο και σε ήδη υπάρχοντα κτίρια.

Διακρίνονται τρεις γενικές κατηγορίες παθητικών συστημάτων θέρμανσης:

- Συστήματα άμεσου ηλιακού κέρδους. Είναι το πιο απλό σύστημα που αξιοποιεί την ηλιακή ακτινοβολία για την θέρμανση είναι το άμεσο κέρδος μέσω των νότια προσανατολισμένων ανοιγμάτων.
- Συστήματα έμμεσου ηλιακού κέρδους. Ανήκουν τα συστήματα που αξιοποιούν έμμεσα τα ηλιακά οφέλη για την θέρμανση του κτηρίου. Αυτά τα συστήματα απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στο κέλυφος και ύστερα επιτρέπουν στη θερμότητα να διεισδύσει στους χώρους διαβίωσης.
- Συστήματα απομονωμένου κέρδους. Στα συστήματα απομονωμένου κέρδους η επιφάνεια ηλιοσυλλογής δεν βρίσκεται σε επαφή με τον χώρο που επιθυμούμε να θερμάνουμε. Μεταξύ αυτής της επιφάνειας και το χώρο διαβίωσης υπάρχει ένας μηχανισμός μετάδοσης της θερμότητας όπως για παράδειγμα ένας ανεμιστήρας.

2.5.2 Ενεργητικά Ηλιακά συστήματα

Τα ενεργητικά (ή θερμικά) ηλιακά συστήματα αποτελούν μηχανολογικά συστήματα που συλλέγουν, την ηλιακή ενέργεια, τη μετατρέπουν σε θερμότητα, την αποθηκεύουν και τη διανέμουν, χρησιμοποιώντας είτε κάποιο υγρό είτε αέρα ως ρευστό μεταφοράς της θερμότητας. Χρησιμοποιούνται για θέρμανση νερού οικιακής χρήσης, για τη θέρμανση και ψύξη χώρων, για βιομηχανικές διεργασίες, για αφαλάτωση, για διάφορες αγροτικές εφαρμογές, για θέρμανση του νερού σε πισίνες κ.λ.π. Η πιο απλή και διαδεδομένη μορφή των θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι οι γνωστοί σε όλους μας ηλιακοί θερμοσίφωνες. Η χώρα μας είναι η πρώτη χώρα στην Ευρώπη μετά την Κύπρο σε εγκατεστημένους ηλιακούς συλλέκτες ανά κάτοικο.

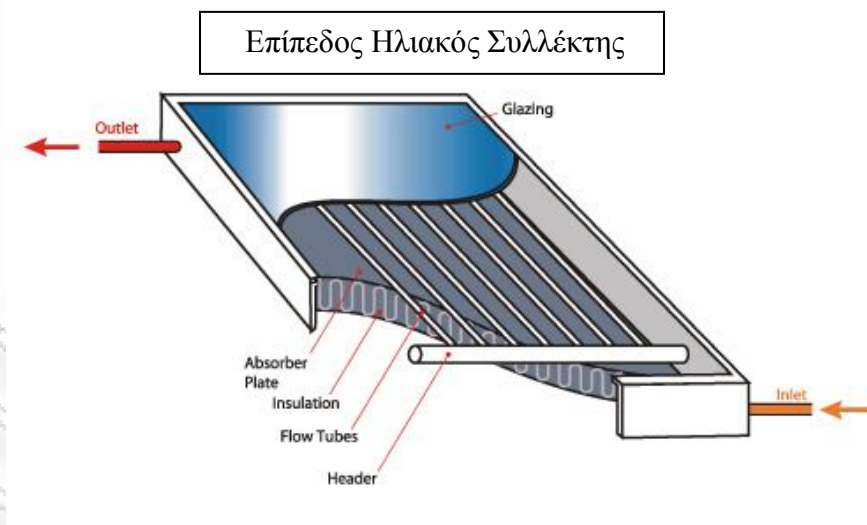
Ένα τυπικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού αποτελείται από τους ηλιακούς συλλέκτες, μια δεξαμενή αποθήκευσης του ζεστού νερού, τις απαραίτητες σωληνώσεις και το σύστημα έλεγχου. Η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται από τον συλλέκτη και η συλλεγόμενη θερμότητα αντλείται με φυσικό τρόπο ή τεχνητό τρόπο στη δεξαμενή.

Η χρήση επίπεδων πλακών ηλιακών συλλεκτών είναι το πλέον αποτελεσματικό από άποψη κόστους και κατά συνέπεια, το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο είδος συλλογής ηλιακής ακτινοβολίας, που αντιπροσωπεύει περισσότερο από το 90% της αγοράς. Οι κοινοί ηλιακοί θερμοσίφωνες για τη θέρμανση νερού οικιακής χρήσης χρησιμοποιούν επίπεδους συλλέκτες και αποτελούν την πιο διαδεδομένη εφαρμογή για την εκμετάλλευση της ηλιακής ακτινοβολίας με μετατροπή σε θερμότητα. Η μέση ετήσια απόδοση μετατροπής είναι περίπου 30 - 40% (Combined Heat and power Partnership, August 10, 2004).

Οι επίπεδοι συλλέκτες εκμεταλλεύονται την ολική ακτινοβολία και στους συλλέκτες αυτούς, επιδιώκεται βελτίωση του βαθμού απόδοσης με μείωση των απωλειών ή με αύξηση του λόγου της απορροφητικότητας προς την ικανότητα εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας.

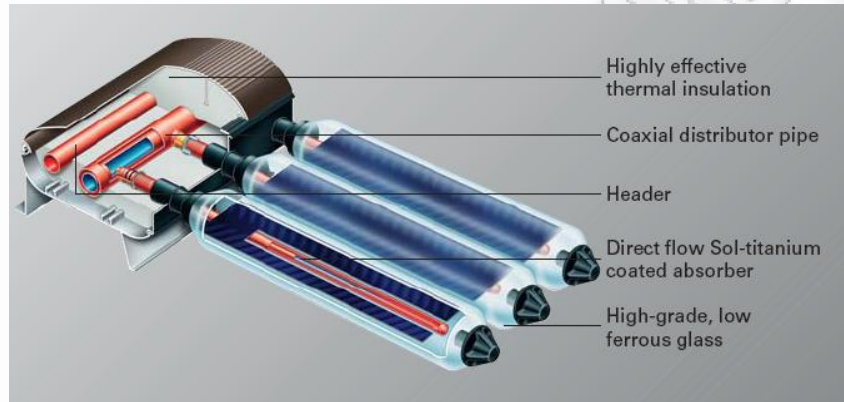
Ένας τυπικός επίπεδος συλλέκτης (Σχήμα 2.8) αποτελείται από την μαύρη απορροφητική επιφάνεια στην οποία γίνεται μετατροπή της απορροφημένης ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα. Η θερμότητα αυτή μεταφέρεται σε κάποιο ρευστό το οποίο κυκλοφορεί μέσα στους αγωγούς διέλευσης του ρευστού που είναι ενσωματωμένοι στον απορροφητή. Ο απορροφητής καλύπτεται στην πάνω πλευρά από ένα διαφανές κάλυμμα που μειώνει της απώλειες λόγω συναγωγής και ακτινοβολίας προς την ατμόσφαιρα, η πλάτη και τα πλαϊνά του απορροφητή είναι μονωμένα για περιορισμό των απωλειών προς το περιβάλλον. Όλα τα παραπάνω βρίσκονται «συσκευασμένα» σε ένα μεταλλικό συνήθως πλαίσιο που προσφέρει προστασία από τις καιρικές συνθήκες και ακαμψία.

Οι επίπεδοι συλλέκτες χωρίζονται ανάλογα με το ρευστό που θερμαίνουν σε συλλέκτες αέρα και σε συλλέκτες υγρού. Η συντριπτική πλειοψηφία των διαθέσιμων συλλεκτών σήμερα είναι υγρού, ενώ οι συλλέκτες αέρα είναι ακόμα στο στάδιο ανάπτυξης. Για την κατασκευή των επίπεδων συλλεκτών χρησιμοποιείται μια πληθώρα υλικών στην οποία περιλαμβάνονται ο χαλκός, ο χάλυβας, το αλουμίνιο, διάφορα είδη γυαλιού, μονωτικά κ.α.



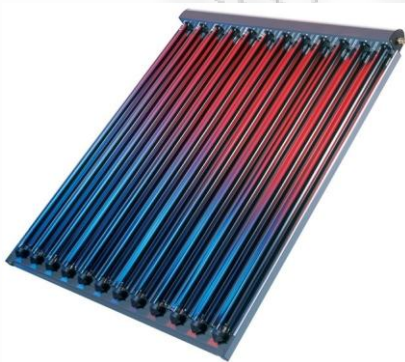
Σχήμα 2.8. Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης.

Ωστόσο, υπάρχουν και άλλες τεχνολογίες, όπως οι Σύνθετοι Παραβολικοί συγκεντρωτές (Compound Parabolic Concentrators) και οι Συλλέκτες σωλήνων κενού (Evacuated Tube collectors) οι που είναι πιο αποτελεσματικοί στη λήψη της ηλιακής ακτινοβολίας, αν και πιο ακριβοί. Το μεγαλύτερο όφελος αυτών των συλλεκτών είναι η μείωση των θερμικών απωλειών αλλά και η υψηλή απόδοση ακόμα και σε μεγάλες διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.



Σχήμα 2.9. Γυάλινοι σωλήνες κενού (ETB).

Οι Σύνθετοι Παραβολικοί συλλέκτες CPC συγκεντρώνουν την ηλιακή ενέργεια με τη χρήση ανακλαστών (που δρουν σαν καθρέφτης), προκειμένου να επικεντρώσουν την ηλιακή ακτινοβολία σε μια μικρή επιφάνεια, όπου είναι το απορροφητικό στοιχείο.

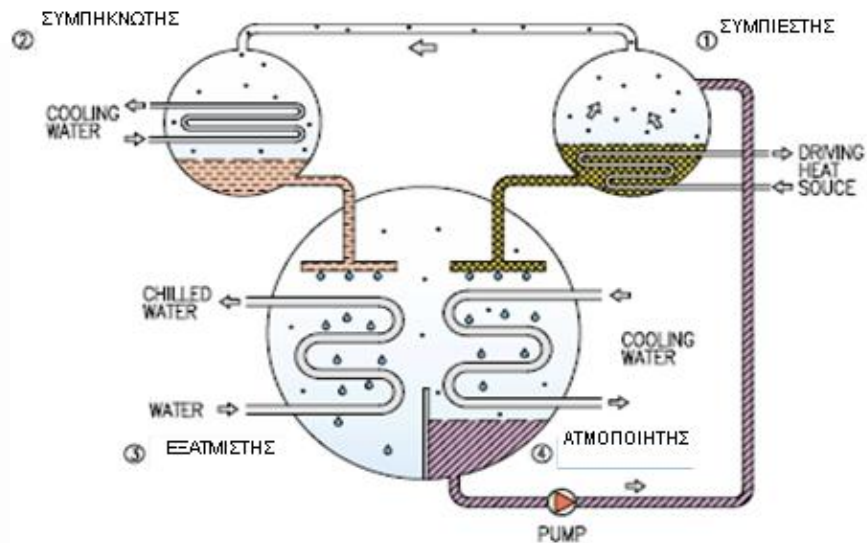


Σχήμα 2.10. Σύνθετοι παραβολικοί συλλέκτες (CPC).

Τις περισσότερες φορές, η ενέργεια που δεσμεύεται με ηλιακούς συλλέκτες χρησιμοποιείται μόνο για ζεστό νερό οικιακής χρήσης (Domestic HeatWater). Όμως, η ηλιακή θερμική ενέργεια μπορεί δυνητικά να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε κτιριακές εφαρμογές που απαιτούν πηγή θερμότητας.

Μερικά παραδείγματα που δείχνουν πώς η ενέργεια που συλλέγεται από τους ηλιακούς συλλέκτες μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά σε κτίρια είναι τα ακόλουθα:

- Για τη θέρμανση χώρων, σε γενικές γραμμές με τη σύνδεση των θερμικών ηλιακών συστημάτων απευθείας σε σύστημα ζεστού νερού ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Επειδή τα συστήματα αυτά λειτουργούν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες από ότι ενός τυπικού συστήματος θέρμανσης ζεστού νερού (π.χ. καλοριφέρ), κάνουν καλύτερη χρήση της ενέργειας που συλλέγεται από τους ηλιακούς συλλέκτες. Ο συνδυασμός της θέρμανσης χώρων και υπηρεσιών DHW (οικιακό ζεστό νερό χρήσης) με ηλιακούς συλλέκτες γενικά αναφέρεται ως σύνθετο ηλιακό σύστημα.
- Για την ψύξη χώρων, που χρησιμοποιούν τη θερμότητα που συλλέγεται και την οδηγούν σε συστήματα ψύξης. Τέτοια συστήματα ηλιακής ψύξης, κατά κανόνα εξαρτώνται από την απορρόφηση της αντλίας θερμότητας που χρησιμοποιεί την ηλιακή θερμική ενέργεια σε ένα κύκλο ψύξης (σχήμα 2.11). όπου φαίνονται τα στάδια ενός κύκλου της μηχανής ψύξης) όπου η θερμότητα που παρέχει η πηγή ενέργειας είναι αναγκαία για την οδήγηση του συστήματος ψύξης. Τέτοια συστήματα είναι τα πλέον αποτελεσματικά από πλευράς κόστους και απαιτούν εισερχόμενες θερμοκρασίες στον κύκλο ψύξης συμβατές με τις εξωτερικές θερμοκρασίες των επίπεδων συλλεκτών (της τάξης περίπου 80 - 95 °C) (Ευρωπαϊκό έργο SOLCO, ιστοσελίδα: www.solcoproject.net).



Σχήμα 2.11. Τυπικό διάγραμμα ενός κύκλου της μηχανής ψύξης [8].

Υπάρχουν πολλές ερευνητικές προσπάθειες που διεξάγονται για την προσαρμογή των συστημάτων ενός κύκλου απορρόφησης ώστε να λειτουργήσουν ομαλά με τα ηλιακά θερμικά συστήματα. Επιπλέον αναπτύσσονται συστήματα αντλιών θερμότητας με χρήση απορρόφησης, που μπορούν ακόμα και να αποθηκεύουν την ενέργεια που παράγεται από την ψύξη. Μια τέτοια νέα καινοτομική προσέγγιση, που σύντομα θα εισαχθεί στην αγορά, είναι τα συστήματα ψύξης DEC (Dessicant) που χρησιμοποιούν υγρό διάλυμα νερού/χλωριούχου λιθίου ως υλικό ρόφησης. Αυτός ο τύπος συστημάτων παρουσιάζει διάφορα πλεονεκτήματα όπως υψηλότερα ποσοστά αφύγρανσης αέρα και δυνατότητα υψηλής ενεργειακής αποθήκευσης με αποθήκευση μάζας του συμπυκνωμένου διαλύματος. Η τεχνολογία αυτή αποτελεί μια πολλά υποσχόμενη επιλογή για περαιτέρω αύξηση της εκμετάλλευσης των θερμικών ηλιακών συστημάτων κλιματισμού.

2.5.3 Φωτοβολταϊκά Συστήματα

Τα Φωτοβολταϊκά Συστήματα Φ/Β είναι συστήματα τα οποία εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια μετατρέποντας την σε ηλεκτρική. Το σημαντικό είναι ότι η ενέργεια που παράγεται με αυτό τον τρόπο, μπορεί να αποθηκευτεί σε ηλεκτρικούς συσσωρευτές (μπαταρίες) με

αποτέλεσμα να υπάρχει ανεξάντλητη, ανανεώσιμη, φθηνή και κυρίως "καθαρή" ενέργεια. Η μέγιστη απόδοση των φωτοβολταϊκών στοιχείων (Φ/B), ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους κυμαίνεται από 7% (ηλιακά στοιχεία άμορφου πυριτίου) έως 12-16% (ηλιακά στοιχεία μονοκρυσταλλικού πυριτίου) σε ιδανικές συνθήκες (Απόδοση πειραματικής Φ/B εγκατάστασης, Ομάδα Εξοικονόμησης Ενέργειας, Ινστιτούτο Ερευνών Περιβάλλοντος & Βιώσιμης Ανάπτυξης). Βέβαια η απόδοση τους εξαρτάται και από άλλους παράγοντες όπως είναι:

- Η συνθήκες ηλιακής ακτινοβολίας της περιοχής που εγκαθίστανται (όσο λιγότερες είναι οι μέρες ηλιοφάνειας τόσο μικρότερη είναι η απόδοση).
- Από το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής (όσο πιο Νότια είναι η περιοχή τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας).
- Από την κλίση των Φ/B πάνελ ως προς το οριζόντιο επίπεδο (η βέλτιστη απόδοση είναι με νότιο προσανατολισμό και κλίση περίπου 30° μοίρες).
- Από την ηλικία των Φ/B πάνελ (υπολογίζεται ότι τα πάνελ έχουν διάρκεια ζωής 20 με 30 έτη με απόδοση έως και 80% για τα πρώτα 20 έτη).

Τα Φ/B μπορούν να είναι ανταγωνιστικά με τις άλλες μορφές ενέργειας ειδικά σε περιοχές με υψηλά επίπεδα ακτινοβολίας. Σαν κυριότερες κατηγορίες εφαρμογών Φ/B συστημάτων μπορούν να θεωρηθούν οι εξής:

- Συστήματα εξωτερικού φωτισμού δρόμων, πάρκων, αεροδρομίων κλπ.
- Συστήματα αφαλάτωσης / άντλησης / καθαρισμό νερού.
- Συστήματα τηλεπικοινωνιών, τηλεμετρήσεων και συναγερμού.
- Συστήματα σηματοδότησης οδικής κυκλοφορίας, ναυτιλίας, αεροναυτιλίας κλπ.
- Αγροτικές εφαρμογές όπως ιχθυοκαλλιέργειες, ψύξη αγροτικών προϊόντων, φαρμάκων κλπ.

- Συστήματα κατοικιών για την κάλυψη έστω και μέρους των ενεργειακών αναγκών όπως φωτισμός, τηλεπικοινωνίες, ψύξη κτλ.


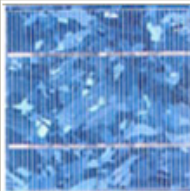
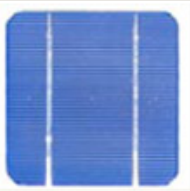
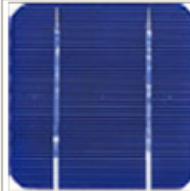
2.5.3.1 Κατηγορίες φωτοβολταϊκών κυττάρων

Τα Ηλιακά φωτοβολταϊκά κύτταρα που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια από το φως χρησιμοποιούν ένα ημιαγωγίμο υλικό, το οποίο διαθέτει την ιδιότητα να απορροφά φωτόνια και να παράγει ηλεκτρόνια (φωτοβολταϊκό φαινόμενο). Η ροή των ηλεκτρονίων αυτών συνεπάγεται και τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος. Υπάρχουν τέσσερα είδη φωτοβολταϊκών κυττάρων (PV) που είναι διαθέσιμα (F. de Winter, MIT Press, 1990):

- Τα μονοκρυσταλλικά: Είναι τα πιο αποτελεσματικά σε καλές συνθήκες φωτισμού. Αποτελείται από ένα λεπτό στρώμα καθαρού κρυσταλλικού πυριτίου. Το πάχος του είναι από 200 έως 400 μm . Τοποθετείται μεταλλικό πλέγμα το οποίο λειτουργεί ως ηλεκτρική επαφή. Τα μονοκρυσταλλικά ηλιακά στοιχεία παρουσιάζουν την υψηλότερη απόδοση αλλά και το υψηλότερο κόστος σε σχέση με τα υπόλοιπα στοιχεία πυριτίου.
- Τα πολυκρυσταλλικά: Επιτυγχάνουν υψηλή απόδοση σε καλές συνθήκες φωτισμού. Κατασκευάζονται από μεγάλες ορθογώνιες ράβδους καθαρού πυριτίου. Έχουν μικρότερη απόδοση αλλά και κόστος σε σχέση με τα μονοκρυσταλλικά.
- Λεπτής μεμβράνης (thinfilm): Είναι τα πιο αποτελεσματικά σε χαμηλές συνθήκες φωτός, παρουσιάζουν ανθεκτικότητα λόγω της ελαστικότητας τους και της ικανότητας τους να προσαρτώνται εύκολα σε κτίρια. Αποτελούνται από λεπτό στρώμα άμορφου πυριτίου το οποίο τοποθετείται σε φύλλο γυαλιού, που έχει καλυφθεί από διάφανο οξειδίο του κασσίτερου. Στην πίσω επιφάνεια τοποθετείται μεταλλικός αγωγός όπου συνδέει τα ξεχωριστά στοιχεία μεταξύ τους.

- Υβριδικά: Ένας συνδυασμός μονοκρυσταλλικών και τεχνολογιών λεπτής μεμβράνης (thin-film). Εξαιρετικής απόδοσης σε χαμηλές συνθήκες φωτισμού.

Επιπλέον υπάρχουν και άλλα υλικά που βρίσκονται σε εξέλιξη, όπως Νάνο-κρυστάλλων (quantum dots) και οι ηλιακές κυψέλες με οργανικά κύτταρα. Επιγραμματικά οι κατηγορίες των φωτοβολταϊκών κυττάρων αλλά και τα χαρακτηριστικά τους φαίνονται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 2.12).

Συγκριτικός Πίνακας φωτοβολταϊκών τεχνολογιών				
Τύπος	Thin Film	Πολυκρυσταλλικά	Μονοκρυσταλλικά	Υβριδικά
Εμφάνιση				
Απόδοση	Άμορφα: 5~7% CIS: 7~10% CdTe: 8~9%	11~14%	13~16%	16~17%
Απαιτούμενη επιφάνεια ανά kWp	10~20 m ²	8~10 m ²	7~8 m ²	6~7 m ²
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά kWp)	1300~1400	1300	1300	1350
Μέση ετήσια παραγωγή ενέργειας (kWh ανά m ²)	65~140	130~160	160~185	190~225
Ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (kg CO ₂ ανά kWp)	1380~1485	1380	1380	1435

Σχήμα 2.12. Τύποι φωτοβολταϊκών συστημάτων [9].

Τα φωτοβολταϊκά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν με διάφορους τρόπους για να αντικαταστήσουν μέρος των παραδοσιακών οικοδομικών υλικών ενός κτηρίου (πχ. κεραμοσκεπές) και να συμβάλλουν στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από το ίδιο το κτίριο. Επιπλέον μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν σε κατασκευές που περιλαμβάνουν υλικά επένδυσης τοίχων, υαλοπίνακες ή πάνελ.

2.5.4 Αιολική Ενέργεια

Η εκμετάλλευση της ενέργειας του ανέμου υπήρξε από την αρχαιότητα μια λύση για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του ανθρώπου: ιστιοφόρα, ανεμόμυλοι κ.λ.π. Για την αξιοποίηση της αιολικής ενέργειας χρησιμοποιούμε σήμερα τις ανεμογεννήτριες, οι οποίες μετατρέπουν την κινητική ενέργεια του ανέμου σε ηλεκτρική.

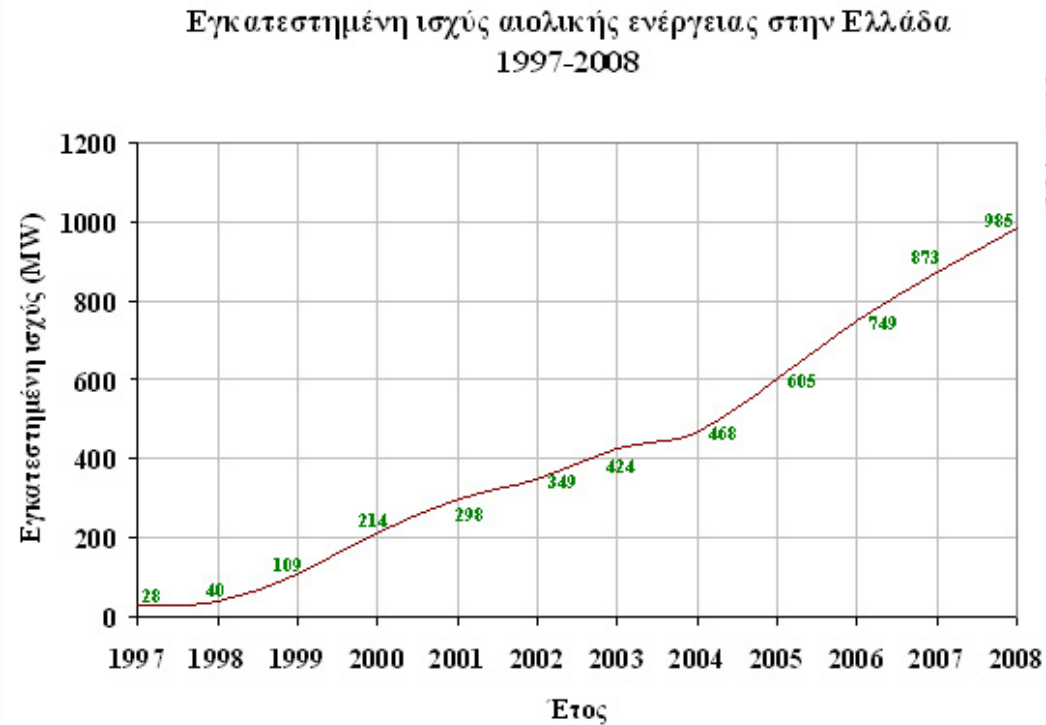
Η αιολική ενέργεια προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, πράγμα που εξηγεί γιατί είναι η περισσότερο ταχέως αναπτυσσόμενη πηγή ενέργειας στον κόσμο. Οι ερευνητικές προσπάθειες έχουν στόχο να ανταποκριθούν στις ανάγκες για ευρύτερη χρήση της αιολικής ενέργειας. Απορρέοντας από τον άνεμο, η αιολική ενέργεια είναι μια καθαρή πηγή ενέργειας. Δεν μολύνει την ατμόσφαιρα όπως τα εργοστάσια παραγωγής ηλεκτρισμού τα οποία στηρίζονται στην καύση ορυκτών καυσίμων, όπως άνθρακα ή φυσικό αέριο. Οι ανεμογεννήτριες δεν εκλύουν χημικές ουσίες στο περιβάλλον οι οποίες προκαλούν όξινη βροχή ή αέρια του θερμοκηπίου.

Οι μικρές ανεμογεννήτριες αποτελούν κατάλληλη και βιώσιμη λύση για περιοχές χωρίς πρόσβαση σε ηλεκτρικό δίκτυο. Όπως και άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (π.χ. τα φωτοβολταϊκά), μικρές ανεμογεννήτριες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτόνομα ή υβριδικά συστήματα για παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, ενώ μικρά οικιακά και εμπορικά συστήματα μπορούν να συνδεθούν στο δίκτυο τροφοδοτώντας το με περίσσεια πράσινης ενέργειας.

Οι νησιωτικές περιοχές της Ελλάδας είναι από τις ευνοϊκότερες γεωγραφικές θέσεις παγκοσμίως για την εκμετάλλευση της αιολικής ενέργειας.

Παρά ταύτα στην Ελλάδα, η ανάπτυξη της αιολικής ενέργειας, αντιμετωπίζει μέχρι τώρα αρκετά προβλήματα. Η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος τα τελευταία χρόνια, είναι κοινά αποδεκτό ότι είναι πολύ μικρή δεδομένου του πλούσιου αιολικού δυναμικού της χώρας μας. Κύριος λόγος για τη μικρή ανάπτυξη μέχρι το 2001 ήταν το νομοθετικό καθεστώς και το μονοπωλιακό μοντέλο της οικονομίας στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Μετά τις νομοθετικές αλλαγές στο

χώρο των ΑΠΕ και την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, η κατάσταση βελτιώθηκε σημαντικά (Σχήμα 2.13).



Σχήμα 2.13: Εγκατεστημένη ισχύς αιολικής ενέργειας στην Ελλάδα 1997- 2008 [10].

Στα μειονεκτήματα της αιολικής ενέργειας είναι ότι πρέπει να συναγωνιστεί τις συμβατικές πηγές ενέργειας σε επίπεδο κόστους. Ανάλογα με το πόσο ενεργητική, ως προς τον άνεμο, είναι μια τοποθεσία, το αιολικό πάρκο μπορεί ή δεν μπορεί να είναι ανταγωνιστικό ως προς το κόστος. Παρότι το κόστος της αιολικής ενέργειας έχει μειωθεί δραματικά τα τελευταία 10 χρόνια, η τεχνολογία απαιτεί μια αρχική επένδυση υψηλότερη από εκείνη των γεννητριών που λειτουργούν με καύση ορυκτών. Η ισχυρότερη πρόκληση στη χρησιμοποίηση του ανέμου ως πηγή ενέργειας είναι ότι :

- Ο άνεμος είναι περιοδικά διακοπτόμενος και δεν φυσά πάντα όταν ο ηλεκτρισμός απαιτείται. Η αιολική ενεργεία δεν μπορεί να αποθηκευτεί εύκολα (εκτός αν χρησιμοποιηθούν υβριδικές μονάδες η μπαταρίες).

- Τα κατάλληλα σημεία για αιολικά πάρκα συχνά βρίσκονται σε απομακρυσμένες περιοχές, μακριά από πόλεις όπου χρειάζεται ο ηλεκτρισμός.
- Η χρήση γης για εκμετάλλευση του ανέμου ως φυσικού πόρου λειτουργεί πολλές φορές ανταγωνιστικά με άλλες χρήσεις.
- Αν και τα αιολικά πάρκα έχουν σχετικά μικρή επίπτωση στο περιβάλλον σε σύγκριση με άλλες συμβατικές εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας, υπάρχουν ορισμένες φορές υπερβολικές αντιρρήσεις για την αισθητική (οπτική) επίπτωση.

2.5.5 Βιομάζα

Με τον όρο βιομάζα εννοούμε τα καυσόξυλα, τα φυτικά και δασικά υπολείμματα (κλαδοδέματα, άχυρα, πριονίδια, ελαιοπυρήνες, κουκούτσια), τα ζωικά απόβλητα (κοπριά, άχρηστα αλιεύματα), τα φυτά που καλλιεργούνται στις ενεργειακές φυτείες ειδικά για να χρησιμοποιηθούν ως πηγή ενέργειας, καθώς επίσης και τα αστικά απορρίμματα και τα υπολείμματα της βιομηχανίας τροφίμων και της αγροτικής βιομηχανίας.

Οι κυριότερες χρήσεις της βιομάζας είναι:

- Θέρμανση θερμοκηπίων.
- Θέρμανση κτιρίων με καύση βιομάζας σε ατομικούς/κεντρικούς λέβητες : Σε ορισμένες περιοχές της Ελλάδας χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση κτιρίων ατομικοί/κεντρικοί λέβητες πυρηνόξυλου.
- Παραγωγή ενέργειας σε γεωργικές βιομηχανίες.
- Παραγωγή ενέργειας σε βιομηχανίες ξύλου.
- Τηλεθέρμανση : είναι η προμήθεια θέρμανσης χώρων καθώς και θερμού νερού χρήσης σε ένα σύνολο κτιρίων, έναν οικισμό, ένα χωριό ή μια πόλη, από έναν κεντρικό σταθμό παραγωγής θερμότητας. Η θερμότητα μεταφέρεται με προ-μονωμένο δίκτυο αγωγών από το σταθμό προς τα θερμαινόμενα κτίρια.
- Παραγωγή ενέργειας σε μονάδες βιολογικού καθαρισμού και Χώρους Υγειονομικής Ταφής Απορριμμάτων (ΧΥΤΑ).

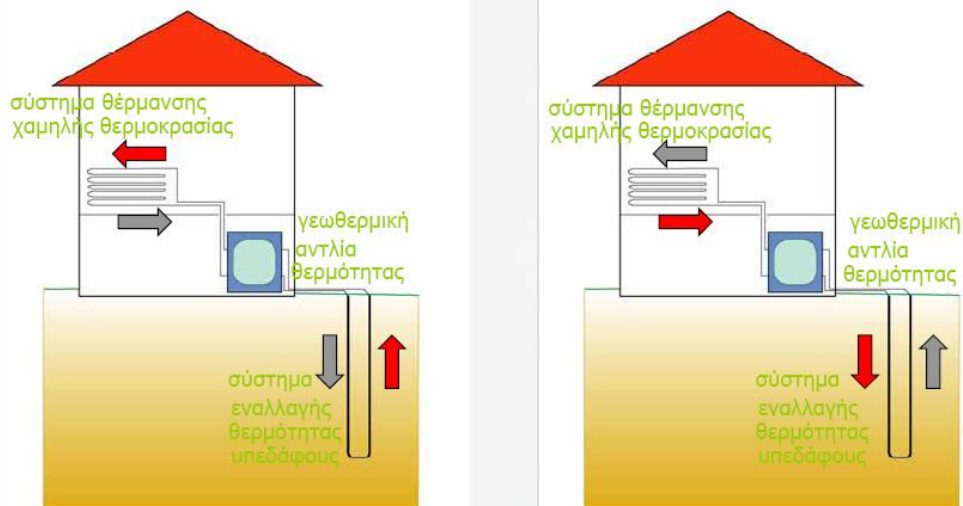
2.5.6 Γεωθερμία

Η Γεωθερμία είναι μία ήπια και ανανεώσιμη ενεργειακή πηγή που μπορεί με τις σημερινές τεχνολογικές δυνατότητες να καλύψει ενεργειακές ανάγκες θέρμανσης, αλλά και να παραγάγει ηλεκτρική ενέργεια σε ορισμένες περιπτώσεις. Η θερμοκρασία του γεωθερμικού ρευστού ή ατμού ποικίλει από περιοχή σε περιοχή και μπορεί να έχει τιμές από 25 °C μέχρι 350 °C. Στις περιπτώσεις που τα γεωθερμικά ρευστά έχουν υψηλή θερμοκρασία (πάνω από 150 °C) η γεωθερμική ενέργεια χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Όταν η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη, η γεωθερμική ενέργεια αξιοποιείται για τη θέρμανση κατοικιών, θερμοκηπίων, κτηνοτροφικών μονάδων, ιχθυοκαλλιεργειών κ.λπ.

Επίσης ο γεωθερμικός κλιματισμός (θέρμανση και ψύξη) χώρων άρχισε να αναπτύσσεται σημαντικά από τη δεκαετία του 1980, ακολουθώντας την εμφάνιση και την ευρεία διάδοση των αντλιών θερμότητας (heat pumps). Οι πολλοί διαθέσιμοι τύποι αντλιών θερμότητας επιτρέπουν την απόληψη και χρήση με οικονομικό τρόπο του θερμικού περιεχομένου των σωμάτων χαμηλής θερμοκρασίας, όπως είναι το έδαφος. Λίγα μέτρα κάτω από την επιφάνεια του εδάφους, η θερμοκρασία της γης τείνει να παραμείνει σταθερή, με μικρή διακύμανση λόγω του αέρα και της θερμοκρασίας της επιφάνειας. Αυτή η σταθερή πηγή θερμότητας μπορεί να αξιοποιηθεί με χρήση αντλιών θερμότητας επιφανειακής πηγής τόσο για θέρμανση όσο και για την ψύξη χώρων (Σχήμα 2.14).

χειμώνας - θέρμανση

καλοκαίρι - ψύξη



Σχήμα 2.14. Αντλία θερμότητας για θέρμανση - ψύξη χώρων [11].

Οι αντλίες θερμότητας επιφανειακής πηγής έχουν ως σκοπό την απαγωγή της θερμότητας χαμηλής θερμοκρασίας κοντά στην επιφάνεια του εδάφους. Μια αντλία θερμότητας χρησιμοποιείται για τη μεταφορά της θερμότητας από το έδαφος μέσω ενός σωλήνα που είναι θαμμένος στο έδαφος και χρησιμοποιώντας ως εργαζόμενο μέσο, υγρό ώστε να απορροφά τη θερμότητα, η οποία στη συνέχεια διανέμεται στο σύστημα θέρμανσης ενός κτηρίου.

Αυτή η τεχνολογία μπορεί να εκμεταλλευτεί ενέργεια της τάξης των 4kWh σε ωφέλιμη θερμότητα σε ένα σπίτι ή κτίριο. Το σύστημα μπορεί να συνδεθεί με ένα σύστημα θέρμανσης (καλοριφέρ) ή σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης. Η τεχνολογία είναι εμπορικά διαθέσιμη, σε μεγάλο βαθμό έχουν ήδη δοκιμαστεί και εφαρμοστεί στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική. Έχει τη δυνατότητα να αντικαταστήσουν τα παραδοσιακά συστήματα θέρμανσης είναι εύκολο να συνδεθούν με υφιστάμενες σωληνώσεις καλοριφέρ στα σπίτια.

Επιπλέον με την αντιστρέψιμη λειτουργία πολλών αντλιών θερμότητας, παρέχουν τόσο ψύξη όσο και θέρμανση στο χώρο. Βέβαια, για τη λειτουργία των αντλιών θερμότητας απαιτείται δαπάνη ενέργειας, ενώ η χρήση τους ενδείκνυται κατά κύριο λόγο σε περιοχές κατάλληλων κλιματικών συνθηκών, οπότε για να είναι θετική η ενεργειακή ισορροπία πρέπει να προηγηθεί ένας σωστός σχεδιασμός.

Οι αντλίες θερμότητας επιφανειακής πηγής είναι επίσης κατάλληλες για τα εμπορικά και βιομηχανικά κτίρια.

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτής της τεχνολογίας είναι πολύ χαμηλές. Εάν χρησιμοποιούνται ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τη λειτουργία της αντλία θερμότητας τότε το σύστημα αποτελεί μια καθαρά πράσινη τεχνολογία. Δυσνητικά κάθε σπίτι με κήπο θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει μια αντλία θερμότητας υπόγειας πηγής.

Υπάρχουν προφανή οφέλη με τη χρήση της τεχνολογίας αυτή σε σχέση με ένα συμβατικό σύστημα θέρμανσης (που χρησιμοποιεί ορυκτά καύσιμα ως πηγή ενέργειας). Το κόστος της αρχικής εγκατάστασης είναι υψηλότερο σε σύγκριση με ένα παραδοσιακό σύστημα λεβήτων και καλοριφέρ ή ένα σύστημα ενδοδαπέδιας θέρμανσης, αλλά το κόστος λειτουργίας είναι σημαντικά χαμηλότερο σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μορφές θέρμανσης με την τρέχουσα τιμή της ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως, η εγκατάσταση του εδάφους πηγών αντλίες θερμότητας θα αυξήσει τη χρήση ηλεκτρικής ενέργειας σε μια στιγμή που είναι απαραίτητη η μείωση της ζήτησης. Με την τιμή του φυσικού αερίου να αυξάνεται, το κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας θα αυξηθεί, με αποτέλεσμα το κόστος της λειτουργίας μιας αντλίας θερμότητας πηγής εδάφους να αυξηθεί.

2.5.6.1 Συστήματα γεωθερμικής αντλίας θερμότητας

Όπως είδαμε στην προηγούμενη ενότητα μια γεωθερμική αντλία θερμότητας είναι μια αντλία θερμότητας που χρησιμοποιεί τη γη είτε ως πηγή θερμότητας, όταν βρίσκεται σε λειτουργία θέρμανσης, ή θερμική καταβόθρα, όταν λειτουργεί κατά τη λειτουργία ψύξης. Η πηγή θερμότητας ή η θερμική καταβόθρα χρησιμοποιείται για την αλλαγή της κατάστασης του εργαζόμενου μέσου στο κύκλωμα θέρμανσης - ψύξης, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη δυνατότητα της συσκευής για την απαγωγή της θερμότητας ή την παροχή θερμότητας αντίστοιχα.

Τα συστήματα Γεωθερμικής Αντλίας Θερμότητας αποτελούνται από τρεις ενότητες:

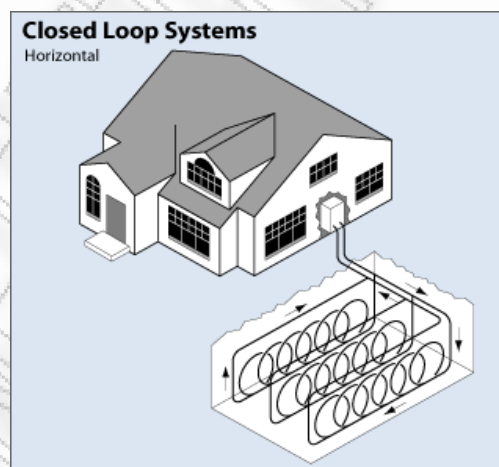
- α) Τον Γεωθερμικό Εναλλάκτη που είναι το σύστημα το οποίο απορροφά ή αποβάλλει θερμότητα στο έδαφος.
- β) Την αντλία Θερμότητας που λειτουργεί αντίστοιχα με τις αντλίες νερού μόνο που ανυψώνει, αντί για νερό, θερμική ενέργεια. Δηλαδή αντλεί ενέργεια από ένα χώρο (π.χ. θερμοκρασίας 5°C) και την μεταφέρει σε ένα άλλο χώρο υψηλότερης θερμοκρασίας (π.χ. θερμοκρασίας 25°C). Η πιο γνωστή Αντλία Θερμότητας είναι το ψυγείο, το οποίο αντλεί θερμική ενέργεια από τον εσωτερικό του χώρο και την απορρίπτει στο δωμάτιο που είναι εγκατεστημένο, διατηρώντας έτσι την θερμοκρασία του εσωτερικού του σε χαμηλά επίπεδα. Η ηλεκτρική ενέργεια που ξοδεύουμε για την λειτουργία της αντλίας είναι πολύ λιγότερη από αυτή που μεταφέρουμε.
- γ) Το σύστημα που προσδίδει ή απορροφά θερμότητα από το σπίτι. Οι Αντλίες Θερμότητας δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τα κοινά σώματα των καλοριφέρ, καθώς αυτά απαιτούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες νερού, αλλά μόνο με Fan Coils (Σώματα Εξαναγκασμένης Κυκλοφορίας αέρα) ή με Ενδοδαπέδιο / Επιτοίχια Θέρμανση. Η Ενδοδαπέδια Θέρμανση είναι και η πιο ενδεδειγμένη καθώς εξασφαλίζει τις βέλτιστες συνθήκες θερμικής άνεσης και επιτρέπει και την εκμετάλλευση άλλων ήπιων συστημάτων όπως οι ηλιακοί συλλέκτες.

Η γεωθερμική αντλία ανταλλάσσει τη θερμότητα με τη βοήθεια ενός συστήματος σωληνώσεων, κατάλληλα τοποθετημένων, στο οποίο κυκλοφορεί το ρευστό μέσο (νερό).

2.5.6.2 Συστήματα ανατροφοδότησης με χρήση αντλίας θερμότητας

Είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν τέσσερις βασικοί τύποι συστημάτων ανατροφοδότησης (ανακύκλωσης του νερού). Τα τρία είναι κλειστού βρόχου συστήματα, ενώ το τέταρτο είναι ανοικτού βρόχου. Η απόδοση του συστήματος εξαρτάται από το κλίμα, τον τύπο του εδάφους, το διαθέσιμο έδαφος και των επιμέρους εξόδων εγκατάστασης στο χώρο. Όλες αυτές οι προσεγγίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή κατοικιών και εμπορικών εφαρμογών.

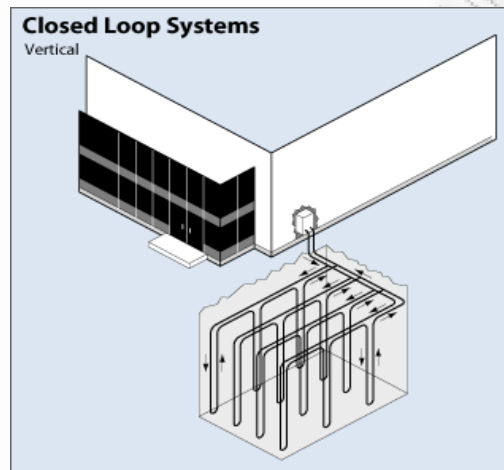
Τα συστήματα κλειστού βρόχου είναι γενικά πιο οικονομικά αποδοτικά για οικιακές εγκαταστάσεις, η για νέες κατασκευές όπου είναι αρκετή γη διαθέσιμη. Απαιτεί την διάνοιξη υπογείου αυλακιού τουλάχιστον βάθους 1 μέτρου από την επιφάνεια. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν διατάξεις δύο σωλήνων, έναν στα 2 μέτρα από την επιφάνεια, και τον άλλον στο 1 μέτρο, ή δύο σωλήνες που τοποθετούνται η μία δίπλα στην άλλη στο 1,5 μέτρα από τη επιφάνεια του εδάφους.



Σχήμα 2.15. Κλειστού βρόχου - οριζόντια διάταξη [12].

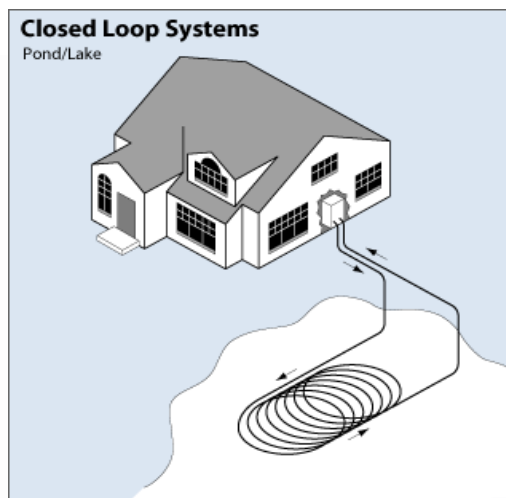
Τα μεγάλα εμπορικά κτίρια και τα σχολεία συχνά κάνουν χρήση κάθετων συστημάτων, διότι η έκταση της γης που απαιτείται για την οριζόντιου βρόχου είναι απαγορευτική. Η χρήση κατακόρυφων βρόχων χρησιμοποιούνται επίσης όπου το έδαφος είναι πολύ ρηχά για

trenching και την ελαχιστοποίηση της διατάραξης του τοπίου στις υπάρχουσες. Για ένα κάθετο σύστημα, τοποθετούνται σωληνώσεις με απόσταση μεταξύ τους περίπου 6 μέτρων, και σε βάθος 30 έως 120 μέτρα. Οι σωληνώσεις συνδέονται μεταξύ τους ώστε να σχηματίσουν ένα βρόχο. Η κατακόρυφη βρόχοι συνδέονται με οριζόντιες σωλήνες, τοποθετούνται σε τάφρους, και συνδέεται με την αντλία θερμότητας στο κτίριο.



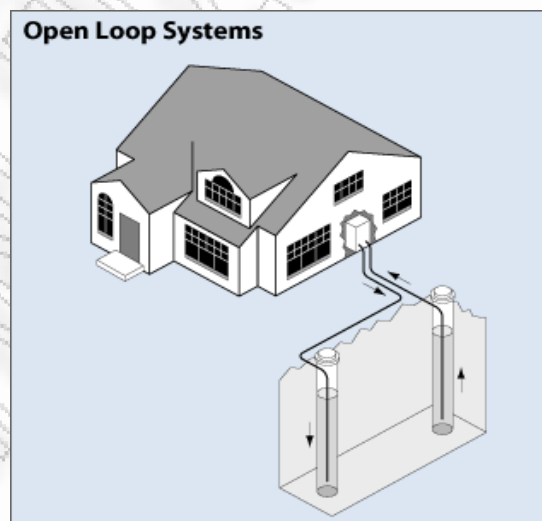
Σχήμα 2.16. Κλειστού βρόχου - Κατακόρυφη διάταξη [12].

Συστήματα κλειστού βρόχου για χρήση σε παρακείμενη λίμνη. Αν ο διαθέσιμος χώρος έχει επαρκές νερό (λίμνη), μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ταμιευτήρας ανάκτησης θερμότητας με χαμηλό κόστος εγκατάστασης. Απαιτούνται σωληνώσεις περιελιγμένες σε κύκλους τουλάχιστον 2,5 μέτρα κάτω από την επιφάνεια του νερού για την προστασία από πάγωμα. Το δίκτυο θα πρέπει να τοποθετηθεί μόνον σε μια πηγή νερού που πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις σε όγκο, βάθος, και διάφορα αλλά κριτήρια ποιότητας.



Σχήμα 2.17. Ανοιχτού βρόχου - GHP [12].

Αυτός ο τύπος του συστήματος χρησιμοποιεί το νερό για ανταλλαγή θερμότητας απευθείας ως εργαζόμενο μέσο που κυκλοφορεί μέσω των σωληνώσεων. Μόλις έχει κυκλοφορήσει μέσω του συστήματος, το νερό επιστρέφει στο έδαφος από τον ένα υπόγειο ταμιευτήρα στον άλλο, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 2.18). Η επιλογή αυτή είναι πρακτική μόνο όταν υπάρχει επαρκής παροχή σχετικά ποσότητα καθαρού νερού, καθώς και όλους τους τοπικούς κώδικες και πληρούνται οι κανονισμοί χρήσης υπόγειων υδάτων.



Σχήμα 2.18. Ανοιχτού βρόχου με χρήση κατακόρυφων δεξαμενών [12].

2.5.7 Η Υδραυλική Ενέργεια

Η υδραυλική ενέργεια, όπως λέγεται η ενέργεια του νερού, είναι μια παραδοσιακή πηγή ενέργειας που χρησιμοποιείται εδώ και πολλά χρόνια από τον άνθρωπο. Το νερό πέφτοντας από κάποιο ύψος ή ρέοντας με μεγάλη ταχύτητα μπορεί να περιστρέψει τροχούς με πτερύγια (υδροστροβίλους). Αυτή την περιστροφή την αξιοποιούμε παράγοντας ηλεκτρική ενέργεια σε ειδικές εγκαταστάσεις (υδροηλεκτρικοί σταθμοί).

Η μετατροπή της ενέργειας των υδατοπτώσεων με τη χρήση υδραυλικών τουρμπίνων παράγει την ηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια αυτή ταξινομείται σε υδροηλεκτρική ενέργεια μεγάλης και μικρής κλίμακας. Η υδροηλεκτρική ενέργεια μικρής κλίμακας διαφέρει σημαντικά από αυτή της μεγάλης σε ότι αφορά τις επιπτώσεις της στο περιβάλλον. Οι υδροηλεκτρικές μονάδες μεγάλης κλίμακας απαιτούν τη δημιουργία φραγμάτων και τεράστιων δεξαμενών με σημαντικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα και γενικότερα στο άμεσο περιβάλλον.

Τα συστήματα μικρής κλίμακας τοποθετούνται δίπλα σε ποτάμια και κανάλια με αποτέλεσμα να έχουν λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον. Υδροηλεκτρικές μονάδες λιγότερες των 30 MW χαρακτηρίζονται μικρής κλίμακας και θεωρούνται ανανεώσιμες πηγές. Το γρήγορα κινούμενο νερό οδηγείται μέσα από τούνελ με σκοπό να θέσει σε λειτουργία τις τουρμπίνες παράγοντας έτσι μηχανική ενέργεια. Μια γεννήτρια μετατρέπει αυτή την ενέργεια σε ηλεκτρική. Σε αντίθεση με το ότι συμβαίνει με τα ορυκτά καύσιμα, το νερό δεν αχρηστεύεται κατά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για άλλους σκοπούς.

Φυσικά, μόνο σε περιοχές με σημαντικές υδατοπτώσεις, πλούσιες πηγές και κατάλληλη γεωλογική διαμόρφωση είναι δυνατόν να κατασκευασθούν υδατοταμιευτήρες. Συνήθως η ενέργεια που τελικώς παράγεται με τον τρόπο αυτό, χρησιμοποιείται μόνο συμπληρωματικά με άλλες συμβατικές πηγές ενέργειας, σε ώρες αιχμής.

Στη χώρα μας η υδροηλεκτρική ενέργεια ικανοποιεί περίπου το 10% των ενεργειακών μας αναγκών.

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση της υδραυλικής ενέργειας είναι:

- Οι υδροηλεκτρικοί σταθμοί είναι δυνατό να τεθούν σε λειτουργία αμέσως μόλις ζητηθεί επιπλέον ηλεκτρική ενέργεια, σε αντίθεση με τους θερμικούς σταθμούς (γαιανθράκων, πετρελαίου), που απαιτούν χρόνο προετοιμασίας.
- Είναι μία "καθαρή" και ανανεώσιμη πηγή ενέργειας, με τα γνωστά πλεονεκτήματα (εξοικονόμηση συναλλάγματος, φυσικών πόρων, προστασία περιβάλλοντος).
- Μέσω των υδροταμιευτήρων δίνεται η δυνατότητα να ικανοποιηθούν και άλλες ανάγκες, όπως ύδρευση, άρδευση, ανάσχεση χειμάρρων, δημιουργία υγροτόπων, αναψυχή, αθλητισμός.

Τα μειονεκτήματα που συνήθως εμφανίζονται είναι:

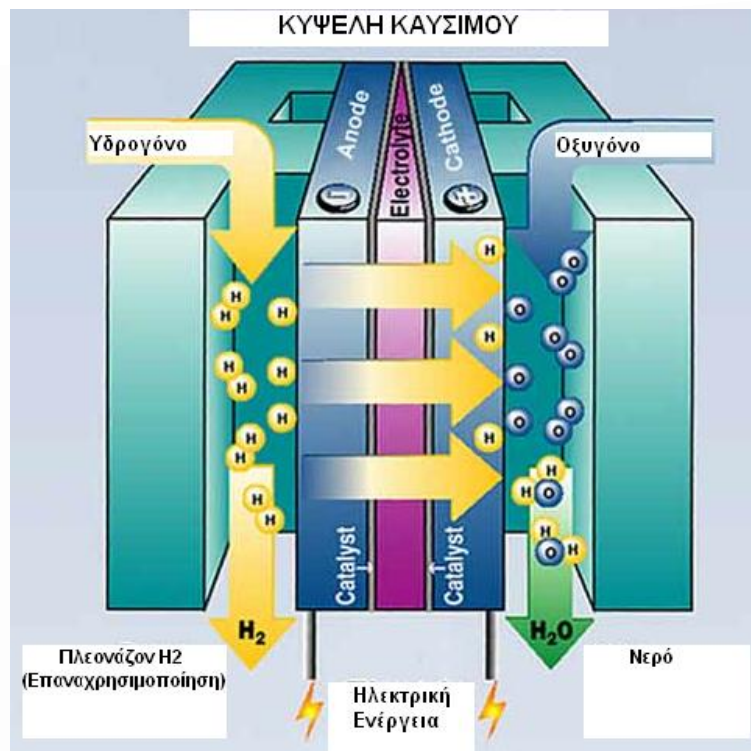
- Το μεγάλο κόστος κατασκευής φραγμάτων και εξοπλισμού των σταθμών ηλεκτροπαραγωγής καθώς και η μεγάλη χρονική διάρκεια απαιτείται μέχρι την αποπεράτωση του έργου.
- Η έντονη περιβαλλοντική αλλοίωση στην περιοχή του ταμιευτήρα (ενδεχόμενη μετακίνηση πληθυσμών, υποβάθμιση περιοχών, αλλαγή στη χρήση γης, στη χλωρίδα και πανίδα περιοχών αλλά και του τοπικού κλίματος, αύξηση σεισμικής επικινδυνότητας, κ.ά.). Η διεθνής πρακτική σήμερα προσανατολίζεται στην κατασκευή μικρών φραγμάτων.

Στο σύνολο τους οι ΑΠΕ υπόσχονται να δώσουν σπουδαίες εναλλακτικές τεχνικές στο ενεργειακό πρόβλημα αλλά και να δώσουν λύσεις στα τεράστια περιβαλλοντολογικά προβλήματα του πλανήτη.

2.6 Κυψέλες καυσίμου

Οι κυψέλες καυσίμου (fuel cells) αναμένεται να παίξουν σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στον 21^ο αιώνα. Η ανάγκη για απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και για εύρεση «καθαρών» πηγών ενέργειας γίνεται ολοένα και πιο επιτακτική λόγω της ενεργειακής κρίσης και της μόλυνσης του περιβάλλοντος. Οι κυψέλες διακρίνονται για τα σημαντικά επιθυμητά χαρακτηριστικά τους και έχουν μεγάλο φάσμα εφαρμογών. Η τεχνολογία τους αναπτύσσεται ραγδαία τα τελευταία χρόνια με κύριο προσανατολισμό να ξεπεραστούν τα διάφορα προβλήματα που τις συνοδεύουν.

Οι κυψέλες καυσίμου αποτελούνται από δυο ηλεκτρόδια (την άνοδο και την κάθοδο), τα οποία διαχωρίζονται από έναν ηλεκτρολύτη (Σχήμα 2.19). Ο ηλεκτρολύτης είναι από πολυμερές ή άλλο υλικό, το οποίο επιτρέπει την διέλευση ιόντων, αλλά όχι τη διέλευση των ηλεκτρονίων. Ο ηλεκτρολύτης συνδέεται με τα ηλεκτρόδια. Η άνοδος τροφοδοτείται με το καύσιμο (Υδρογόνο) και η κάθοδος με την οξειδωτική ουσία (Οξυγόνο). Στην άνοδο, τα μόρια του υδρογόνου οξειδώνονται σε θετικά φορτισμένα ιόντα υδρογόνου, απελευθερώνοντας ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια πηγαίνουν μέσω του εξωτερικού κυκλώματος στην κάθοδο και παράγεται έτσι ηλεκτρικό ρεύμα. Τα κατιόντα του υδρογόνου διασκορπώνται μέσω του ηλεκτρολύτη στην κάθοδο αντιδρούν με οξυγόνο και παράγεται νερό.



Σχήμα 2.19. Διάγραμμα λειτουργίας κυψέλης καυσίμου.

Επομένως οι κυψέλες καυσίμου (fuel cells) είναι ηλεκτροχημικές συσκευές που μετατρέπουν τη χημική ενέργεια του καυσίμου απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια με υψηλή απόδοση και χαμηλή περιβαλλοντική επιβάρυνση. Επειδή αποφεύγονται τα ενδιάμεσα στάδια της παραγωγής θερμότητας και μηχανικού έργου των συμβατικών μεθόδων παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος, οι κυψέλες καυσίμου δεν περιορίζονται από τους θερμοδυναμικούς περιορισμούς των θερμικών μηχανών, όπως η απόδοση Carnot. Επιπλέον, εξαιτίας της απουσίας καύσης, οι κυψέλες καυσίμου έχουν ελάχιστους ρύπους. Αντίθετα με τις μπαταρίες, οι κυψέλες καυσίμου πρέπει να τροφοδοτούνται αδιάλειπτα με καύσιμο και οξειδωτική ουσία για να λειτουργούν συνεχώς. Παρόλο που οι κυψέλες καυσίμου έχουν τη δυνατότητα να επεξεργαστούν ένα μεγάλο εύρος καυσίμων και οξειδωτικών ουσιών, το ενδιαφέρον εστιάζεται στις κυψέλες που χρησιμοποιούν για καύσιμο τα συνηθισμένα καύσιμα (ή τα παράγωγα τους) ή υδρογόνο, και για οξειδωτική ουσία ατμοσφαιρικό αέρα.

Η τάση κατανάλωσης καυσίμων όλο και λιγότερης περιεκτικότητας σε άνθρακα είναι ιστορικά εμφανής. Το υδρογόνο, απαλλαγμένο από κάθε ποσοστό άνθρακα, μπορεί να προσφέρει αρκετή ενέργεια με πιο καθαρές και αποδοτικές εναλλακτικές λύσεις από την καύση βενζίνης και άλλων ορυκτών πόρων. Οι κυψέλες καυσίμου μπορούν να αντικαταστήσουν τις μηχανές εσωτερικής καύσης στα οχήματα και να παρέχουν ενέργεια σε σταθερές και κινητές εφαρμογές όπως είναι τα κινητά τηλέφωνα και οι φορητοί υπολογιστές όσο και σε μεγάλες φορητές συσκευές όπως τα αυτοκίνητα, τα φορτηγά, ή τα πλοία. Ακόμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για θέρμανση και παροχή ενέργειας σε γεννήτριες για οικιακή ή βιομηχανική χρήση.

2.6.1 Τύποι κυψελών καυσίμου

Οι διάφοροι τύποι κυψελών καυσίμου χαρακτηρίζονται από τον ηλεκτρολύτη που χρησιμοποιούν και διακρίνονται σε (Κυψέλες καυσίμου, ιστοσελίδα: www.cres.gr):

- Κυψέλες καυσίμου μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC ή PEFC),
- Αλκαλικές κυψέλες καυσίμου (AFC),
- Κυψέλες καυσίμου φωσφορικού οξέος (PAFC),
- Κυψέλες καυσίμου τήγματος ανθρακικών αλάτων (MCFC),
- Κυψέλες καυσίμου στερεών οξειδίων (SOFC).

ΤΥΠΟΙ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ					
ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΗΣ	ΜΕΜΒΡΑΝΗ ΑΝΤΑΛΛΑΓΗΣ ΠΡΩΤΟΝΙΩΝ	ΑΛΚΑΛΙΑ	ΦΩΣΦΟΡΙΚΟ ΟΞΥ	ΤΗΓΜΕΝΑ ΑΝΘΡΑΚΙΚΑ ΑΛΑΤΑ	ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΟΞΕΙΔΙΑ
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	80 °C	60-150 °C	ΠΕΡΙΠΟΥ 200 °C	650 °C	800-1000 °C
ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΦΟΡΕΑΣ	ΙΟΝ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	ΙΟΝ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	ΙΟΝ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ	ΑΝΘΡΑΚΙΚΟ ΙΟΝ	ΙΟΝ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ
ΚΑΤΑΛΥΤΗΣ	ΠΛΑΤΙΝΑ	ΠΛΑΤΙΝΑ	ΠΛΑΤΙΝΑ	ΝΙΚΕΛΙΟ	ΤΙΤΑΝΙΚΟ ΑΣΒΕΣΤΙΟ
ΑΠΟΔΟΣΗ (%)	40-50	70	40-60	>60	>60
ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	ΜΕΤΑΦΟΡΕΣ, ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ, ΦΟΡΗΤΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ	ΔΙΑΣΤΗΜΑ	ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΕ ΚΤΙΡΙΑΚΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ	ΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	ΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΣΥΜΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Πίνακας 2.1. Τύποι κυψελών καυσίμου [13].

Οι κυψέλες καυσίμων μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ποικίλα καύσιμα και μάλιστα με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Όσον αφορά την παραγωγή υδρογόνου, τεχνολογίες εκμετάλλευσης των ΑΠΕ που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια δύνανται να παράγουν υδρογόνο μέσα από μία συσκευή ηλεκτρόλυσης. Έτσι η αιολική, η ηλιακή, η γεωθερμική ενέργεια, το υδάτινο δυναμικό και η κυματική ενέργεια δύνανται να παράγουν ηλεκτρολυτικό υδρογόνο μέσα από συσκευές που λειτουργούν υπό πίεση (5 έως 30 bar), κατάλληλες για λειτουργία με μεταβαλλόμενες συνθήκες εισόδου, αντίστοιχες δηλαδή με αυτές που παράγουν οι ΑΠΕ.

Οι κυψέλες καυσίμων μπορούν επίσης να χρησιμοποιήσουν καύσιμα που περιέχουν υδρογόνο, συμπεριλαμβανομένης της μεθανόλης, της αιθανόλης, του φυσικού αερίου, και των ορυκτών καυσίμων ακόμη όπως η βενζίνη ή το ντίζελ. Τα καύσιμα που περιέχουν υδρογόνο απαιτούν γενικά έναν «μετασχηματιστή καυσίμου» που θα εξάγει από το καύσιμο το υδρογόνο. Η ενέργεια θα μπορούσε επίσης να παρασχεθεί από τη βιομάζα, τον αέρα, την ηλιακή ενέργεια ή άλλες ανανεώσιμες πηγές.

Οι κυψέλες καυσίμων σήμερα λειτουργούν με πολλά διαφορετικά καύσιμα, ακόμη και βιοαέριο από τις εγκαταστάσεις επεξεργασίας στερεών-υγρών απόβλητων. Επίσης οι ανεμογεννήτριες, τα Φ/Β συστήματα και οι υδροηλεκτρικοί στρόβιλοι μπορούν επίσης να παράξουν καθαρή ηλεκτρική ενέργεια για να διασπάσουν το νερό σε υδρογόνο και οξυγόνο. Αυτή τη στιγμή το καταλληλότερο καύσιμο για τις κυψέλες καυσίμου είναι το φυσικό αέριο.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 2.20) παρατίθενται οι διάφορες τεχνολογίες κυψελών καυσίμου με βάση το πεδίο εφαρμογών τους και των κύριων πλεονεκτημάτων τους για τα διάφορα είδη.

ΤΥΠΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	φορητός ηλεκτρονικός εξοπλισμός			αυτοκίνητα, σκάφη και οικιακή CHP			διανεμημένη παραγωγή, CHP, λεωφορεία	
	1	10	100	1k	10K	100k	1M	10M
ΙΣΧΥΣ(watt)	1	10	100	1k	10K	100k	1M	10M
ΚΥΡΙΑ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	υψηλότερη ενεργειακή πυκνότητα από τις μπαταρίες -πιο γρήγορη επαναφόρτιση			μηδενικοί ρύποι -υψηλότερες αποδόσεις			υψηλότερες αποδόσεις -λιγότερη μόλυνση -αθόρυβη λειτουργία	
ΕΥΡΟΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΩΝ ΤΥΠΩΝ ΚΥΨΕΛΩΝ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	DMFC			AFC		MCFC		
							SOFC	
	PEMFC							
							PAFC	

Σχήμα 2.20. Συνοπτικό διάγραμμα των εφαρμογών και των κύριων πλεονεκτημάτων των κυψελών καυσίμου για τα διάφορα είδη, καθώς και για τις διάφορες εφαρμογές [14].

Η κυψέλη καυσίμου μεμβράνης ανταλλαγής πρωτονίων (PEMFC) παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, αφού το μεγάλο εύρος ισχύος της (από μερικά Watt μέχρι εκατοντάδες KW) και η χαμηλή θερμοκρασία λειτουργίας της, την καθιστούν κατάλληλη για οικιακές και μικρές βιομηχανικές εφαρμογές. Επίσης, είναι κατάλληλη για χρήση σε

μικροδίκτυα χαμηλής τάσης που θα αναπτυχθούν στο μέλλον (διανεμημένη παραγωγή).

2.6.2 Ενεργειακά αυτοδύναμο σύστημα με κυψέλη καυσίμου αμφίδρομης λειτουργίας

Οι Κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου έχουν καλές προοπτικές εφαρμογής ως μονάδες συμπαραγωγής ηλεκτρισμού και θερμότητας χάρη στην υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας τους. Επιπλέον, μπορούν να λειτουργήσουν και ως συσκευές ηλεκτρόλυσης νερού για την παραγωγή υδρογόνου και οξυγόνου. Συνεπώς, ένα σύστημα με κυψέλη καυσίμου μπορεί να εκμεταλλευτεί τη διαθέσιμη ηλεκτρική ενέργεια και τις συγκεκριμένες συνθήκες φορτίου, προκειμένου να παράγει το μελλοντικό καύσιμο του (υδρογόνου) χρησιμοποιώντας νερό ως πρωτογενές υλικό. Η ηλεκτρική ενέργεια, που απαιτείται για τον σκοπό αυτό, μπορεί να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές με φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες (π.χ. φωτοβολταϊκά στοιχεία). Οι δυνατότητες αυτές έδωσαν το κίνητρο για τη διερεύνηση της δυνατότητας λειτουργίας και της απόδοσης ενός τέτοιου συστήματος. Η λειτουργία του συστήματος αποτελείται από δύο φάσεις: τη φάση ηλεκτρόλυσης και τη φάση ηλεκτροπαραγωγής. Κατά τη φάση ηλεκτρόλυσης, η κυψέλη καυσίμου χρησιμοποιεί ηλεκτρισμό προερχόμενο από φωτοβολταϊκά στοιχεία για την ηλεκτρόλυση νερού. Τα προϊόντα της ηλεκτρόλυσης αποθηκεύονται σε δεξαμενές. Κατά τη φάση ηλεκτροπαραγωγής, το υδρογόνο και το οξυγόνο αντιδρούν ηλεκτροχημικά μέσα στην κυψέλη καυσίμου παράγοντας ηλεκτρική και θερμική ισχύ. Παράλληλα παράγεται επιπλέον ηλεκτρικής ισχύς από αεροστρόβιλο που κινείται από τα αέρια που εξέρχονται από την κυψέλη. Το συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι ένα περιβαλλοντικά ουδέτερο σύστημα σαν αυτό είναι τεχνικά δυνατό και μπορεί να λειτουργήσει αυτόνομα χωρίς να απαιτείται η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας ή καυσίμου από εξωτερικές πηγές.

2.6.3 Εφαρμογές και πλεονεκτήματα των κυψελών καυσίμων υδρογόνου

Το πεδίο εφαρμογών των κυψελών καυσίμου είναι μεγάλο και περιλαμβάνει τις ακόλουθες χρήσεις:

- α) Χρησιμοποίηση της κυψέλης καυσίμου για συμπαραγωγή ενέργειας (Παραγωγή θερμότητας και ενέργειας για ξενοδοχεία, νοσοκομεία σπίτια).
- β) Αποκεντρωμένη παραγωγή ισχύος: (Έρευνα και ανάπτυξη στη βιομηχανία).
- γ) Εφαρμογές μικρής ισχύος: Φωτισμός απομακρυσμένων περιοχών, σταθμοί τηλεπικοινωνιών και μετεωρολογικοί σταθμοί.
- δ) Μεταφορές (Αυτοκίνητα, υποβρύχια, τραίνα, λεωφορεία κ.ά.).
- ε) Φορητές συσκευές ισχύος: Φορητά τηλέφωνα, φορητοί υπολογιστές, κάμερες και φορητές συσκευές ήχου.

Οι κυψέλες καυσίμου σαν εναλλακτική πηγή ενέργειας παρουσιάζουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

α) Ελάχιστες εκπομπές ρύπων. Προστασία της ατμόσφαιρας, φιλικός προς το περιβάλλον ηλεκτρισμός. Οι κυψέλες καυσίμου που λειτουργούν με υδρογόνο δεν μολύνουν το περιβάλλον, το μόνο παραπροϊόν είναι το καθαρό και ζεστό νερό. Αυτό είναι αναμφίβολα το σημαντικότερο πλεονέκτημα τους, όταν χρησιμοποιούνται από τα οχήματα, καθώς υπάρχει η απαίτηση μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων από αυτά. Ωστόσο, θα πρέπει να τονίσουμε ότι προς το παρόν, εκπομπές CO₂ έχουμε σχεδόν πάντα κατά την παραγωγή του υδρογόνου.

β) Αθόρυβη λειτουργία, αφού δεν έχει κινούμενα μέρη κατά την ενεργειακή μετατροπή (πολύ σημαντικό για την εφαρμογή των κυψελών καυσίμου σε φορητές συσκευές και σε οικιακή χρήση).

γ) Οι ηλεκτροχημικές κυψέλες καυσίμου έχουν τη δυνατότητα να μετατραπούν το καύσιμο απευθείας σε ηλεκτρική ενέργεια με αποδόσεις μεγαλύτερες από κάθε ενιαία συμβατική ενεργειακή τεχνολογία μετατροπής (της τάξης του 49-65%).

δ) Προσαρμοζόμενος σχεδιασμός για εφαρμογές από λίγα Watt μέχρι Mwatt.

ε) Σαν αέριο ή υγρό, το υδρογόνο μπορεί εύκολα να μεταφερθεί, να φυλαχτεί και τελικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κάθε εφαρμογή όπου χρησιμοποιούνται σήμερα καύσιμα.

στ) Κοστίζει λιγότερο για να μεταφερθεί το υδρογόνο σε άλλες Ηπείρους ως συμπιεσμένο αέριο με τη βοήθεια σωλήνων από ένα ίσο ποσό ηλεκτρικής ενέργειας. Το υγρό υδρογόνο είναι η ασφαλέστερη και πιο οικονομική επιλογή ως πηγή ενέργειας.

ζ) Το υδρογόνο είναι το πιο ασφαλές από όλα τα καύσιμα. Το αέριο υδρογόνο είναι 14 φορές ελαφρότερο από τον αέρα και γι' αυτό διαχέεται ταχέως στην ατμόσφαιρα στην περίπτωση ενός ατυχήματος.

η) Ικανότητα γρήγορης απόκρισης στις αλλαγές του φορτίου. Σε μερικά δευτερόλεπτα η τάση και η ισχύς της κυψέλης καυσίμου έρχονται στην κατάσταση ισορροπίας. Με την χρήση ηλεκτρονικών ισχύος και μπαταριών παράλληλα με την κυψέλη καυσίμου είναι δυνατή η ακόμα γρηγορότερη απόκριση μέσα σε δεκάδες ή εκατοντάδες ms.

θ) Επάρκεια ενεργειακού εφοδιασμού. Οι κυψέλες καυσίμου συνήθως λειτουργούν με καθαρό αέριο υδρογόνου, το οποίο μπορεί να παραχθεί από ηλιακή ενέργεια, όπως και από άλλες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ανεμογεννήτριες).

Η πρόοδος στην ανάπτυξη των κυψελών καυσίμου, φαίνεται πολύ ελκυστική για την ανάπτυξη οικονομίας του υδρογόνου, μιας οικονομίας χωρίς επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Ωστόσο, η όλη ιδέα έχει ένα εγγενές μειονέκτημα, τον τρόπο παραγωγής του υδρογόνου. Όλες οι μέθοδοι παραγωγής, εκτός των ανανεώσιμων πηγών, φαίνεται ότι τελικά αυξάνουν περισσότερο την ρύπανση απ' όσο η απ' ευθείας χρήση συμβατικών πηγών ενέργειας. Από την άλλη, οι ανανεώσιμες

πηγές έχουν τα μειονεκτήματα της πολύ μικρής συγκέντρωσης ισχύος και του μεγάλου κόστους, έτσι ώστε θα πρέπει να λογίζονται ως μια δευτερεύουσα πηγή παροχής ενέργειας, σε σχετικά μικρή κλίμακα.

Το υδρογόνο δεν θα έπρεπε να θεωρείται καύσιμο (δεδομένου ότι δεν υπάρχει ελεύθερο στη φύση), αλλά μάλλον φορέας καθαρής ενέργειας, όπως το ηλεκτρικό ρεύμα. Η σύγκριση λοιπόν, θα έπρεπε να γίνεται ανάμεσα σ' αυτά τα δύο, όπου για στατικές χρήσεις, το ηλεκτρικό ρεύμα φαίνεται ότι επικρατεί καθαρά ως λύση. Επομένως, θα έπρεπε μόνο να εξετάζεται η λύση του υδρογόνου για την χρήση του στα αυτοκίνητα.

Τσως λοιπόν θα έπρεπε να δοθεί ταυτόχρονα μεγαλύτερη σημασία (και χρηματοδότηση) στην έρευνα για την ανάπτυξη αποδοτικών και με μεγάλη πυκνότητα ισχύος συσκευών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας για χρήση τους στις μεταφορές και επίσης αντίστοιχα στην έρευνα για την μακροπρόθεσμη επίτευξη της σύντηξης, για την τελική λύση του ενεργειακού προβλήματος της ανθρωπότητας.

2.7 Σύνοψη - Εξοικονόμηση Ενέργειας στον κτιριακό τομέα

Οι νέες τεχνολογίες στον τομέα της ενέργειας παρέχουν μια εναλλακτική οδό προς την ασφάλεια του εφοδιασμού. Επιπλέον, οι νέες και ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ηλιακής, αιολικής, υδροηλεκτρικής, γεωθερμικής, ενέργειας από βιομάζα) δημιουργούν οικονομική δραστηριότητα, προστιθέμενη αξία και απασχόληση στην Ευρώπη, βελτιώνουν την ποιότητα του περιβάλλοντος και το επίπεδο ζωής και είναι ιδιαίτερα σημαντικές για τις λιγότερο αναπτυγμένες περιοχές της Ένωσης, οι οποίες διαθέτουν πολλούς ανανεώσιμους ενεργειακούς πόρους. Για τους λόγους αυτούς, μια οδηγία δεσμεύει τα κράτη μέλη να τηρούν εθνικούς στόχους για τη μελλοντική κατανάλωση ηλεκτρισμού από ανανεώσιμες πηγές σύμφωνα με έναν ενδεικτικό συνολικό στόχο 21% της ακαθάριστης εγχώριας ενεργειακής κατανάλωσης το 2010 (Οδηγία ΕΕ 2001/77).

Η κοινή πολιτική της έρευνας και ανάπτυξης στην ΕΕ επιδιώκει να ενθαρρύνει την εξάπλωση των υπό ανάπτυξη τεχνολογιών και την αλλαγή των προτύπων ενεργειακής ζήτησης και συμπεριφοράς, χάρη στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και στην ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στα ενεργειακά συστήματα. Επιπλέον η ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας του ευρωπαϊκού ενεργειακού τομέα, ενόψει του τεράστιου παγκόσμιου ανταγωνισμού, αποτελεί σημαντικό στόχο του εν λόγω θεματικού τομέα, δίνοντας τη δυνατότητα στην ευρωπαϊκή βιομηχανία να διατηρήσει και να αναπτύξει τον παγκόσμιο ηγεμονικό της ρόλο σε καίριας σημασίας τεχνολογίες και υλικά για την παραγωγή ενέργειας και την ενεργειακή απόδοση. Οι κυριότερες δραστηριότητες που καλύπτει αυτός ο τομέας είναι: το υδρογόνο και οι κυψέλες καυσίμου, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές, η παραγωγή ανανεώσιμων καυσίμων, οι ανανεώσιμες μορφές ενέργειας για τη θέρμανση και τη ψύξη, οι τεχνολογίες δέσμευσης και αποθήκευσης CO₂ για μονάδες ηλεκτροπαραγωγής, τα ευφυή ενεργειακά δίκτυα, η ενεργειακή απόδοση και εξοικονόμηση ενέργειας και η διεθνής συνεργασία.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένα ο οικιακός και τριτογενής τομέας, αποτελούν το μεγαλύτερο καταναλωτή τελικής ενέργειας χρήσης με ποσοστό 39% στην ΕΕ (στοιχεία της Eurostat για το Δεκ. 2008) και με συνεχή αυξητική τάση, η οποία αναμένεται να οδηγήσει σε αυξημένη κατανάλωση ενέργειας στο μέλλον και κατά συνέπεια αυξημένες εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Στην Ελλάδα η συμμετοχή του οικιακού και τριτογενή τομέα στη συνολική κατανάλωση τελικής ενέργειας ανέρχεται περίπου στο 24% (στοιχεία Υπουργείου Ανάπτυξης, 2007). Παράλληλα, οι ανάγκες για θέρμανση των κατοικιών ανέρχονται περίπου στο 70% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης ενώ η κατανάλωση ενέργειας για τις οικιακές συσκευές, το φωτισμό και τον κλιματισμό ανέρχεται στο 18% του συνολικού ενεργειακού ισοζυγίου. Η κατανάλωση ενέργειας στα κτίρια παρουσιάζει αυξητική τάση, λόγω της αύξησης της χρήσης κλιματιστικών και μικροσυσκευών. Παρά τη σημαντική βελτίωση που έχει επιτευχθεί στην ενεργειακή αποδοτικότητα των συσκευών, του

εξοπλισμού θέρμανσης-ψύξης και του φωτισμού, τα τελευταία 10 χρόνια, η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας στον οικιακό και στον τριτογενή τομέα αυξάνεται κατά 2% και 3% κάθε έτος, αντιστοίχως (Παράρτημα 1: Ορθολογική χρήση ενέργειας (ΟΧΕ) – Εξοικονόμηση Ενέργειας (ΕΞΕ), Υπουργείο Ανάπτυξης - Ειδική Υπηρεσία Ενημέρωσης).

Ορισμένοι από τους λόγους της αύξησης σχετίζονται με την απαίτηση για βελτιωμένες συνθήκες άνεσης, τη ζήτηση μεγαλύτερων φορτίων για κλιματισμό, υπολογιστές, οπτικοακουστικό εξοπλισμό, μηχανές γραφείου, κτλ. καθώς και στην έλλειψη γνώσης, πληροφόρησης και ενεργειακής συνείδησης.

Η εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια αποτελεί επιτακτικό στόχο τόσο της Ευρωπαϊκής Ένωσης όσο και κάθε κράτους-μέλους της και δίνεται σαφής προτεραιότητα για την επίτευξή της. Εκτιμάται ότι, σε Ευρωπαϊκό επίπεδο, ως το 2010 μπορεί να επιτευχθεί εξοικονόμηση της τάξης του 22% στην ενέργεια που χρησιμοποιείται για θέρμανση, κλιματισμό, ζεστό νερό και φωτισμό. Η χρήση της ενέργειας για κλιματισμό αναμένεται να διπλασιαστεί ως το 2020, μπορεί όμως να επιτευχθεί 25% εξοικονόμηση από τη χρήση ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων κλιματισμού. Ο φωτισμός καταναλώνει το 14% της συνολικής ενέργειας του κτιριακού τομέα. Με τη χρήση πιο αποδοτικών εξαρτημάτων και συστημάτων ελέγχου και με την ενσωμάτωση τεχνικών φυσικού φωτισμού και άλλων τεχνολογιών μπορεί να έχουμε εξοικονόμηση 30-50%. Ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, τα παθητικά και ενεργητικά ηλιακά συστήματα, ο φυσικός φωτισμός και ο φυσικός δροσισμός μπορούν να μειώσουν την ενεργειακή κατανάλωση κατά 60% σε ένα μέσο κτίριο (Τεχνολογίες Εξοικονόμησης Ενέργειας, Υπουργείο Ανάπτυξης, Τομέας Ενέργειας και Φυσικών πόρων).

Παράλληλα, 10 εκατομμύρια οικιακοί λέβητες στην ΕΕ είναι παλαιότεροι των 20 ετών. Η αντικατάστασή τους μπορεί να εξοικονομήσει 5-10% της ενέργειας θέρμανσης. Τέλος, οι τοπικά διαθέσιμες ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η συμπαραγωγή θερμότητας/ηλεκτρισμού, η τηλεθέρμανση και οι αντλίες θερμότητας έχουν επιπρόσθετο δυναμικό εξοικονόμησης (Ενεργειακή Αποδοτικότητα

στο Δομημένο Περιβάλλον, Διεύθυνση Ενεργειακής αποδοτικότητας, ΚΑΠΕ 2008).

Στην Ελλάδα η εξοικονόμηση ενέργειας είναι σημαντική παράμετρος στη διαμόρφωση της εθνικής ενεργειακής πολιτικής, η οποία περιλαμβάνει ως στόχο, μεταξύ άλλων, και τη μείωση των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα από τον κτιριακό τομέα. Σε αυτή την κατεύθυνση έχουν ήδη ληφθεί θεσμικά μέτρα, με πιο πρόσφατο, το Νόμο 3661/2008 (ΦΕΚ 89 Α'), ο οποίος μεταφέρει την Οδηγία 2002/91/EC του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου στο εθνικό δίκαιο. Σκοπός του Νόμου είναι η λήψη μέτρων για τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης των κτιρίων. Στο πλαίσιο αυτό προβλέπονται μέτρα και διαδικασίες για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης υφιστάμενων και νεοαναγειρόμενων κτιρίων, ενώ θεσπίζεται και η εφαρμογή του Κανονισμού Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ).

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑ

3. ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

3.1 Γενικά

Για δεκαετίες, η έρευνα στην αποθήκευση ενέργειας εστιάζοταν κυρίως σε μεγάλης κλίμακας τεχνολογίες για την αποθήκευση ενέργειας, σε συνθήκες χαμηλής ζήτησης με σκοπό την εξυπηρέτηση φορτίου τις ώρες αιχμής κατά τη διάρκεια της χρήσης. Αν και οι εγκαταστάσεις αυτές μπορούν ακόμη να είναι οικονομικά αποδοτικές, έχουν αναπτυχτεί μια σειρά από μικρότερες συσκευές αποθήκευσης, με σημαντική διεύρυνση των εφαρμογών τους τα τελευταία δέκα χρόνια σε ένα ευρύ φάσμα θεμάτων κοινής ωφελείας. Όπως είναι οι προηγμένες μπαταρίες, οι υπέρ-πυκνωτές, οι υψηλής απόδοσης κυψέλες καυσίμου, που έχουν τη δυνατότητα να αυξάνουν την αποτελεσματικότητα, την αξιοπιστία, την ποιότητα της ισχύος σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είτε σε εγκαταστάσεις ενός μεμονωμένου χρηστή.

Εφόσον η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, η οποία επέδειξε αξιοσημείωτη ανάπτυξη σε παγκόσμιο επίπεδο, σπάνια μπορεί να παρέχει άμεση ανταπόκριση στη ζήτηση, καθώς οι πηγές αυτές ενέργειας δεν παρέχουν ένα συνεχή εφοδιασμό και επομένως δεν προσαρμόζονται εύκολα στις ανάγκες της ζήτησης. Έτσι, η ανάπτυξη της αποκεντρωμένης παραγωγής σημαίνει μεγαλύτερο φόρτο στο δίκτυο μεταφοράς δημιουργώντας προβλήματα σταθερότητας και επομένως κρίνεται αναγκαία η απαίτηση για αποθήκευση της ενέργειας.

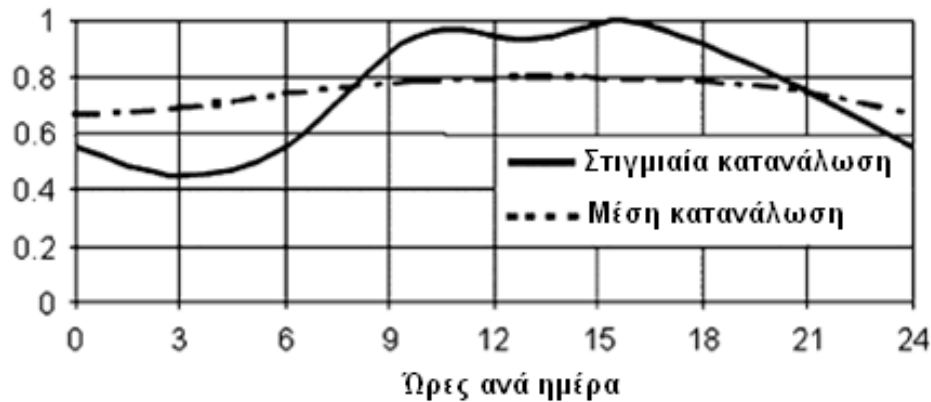
Η μονάδα αποθήκευσης ενέργειας σε ένα σύστημα παραγωγής ενέργειας είναι οποιαδήποτε εγκατάσταση, η οποία δύναται να αποθηκεύσει ενέργεια, που παράγεται στο κυρίως ενεργειακό σύστημα, να τη διατηρήσει και να την αποδώσει στο σύστημα όταν αυτό είναι απαραίτητο. Με τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας μειώνεται η κατανάλωση σε ενέργεια και αυξάνεται η απόδοση του όλου συστήματος. Ανάλογα με το σύστημα παραγωγής ενέργειας και τη χρονική περίοδο αποθήκευσης μεταβάλλεται η μορφή αποθήκευσης της ενέργειας και η διάρκεια του κύκλου λειτουργίας της. Η αποθήκευση ενέργειας, μπορεί να είναι είτε θερμική είτε ηλεκτρική. Η ηλεκτρική ευρίσκεται σε

ποιο ώριμο τεχνολογικό στάδιο και γι' αυτό το λόγο δύνεται μεγαλύτερη έμφαση στο κεφάλαιο.

Τα κύρια πλεονεκτήματα που καθιστούν την αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας ένα ενδιαφέρον εγχείρημα θα μπορούσαν να περιγραφούν ως εξής:

- Η ασφάλεια εφοδιασμού. Η ενέργεια που προέρχεται από του σταθμούς παραγωγής, μέσω της μετατροπής της σε χαμηλού κόστος πρωτογενή πηγή ενέργειας που οφείλεται στη χρησιμοποίηση συμβατικών μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, θα πρέπει να αποθηκεύεται και να χρησιμοποιείται σε κατάλληλη χρονική στιγμή για να υποκαταστήσει τη δαπανηρή πρωτογενή ενέργεια που απαιτείται στην αιχμή φορτίου των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, ή για την εσπευσμένη ανάγκη σε ηλεκτρισμό όταν έχουμε διακοπή του εφοδιασμού (σφάλμα ενός μέρους του συστήματος παραγωγής). Υπάρχουν δύο τρόποι για την παραγωγή ενέργειας για τις οποίες η αποθήκευση ενέργειας κρίνεται αναγκαία, είτε με συμβατική μορφή (χρήση ορυκτών καυσίμων), είτε με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
- Η εξοικονόμηση του δικτύου. Σχηματικά, ένα δίκτυο ενέργειας αποτελείται από πολλές μονάδες, με διαφορετικά επίπεδα των γραμμών μεταφοράς και διανομής (γραμμές μεταφοράς Υπερυψηλής/Υψηλής Τάσης, Μέσης Τάσης), των συναφών σταθμών και των υποσταθμών και ένα μεγάλο φορτίο (απαιτήσεις σε κατανάλωση) που πρέπει να καλυφθεί. Σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο, είτε αυτό είναι ένα ισχυρό διασυνδεδεμένο δίκτυο (όπως αυτό της ηπειρωτικής χώρας) είτε είναι αυτόνομο (μεγάλης ή μικρότερης ισχύος, όπως τα νησιά ανάλογα με το μέγεθός τους) σε κάθε χρονική στιγμή πρέπει να ικανοποιείται το ισοζύγιο της ισχύος, δηλ. η ισχύς που απορροφάται από τους καταναλωτές, το φορτίο, πρέπει να είναι ίση, με μικρές αποκλίσεις, προς αυτή που παράγουν οι σταθμοί παραγωγής (θερμικοί, υδροηλεκτρικοί κλπ). Όμως η κατανάλωση ενέργειας από τους χρήστες, κατά τη διάρκεια της ημέρας, χαρακτηρίζεται από ανισότητα και διακύμανση, με

την έννοια ότι η ελάχιστη κατανάλωση εμφανίζεται σχεδόν μισή φορά σε σχέση με τη μέγιστη αιχμή (Σχήμα 3.1). Τέλος, η ζήτηση των χρηστών, όσον αφορά την αναλογία μεταξύ της μέσης προβλεπόμενης ισχύος και τη πραγματικής στιγμιαίας ισχύος αιχμής, έχει μεγάλες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό οδηγεί στη διαστασιολόγηση της παραγωγής και της μεταφοράς του εξοπλισμού, που έχουν σχεδιαστεί σε συνάρτηση με τις αιχμές της ζήτησης και όχι με τη μέση ημερήσια κατανάλωση.



Σχήμα 3.1. Σχηματικό διάγραμμα στιγμιαίου - μέσου ημερήσιου φορτίου για ηλεκτρικό δίκτυο (τυπικές μονάδες φορτίου 0 έως 1).

Ωστόσο, η μέση ζήτηση φορτίου συμβάλλει στη μείωση των διακυμάνσεων στο ελάχιστο, καθιστώντας την πιο προβλέψιμη γι' αυτό στις εγκαταστάσεις μεταφοράς και διανομής θα πρέπει να υπολογίζεται η καμπύλη μέσης ημερήσιας κατανάλωσης, που συμβάλει τόσο στον προγραμματισμό της ανάγκης σε ισχύ του υφιστάμενου δικτύου αλλά και την καλύτερη αξιοποίηση των υφιστάμενων εγκαταστάσεων. Παρά τις στατιστική ανάλυση της μέσης κατανάλωσης, η ζήτηση ενέργειας ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την ώρα της ημέρας ή από εποχή σε εποχή. Εδώ βρίσκεται η σημασία της αποθήκευσης ενέργειας. Με τη χρήση αποθήκευσης παρέχεται τοπική παροχή αντιστάθμισης στις διακυμάνσεις του φορτίου, επομένως θα είναι δυνατόν να λειτουργούν τα δίκτυα μεταφοράς, και τα δίκτυα διανομής με απλούστερες ηλεκτρικές διατάξεις.

- Το πλεονέκτημα της ευελιξίας στη χρήση. Η ευελιξία των συστημάτων αποθήκευσης και ανάκτησης μπορεί να βοηθήσει ώστε να παρέχει άμεση απόκριση στη ζήτηση και κατά συνέπεια, να αυξηθεί η ευελιξία του δικτύου όσον αφορά τη ζήτηση. Η ανάγκη σε αποθήκευση μπορεί να προκληθεί από ένα προσωρινό έλλειμμα παραγωγής, το οποίο θα μπορούσε ενδεχομένως να προβλεφθεί. Η ανάγκη θα μπορούσε επίσης να είναι αποτέλεσμα ενός σφάλματος στην παραγωγή. Αυτός είναι ο λόγος που προκύπτουν κέρδη μέσω του ενδιάμεσου συστήματος αποθήκευσης με σκοπό να διασφαλιστεί η απόδοση των δαπανών της παρακάτω αλυσίδας διπλής μετατροπής: Ηλεκτρισμός - ενδιάμεση αποθήκευση ενέργειας - Ηλεκτρισμός.
- Η ανάγκη εξομάλυνσης της παραγόμενης ενέργειας. Όπως προαναφέραμε η χρονική διακύμανση του φορτίου είναι σχετικά προβλέψιμη ώστε να προσαρμόζεται η παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος. Για τεχνικούς λόγους και σε περιόδους χαμηλού φορτίου, οι μεγάλοι θερμικοί σταθμοί δεν μπορούν να μειώσουν την παραγωγή τους κάτω από ένα τεχνικό ελάχιστο όριο οπότε τις χρονικές αυτές περιόδους φαίνεται να περισσεύει ισχύς στο δίκτυο. Επίσης στις χρονικές περιόδους υψηλού φορτίου (υψηλού φορτίου) και ιδιαίτερα στις αιχμές του φορτίου είναι ιδιαίτερα επιθυμητή στον διαχειριστή ενός δικτύου η διαθεσιμότητα μεγάλης ισχύος σε σύντομο χρονικό διάστημα. Από τα προηγούμενα προκύπτει η ανάγκη αποθήκευσης ενέργειας τις ώρες που υπάρχει αυτή διαθέσιμη και η δυνατότητα πρόσδοσης ενέργειας στο ηλεκτρικό δίκτυο κατά τις περιόδους αιχμής.

Συνοψίζοντας πιθανές εφαρμογές που μπορούν να έχουν οι αποθηκευτικές διατάξεις σε ένα ΣΗΕ (Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας) κάποιες από τις οποίες μπορούν να εξυπηρετούνται από την ίδια αποθηκευτική διάταξη είτε ταυτόχρονα είτε σε διαφορετικές περιόδους:

- α. Χρήση αποθηκευμένης ενέργειας λόγω έλλειψης ικανότητας παραγωγής των διαθέσιμων μονάδων.
- β. Αποθήκευση ενέργειας για αποφυγή παραβίασης τεχνικών ελαχίστων θερμικών μονάδων.
- γ. Χρήση αποθηκευτικής διάταξης για εξομάλυνση της παραγόμενης ενέργειας από ΑΠΕ και αποδοτικότερης συμμετοχής τους στις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας , αποθηκεύοντας στις ώρες χαμηλού κόστους και χρησιμοποιώντας την στις ώρες υψηλού κόστους εκμεταλλευόμενοι τη διαφορά τιμών.
- δ. Περιορισμός αποκοπτόμενης ενέργειας από ΑΠΕ, αποθήκευση ενέργειας για χρήση σε επόμενο χρονικό διάστημα οπότε και δεν θα υπάρχει διαθέσιμη παραγωγή. Είναι η συνηθισμένη πρακτική σε μικρά αυτόνομα και απομονωμένα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.
- ε. Για εκμετάλλευση της διαφοράς κόστους παραγωγής από τις συμβατικές μονάδες είτε χωρίς αλλαγή του προγράμματος ένταξης μονάδων (μόνο οικονομική κατανομή), είτε μεταβάλλοντας κάπως το πρόγραμμα ένταξης μονάδων.
- στ. Παροχή στρεφόμενης εφεδρείας, παροχή ισχύος σε έκτακτη χρονική στιγμή. Περιορισμός απωλειών δικτύου λόγω της παροχής ισχύος σε πολύ τοπικό επίπεδο.
- ζ. Αποφυγή ή μετάθεση επενδύσεων ενίσχυσης δικτύου, διανομής ειδικά αν υπάρχει συνδυασμός της διάταξης αποθήκευσης με κάποιας μορφής παραγωγής από ΑΠΕ , αν έχουν επιλεγεί οι κατάλληλες θέσεις για την εγκατάστασή της.
- η. Διαχείριση ζητημάτων ποιότητας ισχύος λόγω της γρήγορης απόκρισης των μονάδων αυτών.

θ. Αδιάλειπτη παροχή ισχύος.

ι. Εκκίνηση μετά από σφάλμα (Black start).

κ. Υποστήριξη τάσης και συχνότητας.

λ. Παραγωγή άλλου αγαθού και αποθήκευσής του π.χ θερμότητας, σε ώρες στις οποίες το κόστος είναι χαμηλό για την αποφυγή κατανάλωσης ενέργειας σε ώρες υψηλού φορτίου.

Επιπλέον οι χρονικοί ορίζοντες για τη χρήση των αποθηκευτικών διατάξεων για μία από τις παραπάνω δυνατές εφαρμογές τους χωρίζουν τις διατάξεις αποθήκευσης σε διατάξεις:

- Βραχυπρόθεσμης αποθήκευσης. Πρόκειται για τις διατάξεις αποθήκευσης που μπορούν να προσφέρουν ή να απορροφήσουν ενέργεια για πολύ μικρό χρονικό διάστημα (λίγα δευτερόλεπτα έως μερικά λεπτά). Τυπικές εφαρμογές αυτού του είδους είναι η παροχή αδιάλειπτης παροχής ισχύος και ευστάθειας λειτουργίας ΣΗΕ.
- Μεσοπρόθεσμης αποθήκευσης. Αφορά διατάξεις που χρησιμοποιούνται για χρονικούς ορίζοντες από μερικά λεπτά ως μερικές ώρες. Τέτοιου είδους εφαρμογές είναι η διαχείριση ΑΠΕ, η ενίσχυση της παροχής στρεφόμενης εφεδρείας και η διαχείριση παρεχόμενης ισχύος στους καταναλωτές.
- Μακροπρόθεσμης αποθήκευσης. Αφορά διατάξεις αποθήκευσης από αρκετές ώρες μέχρι βδομάδα και μήνες. Κυρίως χρησιμοποιείται για την εξομάλυνση της ζήτησης μεταξύ ωρών αιχμής και μη αιχμής ή την ικανοποίηση ζήτησης αιχμής έχοντας αποθηκεύσει ενέργεια σε περιόδους χαμηλής ζήτησης.

3.2 Εφαρμογές αποθήκευσης με βάση τις τεχνικές/μεθόδους μετατροπής

Η αποθήκευση της ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί αποτελεσματικά, αρχικά με την μετατροπή σε άλλη μορφή ενέργειας και να μετατραπεί ξανά σε ηλεκτρική όταν χρειάζεται. Υπάρχουν πολλές τεχνικές για την αποθήκευση της ενέργειας, που σε σχεδόν όλες τις μορφές ενέργειας: μηχανική, χημική και θερμική. Οι τεχνολογίες αποθήκευσης που θα ανταποκρίνονται σε συγκεκριμένα τεχνικά και οικονομικά κριτήρια, διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τις εφαρμογές και τις εκάστοτε ανάγκες.

Οι τεχνικές αποθήκευσης μπορούν να χωριστούν σε τέσσερις κατηγορίες, ανάλογα με τις εφαρμογές τους:

- Εφαρμογές χαμηλής ισχύος σε απομονωμένες περιοχές, για την κάλυψη έκτακτων αναγκών και των τερματικών σταθμών.
- Εφαρμογές μέσης ισχύος σε απομονωμένες περιοχές (επιμέρους ηλεκτρικά συστήματα).
- Εφαρμογή μέγιστης ζήτησης σε αποκεντρωμένα δίκτυα.
- Εφαρμογές που απαιτείται ποιοτικός έλεγχος της ισχύος.

Οι δύο πρώτες κατηγορίες είναι για μικρής κλίμακας συστήματα όπου η ενέργεια θα μπορούσε να αποθηκευθεί ως κινητική ενέργεια, χημική ενέργεια, η ως υδρογόνο (κυψέλες καυσίμου), ή σε υπερ-πυκνωτές ή υπεραγωγούς.

Οι κατηγορίες τρία και τέσσερα είναι για μεγάλης κλίμακας συστήματα όπου η ενέργεια θα μπορούσε να αποθηκευθεί ως βαρυτική ενέργεια (υδραυλικά συστήματα), θερμική ενέργεια (λανθάνουσα θερμότητα), χημική ενέργεια (συσσωρευτές, μπαταρίες ροής), ή συμπιεσμένου αέρα (ή σε συνδυασμό με υγρά ή με την αποθήκευση φυσικού αερίου).

Τα διάφορα μέσα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στηρίζουν τη λειτουργία τους σε μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε χημική, μαγνητική ή δυναμική ενέργεια και στη συνέχεια την εκ νέου μετατροπή της ενέργειας αυτής σε ηλεκτρική. Ο παρακάτω πίνακας (Πίνακας 3.1) παρουσιάζει τις διάφορες μορφές ενέργειας στις οποίες μπορεί να μετατραπεί η ηλεκτρική ενέργεια προκειμένου να αποθηκευτεί καθώς και χαρακτηριστικά παραδείγματα διάταξης για κάθε μορφή μετατροπής.

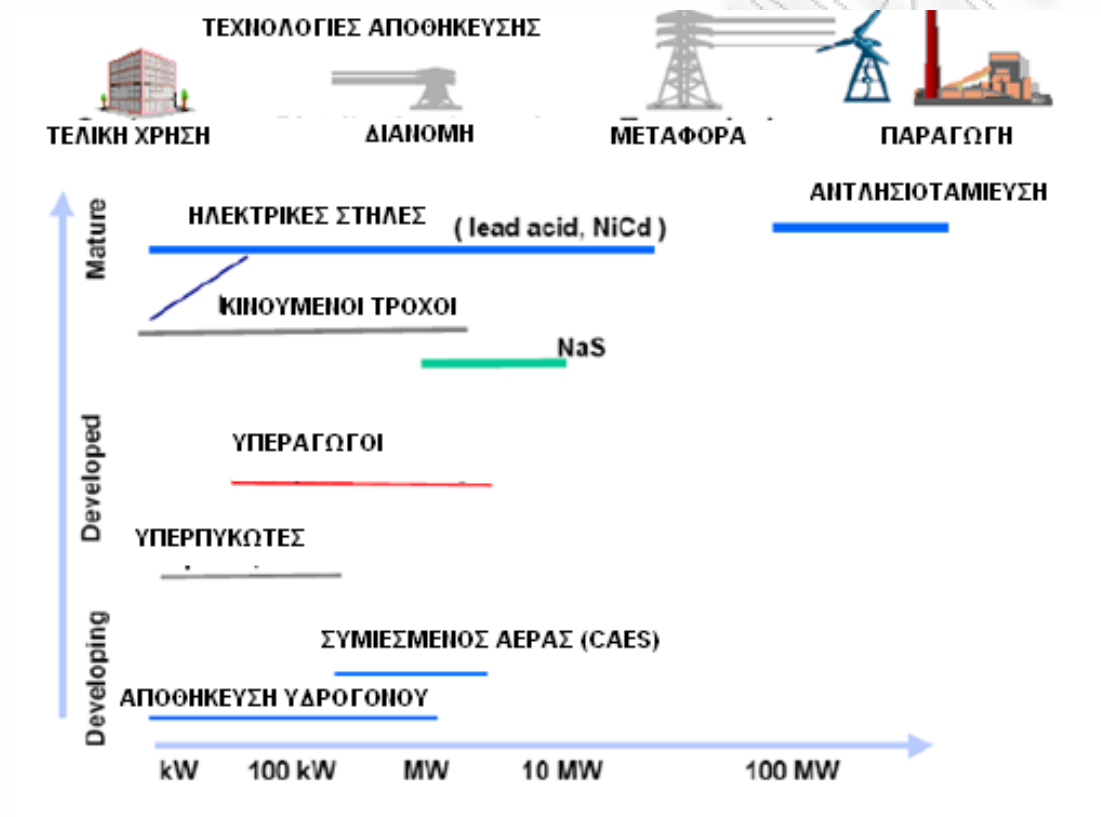
Μορφή μετατροπής	Αντιπροσωπευτική διάταξη
Ηλεκτρική	Πυκνωτές και υπέρ-πυκνωτές
Υπεραγώγιμα Υλικά	Magnetic Energy Storage (SMES)
Χρήση μηχανικής ενέργειας (δυναμική ή περιστροφή)	Αντλησιοταμίευση
	Συμπιεσμένος Αέρας (CAES)
	Στρεφόμενοι σφόνδυλοι
Χημικές μέθοδοι	Μπαταρίες, μπαταρίες ροής, προχωρημένου τύπου μπαταρίες

Πίνακας 3.1. Μορφή μετατροπής της ηλεκτρικής ενέργειας για τις διάφορες ομάδες αποθηκευτικών Διατάξεων [15].

Ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή χρειάζεται και μία αποθηκευτική διάταξη με κατάλληλες ιδιότητες. Προκειμένου να αποφασιστεί ποιο αποθηκευτικό μέσο είναι κατάλληλο για κάθε περίπτωση εφαρμογής χρειάζεται να εξεταστεί μια ευρεία γκάμα αποθηκευτικών διατάξεων. Η διαδικασία αποθήκευσης της ενέργειας και στην συνέχεια της επαναπόδοσης της στην κατανάλωση γίνεται με την ανάπτυξη απωλειών με αποτέλεσμα η ενέργεια που αποδίδεται να είναι μικρότερη από την ενέργεια που αποθηκεύεται. Ο τύπος των απωλειών εξαρτάται από την μέθοδο αποθήκευσης. Από όλες τις μεθόδους αποθήκευσης ενέργειας, μόνο η αποθήκευση της σε μορφή υδραυλικής ενέργειας και υπό μορφή

πεπιεσμένου αέρα καλύπτουν την περιοχή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, όποτε είναι εφαρμόσιμες στην περίπτωση ηλεκτρικού δικτύου.

Ένα σχετικό διάγραμμα για τα τυπικά μεγέθη των αποθηκευτικών διατάξεων, τις τυπικές εφαρμογές τους και την ωριμότητα τους παρουσιάζεται στο επόμενο σχήμα (Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2. Μέγεθος, εφαρμογές και τεχνολογική ωριμότητα των διαφόρων πηγών αποθήκευσης [16].

3.3 Αποθήκευση Ηλεκτρικής Ενέργειας

3.3.1 Ηλεκτρικές στήλες

Οι Ηλεκτρικές στήλες (μπαταρία) είναι ένας συσσωρευτής ηλεκτρικής ενέργειας. Η μικρότερη μονάδα της είναι ένα στοιχείο. Κατά κανόνα μια μπαταρία αποτελείται από μια σειρά στοιχείων τα οποία είναι μεταξύ τους συνδεδεμένα σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Ο συσσωρευτής είναι χημική πηγή ρεύματος, ικανή να αποθηκεύσει ηλεκτρική ενέργεια (αφού τη μετατρέψει σε χημική) και όταν χρειαστεί, να την αποδώσει σε εξωτερικό κύκλωμα. Αποτελείται από δοχείο κατασκευασμένο από μονωτικό υλικό (εβονίτη, πλαστικό, γυαλί) με ηλεκτρολύτη (οξύ ή αλκάλιο), στο οποίο βυθίζονται τα ηλεκτρόδια (Σχήμα 3.3). Η σύνδεσή τους σε εξωτερικό κύκλωμα προκαλεί σε αυτό διέλευση ρεύματος (εκφόρτιση του ηλεκτρικού συσσωρευτή). Έτσι, στον ηλεκτρικό συσσωρευτή γίνονται χημικές διεργασίες, που έχουν σχέση με τη μετατροπή της χημικής ενέργειας σε ηλεκτρική.



Σχήμα 3.3. Διάγραμμα λειτουργίας Ηλεκτρικής στήλης.

Ο ηλεκτρικός συσσωρευτής χαρακτηρίζεται: από τη χωρητικότητα, δηλ. την ποσότητα του ηλεκτρισμού σε αμπερώρια, που μπορεί ο συσσωρευτής να δώσει στο κύκλωμα που τροφοδοτεί, από τη μέση τάση σε Volt κατά το χρόνο της φόρτισης και εκφόρτισης, από την ειδική ενέργεια κατά βάρος και όγκο, δηλ. την ενέργεια σε βατώρια που παρέχεται κατά την εκφόρτιση από 1 kgr βάρους ή 1 δεκατόμετρο του όγκου του ηλεκτρικού συσσωρευτή, από την απόδοση κατά χωρητικότητα, δηλ. το λόγο της ποσότητας των αμπερωρίων που αποδίδεται κατά την εκφόρτιση προς την ποσότητα των αμπερωρίων που απορροφάται κατά τη φόρτιση, από την απόδοση κατά ενέργεια, δηλ. το λόγο της ενέργειας που αποδίδεται κατά την εκφόρτιση προς την ενέργεια που απορροφάται κατά τη φόρτιση. Υπάρχουν ηλεκτρικοί συσσωρευτές σε μόνιμη εγκατάσταση (για τις ανάγκες των ηλεκτρικών σταθμών, των τηλεφωνικών και τηλεγραφικών σταθμών, των ραδιοσταθμών κ.ά.) και φορητοί (για τροφοδότηση κινητών ραδιοσυσκευών και συσκευών ενσύρματης τηλεπικοινωνίας, αυτοκινήτων, αεροπλάνων κ.ά.).

Ευρεία χρήση έχουν (κυρίως σε μόνιμες εγκαταστάσεις) οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές μόλυβδου-οξέος, στους οποίους σαν ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται διάλυμα θειικού οξέος με πυκνότητα 1,18- 1,29 gr/cm³ και σαν ηλεκτρολύτες διοξειδίου του μόλυβδου PbO₂ και σπογγώδης μόλυβδος.

Σαν φορητοί ηλεκτρικοί συσσωρευτές, χρησιμοποιούνται συχνό οι αλκαλικοί συσσωρευτές, που έχουν μεγαλύτερη μηχανική αντοχή. Αυτοί δεν έχουν κατά τη λειτουργία επιζήμιες εξατμίσεις και είναι απλούστεροι στη χρησιμοποίησή τους από τους ηλεκτρικούς συσσωρευτές οξέος ελαίου, στους οποίους σαν ηλεκτρολύτης χρησιμοποιείται διάλυμα καυστικού καλίου, σαν θετικό ηλεκτρόδιο οξειδία νικελίου σε μείγμα με γραφίτη και σαν αρνητικό ηλεκτρόδιο ρινίσματα σιδήρου ή καδμίου σε μείγμα με σπογγώδη σίδηρο. Οι μέσες τάσεις φόρτισης είναι αντίστοιχα: 1,74 V και 1,65 V.

Τα πλεονεκτήματά τους είναι η μεγάλη ειδική ενέργεια και η ικανότητα να λειτουργούν σε ερμητικά κιβώτια και σε ύψος (με χαμηλή θερμοκρασία και πίεση). Το μειονέκτημά τους είναι ότι έχουν κόστος 4-10 φορές μεγαλύτερο από τους ηλεκτρικούς συσσωρευτές μολύβδου-

οξέος. Οι αλκαλικοί ηλεκτρικοί συσσωρευτές χρησιμοποιούνται επίσης, σε όργανα βαρηκοΐας κ.α. Για τη λήψη μεγάλων τάσεων και ρευμάτων οι ηλεκτρικοί συσσωρευτές συνδέονται σε συστοιχίες.

Στα αυτοκίνητα ο συσσωρευτής χρησιμεύει για την εναποθήκευση του ηλεκτρικού ρεύματος που προέρχεται από τη δυναμομηχανή (δυναμό) και τη διανομή του στη συνέχεια στις διάφορες συσκευές της ηλεκτρικής εγκατάστασης του οχήματος. Μεταξύ του δυναμό και του συσσωρευτή παρεμβάλλεται αυτόματος διακόπτης, ο οποίος παρεμποδίζει την εκφόρτιση του συσσωρευτή προς το δυναμό όταν ο κινητήρας εργάζεται στο ρελαντί ή δεν εργάζεται.

Σε σύγκριση με άλλες προηγμένες τεχνολογίες αποθήκευσης, το μεγάλο πλεονέκτημα των ηλεκτρικών στηλών είναι η εγγενώς υψηλή ενεργειακή πυκνότητα, η οποία προκύπτει από τη χρήση των χημικών και όχι φυσικών μεθόδων για την αποθήκευση ενέργειας.

Άλλες προηγμένες ηλεκτρικές στήλες τώρα αναπτύσσονται για χρήση σε υβριδικά ηλεκτρικά οχήματα (PHEVs) αλλά και για σταθερές εφαρμογές. Τόσο το νικέλιο - υδρίδιο μετάλλου (NiMH) αλλά και οι ηλεκτρικές στήλες ιόντων λιθίου (Li-ion) έχουν επιδείξει ικανότητα αποθήκευσης ενέργειας πολύ υψηλότερη από εκείνες των συμβατικών συσσωρευτών μολύβδου-οξέος με κύκλο ζωής 5 έως 10 φορές μεγαλύτερο. Αν οι προηγμένες μπαταρίες PHEVs επιτύχουν εμπορικά, το κόστος των NiMH και Li-ion μπαταριών θα μπορούσε να μειωθεί έως και κατά 80% σε ένα σχετικά σύντομο χρονικό διάστημα, έτσι ώστε να γίνουν πιο προσιτές για σταθερές χρήσεις. Μία ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα είναι η δυνατότητα χρήσης ενός PHEV ως εφεδρική μονάδα ενέργειας στο σπίτι.

Για μεγάλης διάρκειας εφαρμογές, χρησιμοποιούνται μπαταρίες ενεργού υλικού που περιέχεται στο υγρό ηλεκτρολυτών και όχι σε στερεά ηλεκτρόδια. Το πλεονέκτημα αυτού του σχεδιασμού είναι ότι η ενέργεια της μπαταρίας εξαρτάται από τον όγκο των ηλεκτρολυτών, ενώ η ισχύς εξόδου εξαρτάται από το μέγεθος της αντίδρασης των στοιβάδων των κυψελών. Ως αποτέλεσμα, το κόστος της επέκτασης του χρόνου μιας μπαταρίας εξαρτάται μόνο από το μέγεθος της δεξαμενής που χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση των ηλεκτρολυτών, που είναι χαμηλό σε σύγκριση με το κόστος της μεταβολής του αριθμού των

κυττάρων σε παραδοσιακά συστήματα μπαταρίας. Έτσι, η μπαταρία με χρήση υγρών ηλεκτρολυτών είναι ιδιαίτερα ελκυστική για εφαρμογές που απαιτούν την χρήση της ενέργειας για πολλές ώρες. Το μειονέκτημα είναι ότι οι αντίστοιχες μπαταρίες ροής τείνουν να είναι περίπλοκα συστήματα με αντλίες, και άλλες βοηθητικές εγκαταστάσεις.

Υπάρχουν δυο είδη μπαταριών ροής, η μπαταρία οξειδαναγωγής Βαναδίου (VRB) και η μπαταρία του ψευδαργύρου Βρώμιου που είναι διαθέσιμες σε εμπορική χρήση. Η τεχνολογία αυτή παρέχει μια αναστρέψιμη ηλεκτροχημική αντίδραση μεταξύ δύο ηλεκτρολυτών διαλύματος άλατος. Όπως και άλλες ηλεκτρικές στήλες ροής, η διακύμανση της ισχύος και της ενέργειας είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Η καθαρή απόδοση της μπαταρίας είναι περίπου 75%. Αυτή η μπαταρία λειτουργεί σε θερμοκρασία δωματίου. Υπήρξαν αρκετές εφαρμογές VRB που έχουν λάβει χώρα. Το 2003, για παράδειγμα, η εταιρία PacificCorp εγκατέστησε μια μπαταρία VRB, διάρκειας 8 ωρών και ισχύος 250kW σε εγκατάσταση για διανομή τροφοδοσίας στην περιοχή Moab, στην κοινότητα της Utah, που έχει σχεδιαστεί για αποφυγή των αιχμών ζήτησης και υποστήριξης των συστημάτων τροφοδοσίας.

Ωστόσο, οι ηλεκτρικές στήλες δεν έχουν αντοχή σε πολλούς κύκλους φόρτισης - αποφόρτισης και δεν μπορούν να αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες ενέργειας σε μικρό όγκο. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο αναπτύσσονται και υλοποιούνται άλλες τεχνολογίες αποθήκευσης.

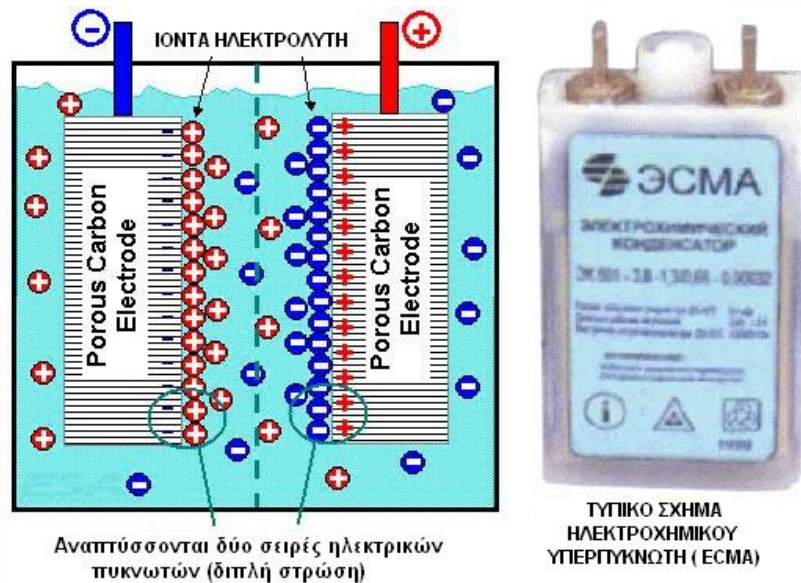
Το γεγονός αυτό οδήγησε στην εμφάνιση της αποθήκευσης ως ένα αναπόσπαστο στοιχείο στη διαχείριση της ενέργειας, επιτρέποντας την ενέργεια να αποθηκευτεί και να κυκλοφορήσει στο δίκτυο κατά τις ώρες αιχμής, όταν είναι πιο πολύτιμη. Παρακάτω περιγράφονται μερικές από τις πιο διαδεδομένες τεχνολογίες για την αποθήκευση ενέργειας όπως είναι ο Υπερπυκνωτής, οι Κινούμενοι τροχοί και η αντλησιοταμίευση.

3.3.2 Υπερπυκνωτής

Τα χαρακτηριστικά των πυκνωτών αυτών ταιριάζουν τόσο με αυτά των πυκνωτών όσο και των ηλεκτροχημικών μπαταριών, με τη διαφορά ότι δεν υπάρχει χημική αντίδραση, η οποία αυξάνει σημαντικά την ικανότητα τους να φορτίζονται και αποφορτίζονται πολλές φορές. Η αποθήκευση της ενέργειας στους υπερπυκνωτές γίνεται με τη μορφή ενός ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ δύο ηλεκτροδίων.

Οι υπερπυκνωτές βασίζονται πάνω σε ένα ηλεκτροχημικό φαινόμενο που παρατηρήθηκε από τον Hermann von Helmholtz στις αρχές του αιώνα. Η δομή τους μοιάζει με αυτή των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών, μόνο που σε αντίθεση με αυτούς, φτάνουν χωρητικότητες μερικών χιλιάδων Farad. Η χωρητικότητά τους είναι μεγάλη, διότι μεταξύ ενός ηλεκτροδίου ενεργού άνθρακα και του ηλεκτρολύτη σχηματίζεται ένα διπλό χημικό διηλεκτρικό τοίχωμα μόλις 6 μικρομέτρων (η χωρητικότητα είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης των ηλεκτροδίων). Περαιτέρω πλεονέκτημα είναι η αντοχή τους σε ρεύματα της τάξης μερικών kilo Ampere. Το μειονέκτημα του λεπτού διηλεκτρικού, είναι η ελάχιστη αντοχή σε τάσεις, που περιορίζει την λειτουργία του υπερπυκνωτή σε μια περιοχή από 0 έως 2,5 Volt. Εντούτοις η χωρητικότητα και η ενεργειακή πυκνότητα αυτών των συσκευών είναι χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από αυτή των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών.

Οι ηλεκτροχημικοί πυκνωτές (ΕΚ) αποθηκεύουν ηλεκτρική ενέργεια και στις δύο σειρές των ηλεκτρικών πυκνωτών (διπλής στρώση), όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα, που σχηματίζεται μεταξύ καθενός από τα ηλεκτρόδια και τα ιόντα των ηλεκτρολυτών. Τα ηλεκτρόδια είναι συχνά κατασκευασμένα από πορώδες υλικό άνθρακα.



Σχήμα 3.4. Σχηματική απεικόνιση ενός ηλεκτροχημικού υπερπυκνωτή.

Ο κύριος λόγος που δεν καθιερώθηκαν ευρέως στα ηλεκτρικά οχήματα είναι η μικρή τους ενεργειακή αυτονομία και η μικρή τους ισχύς, που οφείλεται κυρίως στην δυσκολία της αποθήκευσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Επειδή αποθηκεύουν την ηλεκτρική ενέργεια χημικά, έχουν περιορισμένη ισχύ αφού η ισχύς της εξαρτάται από την ταχύτητα αντίδρασης των εκάστοτε χημικών αντιδράσεων. Σε σύγκριση με τις ηλεκτρικές στήλες μολύβδου-οξέος, οι πυκνωτές (ΕΚ) έχουν χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα, αλλά μπορούν να εναλλάσσονται δεκάδες χιλιάδες φορές (κύκλος φόρτισης- αποφόρτισης) και με μεγαλύτερη απόκριση (δυνατότητα γρήγορης φόρτισης και αποφόρτισης).

3.4 Αποθήκευση Κινητικής ενέργειας - Κινούμενοι τροχοί

Οι κινούμενοι τροχοί είναι μια συσκευή αποθήκευσης κινητικής ενέργειας, αποτελούμενη από ένα περιστρεφόμενο άξονα (δρομέα) και τη αποθηκευόμενη μάζα, με το ποσό της αποθηκευμένης ενέργειας να εξαρτάται από τη μάζα και την ταχύτητα περιστροφής του δρομέα. Μία ροπή στρέψης προκαλεί τον δρομέα να επιταχύνει και να αποθηκεύει ενέργεια, ενώ η επιβράδυνση του δρομέα προκαλεί την ανάπλαση της ενέργειας.

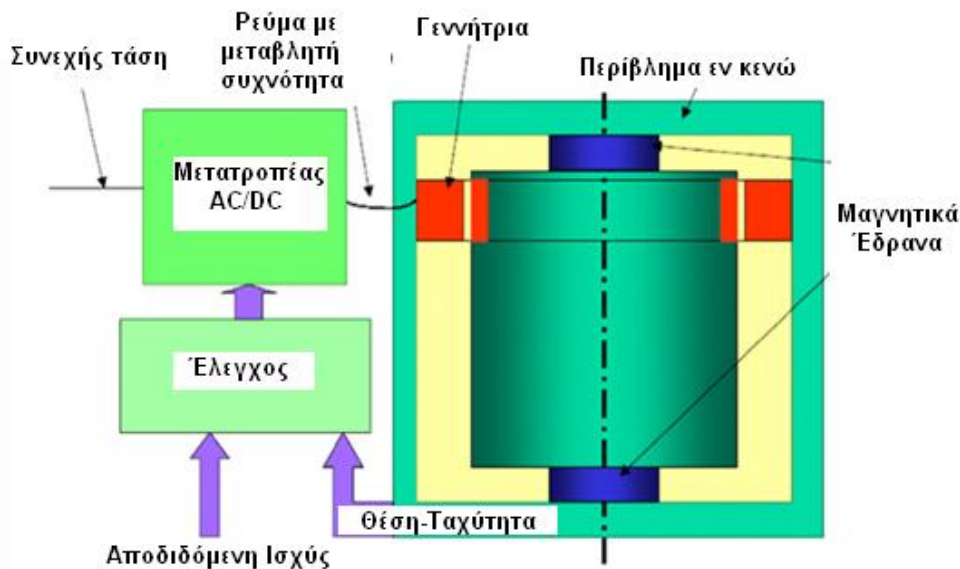
Οι κινούμενοι τροχοί έχουν σχεδιαστεί για να ξεπεράσουν τις διακυμάνσεις στην απόδοση της ισχύος, όταν είναι παροδικές οι φορτίσεις όπως συμβαίνει στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Οι κινούμενοι τροχοί έχουν λάβει εφαρμογή σε συστήματα ισχύος για περισσότερο από έναν αιώνα, από τη στιγμή που χρησιμοποιήθηκαν για την εξομάλυνση της ισχύος εξόδου των γεννητριών που κινούνταν με ατμό-κινητήρες. Οι πιο σύγχρονες εφαρμογές των τροχών αυτών αποτελούνται από βαρύ χάλυβα και έχουν διεισδύσει σε αγορές που απαιτούνται σημαντικά ποσά ισχύος, ενώ σε μικρότερη κλίμακα, υψηλής ταχύτητας εκδόσεις κινούμενων τροχών αρχίζουν να βρίσκουν εμπορική εφαρμογή σε οικιακές εφαρμογές.

Έτσι, από τα πιο σύγχρονα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας, ο σφόνδυλος αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο κύλινδρο που αποτελείται από σύνθετο μηχανισμό (από μία στεφάνη που συνδέεται με ένα στροφαλοφόρο άξονα) που είναι συνδεδεμένος με ένα ακίνητο μέρος που υποστηρίζεται από μαγνητικώς αιωρούμενα έδρανα που εξαλείφουν τη τριβή και ταυτόχρονα αυξάνουν της ζωή του συστήματος.

Για τη διατήρηση της απόδοσης, το σύστημα λειτουργεί σε ένα περιβάλλον κενού αέρος για τη μείωση των απωλειών από την αυτο-αποφόρτιση.

Ο σφόνδυλος είναι συνδεδεμένος με ένα κινητήρα / γεννήτρια τοποθετημένη πάνω στο ακίνητο μέρος, που με τη βοήθεια ηλεκτρονικών ισχύος αλληλεπιδρά με το βοηθητικό πρόγραμμα δικτύου (Σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.5. Απεικόνιση ενός συστήματος κινούμενων τροχών [17].

3.5 Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας συμπιεσμένου αέρα

Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας συμπιεσμένου αέρα χρησιμοποιούν ενέργεια σε ώρες χαμηλής ζήτησης (τα βράδια και τα Σαββατοκύριακα) για τη συμπίεση και αποθήκευση ποσοτήτων αέρα σε μεγάλες πιέσεις (συνήθως κοντά στα 75 bar) και σε υπόγειο αεροστεγή ταμειυτήρα. Όταν θεωρηθεί απαραίτητο (σε ώρες υψηλής ζήτησης), ποσότητες συμπιεσμένου αέρα απελευθερώνονται από τον ταμειυτήρα και εν συνεχεία εκτονώνονται σε στρόβιλο συνδεδεμένο με γεννήτρια, για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Η απορριπτόμενη από το στρόβιλο ενέργεια πριν απελευθερωθεί στο περιβάλλον οδηγείται σε προθερμαντήρα για την πρόσδοση ικανής θερμότητας στο συμπιεσμένο αέρα, προτού ο τελευταίος αναφλεχθεί στο θάλαμο καύσης. Σχεδόν τα 2/3 του φυσικού αερίου σε ένα συμβατικό σταθμό παραγωγής καταναλώνονται για τη λειτουργία του συμπιεστή μέσω του στροβίλου. Αντίθετα, για να τεθεί, σε ένα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας συμπιεσμένου αέρα, ο συμπιεστής σε λειτουργία χρησιμοποιείται χαμηλού κόστους συμπιεσμένος αέρα, εξοικονομώντας με αυτόν τον τρόπο σημαντικές ποσότητες φυσικού αερίου.

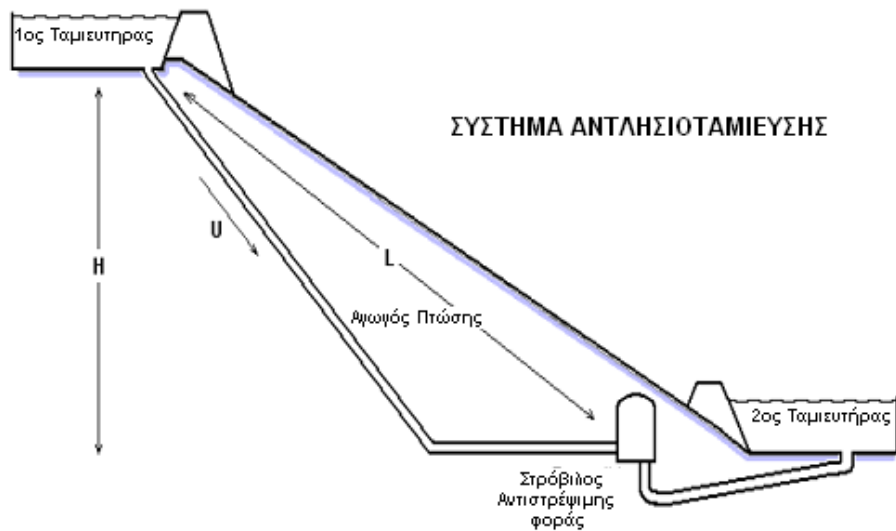
Τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας συμπιεσμένου αέρα βρίσκουν εφαρμογή σε μεγάλης κλίμακας αποθηκευτικά έργα. Εκτός των αναστρέψιμων υδροηλεκτρικών καμία άλλη μέθοδος δεν έχει τη δυνατότητα αποθήκευσης τόσο μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Η ισχύς ενός συστήματος αποθήκευσης ενέργειας συμπιεσμένου αέρα μπορεί να ξεκινά από 50MW και εύκολα να ξεπερνά τα 300MW. Η περίοδος αποθήκευσης μπορεί να είναι μεγάλης διάρκειας καθώς οι αντίστοιχες απώλειες δε θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικές. Μια μονάδα αποθήκευσης ενέργειας συμπιεσμένου αέρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση ενέργειας για περισσότερο από ένα έτος. Η γρήγορη εκκίνηση αποτελεί επίσης σημαντικό πλεονέκτημα για τα συστήματα αποθήκευσης ενέργειας συμπιεσμένου αέρα. Σε φυσιολογικές συνθήκες απαιτούνται περίπου 12 λεπτά ενώ σε περιπτώσεις ανάγκης η μονάδα έχει τη δυνατότητα εκκίνησης σε 9 λεπτά, χρόνοι εντυπωσιακοί αν αναλογιστούμε πως μια συμβατική μονάδα απαιτεί 20 με 30 λεπτά. Στην περίπτωση που χρησιμοποιηθεί φυσικός ταμιευτήρας τα οφέλη είναι πολλαπλά καθώς το αρχικό κόστος εγκατάστασης παρουσιάζεται σημαντικά μειωμένο και η περιβαλλοντική υποβάθμιση ασήμαντη. Τα συστήματα αυτά αριθμούν όμως και κάποια μειονεκτήματα. Απώλειες ενέργειας παρατηρούνται τόσο κατά την αποθήκευση στον ταμιευτήρα όσο και κατά την άντληση του συμπιεσμένου αέρα από αυτόν καθώς και εξαιτίας των μηχανολογικών βαθμών αποδόσεων των επιμέρους τμημάτων της εγκατάστασης. Εκτιμήσεις αναφέρουν βαθμούς απόδοσης εγκαταστάσεων συμπιεσμένου αέρα της τάξης του 80%. Επιπροσθέτως, η κατασκευή ενός υπόγειου ταμιευτήρα προϋποθέτει τη διάθεση σημαντικού αρχικού κεφαλαίου που σε πολλές περιπτώσεις καθιστά την πραγματοποίηση ανάλογων σχεδίων αδύνατη.

Δύο μεγάλης κλίμακας συστήματα αποθήκευσης ενέργειας συμπιεσμένου αέρα λειτουργούν αυτή τη στιγμή παγκοσμίως. Το πρώτο, ισχύος 110MW λειτουργεί από το 1991 στην Alabama και το δεύτερο, ισχύος 290MW κατασκευάστηκε στη Γερμανία (Huntorf) το 1978 και αποτέλεσε το πρώτο μεγάλης κλίμακας σύστημα αποθήκευσης ενέργειας συμπιεσμένου αέρα παγκοσμίως. Στην Iowa των ΗΠΑ μελετάται η

εγκατάσταση μονάδος ισχύος 300MW με συνεργασία μεταξύ αιολικού πάρκου 100 MW και συστήματος αποθήκευσης ενέργειας συμπιεσμένου αέρα ισχύος 200 MW. Έχει ήδη δαπανηθεί το ποσό του 1.500.000\$ για την έρευνα και μελέτη του όλου σχεδίου και όλα δείχνουν πως στα μέσα του επόμενου χρόνου οι προσπάθειες των αρμοδίων θα καρποφορήσουν. Η μελλοντική εγκατάσταση φιλοδοξεί να χρησιμοποιεί κατά 33% λιγότερο φυσικό αέριο από αντίστοιχη συμβατική, ενώ το όποιο επιπρόσθετο κόστος για την παραγωγή αιολικής ενέργειας εκτιμάται ως αμελητέο.

3.6 Αποθήκευση Δυναμικής Ενέργειας - Αντλησιοταμίευση

Η πιο διαδεδομένη ιδέα για τη μαζική αποθήκευση ενέργειας είναι η χρήση μονάδων Αντλησιοταμίευσης (Pump - hydro storage). Η γενική ιδέα της αντλησιοταμίευσης είναι η εξής: σε μία δεξαμενή βρίσκεται αποθηκευμένη μία ποσότητα νερού. Όταν ζητηθεί ισχύς το νερό μπορεί να πέσει σε μία χαμηλότερα τοποθετημένη (δεύτερη) δεξαμενή με τη βοήθεια υδροστρόβιλου, ενώ όταν δεν υπάρχει πια ζήτηση ισχύος μπορεί με αντλίες να οδηγηθεί ξανά πίσω στην πρώτη (ψηλότερη) δεξαμενή. Ένα σύστημα αντλησιοταμίευσης αποτελείται από τα εξής μέρη: μία ανώτερη δεξαμενή (First Reservoir), αγωγοί νερού (Penstock), αντλία, υδροστρόβιλος, ή σε συνδυασμό με τον στρόβιλο αντιστρέψιμης φοράς Reversible Turbines και μία κατώτερη, δεύτερη δεξαμενή (Second Reservoir) η οποία μπορεί να είναι ακόμη και η θάλασσα. Σχηματική αναπαράσταση παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 3.6).



Σχήμα 3.6. Σύστημα αντλησιοταμίευσης (Pumped Storage Unit).

Παρόλο όμως που η αντλησιοταμίευση μπορεί να δώσει υψηλή χωρητικότητα ενέργειας σε χαμηλό κόστος δεν χρησιμοποιείται όσο θα ήταν αναμενόμενο. Ο λόγος είναι αφενός η εξειδικευμένη περιοχή που χρειάζεται για να κατασκευαστεί η εγκατάσταση και αφετέρου ο χρόνος που χρειάζεται για να πραγματοποιηθεί η διαδικασία και να απελευθερωθεί η αποθηκευμένη ενέργεια, αφού αν η αντλία δεν λειτουργεί ήδη χρειάζεται χρόνος ένταξης. Για αυτό ως επί το πλείστον χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις ενέργειας μεγάλης κλίμακας. Παγκοσμίως είναι διαθέσιμα πάνω από 90GW ισχύος από αντλησιοταμίευση και σε μερικές περιπτώσεις σε συνδυασμό με φράγματα. Στη χώρα μας τέτοιου είδους σταθμοί υπάρχουν στη Σφηκιά και στον ΥΗΣ Θησαυρού.

Ορισμένα από τα νησιά μας που δεν είναι διασυνδεδεμένα έχουν ήδη κορεσθεί από πλευράς εγκατεστημένων αιολικών πάρκων και σε αυτά η αύξηση της διείσδυσης μπορεί να γίνει μόνο μέσω της εισαγωγής της αντλησιοταμίευσης, δηλ. υβριδικών μονάδων που συνδυάζουν τα αιολικά πάρκα με αντλησιοταμίευση, για παράδειγμα στην Ικαρία είναι υπό κατασκευή από την ΔΕΗ σύστημα ηλεκτροπαραγωγής υβριδικής ισχύος 3 MW. Λόγω του αναλογικά μικρού μεγέθους του δικτύου στα νησιά η διαστασιολόγηση μίας υβριδικής μονάδας θα πρέπει να προκύψει ως

αποτέλεσμα βελτιστοποίησης όλων των παραμέτρων που υπεισέρχονται, προβλέποντας επιπλέον την ζήτηση στα επόμενα χρόνια.

3.7 Αποθήκευση Θερμικής Ενέργειας

Στα παραδοσιακά ενεργειακά συστήματα, η ανάγκη για αποθήκευση θερμότητας είναι συνήθως μικρής διάρκειας και επομένως οι τεχνικές λύσεις για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας μπορεί να είναι αρκετά απλές, όπως πχ. η συγκέντρωση θερμικής ενέργειας κατά την αποθήκευση νερού, το οποίο παρουσιάζει μεγάλη κατ' όγκο θερμοχωρητικότητα.

Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι για την φυσική αποθήκευση θερμικής ενέργειας: η αισθητή ροη θερμότητας (sensible heat), οι αντιδράσεις αλλαγής φάσης (phase change) και οι θερμο-χημικές αντιδράσεις (thermo chemical). Αναλυτικά οι βασικές φυσικές αρχές για την παροχή θερμικής ενέργειας παρουσιάζονται παρακάτω:

- **Αισθητή ροη θερμότητας**

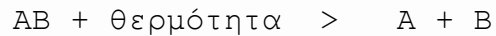
Η αποθήκευση γίνεται με βάση τις μεταβολές της θερμοκρασίας του υλικού και την ικανότητα αποθήκευσης [J/g] (θερμική χωρητικότητα).

- **Αλλαγή φάσης**

Αν το υλικό αλλάζει φάση σε μια ορισμένη θερμοκρασία θέρμανσης, τότε η θερμότητα αποθηκεύεται στο στάδιο αλλαγής. Ανάστροφα, όταν το υλικό ψύχεται η θερμότητα διαχέεται στο στάδιο αλλαγής της θερμοκρασίας. Η χωρητικότητα αποθήκευσης των υλικών αλλαγής φάσης είναι ίση με τη φάση αλλαγής της ενθαλπίας κατά την φάση αλλαγής της θερμοκρασίας.

▪ Χημικές αντιδράσεις

Οι χημικές αντιδράσεις παρέχουν την δυνατότητα αποθήκευσης σε θερμική ενέργεια. Η βασική αρχή είναι:



Χρησιμοποιώντας θερμότητα μια χημική ένωση AB μπορεί να διασπαστεί στα συστατικά της στοιχεία A και B, τα οποία μπορούν να αποθηκευτούν χωριστά. Ενώνοντας τα στοιχεία A και B μαζί σχηματίζεται η ένωση AB και ταυτόχρονα απελευθερώνεται θερμότητα. Η αποθηκευτική ικανότητα είναι η θερμότητα της αντίδρασης ή ελεύθερης ενέργειας που απελευθερώνεται από την αντίδραση.

Τα συστήματα αποθήκευσης που βασίζονται σε χημικές αντιδράσεις έχουν αμελητέες απώλειες, σε αντίθεση με ένα σύστημα αισθητής ροής θερμότητας που απελευθερώνει την αποθηκευμένη θερμότητα στο περιβάλλον.

3.7.1 Τύποι υλικών αποθήκευσης

Τα υλικά είναι τα κύρια συστατικά για την αποθήκευση θερμότητας. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία από διαφορετικά υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση θερμότητας. Το πιο κοινό μέσο αποθήκευσης είναι το νερό. Επίσης τα Μεταλλικά υδρίδια είναι γνωστά για την αποθηκευτική τους ικανότητα, με προσθήκη υδρογόνου θα απελευθερωθεί θερμότητα και με την αφαίρεση υδρογόνου απορροφήσουν θερμότητα. Με τον τρόπο αυτό, μεταλλικά υδρίδια χρησιμοποιούνται για την θερμομεταφορά χημικής αποθήκευσης θερμότητας ($AB = MeHx$).

Μια από τα πιο ενδιαφέρουσες φυσικές παράμετρος της θερμικής αποθήκευσης είναι η ικανότητα αποθήκευσης και η διακύμανση της θερμοκρασίας. Αυτές οι δύο παράμετροι καθορίζουν το μέγεθος και την

καταλληλότητα της αποθήκευσης σε μια εφαρμογή, αντίστοιχα. Για να υπάρχει αποδοτική μεταφορά θερμότητας πρέπει το υπεύθυνο υλικό να έχει μεγάλη θερμική αγωγιμότητα. Τα υλικά αλλαγής φάσης έχουν εν γένει μικρή τιμή θερμικής αγωγιμότητας, γεγονός που αποτελεί μειονέκτημα στις διάφορες εφαρμογές τους. Η τιμή θεωρείται πρακτικά σταθερή σε ολόκληρο το θερμοκρασιακό φάσμα εφαρμογής. Λόγω της μικρής τιμής της αγωγιμότητας, ο ρυθμός μεταφοράς θερμότητας στα υλικά αλλαγής φάσης θεωρείται μη αποδοτικός, καθώς απαιτούνται για γρήγορη και αποτελεσματική χρήση των εφαρμογών των υλικών αυτών, υψηλές θερμοκρασιακές διαφορές.

Για να ξεπεραστούν αυτά τα μειονεκτήματα τα υλικά αλλαγής φάσης (PCM) μπορεί να χρησιμοποιηθούν, ανάλογα με την εφαρμογή, για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας σε μεγάλες επιφάνειες μετάδοσης θερμότητας. Η αλλαγή της φάσης μπορεί να επιτευχθεί είτε με τη διαδικασία τήξης ή εξάτμισης. Η διαδικασία τήξεως έχει ενεργειακή πυκνότητα της τάξης των 100 kWh/m^3 έναντι 25 kWh/m^3 της αντιληπτής αποθήκευσης θερμότητας. Σε αντιδιαστολή η θερμική χωρητικότητα αποθήκευσης του νερού σε μια οικιακή εφαρμογή θέρμανσης είναι περίπου 60 kWh/m^3 .

Τα υλικά αλλαγής φάσης μπορούν να ενσωματωθούν σε δομικά υλικά και επομένως μπορούν να συμβάλουν στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και της ζήτησης της ενέργειας από την αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας κατά τη διάρκεια της ημέρας και την αποθήκευση εν ψυχρώ κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Δεδομένου ότι τα υλικά αλλαγής φάσης (PCM) έχουν μια απότομη μεταβολή στην ικανότητα αποθήκευσης σε ένα μόνο σημείο θερμοκρασίας (φάση αλλαγής της θερμοκρασίας), μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας. Για παράδειγμα, η ανάμιξη με PCM ενός δομικού υλικού θα μπορούσε να αυξήσει τη θερμική ισχύ του τοίχου. Ένας τοίχος έχει συνήθως μια αποτελεσματική μεταβολή σε θερμοκρασία ΔT περίπου της τάξης των $10-15 \text{ }^\circ\text{C}$ που δίνει την ικανότητα αποθήκευσης του 10 kWh/m^3 , που είναι περίπου το $1/5$ της ικανότητας αποθήκευσης σε παραφίνη. Η ανάμιξη δύο διαφορετικών PCM της σε ένα

κατάλληλο ποσοστό δίνει τη δυνατότητα αλλαγής της φάσης στην απαιτούμενη (επιθυμητή) θερμοκρασία.

Σήμερα είναι εμπορικά διαθέσιμα πολλά διαφορετικά υλικά αλλαγής φάσης (PCM) με σημεία τήξης που κυμαίνονται από $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $120\text{ }^{\circ}\text{C}$. Εντούτοις η αποθήκευση νερού είναι η κύρια εμπορική εφαρμογή αποθήκευσης θερμικής ενέργειας. Οι μικρές μονάδες αποθήκευσης PCM χρησιμοποιούνται κυρίως για ειδικές εφαρμογές.

3.7.2 Υλικά αλλαγής φάσης (PCM)

Η θερμοσυσσώρευση των υλικών αποτελεί βασική στρατηγική εξομάλυνσης των θερμοκρασιακών μεταβολών στο εσωτερικό των κτιρίων. Το χειμώνα διατηρεί τη θερμοκρασία σε ανεκτά επίπεδα μέχρι αργά τη νύχτα, ενώ το καλοκαίρι κρατά τους χώρους δροσερούς για μεγάλο διάστημα της ημέρας. Παραδοσιακά χρησιμοποιούνται υλικά με μεγάλη θερμοχωρητικότητα, όπως σκυρόδεμα, πέτρα, συμπαγείς οπτόπλινθοι, συμπαγές ξύλο και σε κάποια συστήματα και μάζες νερού. Το ποσό θερμότητας που συσσωρεύεται στα υλικά αυτά αυξάνει καθώς αυξάνει η μάζα, άρα το πάχος των υλικών. Αντίστοιχα και η θερμοκρασία των υλικών αυτών αυξάνεται ανάλογα προς τη θερμοκρασία που έχει αποθηκευτεί. Η μεταβολή αυτή της θερμοκρασίας είναι στην περίπτωση αυτή αισθητή.

Σήμερα, κυρίως με στόχο την αντιμετώπιση της υπερθέρμανσης σε κτίρια γραφείων, χρησιμοποιούνται σε κατά τα άλλα ελαφρές κατασκευές υλικά μεγάλης μάζας και άρα και βάρους. Αυτό ωστόσο αποτελεί αντίφαση στη λογική της ελαφριάς κατασκευής και θα ήταν ευχής έργο η δυνατότητα εφαρμογής ελαφρότερων υλικών για θερμοσυσσώρευση.

Τη λύση έρχονται να δώσουν τα λεγόμενα υλικά αλλαγής φάσης (PCM) γνωστά και ως λανθάνοντες θερμοσυσσωρευτές. Τα υλικά αλλαγής φάσης προσλαμβάνουν θερμότητα, την αποθηκεύουν και την αποδίδουν σε κάποιο άλλο χρονικό σημείο.

Χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση ηλιακής θερμότητας σε δεξαμενές νερού (solar ponds), για την ψύξη τροφίμων σε

συσκευασίες, την κατασκευή στολών ανθεκτικών σε ακραίες καταπονήσεις και την αποθήκευση απόβλητης θερμότητας σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Τώρα η ψύξη και θέρμανση κτιρίων έρχεται να αποτελέσει σημαντικό πεδίο εφαρμογής των υλικών μεταβλητής φάσης.

3.7.2.1 Πώς λειτουργούν οι λανθάνοντες θερμοσυσσωρευτές

Το πιο γνωστό υλικό μεταβλητής φάσης είναι το νερό. Αν παρατηρήσουμε κύβους πάγου σε στάδιο τήξης, καθώς αυτοί λιώνουν, αφαιρούν θερμότητα από το περιβάλλον τους. Αντίθετα το νερό σε υγρή φάση κατά το στάδιο ψύξης, καθώς πήζει και μετατρέπεται σε πάγο, αποδίδει θερμότητα στο περιβάλλον. Κατά τη μεταβολή της φάσης του από στερεό σε υγρό και αντίστροφα, το νερό διατηρεί σταθερή θερμοκρασία 0°C. Η θερμοκρασία που αποθηκεύεται και απελευθερώνεται χωρίς να γίνεται αισθητή ονομάζεται λανθάνουσα θερμοκρασία.

Υπάρχουν και σήμερα στις Σκανδιναβικές χώρες κτίρια από πάγο καθώς και κτίρια που κλιματίζονται εξ ολοκλήρου με δεξαμενές πάγου και χιονιού. Όταν όμως μιλάμε για διευρυμένη χρήση σε περισσότερο οικεία κλίματα, αναζητούμε υλικά με σημείο τήξης κοντά στις επιθυμητές θερμοκρασίες των χώρων ενδιαίτησης, δηλαδή από 20 έως 30°C. Το ζητούμενο είναι να διατηρηθούν αυτές οι θερμοκρασίες στο εσωτερικό των κτιρίων, παρά τη μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας.

Δύο κατηγορίες τέτοιων υλικών είναι γνωστές σήμερα:

- Οι παραφίνες, μόρια που συνίστανται από μεγάλες αλυσίδες υδρογονάνθρακα, με σημεία τήξης μεταξύ 22 και 26 °C.
- Τα ένυδρα άλατα, όπως τα $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ με θερμοκρασία τήξης 27°C και $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ με θερμοκρασία τήξης 32°C.

Οι παραφίνες είναι περισσότερο εύχρηστες και φθηνές αλλά εμφανίζουν μεγαλύτερη θερμική αδράνεια, μικρότερη σταθερότητα και αποβάλλουν τοξικά αέρια όταν εκτεθούν.

Τα υλικά μεταβλητές φάσης ενισχύουν τη θερμοσυσσώρευση των κτιριακών στοιχείων και συμβάλλουν στη βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς του κελύφους κτιρίων με μικρή θερμική μάζα. Ιδιαίτερα στα κτίρια γραφείων με μεγάλα ηλιακά και εσωτερικά θερμικά κέρδη, τα υλικά αλλαγής φάσης εμφανίζονται ως ιδιαίτερα ελκυστική εναλλακτική λύση σε σχέση με τη δαπανηρή εγκατάσταση ενεργών ψυκτικών στοιχείων. Επίσης τα υλικά αυτά είναι σε θέση να εξομαλύνουν τις θερμοκρασιακές αυξομειώσεις σε εσωτερικούς χώρους, όταν τα κτιριακά στοιχεία που τους περικλείουν δεν διαθέτουν αρκετή θερμοχωρητικότητα.

3.7.2.2 Εφαρμογές των υλικών αλλαγής φάσης

Εξεχωρίζουν δύο τύποι εφαρμογών των υλικών μεταβλητής φάσης σε κτίρια:

α. Αδιαφανή στοιχεία

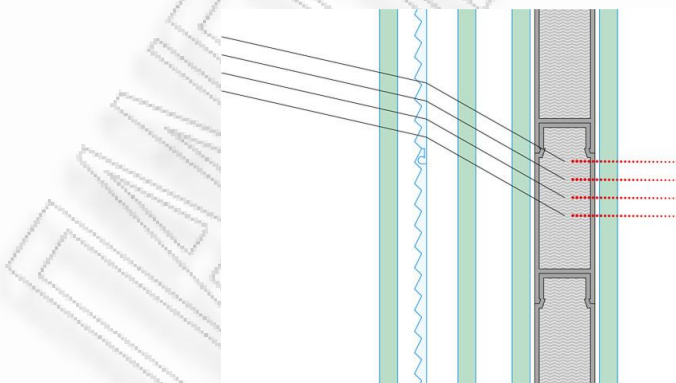
Τα υλικά αλλαγής φάσης ενσωματώνονται σε κτιριακά στοιχεία, και συγκεκριμένα με:

- Εγκλεισμό των υλικών σε συσκευασίες σάκων ή κουτιών και ενσωμάτωσή τους σε ψευδοροφές.
- Εγκλεισμό σε μικροσκοπικές κάψουλες και ενσωμάτωση σε υλικά επίχρισης τοίχων ή σε πανό (γυψοσανίδες).

β. Διαφανή στοιχεία

Μια πολύ ενδιαφέρουσα εφαρμογή είναι τα ημιδιαφανή στοιχεία προσόψεων που αποτελούνται από τρία κελύφη: Εξωτερικά ένα πρισματικό γυαλί επιτρέπει τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας μόνο όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μικρή (χειμώνας) ενώ το

καλοκαίρι λειτουργεί σαν ηλιοπροστασία. Το δεύτερο κέλυφος αποτελείται από ημιδιαφανή κουτιά που γεμίζουν με παραφίνη ή ένυδρο άλας (προτιμότερο για λόγους πυρασφάλειας). Η ακτινοβολία που διέρχεται το χειμώνα θερμαίνει τα πλαστικά δοχεία και φέρνει το υλικό στο σημείο τήξεως, όπου συσσωρεύεται η θερμότητα. Τις νυχτερινές ώρες, όταν η θερμοκρασία πέφτει το υλικό πήζει και αποδίδει θερμότητα στο χώρο. Το καλοκαίρι το υλικό θερμαινόμενο από την περιβάλλουσα θερμοκρασία λιώνει και συσσωρεύει θερμότητα εξομαλύνοντας έτσι τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις (Σχήμα 3.7). Στην εσωτερική πλευρά, το τρίτο κέλυφος, ένας υαλοπίνακας ασφαλείας που μπορεί να τυπωθεί με την τεχνική της κεραμικής μεταξοτυπίας. Το σύστημα αυτό αξιοποιείται όπως αντιλαμβανόμαστε για θέρμανση, σε σχετικά ψυχρά κλίματα. Η μετατροπή της ηλιακής ενέργειας σε θερμική γίνεται όχι μόνο αισθητή αλλά και ορατή, καθώς με την τήξη της παραφίνης αυξάνεται η διαφάνεια του στοιχείου. Άλλα συστήματα χρησιμοποιούν τις ιδιότητες των υλικών μεταβλητής φάσης για ψύξη. Τα συστήματα αυτά διακρίνονται σε παθητικά και ενεργά. Στα παθητικά συστήματα η επαναφορά των στοιχείων θερμοσυσσώρευσης μετά την τήξη τους επιτυγχάνεται με φυσικό αερισμό (Σχήμα 3.8). Το μειονέκτημά τους είναι ότι σε μακροχρόνια διαστήματα με ζέστη και με υψηλές νυχτερινές θερμοκρασίες ή με έκθεση των υλικών σε ηλιακή ακτινοβολία, τα υλικά αλλαγής φάσης καθίστανται ανενεργά.



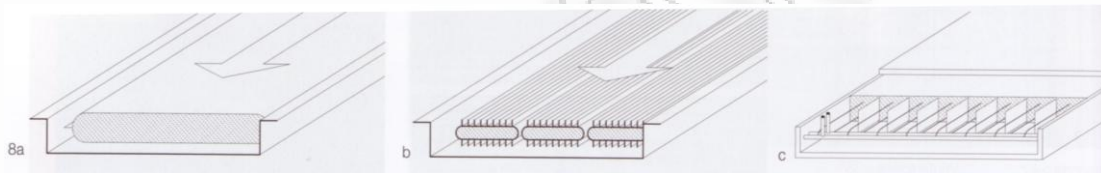
Σχήμα 3.7. Λειτουργία του ημιδιαφανούς στοιχείου το χειμώνα.



Σχήμα 3.8. α. Πλάκες ως θήκες για μείγμα παραφίνης και ένυδρου άλατος.

β. Πλάκες με αλουμινένιες κύστες που περιέχουν ένυδρο άλας.

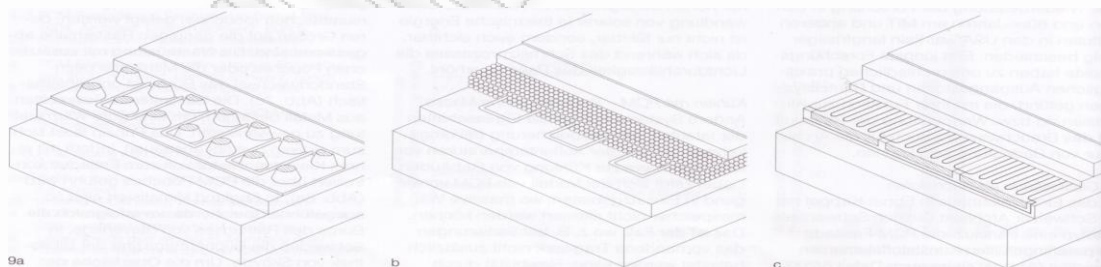
Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν ενεργά συστήματα στα οποία ρυθμίζεται ο χρόνος και ο ρυθμός της εκτόνωσης της αποθηκευμένης ενέργειας με εισαγωγή ψύξης. Αυτό πραγματοποιείται με νερό σε σωλήνες (σχήματα 3.9, 3.10) ή με ψυχρό αέρα παραγόμενοι από μικρούς ανεμιστήρες (Σχήμα 3.11).



Σχήμα 3.9. α. Πλάκες με αλουμινένιες κύστες που περιέχουν ένυδρο άλας. Ανεμιστήρας για αποφόρτιση θερμότητας.

β. Συστοιχίες πανό με ένυδρο άλας. Ανεμιστήρας για αποφόρτιση θερμότητας.

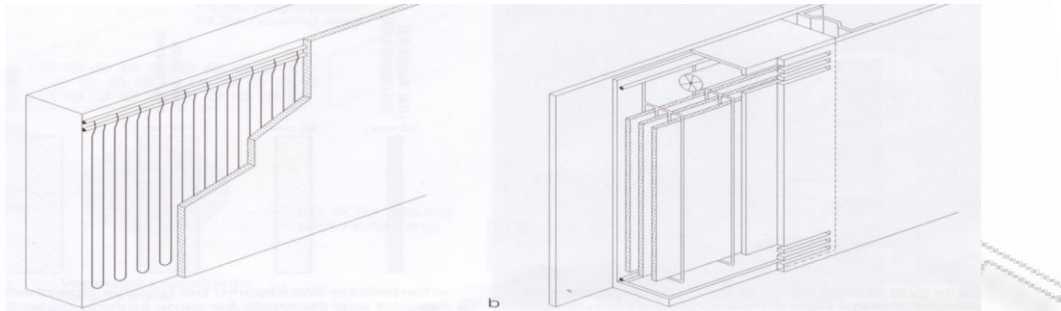
γ. Πανό με πλέγμα λεπτών σωλήνων και πλήρωση με μείγμα παραφίνης και ένυδρου άλατος.



Σχήμα 3.10. α. Ενδοδαπέδιο σύστημα με σωλήνες νερού για αποφόρτιση θερμότητας πάνω από στρώμα ένυδρου άλατος.

β. Ενδοδαπέδιο σύστημα με σωλήνες νερού για αποφόρτιση θερμότητας πάνω από κόκκους παραφίνης.

γ. Ενδοδαπέδιο σύστημα με ηλεκτρικούς αγωγούς για φόρτιση θερμότητας.



Σχήμα 3.11. a. Γυψοσανίδα με ενσωματωμένους κόκκους παραφίνης πάνω από ενδοτοιχίες σωληνώσεις.

b. Συσκευή ψύξης με αέρα για κάθετα χωρίσματα. Πανό αλουμινίου με πλήρωση από μίγμα παραφίνης - ένυδρου άλατος και με ενδιάμεσες σωληνώσεις για εκτόνωση. Μικρός ανεμιστήρας για απαγωγή αέρα.

Οι εφαρμογές των συστημάτων αποθήκευσης ενέργειας σε λανθάνουσα μορφή είναι αρκετά εκτεταμένες. Τα πλεονεκτήματα είναι η μεγάλη πυκνότητα αποθήκευσης ενέργειας με μικρότερη διακύμανση κατά την ανάκτησή της με μικρότερη θερμοκρασιακή διαφορά από την πηγή θερμότητας (μέχρι και ισοθερμοκρασιακά). Οι πρακτικές δυσκολίες που ανακύπτουν οφείλονται στη χαμηλή τιμή του συντελεστή αγωγιμότητας, στη μεταβολή της πυκνότητας, στην αξιοπιστία-σταθερότητα των ιδιοτήτων σε μακρόχρονη χρήση καθώς και στο διαχωρισμό των φάσεων με ενδεχόμενη αλλαγή χημικής σύστασης των υλικών.

Η αποθήκευση θερμότητας είναι ένα πολύ σημαντικό μέσο εξοικονόμησης ενέργειας, βελτιώνοντας την αξιοποίηση της ήδη υπάρχουσας ενέργειας. Μικρής διάρκειας αποθήκευση είναι απαραίτητη σχεδόν σε όλες τις εφαρμογές, ενώ μελετώνται εγκαταστάσεις μεγάλης αποθήκευσης ενέργειας (εποχιακή αποθήκευση).

Λαμβάνοντας υπ' όψη την περιοδικότητα των ενεργειακών φαινομένων στη φύση, οι εφαρμογές που συνδυάζουν ηλιακά συστήματα θα πρέπει να προβλέπουν επαρκή ικανότητα ενεργειακής αποθήκευσης για την περίσσεια της ενέργειας και την διάθεσή της, τις ώρες μη διάθεσης από την πηγή.

Εκτενείς προσπάθειες έχουν γίνει και εξακολουθούν να γίνονται στο τμήμα των εφαρμογών των Υλικών Μεταβλητής Φάσης με συστήματα αξιοποίησης ηλιακής ενέργειας όπου η απαιτούμενη θερμότητα αποθηκεύεται την ημέρα για να χρησιμοποιηθεί κατά τη διάρκεια της νύχτας ή σε ώρες μη ηλιοφάνειας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα εφαρμογών υλικών αλλαγής φάσης είναι τα ακόλουθα (Σχήμα 12).

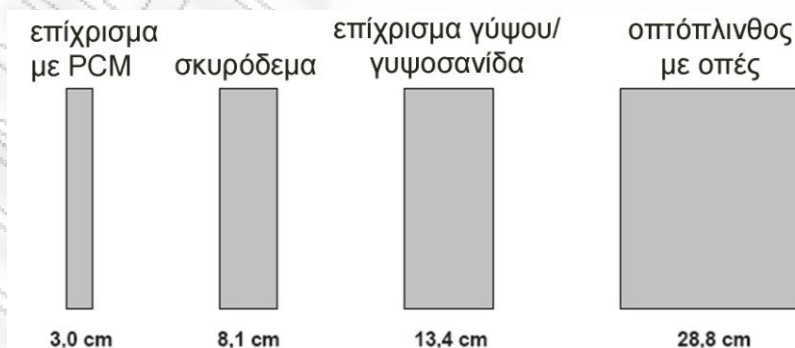


Σχήμα 3.12. Αριστερά: πανό με ενσωματωμένα PCM σε ποσοστό 20%.

Δεξιά: κτίριο με εξωτερική επένδυση από πανό με ενσωματωμένα PCM.

3.8 Σύνοψη - Προοπτικές και όρια των PCM

Τα υλικά αλλαγής φάσης με το υψηλό δυναμικό θερμοσυσσώρευσης που τα διακρίνει προσφέρουν αυξημένη θερμική άνεση σε κτίρια ελαφριάς κατασκευής σε σύγκριση με άλλα κατασκευαστικά υλικά (Σχήμα 3.13).



Σχήμα 3.13: Σύγκριση του αναγκαίου πάχους υλικού προκειμένου να επιτευχθεί η ίδια θερμοσυσσώρευση.

Τα συστήματα κλιματισμού κτιρίων χρησιμοποιούν δυο βασικούς τρόπους για χρήση των PCM, είτε με εφαρμογή στα δομικά στοιχεία του κτηρίου είτε σε δοχεία αποθήκευσης θερμότητας. Το πρώτο σύστημα είναι παθητικό, δηλ. η αποθηκευμένη θερμότητα ή το ψύχος εκλύεται αυτόματα όταν η εσωτερική ή εξωτερική θερμοκρασία ανέβει ή κατέβει πέραν της θερμοκρασίας αλλαγής φάσεως. Το δεύτερο είναι ένα ενεργητικό σύστημα όπου η αποθηκευμένη θερμότητα βρίσκεται σε ένα θερμικά μονωμένο δοχείο.

Σε πολύ θερμά κλίματα ωστόσο τα παθητικά συστήματα δεν είναι πραγματοποιήσιμα. Απαιτείται σκίαση και ψύξη με κάποιο ενεργό σύστημα. Ο ψυχρός αέρας ή το ψυχρό νερό που απαιτούνται για τη ρύθμιση της φόρτισης και εκτόνωσης του υλικού μπορούν παρ' όλα αυτά να κερδηθούν από συστήματα που τροφοδοτούνται από εναλλακτικές πηγές ενέργειας, όπως θερμοαντλίες, ψύξη με ήλιο ή νυκτερινό αερισμό.

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑ

4. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

4.1 Γενικά

Τις τελευταίες δεκαετίες υπήρξαν αρκετές μελέτες που κατέδειξαν τα οφέλη από τη χρήση υλικών αλλαγής φάσης σε κτίρια. Οι μελέτες αυτές περιλαμβάνουν παραδείγματα ενσωμάτωσης τέτοιων υλικών στα παραδοσιακά δομικά υλικά, όπως γυψοσανίδες και μπλοκ τσιμέντου (τσιμεντόλιθοι), για εξοικονόμηση ενέργειας και ενίσχυση της αίσθησης θερμικής άνεσης. Επιπλέον κατά την μελέτη και εφαρμογή υλικών αλλαγής φάσης στα δομικά υλικά ενός κτιρίου πρέπει να εξετάζεται η ικανότητα να εφαρμοστεί και να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα σε πραγματικές μικρότερης ή μεγαλύτερης κλίμακας εφαρμογές.

Η αποτελεσματικότητα μιας τέτοιας προσπάθειας εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής, από τα χαρακτηριστικά του φορτίου του εξεταζόμενου χώρου και τις θερμοδυναμικές ιδιότητες του επιλεγμένου υλικού αλλαγής φάσης.

Πλήθος μελετών ασχολήθηκε με διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες και κατέληξαν στο συμπέρασμα πως για κάθε δεδομένη εφαρμογή με γνωστά κλιματολογικά μεγέθη καθώς και γνωστές πληροφορίες γύρω από το προφίλ του φορτίου, η επιτυχία του συστήματος βασίζεται στο μεγαλύτερο βαθμό της στην επιλογή του σημείου τήξης του υλικού αλλαγής φάσης. Είναι πολύ σημαντικό το γεγονός ότι η θερμοκρασία τήξης του υλικού αλλαγής φάσης καθορίζει τη βέλτιστη ικανότητα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας του τοίχου, κατά τη διάρκεια μίας ημέρας. Σύμφωνα με ερευνητικά αποτελέσματα αποδεικνύεται πως ο αποδοτικότερος τρόπος ρύθμισης του τοίχου, επιτυγχάνεται με επιλογή υλικού αλλαγής φάσης του οποίου η θερμοκρασία τήξης είναι πολύ κοντά με τη μέση ημερήσια θερμοκρασία του τοίχου και όχι του περιβάλλοντος.

4.2 Ανάλυση των θερμικών ιδιοτήτων των δομικών υλικών ενός κτιρίου με την ενσωμάτωση υλικών αλλαγής φάσης

Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, με την χρήση υλικών αλλαγής φάσης επιτυγχάνεται η βελτίωση των ενεργειακών ιδιοτήτων των δομικών υλικών ενός κτιρίου. Για να υπολογίσουμε την επίδραση των υλικών αυτών απαιτείται όμως η πειραματική διερεύνηση των ιδιοτήτων των υλικών αλλαγής φάσης όταν ενσωματώνονται σε διαφορετικά δομικά στοιχεία του κτιρίου. Επομένως κρίνεται αναγκαία η μελέτη της επίδρασης της ενσωμάτωσης υλικών αλλαγής φάσης (Phase Change Materials - PCMs) πχ. σε διακοσμητικά πετρώματα με στόχο τη χρήση σε εφαρμογές εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια.

Το πλέον προσιτό δείγμα χρήσης των υλικών αλλαγής φάσης ώστε να γίνει κατανοητή η λειτουργία τους είναι στην τοιχοποιία. Κατά τη θερινή περίοδο η θερμότητα από το περιβάλλον εισέρχεται στο κέλυφος του κτιρίου διαπερνώντας τα στρώματα των δομικών υλικών και αντιμετωπίζει τη θερμική αντίσταση της μόνωσης. Σε κοινή κατασκευή τοιχοποιίας όση θερμότητα διαπεράσει το στρώμα της μόνωσης θα εισέλθει στον εσωτερικό χώρο. Στην περίπτωση τοιχοποιίας με υλικό αλλαγής φάσης αυτή η θερμότητα δεν θα εισέλθει στο χώρο, καθώς θα αποθηκευτεί στο στρώμα του υλικού αλλαγής φάσης. Στην χειμερινή περίοδο, ο αέρας του εσωτερικού χώρου έχει μεγαλύτερη θερμοκρασία από το εξωτερικό περιβάλλον. Αντίστοιχα λοιπόν, η στρώση υλικών αλλαγής φάσης αποθηκεύει όση θερμότητα έχει διαφύγει από τα στρώματα του τούβλου, του σοβά και της μόνωσης.

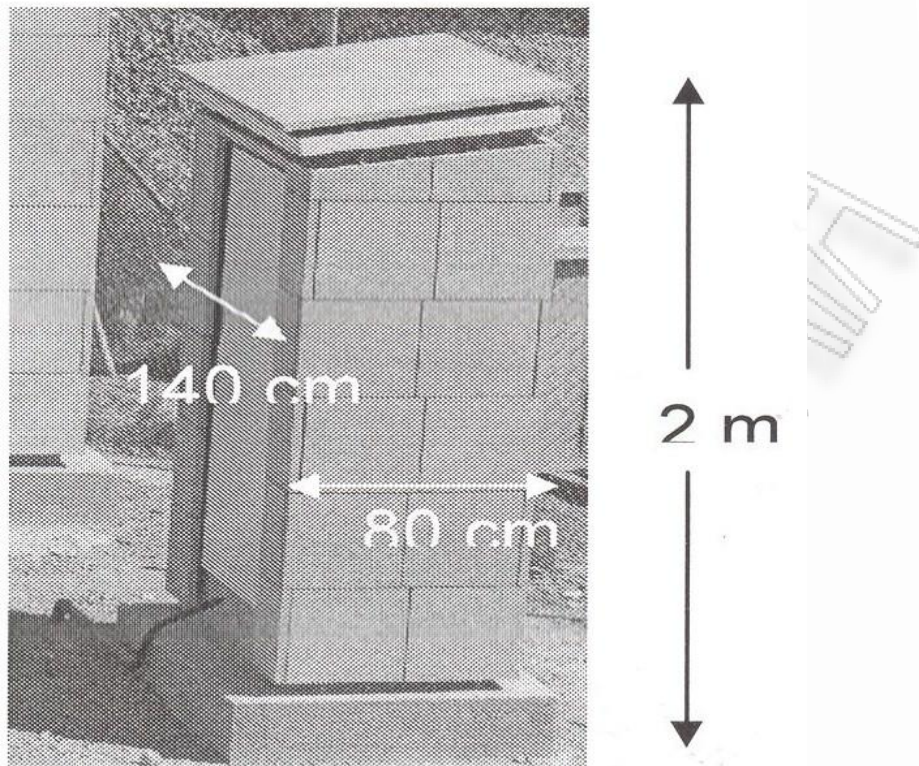
Η διερεύνηση της επίδρασης του PCM σε κτίρια στηρίχτηκε στην εργασία που εξετάζει την θερμική αποθήκευση με βάση τη χρήση PCM όταν αυτό είναι ενσωματωμένο σε φυσική πέτρα (natural stone). Όπως είναι ευρέως γνωστό η χρήση πετρωμάτων για την κατασκευή ενός κτιρίου και συγκεκριμένα φυσικής πέτρας είναι αρκετά διαδεδομένη για χρήση στις προσόψεις των κτιρίων ή στο εσωτερικό αυτών για διακόσμηση δαπέδων ή τοίχων. Η χρήση υλικών αλλαγής φάσης για την επεξεργασία της φυσικής πετράς ως δομικού υλικού, με σκοπό την

βελτίωση των θερμικών ιδιοτήτων ενός κτιρίου, είναι προτεινόμενη για τούς ακόλουθους λόγους:

- 1) Επιτυγχάνεται εξοικονόμηση ενέργειας στα συστήματα θέρμανσης/ψύξης.
- 2) Ενισχύεται η θερμική άνεση εντός του κτιρίου (μείωση των θερμοκρασιακών μεταβολών μεταξύ ημέρας και νύχτας).
- 3) Επιτυγχάνεται η αποθήκευση θερμικής ενέργειας από το εξωτερικό μέρος του κτιρίου.
- 4) Προστατεύεται το δομικό υλικό (φυσική πέτρα) σε ακραίες κλιματολογικές συνθήκες.

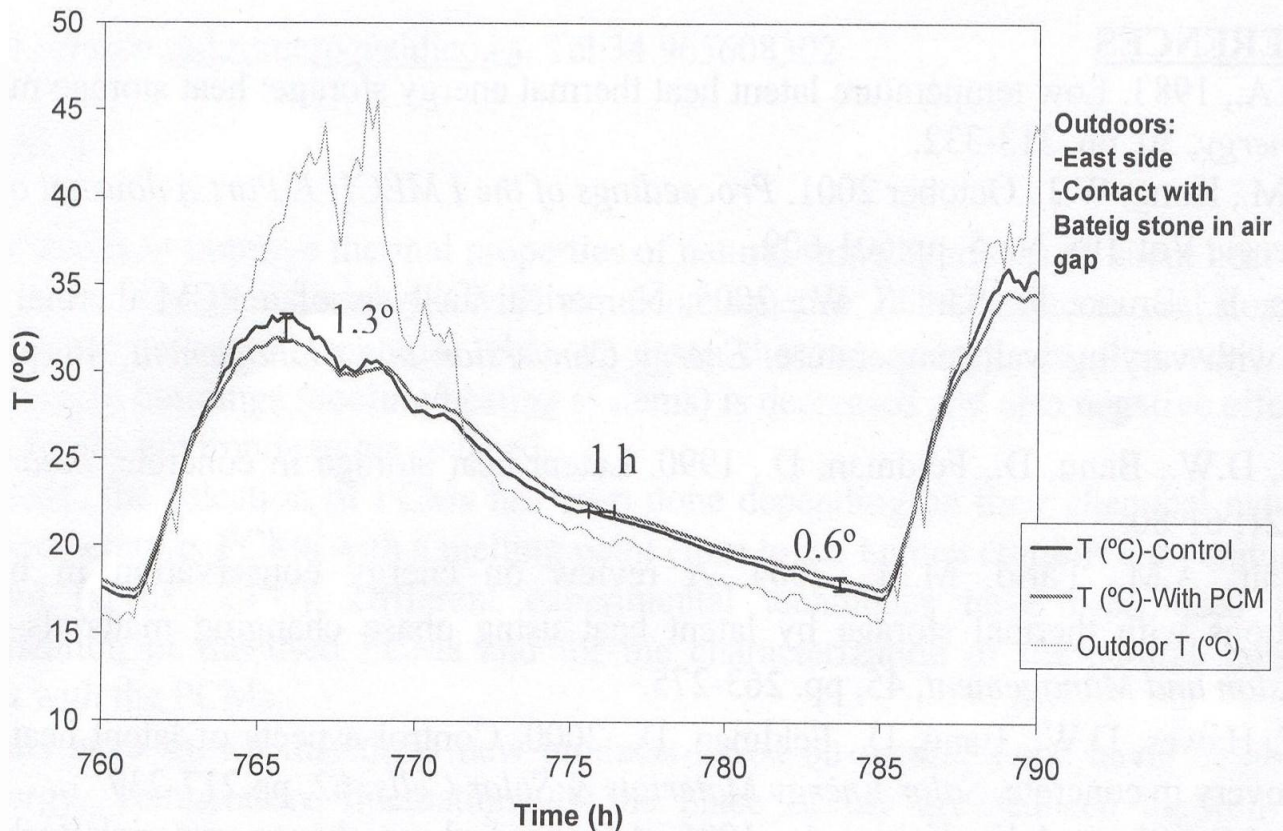
4.3 Περιγραφή πειραματικών δεδομένων των πρότυπων σταθμών (pilot houses)

Τα πειραματικά δεδομένα των πρότυπων πειραματικών σταθμών (pilot stations) βασίζονται σε πειραματική εργασία, στην οποία αποδεικνύεται η αποτελεσματικότητα της χρήσης υλικών αλλαγής φάσης, κατά την ενσωμάτωση PCM στα δομικά υλικά τους. Η εργασία που έλαβε χώρα στην Ισπανία και η οποία αναπτύχθηκε σε συνεργασία με το εργαστήριο ετερογενών μειγμάτων και συστημάτων καύσης του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, εξετάζει πρακτικά την αποτελεσματικότητα στη χρήση PCM κατά την ενσωμάτωση τους σε φυσική πέτρα (bateig azul). Ο σκοπός του εγχειρήματος αυτού είναι η πειραματική διερεύνηση της μεταβολής της θερμοκρασίας όταν ενσωματώνεται το υλικό αλλαγής φάσης στη φυσική πέτρα τόσο στην παράπλευρη τοιχοποιία όσο και στην οροφή του πρότυπου σταθμού όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1. Πρότυπος πειραματικός σταθμός.

Στα πλαίσια της εργασίας μετρήθηκε πειραματικά η θερμοκρασία εντός του κτιρίου σε δύο περιπτώσεις, όταν έχει ενσωματωθεί το PCM αλλά και όταν δεν έχει ενσωματωθεί το PCM. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων, που αφορά στην διακύμανση της θερμοκρασίας εντός του πρότυπου σταθμού σε σχέση με τη εξωτερική θερμοκρασία, παριστάνονται γραφικά στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.2). Οι πειραματικές μετρήσεις ελήφθησαν ανά 10 λεπτά και για πολλές συνεχείς ημέρες προσεγγίζοντας συνολικά τις 790 ώρες.



Σχήμα 4.2. Αποτελέσματα πειραματικών μετρήσεων της θερμοκρασίας του πρότυπου σταθμού [18].

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων παρατηρούμε σημαντικές διαφορές κατά την ενσωμάτωση PCM σε φυσική πέτρα. Ενώ η μέγιστη θερμοκρασία παρατηρήθηκε την ίδια χρονική στιγμή, τόσο με τη χρήση όσο και χωρίς τη χρήση PCM, η εσωτερική θερμοκρασία είναι κατά 1,3 °C χαμηλότερη όταν χρησιμοποιείται το PCM. Κατά την διαδικασία της έκλυσης θερμότητας προς το περιβάλλον παρατηρούμε ότι με τη χρήση PCM υπάρχει χρονική καθυστέρηση μίας ώρας, που οφείλεται στην αργή διαφυγή της θερμότητας προς το περιβάλλον όταν ενσωματώνεται το PCM.

Αυτές οι πειραματικές μετρήσεις αποδεικνύουν την αποτελεσματικότητα της ενσωμάτωσης PCM σε φυσική πέτρα. Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από τη θερμοκρασία αλλαγής φάσης του PCM (26 °C στο πείραμα), το PCM αποθηκεύει ενέργεια. Όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος μειωθεί, τότε το PCM απελευθερώνει ενέργεια, με ελεγχόμενο ρυθμό, διατηρώντας μεγαλύτερες θερμοκρασίες εντός το

πειραματικού σταθμού. Σε ένα κτίριο αν εφαρμοζόταν η παραπάνω διαδικασία θα μείωνε τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας μεταξύ μέρας και νύχτας, ενώ ταυτόχρονα θα περιόριζε τις ενεργειακές απαιτήσεις σε θέρμανση / ψύξη, αυξάνοντας την θερμική άνεση εντός αυτού.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε κατάλληλο μοντέλο προσομοίωσης που βασίστηκε στο προηγούμενο μοντέλο ενσωμάτωσης των υλικών αλλαγής φάσης σε δομικά υλικά (συγκεκριμένα όπως αναφέρθηκε η ενσωμάτωση των υλικών αλλαγής φάσης σε φυσική πέτρα) του πρότυπου πειραματικού σταθμού (πρότυπο πειραματικό κτίριο) σύμφωνα με την ακόλουθη πειραματική εργασία: *Thermal Energy Storage in natural stone treated with PCMs*, Romero Sanchez, Founti Maria, Gulliem-Lopez, Lopez-Buendia, August 2001.

Συγκεκριμένα έγινε μια προσομοίωση ενός φαινομένου τήξης και στερεοποίησης του υλικού αλλαγής φάσης το οποίο ευρίσκεται στο εσωτερικό του τοίχου με πολυεπίπεδα στρώματα. Επίσης τα τοιχώματα του πρότυπου σταθμού διακριτοποιήθηκαν σε τρία βασικά στρώματα (1ο στρώμα: αποτελείται από φυσική πέτρα με ενσωματωμένο PCM, 2ο στρώμα: αποτελείται από στρώμα κενού αέρος και 3ο στρώμα: αποτελείται από μπλόκ τσιμέντου). Στόχος του μοντέλου προσομοίωσης είναι η επίδραση της θέσης της διεπιφάνειας αλλαγής φάσης του υλικού, καθώς αυτό βρίσκεται σε στερεά κατάσταση και θερμαίνεται από το ένα άκρο του, με θερμοκρασία μεγαλύτερη της θερμοκρασίας τήξης του, οπότε και τήκεται σταδιακά, στη μεταβολή της θερμοκρασίας στο εσωτερικό του πρότυπου μοντέλου. Για την δημιουργία του υπολογιστικού μέρους, χρησιμοποιήθηκε το μαθηματικό εργαλείο Matlab, στο οποίο αναπτύχθηκε κατάλληλη εφαρμογή με βάση τα δεδομένα από το πειραματικό μοντέλο και στο οποίο πραγματοποιούνται οι απαιτούμενοι υπολογισμοί με σκοπό την διερεύνηση της μεταβολής της εσωτερικής θερμοκρασίας του πρότυπου μοντέλου (pilot station) όταν στο εξωτερικό τοίχωμα αυτού (τοίχωμα από φυσική πέτρα) έχει ενσωματωθεί το PCM.

4.4 Ανάπτυξη Υπολογιστικού εργαλείου

Η μαθηματική ανάλυση και περιγραφή των συστημάτων ενεργειακής διαχείρισης των κτιρίων είναι περίπλοκη λόγω των πολλών μη-γραμμικών παραγόντων, όπως είναι οι συντελεστές μεταφοράς θερμότητας, οι φυσικές ιδιότητες των υλικών, οι εξωτερικές καιρικές συνθήκες και οι επιπτώσεις της εξωτερικής ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η μοντελοποίηση των συστημάτων HVAC και της προσομοίωσης.

Επιπλέον κατά την προσομοίωση των ενεργειακών χαρακτηριστικών των κτιρίων υπεισέρχονται επιπρόσθετοι παράγοντες που επηρεάζουν την θερμική ισορροπία των εσωτερικών χώρων όπως είναι ο αριθμός των ατόμων που διαμένουν, η ακτινοβολούμενη ενέργεια από πηγές φωτός αλλά και ο εξοπλισμός θερμικής άνεσης που έχει εγκατασταθεί.

Στην βιβλιογραφία υπάρχουν μοντέλα προσομοίωσης που βασίζονται σε διαφορετικά θερμοδυναμικά συστήματα και αναλύουν τα χαρακτηριστικά τους με βάση την αποδοτικότητα. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι με τους οποίους μπορεί να εκφρασθεί η αποδοτικότητα μιας πηγής θέρμανσης ή ψύξης. Η κατανόηση των μονάδων μέτρησης της αποδοτικότητας είναι κρίσιμη για το σχεδιασμό ενεργειακά αποδοτικών συστημάτων (Energy optimal control of a residential space

Άλλα μοντέλα χρησιμοποιούν ισοδύναμα ηλεκτρικά κυκλώματα (RC κυκλώματα) για τον υπολογισμό των θερμικών ιδιοτήτων ενός κτιρίου. (Control strategies for energy conservation in room air-conditioning units, Suresh Kumar K. Department of Electrical Engineering, National Institute of Technology Calicut, 2000). Τα μοντέλα αυτά θεωρούνται κατάλληλα για την προσομοίωση μεγάλων κτιρίων καθώς δίνουν έμφαση στη θερμοχωρητικότητα των κτιρίων. Άλλα επίσης μαθηματικά μοντέλα βασίζονται στην θερμική προσομοίωση συστημάτων θέρμανσης / ψύξης με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας και τον έλεγχο της λειτουργίας τους. (The heat balance model of a residential house". Egidius Kazanavicius, Antanas Mikuckas, Irena Mikuckiene, Jonas Ceponis ,Digital Signal Processing Laboratory

,kaunas University, Lithuania, 2006). Τέλος υπάρχουν μοντέλα που προσομοιώνουν την θερμοχωρητικότητα αναλύοντας το τοίχωμα ενός κτιρίου σε πολλά στρώματα επομένως γίνεται εύκολη η μοντελοποίηση των παραμέτρων με βάση την χωρική όσο και την χρονική μεταβολή τους (Modelling of thermal processes in apartment houses". Sven Peets, Tonis Peets and Eugen Kokin, Institute of Engineering, Estonian University of Life Sciences. October 2004).

Η εργασία αυτή παρουσιάζει ένα δυναμικό μοντέλο για την μελέτη της θερμικής μεταβολής ενός κτιρίου με διακριτοποίηση των τοιχωμάτων του σε πολλά στρώματα, χρησιμοποιώντας ως μαθηματικό εργαλείο το matlab.

4.5 Παραδοχές – Παράμετροι προσομοίωσης

Για να προσομοιώσουμε το παραπάνω μοντέλο έγιναν κάποιες παραδοχές:

- Το δωμάτιο θεωρείται ερμητικά κλειστό με μια ομοιόμορφη κατανομή της εσωτερικής θερμικής ενέργειας.
- Οι θερμικές απώλειες υφίστανται μόνο κατά τη μεταφορά θερμότητας μέσω του κτιριακού κελύφους.
- Τα γύρω τοιχώματα του πειραματικού σταθμού όσο και η στέγη είναι ομοιόμορφα ως προς τα διαφορετικά στρώματα υλικών (φυσική πέτρα, υλικό αλλαγής φάσης, τσιμέντο).
- Η θερμοχωρητικότητα του PCM είναι μεταβλητή και παίρνει διαφορετικές τιμές ανάλογα με την μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας (βάσει των πειραματικών μετρήσεων).
- Θεωρούμε ότι το ποσοστό αύξησης του βάρους της φυσικής πέτρας όταν εμβαπίζεται σε PCM είναι 0.5%, που αντιστοιχεί σε 0,011 gr PCM/cm³ φυσικής πέτρας (Bateig azul).

- Η πυκνότητα του υλικού αλλαγής φάσης είναι σταθερή επειδή θεωρούμε ότι είναι μικρή έως ανεπαίσθητη η μεταβολή κατά τη διάρκεια αλλαγής φάσης του υλικού.
- Η ελεύθερη συναγωγή, κατά τη διάρκεια τήξης ή ψύξης του υλικού αλλαγής φάσης έχει αγνοηθεί.
- Η θερμική αγωγιμότητα του υλικού αλλαγής φάσης όταν ενσωματώνεται σε φυσική πέτρα θεωρείται σταθερή και ίση με $1,99 \text{ W/mK}$.
- Η εσωτερική θερμοκρασία του δωματίου μεταβάλλεται μη γραμμικά (μερική διαφορική εξίσωση συναρτήσει του χρόνου).
- Υπάρχει τόσο χωρική όσο και χρονική μεταβολή της θερμοκρασίας των τοιχωμάτων του κτιρίου αναφοράς με σκοπό την πλήρη ενσωμάτωση των διαφορετικών ιδιοτήτων των υλικών (φυσική πέτρα, PCM, τσιμέντο) στην προσομοίωση.
- Η μεταφορά θερμότητας μπορεί να επιτευχθεί μόνο κατά τη διεύθυνση του πάχους του τοίχου και είναι μη γραμμική διεργασία αγωγιμότητας.

Τα δεδομένα της προσομοίωσης που ελήφθησαν υπόψιν είναι τα ακόλουθα:

Δεδομένα προσομοίωσης	Ονομασία
t_i	Χρόνος προσομοίωσης (sec)
N	Αριθμός διακριτών βημάτων χρόνου
κ	Αριθμός διακριτών επιπέδων χώρου
h	Διάρκεια ενός διαστήματος χρόνου (sec)

K_{air}, h_{air}, $dens_{air}$, Airthick	Αντίστοιχα η αγωγιμότητα του στρώματος αέρα του τοίχου ($W/(m K)$), συντελεστής συναγωγής του αέρα ($W/(m^2K)$), η πυκνότητα του αέρα (kg/m^3) και το πάχος στρώματος από κενό αέρος (m)
K_{pcm}, Cp_{pcm}, $dens_{pcm}$, PCMthick	Αντίστοιχα η αγωγιμότητα του στρώματος PCM του τοίχου ($W/(m K)$), η θερμοχωρητικότητα του PCM ($kJ/(kg K)$), η πυκνότητα του PCM (kg/m^3) και το πάχος του στρώματος PCM (m)
K_{conc}, Cp_{conc}, $dens_{conc}$, CONCthick	Αντίστοιχα η αγωγιμότητα του στρώματος τσιμέντου του τοίχου ($W/(m K)$), η θερμοχωρητικότητα του τσιμέντου ($kJ/(kg K)$), η πυκνότητα του τσιμέντου (kg/m^3) και το πάχος του στρώματος τσιμέντου (m)
K_{Bat}, Cp_{Bat}, $dens_{Bat}$, BATthick	Αντίστοιχα η αγωγιμότητα του στρώματος φυσικής πέτρας του τοίχου ($W/(m K)$), η θερμοχωρητικότητα της φυσικής πέτρας ($kJ/(kg K)$), η πυκνότητα της φυσικής πέτρας (kg/m^3) και το πάχος της φυσικής πέτρας (m)
K_{poli}, Cp_{poli}, $dens_{poli}$, POLthick	Αντίστοιχα η αγωγιμότητα του υλικού polispan της πόρτας ($W/(m K)$), η θερμοχωρητικότητα του υλικού polispan ($kJ/(kg K)$), η πυκνότητα του υλικού polispan (kg/m^3) και το πάχος στρώματος του υλικού polispan (m)
K_{pvc}, Cp_{pvc}, $dens_{pvc}$, PVCthick	Αντίστοιχα η αγωγιμότητα του υλικού PVC της πόρτας ($W/(m K)$), η θερμοχωρητικότητα του υλικού PVC ($kJ/(kg K)$), η πυκνότητα του υλικού PVC (kg/m^3) και το πάχος στρώματος του υλικού PVC (m)
K_{met}, Cp_{met}, $dens_{met}$, METthick	Αντίστοιχα η αγωγιμότητα του μεταλλικού στρώματος της πόρτας ($W/(m K)$), η θερμοχωρητικότητα του μετάλλου ($kJ/(kg K)$), η πυκνότητα του μετάλλου (kg/m^3) και το πάχος στρώματος του μετάλλου (m)

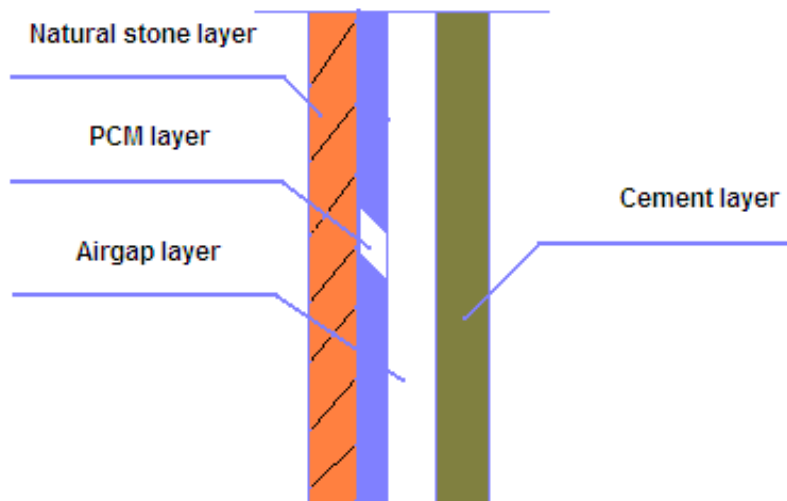
Οι διάφορες παράμετροι που ελήφθησαν υπόψιν κατά την προσομοίωση είναι οι ακόλουθες:

Παράμετροι προσομοίωσης	Ονομασία
ρ_k	Πυκνότητα υλικού στο επίπεδο κ (kg/m^3)
C_k	Ειδική θερμοχωρητικότητα επιπέδου κ ($kJ/(kg K)$)
V_k	Όγκος του υλικού στο επίπεδο κ (m^3)
T_k	Θερμοκρασία στο επίπεδο κ ($^{\circ}C$)

λ_k	Γραμμική Θερμική μεταδόση στο επίπεδο κ (W/ (m K))
L_k	πάχος του στρώματος k (m)
K_k	Συντελεστής επιφανειας Θερμικής αγωγής στο επίπεδο κ (W/ (m ² K))
A_i	Εμβαδόν επιπέδου κ (m ²)

Εφαρμόζοντας την εξίσωση διατήρησης της ενέργειας για κάθε δομικό στοιχείο, αναπτύχθηκε κατάλληλο μαθηματικό μοντέλο το οποίο διαχωρίζει την εξωτερικό τοίχο σε εσωτερικές επιφάνειες κ.

Για τις ανάγκες της προσομοίωσης το εσωτερικό του τοιχώματος έχει διαχωριστεί σε τέσσερις επιμέρους στρώματα, στο πρώτο έχουμε φυσική πέτρα, στο δεύτερο το υλικό αλλαγής φάσης, στο τρίτο στρώμα κενό αέρος και τέλος στο τέταρτο τσιμέντο, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.3).



Σχήμα 4.3. Διακριτοποίηση στρωμάτων εντός του τοιχώματος του υπό εξέταση πρότυπου σταθμού.

Αντίστοιχη διακριτοποίηση έγινε και για την περίπτωση της πόρτας του υπό εξέταση πειραματικού σταθμού (πειραματικό μοντέλο) κατά την οποία τα στρώματα διαιρέθηκαν στα εξής τρία: στρώμα εξωτερικό από

PVC (PVC sheet layer) , στρώμα εσωτερικό από υλικό polispan (Polispan sheet layer) και τρίτο στρώμα από μέταλλο (Metal sheet layer) .

Για κάθε επιφάνεια k εντός του τοιχώματος, έχουμε την ακόλουθη εξίσωση ισορροπίας (θερμικό ισοζύγιο):

$$\rho_{k,i} c_{k,i} V_{k,i} \frac{dT_{k,i}(t)}{dt} = K_{k+1,i} A_k [T_{k+1,i}(t) - T_{k,i}(t)] - K_{k,i} A_k [T_{k,i}(t) - T_{k-1,i}(t)]$$

όπου η θερμική αγωγή K , μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη εξίσωση με βάση το αρμονικό μέσο ως:

$$K_{k,i} = \frac{1}{(L_{k-1,i} / 2) \lambda_{k-1,i} + (L_{k,i} / 2) \lambda_{k,i}}$$

όπου $L_{k,i}$ δηλώνει το πάχος του στρώματος k και η παράμετρος $\lambda_{k,i}$ την θερμική του αγωγιμότητα.

Η εξίσωση ισορροπίας για την εξωτερική επιφάνεια (εξωτερικό στρώμα) μπορεί να υπολογιστεί με βάση την παρακάτω εξίσωση:

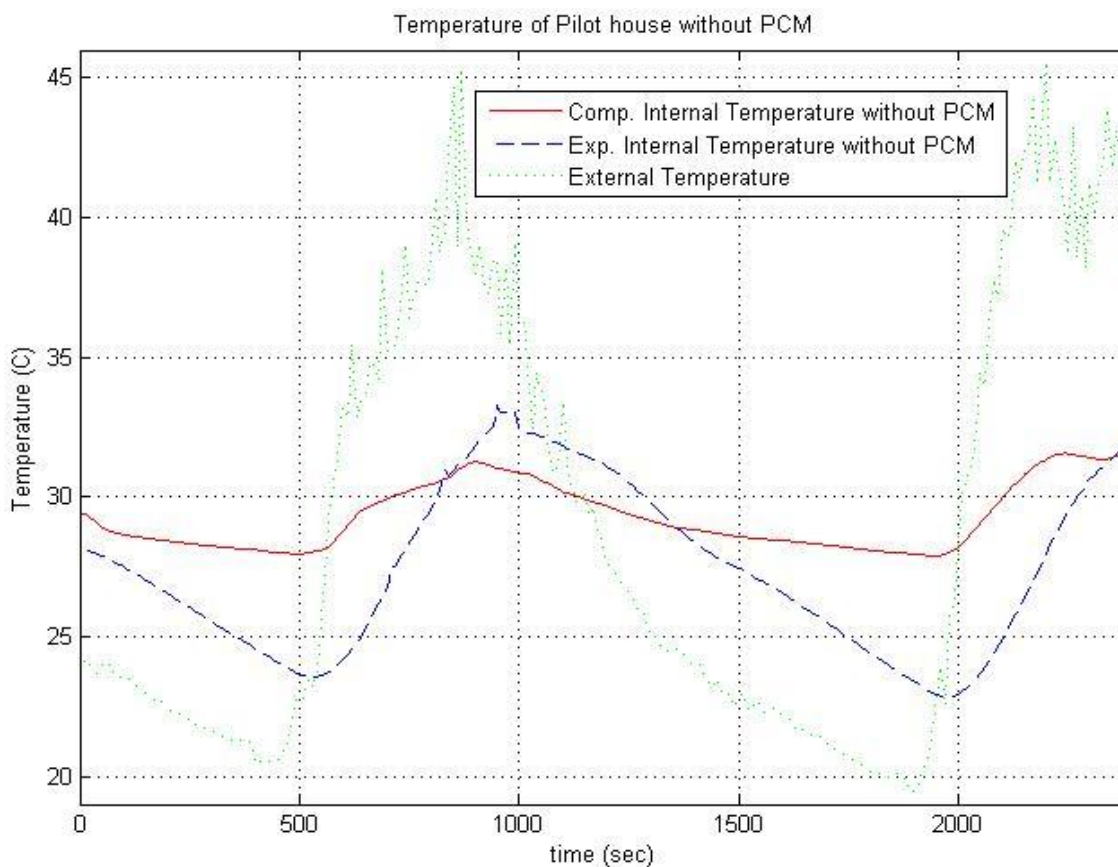
$$K_{k,i} (T_{2,i} - T_{1,i}) = h_{air_out} (T_{1,i} - T_{ext})$$

όπου T_{ext} αναφέρεται στην εξωτερική θερμοκρασία και h_{air_out} αναφέρεται στον θερμικό συντελεστή μεταφοράς θερμότητας του αέρα.

Επιπλέον απαιτούνται κατά την προσομοίωση οι πειραματικές μετρήσεις της μεταβολής των θερμικών ιδιοτήτων του υλικού αλλαγής φάσης (συγκεκριμένα η μεταβολή της θερμοχωρητικότητας όταν στην φυσική πέτρα ενσωματώνεται το υλικό αλλαγής φάσης) σε σχέση με την εξωτερική θερμοκρασία των τοιχωμάτων του πειραματικού σταθμού με σκοπό τον υπολογισμό της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου και την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων.

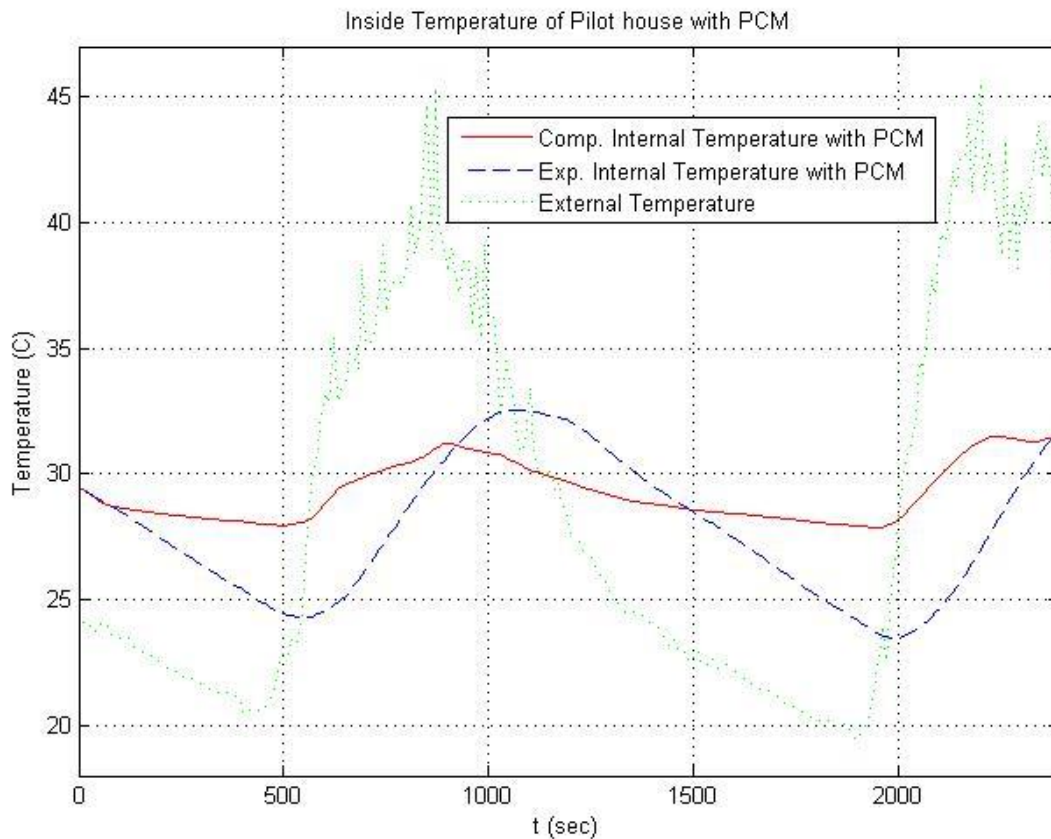
4.6 Αποτελέσματα προσομοίωσης

Αρχικά υπολογίζουμε τη μεταβολή της εσωτερικής θερμοκρασίας του πειραματικού σταθμού χωρίς τη χρήση PCM και συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με εκείνα των πειραματικών μετρήσεων. Χρησιμοποιώντας τους προηγούμενους τύπους για τον υπολογισμό της εσωτερικής θερμοκρασίας παριστάνουμε γραφικά τα αποτελέσματα και συγκρίνουμε τις γραφικές παραστάσεις. Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.4) παριστάνονται γραφικά η εξωτερική θερμοκρασία του πρότυπου σταθμού, η εσωτερική θερμοκρασία με βάση τους υπολογισμούς του μοντέλου προσομοίωσης και η εσωτερική θερμοκρασία με βάση τους πειραματικούς υπολογισμούς, όταν δε έχει ενσωματωθεί το PCM.



Σχήμα 4.4. Υπολογιστικές μετρήσεις εσωτερικής θερμοκρασίας σε σύγκριση με τις πειραματικές μετρήσεις εσωτερικής θερμοκρασίας του πρότυπου σταθμού όταν δεν έχει χρησιμοποιηθεί το PCM.

Παρατηρούμε στην γραφική παράσταση ότι οι υπολογιστικές μετρήσεις συγκλίνουν με τις πειραματικές μετρήσεις ως προς την μεταβολή της εσωτερικής θερμοκρασίας. Επίσης παρατηρούμε ότι τα τυπικά ακρότατα (ακραίες τιμές θερμοκρασίας), των πειραματικών δεδομένων και των υπολογιστικών μετρήσεων, εμφανίζονται τις ίδιες χρονικές στιγμές. Στη συνέχεια παριστάνονται γραφικά (Σχήμα 4.5) η εξωτερική θερμοκρασία του πρότυπου σταθμού, η εσωτερική θερμοκρασία με βάση τους υπολογισμούς του μοντέλου προσομοίωσης και η εσωτερική θερμοκρασία με βάση τους πειραματικούς υπολογισμούς, όταν έχει ενσωματωθεί το PCM.



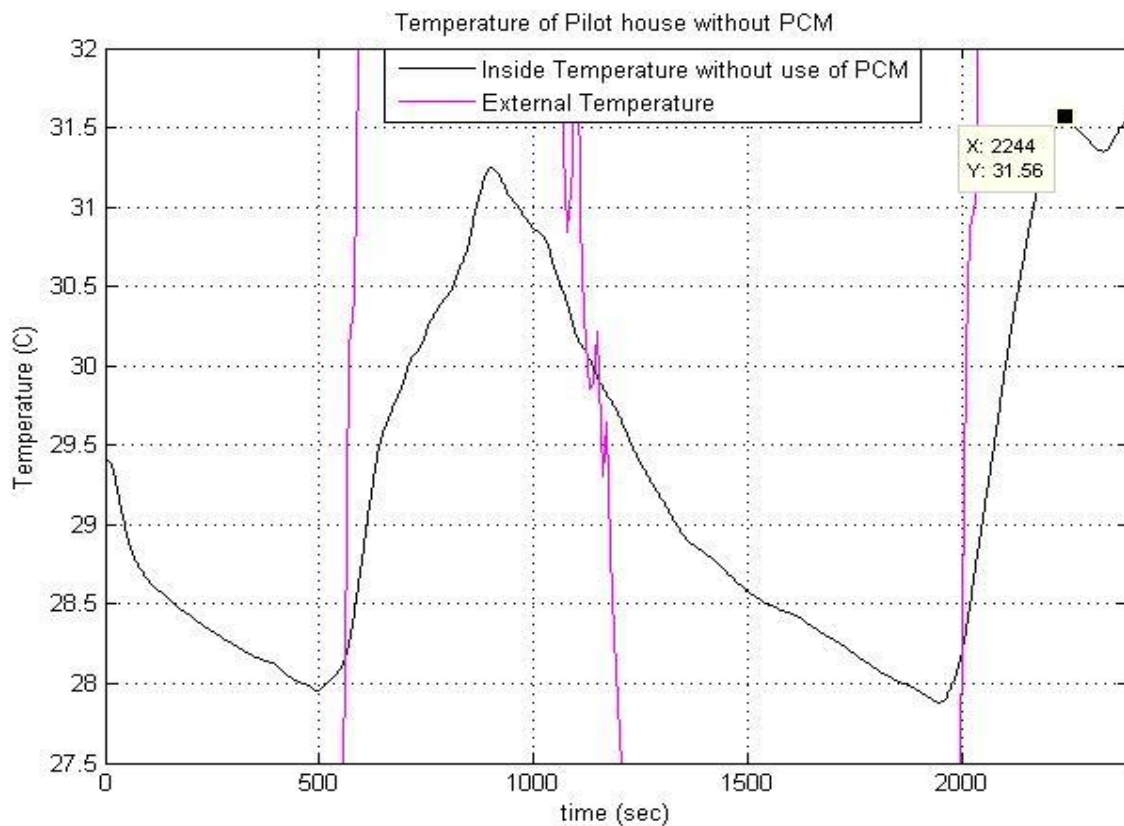
Σχήμα 4.5. Υπολογιστικές μετρήσεις εσωτερικής θερμοκρασίας σε σύγκριση με τις πειραματικές μετρήσεις εσωτερικής θερμοκρασίας του πρότυπου σταθμού όταν έχει ενσωματωθεί το PCM.

Παρατηρούμε στην παραπάνω γραφική παράσταση ότι οι υπολογιστικές μετρήσεις συγκλίνουν με τις πειραματικές μετρήσεις, σε μεγαλύτερο βαθμό, ως προς την μεταβολή της εσωτερικής θερμοκρασίας. Η εσωτερική θερμοκρασία κατά την αρχή της προσομοίωσης όσο και στο πέρας της συμπίπτει σε πραγματικά μεγέθη με τα πειραματικά

δεδομένα. Επίσης παρατηρούμε ότι τα τυπικά ακρότατα τιμών (ακραίες τιμές θερμοκρασίας), των πειραματικών δεδομένων και των υπολογιστικών μετρήσεων, εμφανίζονται σε παραπλήσιες χρονικές στιγμές, που σημαίνει ότι τα αποτελέσματα του αλγορίθμου ακολουθούν σε πραγματικό χρόνο τα δεδομένα των πειραματικών μετρήσεων. Ακόμη είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι η διακύμανση της εσωτερικής θερμοκρασίας, όταν ενσωματώνεται το PCM, παρουσιάζει εξομάλυνση, δηλ. οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας εντός του πειραματικού σταθμού είναι μικρότερες, επομένως αποφεύγονται οι απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές.

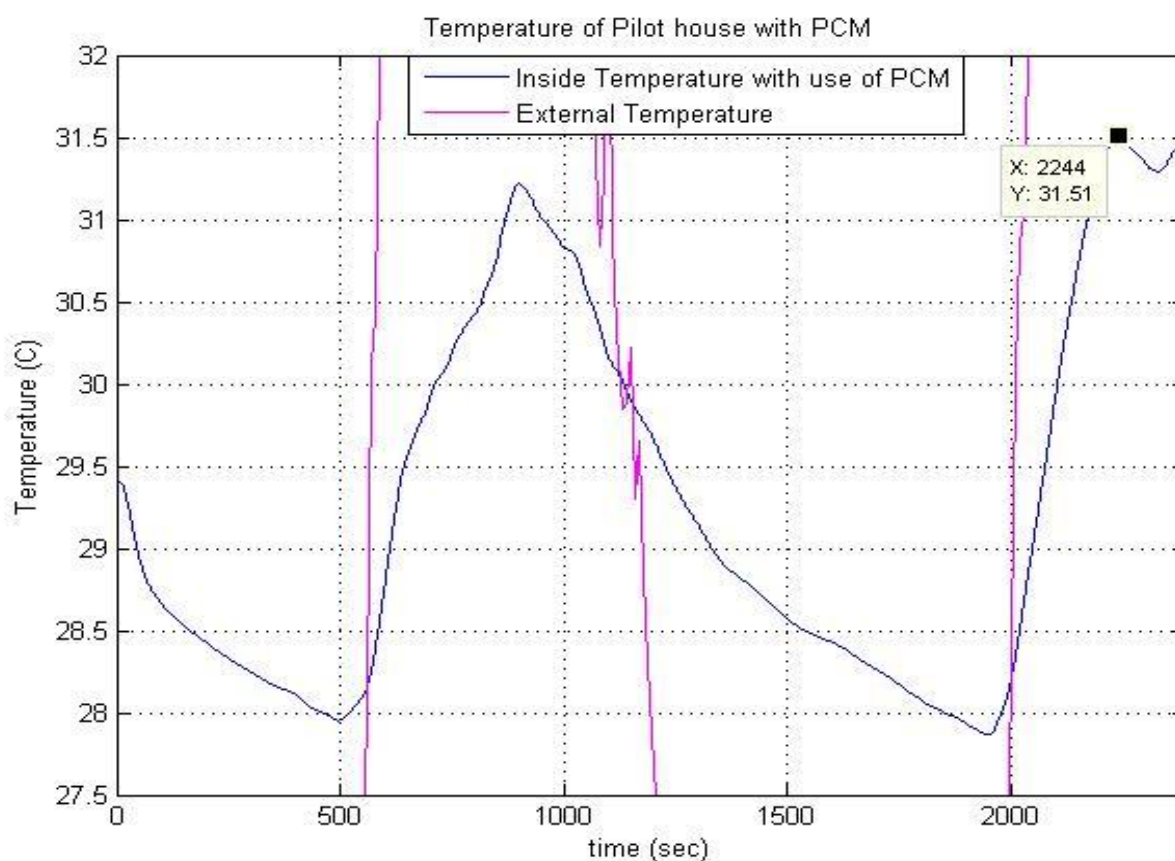
4.7 Συμπεράσματα από τη μελέτη περίπτωσης

Παρατηρούμε ότι το φάσμα τιμών της εσωτερικής θερμοκρασίας όταν δεν χρησιμοποιείται PCM είναι μεταξύ του διαστήματος [27,88 31,56] όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.6).



Σχήμα 4.6. Υπολογιστικές μετρήσεις εσωτερικής θερμοκρασίας σε σύγκριση με την εξωτερική θερμοκρασία όταν δεν έχει ενσωματωθεί το PCM.

Αντίθετα όταν χρησιμοποιείται PCM η θερμοκρασία κυμαίνεται στο διάστημα [27,86 31,51] όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.7). Παρατηρούμε δηλαδή μείωση της μέγιστης θερμοκρασίας εντός του σπιτιού, που εκφράζεται σε καλύτερη απόδοση της τάξης του 0,16% όσον αφορά την θερμοκρασιακή διαφορά εντός του πρότυπου σταθμού. Ακόμη αν υπολογίσουμε την μέση τιμή της εσωτερικής θερμοκρασίας παρατηρούμε ότι στην περίπτωση της χρήσης PCM η τιμή αυτή είναι 29,27 °C σε αντίθεση με τη μη χρήση PCM όπου η μέση τιμή είναι 29,29 °C, που μεταφράζεται σε πιο ομοιόμορφη απόδοση της θερμότητας εντός του σπιτιού (θερμική άνεση).



Σχήμα 4.7. Υπολογιστικές μετρήσεις εσωτερικής θερμοκρασίας σε σύγκριση με την εξωτερική θερμοκρασία όταν έχει ενσωματωθεί το PCM.

Επίσης παρατηρούμε ότι ενώ η μέγιστη τιμή της εσωτερικής θερμοκρασίας μειώνεται με την ενσωμάτωση PCM, η ελάχιστη τιμή της, ενώ θα περιμέναμε να αυξηθεί, εντούτοις δεν επηρεάζεται. Αυτό οφείλεται στο ότι η θερμοκρασία τήξης του υλικού αλλαγής φάσης

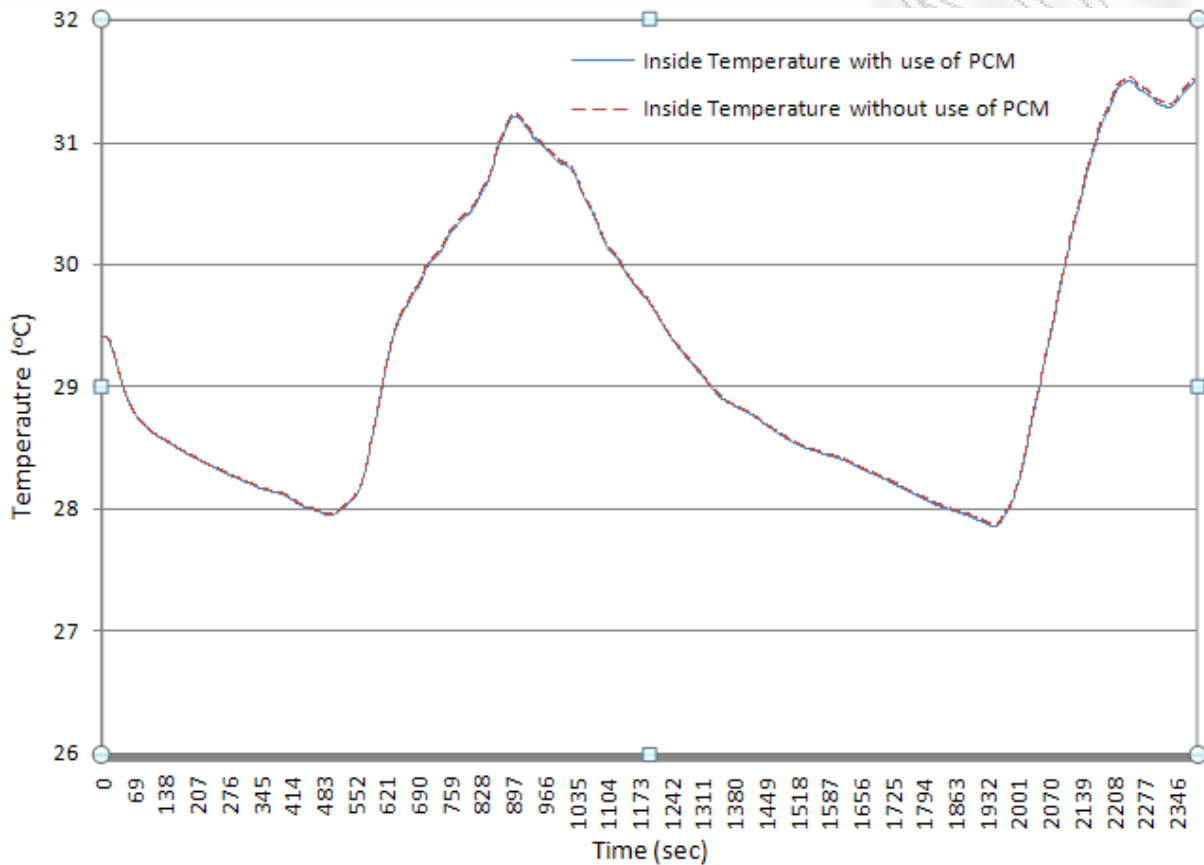
είναι ορισμένη στους 26 °C και επομένως δεν επηρεάζει την ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας που υπολογίσαμε καθώς βρίσκεται στο διάστημα τιμών [27,86 31,51], αρκετά πιο πάνω δηλαδή από το σημείο τήξης.

Επομένως τα υπολογιστικά αποτελέσματα δίνουν ορθή λύση στο θέμα των υψηλών θερμοκρασιών, καθώς μειώνουν την μέγιστη τιμή της, αλλά δεν προσφέρουν ικανοποιητική λύση στις χαμηλές θερμοκρασίες, λόγω του περιορισμένου εύρους τιμών τους. Παρατηρούμε ότι υπάρχει υπερεκτίμηση της εσωτερικής θερμοκρασίας, όταν υπάρχει πτώση της εξωτερικής θερμοκρασίας, καθώς δεν προσεγγίζει το σημείο αλλαγής φάσης (26 °C) και επομένως δεν έχουμε πλήρη επαναπόδοση της αποθηκευμένης θερμότητας στο περιβάλλον καθώς δεν στερεοποιείται το υλικό αλλαγής φάσης.

Το γεγονός ότι το φάσμα τιμών της εσωτερικής θερμοκρασίας του υπό εξέταση μοντέλου είναι αρκετά περιορισμένο σε σχέση με τα πειραματικά δεδομένα οφείλεται στο ότι σε πραγματικές συνθήκες υπεισέρχονται και άλλοι παράγοντες, που επηρεάζουν δραστικά τα αποτελέσματα των μετρήσεων, όπως είναι πχ. η ηλιακή ακτινοβολία και η θερμική απολαβή από το έδαφος. Ωστόσο η δυνατότητα αποθήκευσης της ενέργειας για χρήση σε μετέπειτα στάδιο είναι εμφανής κατά τον υπολογισμό της εσωτερικής θερμοκρασίας. Όπως είναι φανερό από τα προηγούμενα σχηματικά διαγράμματα, το υπό εξέταση υλικό αλλαγής φάσης, ή σύστημα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας, παρέχει έναν πρακτικό και φυσικό τρόπο χρονικής καθυστέρησης και επιτρέπει τη χρήση της θερμότητας που αποθηκεύτηκε την ημέρα, κατά τη διάρκεια της νύχτας, όποτε και αυτή χρειάζεται (κύκλος φόρτισης-αποφόρτισης).

Η αποτελεσματικότητα μιας τέτοιας προσπάθειας εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής, από τα χαρακτηριστικά του φορτίου του εξεταζόμενου χώρου και τις θερμοδυναμικές ιδιότητες του επιλεγμένου Υλικού Αλλαγής Φάσης.

Μπορούμε να παραστήσουμε γραφικά τις δύο περιπτώσεις στο ακόλουθο διάγραμμα (Σχήμα 4.8), όπου με συνεχή γραμμή παριστάνεται η εσωτερική θερμοκρασία όταν δεν έχει ενσωματωθεί το PCM και με διακεκομμένη γραμμή η εσωτερική θερμοκρασία όταν έχει ενσωματωθεί το PCM αντίστοιχα.



Σχήμα 4.8. Υπολογιστικές μετρήσεις εσωτερικής θερμοκρασίας με ενσωμάτωση του PCM σε σύγκριση με τη ενσωμάτωση του PCM.

Επομένως και υπολογιστικά συμπεραίνουμε ότι η χρήση PCM βελτιώνει την θερμική απόδοση του πρότυπου πειραματικού σταθμού και επομένως μειώνει την θερμοκρασιακή διαφορά βελτιώνοντας την θερμική άνεση εντός αυτού.

Όπως αποδεικνύεται, η χρήση υλικών αλλαγής φάσης με κατάλληλο σημείο τήξης εξομαλύνει τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στο εσωτερικό του χώρου, ελαττώνει την πιθανότητα εμφάνισης υπερθέρμανσης στον εσωτερικό χώρο και γενικότερα ενισχύει την αίσθηση θερμικής άνεσης στο εσωτερικό.

Ακόμα, η μικρή διακύμανση της θερμοκρασίας που επιτυγχάνεται στο εσωτερικό του κτιρίου, ελαττώνει την πιθανότητα εμφάνισης υψηλού θερμικού φορτίου θέρμανσης ή ψύξης, κάτι που έχει σαν αποτέλεσμα τη χρήση μικρότερων θερμαντικών και κλιματιστικών σωμάτων, που ως γνωστό λειτουργούν με καλύτερο βαθμό απόδοσης συγκριτικά με τις μεγαλύτερες μονάδες.

4.8 Σύνοψη - Προοπτικές ανάπτυξης υλικών αλλαγής φάσης

Η ικανότητα αποθήκευσης θερμότητας στην πέτρα είχε παρατηρηθεί από τους αρχαίους χρόνους και είχε αξιοποιηθεί στην κατασκευή κατοικιών. Η χρήση όμως υλικών που αποθηκεύουν ενέργεια με τη μορφή αισθητής θερμότητας, παρουσιάζει συγκεκριμένα προβλήματα όπως για παράδειγμα την υπερβολική ποσότητα υλικού που απαιτείται, καθώς επίσης και τις μεγάλες διακυμάνσεις στο θερμοκρασιακό εύρος στο οποίο κυμαίνεται η θερμοκρασία του υλικού αποθήκευσης.

Τα δομικά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται σήμερα στα κτίρια παραμένουν στη στερεή κατάσταση σε ολόκληρο το εύρος θερμοκρασιών χρήσης τους. Ομοίως συμπεριφέρονται και τα κλασσικά δομικά υλικά τα οποία ως χαρακτηριστικό έχουν την αντίσταση που προβάλλουν στη διαμέσου τους ροή της θερμότητας. Αντίθετα με αυτή την προσέγγιση μόνωσης των κτιρίων θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν υλικά που αποθηκεύουν τη θερμότητα που εισέρχεται στο κτίριο από το κέλυφος του κατά την περίοδο του θέρους, ώστε να μην αυξηθεί η θερμοκρασία των χώρων, ή να αποθηκεύουν τη θερμότητα που προσπίπτει στο κτίριο υπό τη μορφή ηλιακής ακτινοβολίας ώστε να μην υπάρχουν απώλειες θερμότητας κατά το χειμώνα.

Για χρήση στις κατασκευές τα υλικά αλλαγής φάσης πρέπει να έχουν σημείο τήξης λίγο μεγαλύτερο της θερμοκρασίας δωματίου, ώστε σε συνήθεις συνθήκες δωματίου να είναι στερεό. Κάθε αλλαγή θερμοκρασίας προκαλεί τήξη του υλικού, οπότε και απορρόφηση θερμότητας από το περιβάλλον. Πτώση της θερμοκρασίας θα έχει ως αποτέλεσμα απελευθέρωση ενέργειας ξανά προς τον περιβάλλοντα αέρα.

Η βασική ιδέα των συστημάτων αποθήκευσης ως μέσα εξοικονόμησης ενέργειας είναι η μετατόπιση των μέγιστων της ενεργειακής ζήτησης της εγκατάστασης σε ώρες μη αιχμής, ή η εξομάλυνση της καμπύλης ενεργειακής ζήτησης της εγκατάστασης ώστε να μην παρουσιάζονται σημεία αιχμής κατά την 24ωρή λειτουργία της, άρα μικρότερα θερμικά και ψυκτικά φορτία.

5. ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Ένα μεγάλης σημασίας πρόβλημα που παρουσιάζει η ηλεκτρική ενέργεια, είναι η αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων της καθίσταται δύσκολη και αντισυμβατική. Η ενέργεια που παράγεται κάθε στιγμή στους ηλεκτρικούς σταθμούς είναι όση η εκάστοτε ζήτηση φορτίου, ενώ η επιπλέον παραγωγή είναι άωφελη εφόσον δεν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ή αποθηκευτεί. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της ηλεκτρικής ενέργειας είναι ότι μπορεί να μετατραπεί αποδοτικά σε κάποια άλλη μορφή, η οποία μπορεί με τη σειρά της να αποθηκευτεί πιο εύκολα. Επομένως, επειδή η ηλεκτρική ενέργεια δεν μπορεί να αποθηκευτεί απευθείας, γεννάται η ανάγκη ανάπτυξης συστημάτων μετατροπής σε μορφές που μπορούν να αποθηκευτούν ευκολότερα. Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, η ηλεκτρική ενέργεια μπορεί να αποθηκευτεί ηλεκτρομαγνητικά, ηλεκτροχημικά και υπό μορφή δυναμικής και κινητικής ενέργειας.

Επιπλέον οι δημοφιλείς σήμερα τεχνολογίες των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η μεγάλη ανάπτυξη τους στον ενεργειακό σχεδιασμό προσθέτουν προβλήματα στη λειτουργία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, επειδή είναι απρόβλεπτες και η παράγωγή τους αλλάζει με ταχείς ρυθμούς. Για παράδειγμα, στην αιολική ενέργεια δεν είναι ασυνήθιστη μια αλλαγή της τάξης του 50% στην παραγωγή μέσα σε λίγα λεπτά. Επιπλέον η ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές, όπως η ηλιακή, δεν παράγεται όταν χρειάζεται και επομένως η αποθήκευση είναι αναγκαία. Όλοι οι φορείς προώθησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας αγνοούν την ανάγκη για αποθήκευση. Αυτό που χρειάζεται είναι μια μεγάλης κλίμακας τεχνολογία που με αποτελεσματικότητα και χαμηλό κόστος μπορεί να αποθηκεύσει μεγάλες ποσότητες ενέργειας.

Επομένως η αποθήκευση ενέργειας μπορεί να επιφέρει σημαντικά οφέλη μέσω της ασφαλούς και οικονομικής λειτουργίας ενός διασυνδεδεμένου δικτύου με σκοπό την ορθολογικότερη διαχείριση της ενέργειας στην πηγή αλλά και στην κατανάλωση (κυρίως τριτογενή τομέα) με συστήματα

εξοικονόμησης ενέργειας που θα έχουν στόχο την μείωση των θερμικών και ηλεκτρικών αναγκών σε θέρμανση ψύξη και κλιματισμό. Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται οι κυριότερες εφαρμογές σε τεχνολογίες αποθήκευσης ανά τομέα χρήσης και εξετάζεται η αποτελεσματικότητα τους ανάλογα με τις ανάγκες που απαιτούνται κατά περίπτωση.

Παρακάτω θα αναφερθούμε στις σημαντικότερες εφαρμογές στην αποθήκευση ενέργειας στην πηγή (ηλεκτροπαραγωγή) αλλά και στην κατανάλωση (κτιριακός τομέας).

Από όλες τις μεθόδους αποθήκευσης ενέργειας, μόνο η αποθήκευση της σε μορφή υδραυλικής ενέργειας και υπό μορφή πεπιεσμένου αέρα καλύπτουν την περιοχή μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας, όποτε είναι εφαρμόσιμες στην περίπτωση του ηλεκτρικού δικτύου.

Η αποθήκευση ενέργειας με συμπιεσμένο αέρα (Compressed energy storage CAES) αποτελεί μια εμπορική, γενικής χρήσης τεχνολογία, κατάλληλη να παρέχει μακροπρόθεσμη αποθήκευση μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας. Η ηλεκτρική ενέργεια αποθηκεύεται υπό μορφή συμπιεσμένου αέρα σε κατάλληλες δεξαμενές-αποθήκες. Στα συστήματα CAES, η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται οδηγώντας σε αεριοστρόβιλους τα παράγωγα της καύσης του συμπιεσμένου αέρα που ανακτούμε από πηγές στο υπέδαφος, με μικρή ποσότητα φυσικού αερίου. Η τεχνολογία αυτή βρίσκει εφαρμογή στην υποστήριξη φορτίου, με τις μονάδες CAES να είναι της τάξης των εκατοντάδων MW, σε αντίθεση με τα συστήματα flywheels και υπερ-πυκνωτών που λόγω της μικρής διάρκειας αποθήκευσης περιορίζονται σε μικρές εφαρμογές.

Βασικός σκοπός των συστημάτων CAES είναι να αξιοποιούν λίγη, χαμηλού κόστους, εκτός αιχμής ηλεκτρική ενέργεια από τις μονάδες βάσης, για την παραγωγή και συμπίεση του αέρα, τον οποίο και αποθηκεύουν στη συνέχεια τη νύχτα μέσα σε υπόγειες δεξαμενές. Κατά τη διάρκεια της ημέρας και όταν οι απαιτήσεις σε ενέργεια αυξηθούν, η μονάδα αντλεί τον συμπιεσμένο αέρα από τη δεξαμενή και αφού τον αναμίξει με φυσικό αέριο τροφοδοτεί τους αεριοστρόβιλους με τα παράγωγα της καύσης. Ο συνδυασμός συμπιεσμένου αέρα, η παραγωγή ισχύος και η προχωρημένη τεχνολογία κάτω από το έδαφος θα αποτελέσουν ένα έργο παγκόσμιας σημασίας το οποίο θα ενθαρρύνει

επιπλέον την ιδέα της εκμετάλλευσης των συστημάτων συμπιεσμένου αέρα.

Η πιο διαδεδομένη ιδέα για την μαζική αποθήκευση ενέργειας είναι η χρήση μονάδων αντλησιοταμίευσης. Τα συστήματα άντλησης για αποθήκευση υδροηλεκτρικής ενέργειας τα οποία ανυψώνουν το νερό σε μία αποθήκη για να το ρίξουν σε έναν υδροστρόβιλο για να παράγουν ηλεκτρισμό χρησιμοποιούνται σήμερα σε πολλές περιοχές. Αλλά, παρά την ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων άντλησης και αποθήκευσης υδροηλεκτρικής ενέργειας προβλέπεται περιορισμένη εφαρμογή τους λόγω περιβαντολλογικών προβλημάτων που δημιουργούνται από την κατασκευή υδροφραγμάτων και μειωμένης ζήτησης τέτοιας μορφής ενέργειας.

Η υδροηλεκτρική ενέργεια είναι η πρώτη σε παραγωγή ενέργειας μέσω τεχνολογιών ΑΠΕ, στην Ευρώπη και τον κόσμο, τόσο από την άποψη της εγκατεστημένης χωρητικότητας όσο και ως προς την αποδοτικότητά της. Ο χαρακτηρισμός των εγκαταστάσεων υδροηλεκτρικής ενέργειας ως μικρής κλίμακας ποικίλλει από χώρα σε χώρα (από 1,5 έως 25MW). Το ανώτερο όριο που υιοθετείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση Μικρών Υδροηλεκτρικών εγκαταστάσεων είναι 10MW, το οποίο γίνεται και κοινώς αποδεκτό.

Επειδή οι μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις μπορεί να είναι ή να μην είναι συνδεδεμένες με το ηλεκτρικό δίκτυο, είναι δύσκολο να μετρηθεί η εγκατεστημένη χωρητικότητά τους. Ωστόσο υπολογίζεται ότι το 5% της υδροηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από μικρές εγκαταστάσεις, ενώ η υδροηλεκτρική ενέργεια αντιπροσωπεύει το 22% της παγκόσμιας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Στην Ευρώπη υπάρχουν περισσότερες από 17.400 μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις (Small Hydro-Power as a Source of Renewable Energy in the European Union, Roman Wichowski, Water Management and Hydraylic Engineering, Austria 2005).

Οι μικρές υδροηλεκτρικές εγκαταστάσεις έχουν τεράστιες δυνατότητες, και έτσι μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στην κάλυψη των μελλοντικών ενεργειακών αναγκών. Η Ευρώπη διαθέτει τόσο φυσικούς πόρους όσο και υψηλή τεχνολογία, που της επιτρέπουν

περαιτέρω ανάπτυξη. Εκτός από την δημιουργία νέων εγκαταστάσεων, υπάρχει επίσης αξιόλογη δυνατότητα ανάπτυξης και βελτιστοποίησης των υπάρχουσών εγκαταστάσεων. Η κατάλληλη συντήρηση και ανακαίνισή τους θα μπορούσαν να συμβάλουν στην ανάπτυξη της μικρής υδροηλεκτρικής ενέργειας.

Η καλύτερη αγορά στην Ευρώπη είναι η ανακαίνιση των υπάρχουσών εγκαταστάσεων. Η Ιταλία, η Γαλλία, η Γερμανία, η Ισπανία, η Αυστρία και η Σουηδία είναι οι χώρες της ΕΕ των 15 που συμβάλλουν περισσότερο στην παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας. Η Ισπανία και η Ιταλία παρουσίασαν μεγάλη αύξηση σε εγκατεστημένη χωρητικότητα και παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας την τελευταία δεκαετία, ενώ σχεδόν όλες οι χώρες εκτός από τη Δανία, τη Σουηδία, τη Φινλανδία και τις Κάτω Χώρες αυξάνουν την παραγωγή τους. Μερικές χώρες όπως η Γερμανία, η Ελλάδα, η Ισπανία, η Ιταλία, το Λουξεμβούργο, η Πορτογαλία και το Ηνωμένο Βασίλειο ανέπτυξαν τον τομέα της μικρής υδροηλεκτρικής ενέργειας την τελευταία δεκαετία. Το 2003, η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στην ΕΕ, από υδροηλεκτρικούς σταθμούς, αντιστοιχούσε στο 4% της συνολικής ενεργειακής παραγωγής και στο 67% της συνολικής παραγωγής από ΑΠΕ (EU energy consumption by source in 2003, EIA).

Επίσης μια μικρότερης κλίμακας τεχνολογία είναι τα συστήματα αποθήκευσης με υπερ-πυκνωτές και υπεραγωγία υλικά. Οι μονάδες υπερπυκνωτών έχουν χωρητικότητα ισχύος της τάξης των 100 KW, ενώ η ενέργεια τους είναι δυνατόν να διοχετευτεί πολύ γρήγορα, από κλάσματα ενός δευτερολέπτου έως ένα λεπτό. Οι διατάξεις υπεραγωγίων υλικών στηρίζουν την λειτουργία τους στη χρήση της τεχνολογίας των υπεραγωγίων υλικών και απαιτούν σημαντικές ποσότητες ψύξης. Αυτές οι διατάξεις μπορούν να διαθέσουν έως και 2 MW μέσα σε λίγους κύκλους του εναλλασσομένου ρεύματος. Οι δυο αυτοί τύποι διατάξεων, αλλά κυρίως αυτή των υπεραγωγίων υλικών, αποτελούν μια λύση σε παροχή ποιότητας ισχύος στα δίκτυα διανομής. Τα χαρακτηριστικά της διάταξης των υπεραγωγίων υλικών είναι τέτοια ώστε να εμφανίζουν σχεδόν μηδενική αντίσταση στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα να εγκλωβίζουν την ηλεκτρική ενέργεια

σε μαγνητικό πεδίο με σχεδόν μηδενικές απώλειες. Πρόσφατες εφαρμογές σε συστήματα διανομής ενέργειας έδειξαν ότι τα υπεραγώγιμα πηνία θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για να συμπληρώσουν τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αρκεί να υπάρχει κατάλληλο σύστημα ψύξης.

Αντίθετα οι στρεφόμενοι σφόνδυλοι (flywheels), αναμένεται να έχουν εφαρμογές παροχής ισχύος και ενέργειας για μικρά χρονικά διαστήματα και κυρίως για παροχή εφεδρείας και όχι για την παροχή ενέργειας. Τα τελευταία χρόνια, έμφαση έχει δοθεί στο σχεδιασμό της γεωμετρίας κατά την περιστροφή των μαζών στην προσπάθεια να επιτευχθούν υψηλές περιστροφικές ταχύτητες (40.000–60.000 rpm). Ο χρόνος εκφόρτισης αυτών των διατάξεων κυμαίνεται από λίγα δευτερόλεπτα έως μερικά λεπτά, βοηθώντας περισσότερο, από τις μπαταρίες, σε εφαρμογές παροχής ισχύος παρά ενέργειας. Αντίθετα από τις ηλεκτρικές στήλες, τα συστήματα στρεφόμενων μαζών (σφόνδυλοι) δεν είναι ευαίσθητα στην θερμοκρασία και η απόδοση τους μπορεί να φτάσει έως 90% χωρίς ιδιαίτερη μείωση του χρόνου ζωής τους (15–20 χρόνια). Επίσης πλεονεκτούν στο ότι απαιτούν μικρό κόστος συντήρησης και εγκατάστασης.

Επιπλέον στα πλαίσια της βελτιστοποίησης του σχεδιασμού συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας κρίνεται αναγκαία η ανάπτυξη υβριδικών συστημάτων για την μείωση του αρχικού κόστους εγκατάστασης, την αύξηση της απόδοσης ανά μονάδα εγκατεστημένης ισχύος, τη διαθεσιμότητα της ισχύος όταν απαιτείται και η οικονομικότητα της εγκατάστασης. Επιπλέον αναπτύσσονται ερευνητικές δραστηριότητες ανάπτυξης συστημάτων αυτοματισμού και ελέγχου τελευταίας γενιάς, τα οποία είναι προσαρμοσμένα στις ιδιαιτερότητες των Φ/Β και υβριδικών συστημάτων ΑΠΕ. Με τον τρόπο αυτό αναμένεται να βελτιστοποιηθεί η λειτουργία και διαχείριση ενέργειας των συστημάτων αυτών. Ένα υβριδικό σύστημα παραγωγής ηλεκτρισμού που αποτελεί ένα πρωτοποριακό έργο, σε τοπικό και ευρωπαϊκό επίπεδο, υλοποιείται σήμερα στη χώρα μας και αφορά το Υβριδικό Ενεργειακό Έργο Ικαρίας.

Στην Ικαρία βρίσκεται σε φάση υλοποίησης από τη ΔΕΗ Ανανεώσιμες Α.Ε υβριδικό σχήμα αποτελούμενο από τυπική υδροηλεκτρική μονάδα

συζευγμένη με δύο αντλησιοταμιευτήρες ισχύος 3.8 MW και βοηθούμενο από αιολικό πάρκο 2.4 MW, με συνολική ικανότητα παραγωγής περίπου 15,11 GWh/έτος. Το έργο έχει ενταχθεί για παροχή δημόσιας ενίσχυσης στο Γ' Κοινοτικό Πλαίσιο Στήριξης. Η Ετήσια Καθαρή Παραγωγή Ενέργειας του Υβριδικού Ενεργειακού Έργου Ικαρίας φτάνει τις 10,96 GWh. Η ενέργεια αυτή επαρκεί για την κάλυψη του μεγαλύτερου μέρους των ενεργειακών αναγκών του νησιού για όλο το έτος, περιορίζοντας σημαντικά την ανάγκη λειτουργίας του Θερμικού Τοπικού Σταθμού Παραγωγής στον Άγιο Κήρυκο.

Όπως είδαμε πρωτίτερα οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας δεν θα μπορέσουν να αντικαταστήσουν τις υφιστάμενες τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας χωρίς σημαντικές αλλαγές στον σύγχρονο τρόπο ζωής. Ο βασικότερος λόγος, είναι η διαλείπουσα φύση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, η οποία δεν μπορεί ακολουθεί την διαρκώς μεταβαλλόμενη ζήτηση. Η ενέργεια που προέρχεται από ΑΠΕ μπορεί να χορηγηθεί on-demand μόνο αν γίνει δυνατή η αποθήκευσή της για μεταγενέστερη χρήση. Η προώθηση των ΑΠΕ εδράζεται στην ανάγκη για αειφορία στην προμήθεια ενέργειας και τον περιορισμό της χρήσης του άνθρακα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας λόγω των κλιματικών αλλαγών. Οι ΑΠΕ δεν είναι η μόνη λύση σε αυτά τα προβλήματα.

Για την αποθήκευση ενέργειας σε αυτόνομες εγκαταστάσεις χρησιμοποιούνται οι συσσωρευτές. Οι συσσωρευτές για Φ/Β εφαρμογές αποτελούν βελτιστοποιημένες κατασκευές σε σχέση με συμβατικές επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, κυρίως όσον αφορά τη χαμηλή εσωτερική αντίσταση, τη μεγάλη αντοχή σε κύκλους και βαθιές εκφορτίσεις και την αποφυγή στρωμάτωσης του ηλεκτρολύτη με εξαναγκασμένη ροή. Οι μπαταρίες μολύβδου-οξέος κατέχουν το μεγαλύτερο μέρος της αγοράς στα αυτόνομα Φ/Β συστήματα διότι συνδυάζουν καλό χρόνο ζωής με ικανοποιητικό κόστος αρχικής επένδυσης. Σε συγκεκριμένες εφαρμογές όπου η προσβασιμότητα και επισκεψιμότητα είναι δύσκολη, χρησιμοποιούνται μπαταρίες μολύβδου κλειστού τύπου (VRLA), μηδενικών απαιτήσεων συντήρησης και πλήρωσης υγρών ηλεκτρολύτη. Σε μεγάλες εφαρμογές ωστόσο η αποθήκευση ενέργειας σε μπαταρίες δεν

είναι η ενδεδειγμένη λύση. Το υδρογόνο είναι ο καλύτερος υποψήφιος για μεγάλης διαβάθμισης αποθήκευση.

Το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν εναλλακτικό καύσιμο σε πλήθος (κατάλληλα τροποποιημένων) τεχνολογιών καύσης όπως καταλυτικούς καυστήρες, λέβητες αερίου, αεροστρόβιλους και κινητήρες εσωτερικής καύσης. Η καύση του υδρογόνου παράγει νερό αλλά, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών καύσης, παράγονται και οξειδία του αζώτου. Οι κυψελίδες καυσίμου είναι μία σχετικά πρόσφατη τεχνολογία που επιτρέπει μέσω ηλεκτροχημικής αντίδρασης την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, με μόνο υποπροϊόν το νερό. Η λειτουργία της είναι αντίστροφη από αυτή μιας ηλεκτρολυτικής μονάδας και προσομοιάζει την λειτουργία μιας μπαταρίας, με την διαφορά ότι δεν έχει τον περιορισμό της εξάντλησης του καυσίμου μια και το καύσιμο (υδρογόνο) και το οξειδωτικό (αέρας ή οξυγόνο) εισάγονται συνεχώς στην άνοδο και την κάθοδο και τα προϊόντα (ηλεκτρική ενέργεια και νερό) απομακρύνονται. Θέματα διαθεσιμότητας καυσίμων αφ' ενός αλλά και μείωσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από την χρήση ορυκτών καυσίμων αφ' ετέρου, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι στο μέλλον το υδρογόνο που θα παράγεται από ΑΠΕ θα παίξει σημαντικό ρόλο μεσοπρόθεσμα, ως μέσο αποθήκευσης ενέργειας και μακροπρόθεσμα, ως καθαρό καύσιμο για αποκεντρωμένη παραγωγή ενέργειας ή για τις μεταφορές.

Η χημική βιομηχανία σήμερα παράγει υδρογόνο από ορυκτά καύσιμα αλλά αυτό θα μπορούσε επίσης να γίνει με ηλεκτρόλυση (electrolysis) διασπώντας τα μόρια του νερού (H_2O) σε υδρογόνο H_2 και οξυγόνο (O_2). Για παράδειγμα έχουν αναπτυχθεί εφαρμογές όπου με μία ηλεκτρική εκκένωση αναπτύσσουν συστήματα ηλεκτρόλυσης χρησιμοποιώντας ηλεκτρισμό από φωτοβολταϊκά κύτταρα (ηλιακό υδρογόνο). Το υδρογόνο μπορεί να αποθηκευτεί σε μεταλλικά Υδρίδια (συνδυασμοί μεταλλικών κραμάτων τα οποία δρουν σαν σε ένα σφουγγάρι που απορροφά νερό). Τα υδρίδια μετάλλων έχουν την μοναδική ικανότητα να απορροφούν υδρογόνο και να το απελευθερώνουν αργότερα, όταν αυτό είναι απαραίτητο.

Πέρα από τις πολλές του χρήσεις στη χημική βιομηχανία, το υδρογόνο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φορέας ενέργειας. Σε παγκόσμιο επίπεδο, η τάση κατανάλωσης καυσίμων όλο και λιγότερης περιεκτικότητας σε άνθρακα είναι εμφανής. Το υδρογόνο απαλλαγμένο από κάθε ποσό άνθρακα μπορεί να προσφέρει αρκετή ενέργεια για καθημερινές χρήσεις όπως η ηλεκτροδότηση κτιρίων ή η κίνηση των μεταφορικών μας μέσων. Μάλιστα αυτή τη στιγμή γίνονται σημαντικές προσπάθειες, κυρίως στα ιδιαίτερα ανεπτυγμένα κράτη, για τη μετατροπή της προσαρμοσμένης στα καύσιμα άνθρακα υποδομής σε υποδομή με βάση το υδρογόνο. Ενδεικτικά, η Ισλανδία, προβλέπει σε μία υποδομή πλήρως βασισμένη στο υδρογόνο μέχρι το 2030-2040, ενώ μέχρι το 2030 στόχος του υπουργείου ενέργειας των Η.Π.Α. είναι η αντικατάσταση του 10% της ενεργειακής κατανάλωσης από ενέργεια υδρογόνου.

Η διττότητα ηλεκτρικής ενέργειας και υδρογόνου, που προβλέπεται για το μέλλον, σημαίνει ότι θα είναι δυνατή η μαζική αποθήκευση υδρογόνου και η μετατροπή του σε ηλεκτρική ενέργεια. Έτσι θα διευκολυνθεί η ευρύτερη χρήση και ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική και ηλιακή, που είναι διαλείπουσες στη φύση.

Όσον αφορά στον κτιριακό τομέα η πιο συμφέρουσα επιλογή για την αποθήκευση θερμικής ενέργειας είναι τα ηλιακά θερμικά συστήματα. Η εφαρμογή των επίπεδων ηλιακών συλλεκτών για ζεστό νερό χρήσης είναι αρκετά διαδεδομένη, αν και η αγορά τους δεν έχει διεισδύσει με τους ίδιους ρυθμούς σε όλες τις χώρες της Ευρώπης. Ο ρυθμός πωλήσεων των ηλιακών συλλεκτών αυξήθηκε κατά 25% το έτος 2003 σε σχέση με το έτος 2002, αποδεικνύοντας το σημαντικό δυναμικό ανάπτυξης της αγοράς συστημάτων ηλιακής θέρμανσης στην Ευρωπαϊκή Ένωση (EUROPEAN SOLAR THERMAL INDUSTRY FEDERATION, Technologies for sustainable heating and cooling, 2004). Εντούτοις, για να επιτευχθούν οι στόχοι που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Κοινότητα με τη Λευκή Βίβλο για 100 εκατομύρια τ.μ. εγκαταστημένων ηλιακών συλλεκτών μέχρι το 2010, ο ετήσιος ρυθμός πωλήσεων θα πρέπει να φτάσει το 35%.

Για τις Μεσογειακές χώρες, η κατασκευή των ηλιακών συλλεκτών είναι πιο απλή συγκρινόμενη με εφαρμογές στις Β. Ευρωπαϊκές χώρες,

όπου χρησιμοποιούνται επιλεκτικές επιφάνειες για την απορροφητική τους επιφάνεια, μεγαλύτερη συλλεκτική και αποθηκευτική επιφάνεια, τεχνικές αντιψύξης.

Τα συνδυασμένα συστήματα θέρμανσης χώρων και ζεστού νερού αποκτούν περισσότερες εφαρμογές, ιδίως σε μεγάλα κτίρια. Αν και οι βασικές αρχές λειτουργίας τους είναι γνωστές, η επιτυχής εφαρμογή τους χρειάζεται συνεχή βελτίωση της συνδυασμένης λειτουργίας των συστημάτων και ανάπτυξη έξυπνων συστημάτων ελέγχου για μέγιστη αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας.

Ο αριθμός των κλιματιζόμενων κτιρίων αυξάνει, με κυρίαρχα τα μεγάλα κτίρια του τριτογενή τομέα στις Β. Ευρωπαϊκές χώρες, ενώ στη Ν. Ευρώπη σημαντικό μερίδιο καταλαμβάνουν και τα κτίρια του οικιστικού τομέα. Σαν αποτέλεσμα, ο ηλιακός κλιματισμός αποκτά μεγαλύτερο ενδιαφέρον καθώς οι ώρες αιχμής του ψυκτικού φορτίου και της μέγιστης θερμοκρασίας του εξωτερικού αέρα συμπίπτουν. Η θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για ψύξη είτε νερού (κλειστό κύκλωμα) ή απευθείας του αέρα (ανοικτό κύκλωμα). Συστήματα απορρόφησης, (νερό/λίθιούχο βρώμιο ή αμμωνία) είναι εμπορικά διαθέσιμα (μεγαλύτερα των 100 kW) και τα συστήματα αυτά έχουν υψηλή απόδοση σε ψηλές θερμοκρασίες (> 160°C), η οποία μειώνεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, τυπικές των θερμοκρασιών των επίπεδων συλλεκτών (80°C). Συστήματα προσρόφησης με στερεό απορροφητή είναι εμπορικά διαθέσιμα με συνδυασμό νερού και σιλικόνης. Αν και τα συστήματα αυτά μπορούν να δουλέψουν σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (70°C), είναι σχετικά ογκώδη συστήματα, βαριά και ακριβά. Τα συστήματα ηλιακού κλιματισμού χρειάζονται περαιτέρω βελτίωση της τεχνολογίας τους, ώστε να βελτιωθεί η απόδοση τους και να καταστούν οικονομικά πιο προσιτά.

Ένας άλλος τομέας εφαρμογών που αποκτά αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον, είναι τα συνδυασμένα συστήματα φωτοβολταϊκών και ηλιακών συλλεκτών για την κάλυψη των αναγκών των κτιρίων.

Επίσης ένας άλλος τομέας εφαρμογών των επίπεδων κεντρικών ηλιακών συστημάτων είναι η παραγωγή ζεστού νερού για βιομηχανική χρήση, όπου απαιτούνται σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες νερού (40-80°C). Οι

κυριότεροι βιομηχανικοί κλάδοι στους οποίους παρουσιάζονται σημαντικές δυνατότητες θερμικών ηλιακών συστημάτων είναι η βιομηχανία τροφίμων, βιομηχανίες ένδυσης, χημικές βιομηχανίες, ποτοποιία, αγροτικά προϊόντα (Solar Thermal Process Heating in Industrial Application, Karagiorgas M., Altener XVII/4.1030/Z/98-205, 2000).

Καθώς οι διαφορετικές χρήσεις ηλιακών συλλεκτών απαιτούν και διαφορετικές απαιτήσεις θερμοκρασίας του ρευστού, περαιτέρω έρευνα χρειάζεται για υλικά τόσο της απορροφητικής όσο και της διαφανής επιφάνειας τους για βελτίωση της απόδοσης και αισθητικής εμφάνισής τους. Έρευνα για νέα υλικά, μεγάλης θερμικής αποθήκευσης, θα διευρύνει τις εφαρμογές τους και θα επιμηκύνει το χρόνο λειτουργίας αυτών των συστημάτων.

Σήμερα, η Ισπανία, η Γαλλία και η Ιταλία είναι οι χώρες με τη μεγαλύτερη παραγωγή θερμοσυσσωρευτών στην Ευρώπη. Βέβαια, η θεσμική υποστήριξη είναι απαραίτητη για τη διάδοση της χρήσης της ηλιακής θερμικής ενέργειας. Η Γαλλική κυβέρνηση προωθεί τη δημιουργία τέτοιων εγκαταστάσεων επιχορηγώντας μέχρι και το 40% του κόστους της επένδυσης. Η Ιταλία εκδίδει πιστοποιητικά έγκρισης των εγκαταστάσεων όταν ακολουθούνται συγκεκριμένοι κανονισμοί (οριζόντια επιφάνεια, ασκίαστες συσκευές καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας). Λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορές στη γεωγραφική κατάσταση και στο κλίμα των χωρών της Ευρωπαϊκής Ένωσης, είναι προφανές ότι κάθε περιοχή πρέπει να εξοπλιστεί με διαφορετικό τρόπο για να συμμορφωθεί με τις απαιτούμενες θερμοαντικές τιμές, καθώς επίσης και να λάβει υποστήριξη από εταιρίες μάρκετινγκ, κατασκευαστικές εταιρίες, κ.λπ. Πέρα από αυτό, κάθε χώρα πρέπει να εφαρμόσει τις κατάλληλες πολιτικές για να επωφεληθεί στο έπακρο από τους ανανεώσιμους και μη πόρους της.

Τέλος ιδιαίτερη έμφαση δίνεται σε συστήματα που βασίζονται στην αποθήκευση θερμικής ενέργειας μέσω εναπόθεσης στη θερμική μάζα του κτιρίου. Η θερμική μάζα του κτιρίου έρχεται να απορροφήσει την περίσσεια ενέργεια κατά τη διάρκεια της ημέρας και να την αποδώσει σταδιακά στο χώρο αργότερα, έτσι ώστε να μην υπάρχουν σημαντικές

θερμοκρασιακές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου. Η απαιτούμενη ποσότητα θερμικής μάζας διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου. Σε ορισμένα κτίρια τα οποία δεν χρησιμοποιούνται όλο το εικοσιτετράωρο, αλλά χρειάζονται άμεση θέρμανση ή ψύξη για λίγες ώρες, απαιτείται λιγότερη θερμική μάζα απ' ό,τι σε άλλα κτίρια, έως και ελάχιστη.

Τόσο ο παραδοσιακός, όσο και ο σύγχρονος τρόπος δόμησης στις περιοχές της Νότιας Ευρώπης χρησιμοποιεί υλικά με μεγάλο συντελεστή θερμοχωρητικότητας όπως πέτρα, τούβλα και σκυρόδεμα. Υπάρχουν όμως και τεχνικές, λιγότερα διαδεδομένες και αντίστοιχα υλικά, που μπορούν να αυξήσουν τη θερμοχωρητικότητα ενός κτιρίου. Ιδιαίτερη έμφαση έχει δοθεί τα τελευταία χρόνια στην μελέτη και εγκατάσταση Υλικών αλλαγής φάσης. Πρόκειται για υλικά που αποθηκεύουν θερμότητα και ρευστοποιούνται όταν η αποθηκευμένη θερμότητα αποδίδεται στο περιβάλλον με αποτέλεσμα η προσλαμβάνουσα εξωτερική θερμική ενέργεια να αποθηκεύεται για χρήση σε μετέπειτα στάδιο.

Τα συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας παρέχουν έναν πρακτικό και φυσικό τρόπο χρονικής καθυστέρησης και επιτρέπουν τη χρήση της θερμότητας που αποθηκεύτηκε την ημέρα, κατά τη διάρκεια της νύχτας, όποτε και αυτή χρειάζεται. Τα συστήματα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας τα οποία συνδυάζουν τη χρήση Υλικών Αλλαγής Φάσης, θεωρούνται ιδιαίτερος σημαντικά για την έρευνα, λόγω της μεγάλης αποθηκευτικής (από ενεργειακή άποψη) ικανότητάς τους.

Οι εφαρμογές που έχουν λάβει χώρα τα τελευταία χρόνια είναι πολλές και βασίζονται στην ενσωμάτωση των υλικών αλλαγής φάσης στα δομικά στοιχεία ενός κτιρίου. Η εφαρμογή των Υλικών Αλλαγής Φάσης στην τοιχοποιία μπορεί να γίνει είτε με χρήση τους αυτούσια (σαν στρώμα υλικού μέσα στα υλικά του τοίχου), ή σαν συστατικό σύνθετων υλικών με βάση το τσιμέντο ή το γύψο (πχ. γυψοσανίδες με Υλικά Αλλαγής Φάσης). Η χρήση των Υλικών Αλλαγής Φάσης σε γυψοσανίδα συνήθως γίνεται σε αναλογία 20-30% κατά βάρος. Ειδικά για τη χρησιμοποίηση οργανικών Υλικών Αλλαγής Φάσης η χρήση τους σε συνδυασμό με μη αναφλέξιμα και πυρασφαλή υλικά εξασφαλίζει εν μέρει την μη αναφλεξιμότητα του τελικού προϊόντος. Η ενσωμάτωση των

υλικών αυτών σε τσιμέντο ή γύψο εξασφαλίζει σε ικανοποιητικό βαθμό τη συγκράτηση του υλικού ακόμη και μετά την πλήρη υγροποίησή του, καθώς και την μη πρόσληψη υγρασίας από τον αέρα του περιβάλλοντος. Σε πολλές περιπτώσεις πριν την ενσωμάτωση του υλικού αλλαγής φάσης (πχ. λιπαρά οξέα, ένυδρα άλατα) σε κάποιο δομικό υλικό είναι απαραίτητη η προσθήκη κάποιου καλύμματος. Για την κατηγορία των παραφινών πειραματικές μελέτες απέδειξαν τη συμβατότητά τους με το τσιμέντο ή το γύψο και γι' αυτό το λόγο έχουν χρησιμοποιηθεί δομικά υλικά εμποτισμένα με παραφίνες (Thermal Insulation of Buildings using Phase Change Materials, Energy and Buildings", V. Metivaud, Vol 36).

Κατά τα τελευταία 30 χρόνια, η τεχνολογία επέτρεψε τη δημιουργία και την ανάπτυξη μικροσυσκευασμένων Υλικών Αλλαγής Φάσης σε κάψουλες, μορφή η οποία είναι ιδανική για τη χρήση σε συνεργασία με δομικά υλικά οποιασδήποτε μορφής. Πλέον η χρήση τέτοιων υλικών θεωρείται δεδομένη σε κτίρια τα οποία σχεδιάζονται να είναι υψηλής ενεργειακής απόδοσης και χαμηλής ενεργειακής κατανάλωσης.

Η αποτελεσματικότητα όμως της χρήσης των υλικών αυτών εξαρτάται από τις κλιματολογικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής, από τα χαρακτηριστικά του φορτίου του εξεταζόμενου χώρου και τις θερμοδυναμικές ιδιότητες του επιλεγμένου Υλικού Αλλαγής Φάσης. Αριθμός μελετών ασχολήθηκε με διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες και κατέληξαν στο συμπέρασμα πως για κάθε δεδομένη εφαρμογή με γνωστά κλιματολογικά μεγέθη καθώς και γνωστές πληροφορίες γύρω από το προφίλ του φορτίου, η επιτυχία του συστήματος βασίζεται στο μεγαλύτερο βαθμό της στην επιλογή του σημείου τήξης του Υλικού Αλλαγής Φάσης.

Παρ' ότι η έρευνα γύρω από τα πλεονεκτήματα κάθε μορφής ακόμα συνεχίζεται, φαίνεται πως τα ένυδρα άλατα έχουν μεγαλύτερη θερμική αγωγιμότητα μαζί με μεγαλύτερη ικανότητα αποθήκευσης λανθάνουσας θερμότητας. Οι παραφίνες είναι επίσης εύφλεκτες, ενώ τα ένυδρα άλατα όχι. Κατά την τοποθέτησή τους σε τοίχους κτιρίων, δεν έχει παρατηρηθεί ότι τα Υλικά Αλλαγής Φάσης εκλύουν βλαβερά αέρια, αλλά οι παραφίνες είναι σημαντικά τοξικότερες από τα ένυδρα άλατα. Οι

πειραματικές ενδείξεις ύστερα από ενδελεχή εξέταση τείνουν να καταδείξουν την υπεροχή των ένυδρων αλάτων σε βάρος των παραφινών όσον αφορά στη χρησιμότητά τους ως υλικά αλλαγής φάσης (Thermal storage in Buildings, Energy and Buildings", V. Tyagi, Vol 42).

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΡΑΙΑΣ

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ - ΠΗΓΕΣ

1. Eurostat, Energy consumption in households and number of households combined, 2008.
2. EUROACE, Ενεργειακή Ζήτηση Τυπικού Κτιρίου Κατοικίας, 2008.
3. Eurostat, Using official statistics to calculate greenhouse gas emissions, 2010.
4. EUROACE, Towards Energy Efficient Buildings in Europe, 2004.
5. Σχέδιο Δράσης Ενεργειακής Απόδοσης Στα πλαίσια της Οδηγίας 2006/32/ΕΚ.
6. GROUND-SOURCE HEAT PUMP PROJECT ANALYSIS, Minister of Natural Resources Canada 2001 - 2005.
7. Cogeneration, UNEP Division of Technology, Industry and Economics - Energy and OzonAction Unit, ιστοσελίδα: www.uneptie.org/energy.
8. Process Applications for small absorption chillers, Energy Solution Center, ιστοσελίδα: www.energysolutioncenter.org.
9. Σύνδεσμος Εταιριών Φωτοβολταϊκών, Φωτοβολταϊκά: Ένας πρακτικός οδηγός, Σεπτέμβρης 2007.
10. ΚΑΠΕ - Ετήσια Έκθεση 2008.
11. GEOTHERMAL (GROUND-SOURCE) HEAT PUMPS A WORLD OVERVIEW, Geo-Heat Center, Oregon Institute of Technology, Oregon, USA.
12. Geothermal Heat Pumps, ENERGY EFFICIENCY AND RENEWABLE ENERGY, September 2008.
13. Ιστοσελίδα του Κέντρου Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας: www.cres.gr/energy_saving/biomixania/paragogi_energeias_kypseles_kaysimou.htm.
14. Ιστοσελίδα για τα στοιχεία καυσίμου: www.fuelcelltoday.com.
15. Ιστοσελίδα για την αποθήκευση ενέργειας: www.storiesproject.eu/docs/energystorage_greek.pdf.
16. Energy Storage Association, Ιστοσελίδα: www.energystorage.org.
17. Melissa M. Reading, Flywheel Energy Storage System, ιστοσελίδα: www.energy.ca.gov/reports/2004-04-07_500-04-014.PDF.
18. Thermal Energy Storage in natural stone treated with PCMs". Romero Sanchez, Founti Maria, Gulliem-Lopez, Lopez-Buendia, August 2001.

19. The experience with energy efficiency policies and programmes and policies in IEA countries, IEA August 2005.
20. Ηλιακός Κλιματισμός. βασικές αρχές, παραδείγματα εφαρμογών και προτάσεις, Ευρωπαϊκό έργο SOLCO, ιστοσελίδα: www.solcoproject.net.
21. Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας: Κυψέλες καυσίμου, ιστοσελίδα: www.cres.gr.
22. Τεχνολογίες Εξοικονόμησης Ενέργειας, Υπουργείο Ανάπτυξης, Τομέας Ενέργειας και Φυσικών πόρων.
23. Ενεργειακή Αποδοτικότητα στο Δομημένο Περιβάλλον, Εύη Τζανακάκη, Τμήμα κτιρίων, Διεύθυνση Ενεργειακής αποδοτικότητας, ΚΑΠΕ 2008.
24. Παράρτημα 1: Ορθολογική χρήση ενέργειας (ΟΧΕ) – Εξοικονόμηση Ενέργειας (ΕΞΕ) – Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας”, Υπουργείο Ανάπτυξης- Ειδική Υπηρεσία Δράσεις Ενημέρωσης.
25. Ενεργεια, Περιβάλλον & Επιχειρηματικότητα. ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ & ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ.
26. Small Hydro-Power as a Source of Renewable Energy in the European Union. Roman Wichowski. Water Management and Hydraylic Engineering, Austria 2005.
27. The European Solar Thermal Market. 5th International Symposium, Sept., Gleisdorf (Austria), 2000.
28. PROCESOL 2000 - Solar Thermal Process Heating in Industrial Application - A Stimulation Plan, Karagiorgas M., Botzios A., Tsoutsos T., Mavrogiannis I., Travassaros K., Lopez G., Nunes P., Striy-Hipp G. Altener XVII/4.1030/Z/98-205, 2000.
29. Thermal Insulation of Buildings using Phase Change Materials, Energy and Buildings, Vol 36 V. Metivaud, L. Ventola.
30. Thermal storage in Buildings, Energy and Buildings, V. Tyagi, D. Buddhi, Vol 42.