



Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών
Τομέας Θερμότητας

Διπλωματική Εργασία
Συστήματα ανοικτού κύκλου με υγρό αφυγραντικό υλικό

Φοιτητής:	Μαλλιωτάκης Ευάγγελος
Αριθμός μητρώου:	mc06658
Επιβλέπουσα:	Ε. Κορωνάκη, Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Περιεχόμενα

1.	Πρόλογος.....	5
2.	Θερμική Άνεση	6
3.	Συστήματα ανοιχτού κύκλου με στερεό αφυγραντικό υλικό.....	8
3.1	Εισαγωγικά.....	8
3.2	Περιγραφή συστήματος και κύκλου	8
4.	Συστήματα ανοιχτού κύκλου με υγρό αφυγραντικό υλικό	14
4.1	Εισαγωγικά.....	14
4.2	Περιγραφή συστήματος και κύκλου	15
5.	Μαθηματικό μοντέλο για την αδιαβατική απορρόφηση του αερίου.	24
5.1	Εισαγωγή.....	24
5.2	Προσομοίωση με κώδικα	29
5.3	Αναλυτική λύση.....	30
5.4	Αποδοτικότητα και ποσοστό συμπύκνωσης πύργου.	33
5.5	Σύγκριση και συζήτηση.....	34
5.6	Συμπεράσματα	44
6.	Επισκόπηση διαθέσιμων συστημάτων	46
6.1	Kathabar	46
6.2	Menerga	46
6.3	L-DCS	49
6.4	Ail research.....	50
7.	Οικονομική ανάλυση εφαρμογής του μηχανήματος σε περιοχές της Ελλάδας.....	53
7.1	Λογισμικό RETScreen.....	53
7.2	Επεξήγηση χρήσης του RETScreen	54
7.3	Εφαρμογή στην Αθήνα	57
7.4	Εφαρμογή στη Θεσσαλονίκη	59
7.5	Εφαρμογή στο Ηράκλειο Κρήτης	59
7.6	Εφαρμογή στη Λάρισα.....	60
7.7	Εφαρμογή στην Καλαμάτα	60
7.8	Εφαρμογή στην Ξάνθη.....	61
8.	Αποτελέσματα.....	62
8.1	Ηλιακή Κάλυψη	62
8.2	Ετήσια Κατανάλωση πετρελαίου	63
8.3	Ετήσιο Κόστος Πετρελαίου	64
8.4	Εξοικονόμηση εκπομπών CO ₂	65
8.5	Απαιτούμενος χρόνος απόσβεσης.....	66
8.6	Τελικό κέρδος.....	67
8.7	Συνοπτική παρουσίαση αποτελεσμάτων.....	68
9.	Συμπεράσματα	69

10. Βιβλιογραφία	71
Παράρτημα Α: Αποτελέσματα Retscreen.....	72

Ευχαριστίες

Θέλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την οικονομική και πνευματική στήριξη της κατά την διάρκεια των σπουδών μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Χριστοδουλάκη για την βοήθεια της και τις συμβουλές της για την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Κορωνάκη για την εργασία που μου ανέθεσε καθώς και για τον πολύτιμο χρόνο που διέθεσε στο πλαίσιο αυτής της εργασίας.

1. Πρόλογος

Η ήδη επιβαρυσμένη κατάσταση του περιβάλλοντος και οι νέοι κανονισμοί για την κλιματική αλλαγή ωθούν τον μηχανικό σε όλο και πιο ενεργειακές λύσεις. Ιδιαίτερα σε χώρες, όπου εμφανίζονται υψηλές θερμοκρασίες, ο κλιματισμός την περίοδο του καλοκαιριού αποτελεί το σημαντικότερο πρόβλημα. Απαιτεί τεράστιες ποσότητες ηλεκτρικής ενέργειας σε σημείο που δημιουργούνται προβλήματα στο δίκτυο και πολλές φορές υπάρχουν και διακοπές ρεύματος. Την ίδια στιγμή, η ηλιακή ακτινοβολία είναι διαθέσιμη και ικανή να λύσει το πρόβλημα του κλιματισμού την περίοδο του καλοκαιριού και να συνεισφέρει στην μείωση των ρύπων και των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα. Τα συστήματα ηλιακής ψύξης έχουν το πλεονέκτημα ότι χρησιμοποιούν το νερό ως ψυκτικό μέσο για την λειτουργία τους και χρησιμοποιούν πολύ λιγότερη πρωτογενή ενέργεια συγκριτικά με τα συμβατικά συστήματα κλιματισμού συμπίεσης ατμού. Είναι ενεργειακά αποδοτικά και φιλικά προς το περιβάλλον.

Η ψύξη μέσω συστημάτων απορρόφησης ανοικτού κύκλου (liquid desiccant cooling systems) παρουσιάζει ενδιαφέρον ακριβώς για τον παραπάνω λόγο. Είναι συστήματα, τα οποία με μικρή κατανάλωση ενέργειας παρέχουν ταυτόχρονη αφύγρανση και ψύξη και χρησιμοποιούνται σε ευρείες εφαρμογές.

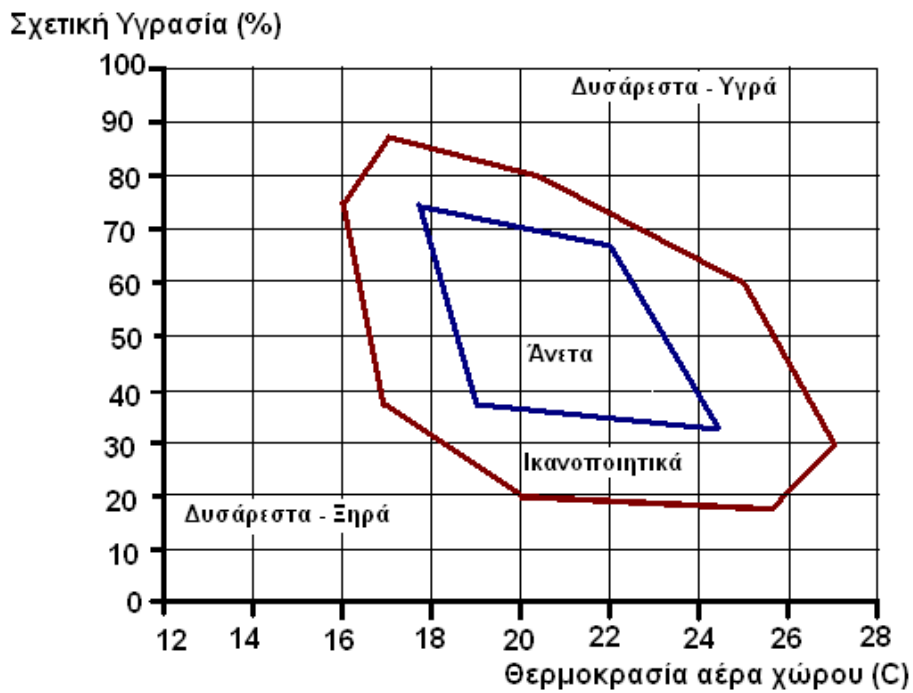
2. Θερμική Άνεση

Πριν την περιγραφή των συστημάτων απορρόφησης θα γίνει μια σύντομη αναφορά στον όρο της θερμικής άνεσης, αφού βάσει αυτού του δείκτη καθορίζονται οι απαιτήσεις ενός χώρου για κλιματισμό.

Η έννοια θερμική άνεση έχει τρεις διαφορετικές ερμηνείες:

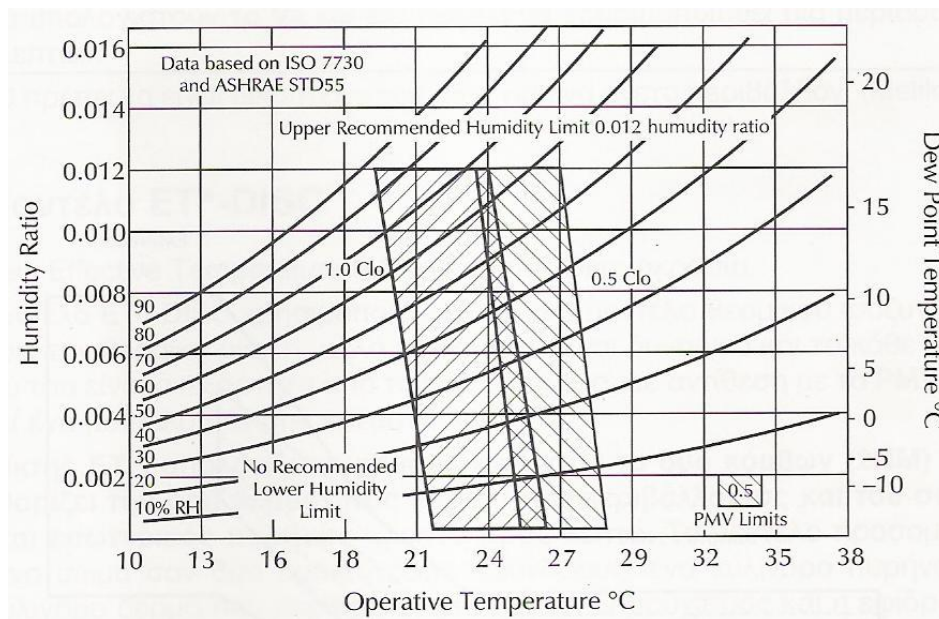
- Φυσιολογική, η οποία καθορίζεται από τα πρότυπα της ISO και της ASHRAE και ορίζει ως θερμική άνεση για έναν ανθρώπινο οργανισμό την κατάσταση εκείνη του εγκεφάλου που εκδηλώνει ικανοποίηση σε σχέση με το θερμικό περιβάλλον. Αυτός ο ορισμός όπως είναι κατανοητό είναι καθαρά υποκειμενικός και διαφέρει από άτομο σε άτομο.
- Θερμοφυσιολογική, η οποία βασίζεται στην ενεργοποίηση των θερμικών αισθητήρων στο δέρμα και τον υποθάλαμο και ορίζεται ως ο ελάχιστος ρυθμός των νευρικών σημάτων από αυτούς.
- Ενεργειακή, σύμφωνα με την οποία η θερμική άνεση επιτυγχάνεται όταν η θερμότητα που ρέει από και προς το ανθρώπινο σώμα είναι ισοσταθμισμένη και η θερμοκρασία του δέρματος και ο ρυθμός εφίδρωσης κυμαίνονται μέσα σε μια κλίμακα άνεσης που εξαρτάται από τον μεταβολισμό.

Στην παρακάτω εικόνα οριοθετούνται οι τιμές θερμικής ευεξίας καθώς και τα κατάλληλα ζεύγη τιμών θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας.



Εικόνα 1: Τιμές θερμικής ευεξίας.[1]

Ενώ στην επόμενη εικόνα δίνεται το πεδίο θερμικής άνεσης κατά ISO και ASHRAE. [1]



Εικόνα 2: Θερμική άνεση κατά ISO και ASHRAE.[1]

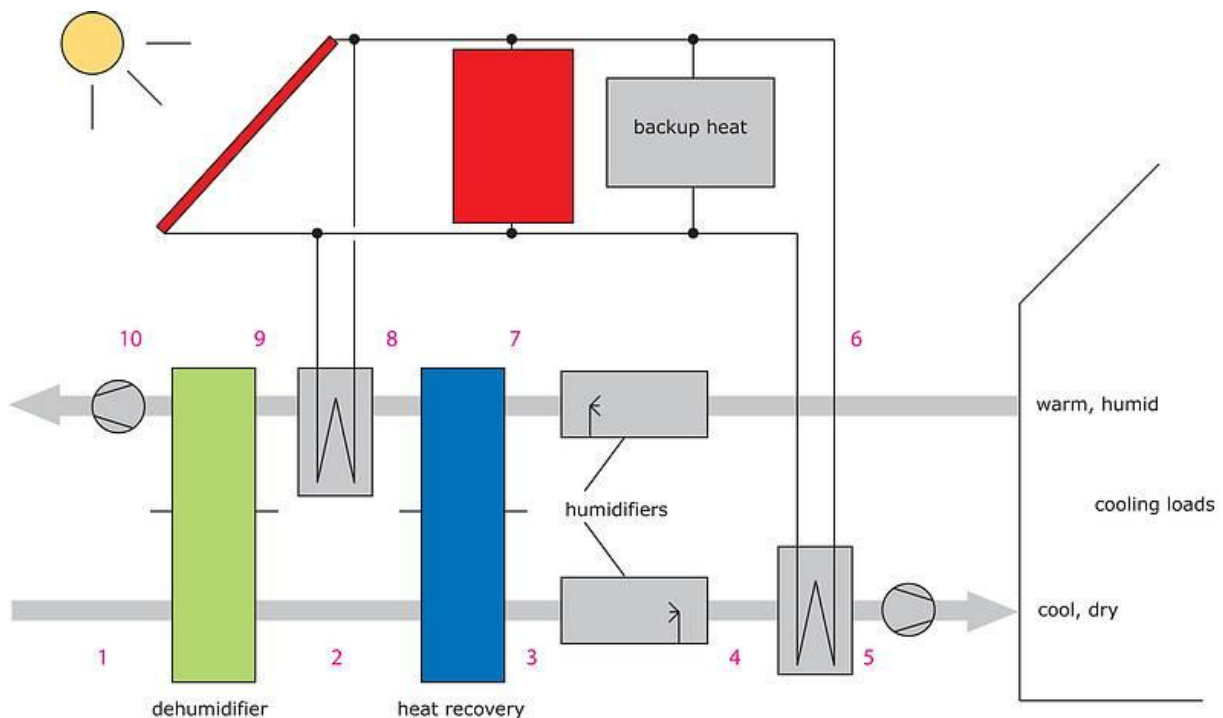
3. Συστήματα ανοιχτού κύκλου με στερεό αφυγραντικό υλικό

3.1 Εισαγωγικά

Πολλοί συγγραφείς έχουν εξηγήσει ότι η φυσική προσρόφηση είναι ένα επιφανειακό φαινόμενο που ενεργοποιείται κυρίως από τις δυνάμεις Van Der Waals όπως και από τις ηλεκτροστατικές δυνάμεις μεταξύ των μορίων του προσροφούμενου-ψυκτικού και των ατόμων που απαρτίζουν την επιφάνεια του προσροφητή, τους δεσμούς υδρογόνου του προσροφούμενου και άλλες δυνάμεις συνοχής. Η διαδικασία αυτή είναι πλήρως αντιστρεπτή με τα κατάλληλα ποσά θερμότητας.[2]

3.2 Περιγραφή συστήματος και κύκλου

Τα κύρια συστατικά ενός ηλιακού συστήματος ψύξης ανοιχτού κύκλου με στερεό αφυγραντικό υλικό (DEC) φαίνεται στην Εικόνα 3.



Εικόνα 3:Σύστημα ανοιχτού κύκλου με στερεό αφυγραντικό υλικό.[3]

Από την παραπάνω εικόνα, μπορεί να περιγραφεί η βασική διαδικασία για την παροχή κλιματιζόμενου αέρα ως εξής:

1→2: Ζεστός και υγρός αέρας εισέρχεται στον αργά περιστρεφόμενο ξηραντικό τροχό και αφυγραίνεται με προσρόφηση νερού.

2→3: Δεδομένου ότι ο αέρας θερμαίνεται από τη θερμότητα προσρόφησης, πρέπει στη συνέχεια να περάσει από έναν τροχό ανάκτησης θερμότητας με αποτέλεσμα τη σημαντική πρόψυξη του ρεύματος του αέρα.

3→4: Στη συνέχεια, ο αέρας υγραίνεται και ψύχεται περαιτέρω με έναν ελεγχόμενο υγραντή, σύμφωνα με τις καθορισμένες τιμές θερμοκρασίας και υγρασίας του αέρα.

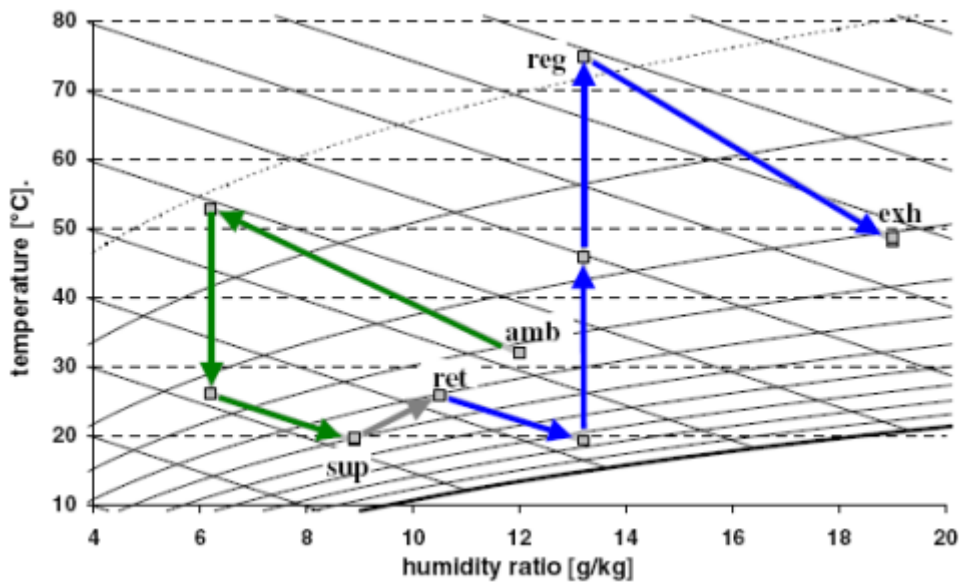
4→5: Αυτή η μεταβολή λαμβάνει χώρα μόνο στην εποχή που χρειάζεται θέρμανση, για την προθέρμανση του αέρα.

6→7: Το ρεύμα επιστροφής από τα δωμάτια υγραίνεται κοντά στο σημείο κορεσμού προκειμένου να επιτευχθεί η μεγαλύτερη δυνατή ψύξη, ώστε να καταστεί δυνατή η αποτελεσματική ανάκτηση θερμότητας.

7→8: Ο αέρας επιστροφής προ-θερμαίνεται σε αντίθετη ροή από τον αέρα ανεφοδιασμού με τη βοήθεια ενός υψηλής απόδοσης αέρος-αέρος εναλλάκτη, μια ρόδα διατήρησης σταθερής θερμοκρασίας.

8→9: Η αναγέννηση θερμότητας παρέχεται με τη βοήθεια ενός ηλιακού θερμικού συστήματος συλλεκτών.

9→10: Τέλος, ο τροχός προσρόφησης αναγεννάται με την εφαρμογή θερμότητας σε μια συγκριτικά χαμηλή θερμοκρασία από 50 ° C-75 ° C έτσι ώστε να καταστεί δυνατή η συνεχής λειτουργία της διαδικασίας αφύγρανσης. [3]

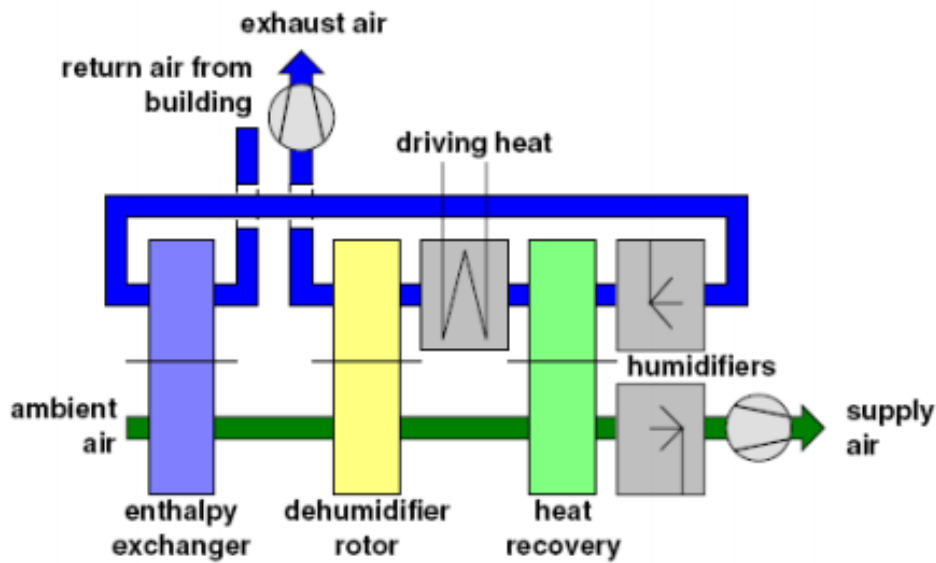


Εικόνα 4: Οι καταστάσεις του αέρα της διαδικασίας σε διάγραμμα T-x.[4]

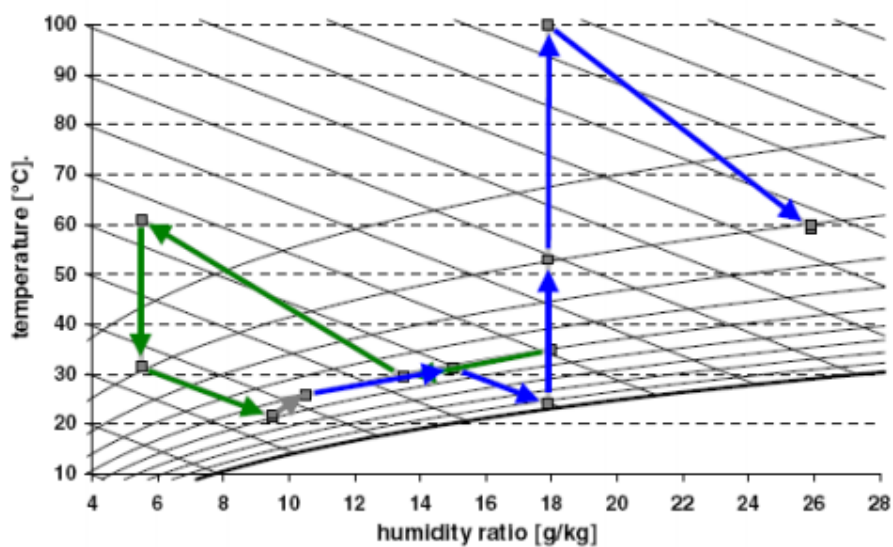
Οι επίπεδοι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες συνήθως εφαρμόζονται ως σύστημα θέρμανσης σε συστήματα ηλιακής ψύξης DEC. Το ηλιακό σύστημα αποτελείται από συλλέκτες και από μια δεξαμενή αποθήκευσης νερού, η οποία αυξάνει το ποσοστό ηλιακής κάλυψης. Η διαμόρφωση αυτή απαιτεί, ωστόσο, ένα πρόσθετο εναλλάκτη θερμότητας νερού-αέρα, για να συνδεθεί το ηλιακό σύστημα με το σύστημα αέρα. Αυτός ο εναλλάκτης στην Εικόνα 3 απεικονίζεται στην μεταβολή 4-5.

Σε ακραίες καιρικές συνθήκες είναι απαραίτητος ο ειδικός σχεδιασμός του κύκλου. Λόγω της υψηλής υγρασίας του αέρα του περιβάλλοντος, ένας τυπικός κύκλος ψύξης DEC δεν είναι σε θέση να μειώσει την υγρασία σε αρκετά χαμηλό επίπεδο ώστε να μπορεί να πραγματοποιηθεί άμεση ψύξη μέσω εξάτμισης. Στην περίπτωση αυτή, απαιτούνται πιο σύνθετα σχέδια, όπως η εφαρμογή ενός ακόμα τροχού ενθαλπίας (Εικόνα 5, Εικόνα 6) ή επιπλέον ψυκτών αέρος (Εικόνα 7, Εικόνα 8) τροφοδοτούμενων από κρύο νερό [3].

Η εφαρμογή ενός ακόμα τροχού ενθαλπίας επιτρέπει τη συνολική ανταλλαγή θερμότητας, δηλαδή ανταλλαγή της λογικής θερμότητας και της υγρασίας.



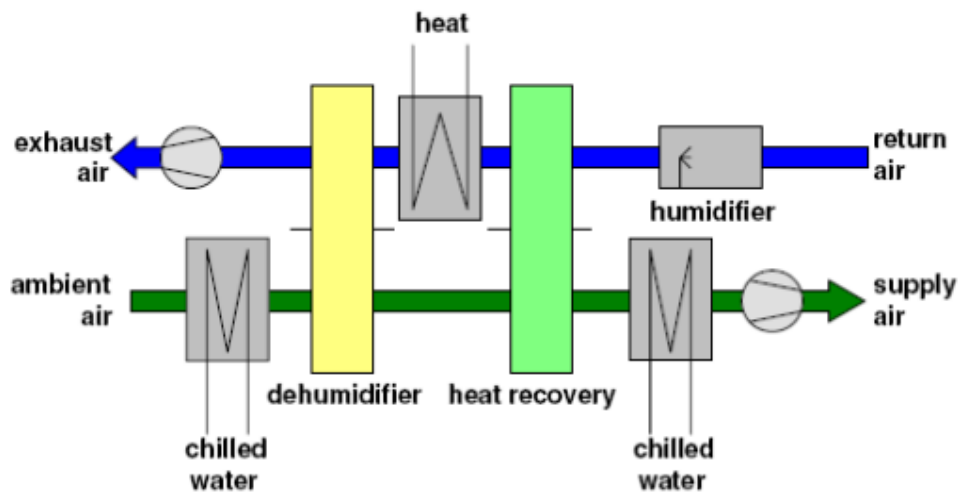
Εικόνα 5: Σύστημα ανοιχτού κύκλου με στερεό αφυγραντικό υλικό με τροχό ενθαλπίας.[4]



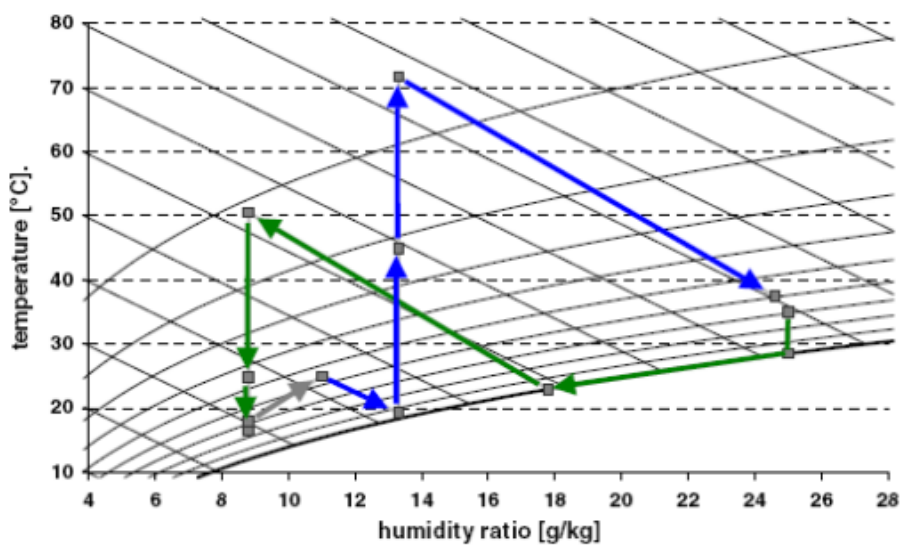
Εικόνα 6: Οι καταστάσεις του αέρα της διαδικασίας αφύγρανσης με τροχό ενθαλπίας σε διάγραμμα T-x.[4]

Το πλεονέκτημα αυτού του συνδυασμού τροχού ρόφησης και ψυκτών είναι ότι οι υψηλού ανεφοδιασμού θερμοκρασίες του ψυχρού νερού στους ψύκτες είναι ικανοποιητικές. Ο περιβαλλοντικός αέρας προψύχεται και προ-αφυγραίνεται προτού να εισαχθεί στον αφυγραντικό τροχό. Δεδομένου ότι η προ-αφύγρανση πραγματοποιείται για ένα υψηλό επίπεδο υγρασίας, οι υψηλές θερμοκρασίες κρύου νερού είναι επαρκείς για να ψύξουν τον αέρα κάτω από το σημείο δρόσου. Η ροφητική αφύγρανση λαμβάνει χώρα για να ρυθμίσει την παροχή αέρα στην επιθυμητή υγρασία αέρα. Δεδομένου ότι η θερμοκρασία του αέρα πίσω από τη μονάδα διατήρησης θερμοκρασίας θα

είναι ακόμα αρκετά υψηλή για να εισαχθεί στο δωμάτιο άμεσα τοποθετείται άλλος ένας ψύκτης για να δροσίζει τον αέρα.[4]



Εικόνα 7: Σύστημα ανοιχτού κύκλου με στερεό αφυγραντικό υλικό για κλιματολογικές καταστάσεις με επιπλέον ψύκτες .[4]



Εικόνα 8: Οι καταστάσεις του αέρα της διαδικασίας αφύγρανσης με επιπλέον ψύκτες σε διάγραμμα T-x.[4]

Μια νέα προσέγγιση είναι η αφύγρανση και η ταυτόχρονη ψύξη του αέρα σε έναν εναλλάκτη θερμότητας αέρος-αέρος, όπου ο αέρας προσαγωγής αφυγραίνεται μέσω ροφητικών επιχρισμάτων στον τοίχο του εναλλάκτη θερμότητας, και ψύχεται από τον αέρα επιστροφής, ο οποίος υγραίνεται κοντά στο σημείο κορεσμού ώστε να μειωθεί η θερμοκρασία του πριν από την είσοδο του εναλλάκτη θερμότητας. Η ταυτόχρονη αφύγρανση και ψύξη βελτιώνει την αποτελεσματικότητα του συστήματος. Κατά συνέπεια, η ύγρανση αέρα μπορεί να αποφευχθεί σε μέτρια κλίματα. Δεδομένου ότι το υλικό της προσρόφησης στην εργαζόμενη πλευρά του εναλλάκτη θερμότητας θα κορεστεί μετά από λίγο καιρό, είναι απαραίτητη μια περιοδική λειτουργία με δύο εναλλάκτες θερμότητας από τα οποία ο ένας θα αναγεννάται την ώρα που ο άλλος θα αφυγραίνεται.[3]

4. Συστήματα ανοιχτού κύκλου με υγρό αφυγραντικό υλικό

4.1 Εισαγωγικά

Τα συστήματα απορρόφησης έχουν πρώτον το πλεονέκτημα του ξεχωρισμού της αφύγρανσης από την ψύξη εν αντιθέσει με τα συμβατικά μηχανήματα κλιματισμού στα οποία αυτές οι δυο διεργασίες γίνονται ταυτόχρονα. Αυτό σημαίνει όμως πώς ο αέρας πρέπει να ψυχθεί μέχρι την θερμοκρασία υγροποίησης και ύστερα να αφαιρεθεί το νερό. Επειδή όμως η θερμοκρασία υγροποίησης είναι μικρότερη από την επιθυμητή θερμοκρασία σπαταλιέται ουσιαστικά ενέργεια αφού αφαιρείται παραπάνω από την απαραίτητη. Πολλές φορές μάλιστα είναι απαραίτητη η θέρμανση του αέρα μετά την αφύγρανση προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή θερμοκρασία. Όπως γίνεται κατανοητό με αυτόν τον τρόπο υπάρχει διπλή σπατάλη ενέργειας.

Έχοντας ξεχωρίσει την αφύγρανση μπορεί να πραγματοποιηθεί η ψύξη μέχρι την επιθυμητή θερμοκρασία χωρίς περαιτέρω ενεργειακή σπατάλη.

Όσον αφορά την σύζευξη με ηλιακό φορέα τα συστήματα ψύξης υγρού ξηραντικού μέσου παρουσιάζουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα:

- Λόγω χαμηλής θερμοκρασίας αναγέννησης (μεταξύ 50-90° C), η οποία επιτυγχάνεται εύκολα με την χρήση ηλιακών συλλεκτών, έχουν ουσιαστικά την δυνατότητα αξιοποίησης θερμότητας αναγέννησης χαμηλής θερμοκρασίας. Από την στιγμή που η περίοδος χρήσης των μηχανημάτων είναι το καλοκαίρι, οπότε υπάρχει αφθονία σε ηλιακή ενέργεια. Για ασφάλεια βέβαια πρέπει πάντα να υπάρχει σύνδεση με κάποιον λέβητα σε περίπτωση που δεν υπάρχει αρκετή ηλιακή ενέργεια.
- Υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης ποσότητας διαλύματος του απορροφητή, σε περίπτωση που το ψυκτικό φορτίο (ή η θερμότητα αναγέννησης) είναι χαμηλό, δηλαδή μείωση της ανάγκης αποθήκευσης ζεστού νερού στην περίπτωση του ηλιακού φορέα.
- Δυνατότητα ενσωμάτωσης ψύξης με εξάτμιση στον απορροφητή, η οποία έχει ως συνέπεια την έμμεση αναγέννηση του απορροφητή και άρα την μείωση της απαίτησης θερμότητας αναγέννησης.

Υπάρχουν όμως και ορισμένα γενικότερα πλεονεκτήματα:

- Παρουσιάζεται μικρότερη πτώση πίεσης αέρα, συνεπώς μικρότερη κατανάλωση ενέργειας.
- Είναι πιο συμφέρουσα οικονομικά όσον αφορά την εγκατάσταση και την συντήρησή τους.
- Παρέχουν την δυνατότητα εξάλειψης βιολογικών ρύπων (βακτήρια, μικρόβια) του κλιματιζόμενου αέρα.

Η συγκέντρωση του μίγματος αλατιού έχει ως ελάχιστη τιμή το 30% και ως μέγιστη το 45%.

Ένας παράγοντας πολύ σημαντικός όσον αφορά την απόδοση του συστήματος είναι ο βαθμός αισθητής θερμότητας (SHR), ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος της αισθητής θερμότητας προς το άθροισμα της αισθητής και της λανθάνουσας θερμότητας του χώρου που κλιματίζεται. Αν η τιμή του είναι μικρή, το ολικό φορτίο είναι κυρίως λανθάνων. Σε αυτήν την περίπτωση η χρήση ενός συστήματος desiccant ψύξης είναι αποδοτική και οικονομική.[4]

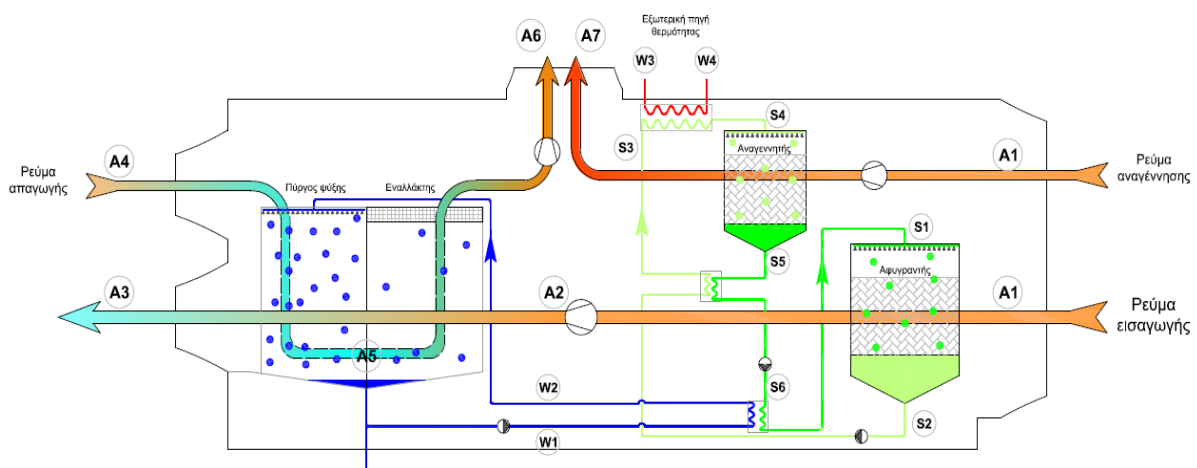
4.2 Περιγραφή συστήματος και κύκλου

Η ψύξη μέσω απορρόφησης είναι η αφύγρανση του εισερχόμενου ρεύματος αέρα μέσω ενός απορροφητικού υλικού και στην συνέχεια η ψύξη του αέρα στην επιθυμητή θερμοκρασία. Για την συνεχή και καλή λειτουργία του συστήματος, πρέπει οι υδρατμοί που απορροφούνται από το απορροφητικό υλικό να αφαιρούνται από αυτό προκειμένου να επανέλθει στην αρχική του ξηρότητα και να είναι ικανό να απορροφήσει υδρατμούς στον επόμενο κύκλο. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται αναγέννηση και επιτυγχάνεται με την θέρμανση του υλικού απορρόφησης στην θερμοκρασία αναγέννησής του, η οποία εξαρτάται από την φύση του υλικού που χρησιμοποιείται. Ένα σύστημα ψύξης μέσω απορρόφησης υγρού αφυγραντικού υλικού περιλαμβάνει:

- Την αφύγρανση του αέρα
- Η ψύξη του αέρα και τέλος,
- Την αναγέννηση του αφυγραντικού υλικού για να εισαχθεί ξανά στον κύκλο.

Επομένως, θα αποτελείται από τρεις συσκευές:

- Τον απορροφητή,
- Τον αφυγραντή,
- Την ψυκτική μονάδα.



Εικόνα 9: Σχέδιο συσκευής

4.2.1 Αφύγρυνση

Με τον όρο αφύγρυνση ουσιαστικά εννοούμε την δέσμευση σωματιδίων νερού από την αέρια φάση στην υγρή φάση (περίπτωση που θα εξετάσουμε). Η δέσμευση των σωματιδίων σε μια ομογενή υγρή φάση καλείται Absorption.[5]

Η αφύγρυνση σε αυτά τα συστήματα γίνεται είτε με την χρήση ενός στερεού είτε με την χρήση ενός υγρού υλικού απορρόφησης. Τα υγρά υλικά, σε μεγάλη σχετική υγρασία, απορροφούν υδρατμούς 20-60% του βάρους τους ενώ, σε χαμηλότερη σχετική υγρασία (10%) απορροφούν 6-20%. Σε αυτήν την εργασία θα γίνει ενασχόληση με την περίπτωση των υγρών υλικών απορρόφησης.

Μέσα στην κλιματιστική συσκευή βρίσκεται ο απορροφητής, από τον οποίο περνάει ο ατμοσφαιρικός αέρας που πρόκειται να εισαχθεί στον χώρο. Μέσα στον απορροφητή ατμοσφαιρικός αέρας έρχεται σε επαφή με το ισχυρό απορροφητικό διάλυμα και έτσι η υγρασία μεταφέρεται από τον αέρα στο διάλυμα. Επομένως, η πρώτη διεργασία που λαμβάνει χώρα μέσα στην συσκευή είναι η αφύγρυνση του αέρα με την βοήθεια του αφυγραντικού διαλύματος.

Η αφαίρεση της υγρασίας πραγματοποιείται με την βοήθεια του λανθάνοντος φορτίου. Η εξίσωση που περιγράφει την μεταβολή είναι η:

$$Q_l = m_{air} \cdot (h_1 - h_2)$$

Όπου:

m_{air} =παροχή αέρα εισαγωγής,

h_1 =ενθαλπία αέρα πριν την αφύγρανση,

h_2 =ενθαλπία αέρα μετά την αφύγρανση.

Απαραίτητες προϋποθέσεις για την καλύτερη λειτουργία είναι η σχετική υγρασία να μην ξεπερνάει το 50% και η εισαγωγή νωπού αέρα να είναι 15%.

Από όλα τα διαθέσιμα υγρά υλικά, το διάλυμα LiCl αποτελεί ιδανικό μέσο για τα συστήματα αυτά, στο βαθμό που μπορεί να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο της διάβρωσης. Εμφανίζει μηδενική τάση ατμών σε υψηλές θερμοκρασίες αναγέννησης, άρα δεν εμφανίζει και απώλειες εξάτμισης στο θερμό ρεύμα αέρα αναγέννησης. Η ικανότητα εκμετάλλευσης υψηλών θερμοκρασιών αναγέννησης, χαρακτηρίζει τα συστήματα αυτά από υψηλή απόδοση ($COP > 1.0$), ενώ δίνει τη δυνατότητα για μελλοντική ανάπτυξη και συστημάτων double-effect, με το COP να αναμένεται στα επίπεδα του 2.0. Το πρόβλημα της διάβρωσης, το οποίο και έχει χαρακτηρίσει τα συστήματα LiCl ως απαιτητικά στη συντήρηση, αντιμετωπίζεται στην πράξη με την αντικατάσταση μεταλλικών μερών της εγκατάστασης από πλαστικά. Συνεπώς το βασικό πρόβλημα που παρουσιάζουν τα συστήματα LiCl είναι η πιθανότητα απώλειας του μέσου από το ρεύμα αέρα της απορρόφησης, αν και οι προοπτικές ανάπτυξης ενός μέσου με μηδενική τάση διαφυγής είναι αυξημένες.

Το αφυγραντικό μέσο συνήθως ψεκάζεται με μεγάλη ροή. Η πρακτική αυτή αποσκοπεί:

- στην εξασφάλιση ικανοποιητικής διαβροχής της συσκευής,
- στη διαθεσιμότητα ικανοποιητικής ποσότητας ρευστού, ώστε η απορρόφηση από το ξηραντικό μέσο της παραγόμενης κατά την αφύγρανση θερμότητας να μην οδηγεί σε μεγάλη άνοδο της θερμοκρασίας του.

Εν τούτοις, η υψηλή παροχή ξηραντικού μέσου στον απορροφητή. Επιπλέον δημιουργεί προβλήματα καθώς απαιτεί:

- Τα περάσματα του αέρα να είναι ευρεία ώστε να διευκολύνεται η ροή του αέρα, περιορισμός που αυξάνει το μέγεθος άρα και το κόστος του απορροφητή.
- Οι ταχύτητες του αέρα να είναι χαμηλές, ούτως ώστε να αποφεύγεται μεγάλη πτώση πίεσης στη διάταξη του απορροφητή και ενσωμάτωση σταγόνων του ξηραντικού μέσου στο ρεύμα του αέρα. Αυτός ο περιορισμός αυξάνει το μέγεθος, άρα και το κόστος.
- Την χρήση ισχυρών αντλιών, αυξάνοντας την κατανάλωση ενέργειας.

Παράλληλα, στην περίπτωση της υψηλής παροχής, εμφανίζεται χαμηλή μεταβολή της συγκέντρωσης του ξηραντικού μέσου στον απορροφητή. [4]

4.2.2 Ψύξη

Το ρεύμα εισαγωγής εισέρχεται στον διπλό εναλλάκτη θερμότητας. Εκεί αρχικά έρχεται σε επαφή με το ρεύμα επιστροφής από τον κλιματιζόμενο χώρο και στη συνέχεια περνάει στον πύργο ψύξης, όπου πραγματοποιείται ρίψη νερού. Το νερό αφαιρεί από το ρεύμα εισαγωγής θερμότητα, την ενθαλπία ατμοποίησης. Έτσι απομακρύνεται το αισθητό φορτίο από τον αέρα εισαγωγής. Η εξίσωση που περιγράφει την μεταβολή είναι η:

$$Q_s = m_{air} \cdot (h_2 - h_3)$$

Όπου:

h_3 =ενθαλπία αέρα μετά την ψύξη.

Η διαδικασία αυτή ονομάζεται και εξατμιστική ψύξη. Με τον όρο εξάτμιση εννοούμε τον διαχωρισμό των ταχέων σωματιδίων ενός υγρού, τα οποία δεσμεύονται από ένα ακόρεστο αέριο. Η κινητήρια δύναμη είναι η διαφορά μερικής πίεσης μεταξύ του ακόρεστου αερίου και της επιφάνειας της υγρής φάσης. Στην υπό εξέταση το νερό έρχεται σε επαφή με τον αφυγρασμένο αέρα. Η απαραίτητη ενέργεια για την εξάτμιση του νερού ενέργεια προέρχεται κατά ένα μέρος από το νερό που ήδη υπάρχει και κατά ένα άλλο μέρος από τον αέρα. Το νερό ψεκάζεται μέσω ακροφυσίων δημιουργώντας ένα σύννεφο σταγονιδίων, με τον τρόπο αυτόν μεγιστοποιείται η επιφάνεια ανταλλαγής θερμότητας και μάζας και άρα η αποδοτικότητα της ψύξης. Επειδή δεν είναι δυνατό να ατμοποιηθεί όλο το νερό το υπόλοιπο συλλέγεται

στον πυθμένα της συσκευής και επανατροφοδοτείται στα ακροφύσια. Όταν πια το νερό φτάσει την θερμοκρασία υγρής σφαίρας, δεν μπορεί πλέον να δώσει άλλη ενέργεια. Αναγκαστικά η ενέργεια προσδίδεται πλέον μόνο από τον αέρα, ο οποίος και αυτός με την σειρά του αν ψυχθεί περαιτέρω θα φτάσει την θερμοκρασία υγρής σφαίρας, πράγμα που γίνεται σπάνια και αποφεύγεται.

Ουσιαστικά η θερμοκρασία υγρής σφαίρας αποτελεί το όριο ψύξης της κλιματιστικής συσκευής μας.

Επειδή ο αέρας παροχής πρέπει να έχει συγκεκριμένη απόλυτη υγρασία πρέπει να γίνει έμμεση ψύξη δηλαδή, ταυτόχρονα με την διαδικασία της ρίψης νερού να γίνεται ψύξη του ρεύματος αέρα μέσω ενός εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος στην μια είσοδο τροφοδοτείται με αέρα από τον δωμάτιο που ψύχουμε. Σε περίπτωση που έχει πραγματοποιηθεί αφύγρανση σε μεγαλύτερο βαθμό έχουμε την δυνατότητα για άμεση ψύξη, δηλαδή χωρίς τον εναλλάκτη θερμότητας.

Η διαδικασία αυτή της ψύξης μέσω ατμοποίησης είναι γνωστή ως αδιαβατική ψύξη.[5]

4.2.3 Αναγέννηση

Μόλις το αφυγραντικό διάλυμα εξέλθει από τον απορροφητή έχει αραιώσει και συνεπώς έχει χάσει την αρχική αφυγραντική ικανότητα. Η ανάκτηση της αφυγραντικής του ικανότητας γίνεται σε μια συσκευή που ονομάζεται αναγεννητής. Εκεί ακολουθείται αντίστροφη διαδικασία από αυτήν του απορροφητή. Σε αυτήν την διαδικασία κινητήρια δύναμη δεν είναι η ενθαλπία ατμοποίησης αλλά η παροχή θερμότητας από μια εξωτερική πηγή προκειμένου να αφαιρεθεί η πλεονάζουσα υγρασία από το αφυγραντικό διάλυμα. Επειδή απαιτούνται χαμηλές θερμοκρασίες αναγέννησης η εξωτερική πηγή δύναται να είναι θερμικοί ηλιακοί συλλέκτες ή απορριπτόμενη θερμότητα.[5]

Η εξίσωση που περιγράφει την μεταβολή είναι η: $Q_{reg} = m_{reg} \cdot (h_4 - h_1)$

Όπου:

m_{reg} =παροχή αέρα αναγέννησης,

h_1 =ενθαλπία αέρα πριν την αναγέννηση,

h_4 =ενθαλπία αέρα μετά την αναγέννηση.

4.2.4 Εφαρμογή





Με βάση τις σχέσεις που αναφερθήκαν παραπάνω καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά μίας συσκευής απορρόφησης της Menerga, όπως φαίνονται στην Εικόνα 10, έγινε μια προσομοίωση με την χρήση του λογισμικού Mathcad προκειμένου να γίνει απεικόνιση αυτών των διεργασιών πάνω στον ψυχομετρικό χάρτη. Για την απεικόνιση, χρησιμοποιήθηκαν τα εξής σημεία:

Σημείο 1: Αέρας σε συνθήκες περιβάλλοντος

Σημείο 2: Αέρας μετά την αφύγρανση

Σημείο 3: Αέρας μετά την αφύγρανση και την ψύξη

Σημείο 4: Αέρας μετά την αναγέννηση του διαλύματος

Nennvolumenstrom ZU/AB ¹⁾²⁾	m ³ /h	2900	3500	4700	6100	8300	10500	12700	14900
Regenerationsvolumenstrom AU-FO	m ³ /h	1000	1150	1550	2050	2800	3500	4250	5000
	Doppel-Plattenwärmeaustauscher Temperaturwirkungsgrad ¹⁰⁾ %	77	77	77	79	79	79	79	79
	Kühlleistung ³⁾	20,2	24,4	32,8	42,6	57,9	73,2	88,6	103,9
	davon Anteil sensible Kühlleistung	11,1	13,5	18,1	23,4	31,9	40,4	48,8	57,3
	Entfeuchtungsleistung	12,8	15,4	20,7	26,9	36,6	46,3	56,0	65,7
	Heizleistung Soleregeneration ⁶⁾	14,7	17,7	23,8	30,9	42,0	53,1	64,3	75,4
	Leistung des PWW-Nacherhitzers ⁷⁾	26	32	46	74	98	125	152	180

1) Umluftklappe mit Stellmotor = Zusatzausrüstung
2) abweichende Luftleistung auf Anfrage
3) bei AB 26°C; 45% r.F. und AU 32°C; 40% r.F.
6) VL/RL = 70/60°C
7) VL/RL = 70/50°C
10) AB 22°C, 40% r.F.; AU -10°C, 90% r.F.

Εικόνα 10:Χαρακτηριστικά συσκευής Menerga.[6]

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προκύπτουν από την παραπάνω εικόνα και είναι τα εξής:

- Το ρεύμα αέρα προσαγωγής στο δωμάτιο είναι: $\dot{v} = 2900 \frac{m^3}{h}$,
- Η πυκνότητα του αέρα είναι: $\rho = 1,1564 \frac{kg}{m^3}$,

Με βάση τα παραπάνω, προκύπτει η παροχή κατά μάζα του αέρα:

$$\dot{m}_{air} = \rho \cdot \dot{v} = 0,932 \frac{kg}{s}.$$

Επίσης τα δεδομένα των συνθηκών του αέρα περιβάλλοντος (Σημείο 1) είναι:

- Θερμοκρασία ξηρού βολβού αέρα: $T_1 = 32^\circ C$
- Απόλυτη υγρασία αέρα: $w_1 = 12 \frac{g}{kg}$,

Επομένως, είναι γνωστή η ενθαλπία του αέρα περιβάλλοντος από τον ψυχομετρικό χάρτη και ίση με $h_1 = 63 \frac{kJ}{kg}$.

Λύνοντας την σχέση $Q_l = \dot{m}_{air} \cdot (h_1 - h_2)$, ως προς το h_2 και με δεδομένο το λανθάνον φορτίο, το οποίο είναι ίσο με $Q_l = 9,1 kW$ προκύπτει η ενθαλπία του

αέρα στο σημείο 2: $h_2 = \frac{h_1 \cdot \dot{m}_{in} - Q_l}{\dot{m}_{in}} = 53,23 \frac{kJ}{kg}$. Επειδή όμως κατά την

διαδικασία της αφύγρανσης (γραμμή 1 \rightarrow 2), η θερμοκρασία θεωρείται ότι παραμένει σταθερή, από τον ψυχομετρικό γίνεται γνωστή και η τιμή της

απόλυτης υγρασίας στο σημείο 2, που είναι ίση με $w_2 = 8 \frac{g}{kg}$.

Μετά την διαδικασία της αφύγρανσης, ακολουθεί η διαδικασία της ψύξης (γραμμή 2 \rightarrow 3). Με γνωστή πλέον την ενθαλπία του σημείου 2 και έχοντας ως δεδομένο το αισθητό φορτίο, το οποίο είναι ίσο με $Q_s = 11,1 kW$ από την

σχέση $Q_s = \dot{m}_{air} \cdot (h_2 - h_3)$ προκύπτει η ενθαλπία του σημείου 3

$$h_3 = \frac{h_2 \cdot m_{in} - Q_s}{m_{in}} = 41,31 \frac{kJ}{kg} . \text{ Σε αυτή την διαδικασία παραμένει σταθερή η}$$

απόλυτη υγρασία, οπότε από τον ψυχομετρικό χάρτη προκύπτει και η θερμοκρασία του αέρα, που είναι ίση με $T_3=21^\circ\text{C}$.

Για την διαδικασία της αναγέννησης (γραμμή 1 \rightarrow 4) ο αέρας που χρησιμοποιείται για την απορρόφηση της υγρασίας από το διάλυμα είναι ο ατμοσφαιρικός. Επίσης θα ισχύει όπως έχει προαναφερθεί $Q_{reg} = m_{reg} \cdot (h_4 - h_1)$,

όπου το $Q_{reg} = 14,7kW$ και το $h_1 = 63 \frac{kJ}{kg}$. Επομένως, λύνοντας την παραπάνω

εξίσωση ως προς το h_4 προκύπτει $h_4 = \frac{Q_{reg}}{m_{reg}} + h_1 = 108,76 \frac{kJ}{kg}$. Για τον

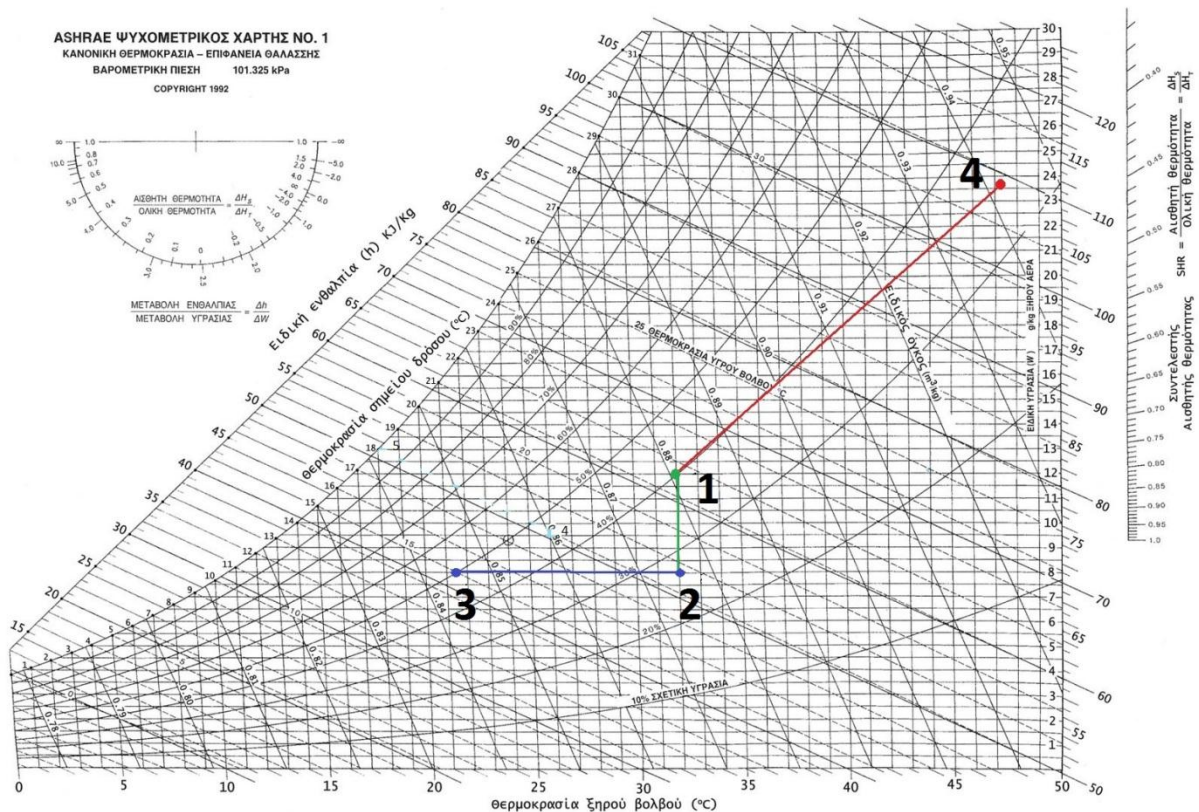
προσδιορισμό του σημείου 4 πρέπει να βρεθεί ακόμα ένα στοιχείο. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι η μάζα νερού που μεταφέρεται από τον αέρα στο διάλυμα κατά τη διάρκεια της απορρόφησης, μεταφέρεται από το διάλυμα στον αέρα κατά τη διάρκεια της αναγέννησης. Έτσι, αφού είναι γνωστές οι υγρασίες πριν (σημείο 1) και μετά (σημείο 2) τον απορροφητή και πριν από τον αναγεννητή (σημείο 1) μπορεί να βρεθεί και η υγρασία μετά τον αναγεννητή (σημείο 4). Το ισοζύγιο μάζας που προκύπτει είναι το εξής:

$$(w_4 - w_1) \cdot m_{reg} = (w_1 - w_2) \cdot m_{air} .$$

Για την απόλυτη υγρασία του σημείου 4 προκύπτει τελικά:

$$w_4 = (w_1 - w_2) \cdot \frac{m_{air}}{m_{reg}} + w_1 = 23,6 \frac{g}{kg} .$$

Στο σημείο αυτό, καθίσταται δυνατή η απεικόνιση των μεταβολών στον ψυχομετρικό χάρτη.



Εικόνα 11: Μεταβολές του αέρα στον ψυχομετρικό χάρτη

Αφύγρανση: 1 → 2

Η διαδικασία που διακρίνεται με πράσινο είναι η διαδικασία της αφύγρανσης. Όπως φαίνεται είναι μία κάθετη ευθεία, αφού πρόκειται για ισόθερμη μεταβολή.

Ψύξη: 2 → 3

Με μπλε απεικονίζεται η διαδικασία της ψύξης. Είναι μια οριζόντια ευθεία αφού θεωρείται σταθερή η απόλυτη υγρασία.

Αέρας αναγέννησης: 1 → 4

Με κόκκινο απεικονίζεται η μεταβολή του αέρα κατά την διαδικασία της αναγέννησης του διαλύματος. Ο αέρας αυτός απορροφά από το διάλυμα την υγρασία και απορρίπτεται στο περιβάλλον.

5. Μαθηματικό μοντέλο για την αδιαβατική απορρόφηση του αερίου.

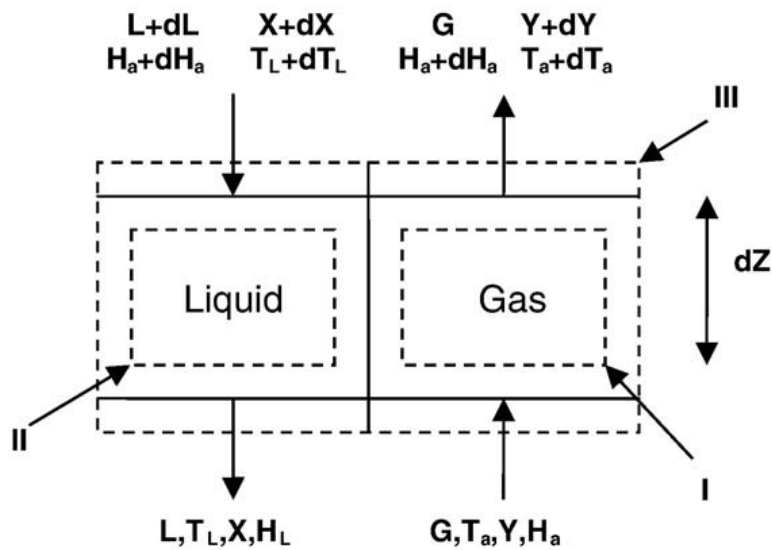
Το εν λόγω κεφάλαιο αποτελεί παράθεση της έρευνας των Davoud Babakhani και Meysam Soleymani και παρουσιάζει μια νέα αναλυτική λύση για τις διαδικασίες μεταφοράς θερμότητας και μάζας σε ένα πύργο με υγρό αφυγραντικό υλικό, που βασίζεται στην υπόθεση πως η υγρασία ισορροπίας στην επιφάνεια είναι σταθερή.

5.1 Εισαγωγή

Το θεωρητικό μοντέλο για την αδιαβατική απορρόφηση του αερίου σε έναν πύργο με πληρωτικό υλικό αναπτύχθηκε από τον Treybal. Ένα σχηματικό διάγραμμα μιας τυπικής διεργασίας αντιρροής, που περιλαμβάνει τη μεταφορά θερμότητας και μάζας μεταξύ του αέρα και του διαλύματος φαίνεται στην Εικόνα 12.

Το μοντέλο βασίζεται στις εξής παραδοχές:

- Η απώλεια θερμότητας μέσω της στήλης είναι αμελητέα.
- Η θερμική αντίσταση στην υγρή φάση είναι αμελητέα σε σύγκριση με την αέρια φάση.
- Η περιοχή μεταφοράς θερμότητας και μάζας είναι ίδια και ίση με την ανηγμένη επιφάνεια του πληρωτικού υλικού.
- Η εξάτμιση του αφυγραντικού διαλύματος είναι αμελητέα.
- Η διαδικασία της μεταφοράς θερμότητας και μάζας είναι σταθερή κατάσταση.
- Οι ιδιότητες των υγρών σε σχέση με την θερμοκρασία είναι σταθερές.



Εικόνα 12: Σχηματική απεικόνιση μεταφοράς θερμότητας και μάζας αντίθετου ρεύματος.[7]

Οι εξισώσεις που διέπουν τις συνδεδεμένες διαδικασίες μεταφοράς θερμότητας και μάζας μπορούν να ληφθούν σύμφωνα με τις αρχές της διατήρησης ενέργειας και μάζας. Ένα ισοζύγιο μάζας πάνω από το διαφορικό στοιχείο (Όγκος ελέγχου III, Εικόνα 12) αποδίδει:

$$L + dL + GY = L + G(Y + dY) \quad (1)$$

Η εξίσωση (1) μπορεί να απλουστευθεί, ώστε να δείχνει τον ρυθμό ροής υγρού ως συνάρτηση της αλλαγής στην υγρασία του αέρα καθ' ύψος του πύργου.

$$\frac{dL}{dZ} = G \frac{dY}{dZ} \quad (2)$$

Ένα ισοζύγιο μάζας νερού στον όγκο ελέγχου (Εικόνα 12) αποδίδει:

$$N_v M_v a_t dZ + G(Y + dY) = GY \quad (3)$$

όπου N_v είναι ο ρυθμός της συγκεκριμένης επιφανειακής ροής mole ως εξής:

$$N_v = F_G \ln \left[\frac{1 - y_i}{1 - y} \right] \quad (4)$$

τότε, η μεταβολή της υγρασίας του αέρα σε ένα διαφορικό τμήμα δίνεται από την σχέση:

$$\frac{dY}{dZ} = - \frac{M_v F_G a_t}{G} \ln \left[\frac{1 - y_i}{1 - y} \right] \quad (5)$$

Η κλίση της θερμοκρασίας του αέρα στο τμήμα βρίσκεται με ενεργειακό ισοζύγιο στην αέρια φάση (Όγκος ελέγχου, Εικόνα 12).

$$q_G a_t dZ + N_V M_V a_t H_V dZ + G(H_a + dH_a) = GH_a \quad (6)$$

όπου H_a και H_v είναι η ενθαλπία του αέρα και του υδρατμού, αντίστοιχα.

$$H_a = c_{p,a}(T_a - T_0) + Y[c_{p,v}(T_a - T_0) + \lambda_0] \quad (7)$$

$$H_v = c_{p,v}(T_a - T_0) + \lambda_0 \quad (8)$$

Οι ροές θερμότητας και μεταφοράς μπορούν επίσης να γραφτούν ως:

$$q_G a_t dZ = -h'_G a_t (T_i - T_a) dZ \quad (9)$$

όπου $h'_G \cdot a_t$ είναι ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας διορθωμένος για ταυτόχρονη μεταφορά θερμότητας και μάζας και δίνεται από τον Treybal:

$$h'_G a_t = \frac{-Gc_{p,v}(dY/dZ)}{1 - \exp(Gc_{p,v}(dY/dZ)/h_G a_t)} (T_a - T_0) \quad (10)$$

Η ενθαλπία του αέρα είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα ($H_a = H_a(T_a, Y)$), η διαφορική αλλαγή ενθαλπίας του αέρα βρίσκεται από τις μερικές παραγώγους της ενθαλπίας του αέρα:

$$dH_a = \frac{\partial H_a}{\partial T_a} dT_a + \frac{\partial H_a}{\partial Y} dY \quad (11)$$

Συνεπώς, έχουμε:

$$dH_a = (c_{p,a} + Yc_{p,v})dT_a + (c_{p,v}(T_a - T_0) + \lambda_0)dY \quad (12)$$

Αντικαθιστώντας τις εξισώσεις (3)-(5), (8)-(10), (12) στην εξίσωση (6) και αναγνωρίζοντας ότι $T_i = T_L$ όταν η αντίσταση μεταφοράς θερμότητας στην υγρή φάση είναι αμελητέα, δίνεται η κλίση της θερμοκρασίας σε ολόκληρο το τμήμα:

$$\frac{dT_a}{dZ} = -\frac{h'_G a_t (T_a - T_L)}{G(c_{p,a} + Yc_{p,v})} \quad (13)$$

Η συνολική θερμική ισορροπία στον διαφορικό όγκο ελέγχου III (Εικόνα 12) δίνει:

$$GH_a + (L + dL)(H_L + dH_L) = G(H_a + dH_a) + LH_L \quad (14)$$

Απλοποιώντας την εξίσωση (14) και αμελώντας το $dL \cdot dH_L$ προκύπτει:

$$LdH_L + H_L dL = GdH_a \quad (15)$$

Αμελώντας την θερμότητα ανάμειξης, η ενθαλπία του αφυγραντικού διαλύματος δίνεται από την σχέση:

$$H_L = c_{p,L}(T_L - T_0) \quad (16)$$

Έτσι ώστε:

$$dH_L = c_{p,L} dT_L \quad (17)$$

Συνδυάζοντας τις εξισώσεις (2), (12), (15) - (17) δίνεται η μεταβολή της θερμοκρασίας του υγρού ξηραντικού κατά μήκος του τμήματος:

$$\frac{dT_L}{dZ} = \frac{G}{Lc_{p,L}} \left\{ (c_{p,a} + Yc_{p,v}) \frac{dT_a}{dZ} + [c_{p,v}(T_a - T_0) - c_{p,L}(T_L - T_0) + \lambda_0] \frac{dY}{dZ} \right\} \quad (18)$$

Ένα ισοζύγιο μάζας του νερού στον όγκο ελέγχου III (Εικόνα 12) δίνει:

$$[(1 - X) + d(1 - X)](L + dL) + GY = G(Y + dY) + L(1 - X) \quad (19)$$

Απλουστεύοντας την εξίσωση (19) και εφαρμόζοντας την εξίσωση (2) δίνεται η μεταβολή συγκέντρωσης του υγρού αποξηραντικού:

$$\frac{dX}{dZ} = -\frac{G}{L} X \frac{dY}{dZ} \quad (20)$$

Μια εμπειρική συσχέτιση για τυχαία πληρωτικά υλικά από τον Onda χρησιμοποιήθηκε για τον συντελεστή μεταφοράς μάζας αέριας φάσης (εξίσωση (21)). Η εμπειρική συσχέτιση του συντελεστή μεταφοράς μάζας σε αέρια φάση για δομημένα πληρωτικά υλικά αναπτύχθηκε από τον Chung.

$$k_G = 5.236 \frac{a_i D_G}{RT_a} \left(\frac{G}{a_i \mu_G} \right)^{0.7} \left(\frac{\mu_G}{\rho_G D_G} \right)^{1/3} (a_i d_p)^{-2} \quad (21)$$

Ο συντελεστής μεταφοράς μάζας τύπου k μπορεί να μετατραπεί σε τύπου F συντελεστή από την εξίσωση (22).

$$F_G = k_G P \quad (22)$$

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας αέριας φάσης βρίσκεται εφαρμόζοντας τις αναλογίες μεταφοράς θερμότητας και αέρα:

$$j_h = \frac{h_G}{(c_{p,a} + Yc_{p,v})G} \text{Pr}^{2/3} = j_m = \frac{F_G M_a}{G} S_c^{2/3} \quad (23)$$

Έτσι,

$$h_G = F_G M_a (c_{p,a} + Yc_{p,v}) \left(\frac{Sc}{Pr} \right)^{2/3} \quad (24)$$

Ο αριθμός Schmidt και ο αριθμός Prandtl για το αέριο είναι ίσοι με:

$$Sc = \frac{\mu_G}{\rho_G D_G}, \text{Pr} = \frac{\mu_G (c_{p,a} + Yc_{p,v})}{k}$$

Στην παρούσα μελέτη, κάποιες αδιάστατες και διαστασιολογημένες ομάδες ορίστηκαν όπως φαίνεται παρακάτω:

$dNTU = M_a F_G a_i dZ / G$: Διαφορικό μονάδων μεταφοράς μάζας.

$L_e = h'_G / M_a c_{p,a} F_G$: Αριθμός Lewis για όλες τις διαδικασίες μεταφοράς θερμότητας και μάζας.

$R = c_{p,a} G / c_{p,L} L$: Λόγος ρυθμού θερμοχωρητικότητας αέρα προς ρυθμό θερμοχωρητικότητας υγρού.

$M = M_v / M_a$: Λόγος μοριακής μάζας υδρατμών προς μοριακή μάζα αέρα.

$R_c = c_{p,a} / c_{p,m}$: Λόγος θερμοχωρητικότητας στεγνού αέρα προς θερμοχωρητικότητα υγρού αέρα.

$R_m = G / L$: Λόγος ρυθμού επιφανειακής ροής αέρα προς ρυθμό επιφανειακής ροής υγρού.

$\bar{h} = h_{fg}^o / c_{p,a}$: Εξομαλυσμένη θερμότητα απορρόφησης (° C).

Οι εξισώσεις (2), (5), (13), (18), και (20) μπορούν να αναπροσδιοριστούν με βάση τις παραπάνω σχέσεις προκειμένου να δώσουν τις ακόλουθες εξισώσεις.

$$dY = -M \ln \left[\frac{1-y_i}{1-y} \right] dNTU \quad (25)$$

$$dT_a = -LeR_c (T_a - T_L) dNTU \quad (26)$$

$$dT_L = -R\{(T_a - T_L)L_e + \bar{h}M \ln\left[\frac{1-y_i}{1-y}\right]\}dNTU \quad (27)$$

$$dX = R_m MX \ln\left[\frac{1-y_i}{1-y}\right]dNTU \quad (28)$$

$$dL = -GM \ln\left[\frac{1-y_i}{1-y}\right]dNTU \quad (29)$$

Η πίεση του ατμού είναι μια σημαντική ιδιότητα που καθορίζει την αναλογία υγρασίας του αέρα σε ισορροπία με το υγρό αποξηραντικό στην επιφάνεια. Οι Fumo και Goswami ανέπτυξαν ένα πολυώνυμο δεύτερης τάξης και οι συντελεστές ελήφθησαν από μια καμπύλη χρησιμοποιώντας δεδομένα του Uemura:

$$P_v = (a_0 + a_1T + a_2T^2) + (b_0 + b_1T + b_2T^2)X + (c_0 + c_1T + c_2T^2)X^2 \quad (30)$$

όπου είναι οι σταθερές δίνονται για τη διαδικασία αφύγρανσης, ως εξής:

$$a_0 = 4.58208, a_1 = -0.159174, a_2 = 0.0072594$$

$$b_0 = -18.3816, b_1 = 0.5661, b_2 = -0.019314$$

$$c_0 = 21.312, c_1 = -0.666, c_2 = -0.01332$$

Μια ανάλυση ευαισθησίας συγκρίνοντας τα δεδομένα του Uemura έχει δείξει ότι η απόκλιση της εξίσωσης (30) μπορεί να είναι της τάξης του 11%.

5.2 Προσομοίωση με κώδικα

Η βασική διαφορική εξίσωση για το σύνολο των χαρακτηριστικών παραμέτρων (Θερμοκρασία του αέρα και του ξηραντικού, αναλογία υγρασίας αέρα και συγκέντρωση ξηραντικού, εξισώσεις (25) - (28)) επιτρέπει την προσομοίωση της στήλης τμήμα προς τμήμα. Ένας κώδικας FORTRAN γράφτηκε για την εκτέλεση της μαθηματικής ανάλυσης με το ύψος της κλίνης Z να διαιρείται σε 1000 τμήματα. Ο υπολογισμός έγινε ξεκινώντας από τον πυθμένα της κλίνης (είσοδος αέρα και έξοδος ξηραντικού). Τα ενεργειακά ισοζύγια και τα ισοζύγια μάζας που περιγράφονται παραπάνω λύθηκαν για κάθε τμήμα από τη βάση ως την κορυφή της κλίνης (έξοδος του αέρα και είσοδος ξηραντικού). Δεδομένου ότι είναι γνωστές μόνο οι ιδιότητες εισόδου του αποξηραντικού, οι ιδιότητες εξόδου πρέπει αρχικά να υποτεθούν και στη

συνέχεια είναι απαραίτητες επαναλήψεις προκειμένου να βρεθούν οι ιδιότητες εξόδου του αποξηραντικού που δίνουν τις γνωστές ιδιότητες εισόδου στην κορυφή της κλίνης. Χρησιμοποιήθηκε μια επαναληπτική διαδικασία για την επίτευξη της σύγκλισης. Το κριτήριο για την σύγκλιση ήταν $\pm 0,05 \text{ }^\circ \text{C}$ για την θερμοκρασία του εισερχομένου αποξηραντικού και $\pm 0,001 \text{ kg TEG/kg}$ διαλύματος για την συγκέντρωση του αποξηραντικού στην είσοδο.

5.3 Αναλυτική λύση

Στην αδιαβατική αφύγρανση, η αύξηση της θερμοκρασίας του διαλύματος έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της απορρόφησης της υγρασίας. Προκειμένου να διατηρηθεί η μερική διαφορά πίεσης στην επιφάνεια, υψηλός ρυθμός ροής υγρού αποξηραντικού εφαρμόζεται συχνά στον απορροφητή. Ως εκ τούτου, ο ρυθμός ροής του διαλύματος και η συγκέντρωση άλλαξαν πολύ λίγο την όλη διαδικασία. Τα πειραματικά αποτελέσματα εμφανίζουν την επικύρωση αυτού του αντικειμένου. Συνεπώς, για περιορισμένο φάσμα των συνθηκών λειτουργίας, για πρακτική διαδικασία αφύγρανσης και με αποδεκτό σφάλμα κάτω του 10%, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η αναλογία υγρασίας ισορροπίας στην επιφάνεια εργασίας είναι σταθερή. Η υπόθεση σταθερής αναλογίας υγρασίας εφαρμόζεται στην ακόλουθη παράγωγο και η επικύρωση αυτής της υπόθεσης μπορεί να επαληθευτεί από αξιόπιστα πειραματικά αποτελέσματα. Οι εξισώσεις (25) - (29) είναι πρώτης τάξης μη γραμμικές συνήθεις διαφορικές εξισώσεις. Χρησιμοποιώντας την παραδοχή της αραιής αέριας φάσης και της σταθερής αναλογίας υγρασίας ισορροπίας στην επιφάνεια, οι εξισώσεις (25) - (29) μπορούν να λυθούν με μια αναλυτική λύση. Από την παραδοχή της αραιής αέριας φάσης προκύπτει:

$$\ln \left[\frac{1-y_i}{1-y} \right] = y - y_i$$

(31)

Αντικαθιστώντας την εξίσωση (31) στην εξίσωση (25) προκύπτει:

$$Y' + aM(Y - Y_i) = 0 \tag{32}$$

,οπού το Y_i είναι η αναλογία υγρασίας ισορροπίας και $\alpha=(1-y)(1-y_i)$.

Η εξίσωση (32) είναι μια γραμμική συνήθης διαφορική εξίσωση ως εξής:

$$Y = \exp(-\int aM dNTU) [\int aMY_i \exp(\int aM dNTU) dNTU + C] \quad (33)$$

Έτσι ώστε:

$$Y = Y_i + C \exp(-aMNTUz) \quad (34)$$

Η οριακή συνθήκη είναι:

$$NTUz = 0, Y = Y_{in}$$

Για την σταθερά C λαμβάνεται η εξής εξίσωση:

$$C = Y_{in} - Y_i \quad (35)$$

Τότε

$$Y = Y_i + (Y_{in} - Y_i) \exp(-aMNTUz) \quad (36)$$

Η εξίσωση (36) είναι το προφίλ υγρασίας αέρα στην στήλη.

Οι εξισώσεις (26) και (27) είναι συζευγμένες. Έτσι, πρέπει να επιλυθούν με την μέθοδο απαλοιφής. Παραγωγίζοντας την εξίσωση (26) δίνει:

$$T_a'' = -R_c Le [T_a' + R(T_a - T_L) Le + b \exp(-aMNTU_z)] \quad (37)$$

$$\text{όπου } b = \alpha M (Y_{in} - Y_i) R h^-.$$

Αντικαθιστώντας το T_L από την εξίσωση (26) στην εξίσωση (37) δίνει:

$$T_a'' + \theta T_a' = -\beta \exp(-aMNTU_z) \quad (38)$$

όπου $\theta = (Rc - R)Le$ και $\beta = RcLe b$. Η εξίσωση (38) είναι μια δεύτερης τάξης μη ομογενής συνήθης διαφορική εξίσωση. Οι ρίζες της χαρακτηριστικής εξίσωσης της ομογενούς διαφορικής εξίσωσης είναι:

$$\lambda_1 = 0 \text{ και } \lambda_2 = -\theta$$

Ως εκ τούτου, η γενική λύση είναι:

$$T_a = C_1 + C_2 \exp(-\theta NTU_z) - \frac{\beta}{(aM)^2 - aM\theta} \exp(-aMNTU_z) \quad (39)$$

Ο τρίτος όρος της σχέσης (39) είναι μια μη ομογενής λύση της εξίσωσης (38).

Η παραπάνω εξίσωση είναι το προφίλ θερμοκρασίας του αέρα στη στήλη.

Αντικαθιστώντας την εξίσωση (39) και την παράγωγο της στην εξίσωση (26) δίνει το προφίλ του υγρού αποξηραντικού ως:

$$T_L = \frac{1}{R_c Le} \left[-C_2 \theta \exp(-\theta NTU_z) + \frac{aM \beta}{(aM)^2 - aM\theta} \exp(-aMNTU_z) \right] + T_a \quad (40)$$

Οι οριακές συνθήκες είναι:

$$NTU_Z = 0, T_a = T_{a,in}$$

$$NTU_Z = NTU_L, T_L = T_{L,in}$$

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω οριακές συνθήκες στις (39) και (40), λαμβάνονται οι ακόλουθες εξισώσεις για τα C_1 και C_2 :

$$C_1 = T_{a,in} - C_2 + \frac{\beta}{(aM)^2 - aM\theta} \quad (41)$$

$$C_2 = \frac{T_{L,in} - T_{a,in} - \beta / ((aM)^2 - aM\theta) [1 - (1 - aM / R_c Le) \exp(-aMNTU_L)]}{(1 + \theta / R_c Le) \exp(-\theta NTU_L) - 1} \quad (42)$$

όπου NTU_L λαμβάνεται από την εξίσωση (43):

$$NTU_L = \frac{M_a F_G a_i L}{G} \quad (43)$$

Με την χρήση της εξίσωσης (36), παίρνουμε τα προφίλ, συγκέντρωσης υγρού και ρυθμού ροής από τις εξισώσεις (28) και (29) αντίστοιχα.

$$\ln X = -R_m (Y_{in} - Y_i) \exp(-aMNTU_Z) + C_3 \quad (44)$$

$$L = G(Y_{in} - Y_i) \exp(-aMNTU_Z) + C_4 \quad (45)$$

Οι οριακές συνθήκες για τις παραπάνω εξισώσεις είναι:

$$NTU_Z = NTU_L, X = X_{in}$$

$$NTU_Z = NTU_L, L = L_{in}$$

Οι σταθερές του C_3 και C_4 έχουν ως εξής:

$$C_3 = \ln X_{in} + R_2 (Y_{in} - Y_i) \exp(-aMNTU_L) \quad (46)$$

$$C_4 = L_{in} - G(Y_{in} - Y_i) \exp(-aMNTU_L) \quad (47)$$

Ως εκ τούτου, οι εξισώσεις: (36), (39), (40), (44), και (45) δίνουν την ολοκληρωμένη αναλυτική λύση ενός μαθηματικού μοντέλου που περιγράφει την διανομή τόσο του αέρα όσο και του ξηραντικού σε μια αδιαβατική διεργασία ταυτόχρονης μεταφοράς θερμότητας και μάζας.

5.4 Αποδοτικότητα και ποσοστό συμπύκνωσης πύργου.

Η απόδοση του αφυγραντή αξιολογήθηκε από τον υπολογισμό του ρυθμού απομάκρυνσης υγρασίας και της αποτελεσματικότητας της στήλης. Η απόδοση της αφύγρανσης ε_γ (ονομάζεται επίσης απόδοση της υγρασίας για να περιλαμβάνει τόσο τον αφυγραντή όσο και τον αναγεννητή) ορίζεται ως ο λόγος της πραγματικής αλλαγής της αναλογίας της υγρασίας του αέρα στον αφυγραντήρα/αναγεννητή προς την μέγιστη δυνατή αλλαγή στην αναλογία της υγρασίας του αέρα.

Για αντίθετη ροή σε ένα μονωμένο αφυγραντήρα / αναγεννητή, η μέγιστη δυνατή διαφορά στην αναλογία υγρασίας του αέρα λαμβάνεται όταν ο αέρας βρίσκεται σε ισορροπία με την είσοδο αποξηραντικού διαλύματος.

$$\varepsilon_\gamma = \frac{Y_{in} - Y_{out}}{Y_{in} - Y_i} \quad (48)$$

Αντικαθιστώντας το Y_{out} από την εξίσωση (36) στην παραπάνω εξίσωση, αυτή αποκτά μια έκφραση για την απόδοση της αφύγρανσης ως εξής:

$$\varepsilon_\gamma = 1 - \exp(-aMNTU) \quad (49)$$

Σε διαδικασίες αφύγρανσης ή αναγέννησης, το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ο ρυθμός απομάκρυνσης νερού. Στη διαδικασία αφύγρανσης, ο ρυθμός συμπύκνωσης υπολογίζεται από:

$$m_{cond} = (Y_{in} - Y_{out})GA \quad (50)$$

Αντικαθιστώντας το Y_{out} από την εξίσωση (36) στην παραπάνω εξίσωση δίνει:

$$m_{cond} = (Y_{in} - Y_i)(\exp(-aMNTU_L) - 1)GA \quad (51)$$

όπου G και A είναι ο ρυθμός ροής αέρα και η επιφάνεια εγκάρσιας τομής του πύργου αντίστοιχα.

5.5 Σύγκριση και συζήτηση.

Για την χρήση αυτής της αναλυτικής λύσης για την πρόβλεψη της κατάστασης εξόδου του επεξεργασμένου αέρα, χρειάζεται επικύρωση. Πραγματοποιήθηκαν συγκρίσεις μεταξύ των τιμών που προέκυψαν με την παραπάνω μέθοδο και των πειραματικών τιμών, οι οποίες είναι διαθέσιμες στην βιβλιογραφία. Αξιόπιστα σύνολα πειραματικών δεδομένων με τη χρήση χλωριούχου λιθίου (LiCl) ως υγρό αποξηραντικό αναφέρθηκαν από τους Fumo και Goswami . Στα πειράματά τους επιλέχθηκαν ως υλικά πλήρωσης, δακτύλιοι πολυπροπυλενίου Rauschert Hiflow 1ας ίντσας με ειδική επιφάνεια $210 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Μια σύγκριση των τυπικών πειραματικών αποτελεσμάτων με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την παρούσα μελέτη για δέκα περιπτώσεις δίνεται στον Πίνακα 1. Επίσης στον ίδιο πίνακα δίνεται μια σύγκριση των πειραματικών αποτελεσμάτων για οκτώ περιπτώσεις, όπως παρουσιάζονται στην παρούσα μελέτη με τα αποτελέσματα που λαμβάνονται από τον Gandhidasan.

Περίπτωση		$T_{\alpha,out}$ (°C)	$T_{L,out}$ (°C)	Y_{out}	X_{out}	m_{cond}
$G_{a,in}=0.890\text{kg/m}^2\text{s}$ $T_{a,in}=30.10^\circ\text{C}$ $Y_{in}=0.0180\text{kg}$ υδρατμού/kg ξηρού αέρα $L_{in}=6.124\text{kg/m}^2\text{s}$ $X_{in}=0.346$	Πειραματικά Αποτελέσματα	31.30	32.30	0.0104	0.345	0.32
	Παρούσα Έρευνα	30.30	31.14	0.01058	0.3449	0.30
	Ποσοστιαία Διαφορά	3.19	3.59	1.75	0.023	6.25
$G_{a,in}=1.180\text{kg/m}^2\text{s}$ $T_{a,in}=30.10^\circ\text{C}$ $Y_{in}=0.0181\text{kg}$ υδρατμού/kg ξηρού αέρα $L_{in}=6.227\text{kg/m}^2\text{s}$ $X_{in}=0.347$	Πειραματικά Αποτελέσματα	32.20	32.60	0.0108	0.346	0.40
	Παρούσα Έρευνα	30.54	31.60	0.01087	0.3456	0.385
	Ποσοστιαία Διαφορά	5.15	3.08	0.70	0.11	3.57
	Gandhidasan (2004)		31.35		0.3465	0.372
	Ποσοστιαία Διαφορά		3.83		0.14	7.00
$G_{a,in}=1.513\text{kg/m}^2\text{s}$ $T_{a,in}=30.20^\circ\text{C}$ $Y_{in}=0.0181\text{kg}$ υδρατμού/kg ξηρού αέρα $L_{in}=6.113\text{kg/m}^2\text{s}$ $X_{in}=0.343$	Πειραματικά Αποτελέσματα	32.20	32.70	0.0108	0.341	0.52
	Παρούσα Έρευνα	30.40	31.65	0.0112	0.3413	0.477
	Ποσοστιαία Διαφορά	5.65	3.21	3.33	0.08	8
	Gandhidasan (2004)		31.38		0.3424	0.476
	Ποσοστιαία Διαφορά		4.04		0.41	8.46
$G_{a,in}=1.189\text{kg/m}^2\text{s}$ $T_{a,in}=35.50^\circ\text{C}$ $Y_{in}=0.0188\text{kg}$ υδρατμού/kg ξηρού αέρα $L_{in}=6.290\text{kg/m}^2\text{s}$ $X_{in}=0.345$	Πειραματικά Αποτελέσματα	32.80	32.60	0.0112	0.337	0.42
	Παρούσα Έρευνα	31.20	32.05	0.0111	0.343	0.413
	Ποσοστιαία Διαφορά	4.89	1.69	0.76	1.94	1.58
	Gandhidasan (2004)		31.73		0.3445	0.389
	Ποσοστιαία Διαφορά		2.67		2.20	7.38

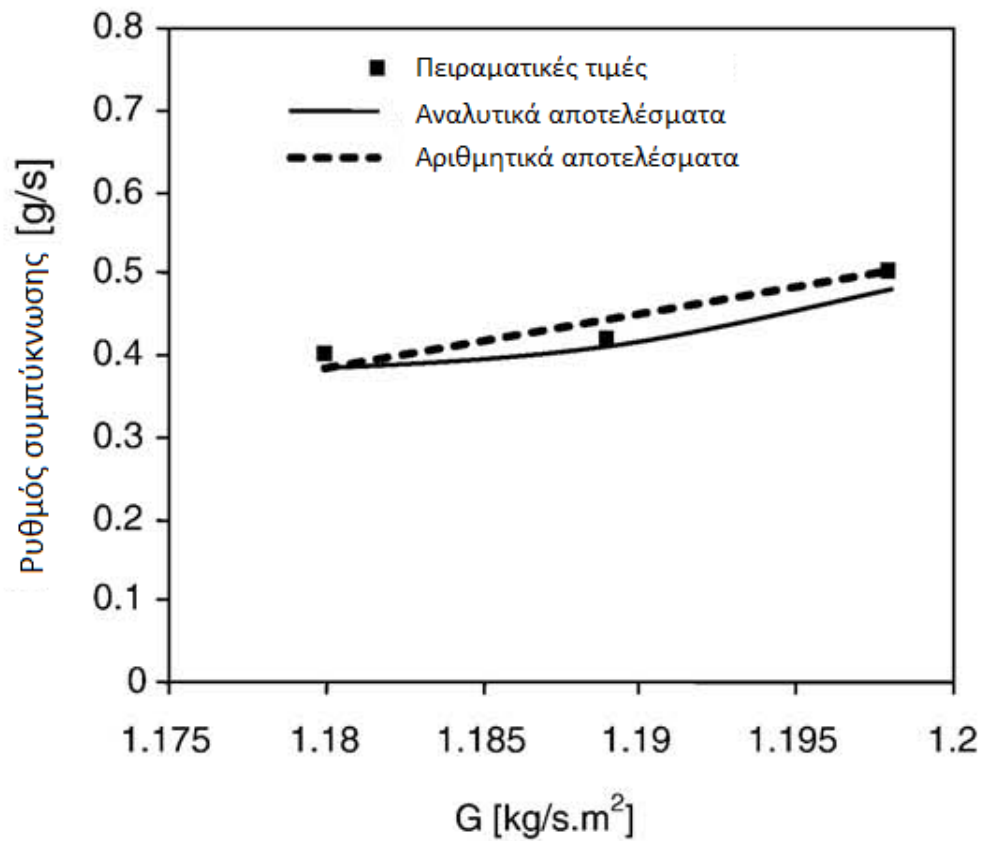
$G_{a,in}=1.189\text{kg/m}^2\text{s}$ $T_{a,in}=35.50^\circ\text{C}$ $Y_{in}=0.0188\text{kg}$ υδρατμού/kg ξηρού αέρα $L_{in}=6.290\text{kg/m}^2\text{s}$ $X_{in}=0.345$	Πειραματικά Αποτελέσματα	33.10	32.90	0.0115	0.343	0.36
	Παρούσα Έρευνα	31.86	32.41	0.01108	0.3427	0.371
	Ποσοστιαία Διαφορά	3.74	1.49	3.69	0.09	2.94
	Gandhidasan (2004)		32.05		0.3436	0.332
	Ποσοστιαία Διαφορά		2.58		0.09	7.78
$G_{a,in}=1.214\text{kg/m}^2\text{s}$ $T_{a,in}=30.30^\circ\text{C}$ $Y_{in}=0.0142\text{kg}$ υδρατμού/kg ξηρού αέρα $L_{in}=6.273\text{kg/m}^2\text{s}$ $X_{in}=0.339$	Πειραματικά Αποτελέσματα	31.10	31.50	0.0103	0.338	0.23
	Παρούσα Έρευνα	30.27	30.82	0.0104	0.3383	0.21
	Ποσοστιαία Διαφορά	2.68	2.16	0.95	0.08	8.70
	Gandhidasan (2004)		30.70		0.3388	0.206
	Ποσοστιαία Διαφορά		2.54		0.24	10.4
$G_{a,in}=1.190\text{kg/m}^2\text{s}$ $T_{a,in}=30.10^\circ\text{C}$ $Y_{in}=0.0180\text{kg}$ υδρατμού/kg ξηρού αέρα $L_{in}=5.019\text{kg/m}^2\text{s}$ $X_{in}=0.344$	Πειραματικά Αποτελέσματα	32.20	32.70	0.0113	0.342	0.38
	Παρούσα Έρευνα	30.51	31.78	0.011	0.3423	0.379
	Ποσοστιαία Διαφορά	5.23	2.81	2.96	0.097	0.34
	Gandhidasan (2004)		31.39		0.3535	0.344
	Ποσοστιαία Διαφορά		4.01		0.44	9.47
$G_{a,in}=1.182\text{kg/m}^2\text{s}$ $T_{a,in}=29.90^\circ\text{C}$ $Y_{in}=0.0179\text{kg}$ υδρατμού/kg ξηρού αέρα $L_{in}=6.164\text{kg/m}^2\text{s}$ $X_{in}=0.331$	Πειραματικά Αποτελέσματα	32.4	32.20	0.0114	0.330	0.360
	Παρούσα Έρευνα	30.31	31.25	0.0115	0.3298	0.34
	Ποσοστιαία Διαφορά	6.44	2.94	0.88	0.07	5.56
	Gandhidasan (2004)		31.00		0.3306	0.331
	Ποσοστιαία Διαφορά		3.73		0.18	8.06

$G_{a,in}=1.176\text{kg/m}^2\text{s}$ $T_{a,in}=30.00^\circ\text{C}$ $Y_{in}=0.0181\text{kg}$ υδρατμού/kg ξηρού αέρα $L_{in}=6.206\text{kg/m}^2\text{s}$ $X_{in}=0.348$	Πειραματικά Αποτελέσματα	32	32.50	0.0107	0.347	0.41
	Παρούσα Έρευνα	30.44	31.50	0.01085	0.3466	0.386
	Ποσοστιαία Διαφορά	4.87	3.07	1.38	0.108	5.85
	Gandhidasan (2004)		31.29		0.3475	0.378
	Ποσοστιαία Διαφορά		3.72		0.14	8.29
$G_{a,in}=1.182\text{kg/m}^2\text{s}$ $T_{a,in}=30.20^\circ\text{C}$ $Y_{in}=0.0181\text{kg}$ υδρατμού/kg ξηρού αέρα $L_{in}=7.420\text{kg/m}^2\text{s}$ $X_{in}=0.344$	Πειραματικά Αποτελέσματα	32	32.50	0.011	0.343	0.39
	Παρούσα Έρευνα	30.42	31.29	0.01098	0.3428	0.381
	Ποσοστιαία Διαφορά	4.94	3.73	0.19	0.04	2.37

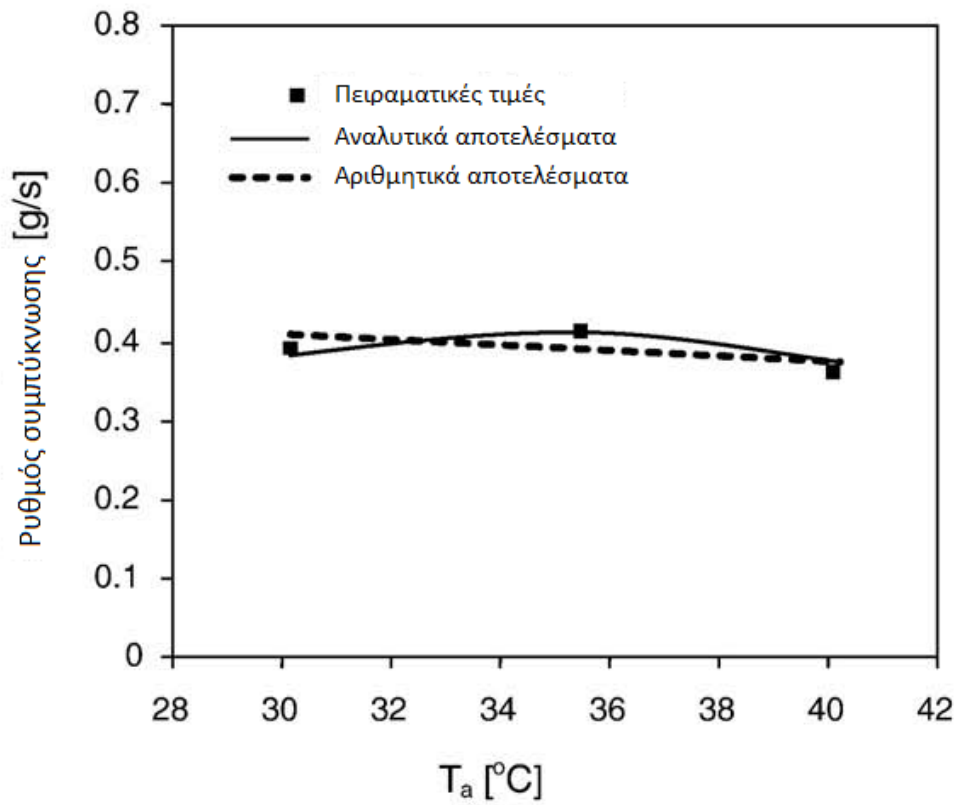
Πίνακας 1: Σύγκριση πειραματικών τιμών με τιμές από την αναλυτική λύση.[7]

Με βάση τα αποτελέσματα που δίνονται στον Πίνακα 1, η μέγιστη διαφορά, η οποία ορίζεται ως η διαφορά της αναλυτικής λύσης από την πειραματική τιμή κατά την έξοδο, διαιρεμένη με την πειραματική τιμή στην έξοδο, της προβλεπόμενης αναλογίας υγρασίας αέρα, της θερμοκρασίας και συγκέντρωσης υγρού αποξηραντικού είναι μικρότερες από 5% και της προβλεπόμενης θερμοκρασίας του αέρα είναι μικρότερη από 7% στην παρούσα μελέτη. Διαπιστώθηκε ότι οι τιμές του συντελεστή Lewis παρέκλιναν από την μονάδα. Ο Stevens διαπίστωσε επίσης τις περιπτώσεις με τις τιμές του συντελεστή Lewis, εκτός μονάδας. Σύμφωνα με τον ορισμό του Lewis στην παρούσα μελέτη, ο αριθμός Lewis είναι 0,9. Πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι, όταν ο αριθμός Lewis είναι ίσος με την ενότητα, η προβλεπόμενη θερμοκρασία του αέρα εξόδου είναι σταθερά μεγαλύτερη από τα πειραματικά δεδομένα. Αυτό ίσως να οφείλεται στην πολυπλοκότητα του συστήματος, όπως η μη ανομοιόμορφη διαβροχή και τα διακριτά συγκεντρωμένα ρεύματα υγρού που έτσι μπορεί να αυξήσουν την αντίσταση μεταφοράς θερμότητας/μάζας στην υγρή φάση. Μπορεί να διαπιστωθεί ότι τα προβλεπόμενα αποτελέσματα της αναλυτικής λύσης της θερμοκρασίας εξόδου του αέρα και του λόγου υγρασίας, της θερμοκρασίας και της συγκέντρωσης υγρού αποξηραντικού συμφωνούν αρκετά καλά με τα

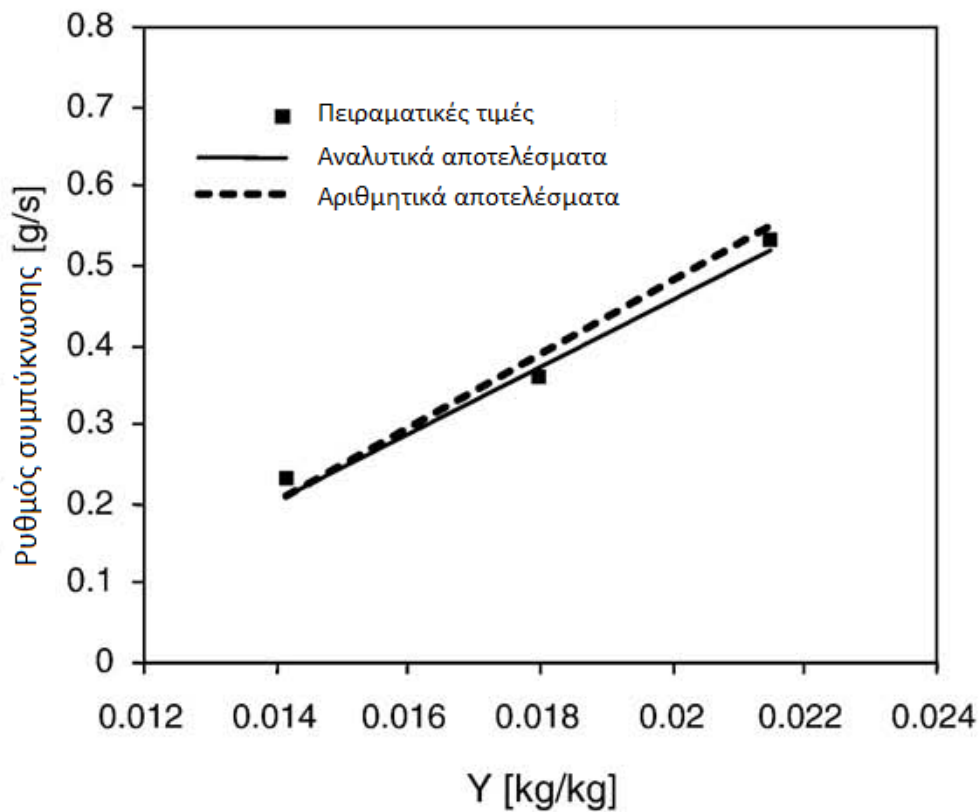
πειραματικά αποτελέσματα. Τα διαγράμματα 1-3 και 5-7 δείχνουν τα πειραματικά αποτελέσματα για την αφύγρανση μαζί με την αναλυτική λύση και την αριθμητική λύση.



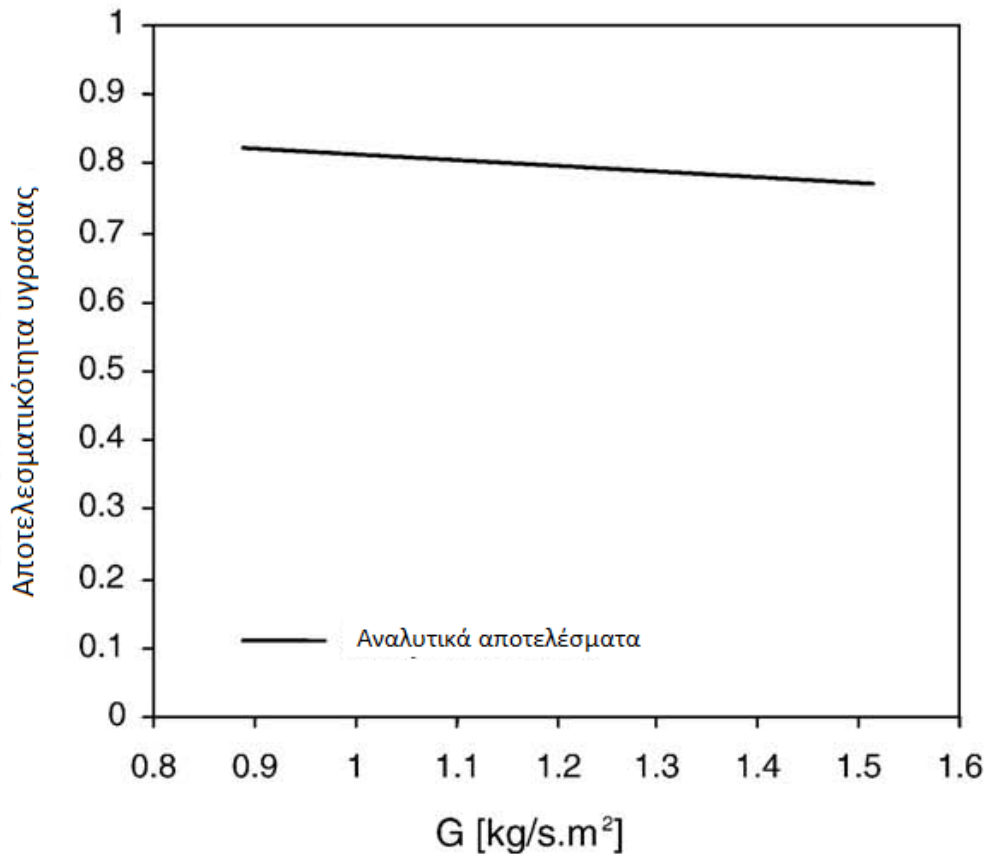
Διάγραμμα 1: Επίδραση ρυθμού ροής αέρα στην αφύγρανση.[7]



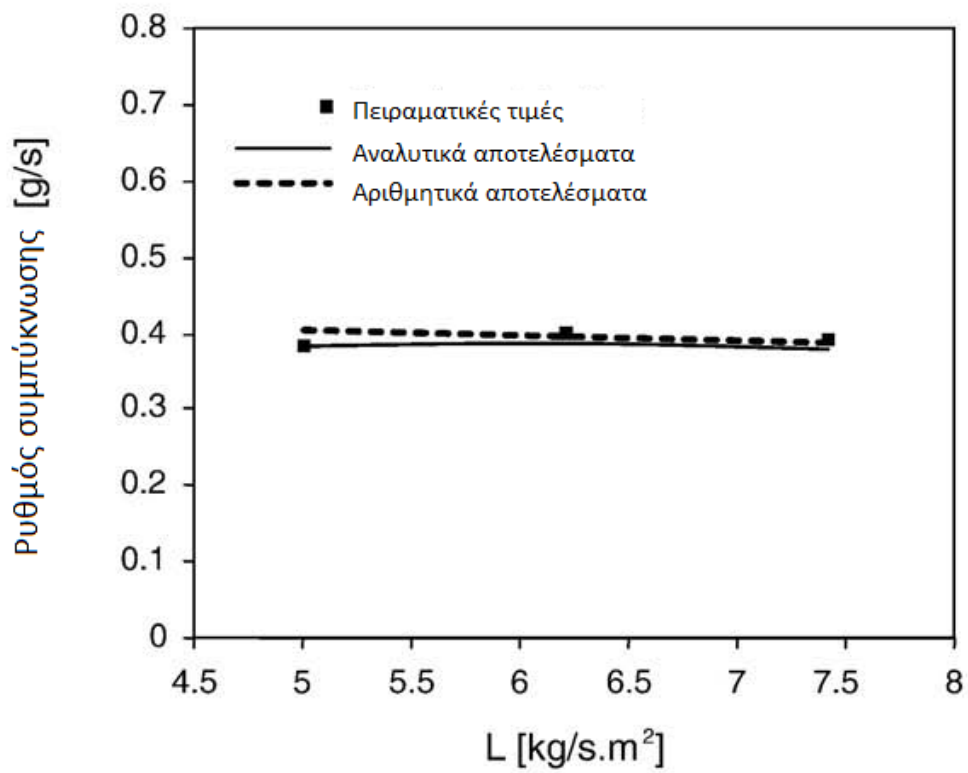
Διάγραμμα 2:Επίδραση θερμοκρασίας αέρα εισόδου στην αφύγρανση.[7]



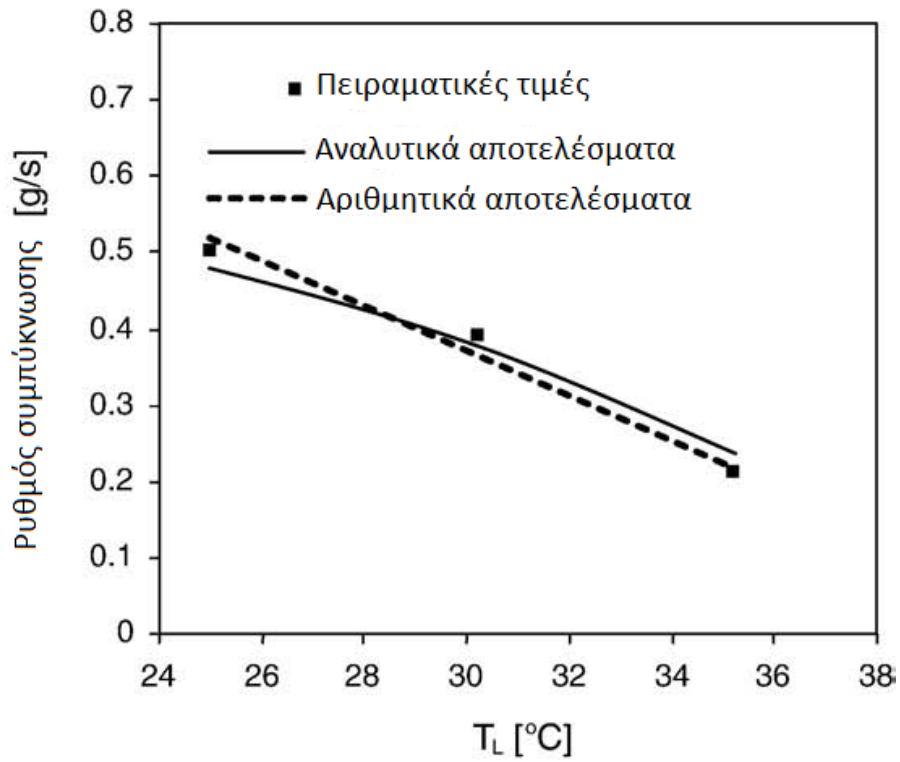
Διάγραμμα 3:Επίδραση αναλογίας υγρασίας αέρα εισόδου στην αφύγρανση.[7]



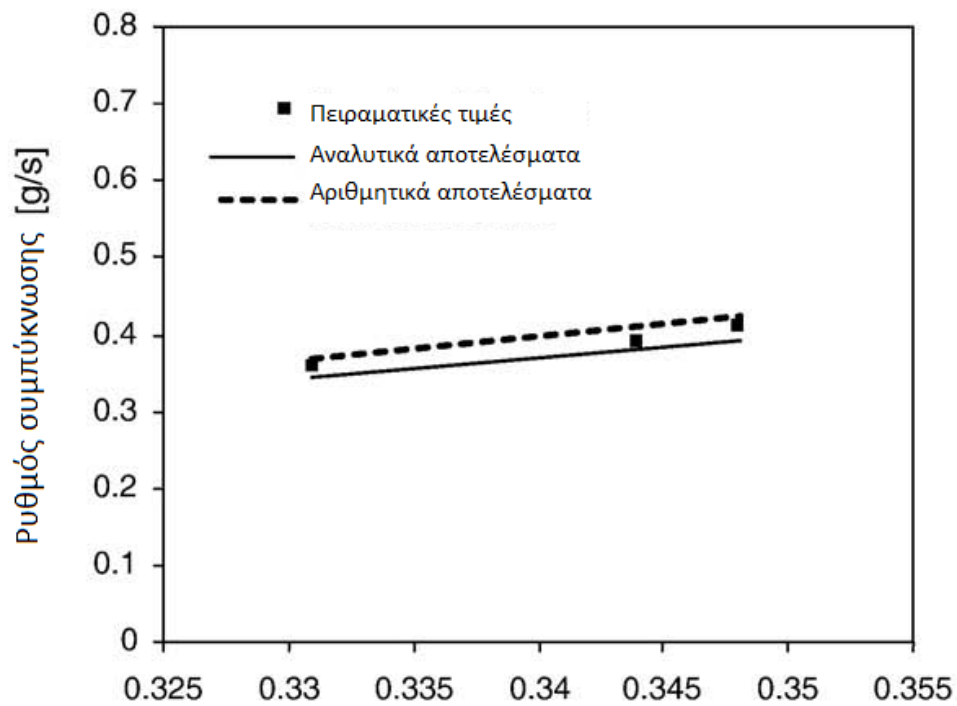
Διάγραμμα 4:Επίδραση ρυθμού ροής αέρα στην απόδοση υγρασίας.[7]



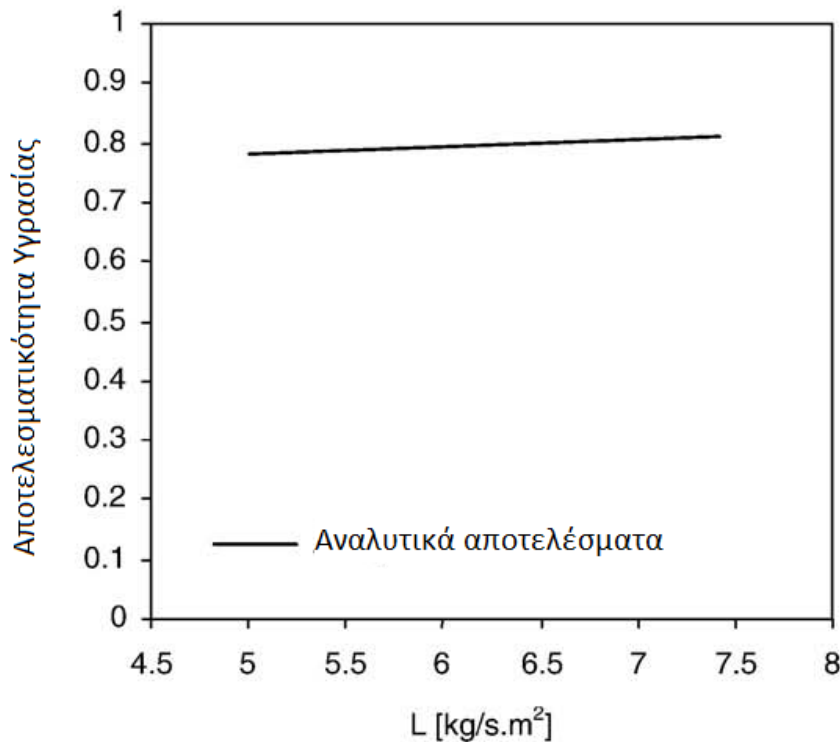
Διάγραμμα 5:Επίδραση ρυθμού ροής αποξηραντικού στην αφύγρανση.[7]



Διάγραμμα 6: Επίδραση θερμοκρασίας εισόδου αποξηραντικού στην αφύγρανση.[7]



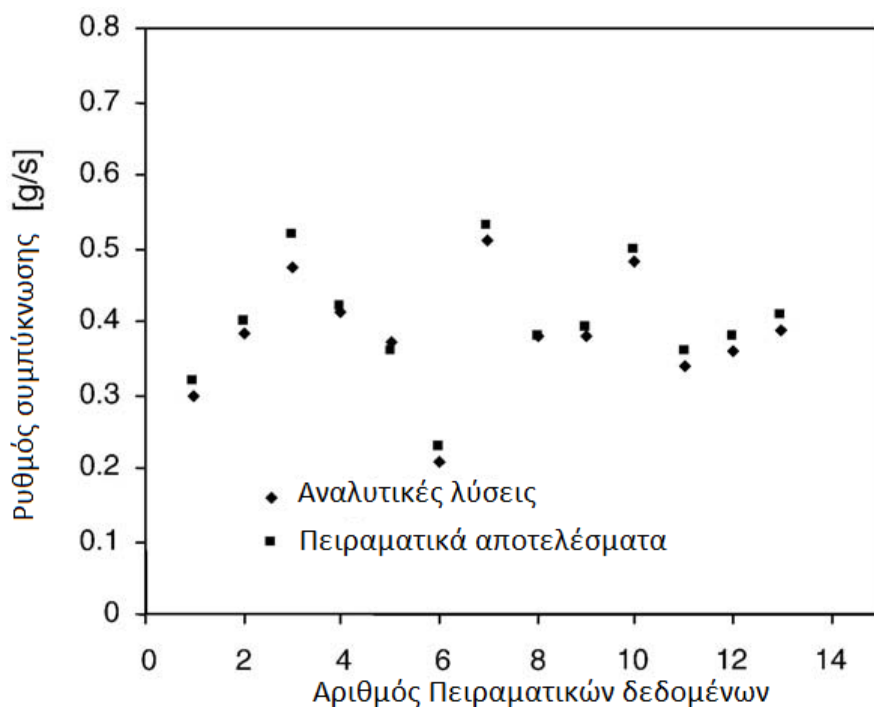
Διάγραμμα 7: Επίδραση συγκέντρωσης εισόδου αποξηραντικού στην αφύγρανση.[7]



Διάγραμμα 8: Επίδραση ρυθμού ροής αποξηραντικού στην απόδοση υγρασίας.[7]

Οι μεταβλητές που βρέθηκαν να έχουν την πιο σημαντική επίδραση στην απόδοση του αφυγραντήρα είναι οι εξής: Ο ρυθμός ροής του αέρα και η αναλογία υγρασίας, η θερμοκρασία και η συγκέντρωση του υγρού αποξηραντικού. Η κλίση της καμπύλης του ρυθμού συμπύκνωσης (μεταβολή% σε ρυθμό συμπύκνωσης/% μεταβολή των μεταβλητών) σε αυτά τα διαγράμματα δίνει μια εκτίμηση της επίδρασης αυτών των μεταβλητών στον ρυθμό συμπύκνωσης των υδρατμών. Ο ρυθμός συμπύκνωσης των υδρατμών αυξάνει με την αύξηση του ρυθμού ροής του αέρα με μια κλίση της τάξης του 0,9 (Διάγραμμα 1). Μπορεί να εξηγηθεί ότι ένας υψηλός ρυθμός ροής του αέρα θα αφαιρέσει τον ξηρό αέρα πιο γρήγορα από την επιφάνεια, μειώνοντας έτσι την κλίση της υγρασίας μεταξύ της επιφάνειας και του αέρα, και με διατηρώντας μεγαλύτερο δυναμικό για τη μεταφορά μάζας. Ο ρυθμός συμπύκνωσης των υδρατμών αυξάνει με την αύξηση της αναλογίας υγρασίας του αέρα εισόδου με κλίση 2,3 (Διάγραμμα 3). Συμβαίνει επειδή ένα υψηλότερο ποσοστό υγρασίας συνεπάγεται υψηλότερη πίεση του αέρα ατμών και, κατά συνέπεια, μεγαλύτερο δυναμικό για μεταφορά μάζας. Ο ρυθμός συμπύκνωσης νερού μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας εισόδου του αποξηραντικού με μια κλίση -1,2 (Διάγραμμα 6). Μια υψηλότερη θερμοκρασία αποξηραντικού δίνει χαμηλότερο δυναμικό

για μεταφορά μάζας με αποτέλεσμα μικρότερο ρυθμό συμπύκνωσης. Ο ρυθμός συμπύκνωσης νερού αυξάνεται με την αύξηση συγκέντρωσης εισόδου του αποξηραντικού με κλίση 2,5 (Διάγραμμα 7). Μια υψηλότερη συγκέντρωση αποξηραντικού δίνει μεγαλύτερο δυναμικό για μεταφορά μάζας στον αφυγραντήρα με αποτέλεσμα μεγαλύτερο ρυθμό συμπύκνωσης. Αντίθετα, εάν η θερμοκρασία του αέρα είναι σημαντικά υψηλότερη από την θερμοκρασία του αποξηραντικού, η θερμοκρασία αποξηραντικού θα αυξηθεί, με αποτέλεσμα να μειωθεί το δυναμικό για μεταφορά μάζας (Διάγραμμα 2). Ο ρυθμός ροής του αποξηραντικού δεν προκαλεί σημαντική μεταβολή στον ρυθμό συμπύκνωσης των υδρατμών. (Διάγραμμα 5). Ωστόσο, ο ρυθμός ροής υγρού πρέπει να είναι αρκετά υψηλός ώστε να εξασφαλιστεί η υγροποίηση του υλικού πλήρωσης. Για το εύρος των μεταβλητών που μελετήθηκαν, η απόδοση της υγρασίας για τον απορροφητήρα παραμένει ως επί το πλείστον σταθερή, δεν παρατηρήθηκε καμία διαφοροποίηση πάνω από 6%. Οι μόνες σαφείς τάσεις που παρατηρήθηκαν ήταν: η μικρή αύξηση της απόδοσης της υγρασίας με τον ρυθμό ροής του αέρα και η μικρή αύξηση της απόδοσης της υγρασίας με τον ρυθμό ροής υγρού αποξηραντικού (Διάγραμμα 4 και Διάγραμμα 8). Η χαμηλότερη απόδοση υγρασίας ήταν 75% και η υψηλότερη 84%. Το Διάγραμμα 9 δείχνει την σύγκριση μεταξύ του πειραματικού και του υπολογισμένου ρυθμού συμπύκνωσης. Καλή συμφωνία εμφανίζεται μεταξύ των προβλεπόμενων τιμών και των πειραματικών ευρημάτων.[7]



Διάγραμμα 9: Σύγκριση μεταξύ παρούσας μελέτης και του συνόλου πειραματικών δεδομένων των Fumo και Goswami .[7]

5.6 Συμπεράσματα

Μια αναλυτική λύση αδιαβατικής μεταφοράς θερμότητας και μάζας σε έναν αφυγραντήρα αναπτύχθηκε κάτω από κάποιες λογικές υποθέσεις με βάση το προτεινόμενο μαθηματικό μοντέλο. Η προβλεπόμενη, με την αναλυτική λύση, συμπεριφορά παρουσιάζει πολύ καλή συμφωνία με τα διαθέσιμα πειραματικά δεδομένα. Αυτή η λύση μπορεί να δώσει την κατανομή κάθε μεταβλητής όπως και η παραδοσιακή αριθμητική λύση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για προσομοιώσεις εποχιακής αποδοτικότητας με μικρό υπολογιστικό χρόνο. Με αυτήν την λύση μπορούν εύκολα να υπολογιστούν ευαίσθητες αναλύσεις, όπως η αφαίρεση υγρασίας. Με βάση τα αποτελέσματα, που αναφέρονται στον

Πίνακας 1: Σύγκριση πειραματικών τιμών με τιμές από την αναλυτική λύση.[7] και με ένα αποδεκτό σφάλμα μικρότερο από 10%, μπορούμε να κάνουμε την παραδοχή της σταθερής αναλογίας υγρασίας ισορροπίας για την επιφάνεια, όταν ο αφυγραντήρας έχει υψηλό ρυθμό ροής υγρού. Μελετήθηκε η επίδραση των μεταβλητών σχεδιασμού, όπως ο ρυθμός ροής του αέρα και του υγρού αποξηραντικού, η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα, η θερμοκρασία και η συγκέντρωση του αποξηραντικού στον

ρυθμό συμπύκνωσης του νερού από τον αέρα. Ως εκ τούτου, η κλίση των καμπυλών στα διαγράμματα 1-8 παρέχουν μια ένδειξη των επιπτώσεων της μεταβλητής στον ρυθμό συμπύκνωσης των υδρατμών. Οι παράμετροι που βρέθηκε ότι είχαν μεγαλύτερο αντίκτυπο στην επίδοση του αφυγραντή ήταν: η συγκέντρωση αποξηραντικού (κλίση=2,5), η θερμοκρασία αποξηραντικού (κλίση=-1,2), ο ρυθμός ροής αέρα (κλίση=0,9) και η αναλογία υγρασίας(κλίση=2,3). Ο ρυθμός ροής υγρού και η θερμοκρασία του αέρα δεν είχαν σημαντικό αντίκτυπο, ωστόσο, ο ρυθμός ροής του υγρού πρέπει να είναι μεγάλος για να εξασφαλιστεί η υγροποίηση. Επίσης βρέθηκε ότι ο αριθμός Lewis διέφερε από τη μονάδα. Αυτό ίσως οφείλεται στον μεγάλο αριθμό πολυπλοκοτήτων, όπως η μη ομοιόμορφη ύγρανση πληρωτικού υλικού, τα διακριτά συσσωρευμένα ρεύματα υγρού και συνεπώς η αύξηση των αντιστάσεων μεταφοράς θερμότητας/μάζας στην υγρή φάση.

6. Επισκόπηση διαθέσιμων συστημάτων

Αυτή την στιγμή η αγορά των απορροφητικών συστημάτων είναι πολύ περιορισμένη, καθώς είναι ένας τεχνολογικός χώρος αρκετά πρόσφατος, ο οποίος δεν έχει ακόμα τόσο μεγάλη απήχηση. Υπάρχουν συγκεκριμένες εταιρείες που ασχολούνται με τον σχεδιασμό, την παραγωγή και την πώληση αυτού του είδους των κλιματιστικών συσκευών. Μερικές από αυτές είναι:

6.1 Kathabar

Η εταιρεία Kathabar εδρεύει στις ΗΠΑ και ασχολείται εδώ και 75 χρόνια με την τεχνολογία της αφύγρανσης. Εμπορεύεται τα προϊόντα της στην Αμερική αλλά και στην Ευρώπη. Έχει πραγματοποιήσει πολυάριθμες εγκαταστάσεις υγρών απορροφητικών συστημάτων σε διάφορες εφαρμογές, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο συγκεκριμένα πλεονεκτήματα. Μερικές από αυτές τις εφαρμογές είναι:

- Σε αρχειοαποθηκευτικούς χώρους, πχ βιβλιοθήκες. Σε αυτήν την περίπτωση η χρήση ενός τέτοιου συστήματος έχει τα εξής πλεονεκτήματα:
 - Αποτρέπει την φθορά των εγγράφων, όπως το ξεθώριασμα των χρωμάτων και την γήρανση του χαρτιού.
 - Αποτρέπει την δημιουργία μούχλας.
 - Παρέχει αέρα χωρίς βακτήρια και σκόνη.
- Σε βιολογικά εργαστήρια και νοσοκομεία:
 - Διατηρεί σε ελεγχόμενη θερμοκρασία και υγρασία τον αέρα, ώστε να είναι ο κατάλληλος για τα υλικά και τους ασθενείς.
 - Παρέχει καθαρό αέρα χωρίς βακτήρια, ιούς και μούχλα, απαραίτητο για μια αίθουσα χειρουργείου.

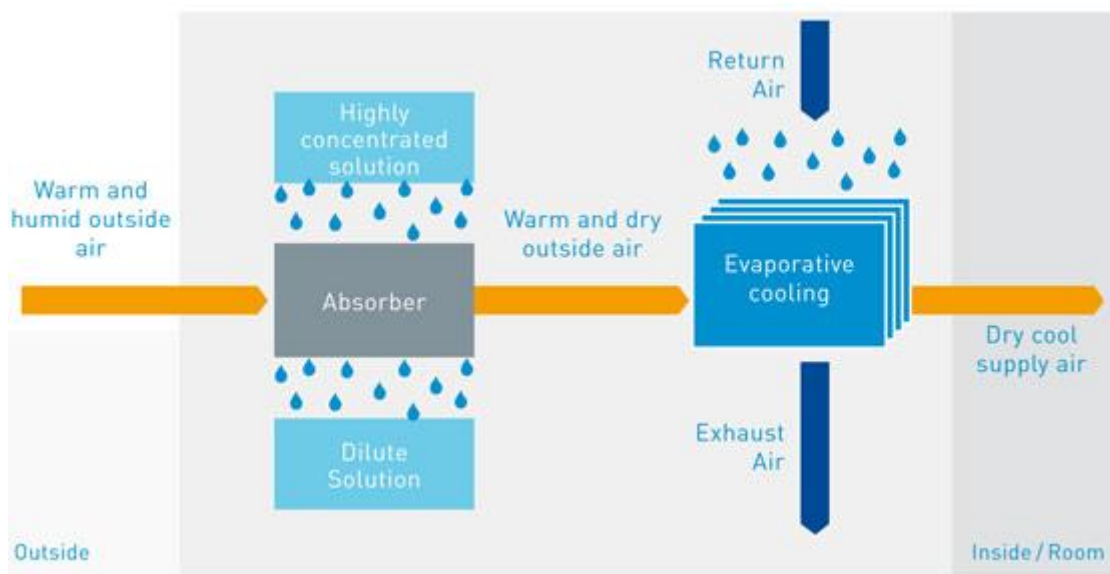
Ανάλογα πλεονεκτήματα βρίσκονται και σε βιομηχανίες παραγωγής τροφίμων και ποτών, φαρμακευτικές βιομηχανίες, μουσεία, πολυκαταστήματα κ.α.[8]

6.2 Menerga

Η Menerga είναι μια από τις μεγαλύτερες εταιρείες κατασκευής συστημάτων απορρόφησης στην Ευρώπη, η οποία ιδρύθηκε το 1980 με σκοπό την παραγωγή κλιματιστικών για χώρους πισίνας με φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο και εξελίχθηκε σε μια εταιρεία που παρέχει ενεργειακά φιλικές λύσεις

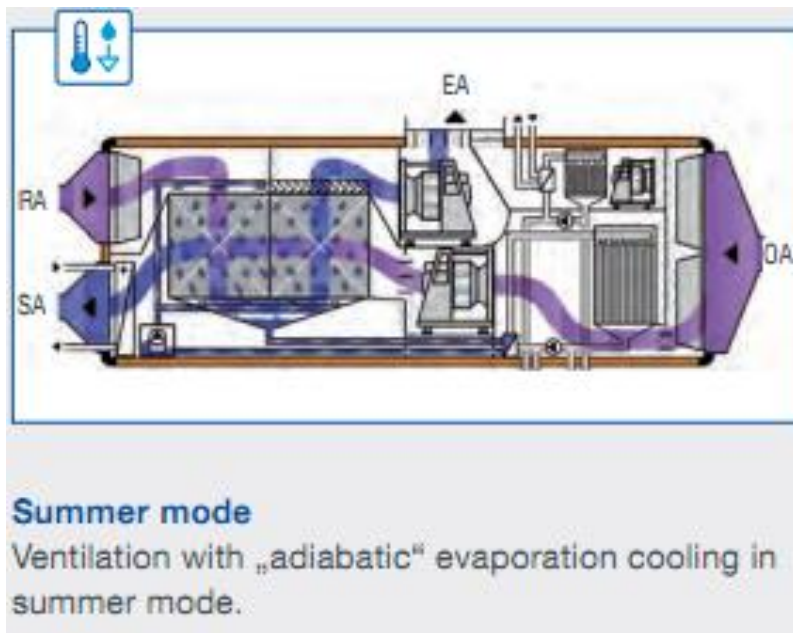
για τον κλιματισμό μεγάλων χώρων. Τα συστήματα της εφαρμόζονται σε μουσεία ,κλινικές, θέατρα ,τράπεζες ,γραφεία , σχολεία και πανεπιστήμια καθώς και σε εγκαταστάσεις διαφόρων διεργασιών ψύξης. Μια από τις σχετικά πρόσφατες εγκαταστάσεις της πραγματοποιήθηκε στο αεροδρόμιο του Μονάχου.

Στην παρακάτω εικόνα είναι ορατές οι διαδικασίες που λαμβάνουν χώρα πριν εισέλθει ο αέρας στον κλιματιζόμενο χώρο. Στην αρχή εισέρχεται ο ζεστός και υγρός αέρας στον απορροφητή, στον οποίο εισέρχεται ταυτόχρονα το διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης. Ο αέρας εξέρχεται πλέον ζεστός αλλά χωρίς υγρασία και το διάλυμα εξέρχεται με χαμηλή συγκέντρωση. Στη συνέχεια ο αέρας εισέρχεται στο θάλαμο αδιαβατικής ψύξης, όπου ταυτόχρονα εισέρχεται ο αέρας επιστροφής από τον κλιματιζόμενο χώρο καθώς και σταγόνες νερού που ψεκάζονται στον χώρο. Ο αέρας προσαγωγής εξέρχεται τελικά ψυχρός και χωρίς υγρασία.



Εικόνα 13:Σχέδιο επεξήγησης λειτουργίας συστήματος.[6]

Παρακάτω υπάρχει ακόμα ένα σχέδιο μιας εκ των συσκευών της Menerga, στην οποία φαίνεται η πορεία των ρευμάτων αέρα κατά την καλοκαιρινή περίοδο, δηλαδή σε λειτουργία ψύξης.



Εικόνα 14: Μονάδα Menerga.[6]

Με OA συμβολίζεται ο εξωτερικός αέρας, δηλαδή αυτός που εισέρχεται στην συσκευή από την ατμόσφαιρα. Ένα μέρος αυτού του ρεύματος θα οδηγηθεί αρχικά στον απορροφητή και στην συνέχεια στον ψύκτη προκειμένου να εισέλθει στον κλιματιζόμενο χώρο. Το υπόλοιπο μέρος του ρεύματος θα κατευθυνθεί προς τον αναγεννητή οπού θα συμβάλλει στην αναγέννηση του μίγματος χλωριούχου-λιθίου απορροφώντας από αυτό την υγρασία του.

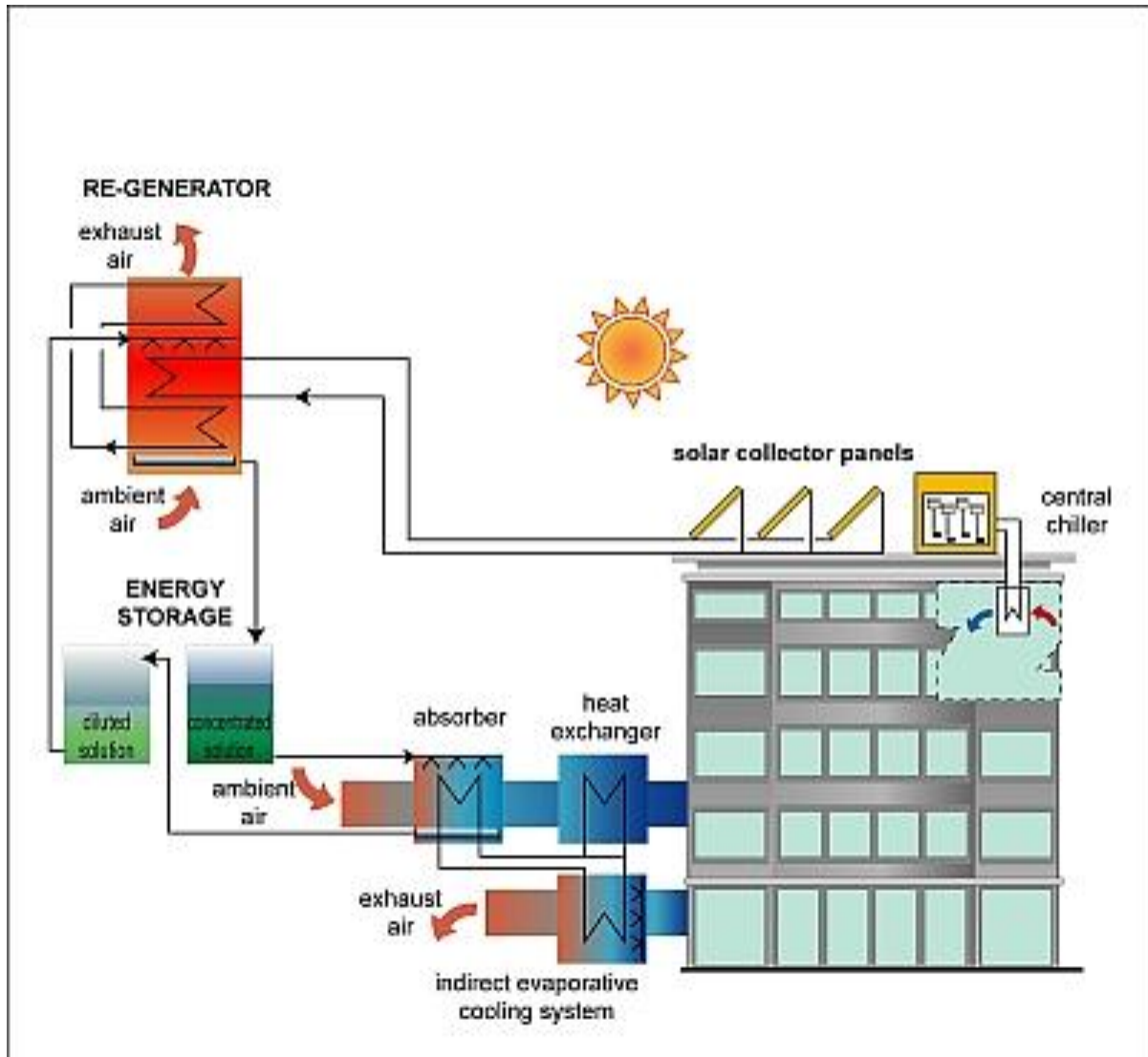
Με SA συμβολίζεται ο αέρας που παρέχεται στον κλιματιζόμενο χώρο αφού έχει αφυγρανωθεί και ψυχθεί στις κατάλληλες συνθήκες.

Με RA συμβολίζεται το ρεύμα του αέρα που επιστρέφει από τον κλιματιζόμενο χώρο στην συσκευή προκειμένου να συνεισφέρει στην ψύξη του ρεύματος προσαγωγής μέσω του εναλλάκτη.

Με EA συμβολίζεται ο αέρας που εξέρχεται από την συσκευή στο περιβάλλον, ο οποίος αποτελείται κατά ένα μέρος από τον αέρα επιστροφής και κατά ένα άλλο μέρος από τον αέρα που εισέρχεται αρχικά στην συσκευή προκειμένου να συνεισφέρει στην αναγέννηση.[6]

6.3 L-DCS

Η L-DCS είναι και αυτή μια εταιρεία γερμανική που ειδικεύεται στην παραγωγή και εγκατάσταση συστημάτων απορρόφησης και συγκεκριμένα συστημάτων που χρησιμοποιούν υγρό υλικό απορρόφησης και όχι στερεό. Το παρακάτω ενδεικτικό σχέδιο δίνει λειτουργίας μιας τέτοιας μονάδας.



Εικόνα 15: Σχέδιο εγκατάστασης μονάδας L-DCS.[9]

Το 2006 η L-DCS εγκατέστησε ένα σύστημα ισχύος 350kW με πηγή ενέργειας μια εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών συνολικής επιφάνειας 549m². [9]

6.4 Ail research

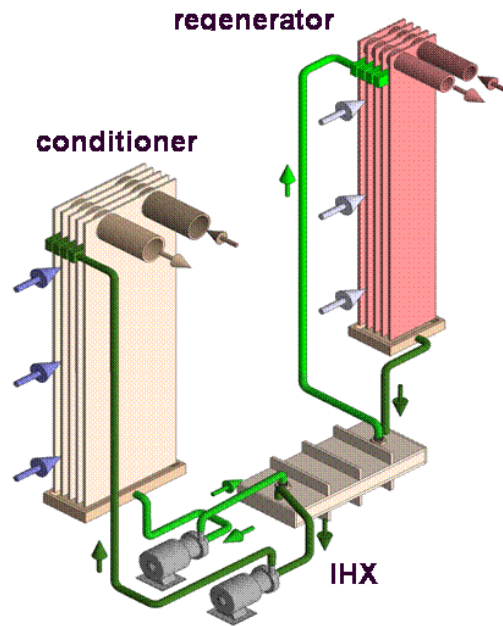
Η Ail research εργάζεται μόνο με υγρά απορροφητικά υλικά. Οι μηχανικοί της Ail research εισήγαγαν μια δική τους πατέντα, ώστε να μπορεί το διάλυμα να διατηρηθεί σε χαμηλές θερμοκρασίες παρά την απορρόφηση υγρασίας από το ρεύμα αέρα. Ο απορροφητής που κατασκεύασαν είναι ουσιαστικά ένας πλαστικός εναλλάκτης θερμότητας, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα(conditioner). Μέσα στις πλάκες του εναλλάκτη ρέει νερό. Στην εξωτερική πλευρά των πλακών υπάρχει χαμηλή ροή του απορροφητικού διαλύματος. Το προς αφύγρανση ρεύμα αέρα εισέρχεται ανάμεσα στις πλάκες όπως δείχνουν τα μπλε βέλη και όταν έρχεται σε επαφή με το απορροφητικό μίγμα χάνει την υγρασία του. Η θερμότητα που απελευθερώνεται από την απορρόφηση μεταφέρεται στο νερό, που ρέει μέσα στις πλάκες. Με αυτόν τον τρόπο ψύχεται συνεχώς το απορροφητικό διάλυμα.

Στη συνέχεια το διάλυμα εισέρχεται στον αναγεννητή, ο οποίος λειτουργεί με την αντίστροφη λειτουργία από τον απορροφητή. Αυτή την φορά μέσα στον εναλλάκτη ρέει ζεστό νερό, το οποίο παρέχεται από ηλιακούς συλλέκτες. Το διάλυμα ρέει με μικρή παροχή στις εξωτερικές επιφάνειες του εναλλάκτη και ο αέρας εισέρχεται ανάμεσα από τις επιφάνειες του εναλλάκτη όπως δείχνουν τα βέλη. Με την αύξηση της θερμοκρασίας του μίγματος, το νερό που περιέχεται σε αυτό αρχίζει να εξατμίζεται και απορροφάται από τον αέρα που περνάει από τον εναλλάκτη.

Θερμό διάλυμα υψηλής συγκέντρωσης ανταλλάσει θερμότητα με το ψυχρό διάλυμα χαμηλής συγκέντρωσης μέσα στον ενδιάμεσο εναλλάκτη θερμότητας. Η ανταλλαγή αυτή αυξάνει την αποδοτικότητα του αναγεννητή και μειώνει το ψυκτικό φορτίο του απορροφητή.

Στον απορροφητή αλλά και στον αναγεννητή η ταχύτητα του αέρα είναι πολύ μικρή και με αυτόν τον τρόπο δεν παρασέρνει μαζί του καθόλου απορροφητικό μίγμα.

Επειδή η διανομή καθώς και η περισυλλογή του μίγματος πραγματοποιούνται χωρίς την δημιουργία σταγονιδίων δεν παρασύρεται μίγμα και δεν είναι απαραίτητη η τοποθέτηση σταγονοσυλλέκτη.



Εικόνα 16: Σχέδιο του απορροφητή και αναγεννητή της εταιρείας AIL research.[10]

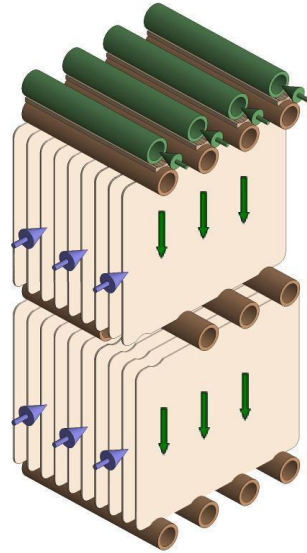
Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένας πραγματικός απορροφητής-αναγεννητής της εν λόγω εταιρείας.



Εικόνα 17: Απορροφητής και αναγεννητής της AIL research.[10]

Η εταιρεία αυτή το 2007 σχεδίασε ένα νέο απορροφητή-αναγεννητή, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Αυτή τη φορά το μίγμα εισέρχεται μέσα από σωλήνες στο πάνω μέρος της πλάκας (πράσινα βέλη), στο οποίο ψύχεται από τους καφέ σωλήνες στους οποίους ρέει αντίστοιχα το ψυκτικό μέσο. Στη συνέχεια το μίγμα σκορπίζεται στην πλάκα κυλώντας προς τα κάτω. Το ρεύμα αέρα εισέρχεται ανάμεσα από τα πτερύγια, όπως δείχνουν τα μπλε βέλη και όταν έρχεται σε επαφή με τα λουσμένα από το απορροφητικό υλικό πτερύγια ψύχεται και αφυγρύνεται ταυτόχρονα. Λόγω της απορρόφησης, απελευθερώνεται ένα πόσο θερμότητας το οποίο απορροφάται από το

απορροφητικό υλικό, του οποίου η θερμοκρασία με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται. Το μήκος όμως του πτερυγίου είναι τέτοιο ώστε όταν αυξηθεί κατά κάποιους βαθμούς η θερμοκρασία του απορροφητικού υλικού αυτό να πέσει στην επόμενη σειρά ψυκτικών σωλήνων και να διατηρήσει έτσι την θερμοκρασία του χαμηλή.[10]



Εικόνα 18: Σχέδιο του νέου απορροφητή και αναγεννητή της εταιρίας ALL research.[10]

7. Οικονομική ανάλυση εφαρμογής του μηχανήματος σε περιοχές της Ελλάδας.

Στη συνέχεια θα εξεταστεί κατά πόσο είναι οικονομικά συμφέρουσα η εφαρμογή ενός τέτοιου συστήματος απορρόφησης σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Η μελέτη περιλαμβάνει ένα χώρο με ψυκτικές ανάγκες 8 ώρες ημερησίως, 5 μέρες την εβδομάδα και για 5 μήνες το χρόνο (Μάιος-Σεπτέμβρης). Θα υποτεθεί επίσης η συνεχής χρήση του κλιματιστικού στο 100% του φορτίου της, επομένως θα υπάρχει και η απαίτηση για κάλυψη του 100% του φορτίου της αναγέννησης. Με βάση την διαστασιολόγηση της επιφάνειας των ηλιακών που θα πραγματοποιηθεί στην Αθήνα θα εξεταστεί η κάλυψη που θα παρέχει η εγκατάσταση του ίδιου συστήματος, δηλαδή της ίδιας επιφάνειας συλλεκτών σε άλλες περιοχές της Ελλάδας και κατά συνέπεια η κατανάλωση πετρελαίου για την πλήρη κάλυψη του φορτίου αναγέννησης. Η ανάλυση αυτή θα γίνει με την χρήση του λογισμικού Retscreen.

7.1 Λογισμικό RETScreen

Το λογισμικό ανάλυσης έργων καθαρής ενέργειας RETScreen είναι ένα ελεύθερα διαθέσιμο λογισμικό υποστήριξης αποφάσεων σχετικά με την καθνή ενέργεια. Το RETScreen αποτελεί ένα εργαλείο υπολογισμού και αξιολόγησης πιθανών ενεργειακών έργων. Έχει συντελέσει στην άρση αυτών των εμποδίων, που προκύπτουν στα στάδια προ-σκοπιμότητας και σκοπιμότητας και στη μείωση του κόστους της υλοποίησης έργων ΑΠΕ. Το RETScreen επιτρέπει στους φορείς λήψης αποφάσεων και τους επαγγελματίες να προσδιορίζουν εάν ή όχι ένα προτεινόμενο έργο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ενεργειακής απόδοσης, ή συμπαραγωγής ενέργειας είναι οικονομικά αποδοτικό. Αν ένα έργο είναι βιώσιμο - ή αν δεν είναι- το RETScreen θα βοηθήσει το φορέα λήψης αποφάσεων να το αντιληφθεί: γρήγορα, αδιαμφισβήτητα, σε φιλικό προς τον χρήστη περιβάλλον και με σχετικά ελάχιστο κόστος.

Το RETScreen επιτρέπει σε μηχανικούς, αρχιτέκτονες και στους υπεύθυνους οικονομικού σχεδιασμού να μοντελοποιούν και να αναλύουν οποιοδήποτε έργο καθαρής ενέργειας. Οι φορείς λήψης αποφάσεων μπορούν να διεξάγουν μία πρότυπη ανάλυση πέντε βημάτων, η οποία περιλαμβάνει ενεργειακή

ανάλυση, ανάλυση κόστους, ανάλυση εκπομπών, οικονομική ανάλυση, και ανάλυση ευαισθησίας/κινδύνου.

Πλήρως ενσωματωμένες σε αυτά τα αναλυτικά εργαλεία υπάρχουν βάσεις δεδομένων, καθώς επίσης και σύνδεσμοι προς παγκόσμιους χάρτες ενεργειακών πόρων. Επίσης, προκειμένου να βοηθήσει το χρήστη να ξεκινήσει γρήγορα την ανάλυση, το RETScreen διαθέτει ενσωματωμένη μία εκτενή βάση δεδομένων γενικών προτύπων έργων καθαρής ενέργειας.[11]

7.2 Επεξήγηση χρήσης του RETScreen

Επειδή ο σχεδιασμός του λογισμικού δεν επιτρέπει την χρήση ηλιακών συλλεκτών ως πηγή καυσίμου για την πραγματοποίηση της αναγέννησης στο σύστημα απορρόφησης χρειάστηκε να γίνουν ορισμένες παραδοχές προκειμένου να επιτευχθεί η σύγκριση της εφαρμογής ενός συμβατικού συμπιεστή (βασική περίπτωση) με την εφαρμογή ενός συστήματος απορρόφησης με εγκατάσταση ηλιακών συλλεκτών (προτεινόμενη περίπτωση).

Στο πρώτο φύλλο του λογισμικού ως τύπος έργου επιλέχθηκε η παραγωγή θερμότητας, με την χρήση ηλιακών θερμαντών νερού. Ταυτόχρονα επιλέχθηκε η κατώτερη θερμογόνος ικανότητα καυσίμου για τους υπολογισμούς και τέλος ως τοποθεσία του έργου η Αθήνα. Στη συνέχεια επιλέχθηκε ως σκοπός χρήσης συστήματος η θέρμανση νερού. Για τις ενεργειακές ανάγκες, οι οποίες έχουν ήδη υπολογιστεί υπάρχουν δυο περιπτώσεις. Η βασική, η οποία αναφέρεται στην ψύξη με συμπιεστή και η προτεινόμενη, η οποία αναφέρεται στην ψύξη με σύστημα απορρόφησης.

Για κάθε περιοχή, θα συμπληρωθεί η θερμοκρασία του νερού καθώς και η ποσότητα (σε λίτρα) του απαιτούμενου νερού προκειμένου να διατηρηθεί ίδια σε όλες τις περιοχές η ζήτηση θερμότητας και στη βασική αλλά και στην προτεινόμενη περίπτωση.

6.2.1 Βασική Περίπτωση

Ωστόσο, η βασική περίπτωση θα διαφέρει από την προτεινόμενη, καθώς στην περίπτωση του συμπιεστή πρέπει να καλυφθεί το ψυκτικό φορτίο ενώ στην περίπτωση του συστήματος απορρόφησης θα καλυφθεί μόνο το φορτίο αναγέννησης, το οποίο είναι μικρότερο.

Αφού συμπληρωθούν τα ενεργειακά δεδομένα θα επιλεγεί από την βάση προϊόντων του λογισμικού ένας τύπος συλλέκτη και η ποσότητα των συλλεκτών προκειμένου να προκύψει η συνολική επιφάνεια καθώς και η ενεργειακή κάλυψη που θα παρέχουν.

Στη συνέχεια θα επιλεγεί το καύσιμο με το οποίο θα καλύπτεται η βασική περίπτωση. Θα επιλεγθεί ηλεκτρική ενέργεια με εποχιακό βαθμό απόδοσης τον COP ενός συμβατικού συμπιεστή.

6.2.2 Προτεινόμενη Περίπτωση

Για την προτεινόμενη περίπτωση πηγή ενέργειας είναι το σύστημα ηλιακών συλλεκτών, επειδή όμως δεν γίνεται να καλυφθεί όλη η απαιτούμενη ενέργεια από τους συλλέκτες θα τεθεί ως συμπληρωματική πηγή ενέργειας ένας λέβητας, που καίει αργό πετρέλαιο, δηλαδή ο καυστήρας του συστήματος θέρμανσης του κτηρίου. Με αυτόν τον τρόπο δεν θα υπάρχουν και παραπάνω έξοδα στον αρχικό εξοπλισμό.

Προκύπτει έτσι το ετήσιο κόστος της βασικής και της προτεινόμενης περίπτωσης.

Στην συνέχεια θα αναλυθούν οι ετήσιες εκπομπές CO₂. Για να γίνει αυτό επιλέχθηκε ως χώρα η Ελλάδα και ως κύριο καύσιμο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας ο άνθρακας και ως απώλειες δικτύου 10%. Με αυτόν τον τρόπο προκύπτουν οι ετήσιες εκπομπές CO₂ της προτεινόμενης και της βασικής περίπτωσης. Δεν θα ληφθούν υπόψη οικονομικά οφέλη από την εξοικονόμηση εκπομπών CO₂.

Τέλος στην οικονομική ανάλυση θα τεθεί ως δείκτης πληθωρισμού 4%, ως διάρκεια ζωής έρχου 20 χρόνια και ως τοκοχρεολύσιο 0%. Ως αύξηση αρχικού κόστους εξοπλισμού θα τεθεί ένα ποσό 14300 €. Περαιτέρω αύξηση εξόδων δεν θα υπάρχει. Θα υποτεθεί δηλαδή ίδιο ετήσιο κόστος συντήρησης και λειτουργίας και για της δυο περιπτώσεις.

Θα προκύψει έτσι ένα χρονοδιάγραμμα χρηματοροών και το έτος αποπληρωμής του αρχικού κόστους.

6.2.3 Υποθέσεις Περιπτώσεων

Για την πραγματοποίηση μιας σύγκρισης πρέπει πρώτα να αναφερθούν τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συσκευών, που θα χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή του συμβατικού συστήματος (βασική περίπτωση) καθώς και του συστήματος απορρόφησης (προτεινόμενη περίπτωση). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της προτεινόμενης περίπτωσης φαίνονται στην Εικόνα 10.

Όπως φαίνεται από τα δεδομένα εισαγωγής, η ψυκτική ισχύς του μηχανήματος είναι 20,2kW εκ των οποίων τα 11,1kW είναι το αισθητό φορτίο και το υπόλοιπο το λανθάνον. Επίσης η απαιτούμενη ισχύς για την αναγέννηση είναι 14,7kW. Επομένως η σύγκριση θα πραγματοποιηθεί μεταξύ του εν λόγω μηχανήματος και ενός συμβατικού συμπιεστή ισχύος 20,2kW.

Οι ηλιακοί συλλέκτες θα χρησιμοποιηθούν για την πλήρη κάλυψη του φορτίου αναγέννησης ,δηλαδή των 14,7kW.

7.3 Εφαρμογή στην Αθήνα

Αρχικά θα υπολογιστούν οι ανάγκες ψύξης (όπως φαίνεται στην Εικόνα 19) όπως προαναφέρθηκε για ένα γραφείο το οποίο θα λειτουργεί 8 ώρες την ημέρα για 5 μέρες την εβδομάδα. Υπολογίζουμε πως θα χρειαστεί παροχή ψύξης για 5 μήνες του χρόνου (Μάιος-Σεπτέμβρης). Είναι δυνατός έτσι ο υπολογισμός της απαιτούμενης ενέργειας για την ψύξη. Η ισχύς της συσκευής είναι 20,2KW και έχει τεθεί ως υπόθεση πως θα λειτουργεί στο 100% του φορτίου της. Κατά την διάρκεια αυτών των 5 μηνών το ισοδύναμο λειτουργίας της συσκευής σε πλήρες φορτίο θα είναι 23,8%. Αυτό προκύπτει από τον λόγο των ωρών λειτουργίας της συσκευής προς το σύνολο των ωρών του μήνα. Οι ώρες λειτουργίας που προκύπτουν για το 23,8% των 5 μηνών είναι 1002,6 ώρες. Προκύπτει με αυτόν τον τρόπο μια συνολική ετήσια απαιτούμενη ποσότητα ψύξης των 20 θερμικών MWh. Επειδή για την αναγέννηση το πλήρες φορτίο είναι 14,7 KW, προκύπτει συνολικά μια ετήσια απαίτηση ενέργειας ίση με 15MWh. Υπολογίζονται έτσι τα λίτρα που απαιτούνται για την κάλυψη αυτού του φορτίου, αφού οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου είναι γνωστές. Στην βασική περίπτωση έχει τεθεί θερμοκρασία 60°C και 3900 λίτρα, προκειμένου να προκύψει ζήτηση θερμότητας 20MWh, όσο δηλαδή στην περίπτωση του συμπιεστή (Εικόνα 21). Αντίθετα στην προτεινόμενη περίπτωση έχει τεθεί μια ποσότητα των 2930 λίτρων προκειμένου να προκύψει μια ζήτηση θερμότητας 15MWh.

Για το συμβατικό σύστημα συμπιεστή με COP=3,5 είναι απαραίτητες για την κάλυψη αυτού του ποσού περίπου 6 MWh ηλεκτρικές. Από το [energy.eu] δίνεται η τιμή της κιλοβατώρας για ετήσια κατανάλωση ηλεκτρισμού πάνω από 4MWh ίση με 0,1483 €. Επομένως προκύπτει ένα ετήσιο κόστος των 848€.

Για το σύστημα απορρόφησης θα επιλεγθεί από την βάση προϊόντων του Retscreen ο παρακάτω συλλέκτης και θα προκύψει πως η εγκατάσταση 12 τέτοιων συλλεκτών, δηλαδή συνολικής επιφάνειας 31,34m² παρέχει κάλυψη 92% της απαιτούμενης ενέργειας.

Συνολική επιφάνεια ανά ηλιακό συλλέκτη	m ²	2,61
Επιφάνεια ανοίγματος ανά ηλιακό συλλέκτη	m ²	2,10
Συντελεστής Fr (τ α)		0,65
Συντελεστής Fr UL	(W/m ²)/°C	4,08
Συντελεστής θερμοκρασίας για Fr UL	(W/m ²)/°C ²	0,000

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά ηλιακού συλλέκτη[11]

Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του συστήματος συλλεκτών είναι τα εξής:

Χωρητικότητα αποθήκευσης / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	L/m ²	80
Χωρητικότητα αποθήκευσης	L	2.012,2
Εναλλάκτης θερμότητας		Ναι
Απόδοση εναλλάκτη θερμότητας	%	85,0%
Λοιπές απώλειες	%	3,0%
Ισχύς αντλίας / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	W/m ²	5,00

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά ηλιακού συστήματος[11]

Γίνεται αντιληπτό πως λόγω της κάλυψης του 92% της απαιτούμενης ενέργειας από τους ηλιακούς συλλέκτες είναι απαραίτητη η πρόσδοση της υπόλοιπης ενέργειας από το σύστημα θέρμανσης του κτηρίου. Για να καλυφθεί αυτό το 8% από έναν τυπικό λέβητα με βαθμό απόδοσης 85% είναι απαραίτητα όπως φαίνεται 144,3 λίτρα πετρελαίου. Για τιμή πετρελαίου 0,83 €/λίτρο προκύπτει ένα ετήσιο κόστος 120 €, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 22.

Το ετήσιο έσοδο προκύπτει ως η διαφορά των εξόδων καυσίμου ενός έτους για τον συμπιεστή μείον τα ετήσια έξοδα καυσίμου για το σύστημα απορρόφησης.

Έχοντας θέσει ως αύξηση του αρχικού κόστους, δηλαδή κόστος αγοράς και εγκατάστασης του συστήματος απορρόφησης μαζί με τους ηλιακούς συλλέκτες 14300 € περισσότερα από το αντίστοιχο κόστος του συστήματος του συμπιεστή προκύπτει το χρονοδιάγραμμα των χρηματορροών της Εικόνα

23. Δηλαδή θα πραγματοποιηθεί απόσβεση των αρχικών μας δαπανών σε 15 περίπου χρόνια με τελικό καθαρό κέρδος 7500 €.

Επίσης στην Εικόνα 20 αποτυπώνεται η εξοικονόμηση εκπομπών CO₂, η οποία είναι της τάξεως των 5,7 τόνων διοξειδίου, το οποίο αντιστοιχεί σε 13,3 βαρέλια πετρελαίου.

7.4 Εφαρμογή στη Θεσσαλονίκη

Στην Εικόνα 24 φαίνονται οι ενεργειακές ανάγκες που πρέπει να καλυφθούν. Όπως έχει προαναφερθεί για την βασική περίπτωση είναι 20MWh, ενώ για την προτεινόμενη είναι 15MWh. Για να προκύψουν αυτά τα ποσά έπρεπε να πραγματοποιηθεί αλλαγή στα απαιτούμενα λίτρα, αφού από περιοχή σε περιοχή αλλάζει η θερμοκρασία του νερού παροχής. Στην περίπτωση μας αυτό που πρέπει να ικανοποιηθεί είναι το ποσό θερμότητας ανεξάρτητα των λίτρων.

Όπως γίνεται αντιληπτό στην Εικόνα 25 η εγκατάσταση του ίδιου συστήματος με την ίδια επιφάνεια ηλιακών συλλεκτών στην περιοχή της Θεσσαλονίκης παρέχει 90% κάλυψη της ενεργειακής ανάγκης της αναγέννησης, συνεπώς το υπόλοιπο 10% πρέπει να καλυφθεί πάλι από τον λέβητα του συστήματος θέρμανσης. Προκύπτει με αυτόν τον τρόπο ένα ετήσιο κόστος πετρελαίου των 148 € σε αντίθεση με την Αθήνα που θα ήταν 120 €. Η οικονομική ανάλυση της εγκατάστασης στην Θεσσαλονίκη φαίνεται στην Εικόνα 26.

Όπως γίνεται αντιληπτό στην Εικόνα 27, μειώνεται η εξοικονόμηση εκπομπών CO₂ κατά 0,1 τόνους.

7.5 Εφαρμογή στο Ηράκλειο Κρήτης

Και σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να πραγματοποιηθεί αλλαγή στα απαιτούμενα λίτρα όπως φαίνεται στην Εικόνα 28 προκειμένου να προκύψουν οι ενεργειακές απαιτήσεις που έχουν υπολογιστεί νωρίτερα.

Παρατηρούμε πως στο Ηράκλειο Κρήτης η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών που μας παρέχουν οι συλλέκτες είναι 99%. Για αυτόν τον λόγο προκύπτει ένα σχεδόν μηδενικό ετήσιο κόστος (17 €), όπως φαίνεται και στην Εικόνα 29. Όπως είναι κατανοητό λόγω αυτής της εξοικονόμησης καυσίμου τα ετήσια έσοδα αυξάνονται με αποτέλεσμα να πραγματοποιείται απόσβεση νωρίτερα

από τις άλλες περιπτώσεις, δηλαδή στα 13 χρόνια. Επίσης προκύπτει ένα αυξημένο τελικό κέρδος που φτάνει τις 11000 € (Εικόνα 30).

Επίσης όπως φαίνεται στην Εικόνα 31 υπάρχει και μια περαιτέρω εξοικονόμηση στις εκπομπές CO₂ η οποία φτάνει τους 6,1 τόνους, που αντιστοιχούν σε 14,1 βαρέλια πετρελαίου.

7.6 Εφαρμογή στη Λάρισα

Και σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να πραγματοποιηθεί αλλαγή στα απαιτούμενα λίτρα προκειμένου να προκύψουν οι ενεργειακές απαιτήσεις που έχουν υπολογιστεί νωρίτερα. Εικόνα 32.

Σε αντίθεση με το Ηράκλειο στην Λάρισα το σύστημα των ηλιακών συλλεκτών παρέχει μόνο το 86% της απαιτούμενης ενέργειας και για αυτό τον λόγο προκύπτουν αυξημένα έξοδα για την κάλυψη της, όπως φαίνεται στην Εικόνα 33. Για αυτό τον λόγο η απόσβεση της επένδυσης καθυστερεί και το τελικό κέρδος φτάνει μόνο τις 4000 €. (Εικόνα 34)

Ταυτόχρονα υπάρχει και μια μείωση στην εξοικονόμηση των εκπομπών διοξειδίου κατά 0,3 τόνους σε σχέση με την Αθήνα όπως φαίνεται στην Εικόνα 35.

7.7 Εφαρμογή στην Καλαμάτα

Και σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να πραγματοποιηθεί αλλαγή στα απαιτούμενα λίτρα προκειμένου να προκύψουν οι ενεργειακές απαιτήσεις που έχουν υπολογιστεί νωρίτερα (Εικόνα 36).

Στην περίπτωση της Καλαμάτας η κάλυψη που μπορεί να παρέχει η εγκατάσταση των ηλιακών συλλεκτών είναι 88%(Εικόνα 37). Προκύπτει με αυτόν τον τρόπο ένα υπόλοιπο 12%, το οποίο πρέπει να καλυφθεί από τον λέβητα και για το οποίο προκύπτει μια ετήσια κατανάλωση των 201,1 λίτρων και συνεπώς ένα κόστος των 167 €. Η απόσβεση της επένδυσης πραγματοποιείται μεταξύ του 15^{ου} και του 16^{ου} χρόνου και σαν τελικό κέρδος προκύπτει ένα ποσό των 7000 € (Εικόνα 38).

Όσον αφορά την εξοικονόμηση εκπομπών διοξειδίου, αυτή φτάνει τους 5,6 τόνους ετησίως που ισοδυναμούν με 13 μη καταναλωθέντα βαρέλια αργού πετρελαίου, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 39.

7.8 Εφαρμογή στην Ξάνθη

Και σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να πραγματοποιηθεί αλλαγή στα απαιτούμενα λίτρα προκειμένου να προκύψουν οι ενεργειακές απαιτήσεις που έχουν υπολογιστεί νωρίτερα (Εικόνα 40).

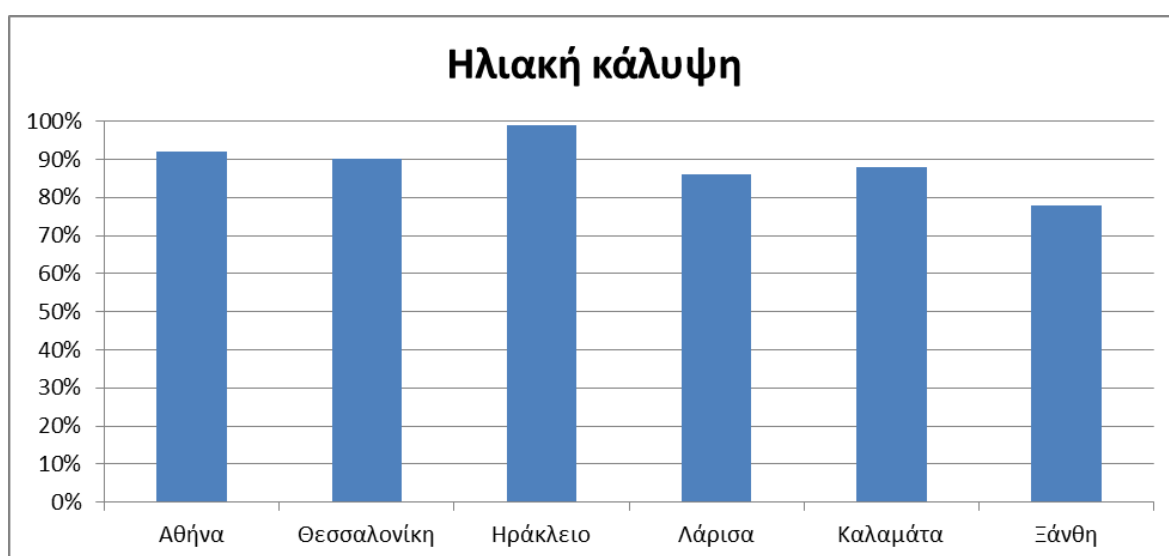
Στην Εικόνα 41 μπορεί να παρατηρηθεί πως η κάλυψη που παρέχει το σύστημα των συλλεκτών είναι 78%. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της κατανάλωσης πετρελαίου και κατά συνέπεια του ετήσιου κόστους. Προκύπτει έτσι μια ποσότητα των 378 λίτρων και ένα κόστος 314 €. Τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα την πραγματοποίηση της απόσβεση της επένδυσης μετά τα 18 χρόνια και με ένα τελικό κέρδος των 1800 περίπου €, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 42.

Όπως είναι λογικό θα μειωθεί και η εξοικονόμηση εκπομπών διοξειδίου στους 5,1 τόνους κάθε χρόνο, ποσό που αντιστοιχεί σε 11,9 μη καταναλωθέντα βαρέλια αργού πετρελαίου, πράγμα που φαίνεται και στην Εικόνα 43.

8. Αποτελέσματα

8.1 Ηλιακή Κάλυψη

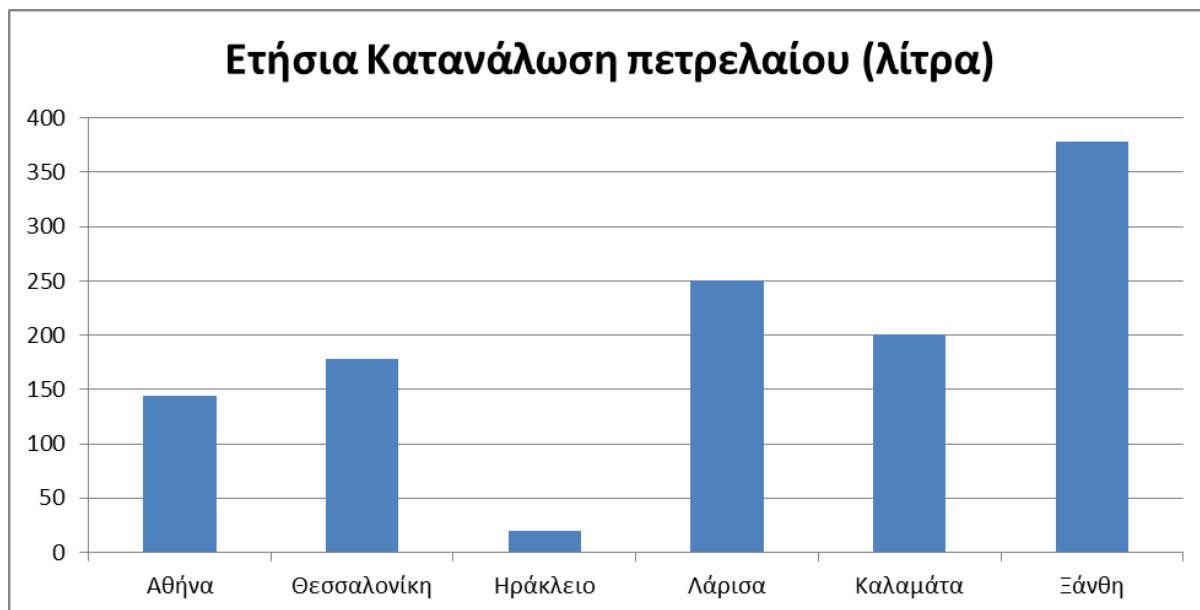
Είναι αντιληπτό πως η μεγαλύτερη ηλιακή κάλυψη υπάρχει στο Ηράκλειο και είναι ίση με 99%, ενώ στην Ξάνθη αντίστοιχα η ηλιακή κάλυψη είναι μόνο 78%. Αυτό είναι απολύτως φυσιολογικό αφού το Ηράκλειο βρίσκεται πιο νότια από τις υπόλοιπες πόλεις, ενώ αντίθετα η Ξάνθη βρίσκεται βορειότερα. Οι πόλεις Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Λάρισα και Καλαμάτα παρουσιάζουν ηλιακή κάλυψη 92%, 90%, 86% και 88% αντίστοιχα. Δεν διαφέρουν δηλαδή ιδιαίτερα οι τιμές τους.



Γράφημα 1: Ηλιακή κάλυψη ανά πόλη

8.2 Ετήσια Κατανάλωση πετρελαίου

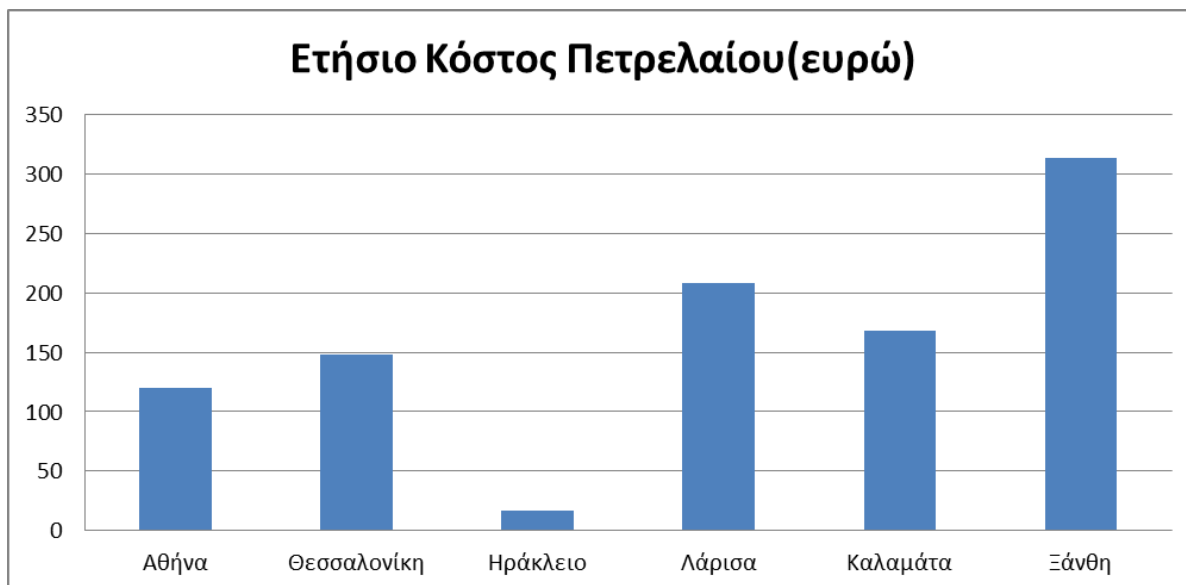
Λόγω της μεγάλης ηλιακής κάλυψης που υπάρχει στο Ηράκλειο, η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου είναι η μικρότερη, δηλαδή 20,2 λίτρα. Το αντίθετο βέβαια συμβαίνει με την Ξάνθη, όπου η κατανάλωση πετρελαίου φτάνει τα 378,2 λίτρα. Στις υπόλοιπες πόλεις, η ετήσια κατανάλωση πετρελαίου είναι: Για την Αθήνα 144,3 λίτρα, για την Θεσσαλονίκη 178,4 λίτρα, για την Λάρισα 250,3 λίτρα και για την Καλαμάτα 201,1 λίτρα.



Γράφημα 2:Ετήσια κατανάλωση πετρελαίου (λίτρα) ανά πόλη

8.3 Ετήσιο Κόστος Πετρελαίου

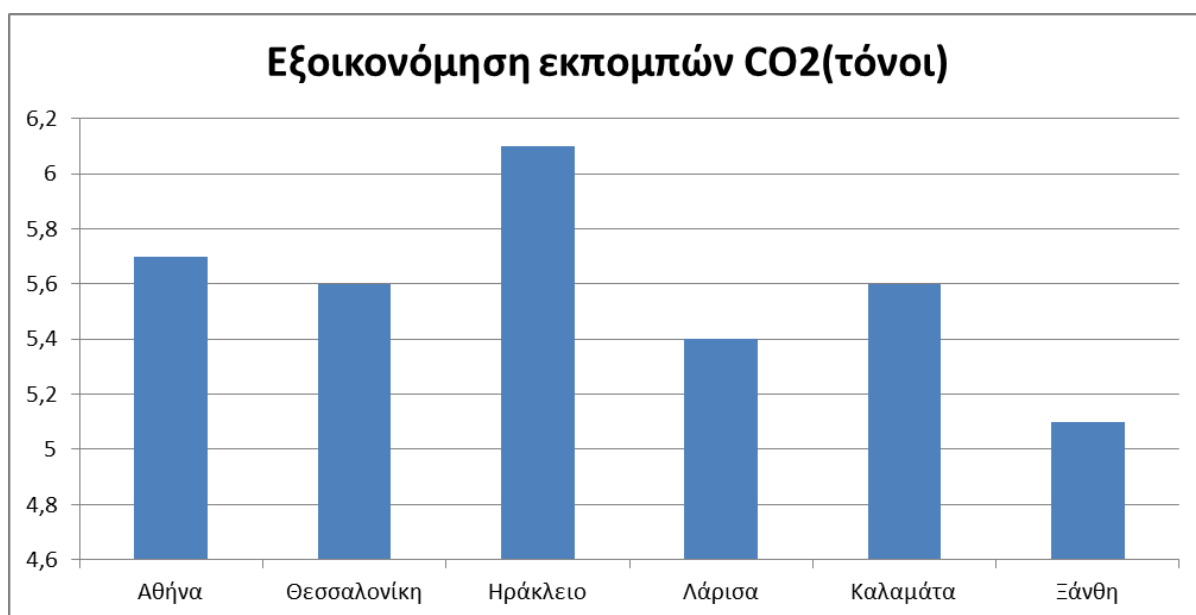
Τα αποτελέσματα του ετησίου κόστους του πετρελαίου, συμβαδίζουν με την κατανάλωση. Έτσι, το ετήσιο κόστος του πετρελαίου που καταναλώνεται σε ένα σύστημα στο Ηράκλειο είναι 17 € μόνο, ενώ το σύστημα στην Ξάνθη απαιτεί 314 € ετησίως. Στις υπόλοιπες πόλεις, οι τιμές αυτές είναι: Για την Αθήνα 120 €, για την Θεσσαλονίκη 148, €, για την Λάρισα 208 € και για την Καλαμάτα 168 €.



Γράφημα 3:Ετήσιο κόστος πετρελαίου (ευρώ) ανά πόλη

8.4 Εξοικονόμηση εκπομπών CO₂

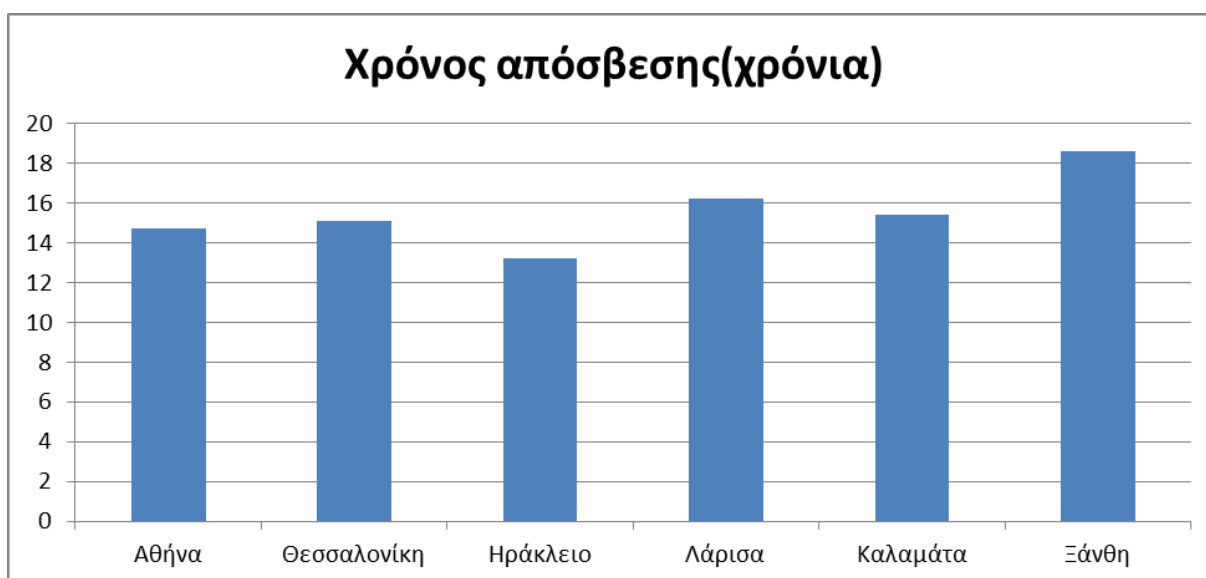
Η εξοικονόμηση εκπομπών CO₂ είναι ένας παράγοντας που προκύπτει από την κατανάλωση πετρελαίου της κάθε πόλης. Όσο λιγότερο πετρέλαιο καταναλώνει μια πόλη, τόσο περισσότερο εξοικονομεί σε εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Ουσιαστικά αυτός ο δείκτης προκύπτει από την αφαίρεση των εκπομπών του συστήματος απορρόφησης από τις εκπομπές που προκύπτουν από ένα συμβατικό σύστημα ψύξης που λειτουργεί με ηλεκτρικό ρεύμα. Επειδή όμως τα συστήματα απορρόφησης έχουν ως κύρια πηγή καυσίμου τους ηλιακούς συλλέκτες (οι οποίοι θεωρούνται ότι έχουν μηδενικές εκπομπές) και απαιτούν την καύση πετρελαίου μόνο συμπληρωματικά, έχουν πολύ λιγότερες εκπομπές. Με τις παραπάνω υποθέσεις, για την πόλη της Αθήνας η εξοικονόμηση φτάνει τους 5,7 τόνους, για την Θεσσαλονίκη τους 5,6 τόνους, για το Ηράκλειο τους 6,1 τόνους, για την Λάρισα τους 5,4 τόνους, για την Καλαμάτα τους 5,6 τόνους και για την Ξάνθη προκύπτει μια εξοικονόμηση 5,1 τόνων διοξειδίου του άνθρακα.



Γράφημα 4:Εξοικονόμηση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (τόνοι) ανά πόλη

8.5 Απαιτούμενος χρόνος απόσβεσης

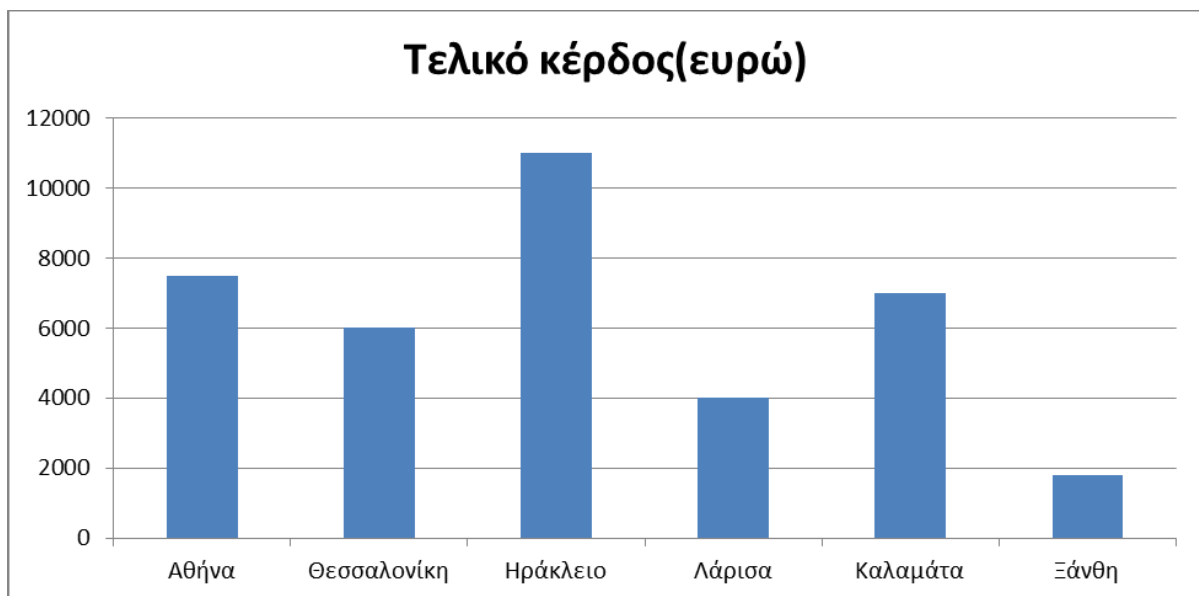
Ο χρόνος απόσβεσης αποτελεί έναν σημαντικό δείκτη όσον αφορά το όφελος που προκύπτει από μια τέτοια επένδυση. Ουσιαστικά ο χρόνος απόσβεσης δίνει το χρονικό διάστημα το οποίο απαιτείται για να καλυφθούν τα αρχικά έξοδα της επένδυσης. Στον υπολογισμό του λαμβάνεται υπόψη ο πληθωρισμός της χώρας στην οποία θα πραγματοποιηθεί η επένδυση αυτή. Είναι αντιληπτό ότι ο χρόνος απόσβεσης δεν αλλάζει ιδιαίτερα από περιοχή σε περιοχή. Προκύπτει για την Αθήνα 14,7 χρόνια, για την Θεσσαλονίκη 15,1 χρόνια, για το Ηράκλειο 13,2 χρόνια, για την Λάρισα 16,2 χρόνια, για την Καλαμάτα 15,4 χρόνια και για την Ξάνθη 18,6.



Γράφημα 5:Χρόνος απόσβεσης (χρόνια) ανά πόλη

8.6 Τελικό κέρδος

Το τελικό κέρδος αποτελεί τον σημαντικότερο δείκτη, σχετικά με το κατά πόσο αξίζει μια τέτοια επένδυση. Το τελικό κέρδος εξαρτάται από τον χρόνο απόσβεσης, αφού ουσιαστικά αποτελεί το άθροισμα των εισοδημάτων της επένδυσης, μετά την πραγματοποίηση της απόσβεσης. Δηλαδή όσο μικρότερος είναι ο χρόνος απόσβεσης για μια πόλη, τόσο μεγαλύτερο είναι το τελικό κέρδος. Μόνο στο Ηράκλειο Κρήτης φαίνεται ότι το τελικό οικονομικό όφελος είναι σημαντικό, φτάνοντας τα 11000 €. Στις υπόλοιπες περιοχές το όφελος είναι σαφώς μικρότερο, με την Αθήνα να φτάνει τα 7500€, την Θεσσαλονίκη τα 6000€, την Λάρισα τα 4000€, την Καλαμάτα τα 7000€ και τέλος με την Ξάνθη να μην ξεπερνάει τα 2000 €.



Γράφημα 6:Τελικό κέρδος (ευρώ) ανά πόλη

8.7 Συνοπτική παρουσίαση αποτελεσμάτων

Τα παραπάνω γραφήματα αποτελούν τα αποτελέσματα από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε για την επένδυση μιας τέτοιας εγκατάστασης στις συγκεκριμένες πόλεις. Τα αποτελέσματα φαίνονται συγκεντρωμένα στον παρακάτω πίνακα. Ουσιαστικά, ο καθοριστικός παράγοντας για όλες αυτές τις τιμές είναι η τιμή της ηλιακής κάλυψης, η οποία διαφέρει από πόλη σε πόλη. Όσο μεγαλύτερη είναι η κάλυψη τόσο μικρότερες είναι οι ανάγκες σε πετρέλαιο και άρα τόσο μικρότερα είναι τα λειτουργικά έξοδα του συστήματος. Με τον τρόπο αυτόν, αυξάνεται η εξοικονόμηση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και μειώνεται ο χρόνος απόσβεσης, αυξάνοντας έτσι το τελικό κέρδος. Η πόλη του Ηράκλειου παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ηλιακή κάλυψη και συνεπώς, έχει το μεγαλύτερο τελικό κέρδος, ενώ αντίθετα η πόλη της Ξάνθης έχει την μικρότερη ηλιακή κάλυψη και συνεπώς, το μικρότερο τελικό κέρδος.

	Ηλιακή κάλυψη	Ετήσια Κατανάλωση πετρελαίου (λίτρα)	Ετήσιο Κόστος Πετρελαίου (€)	Εξοικονόμηση εκπομπών CO ₂ (τόνοι)	Χρόνος απόσβεσης (χρόνια)	Τελικό κέρδος €
Αθήνα	92%	144,3	120	5,7	14,7	7500
Θεσσαλονίκη	90%	178,4	148	5,6	15,1	6000
Ηράκλειο	99%	20,2	17	6,1	13,2	11000
Λάρισα	86%	250,3	208	5,4	16,2	4000
Καλαμάτα	88%	201,1	168	5,6	15,4	7000
Ξάνθη	78%	378,2	314	5,1	18,6	1800

Πίνακας 4: Αποτελέσματα προσομοιώσεων

9. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα μπορούν να διακριθούν σε αυτά που αφορούν την ενεργειακή απόδοση και σε αυτά που αναφέρονται στην οικονομία του συστήματος.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, η χρήση συστημάτων ψύξης με υγρό απορροφητικό υλικό είναι αναμφίβολα μια τεχνολογία φιλική προς το περιβάλλον. Η παρούσα έρευνα απέδειξε ότι συμβάλλει ουσιαστικά στην εξοικονόμηση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κάθε κτηρίου.

Το ύψος της εξοικονόμησης βέβαια, μεταβάλλεται ανάλογα με την γεωγραφική θέση της εφαρμογής. Τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων έδειξαν ότι το τελικό οικονομικό όφελος μια τέτοιας επένδυσης διαφέρει ανάλογα με την κλιματική περιοχή. Σε περιοχές με λίγες ώρες ηλιοφάνειας, το κέρδος συρρικνώνεται. Για παράδειγμα, η περιοχή της Ξάνθης, στην οποία η ηλιακή κάλυψη είναι λιγότερη του 80%, παρουσιάζει ελάχιστο οικονομικό ενδιαφέρον, καθώς εμφανίζει 18,6 χρόνια απόσβεσης. Αντίθετα, στην περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης, η οποία έχει ηλιακή κάλυψη κοντά στο 100%, ο χρόνος απόσβεσης είναι 13,2 έτη, οπότε εμφανίζονται πλέον σοβαρές πιθανότητες για μία πρακτική εφαρμογή.

Μία ενδεχόμενη λύση για την αύξηση της ηλιακής κάλυψης είναι η εγκατάσταση μεγαλύτερου συλλεκτικού πεδίου. Έτσι, το σύστημα έχει περισσότερη αυτονομία ως προς τη χρήση ορυκτών καυσίμων, όμως ταυτόχρονα παρουσιάζει υψηλότερο αρχικό κόστος επένδυσης. Επομένως, η διαστασιολόγηση του συλλεκτικού πεδίου πρέπει να πραγματοποιηθεί λαμβάνοντας υπόψη ότι μετά από ένα σημείο δεν συμφέρει οικονομικά η αύξηση της ηλιακής κάλυψης λόγω της αύξησης του αρχικού κόστους της επένδυσης. Ειδικά για περιοχές χαμηλής ηλιοφάνειας, υπάρχει η δυνατότητα εκμετάλλευσης απορριπτόμενης θερμότητας από άλλες διαδικασίες για την αναγέννηση. Έτσι, χωρίς το αρχικό κόστος ενός συλλεκτικού πεδίου, το δυναμικό εξοικονόμησης για ένα τέτοιο σύστημα είναι σημαντικό.

Η ψύξη με χρήση αφυγραντικών υλικών είναι μια τεχνολογία ακόμα αναπτυσσόμενη, με λιγιστές πρακτικές εφαρμογές έως σήμερα. Η αγορά των συγκεκριμένων κλιματιστικών συσκευών περιλαμβάνει ελάχιστες εταιρίες και χαρακτηρίζεται ως ολιγοπωλιακή, με αποτέλεσμα το κόστος επένδυσης να

κυμαίνεται σε ιδιαίτερα υψηλά επίπεδα. Η περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη των συσκευών αυτών καθίσταται απαραίτητη για την αύξηση της οικονομικής τους απόδοσης, με σκοπό την εδραίωση της τεχνολογίας αυτής στην αγορά του κλιματισμού.

10. Βιβλιογραφία

1. Φραγγής Φωκάς,Θερμική άνεση σε κτήρια γραφείων,Διπλωματική Εργασία,Ε.Μ.Π.,Αθήνα,Ιανουάριος 2011.
2. Ευτύχιος Ν. Ξηράκης, Συστήματα ψύξης με ηλιακή ενέργεια, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Φεβρουάριος 2010
3. Solar Air-Conditioning,Technology-Open cycle systems, <http://www.solair-project.eu/146.0.html> [πρόσβαση στις 12/09/11]
4. Καμπύλης Νικόλαος, Ηλιακός κλιματισμός με την χρήση Desiccant υλικών, Διπλωματική Εργασία, Ε.Μ.Π., Αθήνα, Μάιος 2009.
5. Evangelos Mitsakis, Diplomarbeit 'Entwicklung und Validierung von Konzepten zur Regelung einer Klimazentrale mit einer auf wässrigen Salzlösungen basierenden Entfeuchtungseinheit', Universität- Duisburg-Essen, Institut für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik, Prof. Dr. Ing. F. Steimle, 2003.
6. Menerga GmbH,Produkte –Geräte: Sorpsolair Typ 72-73, <http://www.menerga.com/Sorpsolair-Typ-72-73.758.0.html?&L=0> [πρόσβαση στις 10/05/11]
7. Davoud Babakhani, Meysam Soleymani, "An analytical solution for air dehumidification by liquid desiccant in a packed column",International Communications in Heat and Mass Transfer.
8. Kathabar Dehumidification Systems, Liquid Desiccant Applications, <http://www.kathabar.com/index.php/applications/liquid-desiccant-applications> [πρόσβαση στις 12/04/11].
9. L-DCS Technology Pte Ltd,Applications-Solar,<http://www.l-dcs.com/applications/solar.html> [πρόσβαση στις 12/04/11]
10. AIL Research, Inc.,Technology-Liquid Dessicant Air Conditioners, http://www.ailr.com/liquid_desiccants.htm [πρόσβαση στις 12/04/11]
11. Retscreen International, <http://www.retscreen.net> [πρόσβαση στις 10/06/11]

Παράρτημα Α: Αποτελέσματα Retscreen

Σύστημα ψύξης βασικής περίπτωσης	Μεμονωμένο κτίριο - ψύξη διεργασιών	
Ψυχόμενη επιφάνεια δαπέδου για το κτίριο	m ²	450
Τύπος Καυσίμου		Ηλεκτρική ενέργεια
Συντελεστής επίδοσης - επαγγελματικός		3,50
Υπολογισμός φορτίου ψύξης		
Αιχμή φορτίου διεργασίας ψύξης	kW	20
Χαρακτηριστικά φορτίου διεργασίας ψύξης		Λεπτομερές
Ισοδύναμες ώρες πλήρους φορτίου - διεργασίας ψύξης	ώρα	1002,656
Συνολική ζήτηση ψύξης	MWh	20
Συνολικό φορτίο αιχμής ψύξης	kW	20,3
Κατανάλωση καυσίμου - ετήσια	MWh	6
Τιμή Καυσίμου	€/kWh	0,148
Κόστος καυσίμου	€	862
Μέτρα ενεργειακής απόδοσης προτεινόμενης περίπτωσης		
Μέτρα ενεργειακής απόδοσης τελικής χρήσης	%	28%
Καθαρή αιχμή φορτίου ψύξης	kW	14,7
Καθαρή ζήτηση ψύξης	MWh	15

Χαρακτηριστικά φορτίου βασικής περίπτωσης

Μήνας	Ψύξη ως % της διάρκειας λειτουργίας της διεργασίας
Ιανουάριος	0%
Φεβρουάριος	0%
Μάρτιος	0%
Απρίλιος	24%
Μαΐος	24%
Ιούνιος	24%
Ιούλιος	24%
Αύγουστος	24%
Σεπτέμβριος	0%
Οκτώβριος	0%
Νοέμβριος	0%
Δεκέμβριος	0%

Εικόνα 19: Περίπτωση συμπίεστη

Ανάλυση Εκπομπών

Βασική περίπτωση συστήματος ηλεκτρισμού (Σενάριο Αναφοράς)	Τύπος Καυσίμου	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ (εξαιρούνται Μ&Δ) tCO ₂ /MWh	Απώλειες Μ&Δ %	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ tCO ₂ /MWh
Κράτος - περιφέρεια	Ανθρακας	0,988	10,0%	1,098
Εκπομπές ΑΤΘ				
Βασική περίπτωση	tCO ₂	6,3		
Προτεινόμενη περίπτωση	tCO ₂	0,5		
Μικτή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tCO ₂	5,7		
Τέλη συναλλαγών πιστώσεων εκπομπών ΑΤΘ	%			
Καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tCO ₂	5,7	ισοδυναμεί με	13,3
				Μη καταναλωθέντα βαρέλια αργού πετρελαίου
Εσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ				
Τιμή πίστωσης μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO ₂			

Εικόνα 20: Ανάλυση Εκπομπών

Εφαρμογή στην Αθήνα

Τύπος φορτίου
 Ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού
 Θερμοκρασία
 Ώρες λειτουργίας ανά βδομάδα

Μονάδα	Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση
	Βιομηχανικά	
L/ημ	3.900	2.930
°C	60	60
ημ	5	5

Ποσοστό χρήσης μήνα

Μήνας	Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση
Ιανουάριος	0%	0%
Φεβρουάριος	0%	0%
Μάρτιος	0%	0%
Απρίλιος	0%	0%
Μαΐος	100%	100%
Ιούνιος	100%	100%
Ιούλιος	100%	100%
Αύγουστος	100%	100%
Σεπτέμβριος	100%	100%
Οκτώβριος	0%	0%
Νοέμβριος	0%	0%
Δεκέμβριος	0%	0%

Μέθοδος θερμοκρασίας παραγωγής
 Θερμοκρασία νερού - ελάχιστη
 Θερμοκρασία νερού - μέγιστη

	Τύπος
°C	15,1
°C	21,4

Ζήτηση θερμότητας

Μονάδα	Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση	Εξοικονομούμενη ενέργεια	Αύξηση αρχικού κόστους
MWh	20,0	15,0	25%	€ 14.300

Αξιολόγηση πηγών

Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου
 Κλίση
 Αζιμούθιο

	Μονο-αξονικό
°	45,0
°	0,0

Εικόνα 21:Ενεργειακές απαιτήσεις

Ηλιακός θερμαντής νερού

Τύπος	Υαλοκάλυπτος	
Καπασκευαστής	Soltec	
Μοντέλο	Ligna	
Συνολική επιφάνεια ανά ηλιακό συλλέκτη	m ²	2,61
Επιφάνεια ανοίγματος ανά ηλιακό συλλέκτη	m ²	2,10
Συντελεστής Fr (τα)		0,65
Συντελεστής Fr UL	(W/m ²)/°C	4,08
Συντελεστής θερμοκρασίας για Fr UL	(W/m ²)/°C ²	0,000
Αριθμός συλλεκτών		12
Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	m ²	31,34
Ισχύς	kW	17,61
Λοιπές απώλειες	%	0,0%

7

Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα

Αποθήκευση		Nai
Χωρητικότητα αποθήκευσης / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	L/m ²	80
Χωρητικότητα αποθήκευσης	L	2.012,2
Εναλλάκτης θερμότητας	ναι/όχι	Nai
Απόδοση εναλλάκτη θερμότητας	%	85,0%
Λοιπές απώλειες	%	3,0%
Ισχύς αντλίας / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	W/m ²	5,00
Τιμή Ηλεκτρισμού	€/kWh	0,148

Περίληψη

Ηλεκτρική ζήτηση - αντλία	MWh	0,1
Αποδιδόμενη θερμότητα	MWh	13,8
Ηλιακός λόγος	%	92%

Σύστημα θέρμανσης

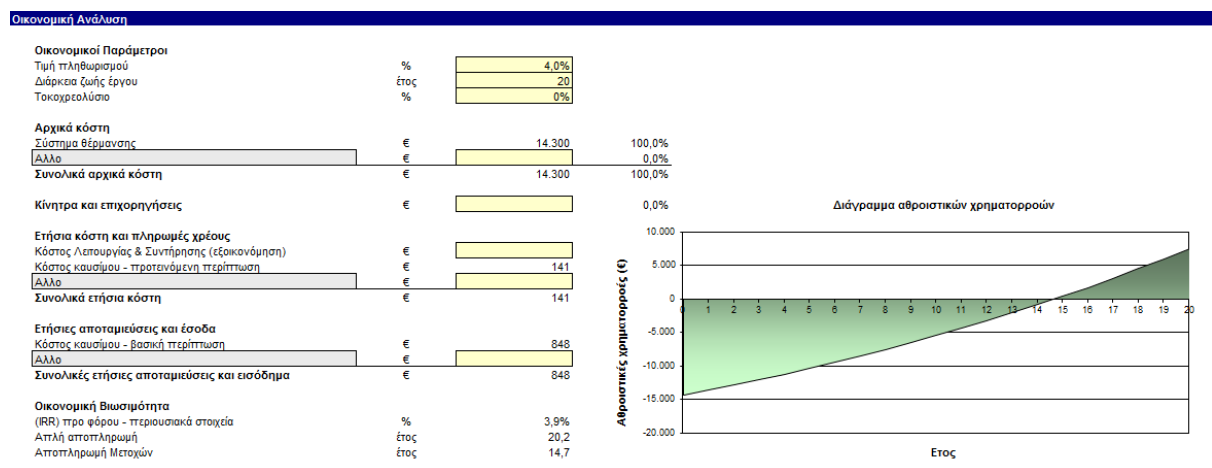
- Διακρίβωση έργου

Τύπος Καυσίμου	
Εποχιακή απόδοση	
Κατανάλωση καυσίμου - ετήσια	
Τιμή Καυσίμου	
Κόστος καυσίμου	

Βασική περίπτωση Προτεινόμενη

	Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη	
	Ηλεκτρική ενέργεια	Ντίζελ (#2 πετρέλαιο) - L	
	350%	85%	
MWh	5,7	144,3	L
€/kWh	0,148	0,830	€/L
€	848	120	

Εικόνα 22: Απόδοση συλλεκτών



Εικόνα 23: Οικονομική ανάλυση

Εφαρμογή στην Θεσσαλονίκη

	Μονάδα	Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση		
		Βιομηχανικά			
Τύπος φορτίου					
Ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού	L/ημ	3.690	2.760		
Θερμοκρασία	°C	60	60		
Ωρες λειτουργίας ανά βδομάδα	ημ	5	5		
<input checked="" type="checkbox"/> Ποσοστό χρήσης μήνα					
	Μήνας				
	Ιανουάριος	0%	0%		
	Φεβρουάριος	0%	0%		
	Μάρτιος	0%	0%		
	Απρίλιος	0%	0%		
	Μαΐος	100%	100%		
	Ιούνιος	100%	100%		
	Ιούλιος	100%	100%		
	Αύγουστος	100%	100%		
	Σεπτέμβριος	100%	100%		
	Οκτώβριος	0%	0%		
	Νοέμβριος	0%	0%		
	Δεκέμβριος	0%	0%		
Μέθοδος θερμοκρασίας παροχής		Τύπος			
Θερμοκρασία νερού - ελάχιστη	°C	11,9			
Θερμοκρασία νερού - μέγιστη	°C	19,0			
Ζήτηση θερμότητας	Μονάδα MWh	Βασική περίπτωση 20,0	Προτεινόμενη περίπτωση 15,0	Εξοικονομούμενη ενέργεια 25%	Αύξηση αρχικού κόστους € 14.300
Αξιολόγηση πηγών		Μονο-αξονικό			
Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου	*	45,0			
Κλίση	*	0,0			
Αζιμούθιο	*				

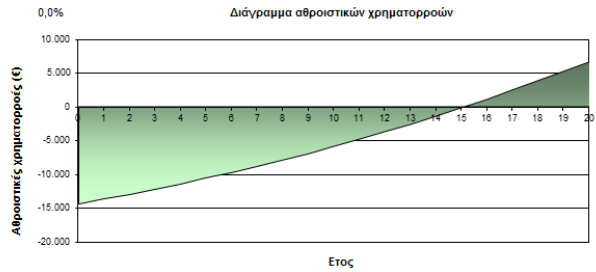
Εικόνα 24: Ενεργειακές ανάγκες Θεσσαλονίκη

Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα		Ναι		
Αποθήκευση			80	
Χωρητικότητα αποθήκευσης / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	L/m ²			
Χωρητικότητα αποθήκευσης	L		2.012,2	
Εναλλάκτης θερμότητας	ναι/όχι		Ναι	
Απόδοση εναλλάκτη θερμότητας	%		85,0%	
Λοιπές απώλειες	%		3,0%	
Ισχύς αντλίας / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	W/m ²		5,00	
Τιμή Ηλεκτρισμού	€/kWh		0,148	
Περίληψη				
Ηλεκτρική ζήτηση - αντλία	MWh		0,1	
Αποδιδόμενη θερμότητα	MWh		13,5	
Ηλιακός λόγος	%		90%	
Σύστημα θέρμανσης				
<input type="checkbox"/> Διακρίβωση έργου				
		Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη	
Τύπος Καυσίμου		Ηλεκτρική ενέργεια	Ντίζελ (#2 πετρέλαιο) - L	
Εποχιακή απόδοση		350%	85%	
Κατανάλωση καυσίμου - ετήσια	MWh	5,7	178,4	L
Τιμή Καυσίμου	€/kWh	0,148	0,830	€/L
Κόστος καυσίμου	€	849	148	

Εικόνα 25: Απόδοση συλλεκτών Θεσσαλονίκη

Οικονομική Ανάλυση

Οικονομικοί Παράμετροι			
Τιμή πληθωρισμού	%		4,0%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος		20
Τοκοχρεολύσιο	%		0%
Αρχικά κόστη			
Σύστημα θέρμανσης	€	14.300	100,0%
Άλλο	€		0,0%
Συνολικά αρχικά κόστη	€	14.300	100,0%
Κίνητρα και επιχορηγήσεις			
	€		0,0%
Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους			
Κόστος λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	€		
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση	€	170	
Άλλο	€		
Συνολικά ετήσια κόστη	€	170	
Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα			
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση	€	849	
Άλλο	€		
Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και εισόδημα	€	849	
Οικονομική Βιωσιμότητα			
(RR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%		3,5%
Απλή αποπληρωμή	έτος		21,1
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος		15,1



Εικόνα 26: Οικονομική ανάλυση Θεσσαλονίκη

ΕΙ Ανάλυση Εκπομπών

Βασική περίπτωση συστήματος ηλεκτρισμού (Σενάριο Αναφοράς)		Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ (εξαιρούνται Μ&Δ)	Απώλειες Μ&Δ	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ
Κράτος - περιφέρεια	Τύπος Καυσίμου	tCO2/MWh	%	tCO2/MWh
Ελλάδα	Ανθρακας	0,988	10,0%	1,098
Εκπομπές ΑΤΘ				
Βασική περίπτωση	tCO2	6,3		
Προτεινόμενη περίπτωση	tCO2	0,6		
Μικτή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	%	5,6		
Τέλη συναλλαγών πιστώσεων εκπομπών ΑΤΘ	€			
Καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tCO2	5,6	ισοδυναμεί με	13,1
				Μη καταναλωθέντα βαρέλια αργού πετρελαίου
Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ				
Τιμή πίστωσης μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO2			

Εικόνα 27: Ανάλυση εκπομπών Θεσσαλονίκη

Εφαρμογή στο Ηράκλειο Κρήτης

Μονάδα	Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση		
			Βιομηχανικά	
Τύπος φορτίου				
Ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού	3.890	2.920		
Θερμοκρασία	60	60		
Ωρες λειτουργίας ανά βδομάδα	5	5		
Ποσοστό χρήσης μήνα				
Μήνας				
Ιανουάριος	0%	0%		
Φεβρουάριος	0%	0%		
Μάρτιος	0%	0%		
Απρίλιος	0%	0%		
Μαΐος	100%	100%		
Ιούνιος	100%	100%		
Ιούλιος	100%	100%		
Αύγουστος	100%	100%		
Σεπτέμβριος	100%	100%		
Οκτώβριος	0%	0%		
Νοέμβριος	0%	0%		
Δεκέμβριος	0%	0%		
			Τύπος	
Μέθοδος θερμοκρασίας παροχής	°C	16,0		
Θερμοκρασία νερού - ελάχιστη	°C	20,9		
Θερμοκρασία νερού - μέγιστη				
Ζήτηση θερμότητας				
Μονάδα	Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση	Εξοικονομούμενη ενέργεια	Αύξηση αρχικού κόστους
MWh	20,0	15,0	25%	€ 14.300
Αξιολόγηση πηγών				
Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου	Μονο-αξονικό			
Κλίση	°	45,0		
Αζιμούθιο	°	0,0		

Εικόνα 28:Ενεργειακές ανάγκες Ηράκλειο Κρήτης

Ηλιακός θερμαντής νερού

Τύπος
Κατασκευαστής
Μοντέλο
Συνολική επιφάνεια ανά ηλιακό συλλέκτη
Επιφάνεια ανοίγματος ανά ηλιακό συλλέκτη
Συντελεστής Fr (τα)
Συντελεστής Fr UL
Συντελεστής θερμοκρασίας για Fr UL
Αριθμός συλλεκτών
Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη
Ισχύς
Λοιπές απώλειες

Υαλοκάλυπος		6
Soltec		
Ligna		
m ²	2,81	
m ²	2,10	
	0,65	
(W/m ²)/°C	4,08	
(W/m ²)/°C ²	0,000	
	12	
m ²	31,34	
kW	17,61	
%	0,0%	

Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα

Αποθήκευση
Χωρητικότητα αποθήκευσης / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη
Χωρητικότητα αποθήκευσης
Εναλλάκτης θερμότητας
Απόδοση εναλλάκτη θερμότητας
Λοιπές απώλειες
Ισχύς αντλίας / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη
Τιμή Ηλεκτρισμού

	Ναι
L/m ²	80
L	2.012,2
ναι/όχι	Ναι
%	85,0%
%	3,0%
W/m ²	5,00
€/kWh	0,148

Περίληψη

Ηλεκτρική ζήτηση - αντλία
Αποδιδόμενη θερμότητα
Ηλιακός λόγος

MWh	0,1
MWh	14,8
%	99%

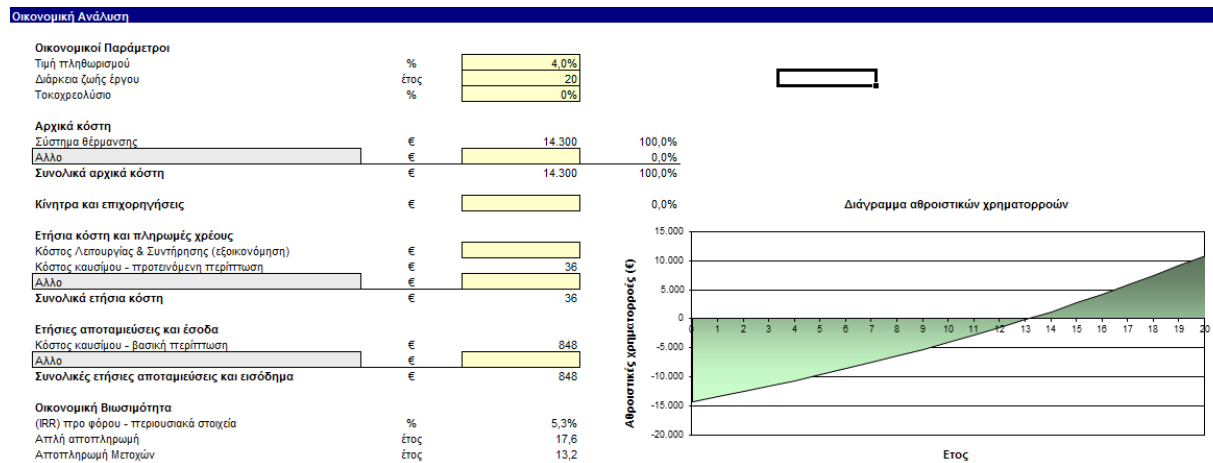
Σύστημα θέρμανσης

- Διακρίβωση έργου

Τύπος Κουσίμου
Εποχιακή απόδοση
Κατανάλωση καυσίμου - ετήσια
Τιμή Κουσίμου
Κόστος καυσίμου

	Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη	
	Ηλεκτρική ενέργεια	Ντίζελ (#2 πετρέλαιο) - L	
	350%	85%	
MWh	5,7	20,2	L
€/kWh	0,148	0,830	€/L
€	848	17	

Εικόνα 29: Απόδοση συλλεκτών Ηράκλειο Κρήτης



Εικόνα 30: Οικονομική ανάλυση Ηράκλειο Κρήτης

Βασική περίπτωση συστήματος ηλεκτρισμού (Σενάριο Αναφοράς)		Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ (εξαιρούνται Μ&Δ)	Απώλειες Μ&Δ %	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ
Κράτος - περιφέρεια	Τύπος Καυσίμου	tCO ₂ /MWh	%	tCO ₂ /MWh
Ελλάδα	Ανθρακας	0,988	10,0%	1,098
Εκπομπές ΑΤΘ				
Βασική περίπτωση	tCO ₂	6,3		
Προτεινόμενη περίπτωση	tCO ₂	0,2		
Μικτή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tCO ₂	6,1		
Τέλη συναλλαγών πιστώσεων εκπομπών ΑΤΘ	%			
Καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tCO ₂	6,1	ισοδυναμεί με	14,1
				Μη καταναλωθέντα βαρέλια οργού πετρελαίου
Εσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ				
Τιμή πιστώσης μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO ₂			

Εικόνα 31:Ανάλυση Εκπομπών Ηράκλειο Κρήτης

Εφαρμογή στην Λάρισα

Μονάδα	Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση					
Τύπος φορτίου	Βιομηχανικά						
Ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού	L/ημ	3.670	2.750				
Θερμοκρασία	°C	60	60				
Ώρες λειτουργίας ανά βδομάδα	ημ	5	5				
Ποσοστό χρήσης μήνα							
Μήνας							
Ιανουάριος	0%	0%					
Φεβρουάριος	0%	0%					
Μάρτιος	0%	0%					
Απρίλιος	0%	0%					
Μαΐος	100%	100%					
Ιούνιος	100%	100%					
Ιούλιος	100%	100%					
Αύγουστος	100%	100%					
Σεπτέμβριος	100%	100%					
Οκτώβριος	0%	0%					
Νοέμβριος	0%	0%					
Δεκέμβριος	0%	0%					
Μέθοδος θερμοκρασίας παραχής	Τύπος						
Θερμοκρασία νερού - ελάχιστη	°C	11,4					
Θερμοκρασία νερού - μέγιστη	°C	18,8					
Ζήτηση θερμότητας	ΜWh	20,0	15,0	Εξοικονομούμενη ενέργεια	25%	Αύξηση αρχικού κόστους	€ 14.300
Αξιολόγηση πηγών		Μονο-αξονικό					
Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου	.	45,0					
Κλίση	.	0,0					
Αζιμούθιο	.						

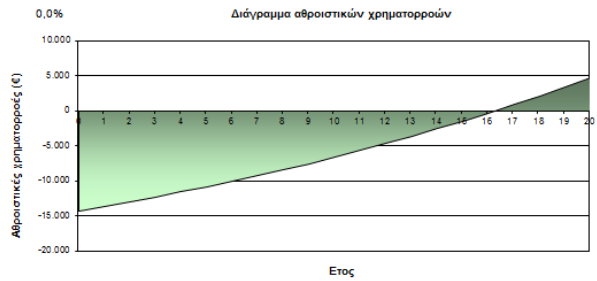
Εικόνα 32:Ενεργειακές ανάγκες Λάρισα

Ηλιακός θέρμαντής νερού	Υαλοκάλυπτος		
Τύπος	Soltec		
Κατασκευαστής	Ligna		
Μοντέλο	m ²	2,61	
Συνολική επιφάνεια ανά ηλιακό συλλέκτη	m ²	2,10	
Επιφάνεια ανοίγματος ανά ηλιακό συλλέκτη		0,65	
Συντελεστής Fr (τα)	(W/m ²)°C	4,08	
Συντελεστής Fr UL	(W/m ²)°C ²	0,000	
Συντελεστής θερμοκρασίας για Fr UL		12	8
Αριθμός συλλεκτών	m ²	31,34	
Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	kW	17,61	
Ισχύς	%	0,0%	
Λοιπές απώλειες			
Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα	Ναι		
Αποθήκευση	L/m ²	80	
Χωρητικότητα αποθήκευσης / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	L	2.012,2	
Χωρητικότητα αποθήκευσης	ναί/όχι	Ναι	
Εναλλάκτης θερμότητας	%	85,0%	
Απόδοση εναλλάκτη θερμότητας	%	3,0%	
Λοιπές απώλειες	W/m ²	5,00	
Ισχύς αντλίας / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	€/kWh	0,148	
Τιμή Ηλεκτρισμού			
Περίληψη	MWh	0,2	
Ηλεκτρική ζήτηση - αντλία	MWh	12,9	
Αποδιδόμενη θερμότητα	%	86%	
Ηλιακός λόγος			
Σύστημα θέρμανσης	Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη	
□ Διακρίβωση έργου	Ηλεκτρική ενέργεια	Νήζελ (#2 πετρέλαιο) - L	
Τύπος Καυσίμου	350%	85%	
Εποχιακή απόδοση	MWh	5,7	250,3
Κατανάλωση καυσίμου - ετήσια	€/kWh	0,148	0,830
Τιμή Καυσίμου	€	848	208
Κόστος καυσίμου			€/L

Εικόνα 33:Απόδοση συλλεκτών Λάρισα

Οικονομική Ανάλυση

Οικονομικοί Παράμετροι			
Τιμή πληθωρισμού	%		4,0%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος		20
Τοκοχρεολύσιο	%		0%
Αρχικά κόστη			
Σύστημα θέρμανσης	€	14.300	100,0%
Άλλο	€		0,0%
Συνολικά αρχικά κόστη	€	14.300	100,0%
Κίνητρα και επιχορηγήσεις			
	€		0,0%
Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους			
Κόστος Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	€		
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση	€	230	
Άλλο	€		
Συνολικά ετήσια κόστη	€	230	
Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα			
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση	€	848	
Άλλο	€		
Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και εισόδημα	€	848	
Οικονομική Βιωσιμότητα			
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%		2,6%
Απλή αποπληρωμή	έτος		23,1
Αποπληρωμή Μεσοχών	έτος		16,2



Εικόνα 34: Οικονομική Ανάλυση Λάρισα

Ανάλυση Εκπομπών

Βασική περίπτωση συστήματος ηλεκτρισμού (Σενάριο Αναφοράς) Κράτος - περιφέρεια	Τύπος Καυσίμου	Συντελεστής	Απώλειες	Συντελεστής
		εκπομπής ΑΤΘ (εξαιρούνται Μ&Δ) tCO2/MWh	Μ&Δ %	εκπομπής ΑΤΘ tCO2/MWh
Ελλάδα	Ανθρακας	0,988	10,0%	1,098

Εκπομπές ΑΤΘ				
Βασική περίπτωση	tCO2	6,3		
Προτεινόμενη περίπτωση	tCO2	0,8		
Μικτή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tCO2	5,4		
Τέλη συναλλαγών πτώσεων εκπομπών ΑΤΘ	%			
Καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tCO2	5,4	ισοδυναμεί με	12,6
				Μη καταναλωθέντα βαρέλια αργού πετρελαίου
Εσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ				
Τιμή πτώσης μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO2			

Εικόνα 35: Ανάλυση εκπομπών Λάρισα

Εφαρμογή στην Καλαμάτα

Μονάδα	Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση		
Τύπος φορτίου				
Ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού				
Θερμοκρασία				
Ωρες λειτουργίας ανά βδομάδα				
<input checked="" type="checkbox"/> Ποσοστό χρήσης μήνα				
Μήνας				
Ιανουάριος	0%	0%		
Φεβρουάριος	0%	0%		
Μάρτιος	0%	0%		
Απρίλιος	0%	0%		
Μάιος	100%	100%		
Ιούνιος	100%	100%		
Ιούλιος	100%	100%		
Αύγουστος	100%	100%		
Σεπτέμβριος	100%	100%		
Οκτώβριος	0%	0%		
Νοέμβριος	0%	0%		
Δεκέμβριος	0%	0%		
Μέθοδος θερμοκρασίας παροχής				
Θερμοκρασία νερού - ελάχιστη				
°C	14,3			
Θερμοκρασία νερού - μέγιστη				
°C	20,0			
Ζήτηση θερμότητας				
Μονάδα	Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση	Εξοικονομούμενη ενέργεια	Αύξηση αρχικού κόστους
MWh	20,0	15,0	25%	€ 14.300
Αξιολόγηση πηγών				
Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου				
Κλίση	·	Μονο-αξονικό		
Αζιμούθιο	·	45,0		
		0,0		

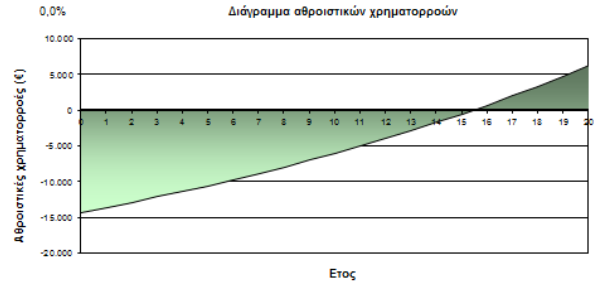
Εικόνα 36: Ενεργειακές ανάγκες Καλαμάτα

Ηλιακός θερμαντής νερού				
Τύπος				
Κατασκευαστής				
Μοντέλο				
Συνολική επιφάνεια ανά ηλιακό συλλέκτη				
m ²	2,81			
Επιφάνεια ανοίγματος ανά ηλιακό συλλέκτη				
m ²	2,10			
Συντελεστής Fr (τ α)				
	0,85			
Συντελεστής Fr UL				
(W/m ²)/°C	4,08			
Συντελεστής θερμοκρασίας για Fr UL				
(W/m ²)/°C ²	0,000			
Αριθμός συλλεκτών				
	12	8		
Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη				
m ²	31,34			
Ισχύς				
kW	17,81			
Λοιπές απώλειες				
%	0,0%			
Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα				
Αποθήκευση				
	Ναι			
Χωρητικότητα αποθήκευσης / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη				
L/m ²	80			
Χωρητικότητα αποθήκευσης				
L	2.012,2			
Εναλλάκτης θερμότητας				
ναι/όχι	Ναι			
Απόδοση εναλλάκτη θερμότητας				
%	85,0%			
Λοιπές απώλειες				
%	3,0%			
Ισχύς αντλίας / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη				
W/m ²	5,00			
Τιμή Ηλεκτρισμού				
€/kWh	0,148			
Περίληψη				
Ηλεκτρική ζήτηση - αντλία				
MWh	0,1			
Αποδιδόμενη θερμότητα				
MWh	13,2			
Ηλιακός λόγος				
%	88%			
<input type="checkbox"/> Σύστημα θέρμανσης				
<input type="checkbox"/> Διακρίβωση έργου				
Τύπος Καυσίμου				
Εποχιακή απόδοση				
Κατανάλωση καυσίμου - ετήσια				
MWh	5,7	201,1		
Τιμή Καυσίμου				
€/kWh	0,148	0,830		
Κόστος καυσίμου				
€	849	167		

Εικόνα 37: Απόδοση συλλεκτών Καλαμάτα

Οικονομική Ανάλυση

Οικονομικοί Παράμετροι			
Τιμή πληθωρισμού	%		4,0%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος		20
Τοκοχρεολύσιο	%		0%
Αρχικά κόστη			
Σύστημα θέρμανσης	€		14.300
Άλλο	€		0,0%
Συνολικά αρχικά κόστη	€		14.300
Κίνητρα και επιχορηγήσεις			
	€		0,0%
Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους			
Κόστος Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	€		
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση	€		189
Άλλο	€		
Συνολικά ετήσια κόστη	€		189
Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα			
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση	€		849
Άλλο	€		
Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και εισόδημα	€		849
Οικονομική Βιωσιμότητα			
(IRR) προ φόρου - περιουσιακά στοιχεία	%		3,2%
Απλή αποπληρωμή	έτος		21,8
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος		15,4



Εικόνα 38: Οικονομική ανάλυση Καλαμάτα

Ανάλυση Εκπομπών

Βασική περίπτωση συστήματος ηλεκτρισμού (Σενάριο Αναφοράς)		Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ (εξαιρούνται Μ&Δ)	Απώλειες Μ&Δ	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ
Κράτος - περιφέρεια	Τύπος Καυσίμου	tCO2/MWh	%	tCO2/MWh
Ελλάδα	Ανθρακας	0,988	10,0%	1,098
Εκπομπές ΑΤΘ				
Βασική περίπτωση	tCO2	8,3		
Προτεινόμενη περίπτωση	tCO2	0,7		
Μικτή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tCO2	5,8		
Τέλη συναλλαγών πιστώσεων εκπομπών ΑΤΘ	%			
Καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tCO2	5,8	ισοδυναμεί με	13,0
				Μη καταναλωθέντα βαρέλα αργού πετρελαίου
Έσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ				
Τιμή πίστωσης μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO2			

Εικόνα 39: Ανάλυση εκπομπών Καλαμάτα

Εφαρμογή στην Ξάνθη

	Μονάδα	Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση		
Τύπος φορτίου		Βιομηχανικά			
Ημερήσια κατανάλωση ζεστού νερού	L/ημ	3.460	2.590		
Θερμοκρασία	°C	60	60		
Ώρες λειτουργίας ανά βδομάδα	ημ	5	5		
<input checked="" type="checkbox"/> Ποσοστό χρήσης μήνα	Μήνας				
	Ιανουάριος	0%	0%		
	Φεβρουάριος	0%	0%		
	Μάρτιος	0%	0%		
	Απρίλιος	0%	0%		
	Μαΐος	100%	100%		
	Ιούνιος	100%	100%		
	Ιούλιος	100%	100%		
	Αύγουστος	100%	100%		
	Σεπτέμβριος	100%	100%		
	Οκτώβριος	0%	0%		
	Νοέμβριος	0%	0%		
	Δεκέμβριος	0%	0%		
Μέθοδος θερμοκρασίας παροχής	Τύπος				
Θερμοκρασία νερού - ελάχιστη	°C	8,0			
Θερμοκρασία νερού - μέγιστη	°C	16,1			
Ζήτηση θερμότητας	Μονάδα	Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση	Εξοικονομούμενη ενέργεια	Αύξηση αρχικού κόστους
	MWh	20,0	16,0	25%	€ 14.300
Αξιολόγηση πηγών		Μονο-αξονικό			
Λειτουργία παρακολούθησης του ήλιου		45,0			
Κλίση		0,0			
Αζιμούθιο					

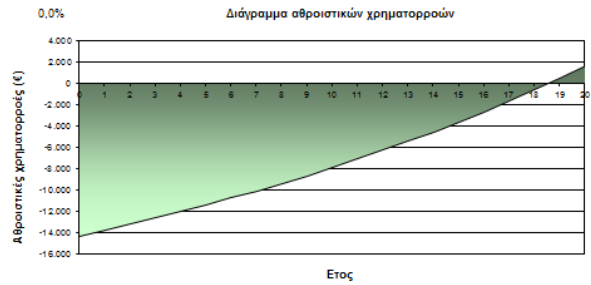
Εικόνα 40: Ενεργειακές ανάγκες Ξάνθη

	Μονάδα	Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη περίπτωση	
Ηλιακός θερμαντής νερού		Υαλοκάλυπτος		
Τύπος		Soltec		
Κατασκευαστής		Ligna		
Μοντέλο				
Συνολική επιφάνεια ανά ηλιακό συλλέκτη	m ²	2,81		
Επιφάνεια ανοίγματος ανά ηλιακό συλλέκτη	m ²	2,10		
Συντελεστής Fr (τα)		0,85		
Συντελεστής Fr UL	(W/m ²)/°C	4,08		
Συντελεστής θερμοκρασίας για Fr UL	(W/m ²)/°C ²	0,000		
Αριθμός συλλεκτών		12	9	
Επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	m ²	31,34		
Ισχύς	kW	17,61		
Λοιπές απώλειες	%	0,0%		
Ισοζύγιο συστήματος & διάφορα		Ναι		
Αποθήκευση		Ναι		
Χωρητικότητα αποθήκευσης / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	L/m ²	80		
Χωρητικότητα αποθήκευσης	L	2.012,2		
Εναλλάκτης θερμότητας	ναι/όχι	Ναι		
Απόδοση εναλλάκτη θερμότητας	%	85,0%		
Λοιπές απώλειες	%	3,0%		
Ισχύς αντλίας / επιφάνεια ηλιακού συλλέκτη	W/m ²	5,00		
Τιμή Ηλεκτρισμού	€/kWh	0,148		
Περίληψη				
Ηλεκτρική ζήτηση - αντλία	MWh	0,2		
Αποδιδόμενη θερμότητα	MWh	11,8		
Ηλιακός λόγος	%	78%		
Σύστημα θέρμανσης		Βασική περίπτωση	Προτεινόμενη	
<input checked="" type="checkbox"/> Διακρίβωση έργου		Ηλεκτρική ενέργεια	Ντίζελ (#2 πετρέλαιο) - L	
Τύπος καυσίμου		350%	85%	
Εποχιακή απόδοση				
Κατανάλωση καυσίμου - ετήσια	MWh	5,7	378,2	L
Τιμή καυσίμου	€/kWh	0,148	0,830	€/L
Κόστος καυσίμου	€	849	314	

Εικόνα 41: Απόδοση συλλεκτών Ξάνθη

Οικονομική Ανάλυση

Οικονομικοί Παράμετροι			
Τιμή πληθωρισμού	%		4,0%
Διάρκεια ζωής έργου	έτος		20
Τοκοχρεολύσιο	%		0%
Αρχικά κόστη			
Σύστημα θέρμανσης	€	14.300	100,0%
Άλλο	€		0,0%
Συνολικά αρχικά κόστη	€	14.300	100,0%
Κίνητρα και επιχορηγήσεις			
	€		0,0%
Ετήσια κόστη και πληρωμές χρέους			
Κόστος Λειτουργίας & Συντήρησης (εξοικονόμηση)	€		
Κόστος καυσίμου - προτεινόμενη περίπτωση	€	337	
Άλλο	€		
Συνολικά ετήσια κόστη	€	337	
Ετήσιες αποταμιεύσεις και έσοδα			
Κόστος καυσίμου - βασική περίπτωση	€	849	
Άλλο	€		
Συνολικές ετήσιες αποταμιεύσεις και εισόδημα	€	849	
Οικονομική Βιωσιμότητα			
(IRR) προ φόρων - περιουσιακά στοιχεία	%		0,9%
Απλή αποπληρωμή	έτος		27,9
Αποπληρωμή Μετοχών	έτος		18,8



Εικόνα 42: Οικονομική ανάλυση Ξάνθη

Ανάλυση Εκπομπών

Βασική περίπτωση συστήματος ηλεκτρισμού (Σενάριο Αναφοράς)	Κράτος - περιφέρεια	Τύπος Καυσίμου	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ (εξαιρούνται Μ&Δ) tCO ₂ /MWh	Απώλειες Μ&Δ %	Συντελεστής εκπομπής ΑΤΘ tCO ₂ /MWh
Ελλάδα		Ανθρακας	0,588	10,0%	1,098
Εκπομπές ΑΤΘ					
Βασική περίπτωση	tCO ₂		8,3		
Προτεινόμενη περίπτωση	tCO ₂		1,2		
Μικτή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tCO ₂		5,1		
Τέλη συναλλαγών πιστώσεων εκπομπών ΑΤΘ	%				
Καθαρή ετήσια μείωση εκπομπών ΑΤΘ	tCO ₂		5,1	ισοδυναμεί με	11,9
					Μη καταναλωθέντα βαρέλια αργού πετρελαίου
Εσοδα από τη μείωση εκπομπών ΑΤΘ					
Τιμή πίστωσης μείωσης εκπομπών ΑΤΘ	€/tCO ₂				

Εικόνα 43: Ανάλυση εκπομπών Ξάνθη