

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ Τ.Ε.Ι. ΣΕΡΡΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΗΛΙΑΚΟΥ ΣΥΛΕΚΤΗ

ΦΟΙΤΗΤΕΣ : ΝΙΚΗΤΑΣ ΠΕΤΡΟΣ
ΠΕΤΡΙΔΗΣ ΔΗΜΟΣΘΕΝΗΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΜΟΣΧΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	σελ 3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
Ηλιακοί συλλέκτες	σελ 4
1.1 Γενικά	σελ 4
1.2 Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης	σελ 4-5
1.2.1 Συλλεκτήρια επιφάνεια	σελ 5-6
1.2.2 Διαφανές κάλυμμα συλλέκτη	σελ 6-10
1.2.3 Απώλειες συλλέκτη	σελ 11-13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
Υπολογισμοί θερμικής απόδοσης επίπεδων ηλιακών συλλεκτών	σελ 13-19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
Υπολογισμοί του συντελεστή διαπερατότητας των διαφόρων υλικών	
3.1 Υπολογισμοί για ένα διαφανές κάλυμμα	σελ 20-26
3.2 Υπολογισμοί για δύο διαφανή καλύμματα	σελ 27-30
3.3 Υπολογισμοί για τρία διαφανή καλύμματα	σελ 31-35
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
Παρουσίαση σχεδίων	σελ 36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	
Συμπεράσματα από τους υπολογισμούς απωλειών επίπεδου ηλιακού συλλέκτη	σελ 36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	
Γενικότερες ιδέες για την αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας	σελ 37-47

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύει σε θεωρητικό υπόβαθρο, τα στοιχεία εκείνα τα οποία βελτιώνουν το βαθμό απόδοσης ενός ηλιακού συλλέκτη και σαν ιδέα στηρίχτηκε σε μια παλιότερη πτυχιακή εργασία των συναδέρφων Γιλαντζή Κωνσταντίνου και Καρακίτσου Παναγιώτη, σκοπός της οποίας ήταν η μέτρηση του βαθμού απόδοσης ενός ηλιακού συλλέκτη.

Η παρούσα εργασία πιστεύουμε ότι θα αποτελέσει έναν αξιόμαχο σύμμαχο σε όποιονδήποτε επιθυμήσει να κατασκευάσει έναν σύγχρονο ηλιακό συλλέκτη υψηλής απόδοσης και κατά συνέπεια γρήγορης απόσβεσης.

Κεφ. 1. Ηλιακοί συλλέκτες

1.1 Γενικά

Η τεχνολογία μετατροπής της ηλιακής ενέργειας σε θερμότητα είναι η πιο γνωστή και η περισσότερο αναπτυγμένη τεχνολογία εκμετάλλευσης της ηλιακής ενέργειας. Μεγάλες ποσότητες ζεστού νερού ,σε χαμηλές θερμοκρασίες ($<100^{\circ}\text{C}$) , απαιτούνται

τόσο για οικιακή όσο και βιομηχανική χρήση , γι' αυτό και η αντίστοιχη βιομηχανία κατασκευής ηλιακών συλλεκτών νερού ευδοκίμησε σε αρκετές χώρες.

Οι βασικές αρχές ανάλυσης οι οποίες θα εφαρμοστούν στους ηλιακούς συλλέκτες νερού μπορούν να εφαρμοστούν και στα υπόλοιπα ηλιακά συστήματα που εκμεταλλεύονται την ηλιακή ενέργεια υπό μορφή θερμότητας .Τέτοια συστήματα είναι

οι ηλιακοί συλλέκτες αέρα , οι ηλιακοί αποστακτήρες για την αφαλάτωση του νερού , οι ηλιακοί αποξηραντήρες και οι ηλιακοί και οι ηλιακοί πύργοι ισχύος.

Το κύριο τμήμα των ηλιακών συστημάτων θέρμανσης είναι ο συλλέκτης που απορροφάται η ηλιακή ακτινοβολία υπό μορφή θερμότητας και κατόπιν μεταφέρεται στο χρησιμοποιούμενο ή εργαζόμενο ρευστό . Υπάρχουν δύο είδη ηλιακών συλλεκτών : α) οι επίπεδοι ηλιακοί συλλέκτες και β) οι συγκεντρωτικοί . Στους επίπεδους ηλιακούς συλλέκτες , η συλλεκτήρια επιφάνεια είναι κ η επιφάνια πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας. Στους συγκεντρωτικούς ηλιακούς συλλέκτες ,χρησιμοποιούνται κοίλες επιφάνειες πρόσπτωσης και ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας προς μια μικρότερη συλλεκτήρια επιφάνεια.

1.2 Επίπεδος ηλιακός συλλέκτης

Ο επίπεδος ηλιακός συλλέκτης έχει γνωρίσει τη μεγαλύτερη εμπορική διάδοση σε εφαρμογές θέρμανσης νερού . Οι βασικοί λόγοι που τον έχουν επιβάλει είναι οι παρακάτω:

- α) ο σχετικά εύκολος τρόπος κατασκευής του
- β) η δυνατότητά του να εκμεταλλεύεται τόσο την άμεση όσο και την διάχυτη ηλιακή ακτινοβολία και
- γ) η σχετικά χαμηλή τιμή διάθεσής του

Τα βασικά μέρη του Ε.Η.Σ. διακρίνονται στα εξής:

1. η συλλεκτήρια επιφάνεια , που βρίσκεται σε επαφή με τα κανάλια του υγρού μέσου μεταφοράς της θερμότητας,
2. ένα ή δύο διαφανή στην ηλιακή ακτινοβολία καλύμματα , συνήθως από γυαλί ή ειδικό πλαστικό,
3. το μονωτικό υλικό που περιβάλλει τα πλευρικά τοιχώματα και ολόκληρη την πίσω όψη του συλλέκτη.

Η συλλεκτήρια επιφάνεια δεσμεύει τις ηλιακές ακτίνες και βοηθά στη μετάδοση της θερμότητας, που συγκεντρώνει στο μέσο μεταφοράς . τα διαφανή καλύμματα μειώνουν τις θερμικές απώλειες με ακτινοβολία και συναγωγή, από τη συλλεκτήρια επιφάνεια προς το περιβάλλον . Όταν χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερα διαφανή καλύμματα οι παραπάνω απώλειες μπορούν να μειωθούν , αλλά ταυτόχρονα μειώνεται και το ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας που φθάνει στη συλλεκτήρια επιφάνεια . Γενικά σε χαμηλές και μέσες θερμοκρασίες ο συλλέκτης με ένα διαφανές κάλυμμα μπορεί να έχει καλύτερη απόδοση απ' ότι με δύο διαφανή καλύμματα. Η μόνωση στα πλάγια και πίσω , ελαττώνει τις θερμικές απώλειες με αγωγιμότητα.

Οι Ε.Η.Σ. συνήθως τοποθετούνται σε μια σταθερή θέση και δεν έχουν μηχανισμό παρακολούθησης του ήλιου . Οι συλλέκτες στο βόριο ημισφαίριο θα πρέπει να έχουν νότιο προσανατολισμό. Για εφαρμογή και εκμετάλλευση του συλλέκτη καθ' όλη τη διάρκεια του έτους , η βέλτιστη γωνία κλίσης των συλλεκτών είναι ίση με το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας. Για χρήση μόνο το χειμώνα η γωνία θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη κατά 10° με 15° από το γεωγραφικό πλάτος της τοποθεσίας . Αξίζει να σημειωθεί ότι η βέλτιστη κλίση και ο βέλτιστος προσανατολισμός ενός Ε.Η.Σ. δεν είναι αποφασιστικές παράμετροι στο σχεδιασμό του Η.Σ., αφού αποκλίσεις της τάξης του $\pm 10^{\circ}$ από τις βέλτιστες τιμές επιφέρει μια μικρή μείωση στη συνολική απόδοση του συλλέκτη.

1.2.1 Συλλεκτήρια επιφάνεια

Η συλλεκτήρια επιφάνεια είναι το πιο σημαντικό τμήμα του Η.Σ . Συνήθως είναι μεταλλική αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια ποικιλία υλικών όπως πλαστικό και ελαστικό . Ο κύριος σκοπός της συλλεκτήριας επιφάνειας είναι η όσο το δυνατό μεγαλύτερη απορρόφηση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας και μετάδοση της θερμότητάς της στο εργαζόμενο μέσο μεταφοράς με τη μικρότερη θερμική αντίσταση.

Μελετήθηκαν και εφαρμόστηκαν αρκετά τρόποι για τη δημιουργία των καναλιών του υγρού μεταφοράς. Ένας τρόπος είναι τα μεταλλικά φύλλα να διαμορφώνονται κατάλληλα σε πρέσσα και να συγκολλούνται μεταξύ τους, ώστε να σχηματίζουν τα κανάλια του υγρού μέσου μεταφοράς, τετραγωνικής ή ημικυκλικής διατομής . Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι το υγρό μεταφοράς κυκλοφορεί με πίεση μέσα στους αγωγούς και το μειονέκτημα ότι απαιτείται πολύ καλή επαφή μεταξύ αγωγών και επιφάνειας, ώστε να μην παρουσιάζεται αυξημένη αντίσταση από τη θερμική μετάβαση με αποτέλεσμα να παραμένει μεγάλη η θερμοκρασία της συλλεκτήριας επιφάνειας, και να χειροτερεύει ο βαθμός απόδοσης του συλλέκτη.

Τα συνηθισμένα υλικά για την κατασκευή της συλλεκτήριας επιφάνειας είναι ο χαλκός , το αλουμίνιο και ο κοινός ή ανοξείδωτος χάλυβας. Το αλουμίνιο, με σχετικά ικανοποιητικό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, παρουσιάζει ένα είδος διάβρωσης όταν δεν χρησιμοποιείται υγρό μεταφοράς με αναστολές διάβρωσης. Το μικρό βάρος κατασκευής αποτελεί αναμφισβήτητο πλεονέκτημα για τους συλλέκτες που θα τοποθετηθούν στις οροφές οικοδομών.

Ο κοινός χάλυβας είναι φθηνότερος από τα παραπάνω υλικά , αλλά παρουσιάζει συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας τέσσερις φορές μικρότερο του αλουμινίου και επτά φορές μικρότερο του χαλκού. Ακόμη μπορεί να εμφανίσει εκτεταμένες

διαβρώσεις , αν το νερό δεν είναι αποσταγμένο ή απαλλαγμένο ιόντων χαλκού και τα υδατικά διαλύματα έχουν $\text{PH}<5$ ή $\text{PH}>12$.

Για να μεγιστοποιηθεί η απορροφούμενη ηλιακή ενέργεια, επιχρίεται το πάνω μέρος της συλλεκτήριας επιφάνειας με μαύρο χρώμα. Το μαύρο χρώμα ενώ εκπληρεί θαυμάσια το ρόλο του στη φάση της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας, παρουσιάζει υψηλό συντελεστή εκπομπής, πρακτικά ίσο με εκείνο της απορρόφησης, στις θερμοκρασίες που πρακτικά αναπτύσσονται πάνω στη συλλεκτήρια επιφάνεια με αποτέλεσμα να μεταδίδεται αυξημένη θερμότητα, με ακτινοβολία, προς το περιβάλλον. Για την ελάττωση αυτής της απώλειας, που είναι σημαντική στον Η.Σ. εφαρμόζεται πάνω στη μεταλλική συλλεκτήρια επιφάνεια, με ηλεκτρολυτική επικάλυψη, μια πολύ λεπτή επιλεκτική στρώση, που παρουσιάζει διαφορετικό συντελεστή εκπομπής στο υπέρυθρο και μάλιστα πολύ μικρότερο από το συντελεστή απορρόφησης στο μήκος κύματος (πρακτικά 0.4 έως 2.5 μm) της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας. Έτσι δημιουργείται η επιλεκτική επιφάνεια με καλύτερα αποτελέσματα στο βαθμό απόδοσης του Η.Σ.

Στον πίνακα παρατίθενται οι τιμές των συντελεστών απορρόφησης και εκπομπής των πιο γνωστών επιλεκτικών επιφανειών.

Πίνακας 1. Συντελεστές απορρόφησης και συντελεστές εκπομπής διαφόρων υλικών

Υλικό	Συντελεστής απορρόφησης	Συντελεστής εκπομπής
Μαυρο νικελίου σε επινικελομένο χάλυβα	0.95	0.07
Μαύρο χρωμίου σε επινικελομένο χάλυβα	0.95	0.09
Μαύρο χρωμίου σε Γαλβανισμένο χάλυβα	0.95	0.16
Μαύρο χρωμίου σε χαλκό	0.95	0.14
Μαύρο χαλκού σε χαλκό	0.88	0.15
CuO σε νικέλιο	0.81	0.17
CuO σε αλουμίνιο	0.93	0.11
PBS κρύσταλλα σε αλουμίνιο	0.89	0.20

1.2.2 Διαφανές κάλυμμα συλλέκτη

1.2.2.1 Γενικά

Το διαφανές κάλυμμα του συλλέκτη είναι απαραίτητο ώστε να μονώσει τη συλλεκτήρια επιφάνεια από το περιβάλλον. Ταυτόχρονα όμως εμποδίζει ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας να φθάσει στη συλλεκτήρια επιφάνεια, προκαλώντας ανάκλασή της και απορροφώντας το ίδιο ένα μέρος της ακτινοβολίας. Τα φαινόμενα είναι πιο έντονα όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει πλάγια προς το κάλυμμα. Αυτή λοιπόν η ανάκλαση και η απορρόφηση εξετάζονται στην παρούσα παράγραφο.

Όταν η ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στο διαφανές κάλυμμα με μια γωνία θ_1 , ένα μέρος της ανακλάται και ένα άλλο μέρος της διαθλάται με μια γωνία θ_2 που καλείται και γωνία διάθλασης.

Οι γωνίες θ_1 και θ_2 σχετίζονται με το νόμο του Snell :

$$n = \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} \quad (1)$$

όπου n είναι ο σχετικός συντελεστής διάθλασης.

Ο συντελεστής διάθλασης είναι καθοριστικός παράγοντας για τις απώλειες από ανάκλαση. Τυπικές τιμές του συντελεστή διάθλασης για διάφορα υλικά στο ορατά φάσμα της ηλιακής ακτινοβολίας δίνονται στον πίνακα που ακολουθεί

Πίνακας 2. Συντελεστής διάθλασης διαφόρων υλικών

Υλικό	Συντελεστής διάθλασης
αέρας	1.000
γυαλί	1.526
Mylar	1.64
Teflon	1.34
Plexiglas	1.49
Tedlar	1.45
νερό	1.33

Για να εξεταστούν οι ανακλαστικές ιδιότητες του φωτός στο διαφανές κάλυμμα θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το φαινόμενο της πόλωσης του φωτός . Εξετάζονται οι ανακλαστικές ιδιότητες του φωτός σε μια επιφάνεια, ως προς δύο συνιστώσες που αντιστοιχούν σε διεύθυνση κάθετη και παράλληλη προς το επίπεδο που σχηματίζεται από το προσπίπτον και ανακλώμενο φως. Η κάθετη και η παράλληλη συνιστώσα είναι:

$$\rho_{\perp} = \frac{\sin^2(\theta_1 - \theta_2)}{\sin^2(\theta_1 + \theta_2)} \quad (2)$$

$$\rho_{\parallel} = \frac{\tan^2(\theta_1 - \theta_2)}{\tan^2(\theta_1 + \theta_2)} \quad (3) \quad =$$

Ένα μέρος του διαθλώμενου φωτός στο διαφανές κάλυμμα απορροφάται. Η απορρόφηση είναι ανάλογη της οπτικής πυκνότητας του μέσου (δηλαδή εξαρτάται από το υλικό) και τον δρόμο που διανύει στο διαφανές κάλυμμα. Εάν G είναι η ένταση του διαθλώμενου φωτός, ισχύει η διαφορική εξίσωση : $-dg = k G dl$

όπου k είναι ο συντελεστής απόσβεσης και εξαρτάται από το υλικό. Τυπικές τιμές του k δίνονται παρακάτω

Πίνακας 3. Συντελεστής απόσβεσης διαφόρων υλικών

Υλικό	Συντελεστής απόσβεσης (cm^{-1})
Γυαλί	
Καθαρό γυαλί ($<0.01\% \text{Fe}_2\text{O}_3$)	0.04
Κοινό γυαλί παραθύρων	0.3
Θερμοαπορροφητικό γυαλί	1.3-2.7
Πλαστικά	
Πολυαιθυλένιο	1.65
Mylar	2.05
Teflon	0.59
Tedlar	1.4

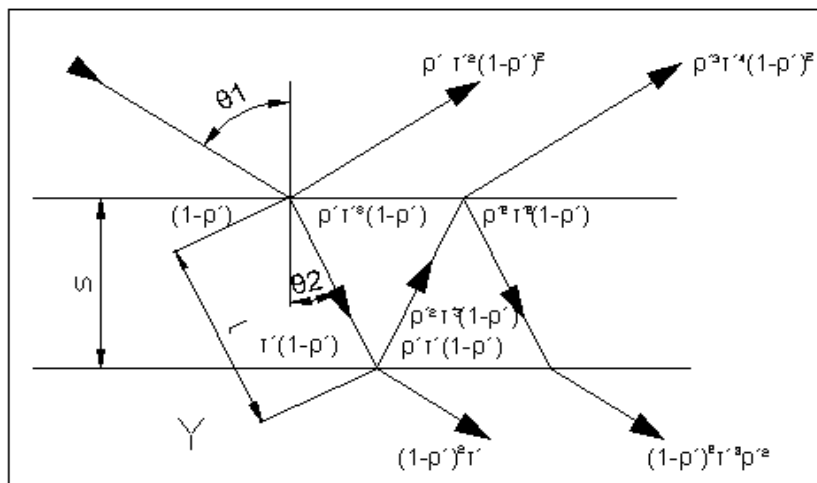
Από τη διαφορική εξίσωση προκύπτει ο συντελεστής διαπερατότητας τ' :

$$\tau' = \frac{G_T}{G_0} = e^{-kl} \quad (4)$$

όπου τ' είναι το ποσοστό του φωτός που διέρχεται το διαφανές κάλυμμα και l είναι το μήκος της διαδρομής της φωτεινής ακτίνας μέσα στο διαφανές κάλυμμα

1.2.2.2 Ανάκλαση και απορρόφηση σε ένα διαφανές κάλυμμα

Στις παραπάνω σχέσεις τόσο οι συντελεστές ανάκλασης όσο και ο συντελεστής διαπερατότητας αναφέρονται σε απλές διαχωριστικές επιφάνειες, απλά πειράματα και απλές ανακλάσεις. Στην πραγματικότητα το διαφανές κάλυμμα έχει δύο διαχωριστικές επιφάνειες και συνεπώς συμβαίνουν πολλές ανακλάσεις του φωτός. Το φαινόμενο μπορούμε να το παρακολουθήσουμε σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα και την ανάλυση που ακολουθεί.



Σχήμα 1.1 Μηχανισμός ανακλάσεων και μεταβάσεων της ηλιακής ακτινοβολίας μέσα στο διαφανές κάλυμμα

Έστω ότι η ηλιακή ακτινοβολία που πέφτει πάνω στο διαφανές κάλυμμα ισούται με 1 όπως φαίνεται στο σχήμα, και ότι πέφτει με μία γωνία θ_1 . ρ' είναι το ποσοστό της ακτινοβολίας που αντανακλάται προς το περιβάλλον και $(1-\rho')$ είναι το ποσοστό της ακτινοβολίας που διαθλάται και εισέρχεται στο διαφανές κάλυμμα. Κάθε υλικό που χρησιμοποιείται ως διαφανές κάλυμμα έχει τον δικό του συντελεστή διάθλασης. Ανάλογος πίνακας υπάρχει σε προηγούμενες σελίδες. Το $\tau'(1-\rho')$ είναι το ποσό της διαθλώμενης ακτινοβολίας λίγο πριν η ηλιακή ακτινοβολία διαπεράσει το διαφανές κάλυμμα και επηρεάζεται από το πάχος του υλικού s , καθώς επίσης και από το συντελεστή απόσβεσης κ του υλικού (βλέπε πίνακα παραπάνω). Ένα ποσοστό ηλιακής ακτινοβολίας δηλαδή, απορροφάται από το υλικό και μετατρέπεται σε θερμότητα. (Το γεγονός αυτό επηρεάζει κάπως θετικά την όλη κατάσταση διότι κατ' αυτό τον τρόπο το διαφανές κάλυμμα ακτινοβολεί λίγη έστω θερμότητα στη συλλεκτήρια επιφάνεια.) Όταν η ηλιακή ακτινοβολία φτάσει στην άλλη άκρη του διαφανούς καλύμματος έχουμε πάλι ανάκλαση που ισούται με $\rho' \tau'(1-\rho')$. Τελικά η ακτινοβολία που διαπερνά το διαφανές κάλυμμα μετά από αυτή την πρώτη διάθλαση ισούται με $\tau'(1-\rho')^2$.

Υπάρχουν όμως, όπως είπαμε, πολλές ανακλάσεις στις δύο επιφάνειες του διαφανούς καλύμματος, (βλέπε και το παραπάνω σχήμα). Αποδεικνύεται ότι το μέρος της ακτινοβολίας που συνολικά βγαίνει από την κάτω πλευρά του διαφανούς καλύμματος (μετά την πρώτη διάθλαση και όλες τις επόμενες ανακλάσεις) είναι

$$\tau = \tau(\rho', \tau') = \frac{\tau'(1-\rho')^2}{1 - \rho'^2 \tau'^2} \quad (5)$$

όπου: τ' είναι το αποτέλεσμα του τύπου (4), δηλ. η διαπερατότητα για μία μόνο διαδρομή μέσα στο διαφανές κάλυμμα

ρ' είναι το αποτέλεσμα του τύπου (2) ή (3), δηλ. η ανακλαστικότητα, σε μία μόνο ανάκλαση, της κάθετης ή παράλληλης συνιστώσας της πόλωσης

Το αποτέλεσμα του τύπου (5) πρέπει να υπολογισθεί για κάθε συνιστώσα της πόλωσης ξεχωριστά, πράγμα που το πετυχαίνουμε θέτοντας στο ρ' τη μία φορά την ρ_{\perp} και την άλλη την ρ_{\parallel} (βλ. τύπους (2) και (3)).

Αποδεικνύεται επίσης ότι το μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που συνολικά αντανακλάται προς την επάνω πλευρά του διαφανούς καλύμματος είναι

$$\rho = \rho(\rho', \tau') = \rho' + \frac{\rho' \tau'^2 (1 - \rho')^2}{1 - \rho'^2 \tau'^2} \quad (6)$$

όπου τα τ' , ρ' έχουν τις ίδιες σημασίες όπως και στον τύπο (5). Πρέπει και σ' αυτό τον τύπο να υπολογισθεί το αποτέλεσμα για κάθε συνιστώσα της πόλωσης ξεχωριστά (βλ. επεξήγηση στον τύπο (5)).

Ο συντελεστής απορροφητικότητας δίδεται από τη σχέση :

$$\alpha = 1 - \rho - \tau \quad (7)$$

Για την ηλιακή ακτινοβολία η οποία δεν έχει συγκεκριμένη πόλωση, οι συνολικοί συντελεστές ανάκλασης και διαπερατότητας βρίσκονται παίρνοντας τις μέσες τιμές των παραπάνω συντελεστών για τις δύο πολώσεις.

1.2.2.3 Ανάκλαση και απορρόφηση σε δύο διαφανή καλύμματα

Όταν χρησιμοποιούνται δύο διαφανή καλύμματα, αποδεικνύεται ότι ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις.

Η διαπερατότητα του συστήματος των δύο καλυμμάτων για κάθε μία από τις δύο πολώσεις του φωτός είναι ίση με

$$\tau^* = \frac{\tau_1 \tau_2}{1 - \rho_1 \rho_2} \quad (8)$$

όπου ο δείκτης 1 αναφέρεται στο εξωτερικό κάλυμμα, ο δείκτης 2 στο εσωτερικό, και η διαπερατότητα τ^* πρέπει να υπολογισθεί για κάθε συνιστώσα της πόλωσης ξεχωριστά.

Όμοια η ανακλαστικότητα για κάθε μία από τις δύο πολώσεις είναι

$$\rho^* = \rho_1 + \frac{\tau^* \tau_1 \rho_2}{\tau_2} = \rho_1 + \frac{\tau_1^2 \rho_2}{1 - \rho_1 \rho_2} \quad (9)$$

Η συνολική διαπερατότητα και ανακλαστικότητα βρίσκεται παίρνοντας τις μέσες τιμές των παραπάνω συντελεστών για τις δύο πολώσεις.

1.2.2.4 Ανάκλαση και απορρόφηση σε τρία διαφανή καλύμματα

Όταν χρησιμοποιούνται τρία ή περισσότερα διαφανή καλύμματα, αποδεικνύεται ότι η ανακλαστικότητα και η διαπερατότητα μπορούν να υπολογισθούν με επαναληπτική εφαρμογή των τύπων (8) και (9). Για παράδειγμα, αν υπάρχουν τρία

καλύμματα με αριθμούς 1 (το εξωτερικό), 2 (το ενδιάμεσο) και 3 (το εσωτερικό κάλυμμα), οργανώνουμε τους υπολογισμούς ως εξής:

- Εφαρμόζουμε τους τύπους (8) και (9) για τα καλύμματα (1) και (2), και υπολογίζουμε μία διαπερατότητα τ_{12} και μία ανακλαστικότητα ρ_{12} .
- Υπολογίζουμε τη συνολική διαπερατότητα τ_{123} και τη συνολική ανακλαστικότητα ρ_{123} με τους τύπους

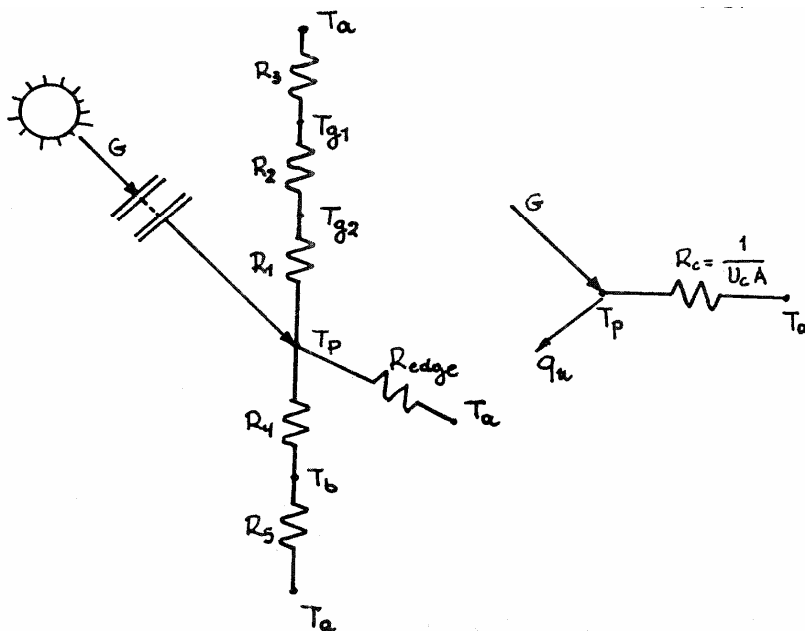
$$\tau_{123} = \frac{\tau_{12} \tau_3}{1 - \rho_{12} \rho_3} \quad (10)$$

$$\rho_{123} = \rho_1 + \frac{\tau_{123} \tau_{12} \rho_3}{\tau_3} = \rho_1 + \frac{\tau_{12}^2 \rho_3}{1 - \rho_{12} \rho_3} \quad (11)$$

Οι υπολογισμοί πρέπει να γίνουν για κάθε συνιστώσα της πόλωσης ξεχωριστά, και κατόπιν να υπολογισθεί ο μέσος όρος των παραπάνω συντελεστών για τις δύο πολώσεις.

1.2.3 Απώλειες συλλέκτη

Ένα μέρος της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας στη συλλεκτήρια επιφάνεια μεταδίδεται στο μέσο μεταφοράς, και χρησιμοποιείται ως ωφέλιμη ενέργεια, ενώ ένα άλλο μέρος μεταδίδεται πίσω στο περιβάλλον με διάφορους μηχανισμούς μεταφοράς θερμότητας.



Στο σχήμα 1.2 φαίνεται το θερμικό ισοδύναμο των θερμικών αντιστάσεων ενός επιπέδου Η.Σ. με 2 διαφανή καλύμματα. Για απλοποίηση των υπολογισμών γίνονται οι πιο κάτω παραδοχές :

- α) η ηλιακή ακτινοβολία είναι ομοιόμορφη πάνω στο συλλέκτη
- β) η συμπεριφορά του συλλέκτη εξετάζεται στη μόνιμη κατάσταση
- γ) η συλλεκτήρια επιφάνεια και τα καλύμματα είναι σε ομοιόμορφες θερμοκρασίες
- δ) υπάρχει η ίδια θερμοκρασία περιβάλλοντος ως προς όλες τις πλευρές του συλλέκτη

Σκοπός της ανάλυσης αυτής είναι να υπολογισθεί η ισοδύναμη συνολική θερμική αντίσταση R_c του Η.Σ όπως φαίνεται στο σχήμα

Κατ' αρχήν υπολογίζεται η θερμική αντίσταση από τη συλλεκτήρια επιφάνεια προς το περιβάλλον μέσω διαφανών καλυμμάτων. Στη μόνιμη κατάσταση η ροή θερμότητας από τη συλλεκτήρια επιφάνεια προς το εσωτερικό κάλυμμα, από το εσωτερικό κάλυμμα προς το εξωτερικό και από το εξωτερικό προς το περιβάλλον είναι η ίδια. Η μετάδοση της θερμότητας από τη συλλεκτήρια επιφάνεια θερμοκρασίας T_p προς το εσωτερικό κάλυμμα θερμοκρασίας T_{g2} γίνεται με δύο τρόπους, με ακτινοβολία και με μεταφορά.

Επομένως ισχύει η σχέση :

$$Q_{p-g2} = A_c h_{p-g2} (T_p - T_{g2}) + \frac{A_c \sigma (T_p^4 - T_{g2}^4)}{(1/\epsilon_p) + (1/\epsilon_{g2}) - 1}$$

όπου A_c είναι η επιφάνεια του συλλέκτη

h_{p-g2} είναι ο συντελεστής μετάδοσης της θερμότητας με συναγωγή μεταξύ της συλλεκτήριας επιφάνειας και του εσωτερικού καλύμματος

ϵ_p συντελεστής εκπομπής θερμότητας με ακτινοβολία για τη συλλεκτήρια επιφάνεια

ϵ_{g2} συντελεστής θερμότητας με ακτινοβολία για το εσωτερικό κάλυμμα

Με αντίστοιχη σχέση υπολογίζεται η ροή θερμότητας Q_{g2-g1} από το εσωτερικό κάλυμμα στο εξωτερικό.

Για τη ροή θερμότητας από το εξωτερικό κάλυμμα στο περιβάλλον ισχύει η απλούστερη σχέση

$$Q_{g1-a} = A_c h_{g1-a} (T_{g1} - T_a) + A_c \epsilon_{g1} \sigma (T_{g1}^4 - T_s^4)$$

όπου T_a είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος,

T_s είναι η θερμοκρασία ουρανού, που λαμβάνεται ίση με $T_a - 6K$

και τα υπόλοιπα μεγέθη έχουν σημασίες αντίστοιχες με εκείνες του προηγούμενου τύπου.

Η θερμική απώλεια από την κάτω πλευρά του συλλέκτη μέσω της μόνωσης είναι :

$$Q_{ins} = A_c * h_{b-a} * (T_b - T_a) + A_c * \sigma * (T_b^4 - T_a^4) / (1/\epsilon_b) + (1/\epsilon_a) - 1$$

Η θερμική απώλεια από την περίμετρο του συλλέκτη θα ληφθεί για τις ανάγκες των υπολογισμών σαυτή την εργασία ίση με

$$Q_{edg} = Q_{ins} * (A_{edg} / A_c)$$

Όπου A_{edg} το εμβαδό της παράπλευρης επιφάνειας του συλλέκτη
Και A_c το εμβαδό της επίπεδης επιφάνειας

Οι παραπάνω σχέσεις εισήχθησαν στο πρόγραμμα excel για να υπολογιστούν διάφορες χαρακτηριστικές περιπτώσεις θερμικών απωλειών σε συλλέκτες.

Η διαμόρφωση των πινάκων στο excel δίνεται στο επόμενο κεφάλαιο.

Για τους υπολογισμούς είναι απαραίτητες οι θερμοκρασίες των χαρακτηριστικών σημείων :

T_p (συλλεκτήρια επιφάνεια)

T_g (εσωτερικό κάλυμμα)

T_{g1} (εξωτερικό κάλυμμα)

T_b (λαμαρίνα κάτω πλευράς)

Σε άλλους υπολογισμούς αυτές οι θερμοκρασίες λαμβάνονται με βάση εμπειρικούς τύπους. Στην τωρινή εργασία όμως προσδιορίζονται δοκιμάζοντας διάφορες τιμές στους πίνακες που συντάσσονται στο πρόγραμμα Excel. Οι σωστές θερμοκρασίες είναι εκείνες για τις οποίες η ροή θερμότητας είναι η ίδια σε όλα τα στάδια (π.χ. στην περίπτωση του συλλέκτη με δύο καλύμματα πρέπει να ισχύει η σχέση $Q_{p-g2} = Q_{g2-g1} = Q_{g1-a}$).

ΚΕΦ.2 Υπολογισμοί θερμικής απόδοσης επίπεδων ηλιακών συλλεκτών

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα παραθέσουμε τον υπολογισμό της θερμικής απόδοσης διάφορων επίπεδων συλλεκτών, ώστε να φανεί πόσο βοηθιέται η λειτουργία του συλλέκτη από κατασκευαστικές βελτιώσεις όπως η θερμομόνωση, η επιλεκτική επιφάνεια απορρόφησης, το διπλό τζάμι κ.ά.

Για τους υπολογισμούς χρησιμοποιούνται τα μεγέθη που αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα ...1. Οι υπολογισμοί γίνονται για τις περιπτώσεις που αναφέρονται παρακάτω ως «Εφαρμογή 1», «Εφαρμογή 2» κτλ.

Οι συνολικές απώλειες θα δίνονται από τη σχέση :

ΓΕΝΙΚΟΙ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

Μέγεθος	Σύμβολο	Τύπος υπολογισμού	Αριθ. τιμή	Μονάδα
Εμβαδό Καλύμματος	A _p			
Ένταση προσπίπτουσας	G			
Διαπερατότητα καλύμματος	τ _{cov}			
Απορροφητικότητα συλλεκτήριας	α _p			
Θερμοκρασία	T			
Θερμ. αντίσταση (K/W)	R			
Συντελ. συναγωγής	h			
Σταθ. Stefan-Boltzmann	σ	=5,67 * 10 ⁻⁸ W/m ² K ⁴	5,67E-08	W/m ² K ⁴
Συντελεστής συναγωγής	h _v	= (5,7+ 3,8 * (u / 1m/s)) W/m ² K για 5m/s για 3m/s	24,7 17,1	W/m ² K
Πάνω επιφάνεια	A _{up} = A _p	= 1m * 1m	1	m ²
Κάτω επιφάνεια	A _{bot}	= A _{up}	1	m ²
Παράπλευρη επιφάνεια	A _{edg}	= 4 * 1m * 0,1m	0,4	m ²
Ολική επιφάνεια	A _{ολ}	= A _{up} + A _{bot} + A _{edg}	2,4	m ²
Θερμοκ. Περιβάλλοντος	T _a	= 20 + 273	293	K
Θερμοκ. Ουρανού	T _s	= T _a - 6	287	K
Ένταση προσπίπτουσας ακτινοβ.	G		750	W/m ²

ΓΕΝΙΚΟΙ ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ, συνέχεια

Δείκτης Σημασία

ρ	Συλλεκτήρια
a	Περιβάλλον
s	Ουρανός
g	Γυαλί
con	Κάλυμμα
f	Υγρό μεταφοράς θερμότητας
b	λαμαρίνα κάτω πλευράς
v	λόγω συναγωγής
r	λόγω ακτινοβολίας
$ολ$	ολική

Εφαρμογή 1

Ένα ορθογώνιο πλαστικό δοχείο διαστάσεων $1\text{m} \times 1\text{m} \times 0,1\text{m}$ πάχους τοιχωμάτων 5mm είναι γεμάτο με νερό (100 λίτρα). Το δοχείο στηρίζεται σε ένα λεπτό, μη αγωγικό, οριζόντιο δίχτυ επάνω από το έδαφος και εκτίθεται σε ηλιακή ακτινοβολία έντασης $750\text{W}/\text{m}^2$. Ο συντελεστής συναγωγής προς το περιβάλλον είναι $h_v = 24,7\text{W}/\text{m}^2$ και η ικανότητα εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας από το δοχείο είναι $\epsilon_p = 0,9$.

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι $T_a = 20^0\text{C}$.

Να υπολογιστεί σε ποια θερμοκρασία της συλλεκτήριας επιφάνειας θα σταματήσει το δοχείο να ζεσταίνεται.

Μέγεθος	Σύμβολο	Τύπος υπολογισμού	Αριθ. τιμή
Διαπερατότητα καλύμματος	τ_{cov}		1
Απορροφητικότητα συλλεκτήριας	α_p		0,9
Ικανότητα εκπομπής συλλεκτήριας	ε_p		0,9
Θερμικό κέρδος	Q_{net}	$= \tau_{cov} \cdot \alpha_p \cdot A_p \cdot G - h_v \cdot A_{ol} \cdot (T_p - T_a) - \varepsilon_p \cdot \sigma \cdot A_{ol} \cdot (T_p^4 - T_s^4)$	
T_p (K)	T_p (C)	Q_{net} (W)	
300	27	98,95	
301	28	26,37	
302	29	-46,33	
303	30	-119,17	

Άρα ισχύει $Q_{net}=0$ όταν T_p =μεταξύ 28 °C και 29°C, δηλαδή το δοχείο θα σταματήσει να ζεσταίνεται όταν η θερμοκρασία του φθάσει κάπου μεταξύ 28 °C και 29°C

Εφαρμογή 2

Το μαύρο δοχείο του προηγούμενου παραδείγματος τοποθετείται σ' ένα κουτί το οποίο έχει στο επάνω μέρος διαφανές κάλυμμα και στο κάτω μέρος μόνωση 10 cm. Για τις ίδιες εξωτερικές συνθήκες όπως προηγουμένως να υπολογιστούν η αντίσταση των θερμικών απωλειών και η θεωρητικά μέγιστη θερμοκρασία του νερού. Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του μονωτικού $\lambda=0,03 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$
Να βρεθούν οι συνολικές απώλειες και το θερμικό κέρδος του δοχείου

Μέγεθος	Σύμβολο	Τύπος υπολογισμού	Αριθ. τιμή
Διαπερατότητα καλύμματος	τ_{cov}		0,854
Ανακλαστικότητα καλύμματος	ρ_{cov}		0,078
Απορροφητικότητα καλύμματος	α_{cov}		0,068
Ικανότητα εκπομπής καλύμματος	ε_g		0,88
Απορροφητικότητα συλλεκτήριας	α_p		0,9
Ικανότητα εκπομπής συλλεκτήριας	ε_p		0,9
Θερμοκρασία συλλεκτήριας επιφάνειας	T_p	$= 98 + 273$ (προκύπτει με δοκιμές)	371
Θερμοκρασία καλύμματος	T_g	με δοκιμές	
Συντελεστής συναγωγής v,pg	$h_{v,pg}$		1,923
Ισοδ. ικαν. εκπομπής	F	$= 1/(1/\varepsilon_p + 1/\varepsilon_g - 1)$	0,80
Θερμ. απώλεια pg ανά m^2	q_{pg}	$= h_{v,pg} (T_p - T_g) + F \sigma (T_p^4 - T_g^4)$	
Θέρμανση καλύμ. από ήλιο ανά m^2	q_{abs1}	$= \alpha_{cov} \cdot G$	51
Θέρμανση από συλλεκτήρια ανά m^2	q_{abs2}	$= \alpha_{cov} \cdot (1 - \alpha_p) \cdot G$	5,1
Θερμ. απώλεια ga ανά m^2	q_{ga}	$= h_{v,ga} (T_g - T_a) + \varepsilon_g \sigma (T_g^4 - T_s^4)$	
Θερμικό κέρδος καλύμ. ανά m^2	$q_{g,net}$	$= q_{pg} + q_{abs1} + q_{abs2} - q_{ga}$	
T_g (K)	T_g (°C)	$q_{g,net}$ (W/m ²)	q_{ga} q_{pg}

309	36	110,49	511,56	565,95
310	37	72,56	542,17	558,63
311	38	34,52	572,85	551,27
312	39	-3,63	603,58	543,85
313	40	-41,89	634,37	536,38

Άρα η μέγιστη θερμοκρασία του καλύμματος είναι $T_g=39^\circ\text{C}$ και η μέγιστη θερμική απώλεια του καλύμματος είναι $q_{pg}=544\text{W/m}^2$

Μέγεθος	Σύμβολο	Τύπος υπολογισμού	Αριθ. τιμή
Αγωγιμότητα μονωτικού	λ		0,03
Πάχος κάτω μόνωσης	χ		0,1
Ισοδ. ικαν. εκπομπής Θέρμανση λαμαρ. pb ανά m2	F'	$= 1/(1/\varepsilon_b + 1/\varepsilon_a - 1)$	0,10
Θερμ. απώλεια ba ανά m2	q_{pb}	$= \lambda * (T_p - T_b) / \chi$	
	q_{ba}	$= h_{v,ba} (T_b - T_a) + F' \sigma (T_b^4 - T_a^4)$	

T_b (K)	T_b ($^\circ\text{C}$)	$q_{b,net}$ (W/m2)	q_{ba}	q_{pb}
293	20	23,4	0	23,4
294	21	-2,15	25,25	23,1
295	22	-27,71	50,51	22,8
296	23	-53,27	75,77	22,5
297	24	-78,83	101,03	22,2

Άρα $T_b=21^\circ\text{C}$ και $q_{pb}=23\text{W/m}^2$

Συνολικές απώλειες	Q_{loss}	$= q_{pg} * A_p + q_{pb} * (A_b + A_{edg})$	576,2
Θερμικό κέρδος	Q_{net}	$= \tau_{cov} * \alpha_p * A_p * G - Q_{loss}$	0,25

Εφαρμογή 3

Το ίδιο μαύρο δοχείο είναι μονωμένο και αυτή τη φορά από πάνω με το διαφανές κάλυμμα και από κάτω με 10 cm μονωτικού. Επιπλέον, η συλλεκτήρια επιφάνεια είναι αυτή τη φορά επιλεκτική, με ικανότητα εκπομπής θερμότητας με ακτινοβολία ίση με $\varepsilon_p = 0,1$. Η ικανότητα εκπομπής θερμότητας με ακτινοβολία για το διαφανές κάλυμμα είναι $\varepsilon_g=0,88$. Να βρεθούν οι συνολικές απώλειες και το θερμικό κέρδος.

Μέγεθος	Σύμβολο	Τύπος υπολογισμού	Αριθ. τιμή
Διαπερατότητα καλύμματος	τ_{cov}		0,854
Ανακλαστικότητα καλύμματος	ρ_{cov}		0,078
Απορροφητικότητα καλύμματος	α_{cov}		0,068
Ικανότητα εκπομπής καλύμματος	ε_g		0,88
Απορροφητικότητα συλλεκτήριας	α_p		0,9

Ικανότητα εκπομπής συλλεκτήριας	ϵ_p			0,1
Θερμοκρασία συλλεκτήριας επιφ.	T_p	= 100 + 273 (προκύπτει με δοκιμές)		373
Θερμοκρασία καλύμματος	T_g	με δοκιμές		
Συντελεστής συναγωγής ν,pg	$h_{ν,pg}$			1,923
Ισοδ. ικαν. εκπομπής	F	= $1/(1/\epsilon_p + 1/\epsilon_g - 1)$		0,10
Θερμ. απώλεια pg ανά m^2	q_{pg}	= $h_{ν,pg} (T_p - T_g) + F \sigma (T_p^4 - T_g^4)$		
Θέρμανση καλύμ. από ήλιο ανά m^2	q_{abs1}	= $\alpha_{cov} * G$		51
Θέρμανση από συλλεκτήρια ανά m^2	q_{abs2}	= $\alpha_{cov} * (1 - \alpha_p) * G$		5,1
Θερμ. απώλεια ga ανά m^2	q_{ga}	= $h_{ν,ga} (T_g - T_a) + \epsilon_g \sigma (T_g^4 - T_a^4)$		
Θερμικό κέρδος καλύμ. ανά m^2	$q_{g,net}$	= $q_{pg} + q_{abs1} + q_{abs2} - q_{ga}$		

T_g (K)	T_g (°C)	$q_{g,net}$ (W/m ²)	q_{ga}	q_{pg}
299	26	53,50	208,47	205,87
300	27	20,92	238,53	203,35
301	28	-11,73	268,65	200,82
302	29	-44,44	298,82	198,28
303	30	-77,20	329,04	195,74

Άρα $T_g=27,5^\circ\text{C}$ και $q_{pg}=202\text{W/m}^2$

Μέγεθος	Σύμβολο	Τύπος υπολογισμού	Αριθ. τιμή
Αγωγιμότητα μονωτικού	λ		0,03
Πάχος κάτω μόνωσης	χ		0,1
Ισοδ. ικαν. εκπομπής	F'	= $1/(1/\epsilon_b + 1/\epsilon_a - 1)$	0,10
Θέρμανση λαμαρ. pb ανά m^2	q_{pb}	= $\lambda * (T_p - T_b) / \chi$	
Θερμ. απώλεια ba ανά m^2	q_{ba}	= $h_{ν,ba} (T_b - T_a) + F' \sigma (T_b^4 - T_a^4)$	

T_b (K)	T_b (°C)	$q_{b,net}$ (W/m ²)	q_{ba}	q_{pb}
293	20	24	0,00	24
294	21	-1,55	25,25	23,7
295	22	-27,11	50,51	23,4
296	23	-52,67	75,77	23,1
297	24	-78,23	101,03	22,8

Άρα $T_b=21^\circ\text{C}$ και $q_{pb}=24\text{W/m}^2$

Μέγεθος	Σύμβολο	Τύπος υπολογισμού	Αριθ. τιμή
Συνολικές απώλειες	Q_{loss}	= $q_{pg} * A_p + q_{pb} * (A_b + A_{edg})$	235,6
Θερμικό κέρδος	Q_{net}	= $\tau_{cov} * \alpha_p * A_p * G - Q_{loss}$	340,85

Εφαρμογή 4

Η κατασκευή της εφαρμογής 3 είναι μονωμένη αυτή τη φορά από πάνω με διπλό διαφανές κάλυμμα ενώ τα άλλα της χαρακτηριστικά είναι τα ίδια (επιλεκτική επιφάνεια απορρόφησης, μόνωση 10 cm από κάτω). Η ικανότητα εκπομπής

θερμότητας με ακτινοβολία για κάθε διαφανές κάλυμμα είναι $\varepsilon_g=0,88$. Να βρεθούν οι συνολικές απώλειες και το θερμικό κέρδος.

Μέγεθος	Σύμβολο	Τύπος υπολογισμού	Αριθ. τιμή
Διαπερατότητα καλύμματος	τ_{con}		0,740
Ανακλαστικότητα καλύμματος	ρ_{con}		0,140
Απορροφητικότητα καλύμματος	α_{con}		0,120
Ικανότητα εκπομπής καλύμματος	ε_g		0,88
Απορροφητικότητα συλλεκτήριας	α_p		0,9
Ικανότητα εκπομπής συλλεκτήριας	ε_p		0,1
Θερμοκρασία συλλεκτήριας επιφ.	T_p	= 100 + 273	373
Θερμοκρασία καλύμματος	T_g	με δοκιμές	
Συντελεστής συναγωγής από τη συλλεκτήρια επιφάνεια στο πρώτο τζάμι	$h_{v,pg1}$		1,923
Συντελεστής συναγωγής από το πρώτο τζάμι στο δεύτερο τζάμι	$h_{v,g1g2}$		1,923
Ισοδ. ικαν. εκπομπής	F1	= $1/(1/\varepsilon_p + 1/\varepsilon_g - 1)$	0,10
Ισοδ. ικαν. εκπομπής	F2	= $1/(1/\varepsilon_g + 1/\varepsilon_g - 1)$	0,785714
Θερμ. απώλεια q_{pg} ανά m^2 από τη συλλεκτήρια επιφάνεια στο πρώτο τζάμι	q_{pg1}	= $h_{v,pg1} (T_p - T_g) + F1\sigma(T_p^4 - T_g^4)$	
Θερμ. απώλεια q_{g1g2} ανά m^2 από το πρώτο τζάμι στο δεύτερο τζάμι	q_{g1g2}	= $h_{v,g1g2} (T_{g1} - T_{g2}) + \varepsilon_g \sigma (T_{g1}^4 - T_{g2}^4)$	
Θέρμανση καλύμ. από ήλιο ανά m^2	q_{abs1}	= $\alpha_{con} * G$	90
Θερμ. απώλεια q_{g2a} ανά m^2	q_{g2a}	= $h_{v,ga} (T_{g2} - T_a) + \varepsilon_g \sigma (T_{g2}^4 - T_s^4)$	

T_{g1} (K)	T_{g1} (°C)	T_{g2} (K)	T_{g2} (°C)	g_{2a}	q_{g1g2}	q_{pg1}
315	42	294	21	58,96	146,16	164,74
316	43	295	22	88,75	147,21	162,11
317	44	296	23	118,60	148,26	159,48
318	45	297	24	148,51	149,32	156,84
319	46	297,3	24,3	157,49	155,02	154,19
320	47	298	25	178,46	158,12	151,54
321	48	299	26	208,47	159,25	148,88

αρα $T_{a,g1}=46$ C $T_{g2}=24,3$ C και $q_{pg1g2}=158$ W/m²

Μέγεθος	Σύμβολο	Τύπος υπολογισμού	Αριθ. τιμή
Αγωγιμότητα μονωτικού	λ		0,03
Πάχος κάτω μόνωσης	χ		0,1
Ισοδ. ικαν. εκπομπής	F'	= $1/(1/\varepsilon_b + 1/\varepsilon_a - 1)$	0,10
Θέρμανση λαμαρ. q_{pb} ανά m^2	q_{pb}	= $\lambda * (T_p - T_b) / \chi$	
Θερμ. απώλεια q_{ba} ανά m^2	q_{ba}	= $h_{v,ba} (T_b - T_a) + F' \sigma (T_b^4 - T_a^4)$	

T_b (K)	T_b (°C)	$q_{b,net}$ (W/m ²)	q_{ba}	q_{pb}
293	20	24	0,00	24
294	21	-1,55	25,25	23,7

295	22	-27,11	50,51	23,4
296	23	-52,67	75,77	23,1
297	24	-78,23	101,03	22,8

Άρα $T_b=21^\circ\text{C}$ και $q_{pb}=24\text{W/m}^2$

Μέγεθος	Σύμβολο	Τύπος υπολογισμού	Αριθ. τιμή
Συνολικές απώλειες	Q_{loss}	$= q_{pg} * A_p + q_{pb} * (A_b + A_{edg})$	191,6
Θερμικό κέρδος	Q_{net}	$= \tau_{cov} * \alpha_p * A_p * G - Q_{loss}$	307

Σαυτό το παράδειγμα βλέπουμε ότι χρησιμοποιώντας δύο διαφανή καλύματα μειώνουμε τις συνολικές απώλειες του συλλέκτη χάνουμε όμως σε θερμικό κέρδος γιατί η ηλιακή ακτινοβολία φτάνει ποιο δύσκολα στο διαφανές κάλυμμα

ΚΕΦ.3 Υπολογισμοί του συντελεστή διαπερατότητας των διαφόρων υλικών

3.1 Υπολογισμοί για ένα διαφανές κάλυμμα

Σε εφαρμογή όσων αναφέρθηκαν στην παράγραφο ...1.2.2..., διερευνήθηκε πώς μεταβάλλεται η διαπερατότητα τ και η ανακλαστικότητα ρ συναρτήσει της γωνίας πρόσπτωσης θ και βρέθηκαν κάποιοι πίνακες που δίνονται στις επόμενες σελίδες. Οι υπολογισμοί έγιναν με τη βοήθεια του προγράμματος λογιστικών φύλλων Excel, και πρώτα απ' όλα θα εξηγήσουμε τη σειρά των υπολογισμών στο λογιστικό φύλλο.

Ορίζουμε τα βασικά αριθμητικά δεδομένα του υπολογισμού που είναι τα εξής:

Υλικό καλύμματος **ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΤΖΑΜΙ**

Βοηθητικό μέγεθος $\alpha = 180/\pi = 57,29578$

Δείκτης διάθλασης $n = 1,526$

Συντελ. εξασθένησης $k = 0,3 \text{ cm}^{-1}$

Πάχος καλύμματος $s = 0,23 \text{ cm}$

Το βοηθητικό μέγεθος $\alpha = 180/\pi = 57,29578$ δείχνει με πόσες μοίρες είναι ίσο ένα ακτίνιο, και χρησιμοποιείται για μετατροπή από μοίρες σε ακτίνια και αντίστροφα. Είναι απαραίτητο επειδή οι τριγωνομετρικές συναρτήσεις του Excel απαιτούν να εκφράζονται οι γωνίες σε ακτίνια. Παραμένει σταθερό σε όλους τους υπολογισμούς. Μπορεί να υπολογισθεί με το Excel αν γράψουμε μέσα σε ένα κουτάκι του λογιστικού φύλλου τον τύπο $=180/\text{Pi}$

Τα n , k , s μπορούν να αλλάξουν αν θέλουμε να εξετάσουμε τη συμπεριφορά κάποιου άλλου διαφανούς καλύμματος.

Στα επόμενα εννοείται ότι έχουν ήδη καταχωρηθεί σε κατάλληλες θέσεις του λογιστικού φύλλου οι τιμές των α , n , k , s , και με βάση αυτές εκτελούνται οι υπόλοιποι υπολογισμοί.

Δίνουμε στο λογιστικό φύλλο το περιεχόμενο που αναφέρεται στον παρακάτω πίνακα.

(Οι στήλες A, B, C ... του πίνακα αντιπροσωπεύουν τις στήλες A, B, C ... του λογιστικού φύλλου. Επειδή το πλάτος του πίνακα είναι μεγάλο, εκτυπώνεται εδώ με τη μορφή δύο πινάκων με στήλες A, B ... G και H, I, J ... αντίστοιχα.

Οι γραμμές 1, 2, 3 ... του πίνακα αντιπροσωπεύουν τις γραμμές 1, 2, 3 ... του λογιστικού φύλλου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΦΥΛΛΟΥ

	A	B	C	D	E	F	G
1	α	n	k	s		Κανονικό Τζάμι	
2							
3	θ1	ημθ1	ημθ2	θ2	ρ_καθ	ρ_παρ	τ'
4	0,01	τύπος (A1)	τύπος (A2)	τύπος (A3)	τύπος (A4)	τύπος (A5)	τύπος (A6)
5	2	...	...	...	...	...	...
6	4	...	...	...	...	...	...
...

	H	I	J	K	L	M
1						
2						
3	ρ(ρ_καθ,τ)	ρ(ρ_παρ,τ)	ρ	τ(ρ_καθ,τ)	τ(ρ_παρ,τ)	τ
4	τύπος (A7)	τύπος (A8)	τύπος (A9)	τύπος (A10)	τύπος (A11)	τύπος (A12)
5	...	...	...	...	...	...
6	...	...	...	...	...	...
...

Παρατηρούμε ότι:

- Στη γραμμή (1) έχουν τοποθετηθεί τα βασικά στοιχεία του υπολογισμού που εξηγήθηκαν παραπάνω.
- Στη γραμμή (3) τοποθετούνται οι επικεφαλίδες των στηλών του κυρίως υπολογισμού. Αυτός ο υπολογισμός θα καταλήξει στην ανακλαστικότητα ρ (βλ. στήλη J) και στη διαπερατότητα τ (βλ. στήλη M).
- Στη στήλη A, κάτω από την επικεφαλίδα θ1, τοποθετούνται διάφορες τιμές της γωνίας θ1 σε μοίρες (π.χ. από 0° έως 90° ανά 2°). Για να αποφύγουμε διαίρεση διά του μηδενός, στη θέση των 0° τοποθετούμε την τιμή 0,01°. Όμοια πρέπει να αποφευχθεί η τιμή της θ1 για την οποία ισχύει $\theta_1 + \theta_2 = 90^\circ$, γιατί τότε θα προκύψει διαίρεση με το άπειρο.
- Στις υπόλοιπες στήλες, κάτω από τις αντίστοιχες επικεφαλίδες, τοποθετούνται τύποι για να υπολογισθούν τα υπόλοιπα μεγέθη, που όλα εξαρτώνται από το θ1.

Οι τύποι (A1) έως (A12) δίνονται παρακάτω, πρώτα σε συμβολική μορφή (εάν αυτό είναι δυνατό) και κατόπιν με τη σύνταξη του προγράμματος Excel. Οι τύποι δίνονται για τη γραμμή 4 του λογιστικού φύλλου, αλλά μπορούν εύκολα (αλλάζοντας τον αριθμό γραμμής) να παραχθούν οι τύποι των επόμενων γραμμών. Υπενθυμίζεται ότι το πρόγραμμα Excel παράγει αυτόματα τους τύπους των επόμενων γραμμών όταν ενεργοποιηθεί η διαδικασία της αυτόματης συμπλήρωσης.

Τύπος (A1): $=\sin(a4/\alpha)$

Αριθ. τύπου	Συμβολικός Τύπος Στο Excel	Παρατηρήσεις
A1	$=\sin(a4/\alpha)$	a4 (α λατινικό): το a4 είναι η τιμή του θ1 στο κουτάκι αριστερά μας α (α ελληνικό): διαίρεση με το α=57,3 για μετατροπή από μοίρες σε ακτίνια
A2	$\eta\mu\theta2=\eta\mu\theta1/n$ $=b4/n$	Συμπέρασμα του τύπου (1), παραγ. 1.2.2
A3	$=\text{asin}(c4)*\alpha$	Με το asin(x) υπολογίζεται το “τόξο με ημίτονο x”
A4	$\rho_{\perp}=\sin^2(\theta1-\theta2) / \sin^2(\theta1+\theta2)$ $=\sin((a4-d4)/\alpha)^2/\sin((a4+d4)/\alpha)^2$	Τύπος (2) της παραγ. 1.2.2
A5	$\rho_{\text{παρ}}=\tan^2(\theta1-\theta2)/\tan^2(\theta1+\theta2)$ $=\tan((a4-d4)/\alpha)^2/\tan((a4+d4)/\alpha)^2$	Τύπος (3) της παραγ. 1.2.2
A6	$=\exp(-k * s / \cos\theta2)$ $=\exp(-k*s/\cos(d4/\alpha))$	Τύπος (4) της παραγ. 1.2.2
A7	$\rho_{\perp} \tau'^2 (1-\rho_{\perp})^2$ $\rho(\rho_{\perp}, \tau') = \rho_{\perp} + \frac{\rho_{\perp} \tau'^2 (1-\rho_{\perp})^2}{1 - \rho_{\perp}^2 \tau'^2}$ $=e4+e4*g4^2*(1-e4)^2/(1-e4^2*g4^2)$	Τύπος (6) της παραγ. 1.2.2
A8	$\rho_{\parallel} \tau'^2 (1-\rho_{\parallel})^2$ $\rho(\rho_{\parallel}, \tau') = \rho_{\parallel} + \frac{\rho_{\parallel} \tau'^2 (1-\rho_{\parallel})^2}{1 - \rho_{\parallel}^2 \tau'^2}$ $=f4+f4*g4^2*(1-f4)^2/(1-f4^2*g4^2)$	Τύπος (6) της παραγ. 1.2.2
A9	$\rho = \frac{1}{2} [\rho(\rho_{\perp}, \tau')+\rho(\rho_{\parallel}, \tau')]$ $=1/2*(h4+i4)$	Μέσος όρος για τις δύο συνιστώσες πόλωσης
A10	$\tau' (1-\rho_{\perp})^2$ $\tau(\rho_{\perp}, \tau') = \frac{\tau' (1-\rho_{\perp})^2}{1 - \rho_{\perp}^2 \tau'^2}$ $=g4*(1-e4)^2/(1-e4^2*g4^2)$	Τύπος (5) της παραγ. 1.2.2
A11	$\tau' (1-\rho_{\parallel})^2$ $\tau(\rho_{\parallel}, \tau') = \frac{\tau' (1-\rho_{\parallel})^2}{1 - \rho_{\parallel}^2 \tau'^2}$ $=g4*(1-f4)^2/(1-f4^2*g4^2)$	Τύπος (5) της παραγ. 1.2.2
A12	$\tau = \frac{1}{2} [\tau(\rho_{\perp}, \tau')+\tau(\rho_{\parallel}, \tau')]$ $=1/2*(k4+L4)$	Μέσος όρος για τις δύο συνιστώσες πόλωσης

Με βάση αυτούς τους τύπους υπολογίσθηκε η ανακλαστικότητα ρ και η διαπερατότητα τ για διαφανή καλύμματα από πέντε διαφορετικά υλικά, με πάχος καλύμματος s = 0,23 cm σε όλες τις περιπτώσεις. Χάριν συντομίας δίνονται σε εκτύπωση, στις επόμενες σελίδες, μόνο τα αποτελέσματα. Οι πλήρεις υπολογισμοί δίνονται σε ηλεκτρονική μορφή στο CD που συνοδεύει την εργασία.

Στα αποτελέσματα των υπολογισμών έχουμε να παρατηρήσουμε ότι:

α) Για την περιοχή γωνιών πρόσπτωσης από $\theta_1 = 0^0$ έως $\theta_1=60^0$, η διαπερατότητα τ μένει περίπου σταθερή

β) Η μέγιστη διαπερατότητα για τα διάφορα διαφανή υλικά είναι

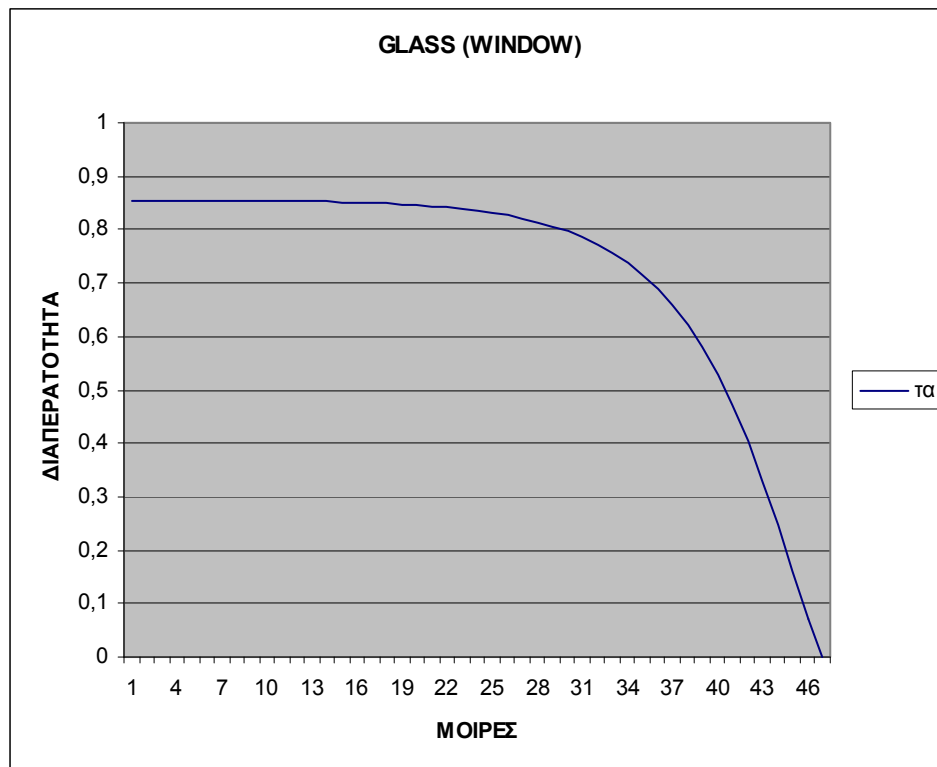
ΥΛΙΚΟ	ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ
Γυαλί μεγάλης καθαρότητας	0,91
Γυαλί κοινό	0,85
Teflon	0,81
Mylar	0,55
Tedlar	0,68

Επομένως το γυαλί μεγάλης καθαρότητας είναι κατά 7% καλύτερο από το κοινό γυαλί ενώ το Teflon είναι κατά 4,7% χειρότερο. Το πλαστικό Tedlar έχει αισθητά χαμηλότερη διαπερατότητα και το Mylar πολύ χαμηλή, άρα θα έπρεπε να απορριφθεί. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι το Teflon και τα άλλα πλαστικά επιτρέπουν στην υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπει η θερμή συλλεκτήρια επιφάνεια να χυθεί προς τον ουρανό, και αυτό βαραίνει σε απόφαση να απορριφθούν.

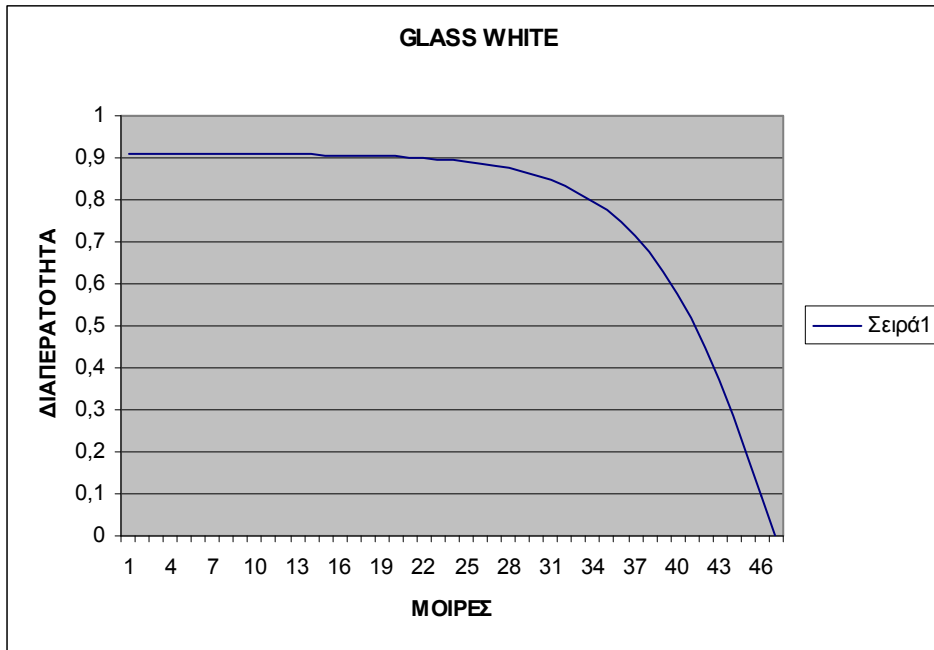
Πίνακας 4. Συγκεντρωτική κατάσταση του βαθμού απορρόφησης και διαπερατότητας των υλικών

θ_1	ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΤΖΑΜΙ		ΚΑΘΑΡΟ ΓΥΑΛΙ		MYLAR		TEFLON		TEDLAR	
	ρ	τ	ρ	τ	ρ	τ	ρ	τ	ρ	τ
0	0,078	0,856	0,082	0,908	0,079	0,554	0,037	0,811	0,050	0,677
0,01	0,078	0,856	0,082	0,908	0,079	0,554	0,037	0,811	0,050	0,677
2	0,078	0,856	0,082	0,908	0,079	0,554	0,037	0,811	0,050	0,677
4	0,078	0,855	0,082	0,908	0,079	0,553	0,037	0,811	0,050	0,677
6	0,078	0,855	0,082	0,908	0,079	0,553	0,037	0,811	0,050	0,676
8	0,078	0,855	0,082	0,908	0,079	0,553	0,037	0,811	0,050	0,676
10	0,078	0,855	0,082	0,908	0,079	0,552	0,037	0,810	0,050	0,675
12	0,078	0,855	0,082	0,908	0,079	0,551	0,037	0,810	0,050	0,675
14	0,078	0,855	0,082	0,908	0,079	0,551	0,037	0,809	0,050	0,674
16	0,078	0,854	0,083	0,908	0,079	0,550	0,037	0,809	0,050	0,673
18	0,078	0,854	0,083	0,908	0,079	0,549	0,037	0,808	0,050	0,672
20	0,078	0,854	0,083	0,908	0,079	0,547	0,037	0,807	0,050	0,670
22	0,078	0,853	0,083	0,908	0,079	0,546	0,037	0,806	0,050	0,669
24	0,079	0,852	0,083	0,907	0,079	0,545	0,037	0,805	0,051	0,667
26	0,079	0,852	0,084	0,907	0,079	0,543	0,037	0,804	0,051	0,665
28	0,079	0,851	0,084	0,906	0,080	0,541	0,038	0,803	0,051	0,663
30	0,080	0,850	0,085	0,906	0,080	0,539	0,038	0,801	0,051	0,661
32	0,081	0,849	0,085	0,905	0,081	0,537	0,038	0,799	0,052	0,659
34	0,082	0,847	0,086	0,904	0,081	0,534	0,039	0,797	0,053	0,656
36	0,083	0,845	0,088	0,902	0,082	0,532	0,040	0,794	0,054	0,653
38	0,084	0,843	0,089	0,901	0,083	0,529	0,041	0,791	0,055	0,650
40	0,086	0,841	0,091	0,899	0,085	0,525	0,042	0,788	0,056	0,646
42	0,088	0,838	0,093	0,896	0,086	0,522	0,044	0,784	0,058	0,642
44	0,091	0,835	0,096	0,893	0,089	0,518	0,046	0,779	0,060	0,637
46	0,094	0,831	0,100	0,890	0,091	0,513	0,049	0,774	0,063	0,632
48	0,098	0,826	0,104	0,885	0,094	0,509	0,052	0,768	0,066	0,626

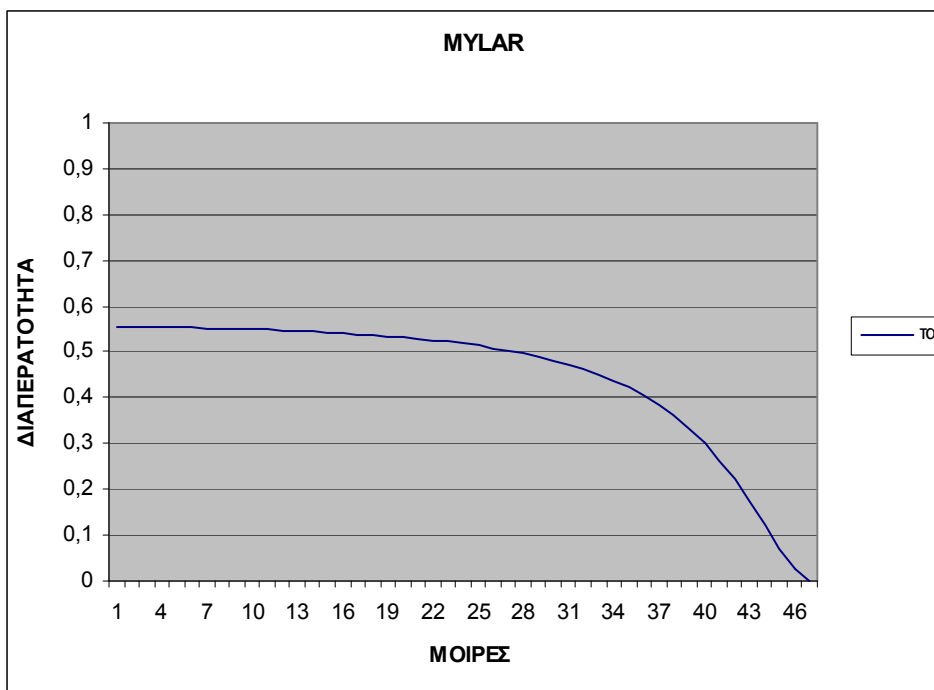
50	0,103	0,821	0,109	0,880	0,098	0,503	0,056	0,760	0,070	0,620
52	0,109	0,814	0,115	0,874	0,103	0,497	0,061	0,752	0,075	0,613
54	0,116	0,806	0,123	0,866	0,109	0,490	0,067	0,742	0,080	0,605
56	0,125	0,797	0,132	0,857	0,116	0,482	0,075	0,730	0,088	0,595
58	0,135	0,786	0,143	0,846	0,124	0,473	0,084	0,716	0,096	0,585
60	0,148	0,773	0,156	0,832	0,134	0,463	0,095	0,699	0,107	0,572
62	0,163	0,757	0,172	0,816	0,146	0,452	0,108	0,679	0,119	0,558
64	0,181	0,738	0,191	0,797	0,160	0,438	0,125	0,656	0,135	0,542
66	0,202	0,716	0,214	0,774	0,178	0,423	0,145	0,629	0,153	0,523
68	0,228	0,690	0,242	0,747	0,199	0,405	0,169	0,597	0,175	0,501
70	0,259	0,659	0,274	0,715	0,224	0,384	0,198	0,560	0,202	0,476
72	0,296	0,622	0,312	0,676	0,254	0,361	0,233	0,517	0,234	0,446
74	0,339	0,579	0,357	0,631	0,289	0,333	0,274	0,469	0,272	0,412
76	0,389	0,529	0,410	0,578	0,332	0,301	0,324	0,415	0,318	0,373
78	0,447	0,471	0,471	0,517	0,384	0,264	0,382	0,357	0,372	0,327
80	0,514	0,404	0,540	0,448	0,445	0,222	0,451	0,294	0,436	0,276
82	0,590	0,330	0,618	0,370	0,517	0,175	0,530	0,228	0,512	0,218
84	0,675	0,248	0,704	0,284	0,604	0,124	0,620	0,162	0,600	0,156
86	0,768	0,160	0,796	0,192	0,707	0,072	0,722	0,099	0,705	0,091
88	0,870	0,070	0,894	0,095	0,834	0,025	0,841	0,040	0,832	0,032
90	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000



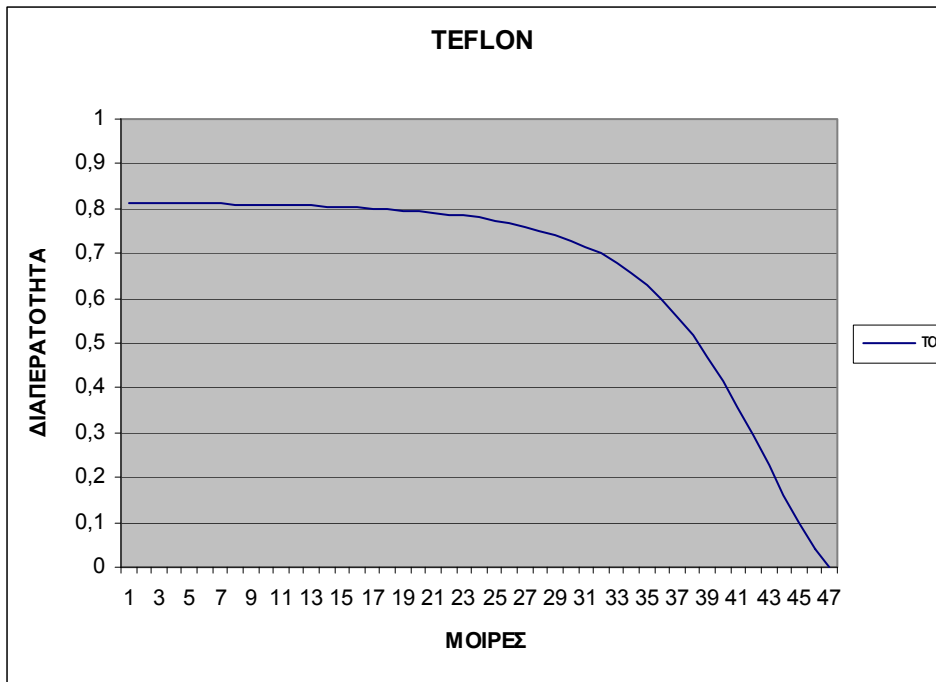
Σήμα 3.1 Διάγραμμα της διαπερατότητας του κανονικού γυαλιού (π.χ. κοινά παράθυρα)



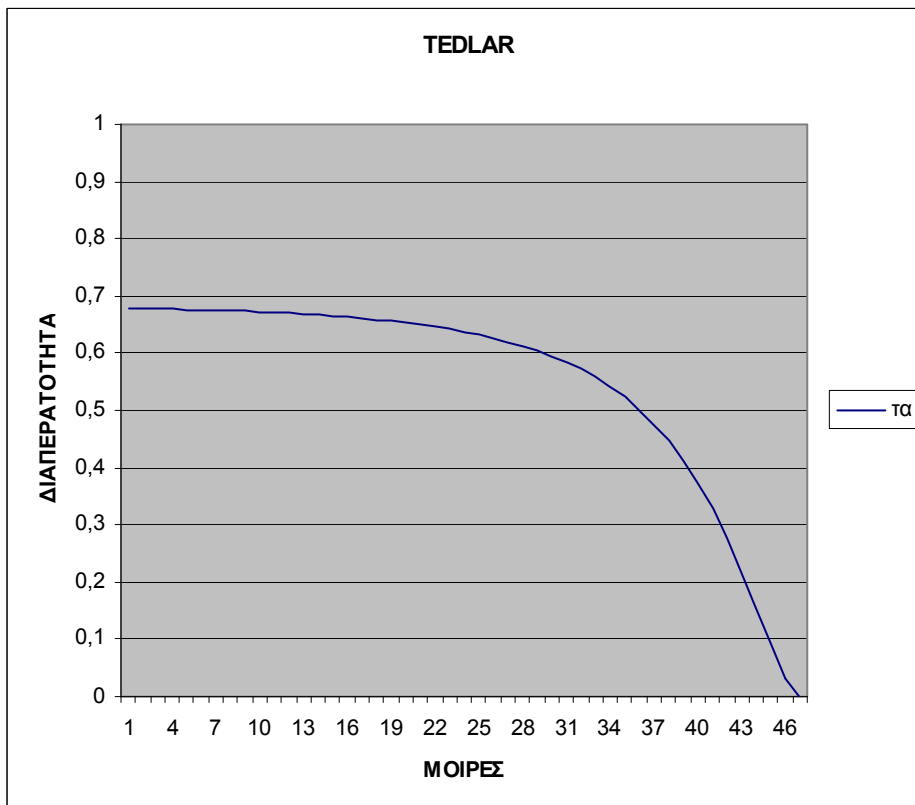
σχήμα 3.2. Διάγραμμα διαπερατότητας γυαλιού μεγάλης καθαρότητας (<0.01% Fe₂O₃)



σχήμα 3.3. Διάγραμμα διαπερατότητας του υλικού Mylar



σχήμα 3.4. Διάγραμμα διαπερατότητας του Teflon



σχήμα 3.5. Διάγραμμα διαπερατότητας του Tedlar

3.2 Υπολογισμοί για συνδυασμούς δύο διαφανών καλυμμάτων

Όταν ο συλλέκτης έχει δύο διαφανή καλύμματα, τότε η διαπερατότητα και η ανακλαστικότητα του συστήματος των δύο καλυμμάτων υπολογίζεται με βάση τους τύπους (8) και (9) της παραγράφου 1.2.2.3. Για να υπολογισθούν με τη βοήθεια του Excel, δημιουργούμε στο λογιστικό φύλλο έναν πίνακα με το παρακάτω περιεχόμενο:

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΦΥΛΛΟΥ ΓΙΑ ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΥΟ ΔΙΑΦΑΝΩΝ ΚΑΛΥΜΜΑΤΩΝ

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2							
3	θ1	τ1παρ	τ1καθ	τ2παρ	τ2καθ	ρ1παρ	ρ1καθ
4	0,01	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
5	2	...	...	...	...	...	...
6	4	...	...	...	...	...	...
...

	H	I	J	K
1				
2				
3	ρ2παρ	ρ2καθ	τ για 2 τζ	ρ για 2 τζ
4	(*)	(*)	τύπος (A13)	τύπος (A14)
5	...	...	...	...
6	...	...	...	...
...

(*) Για απλούστευση της εργασίας, σ' αυτές τις στήλες αντιγράφουμε τις τιμές των μεγεθών που είχαν υπολογισθεί στην προηγούμενη παράγραφο για μονό διαφανές κάλυμμα. (Προσέχουμε να αντιγράψουμε τις αριθμητικές τιμές και όχι τους τύπους από τους οποίους υπολογίζονται τα μεγέθη)

Οι τύποι (A13) και (A14) διαμορφώνονται αν εφαρμόσουμε αυτά που αναφέρθηκαν στην παραγ. 1.2.2.3. Η μορφή τους είναι:

Τύπος (A13) σε συμβολική μορφή:

$$(\tau^*) = \frac{1}{2} * [(\tau1_καθ * \tau2_καθ) / (1 - \rho1_καθ * \rho2_καθ) + (\tau1_παρ * \tau2_παρ) / (1 - \rho1_παρ * \rho2_παρ)]$$

Τύπος (A13) στη σύνταξη του Excel:

$$=1/2*(((C4*E4)/(1-G4*I4)+(B4*D4)/(1-F4*H4))))$$

Τύπος (A14) σε συμβολική μορφή:

$$(\rho^*) = \frac{1}{2} * [\rho1_καθ + (\tau1_καθ^2 * \rho2_καθ) / (1 - \rho1_καθ * \rho2_καθ) + \rho1_παρ + (\tau1_παρ^2 * \rho2_παρ) / (1 - \rho1_παρ * \rho2_παρ)]$$

Τύπος (A14) στη σύνταξη του Excel:

$$=1/2*(((G4+(C4^2*I4)/(1-G4*I4))+((F4+(B4^2*H4)/(1-F4*H4))))))$$

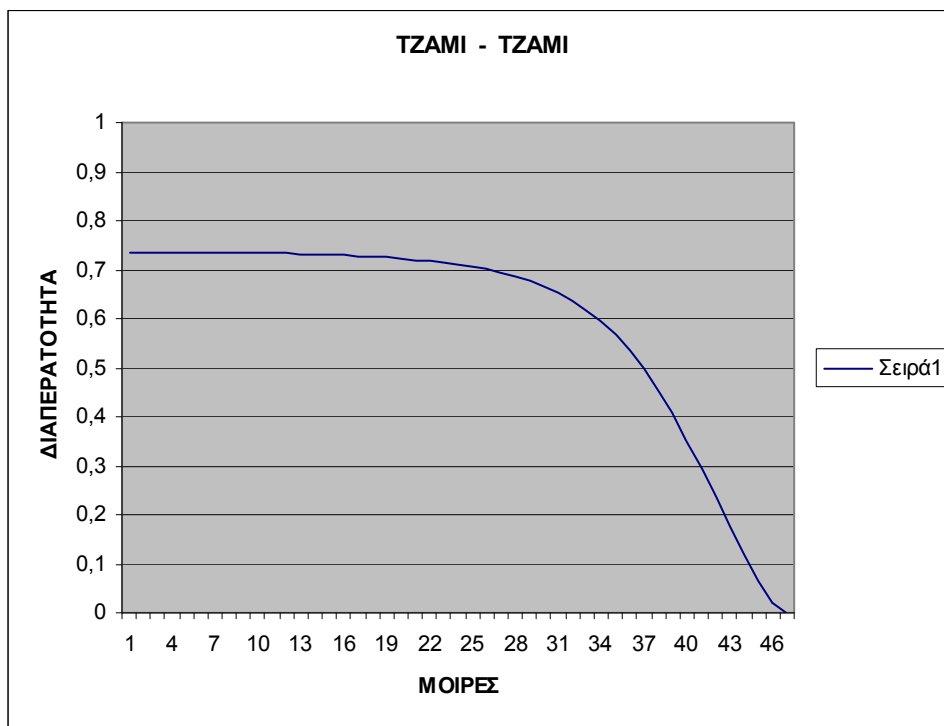
Γενικά ισχύουν οι παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο, στην οποία εξηγούνται οι υπολογισμοί για μονό διαφανές κάλυμμα.

Με τη βοήθεια αυτού του λογιστικού φύλλου υπολογίσθηκε η διαπερατότητα και η ανακλαστικότητα για διάφορους συνδυασμούς διαφανών καλυμμάτων. Από τα πλαστικά εξετάζεται μόνο το TEFLON, επειδή για τα άλλα πλαστικά προέκυψαν στην προηγούμενη παράγραφο χαμηλές διαπερατότητες. Τα αποτελέσματα δίνονται στον παρακάτω πίνακα και στα διαγράμματα, ενώ ο πλήρης υπολογισμός δίνεται σε ηλεκτρονική μορφή στο CD που συνοδεύει την εργασία.

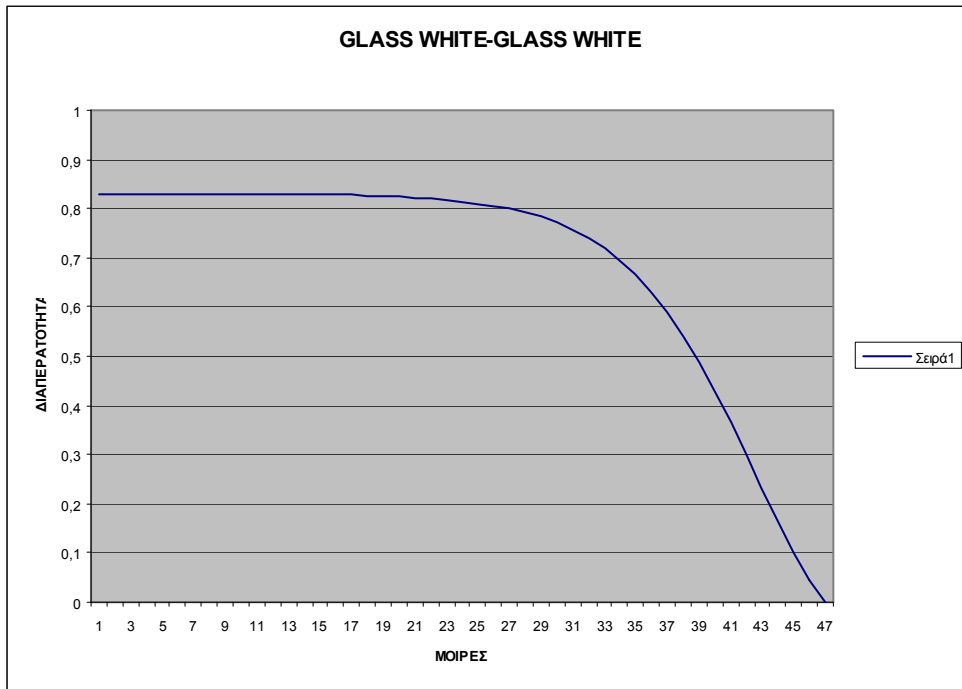
Στα αποτελέσματα των υπολογισμών έχουμε να παρατηρήσουμε ότι: Ο συνδυασμός καθαρού γυαλιού με καθαρό γυαλί είναι κατά 10% καλύτερο από το συνδυασμό απλό τζάμι με απλό τζάμι και μετά τρίτος κατά σειρά έρχεται ο συνδυασμός καθαρό γυαλί εξωτερικά με Teflon εξωτερικά με 13% χαμηλότερη απόδοση

	ΑΠΛΟ ΤΖΑΜΙ – ΑΠΛΟ ΤΖ.		ΚΑΘ. ΓΥΑΛΙ – ΚΑΘ. ΓΥΑΛΙ		TEFLON – TEFLON		ΓΥΑΛΙ έξω – TEΦΛΟΝ μέσα		TEFLON έξω – ΓΥΑΛΙ μέσα	
θ1	(τ*)	(ρ*)	(τ*)	(ρ*)	(τ*)	(ρ*)	(τ*)	(ρ*)	(τ*)	(ρ*)
0	0,736	0,137	0,831	0,151	0,659	0,061	0,696	0,105	0,576	0,710
0,05	0,736	0,137	0,831	0,151	0,659	0,061	0,696	0,105	0,576	0,710
2	0,736	0,137	0,831	0,151	0,659	0,061	0,696	0,105	0,576	0,709
4	0,736	0,137	0,831	0,151	0,659	0,061	0,696	0,105	0,575	0,709
6	0,736	0,137	0,831	0,151	0,659	0,061	0,696	0,105	0,575	0,708
8	0,736	0,137	0,831	0,151	0,658	0,061	0,695	0,105	0,574	0,708
10	0,736	0,137	0,831	0,151	0,658	0,061	0,695	0,105	0,573	0,706
12	0,735	0,137	0,831	0,151	0,657	0,061	0,694	0,105	0,572	0,705
14	0,735	0,137	0,831	0,151	0,656	0,060	0,694	0,105	0,571	0,703
16	0,735	0,137	0,831	0,151	0,655	0,060	0,693	0,105	0,569	0,701
18	0,734	0,137	0,830	0,151	0,654	0,060	0,692	0,105	0,567	0,699
20	0,733	0,137	0,830	0,151	0,653	0,061	0,691	0,105	0,565	0,696
22	0,733	0,137	0,830	0,151	0,651	0,061	0,690	0,105	0,563	0,693
24	0,732	0,137	0,829	0,152	0,650	0,061	0,689	0,105	0,560	0,690
26	0,731	0,137	0,829	0,152	0,648	0,061	0,687	0,106	0,556	0,686
28	0,730	0,137	0,828	0,153	0,646	0,061	0,686	0,106	0,553	0,682
30	0,728	0,138	0,828	0,153	0,643	0,062	0,684	0,107	0,548	0,677
32	0,727	0,138	0,827	0,154	0,640	0,062	0,681	0,107	0,544	0,672
34	0,725	0,139	0,825	0,155	0,637	0,063	0,679	0,108	0,538	0,665
36	0,723	0,140	0,824	0,156	0,634	0,064	0,676	0,110	0,532	0,659
38	0,720	0,141	0,822	0,158	0,630	0,065	0,673	0,111	0,525	0,651
40	0,717	0,143	0,820	0,160	0,625	0,067	0,669	0,113	0,517	0,642
42	0,714	0,145	0,817	0,162	0,620	0,068	0,664	0,116	0,508	0,633
44	0,710	0,148	0,814	0,165	0,613	0,071	0,659	0,119	0,498	0,622
46	0,705	0,151	0,810	0,169	0,606	0,074	0,653	0,123	0,486	0,610
48	0,700	0,155	0,805	0,174	0,598	0,078	0,646	0,128	0,473	0,597
50	0,694	0,161	0,799	0,180	0,588	0,082	0,638	0,133	0,458	0,583

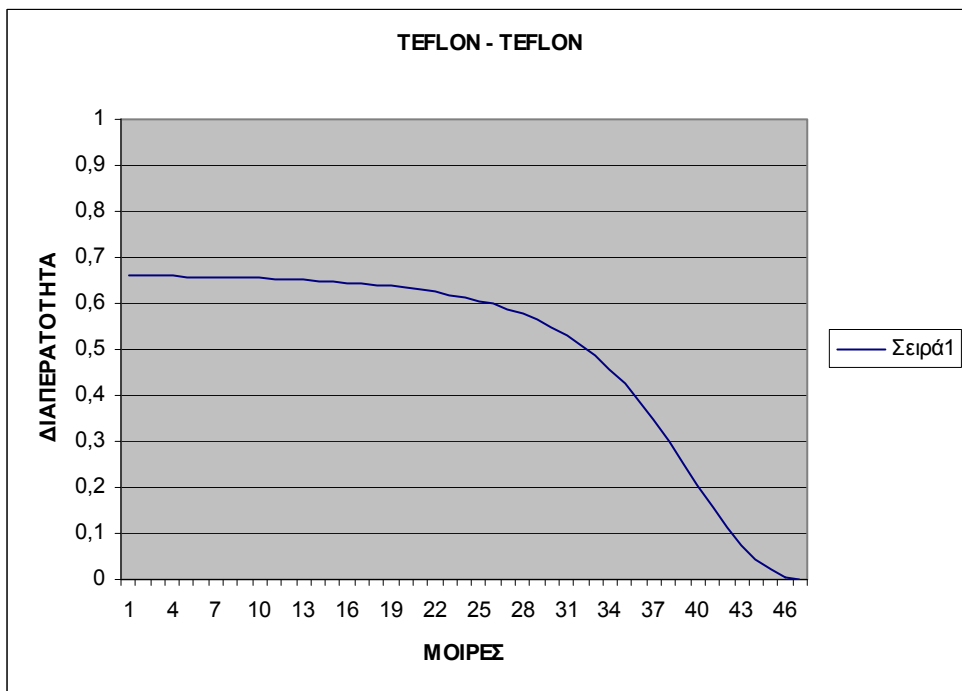
52	0,686	0,167	0,792	0,187	0,577	0,088	0,628	0,141	0,442	0,566
54	0,677	0,175	0,783	0,196	0,564	0,095	0,617	0,149	0,423	0,549
56	0,666	0,185	0,771	0,207	0,549	0,104	0,603	0,160	0,403	0,529
58	0,652	0,197	0,758	0,220	0,531	0,115	0,587	0,173	0,381	0,508



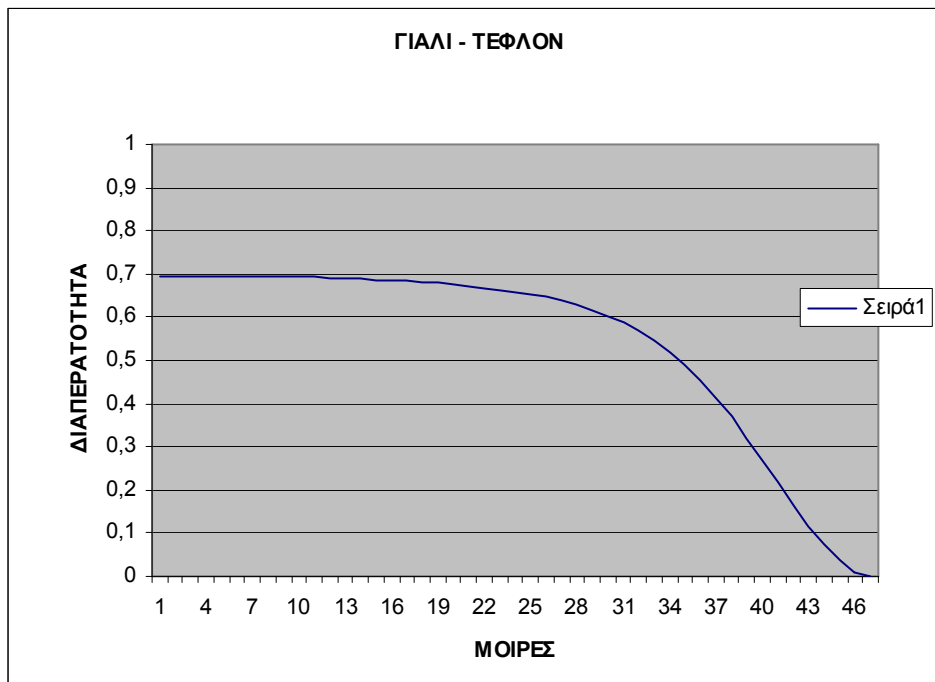
Σχήμα 3.7 διάγραμμα διαπερατότητας συνδυασμού απλού τζαμιού με απλό τζάμι



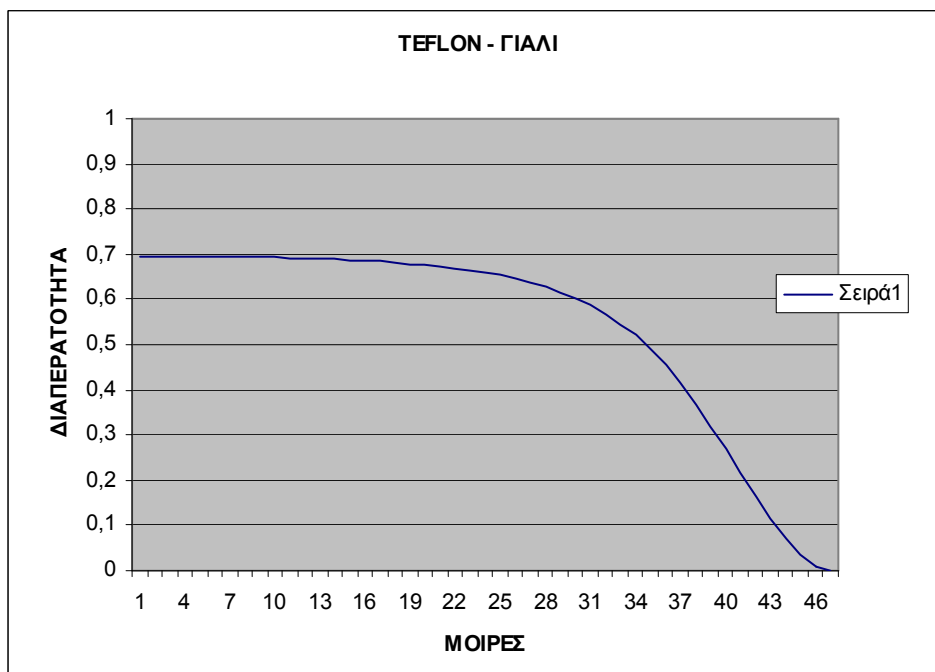
σχήμα 3.8 Διάγραμμα διαπερατότητας συνδυασμού καθαρού γυαλιού με καθαρό γυαλί



σχήμα 3.8 Διάγραμμα διαπερατότητας συνδυασμού Teflon με Teflon



σχήμα 3.8 Διάγραμμα διαπερατότητας συνδυασμού γυαλιού εξωτερικά με Teflon εσωτερικά



σχήμα 3.8 Διάγραμμα διαπερατότητας συνδυασμού με Teflon εξωτερικά γυαλιού εσωτερικά

3.3 Υπολογισμοί για συνδυασμούς τριών διαφανών καλυμμάτων

Όταν ο συλλέκτης έχει τρία διαφανή καλύμματα, τότε η διαπερατότητα και η ανακλαστικότητα του συστήματος των δύο καλυμμάτων υπολογίζεται με βάση τη διαδικασία που περιγράφεται στην παράγραφο 1.2.2.4. Για να υπολογισθούν με τη βοήθεια του Excel, δημιουργούμε στο λογιστικό φύλλο έναν πίνακα με το παρακάτω περιεχόμενο:

**ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΟ ΛΟΓΙΣΤΙΚΟΥ ΦΥΛΛΟΥ
(ΔΙΑΠΕΡΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΡΙΩΝ ΔΙΑΦΑΝΩΝ
ΚΑΛΥΜΜΑΤΩΝ)**

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2							
3	θ1	τ για 2 τζ	ρ για 2 τζ	τ3παρ	τ3καθ	ρ3παρ	ρ3καθ
4	0,01	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
5	2	...	...	...	...	...	...
6	4	...	...	...	...	...	...
...

	H	I
1		
2		
3	τ για 3 τζ	ρ για 3 τζ
4	τύπος (A15)	τύπος (A16)
5	...	...
6	...	...
...

(*) Για απλούστευση της εργασίας, σ' αυτές τις στήλες αντιγράφουμε τις τιμές των μεγεθών που είχαν υπολογισθεί σε προηγούμενες παραγράφους. (Προσέχουμε να αντιγράφουμε τις αριθμητικές τιμές και όχι τους τύπους από τους οποίους υπολογίζονται τα μεγέθη)

Οι τύποι (A15) και (A16) διαμορφώνονται αν εφαρμόσουμε αυτά που αναφέρθηκαν στην παραγ. 1.2.2.4. Ειδικά σ' αυτή την πτυχιακή, για τα μεγέθη τ_{12} και ρ_{12} που αναφέρονται στους τύπους (10) και (11) θεωρήθηκε ότι δεν επηρεάζονται από την πόλωση. Η μορφή των τύπων είναι:

Τύπος (A15) σε συμβολική μορφή:

$$(\tau^*) = \frac{1}{2} * [(\tau_{12} * \tau_{3_καθ}) / (1 - \rho_{12} * \rho_{3_καθ}) + (\tau_{12} * \tau_{3_παρ}) / (1 - \rho_{12} * \rho_{3_παρ})]$$

Τύπος (A15) στη σύνταξη του Excel:

$$=1/2*(((B4*E4)/(1-C4*G4)+((B4*D4)/(1-C4*F4))))$$

Τύπος (A16) σε συμβολική μορφή:

$$(\rho^*) = \frac{1}{2} * [\rho_{12} + (\tau_{12}^2 * \rho_{3_καθ}) / (1 - \rho_{12} * \rho_{3_καθ}) + \rho_{12} + (\tau_{12}^2 * \rho_{3_παρ}) / (1 - \rho_{12} * \rho_{3_παρ})]$$

Τύπος (A16) στη σύνταξη του Excel:

$$=1/2*(((C4+(B4^2*G4)/(1-C4*G4))+((C4+B4^2*F4)/(1-C4*F4))))))$$

Γενικά ισχύουν οι παρατηρήσεις που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο, στην οποία εξηγούνται οι υπολογισμοί για μονό διαφανές κάλυμμα.

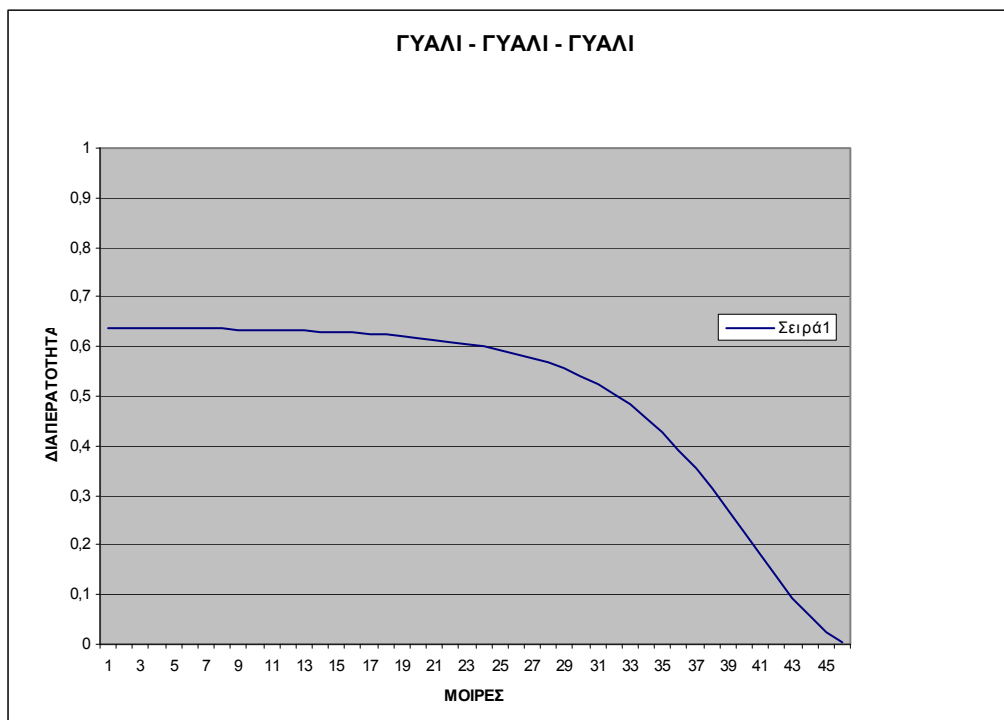
Με τη βοήθεια αυτού του λογιστικού φύλλου υπολογίσθηκε η διαπερατότητα και η ανακλαστικότητα για μερικούς συνδυασμούς διαφανών καλυμμάτων. Τα αποτελέσματα δίνονται στον παρακάτω πίνακα και στα διαγράμματα, ενώ ο πλήρης υπολογισμός δίνεται σε ηλεκτρονική μορφή στο CD που συνοδεύει την εργασία.

Στα αποτελέσματα των υπολογισμών έχουμε να παρατηρήσουμε ότι:

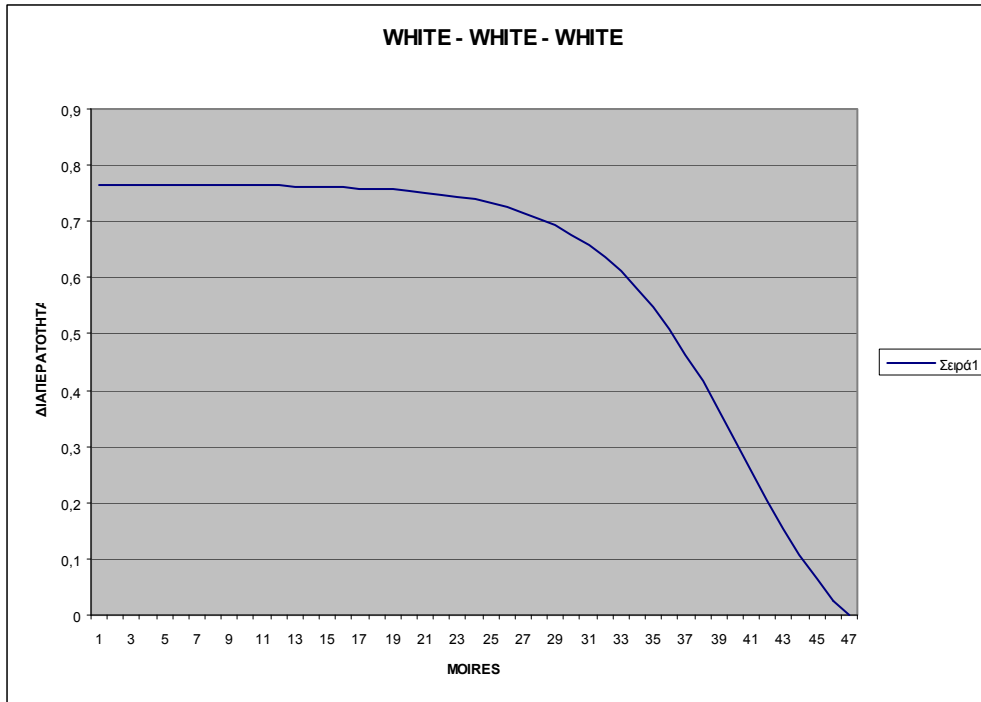
Εδώ παρατηρούμε ότι ο συνδιασμός με τρία καθαρά τζάμια είναι κατά 14% περίπου καλύτερος απότι με τρία απλά γυαλιά. Ο επόμενος καλύτερος συνδιασμός είναι αυτός με δύο απλά τζάμια και ένα τελευταίο Teflon.

	ΑΠΛΟ ΓΥΑΛΙ x3		ΚΑΘΑΡΟ ΓΥΑΛΙ x3		ΓΥΑΛΙ έξω – ΓΥΑΛΙ – TEFLON		ΓΥΑΛΙ έξω – TEΦΛΟΝ – TEΦΛΟΝ		ΓΥΑΛΙ έξω – TEΦΛΟΝ – ΓΥΑΛΙ	
	τ123	ρ123	τ123	ρ123	τ123	ρ123	τ123	ρ123	τ123	ρ123
0	0,637	0,180	0,764	0,208	0,600	0,157	0,567	0,123	0,600	0,143
0,05	0,637	0,180	0,764	0,208	0,600	0,157	0,567	0,123	0,600	0,143
2	0,637	0,180	0,764	0,208	0,600	0,157	0,567	0,123	0,600	0,143
4	0,637	0,180	0,764	0,208	0,600	0,157	0,567	0,123	0,600	0,143
6	0,637	0,180	0,764	0,208	0,600	0,157	0,566	0,123	0,600	0,143
8	0,636	0,180	0,764	0,208	0,600	0,157	0,566	0,122	0,600	0,143
10	0,636	0,180	0,764	0,208	0,599	0,157	0,565	0,122	0,599	0,143
12	0,636	0,180	0,764	0,208	0,599	0,157	0,565	0,122	0,599	0,143
14	0,635	0,180	0,764	0,209	0,598	0,157	0,564	0,122	0,598	0,143
16	0,634	0,179	0,764	0,209	0,597	0,157	0,563	0,122	0,597	0,143
18	0,634	0,179	0,763	0,209	0,596	0,157	0,562	0,122	0,596	0,143
20	0,633	0,179	0,763	0,209	0,595	0,157	0,560	0,123	0,595	0,143
22	0,632	0,179	0,763	0,209	0,594	0,157	0,559	0,123	0,594	0,143
24	0,631	0,179	0,762	0,210	0,592	0,157	0,557	0,123	0,592	0,143
26	0,629	0,180	0,761	0,210	0,591	0,157	0,555	0,123	0,590	0,143
28	0,628	0,180	0,760	0,211	0,589	0,157	0,552	0,124	0,588	0,144
30	0,626	0,181	0,759	0,212	0,586	0,158	0,550	0,124	0,586	0,144
32	0,623	0,181	0,758	0,213	0,584	0,159	0,547	0,125	0,583	0,145
34	0,621	0,182	0,756	0,215	0,581	0,160	0,543	0,127	0,580	0,146
36	0,618	0,184	0,754	0,217	0,577	0,161	0,539	0,128	0,577	0,148
38	0,615	0,186	0,751	0,219	0,573	0,163	0,535	0,130	0,573	0,150
40	0,611	0,188	0,748	0,222	0,568	0,165	0,529	0,132	0,568	0,152
42	0,606	0,191	0,743	0,226	0,563	0,168	0,523	0,136	0,562	0,155
44	0,600	0,194	0,738	0,231	0,557	0,171	0,516	0,139	0,556	0,159
46	0,594	0,199	0,732	0,237	0,550	0,176	0,508	0,144	0,549	0,164
48	0,587	0,205	0,725	0,244	0,541	0,181	0,499	0,150	0,540	0,169
50	0,578	0,212	0,716	0,252	0,532	0,188	0,488	0,157	0,530	0,176
52	0,568	0,220	0,706	0,263	0,520	0,196	0,476	0,165	0,518	0,185

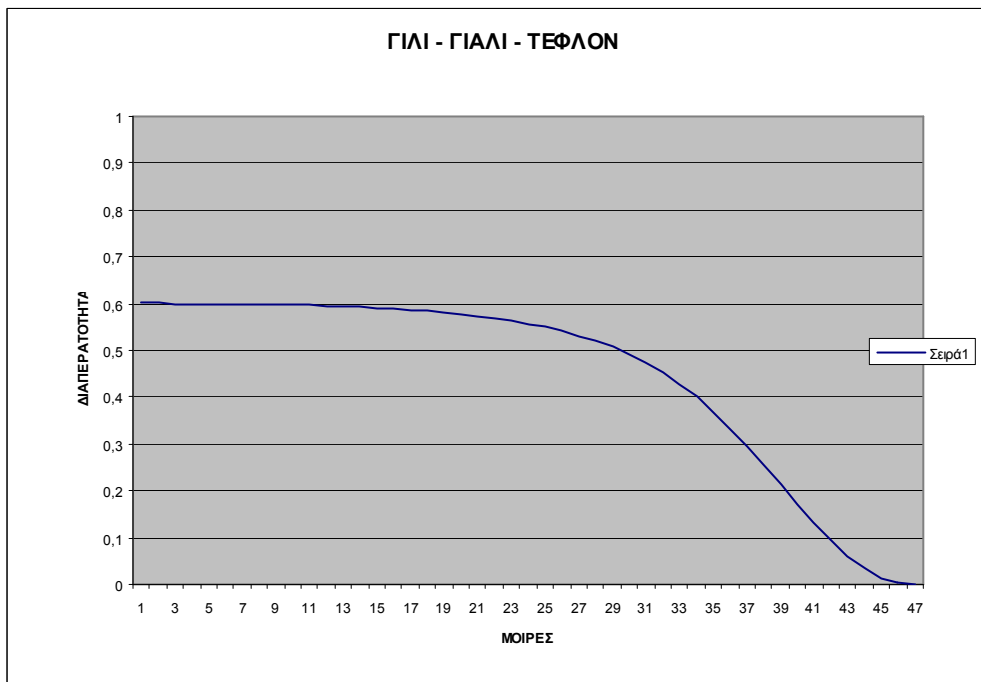
54	0,555	0,230	0,693	0,275	0,507	0,207	0,461	0,176	0,505	0,195
56	0,541	0,243	0,677	0,290	0,491	0,219	0,445	0,188	0,489	0,207
58	0,525	0,258	0,659	0,308	0,473	0,234	0,425	0,203	0,471	0,222
60	0,505	0,276	0,637	0,330	0,452	0,252	0,403	0,220	0,450	0,239
62	0,482	0,297	0,611	0,355	0,428	0,273	0,378	0,241	0,425	0,260
64	0,456	0,322	0,581	0,384	0,401	0,299	0,350	0,266	0,398	0,284
66	0,426	0,351	0,547	0,419	0,369	0,329	0,318	0,295	0,366	0,311
68	0,393	0,385	0,507	0,458	0,334	0,363	0,283	0,328	0,332	0,343
70	0,355	0,424	0,464	0,501	0,296	0,403	0,246	0,366	0,294	0,379
72	0,314	0,467	0,415	0,549	0,256	0,448	0,207	0,408	0,253	0,420
74	0,271	0,515	0,364	0,600	0,214	0,498	0,167	0,455	0,212	0,465
76	0,226	0,565	0,311	0,654	0,172	0,551	0,130	0,506	0,170	0,514
78	0,180	0,617	0,257	0,708	0,131	0,605	0,095	0,561	0,130	0,567
80	0,136	0,667	0,204	0,761	0,094	0,658	0,065	0,620	0,093	0,624
82	0,093	0,714	0,153	0,812	0,061	0,708	0,040	0,681	0,060	0,684
84	0,056	0,760	0,105	0,860	0,035	0,756	0,021	0,745	0,034	0,746
86	0,026	0,810	0,062	0,904	0,015	0,809	0,008	0,812	0,015	0,812
88	0,006	0,880	0,025	0,945	0,003	0,880	0,002	0,886	0,003	0,886
90	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000



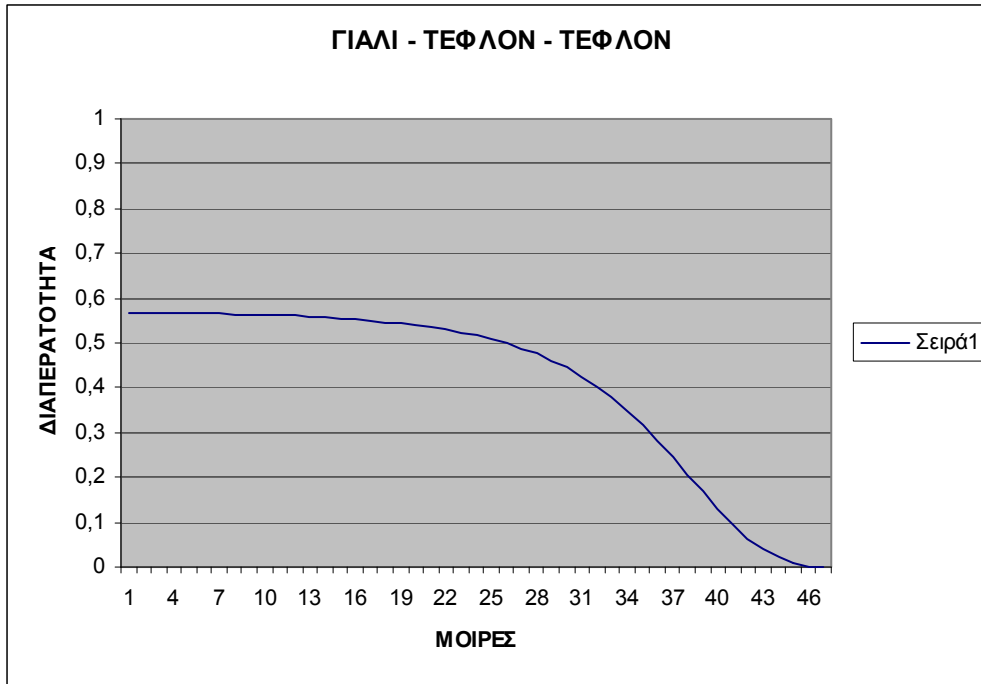
Σχήμα 3.9 Διάγραμμα διαπερατότητας με συνδυασμό τριών απλών τζαμιών



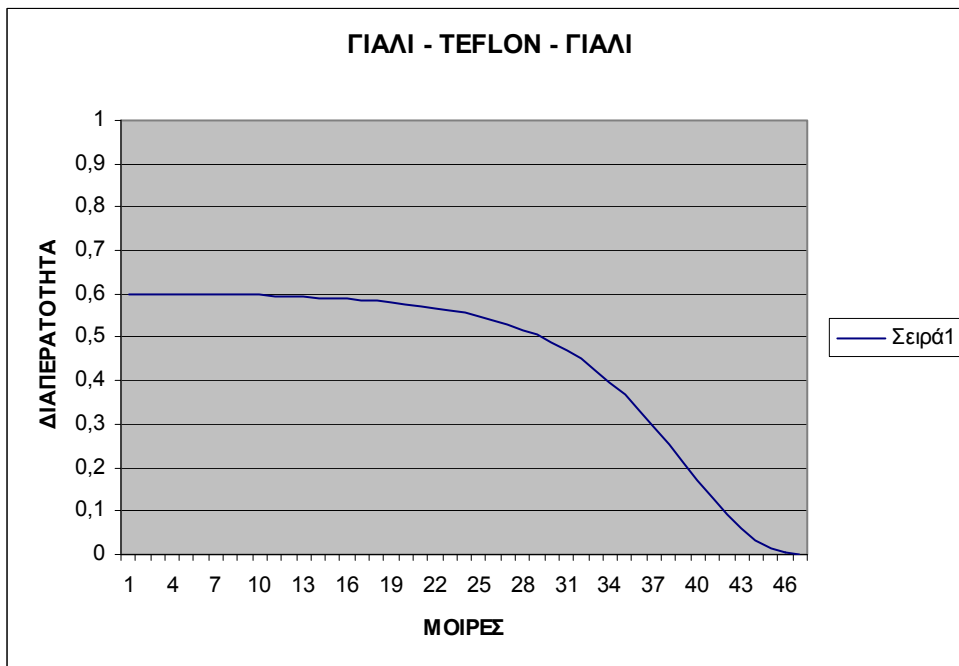
Σχήμα 3.10 Διάγραμμα διαπερατότητας με συνδυασμό τριών καθαρών τζαμιών



Σχήμα 3.11 Διάγραμμα διαπερατότητας με συνδυασμό δύο απλών τζαμιών και ένα Teflon



Σχήμα 3.12 Διάγραμμα διαπερατότητας με συνδυασμό ενός απλού τζαμιού εξωτερικά και δύο Teflon



Σχήμα 3.13 Διάγραμμα διαπερατότητας με συνδυασμό ενός απλού τζαμιού εξωτερικά ενός Teflon ενδιάμεσα και ενός απλού τζαμιού εσωτερικά

ΚΕΦ.4 Παρουσίαση σχεδίων

Η παρουσίαση των σχεδίων καθώς και το κόστος των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν φαίνονται στο τελευταίο κεφάλαιο.

ΚΕΦ. 5. Συμπεράσματα από τους υπολογισμούς των απωλειών επίπεδου ηλιακού συλλέκτη

Βλέπουμε λοιπόν από τους διάφορους υπολογισμούς που προηγήθηκαν πόσο σημαντικό ρόλο παίζει η καλή μόνωση του συλλέκτη ,καθώς επίσης το υλικό της συλλεκτήριας επιφάνειας και του διαφανούς καλύμματος που θα επιλέξουμε έχοντας ως γνώμονα και το κόστος αυτών.Χρησιμοποιώντας ακριβά υλικά έχουμε μεγάλο κόστος από τη μία όμως πετυχαίνουμε μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης και κατά συνέπεια μικραίνει ο χρόνος απόσβεσης.

ΚΕΦ. 6. Γενικότερες ιδέες για αξιοποίηση της ηλιακής ενέργειας

6.1. Το ενδιαφέρον για χρήση της ηλιακής ενέργειας στη θέρμανση διαρκώς αυξάνεται.

Οι λόγοι είναι οι ακόλουθοι:

1. Η τιμή του πετρελαίου έχει αυξηθεί πάρα πολύ τον τελευταίο καιρό (αυτές οι παρατηρήσεις γράφονται μετά τη μεγάλη αύξηση της τιμής του πετρελαίου στις αρχές του 2008).
2. Η ηλιακή ενέργεια είναι μια πρακτικά ανεξάντλητη πηγή, καθώς η ζωή του Ηλίου ξεπερνά τα Δις έτη.
3. Είναι μια πηγή ενέργειας τεραστίου μεγέθους, καθώς επί της γης προσπίπτει ετησίως ηλιακή ενέργεια ίση με 360×10^{15} kWh. Το ποσόν αυτό υπερβαίνει την παγκόσμια ενεργειακή ζήτηση κατά 2900 φορές, περίπου.

Σημείωση:

Η ηλιακή ενέργεια σε kWh/m² που προσπίπτει ετησίως στις διάφορες χώρες της Ευρώπης δίδεται στο σχήμα 1.

Σχήμα 1: Η ηλιακή ενέργεια σε kWh/m² που προσπίπτει ετησίως στο οριζόντιο επίπεδο στις διάφορες χώρες της Ευρώπης. Λεπτομερή δεδομένα της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει μηνιαίως στις διάφορες περιοχές της χώρας δίδονται στο Πίνακα 2.

6.2. Η συνεισφορά της ηλιακής ενέργειας στην εξοικονόμηση ενέργειας φαίνεται από τα εξής:

Έχει υπολογισθεί ότι τα $\frac{3}{4}$ των ενεργειακών αναγκών των νοικοκυριών στην Ευρώπη αντιπροσωπεύουν τα φορτία θέρμανσης χώρων. Επίσης, το 10-12% αντιπροσωπεύει τις ανάγκες σε ζεστό νερό.

Συνεπώς, το 90% περίπου των ενεργειακών αναγκών ενός νοικοκυριού στην Ευρώπη αντιστοιχεί στις ανάγκες θέρμανσης χώρων και ζεστού νερού. Το υπόλοιπο 10-13% απαιτείται υπό μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, βλ. σχήμα 2.

Σχήμα 2.: Κατανομή των ενεργειακών αναγκών σε νοικοκυριά στην Ευρώπη

6.3 Η συνεισφορά της χρήσης ηλιακής ενέργειας φαίνεται από τα παρακάτω

Η αυξανόμενη ευαισθησία για καθαρό-πράσινο περιβάλλον, μέσω της μείωσης των ρυπαντών και κυρίως των αερίων του θερμοκηπίου, σε συνδυασμό με την προσπάθεια υποκατάστασης των συμβατικών στερεών και υγρών καυσίμων (C, C_xH_y), έχουν οδηγήσει σε διεύρυνση της χρήσης των Α.Π.Ε. με αυξανόμενο ρυθμό.

- Με τις Α.Π.Ε. παράγεται ηλεκτρική και θερμική ενέργεια με ελάχιστη, αν όχι μηδενική, έκλυση ρυπαντικών.
- Με τη βελτίωση της τεχνολογίας των ηλιακών θερμικών συστημάτων και με ορθολογικό σχεδιασμό, των υβριδικών ή των ενεργειακά ολοκληρωμένων συστημάτων, είναι δυνατό να καλυφθεί άνω του 70% της ετησίως απαιτούμενης θερμικής ενέργειας, βλ. σχήμα 3.

Σχήμα 3.: Φορτίο Ηλιακής θέρμανσης για 150 διαμερίσματα σε σύγκριση με τη διαθέσιμη ηλιακή ενέργεια, κατά τη διάρκεια των μηνών του έτους. Δίδονται δύο σενάρια για θέρμανση χώρων όπου με μακροχρόνια αποθήκευση θερμότητας καλύπτεται το 70% του θερμικού φορτίου.

Η υποκατάσταση των συμβατικών καυσίμων από τις Α.Π.Ε. συνεισφέρει στην μείωση της έκλυσης ρυπαντών στην ατμόσφαιρα, Σύγκριση των τιμών έκλυσης CO_2 σε συνδυασμό ηλιακής ενέργειας με διάφορες συμβατικές πηγές ενέργειας δίνει το σχήμα 4.

Σχήμα 4: Σύγκριση συμβατικών και ηλιακών συστημάτων θέρμανσης νερού υπό υβριδική μορφή. Η μέση έκλυση CO₂ μειώνεται κατά 50%, περίπου.

6.4 Τα οικονομικά οφέλη από τη χρήση Η.Μ.Ε. είναι τα παρακάτω

Κατ'αρχήν, ένα ουσιαστικό κριτήριο για την οικονομική απόδοση των συστημάτων θέρμανσης με ηλιακή ενέργεια είναι η χρονική σύμπτωση μεταξύ της διαθέσιμης ποσότητας ηλιακής ενέργειας και της ενεργειακής ζήτησης (χρονική κατανομή θερμικού φορτίου).

- Γενικά, μπορεί κανείς να θεωρήσει ότι ένα νοικοκυριό απαιτεί σταθερό ποσό ζεστού νερού κατά τη διάρκεια του έτους. Τα συστήματα ηλιακών συλλεκτών ανταποκρίνονται πλήρως στο φορτίο αυτό και μπορούν να καλύψουν αποτελεσματικά 60-70% της ετήσιας ζήτησης.

Αντίθετα, κατά την περίοδο που το φορτίο θέρμανσης χώρου είναι απαραίτητο και συγχρόνως υψηλό (χειμερινή περίοδος) η διαθέσιμη ηλιακή ακτινοβολία είναι περιορισμένη, βλ. σχήμα 3.

- Στην περίπτωση αυτή με τη χρήση μεγαλύτερης συνολικά επιφάνειας ηλιακών συλλεκτών και κατάλληλης μεταξύ τους σύνδεσης (συλλέκτες συνδεδεμένοι εν σειρά και παραλλήλω) καθώς και με μια πρόσθετη δεξαμενή θέρμανσης χώρου, μπορούμε να καλύψουμε ένα σημαντικό ποσοστό του φορτίου θέρμανσης.
- Για να επιτευχθεί μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα και για οικονομικές λύσεις, συνιστάται κατά τον σχεδιασμό των συστημάτων ηλιακής ενέργειας να συνδεθούν με:

α. χρήση μονωτικών υλικών στα τοιχώματα και υλικών για μείωση των θερμαντικών απωλειών, βλ. σχήμα 5.

Σχήμα 5: Μία έξυπνη καινοτομία για τη μόνωση σωληνώσεων δια μέσου τοιχωμάτων.

- Το ζελατινώδες υλικό διογκώνεται με την επαφή του σε υδάτινο περιβάλλον ώστε να φράσσει και να μονώσει και την πλέον λεπτή χαραμάδα μειώνοντας αποτελεσματικά τις απώλειες.
- Μείωση απωλειών με έξυπνα υλικά περιορισμός της διαφυγής αέρα που διαφεύγει μέσω των χαραμιάδων .

β. σωστό προσανατολισμό, όπως είδαμε στο κεφάλαιο 3 με στέγη που να "βλέπει" στο Νοτιά, και σχεδίαση τέτοια ώστε η ίδια η στέγη να λειτουργεί ως προθερμαντήρας του αέρα για τις ανάγκες της οικίας, βλ. σχήμα 6.

Σχήμα 6: Το σχήμα δείχνει την αρχή λειτουργίας μιας ενεργειακής οροφής. Με μια απλή σχεδίαση επιτυγχάνουμε προθέρμανση του αέρα που διοχετεύεται στον κλειστό χώρο για θέρμανσή του.

γ. Ενεργειακές οροφές ή συλλέκτες ενσωματωμένους στις οροφές και στις προσόψεις, βλ. σχήμα 7, καθώς και στον 1^ο τόμο της σειράς Μαθήματα Ήπιων Μορφών Ενέργειας "Περιβάλλον και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας"

Σχήμα 7: Τομή μιας "Ενεργειακής" πρόσοψης από ξύλινο πλαίσιο. Η συνολική επιφάνεια των εγκαταστημένων στην πρόσοψη συλλεκτών φθάνει συνήθως τα 50 m²

δ. Συμπληρωματική σύνδεση με λέβητα καύσης πετρελαίου (Diesel) ή φυσικού αερίου , βλ. §10.6,4, ή με αντλία θερμότητας, βλ. σχήμα 8.

Σχήμα 8: Συνδυασμός Η.Σ με αντλία θερμότητας για θέρμανση χώρου και παραγωγή ζεστού νερού.

ε. Συνδυασμός με εποχιακή αποθήκευση θερμότητας στο έδαφος, βλ. σχήμα 10,27. Κεφ. 10,6,3

6.5 Η ετήσια ηλιακή ακτινοβολία στο οριζόντιο επίπεδο της επιφάνειας της γης για διάφορες χώρες της Ευρώπης φαίνεται στον παρακάτω πίνακα

Ειδικότερα, για τις ακόλουθες χώρες ισχύει:

Αυστρία	1000-14000 kWh/m ² έτος
Γερμανία	900-1200 kWh/m ² έτος
Δανία	900-1100 kWh/m ² έτος
Ελλάδα	1380-1688 kWh/m ² έτος ή 4968-6080 MJ/ m ² έτος
Σουηδία	900-1000 kWh/m ² έτος

6.6 Η ενεργειακή απόδοση-παραγωγή θερμικής ενέργειας- των συλλεκτών ανά έτος δίνεται παρακάτω

Εξαρτάται κατ' αρχήν από τον τύπο και την τεχνολογία τους. Ειδική ανάλυση έγινε με τα προβλήματα 7,1-7,4Ωστόσο, στις ανωτέρω χώρες η θερμική ενέργεια που παράγεται ανέρχεται σε 350-450 kWh/m² έτος για τις Β. Ευρωπαϊκές χώρες και σε 500-600 kWh/m² έτος για την Ελλάδα και τις χώρες της Μεσογείου.

6.7 Το ετήσιο φορτίο σε ζεστό νερό (45°C) φαίνεται παρακάτω

Οι τιμές για διάφορες χώρες είναι οι ακόλουθες:

Αυστρία	650-950 kWh/άτομο
Γερμανία	740-1040 kWh/άτομο
Δανία	860 kWh/άτομο
Ελλάδα	739 kWh/άτομο
Σουηδία	700-950 kWh/άτομο

6.8 το ετήσιο θερμικό φορτίο για θέρμανση χώρων φαίνεται στον παρακάτω πίνακα

Αυστρία	100-150 kWh/m ² επιφάνειας του κτιρίου
Γερμανία	100-150 kWh/m ² επιφάνειας του κτιρίου
Δανία	100 kWh/m ² επιφάνειας του κτιρίου
Ελλάδα	30-50 kWh/m ² επιφάνειας του κτιρίου
Σουηδία	600-1000 kWh/m ² επιφάνειας κτιρίου

Σημείωση: Οι διαφορές οφείλονται κυρίως στο τοπικό κλίμα. Π.χ. για την Ελλάδα υπάρχει μεγάλη διαφορά μεταξύ Κρήτης, Νησιών Αιγαίου και Β. Ελλάδος Μακεδονίας, Θράκης, Ηπείρου.

6.9 Οι τυπικές κατά προσέγγιση, τιμές συστήματος ηλιακών συλλεκτών που χρησιμοποιείται για παραγωγή ζεστού νερού σε κατοικίες είναι

α Μέγεθος συλλεκτών	0,5-0,8 m ² ανά άτομο
β Μέγεθος δεξαμενής αποθήκευσης ζεστού νερού	60-70 m ² επιφάνειας συλλέκτη

- Ωστόσο. Όταν το σύστημα ηλιακών συλλεκτών χρησιμοποιείται για θέρμανση χώρων, βλ. σχήματα 7.3.3 και 7.3.4 τότε έχουμε τις ακόλουθες κατά προσέγγιση τιμές.

α. Μέγεθος συλλεκτών	1,5-2,5 ανά kWh ετήσιας θέρμανσης
β. Μέγεθος δεξαμενής εποχιακής θέρμανσης	60-70 l ανά m ³ / m ² επιφάνειας συλλέκτη

6.10 Είναι δυνατός ο συνδυασμός Ηλιακών Συλλεκτών με σύστημα Βιο-ενέργειας

6.11 Δώστε παραδείγματα συμπαραγωγής συστημάτων ηλιακών συλλεκτών με συστήματα επεξεργασίας Βιομάζας- Βιο-Ενέργειας.

Είναι δυνατή η λειτουργία κεντρικού εργοστασίου επεξεργασίας λημμάτων ή αποβλήτων φυτικών. Στην τελευταία περίπτωση η βελτιωμένη μηχανή Striling είναι μια άμεσα εφικτή λύση βλ. σχήμα 13.

Σχήμα 13: Σχηματική αναπαράσταση μηχανής Striling τύπου α όπου τα δύο έμβολα ευρίσκονται υπό γωνία 90°.

6.12 Είναι δυνατό με ηλιακούς συλλέκτες να επιτευχθεί παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας:

Το ανώτερο σχήμα δείχνει μια μηχανή Striling η οποία παράγει 28 kWh καθώς και θερμική ισχύ.

6.13 Είναι δυνατό να επιτευχθεί κλιματισμός (air-conditioning) μέσω ηλιακών συλλεκτών

- Πράγματι η μεγάλη πρόκληση είναι η σχεδίαση συστημάτων Ηλιακής Ενέργειας σε συνδυασμό με συμβατική νέα τεχνολογία για παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας π.χ. για κλιματισμό των κτιρίων, τομέας ο οποίος στις Η.Π.Α. καλύπτει το 45% της ζήτησης της ηλιακής ενέργειας.
- Η διαθέσιμη τεχνολογία σήμερα καλύπτει την ανάγκη για θέρμανση χώρων αποτελεσματικά, ακόμη και για ψύξη.
- Για το σκοπό αυτό πράγματι απαιτούνται συλλέκτες που παρέχουν στην έξοδό του θερμοκρασία υψηλότερη των 90° C, π.χ. ηλιακοί συλλέκτες κενού, συγκεντρωτικοί συλλέκτες κ.α.

Οι ηλιακοί αυτοί συλλέκτες συνδυάζονται με θερμικούς ψύκτες ή ψυκτικές μηχανές απορρόφησης, ώστε να ολοκληρωθεί ένα σύστημα που να επιτυγχάνει κλιματισμό (θέρμανση-ψύξη).

- Για το σκοπό αυτό και για μέσης-μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας χρησιμοποιούνται συγκεντρωτικού π.χ. παραβολικοί, ηλιακοί συλλέκτες που συνδέονται με μια εγκατάσταση παραγωγής ισχύος π.χ. της τάξεως των 10 kW έως 1 MW ακόμη και μέχρι 10MW. Η εγκατάσταση αυτή μπορεί να συνδεθεί και με το δίκτυο.

Ένα τέτοιο σύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπως αυτό του σχήματος 10.30 και 10.31 μπορεί να σχεδιασθεί έτσι ώστε να επιτυγχάνεται

θέρμανση ή ψύξη παράλληλα με την ηλεκτρική ενέργεια, περίπτωση συμπαραγωγής και τριπαραγωγής, βλ. Τόμος Ι, "Περιβάλλον και Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας".

- Για τα συστήματα μέχρι 1 MW χρησιμοποιείται (ατμο)στρόβιλος, που λειτουργεί με τον κύκλο Rankine, για την παραγωγή Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Ειδικότερα, οι ηλιακοί συλλέκτες αποδίδουν θερμότητα που παράγει (υδρ)ατμούς μέσω ενός εναλλάκτη. Ο (υδρ)ατμός κινεί τον στρόβιλο Rankine. Ο στρόβιλος μετατρέπει μέρος της ενέργειας σε ηλεκτρική, και η υπόλοιπη θερμότητα υπό μορφή ζεστού νερού χρησιμοποιείται σε μηχανές ψύξης ή για οικιακό ή βιομηχανικό ζεστό νερό ή ακόμα και για θέρμανση θερμοκηπίων.

Η θερμοκρασία του ζεστού νερού από τον στρόβιλο κυμαίνεται μεταξύ 40°-90°.

Εν κατακλείδι:

Ένα τυπικό ηλιακό εργοστάσιο παραγωγής Ηλεκτρικής Ενέργειας περιλαμβάνει:

A. Τη μονάδα των ηλιακών συλλεκτών: Από έξι σειρές παραβολικών κατόπτρων, βλ. σχήμα 10.30 και 10.31 με ένα άξονα περιστροφής για παρακολούθηση του ηλίου.

B. Το σύστημα κυκλοφορίας του ελαίου: σωληνώσεις, κυκλοφορητής, δοχείο διαστολής και δοχείο αποθήκευσης. Μέσω των σωληνώσεων και των κυκλοφορητών το έλαιο οδηγείται σε μια σειρά από εναλλάκτες θερμότητας. Οι εναλλάκτες μετατρέπουν το νερό ή το έλαιο σε υδρατμό που οδηγείται στο στρόβιλο συμπυκνωμένου υδρατμού συνδυασμένο με συμβατική γεννήτρια.

Γ. Το σύστημα παραγωγής υδρατμών:

Αποτελείται από γεννήτρια υδρατμών και εναλλάκτες μέσω των οποίων το έλαιο (ψυχομένο) θερμαίνει νερό του οποίου οδηγούνται στο στρόβιλο.

Δ. Για ένα σύστημα 5MW απαιτούνται 32000m² συλλέκτες και έκταση πλαισίων 75000m², με ετήσια παραγωγή 1100MW ηλεκτρικής ενέργειας.