



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

## Μέτρηση Οπτικών Ιδιοτήτων Υλικών Σκίασης Που Χρησιμοποιούνται Σε Συστήματα Φυσικού Φωτισμού

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Α. Παλιούρας

**Επιβλέπων Καθηγητής:** Φραγκίσκος Β. Τοπαλής,  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

**Επιβλέπων:** Λάμπρος Δούλος,  
Υποψήφιος Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2008





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

## Μέτρηση Οπτικών Ιδιοτήτων Υλικών Σκίασης Που Χρησιμοποιούνται Σε Συστήματα Φυσικού Φωτισμού

### ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Γεώργιος Α. Παλιούρας

**Επιβλέπων Καθηγητής:** Φραγκίσκος Β. Τοπαλής,  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.  
**Επιβλέπων:** Λάμπρος Δούλος,  
Υποψήφιος Διδάκτωρ Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την .....

.....  
Φ. Β. Τοπαλής  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Ι. Α. Σταθόπουλος  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Π. Δ. Μπούρκας  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2008

.....  
Γεώργιος Α. Παλιούρας

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Γεώργιος Α. Παλιούρας, 2008.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## Περίληψη

Τα τελευταία χρόνια υπάρχει μία αυξητική τάση στην τοποθέτηση συστημάτων φυσικού φωτισμού σε κτίρια. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να είναι ένα απλό σκίαστρο τοποθετημένο μπροστά σε κάποιο παράθυρο ή μία περίπλοκη κατασκευή οδήγησης του φυσικού φωτός προς εσωτερικούς χώρους. Ανεξάρτητα όμως από τον βαθμό πολυπλοκότητας, η τοποθέτηση αυτών των συστημάτων επηρεάζει σημαντικά την ποσότητα του εισερχόμενου φωτός σε ένα εσωτερικό χώρο ενώ καθορίζει, συχνά αποκλειστικά, τις κατευθύνσεις προς τις οποίες το εισερχόμενο φως θα κατευθυνθεί.

Σε μια σύγχρονη πραγματικότητα όπου το ζητούμενο είναι η μέγιστη δυνατή εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια, η τοποθέτηση συστημάτων εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού και σκιάστρων προσφέρει τη δυνατότητα μείωσης των δαπανών σε τεχνητό φωτισμό και κλιματισμό εσωτερικών χώρων. Η χρήση σύγχρονων εφαρμογών υπολογισμού και προσομοίωσης ενισχύει τη δυνατότητα αυτή καθώς μηχανικοί και ερευνητές έχουν την ευχέρεια για λεπτομερή σχεδίαση συστημάτων φυσικού φωτισμού. Η έλλειψη όμως των οπτικών ιδιοτήτων των υλικών που αποτελούν τα συστήματα αυτά αποτελεί τροχοπέδη για τον αρτιότερο σχεδιασμό και την εύστοχη τοποθέτηση τους.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μελέτη και καταγραφή των οπτικών ιδιοτήτων δύο τύπων υλικών που χρησιμοποιούνται ευρέως σε κτίρια για σκίαση, τα υφασμάτινα σκίαστρα και μεταλλικά πλέγματα (στήτες). Παρουσιάζεται η μεθοδολογία καταγραφής των οπτικών ιδιοτήτων μέσω σειράς πειραμάτων, πραγματοποιείται ανάλυση και επεξεργασία των αποτελεσμάτων και παρατίθενται πολικά διαγράμματα της διαπερατότητας φωτισμού και υπολογίζεται ο συντελεστής διαπερατότητας για κάθε υλικό ξεχωριστά συνολικά για διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης του φωτός σε αυτά.

Η λεπτομερής καταγραφή αυτών των ιδιοτήτων έχει τη δυνατότητα, επεκτείνοντας την, να προσφέρει μία ισχυρή βάση δεδομένων που θα βοηθήσει τους σχεδιαστές συστημάτων φυσικού φωτισμού.

## Λέξεις Κλειδιά

Φυσικός Φωτισμός, Συστήματα Φυσικού Φωτισμού, Πολικά Διαγράμματα Διαπερατότητας, Διαπερατότητα, Υλικά Φυσικού Φωτισμού, Εξοικονόμηση Ενέργειας, Μετρήσεις, Επεξεργασία Μετρήσεων, Διάχυση.

## **Abstract**

Recent years have seen an increasing trend towards the placement of daylighting systems in buildings. Such systems vary from simple shading devices placed over windows to complex light tunnels that propagate daylight towards the inner spaces of a building. Regardless though of the level of complexity that accompanies such systems, their installation regulates, often exclusively, the quantity of incoming daylight and greatly influences the way that light disperses into the interior.

Today's reality in building design dictates that energy conservation is of the highest importance. The use of day lighting systems offers great potential towards an overall reduction in the cost of artificial lighting and cooling or heating loads in offices or domestic spaces. In addition, the use of state of the art computational and simulation software enhances this fore-mentioned potential by giving engineers and other designers the possibility of detailed day lighting design. Unfortunately though, there is a distinct absence of quantitative luminous properties of the materials which consist the day lighting systems in use today. The shortage of data at hand becomes a restriction for the optimum design and installation of such systems

The goal of the present paper is the measurement and study of the luminous characteristics of two types of day lighting materials, wire netting and canvas fabric. Both are in use today extensively in shading devices and other day lighting systems. This paper presents a methodology of measurement via specific experiments which are presented in detail. The data collected is processed and analyzed in depth. The results of this analysis are presented via polar diagrams of transmittance and overall transmittance factors for each respective sample and for a variety of angles of incident light.

Hopefully a more detailed recording of these luminous characteristics can provide a powerful database from which any designer of day lighting systems can access valuable information and produce systems of optimum output.

## **Keywords**

Day lighting, Day lighting systems, Polar diagrams of Transmittance, Transmittance, Diffuse, Energy saving, Measurements

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της εργασίας καθηγητή Ε.Μ.Π. Φραγκίσκο Β. Τοπαλή και τον συνεπιβλέποντα Υποψήφιο διδάκτορα Λάμπρο Δούλο για την πολύτιμη καθοδήγηση τους για την πραγματοποίηση αυτής της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες Κωνσταντίνο Μπουρούση, Νίκο Χονδράκη και Ιφιγένεια Κατέρη για την βοήθεια που προσέφεραν για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

## Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη .....	5	
Λέξεις Κλειδιά .....	5	
Abstract .....	6	
Keywords .....	6	
Ευχαριστίες .....	7	
Πίνακας Περιεχομένων .....	8	
ΜΕΡΟΣ Α : ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ		
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ .. 10		
1.1 Γενικά.....	10	
1.2 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό σε κτίρια .....	10	
1.3 Φυσικός φωτισμός .....	11	
1.4 Συστήματα φυσικού φωτισμού .....	12	
1.4.1 Συστήματα χωρίς σκίαση.....	12	
1.4.2 Συστήματα με σκίαση.....	13	
1.5 Προδιαγραφές συστημάτων φυσικού φωτισμού .....	14	
1.6 Σκοπός της παρούσας εργασίας.....	15	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑΣ .....		16
2.1 Στερεά γωνία.....	16	
2.2 Φωτεινή ενέργεια και φωτεινή ροή.....	16	
2.2.1 Φωτεινή ενέργεια.....	16	
2.2.2 Φωτεινή ροή.....	17	
2.3 Φωτεινή Ένταση.....	17	
2.4 Ένταση φωτισμού.....	18	
2.5 Βασική οπτική.....	18	
2.5.1 Ανάκλαση .....	18	
2.5.2 Απορρόφηση.....	20	
2.5.3 Διαπερατότητα ή Διαφάνεια.....	20	
2.5.4 Διάθλαση – Νόμος Snell.....	21	
2.6 Φωτομετρικός νόμος των αποστάσεων.....	22	
2.7 Φωτομετρικά επίπεδα .....	23	
2.7.1 Γενικά.....	23	
2.7.2 Επίπεδα μέτρησης.....	24	
2.7.3 Υπολογιστικές σχέσεις μεταξύ επιπέδων [CIE 121, 3.4.4].....	28	
ΜΕΡΟΣ Β: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ		
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ .....		29
3.1 Εισαγωγή .....	29	



3.2 Εξεταζόμενα δείγματα .....	29
3.3 Φωτεινή πηγή.....	32
3.4 Μετρούμενα φωτομετρικά μεγέθη.....	32
3.5 Γεωμετρία μετρήσεων.....	33
3.6 Περιγραφή πειραματικών διατάξεων.....	33
3.6.1 Περιγραφή πειραματικής διατάξεως για πρόσπτωση υπό γωνία 0 μοιρών.....	33
3.6.2 Περιγραφή πειραματικής διατάξεως για πρόσπτωση 30 και 45 μοιρών.....	37
3.8 Μεθοδολογία των μετρήσεων.....	41
3.9 Πηγές σφαλμάτων.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	44
4.1 Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας.....	44
4.1.1 Δείγμα 1 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού $0^\circ$ .....	45
4.1.2 Δείγμα 2 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού $0^\circ$ .....	48
4.1.3 Δείγμα 3 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού $0^\circ$ .....	51
4.1.4 Δείγμα 4 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού $0^\circ$ .....	54
4.1.5 Δείγμα 5 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού $0^\circ$ .....	57
4.1.6 Δείγμα 4 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού $30^\circ$ .....	60
4.1.7 Δείγμα 5 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού $30^\circ$ .....	65
4.1.8 Δείγμα 1 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού $45^\circ$ .....	70
4.1.9 Δείγμα 2 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού $45^\circ$ .....	73
4.1.10 Δείγμα 3 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού $45^\circ$ .....	76
4.1.11 Δείγμα 4 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού $45^\circ$ .....	79
4.1.12 Δείγμα 5 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού $45^\circ$ .....	84
4.1.13 Σχολιασμός γραφημάτων.....	89
4.2 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας δειγμάτων .....	98
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ .....	105
5.1 Συμπεράσματα.....	105
5.2 Προοπτικές.....	106
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ.....	108
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	132

## ΜΕΡΟΣ Α : ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΦΥΣΙΚΟΥ ΦΩΤΙΣΜΟΥ

#### 1.1 Γενικά

Η ολοένα και αυξανόμενη παγκόσμια ζήτηση ενέργειας σε συνάρτηση με την ταυτόχρονη μείωση των ορυκτών ενεργειακών πόρων στο δεύτερο μισό του περασμένου αιώνα έδωσαν το έναυσμα για την έρευνα και ανάπτυξη μεθόδων και συστημάτων εξοικονόμησης ενέργειας καθώς και τη χρήση ανανεώσιμων μορφών ενέργειας.

Σήμερα, περισσότερο από ποτέ άλλοτε, το ζήτημα της εξοικονόμησης ενέργειας έχει αποκτήσει ζωτική σημασία καθώς κατά την εκτίμηση της Ε.Ι.Α. μέχρι το 2025 η παγκόσμια κατανάλωση ενέργειας θα έχει αυξηθεί κατά 54% σε σχέση με την αντίστοιχη του 2001[1].

Η προσπάθεια ανάπτυξης συστημάτων και μεθόδων εξοικονόμησης αποτελεί αντικείμενο ενός μεγάλου αριθμού ερευνητών ανά την υφήλιο και εκτείνεται σε πολλούς τομείς της επιστήμης.

Αξιοσημείωτη είναι η κινητικότητα που παρατηρείται στον τομέα της εξοικονόμησης ενέργειας σε κτίρια. Η κατανάλωση ενέργειας από κτίρια αποτελεί ένα μεγάλο μέρος της συνολικής κατανάλωσης στις σύγχρονες κοινωνίες του δυτικού κόσμου. Γι αυτό το λόγο η εύρεση και εφαρμογή διαδικασιών για τον περιορισμό της κατανάλωσης αυτής κρίνεται επιτακτική.

#### 1.2 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό σε κτίρια

Τα σύγχρονα κτίρια χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται : τα βιομηχανικά, τα εμπορικά και τα οικιακά. Είναι προφανές ότι ο τύπος και τα ποσά ενέργειας που απαιτούν για την λειτουργία τους οι τρεις αυτές κατηγορίες κτιρίων διαφέρουν αρκετά μεταξύ τους. Μοιράζονται όμως την κοινή ανάγκη για φωτισμό των εσωτερικών τους χώρων. Φαίνεται δε, ότι η κοινή αυτή ανάγκη οδηγεί στη δαπάνη σημαντικών ποσών ηλεκτρικής ενέργειας. Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν αρκετές προσπάθειες προσδιορισμού και καταγραφής των ποσοστών αυτών. Στις Η.Π.Α. με στοιχεία του 2001 αναφέρεται ότι σε κτίρια εμπορικής και οικιακής χρήσεως η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τεχνητό φωτισμό αντιστοιχεί στο 17,6% της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας και στο 30,3% της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας από κτίρια όλων των χρήσεων [2]. Άλλη αναφορά τοποθετεί την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό σε εμπορικά κτίρια από 30% έως 50% της συνολικής ηλεκτρικής κατανάλωσης[3] . Στην διευρυμένη Ευρωπαϊκή Ένωση των 25 το 12,5% της συνολικής οικιακής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας προορίζεται για τεχνητό φωτισμό ενώ το αντίστοιχο ποσοστό στην Ελλάδα φτάνει το 18% (στοιχεία 2006)[4].

Γι αυτό το λόγο ανθεί η έρευνα για εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας για φωτισμό σε διάφορους τομείς όπως είναι η χρήση νέων τεχνικών δόμησης, η βελτιωμένη υλικοτεχνική υποδομή, η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού.

### 1.3 Φυσικός φωτισμός

Ένας από τους σημαντικότερους τομείς στους οποίους επικεντρώνεται η μελέτη εξοικονόμησης ηλεκτρικής ενέργειας σε κτίρια είναι αυτός της εκμετάλλευσης του φυσικού φωτισμού.

Η εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού συνίσταται από χρήση του ηλιακού φωτός για τον φωτισμό εσωτερικών χώρων κτιρίων προς μερική υποκατάσταση ή και ολική αντικατάσταση του τεχνητού φωτισμού εφ' όσον κάτι τέτοιο είναι επιτρεπτό από τις κατά τόπους κλιματικές συνθήκες.

Υποκατάσταση μέρους του τεχνητού από φυσικό φωτισμό μειώνει τα απαιτούμενα προς κατανάλωση ποσά ηλεκτρικής ενέργειας στα κτίρια για την διατήρηση της απαιτούμενης στάθμης φωτισμού για τις ανάλογες εφαρμογές στο χώρο αυτό. Συγκεκριμένα έχει υπολογισθεί ότι η εξοικονόμηση αυτής της υποκατάστασης κυμαίνεται μεταξύ 30% και 70% της αρχικής κατανάλωσης με την προϋπόθεση ότι η χρήση του τεχνητού φωτισμού είναι καλά ελεγχόμενη [5].

Η διαχείριση του φυσικού φωτισμού δεν αφορά μόνο τον φωτισμό των εσωτερικών χώρων αλλά εμπλέκεται έμμεσα και στη θέρμανση και ψύξη των χώρων αυτών.

Είναι προφανές ότι το ηλιακό φως εισερχόμενο σε εσωτερικό χώρο συνεισφέρει στην αύξηση του θερμικού φορτίου και γίνεται ιδιαίτερα

αισθητό σε περιοχές η οποίες βρίσκονται σε θερμές κλιματικές ζώνες.

Η αύξηση του φορτίου αυτού προφανώς και είναι επιθυμητή τους ψυχρούς μήνες όπου απαιτείται επιπλέον θέρμανση για να διατηρείται θερμός ο εσωτερικός χώρος.

Όμως κατά τους θερμούς μήνες η υπερβολική θέρμανση του εσωτερικού χώρου από το ηλιακό φως είναι σαφέστατα ανεπιθύμητη καθώς προκαλεί θερμική δυσφορία για τους ευρισκόμενους σε αυτόν.

Η ορθή αξιοποίηση του ηλιακού φωτισμού και η τοποθέτηση κατάλληλων σκιάστρων μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα κατά τον υπολογισμό των απαιτήσεων ενός εσωτερικού χώρου σε θερμικά και ψυκτικά φορτία και να οδηγήσει στη μείωση των ποσών ενέργειας που καταναλώνονται από τα συστήματα κλιματισμού.

Εκτός από την ενεργειακή εξοικονόμηση, η χρήση φυσικού φωτισμού βελτιώνει αισθητά και το αίσθημα ευφορίας και οπτικής άνεσης καθώς και την οπτική απόδοση στους εσωτερικούς χώρους. Ο άνθρωπος της σύγχρονης εποχής περνά μεγάλο μέρος της ζωής του στο εσωτερικό κάποιου κτιρίου, είτε αυτό αποτελεί την οικία του είτε είναι ο χώρος εργασίας του. Συνεπώς η εισαγωγή περισσότερου φυσικού φωτισμού στους εσωτερικούς χώρους είναι σημαντική για την βελτίωση της ποιότητας ζωής και την αύξηση της αποδοτικότητας στον χώρο εργασίας.

Η Ελλάδα είναι χώρα με υψηλό ποσοστό ηλιοφάνειας ανά έτος. Ιδιαίτερα κατά την θερινή περίοδο όπου παρατηρείται μεγάλη ηλιοφάνεια και παράλληλα αυξημένες θερμοκρασίες, τα φορτία αιχμής αυξάνονται επιβαρύνοντας το εθνικό δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ισχύος. Η εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού μπορεί να μειώσει τα καταναλωμένα ποσά ηλεκτρικής ισχύος για τεχνητό φωτισμό σε αυτές τις περιόδους. Συνεπώς η αξιοποίηση του φυσικού φωτισμού είναι μία πρακτική με μεγάλα εν δυνάμει οφέλη, η οποία πρέπει με άρτιο σχεδιασμό να εφαρμόζεται στα περισσότερα νεόδμητα κτίρια και με ορθές τεχνικές να πραγματοποιείται σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές.

## 1.4 Συστήματα φυσικού φωτισμού

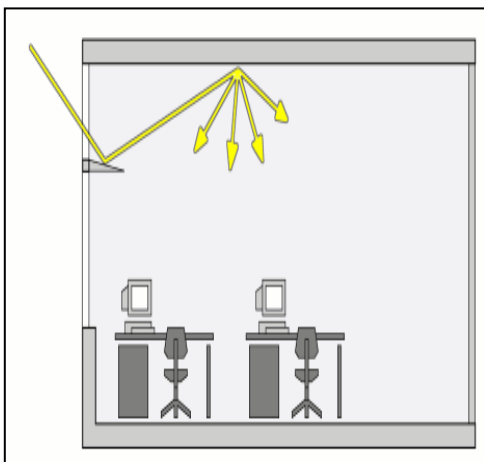
Τις τελευταίες δύο δεκαετίες αναπτύσσονται και εφαρμόζονται νέες καινοτόμες τεχνικές και μέθοδοι αξιοποίησης του φυσικού φωτισμού ο οποίος εισέρχεται στο εσωτερικό κτιρίων. Σκοπός αυτών είναι ο έλεγχος της εισερχόμενης ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό για την εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας από τον τεχνητό φωτισμό, για την δημιουργία ομοιομορφίας και οπτικής άνεσης από τον φυσικό φωτισμό και για τον έλεγχο του θερμικού φορτίου που θα αυξάνεται είτε από την ανεξέλεγκτη διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας είτε από την υπερβολική χρήση του τεχνητού φωτισμού .

Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες συστημάτων φυσικού φωτισμού, τα συστήματα με σκίαση και αυτά χωρίς[6].

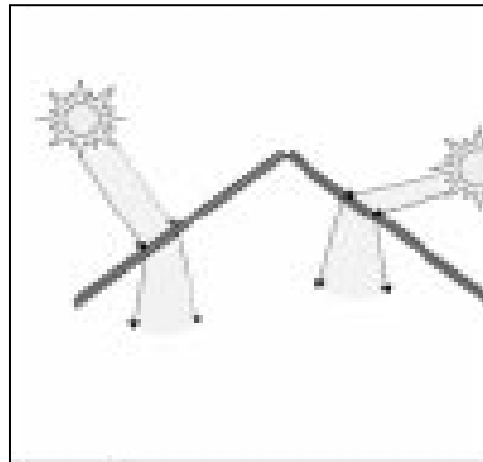
### 1.4.1 Συστήματα χωρίς σκίαση.

Τα συστήματα αυτά σχεδιάζονται πρωτίστως για να οδηγούν το ηλιακό φως σε περιοχές μακριά από παράθυρα ή ανοίγματα φεγγιτών , έτσι ώστε να αποφεύγεται η ανομοιομορφία στο χώρο λόγω των μεγάλων ποσών του ηλιακού φωτισμού κοντά στο παράθυρο λόγω του έντονου ηλιακού ίχνους. Χωρίζονται σε τέσσερις υποκατηγορίες :

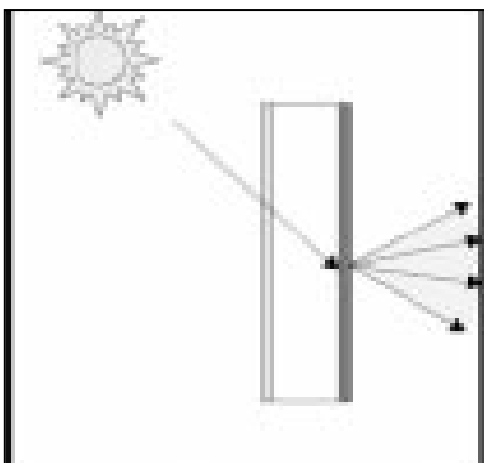
- Συστήματα οδήγησης διαχεόμενου φωτισμού (σχήμα 1.1) : Αυτά κατευθύνουν το φως από συγκεκριμένες περιοχές του ουράνιου θόλου προς το εσωτερικό χώρο. Συναντώνται σε περιπτώσεις όπου ο ουρανός είναι νεφελώδης ή το κτίριο βρίσκεται σε πυκνά δομημένη περιοχή με υψηλά κτίσματα τα οποία εμποδίζουν την απευθείας διείσδυση της ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του κτιρίου. Σε αυτές τις περιπτώσεις περιοχές γύρω από το ζενίθ του θόλου είναι πιο φωτεινές από τον ορίζοντα και μπορεί να αποτελούν την μοναδική επαρκή πηγή φυσικού φωτισμού.
- Συστήματα οδήγησης άμεσου φωτισμού (σχήμα 1.2): Αυτά ανακατευθύνουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία προς το επιθυμητό μέρος στο εσωτερικό του κτιρίου χωρίς την εμφάνιση φαινομένων θάμβωσης ή υπερθέρμανσης.
- Συστήματα διάχυσης φωτισμού (σχήμα 1.3) :Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται σε φεγγίτες και άλλα ανοίγματα για να παράγουν ομοιόμορφα κατανεμημένη φωτεινή δέσμη. Η χρήση τους σε παράθυρα μειώνει την θάμβωση.
- Συστήματα μεταφοράς φωτισμού (σχήμα 1.4) : Χρησιμοποιούνται για την συλλογή και μεταφορά ηλιακής ακτινοβολίας στο εσωτερικό του κτιρίου μακριά από εισόδους φυσικού φωτισμού όπως είναι παράθυρα ή φεγγίτες μέσω οπτικών ινών ή φωτοσωλήνων (light pipes).



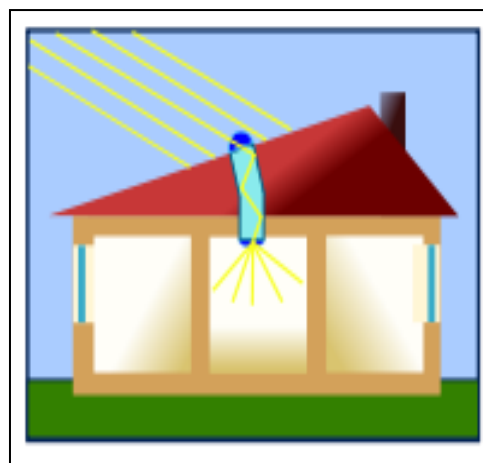
**Σχήμα 1.1 : Παράδειγμα συστήματος οδήγησης διαχεόμενου φωτισμού.(Πηγή: [www.schorsch.com](http://www.schorsch.com))**



**Σχήμα 1.2 : Παράδειγμα συστήματος οδήγησης άμεσου φωτισμού.(Πηγή : IEA Task 21 SourceBook)**



**Σχήμα 1.3 : Παράδειγμα συστήματος διάχυσης φωτισμού τοποθετημένο σε παράθυρο.(Πηγή : IEA Task 21 Source Book)**



**Σχήμα 1.4 : Παράδειγμα συστήματος μεταφοράς φωτισμού με φωτοσωλήνα.(Πηγή : Wikipedia)**

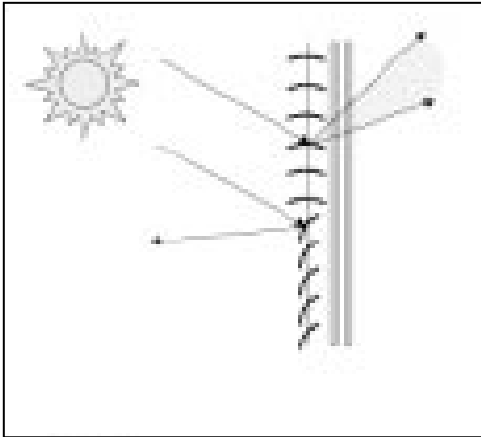
#### 1.4.2 Συστήματα με σκίαση.

Αυτά τα συστήματα αποκόπτουν την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και διαχέουν το φως, είτε αξιοποιούν την άμεση φωτεινή ακτινοβολία κατευθύνοντας την προς την οροφή.

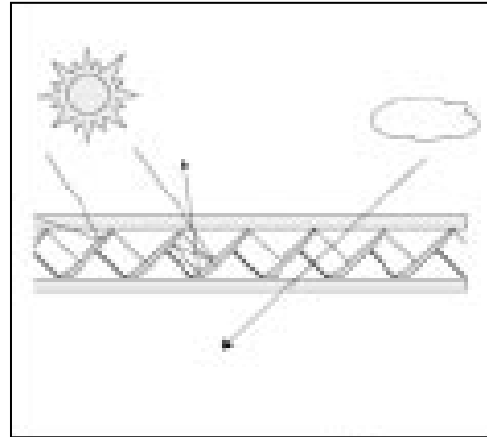
Τα συγκεκριμένα συστήματα σχεδιάζονται κυρίως για να σκιάζουν και να παρέχουν προστασία από τη θάμβωση, κατευθύνοντας τον φυσικό φωτισμό ή διαχέοντας τον (Σχήματα 1.5 – 1.6).

Εκτός από τη χρήση παραδοσιακών συστημάτων σκίασης όπως είναι τα ρολά ή οι περσίδες, υπάρχουν υλικά όπως μεταλλικά πλέγματα ή υφάσματα τα οποία μπορούν να μειώσουν σημαντικά το ποσοστό του εισερχόμενου φωτός. Γι' αυτό το λόγο έχουν αναπτυχθεί εξελιγμένα συστήματα που προστατεύουν τις περιοχές

κοντά στα παράθυρα από την άμεση ηλιακή ακτινοβολία και την ανακατευθύνουν προς το εσωτερικό του κτιρίου.



**Σχήμα 1.5 :** Παράδειγμα συστήματος με σκίαση τοποθετημένο σε παράθυρο.(Πηγή : IEA Task 21 Source Book)



**Σχήμα 1.6 :** Παράδειγμα συστήματος με σκίαση τοποθετημένο σε οροφή.(Πηγή : IEA Task 21 Source Book)

### 1.5 Προδιαγραφές συστημάτων φυσικού φωτισμού

Σε κάθε περίπτωση, είτε πρόκειται για κάποιο εξελιγμένο σύστημα φυσικού φωτισμού είτε ένα απλό σκίαστρο, είναι σημαντικό να υπάρχει λεπτομερής γνώση των ιδιοτήτων των υλικών που χρησιμοποιούνται κάθε φορά και ειδικότερα η επίγνωση της επίδρασης που αυτά έχουν στην εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Για να είναι εφικτή μια ορθή και πλήρης σχεδίαση ενός συστήματος φυσικού φωτισμού, θα πρέπει να είναι γνωστές οι διάφορες παράμετροι που το χαρακτηρίζουν.

Ιδιαίτερα διαδεδομένα είναι τα διάφορα προγράμματα προσομοίωσης για τον υπολογισμό των αναγκαίων ποσών φωτισμού ενός εσωτερικού χώρου αλλά και για τον υπολογισμό των επιπτώσεων των διαφόρων συστημάτων φυσικού φωτισμού που εφαρμόζονται για διάφορα κλιματικά δεδομένα. Η ολοένα και αυξανόμενη υπολογιστική ισχύς των Η/Υ αποδίδει αντιστοίχως αυξανόμενες δυνατότητες στα προγράμματα αυτά. Συνεπώς οι χρήστες των προγραμμάτων αυτών έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις.

Για να είναι σε θέση οι χρήστες των προγραμμάτων αυτών να προσομοιώνουν ικανοποιητικά τις παραμέτρους του συστήματος φυσικού φωτισμού το οποίο θέλουν να εγκαταστήσουν και να κάνουν τους υπολογισμούς τους, απαιτείται λεπτομερέστερη περιγραφή των οπτικών τους ιδιοτήτων.

Συστηματικές μεθοδολογίες για την εφαρμογή σύγχρονων μορφών υλικών σε συστήματα αξιοποίησης φυσικού φωτισμού υπάρχουν σε μικρό αριθμό στη διεθνή βιβλιογραφία. Ιδιαίτερως στην Ελλάδα ουσιαστικά δεν υφίστανται. Ομοίως, δεν υπάρχουν εθνικές προδιαγραφές ή τεχνικές οδηγίες. Τεχνολογίες που στοχεύουν προς την κατεύθυνση αυτή, εφαρμόζονται αποσπασματικά. Συνήθως μεταφέρονται αυτούσιες και εμπειρικά χωρίς να έχει προηγηθεί σοβαρή επιστημονική μελέτη. Δεν υπάρχει κωδικοποιημένη γνώση και γι' αυτό οι τεχνολογίες ουσιαστικά εισάγονται “..με το κλειδί στο χέρι”. Ο έλεγχος του φυσικού φωτισμού γίνεται με κουρτίνες, περσίδες ή στόρια που ρυθμίζονται

σύμφωνα με τη βούληση του χρήστη, ενώ ο έλεγχος του τεχνητού φωτισμού διεξάγεται με αισθητήρες φωτισμού που τοποθετούνται εντελώς αυθαίρετα και ρυθμίζονται εμπειρικά. Η διάθεση στο εμπόριο νέων μορφών υλικών σκίασης, που έχουν αναπτυχθεί αποκλειστικά για την εκμετάλλευση του φυσικού φωτισμού, επιβάλλει τη συστηματοποίηση της χρήσης τους έτσι ώστε να μην έχει πειραματικό χαρακτήρα η εφαρμογή τους

#### 1.6 Σκοπός της παρούσας εργασίας.

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι, με βάση τις ελλείψεις που αναφέρθηκαν παραπάνω, να δοθεί και να αναλυθεί μια συγκεκριμένη μεθοδολογία μέτρησης των οπτικών ιδιοτήτων υλικών σκίασης που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα εκμετάλλευσης φυσικού φωτισμού. Επιπλέον θα διερευνηθεί η δυνατότητα δημιουργίας μιας βιβλιοθήκης πληροφοριών η οποία περιέχουσα λεπτομερώς τις οπτικές ιδιότητες των διαφόρων υλικών θα είναι διαθέσιμη για χρήση από οποιοδήποτε πρόγραμμα προσομοίωσης και θα δίνει την δυνατότητα αρτιότερης μελέτης των απαιτήσεων ενός χώρου σε φωτισμό.

Προς εκπλήρωση του προαναφερθέντος σκοπού τροποποιήθηκαν κατάλληλα γωνιοφωτόμετρα του εργαστηρίου φωτοτεχνίας Ε.Μ.Π. και αναπτύχθηκε συγκεκριμένη μεθοδολογία μετρήσεων. Βάση αυτής καταγράφεται η ένταση φωτισμού σε διάφορες κατευθύνσεις και για διάφορες γωνίες πρόσπτωσης του ηλιακού φωτός σε δύο είδη υλικών και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται υπό μορφή πολικών διαγραμμάτων και τρισδιάστατων απεικονίσεων.

Η πρώτη κατηγορία είναι υφάσματα που χρησιμοποιούνται σε σκίαστρα και άλλα συστήματα, και η δεύτερη συρμάτινα πλέγματα που τοποθετούνται συνήθως σε πόρτες και παράθυρα ως μέσα σκίασης ή και για άλλους σκοπούς. Οποιοσδήποτε και αν είναι ο σκοπός της χρήσης τους, η τοποθέτησή τους επηρεάζει σημαντικά το εισερχόμενο στους εσωτερικούς χώρους φως.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΒΑΣΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΩΤΟΜΕΤΡΙΑΣ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται βασικά θεωρήματα και αρχές της φωτομετρίας τα οποία εφαρμόζονται κατά την εκτέλεση των πειραμάτων και κατά την ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων αυτών.

### 2.1 Στερεά γωνία.

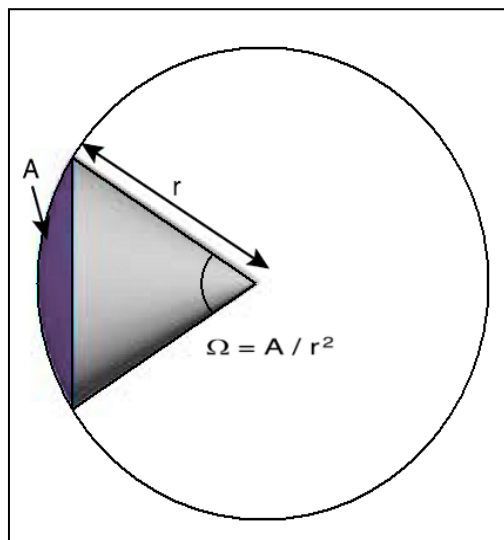
Θεωρούμε μια σφαίρα κέντρου **O** και ακτίνας **r** και έναν κώνο που έχει κορυφή το κέντρο **O**. Έστω **A** η τομή της κωνικής επιφάνειας με την επιφάνεια της σφαίρας, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 2.1).

Ορίζεται ως στερεά γωνία του κώνου ο λόγος :

$$\Omega = \frac{A}{r^2} \quad (1)$$

Σαν μονάδα στερεάς γωνίας ορίζεται το στερεακτίσιο sr (steradian) και είναι η στερεά γωνία της οποίας ο αντίστοιχος κώνος τέμνει την σφαίρα σε επιφάνεια :

$$A = r^2 \quad (2)$$



**Σχήμα 2.1 : Σχηματική αναπαράσταση στερεάς γωνίας σε σφαίρα ακτίνας r.**

### 2.2 Φωτεινή ενέργεια και φωτεινή ροή.

#### 2.2.1 Φωτεινή ενέργεια.

Δοσμένης μιας πηγής ακτινοβολίας, ορίζουμε ως φωτεινή ενέργεια **Q** την ενέργεια του τμήματος της ακτινοβολίας που γίνεται αντιληπτή από την ανθρώπινη όραση και αντιστοιχεί στο εύρος των μηκών κύματος  $\Delta\lambda=[380\text{nm},780\text{nm}]$ . Μια πηγή ακτινοβολίας εκπέμπει ενέργεια που είναι κατανομημένη ανομοιόμορφα στο φάσμα εκπομπής συναρτήσει του μήκους κύματος  $\lambda$ , τη δε κατανομή την καθορίζει η Φασματική Ενέργεια Ακτινοβολίας  $W_\lambda$ . Επομένως η ενέργεια **W** που εκπέμπεται στη ζώνη μηκών κύματος  $\Delta\lambda=[380\text{nm},780\text{nm}]$  του ορατού φωτός θα είναι :

$$dW(\lambda) = W_\lambda \cdot d\lambda, \quad \lambda \in [380,780]\text{nm} \quad (3)$$



$$W(\Delta\lambda) = \int_{380nm}^{780nm} W_\lambda \cdot d\lambda, \Delta\lambda=[380,780]nm \quad (4)$$

Το κλάσμα της ακτινοβολίας αυτής που γίνεται αντιληπτό από το ανθρώπινο μάτι είναι η φωτεινή ενέργεια  $Q$  :

$$Q = \int_{380nm}^{780nm} V_\lambda \cdot dW(\lambda) = \int_{380nm}^{780nm} V_\lambda \cdot W_\lambda \cdot d\lambda \quad (5)$$

Η φωτεινή ενέργεια  $Q$  είναι στην πραγματικότητα η ποσότητα φωτός που εκπέμπει η πηγή σε κάποιο χρονικό διάστημα. Κανονικά θα έπρεπε να δίνεται σε Joule αλλά για να γίνεται ο διαχωρισμός από την ενέργεια ακτινοβολίας και κάθε άλλης μορφής ενέργειας δίδεται στη φωτοτεχνική μονάδα **lms = lumen Xsec**

### 2.2.2 Φωτεινή ροή.

Ως φωτεινή ροή  $\Phi$  ορίζεται η φωτεινή ενέργεια  $Q$  που εκπέμπει μία φωτεινή πηγή, τοποθετημένη στην κορυφή ενός κώνου σε χρόνο  $dt$  προς το χρόνο αυτό:

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad (6)$$

Όπως φαίνεται από τον ορισμό της φωτεινής ροής  $\Phi$ , το μέγεθος αυτό είναι στη πραγματικότητα φωτεινή ισχύς, γιατί εκφράζει την ποσότητα της φωτεινής ισχύος που εκπέμπει μια φωτεινή πηγή προς κάποια συγκεκριμένη κατεύθυνση (που καθορίζεται από τη μορφή της στερεάς γωνίας). Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο στη διεθνή βιβλιογραφία οι όροι ισχύς και ροή χρησιμοποιούνται για να αναφερθούν στο ίδιο μέγεθος.

### 2.3 Φωτεινή Ένταση.

Μια φωτεινή πηγή εν γένει δεν εκπέμπει το φως που παράγει ομοιόμορφα. Εάν μια πηγή η οποία ακτινοβολεί ανομοιόμορφα, τοποθετηθεί στο κέντρο σφαίρας θα παρουσιάσει διαφορετική εκπεμπόμενη φωτεινή ροή  $\Phi$  προς τις αντίστοιχες εσωτερικές επιφάνειες της σφαίρας για διαφορετικές στερεές γωνίες. Είναι επομένως αναγκαίο να οριστεί ένα μέγεθος που θα καθορίζει προς κάθε συγκεκριμένη κατεύθυνση του στερεού χώρου το ποσό της φωτεινής ροής  $\Phi$  που εκπέμπει η φωτεινή πηγή. Το μέγεθος αυτό ονομάζεται φωτεινή ένταση ή ένταση φωτεινής πηγής  $I$  και ορίζεται με το λόγο της στοιχειώδους φωτεινής ροής  $d\Phi$  που εκπέμπει μια σημειακή φωτεινή πηγή μέσα σε μια στοιχειώδη στερεά γωνία  $d\Omega$  προς τη γωνία αυτή :

$$I = \frac{d\Phi}{d\Omega} \quad (7)$$

Η φωτεινή ένταση  $I$  εκφράζεται με τη μονάδα **cd (candela)** ( $cd = \frac{lm}{sr}$ )

#### 2.4 Ένταση φωτισμού.

Φωτεινή ροή από μία πηγή προσπίπτουσα σε μία επιφάνεια έχει ως αποτέλεσμα τον φωτισμό της επιφάνειας αυτής. Ο τρόπος με τον οποίο ακτινοβολεί μία πηγή περιγράφεται μέσω της φωτεινής έντασης  $I$ . Είναι αναγκαία όμως η εισαγωγή ενός μεγέθους που θα περιγράφει τον φωτισμό από την σκοπιά της φωτιζόμενης επιφάνειας. Το μέγεθος αυτό είναι η ένταση φωτισμού  $E$ . Εάν θεωρήσουμε μία στοιχειώδη επιφάνεια  $dS$  στην οποία προσπίπτει κάθετα στοιχειώδης φωτεινή ροή  $d\Phi$  τότε ορίζεται ως ένταση φωτισμού ή φωτισμός επιφανείας ο λόγος :

$$E = \frac{d\Phi}{dS} \quad (8)$$

Η ένταση φωτισμού  $E$  δίδεται με τη μονάδα  $lx$  ( $lux$ )  $= \frac{lm}{m^2}$

Αν μια επιφάνεια φωτίζεται ομοιόμορφα από μία πηγή, δηλαδή η φωτεινή ροή  $\Phi$  είναι σταθερή σε κάθε στοιχειώδες τμήμα της επιφάνειας  $S$ , τότε η ένταση φωτισμού  $E$  είναι σταθερή σε όλη την επιφάνεια και δίδεται από τη σχέση :

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (9)$$

#### 2.5 Βασική οπτική

Η φωτεινή ακτινοβολία που προσπίπτει σε ένα οποιοδήποτε σώμα αλληλεπιδρά με αυτό. Η επίδραση που θα έχει το κάθε σώμα στην προσπίπτουσα φωτεινή ροή εξαρτάται από τις οπτικές και φυσικές ιδιότητες των σωμάτων και τα αποτελέσματα διαφέρουν κατά περίπτωση.

Υπάρχουν τρία κύρια φαινόμενα που παρατηρούνται τα οποία είναι i) η ανάκλαση, ii) η απορρόφηση και iii) η διαπερατότητα[7].

Αναλυτικά έχουμε :

##### 2.5.1 Ανάκλαση

Κατά την πρόσπτωση συνολικής φωτεινής ροής  $\Phi$  σε ένα υλικό ένα μέρος της ακτινοβολίας  $\Phi_\rho$  ανακλάται. Η ικανότητα του σώματος να ανακλά το φως εκφράζεται με τον συντελεστή ανάκλασης  $\rho$  :

$$\rho = \frac{\Phi_\rho}{\Phi} \quad (10)$$

Ο συντελεστής ανάκλασης παρέχει το ποσοστό της φωτεινής ροής που ανακλάται σε σχέση με τη συνολική φωτεινή ροή που δέχεται το σώμα.

Το φαινόμενο της ανάκλασης εκδηλώνεται με διαφορετικό τρόπο, ανάλογα με τη μορφή της επιφάνειας του σώματος στο οποίο πέφτει η φωτεινή δέσμη. Υπάρχουν τα εξής είδη ανάκλασης τα οποία παρουσιάζονται και σχηματικά (σχήμα 2.2) :

- Κανονική ανάκλαση

Προκαλείται κατά την πτώση φωτεινής δέσμης σε μια λεία και στιλπνή επιφάνεια. Κατά την κανονική ανάκλαση, η φωτεινή δέσμη ανακλάται με την ίδια γωνία υπό την οποία προσπίπτει στην επιφάνεια δίχως να διασκορπίζεται. Κανονική ανάκλαση παρουσιάζουν συνήθως οι κατοπτρικές επιφάνειες.

- Διαχέουσα ανάκλαση

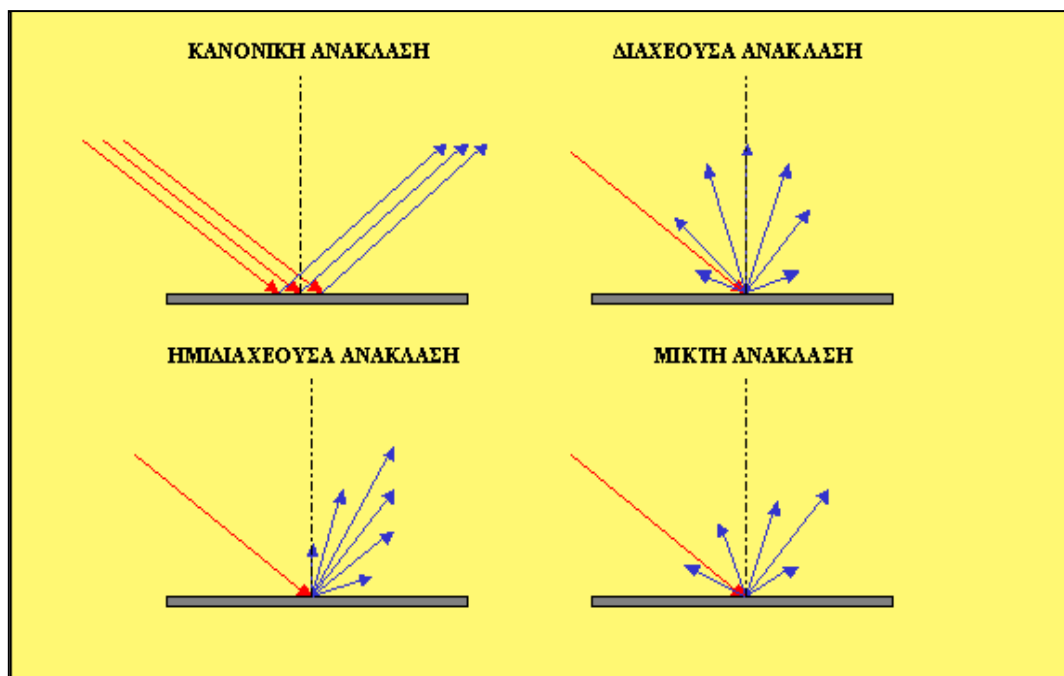
Σε αυτή τη περίπτωση η ανακλώμενη δέσμη διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις. Πρόκειται για αντιδιαμετρική περίπτωση της κανονικής ανάκλασης και εμφανίζεται σε ματ επιφάνειες από διάφορα υλικά όπως το τσιμέντο.

- Ημιδιαχέουσα ανάκλαση

Παρατηρείται μεν διάχυση της ανακλώμενης δέσμης, αλλά προς συγκεκριμένες κατευθύνσεις. Στην περίπτωση αυτή υπάγονται τα περισσότερα υφάσματα.

- Μικτή ανάκλαση

Αποτελεί ενδιάμεση περίπτωση της κανονικής και διαχέουσας ανάκλασης κατάσταση.



**Σχήμα 2.2 : Είδη ανακλάσεως. (Με κόκκινο χρώμα αναπαρίσταται η κατεύθυνση της εισερχόμενης φωτεινής ακτινοβολίας ενώ με γαλάζιο οι κατευθύνσεις που δύναται να ακολουθήσει η ανακλώμενη ακτινοβολία.)**

### 2.5.2 Απορρόφηση

Ένα τμήμα της προσπίπτουσας φωτεινής ροής  $\Phi$  σε ένα υλικό απορροφάται από αυτό. Το ποσοστό της απορροφημένης ακτινοβολίας εξαρτάται φυσικά από το είδος του υλικού αλλά σημαντικός παράγοντας είναι το πάχος του υλικού. Εάν θεωρηθεί ένα υλικό πάχους  $d$  και προσπίπτουσα φωτεινή ροή  $\Phi$  τότε η εξερχόμενη ροή  $\Phi_u$  δίνεται από την σχέση :

$$\Phi_u = \Phi \cdot e^{-a \cdot d} \quad (11)$$

όπου  $a$  ονομάζεται εκθετική διαπερατότητα του υλικού.

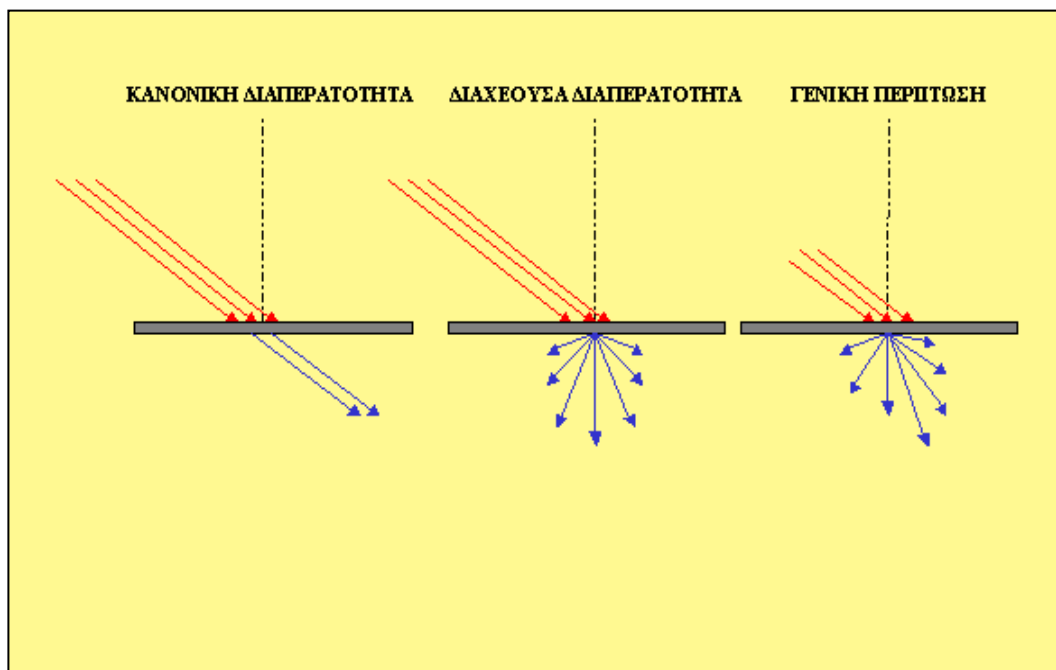
### 2.5.3 Διαπερατότητα ή Διαφάνεια

Αν η ύλη από την οποία αποτελείται το εξεταζόμενο σώμα επιτρέπει την διέλευση του φωτός, τότε ένα άλλο μέρος  $\Phi_\tau$  της συνολικής προσπίπτουσας φωτεινής ροής  $\Phi$  θα διαπεράσει το σώμα. Το ποσοστό της φωτεινής ροής που διαπερνά το υλικό ονομάζεται συντελεστής διαπερατότητας  $\tau$  του υλικού και δίδεται από τη σχέση :

$$\tau = \frac{\Phi_\tau}{\Phi} \quad (12)$$

Κατ' αναλογία με την ανάκλαση, η διαπερατότητα ή διαφάνεια ενός υλικού δύναται να λάβει ποικίλες μορφές, εξαρτώμενες από το είδος του υλικού και τις διαστάσεις του, οι οποίες περιγράφονται από τους μηχανισμούς διάθλασης και περίθλασης του φωτός. Οι μηχανισμοί αυτοί όμως που διαμορφώνουν την εξερχόμενη ακτινοβολία δεν αποτελούν αντικείμενο της παρούσας εργασίας, παρά μόνο η ίδια η εξερχόμενη φωτεινή ακτινοβολία. Διακρίνονται τρεις περιπτώσεις, η κανονική, η διαχέουσα διαφάνεια και η γενική περίπτωση οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω και σχηματικά (σχήμα 2.3):

- Κανονική διαφάνεια ή διαπερατότητα  
Σε αυτή τη περίπτωση η φωτεινή ακτινοβολία που διαπερνά το σώμα διατηρεί την κατεύθυνση της προσπίπτουσας, διαφέρει δε από αυτήν μόνο κατά το ποσοστό το οποίο απορροφάται από το υλικό.
- Διαχέουσα διαφάνεια ή διαπερατότητα  
Σε αυτή τη περίπτωση η εξερχόμενη ακτινοβολία διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις. Πρόκειται για αντισυμμετρική περίπτωση της κανονικής διαφάνειας και συναντάται σε υφάσματα.
- Γενική περίπτωση  
Στην γενική περίπτωση η μορφή της εξερχόμενης φωτεινής ακτινοβολίας αποτελεί ενδιάμεση των δύο παραπάνω ακραίων μορφών.



**Σχήμα 2.3: Είδη διαπερατότητας. (Με κόκκινο χρώμα αναπαρίσταται η κατεύθυνση της εισερχόμενης φωτεινής ακτινοβολίας ενώ με γαλάζιο οι κατευθύνσεις που δύναται να ακολουθήσει η ακτινοβολία που διαπερνά το υλικό).**

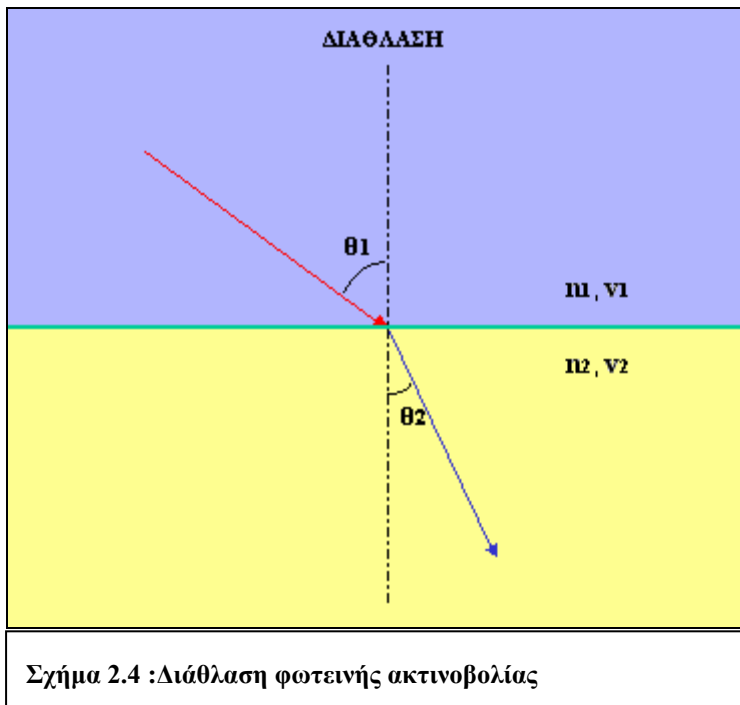
#### 2.5.4 Διάθλαση – Νόμος Snell

Έστω δύο διαφορετικά υλικά τα οποία συνορεύουν. Όταν μια φωτεινή δέσμη διαδιδόμενη μέσα στο πρώτο υλικό προσπίπτει υπό γωνία  $\theta_1$  στην διαχωριστική επιφάνεια, μέρος αυτής θα συνεχίσει να διαδίδεται στο δεύτερο υλικό με γωνία αναχωρήσεως  $\theta_2$  (σχήμα 2.4) έχοντας υποστεί διάθλαση. Η σχέση μεταξύ του προσπίπτοντος στην διαχωριστική επιφάνεια κύμα και του διαδιδόμενου κύματος στο δεύτερο υλικό καθορίζεται από το νόμο του Snell .

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (13)$$

όπου  $\theta_1$  η γωνία πρόσπτωσης της διαδιδόμενης στο υλικό 1 ακτινοβολίας στο σύνορο και  $\theta_2$  η γωνία αναχωρήσεως της διαδιδόμενης στο υλικό 2 ακτινοβολίας από το σύνορο, ενώ  $n_1$  και  $n_2$  καλούνται δείκτες διάθλασης των υλικών.

Αν  $u_1$  ,  $u_2$  είναι οι ταχύτητες διάδοσης του φωτός στα αντίστοιχα υλικά με δείκτες διάθλασης  $n_1$  ,  $n_2$  τότε είναι  $n_{1,2} = \frac{c}{u_{1,2}}$  , όπου  $c$  η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στο κενό.



Σχήμα 2.4 : Διάθλαση φωτεινής ακτινοβολίας

## 2.6 Φωτομετρικός νόμος των αποστάσεων.

Η φωτεινή πηγή  $\Pi$  του σχήματος βρίσκεται στο κέντρο σφαίρας ακτίνας  $r$  και ακτινοβολεί με ένταση  $I$  σταθερή μέσα σε όλη τη στερεά γωνία  $\Omega$  η οποία τέμνει τη σφαίρα κατά την επιφάνεια  $S$

$$S = \Omega \cdot r^2 \quad (14)$$

Η ένταση φωτισμού  $E$  της επιφάνειας  $S$  δίδεται από τη σχέση :

$$E = \frac{\Phi}{S} = \frac{\Omega \cdot I}{\Omega \cdot r^2} = \frac{I}{r^2} \quad (15)$$

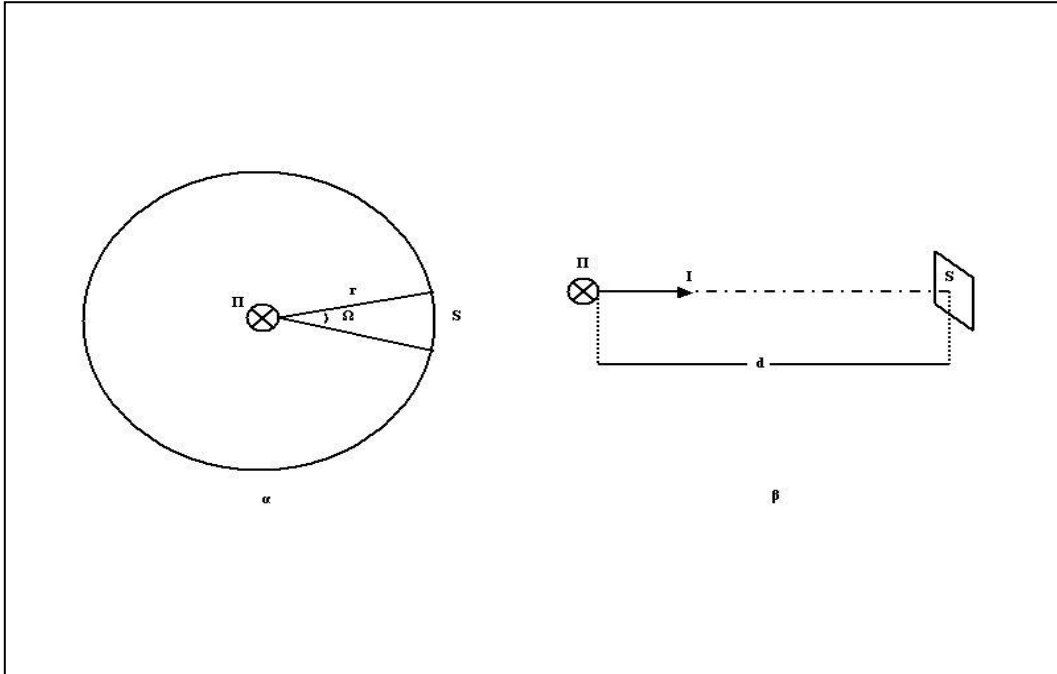
Αν η επιφάνεια  $S$  είναι αρκετά μικρή, τότε μπορεί με αρκετή ακρίβεια να θεωρηθεί επίπεδη. Όπως φαίνεται από το παρακάτω σχήμα (σχήμα 2.5) η φωτεινή ροή προσπίπτει κάθετα σε κάθε σημείο σφαιρικής επιφάνειας  $S$  (κατά τη φορά των ακτινών της σφαίρας). Επομένως η επιφάνεια  $S$  και σαν επίπεδη θα δέχεται κάθετα τη φωτεινή ροή  $\Phi$  λόγω των μικρών της διαστάσεων. Θα είναι δηλαδή η  $S$  κάθετη στην ευθεία που συνδέει το κέντρο της με το κέντρο της σφαίρας και βρίσκεται σε απόσταση  $d$  από αυτή :

$$d \equiv r \quad (16)$$

Επομένως η ένταση φωτισμού θα δίνεται από τη σχέση :

$$E = \frac{I}{r^2} \quad (17)$$

η οποία εκφράζει τον **φωτομετρικό νόμο των αποστάσεων** [8], όπου  $d$  η απόσταση της φωτιζόμενης επιφάνειας από τη φωτεινή πηγή .

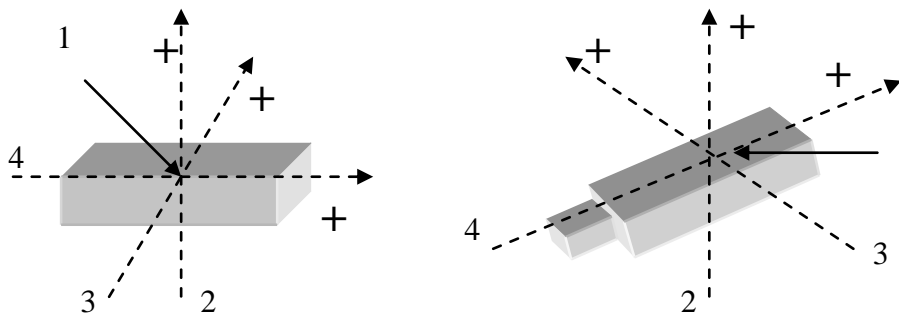


**Σχήμα 2.5 :** α) Φωτεινή πηγή Π στο κέντρο σφαίρας. β) Η επιφάνεια S , θεωρούμενη αρκετά μικρή , μπορεί προσεγγιστικά να ληφθεί ως επίπεδη.

## 2.7 Φωτομετρικά επίπεδα

### 2.7.1 Γενικά

Ο καθορισμός της κατανομής της έντασης φωτισμού ενός φωτιστικού στο χώρο περιλαμβάνει την χρήση ενός συστήματος συντεταγμένων για να οριστούν έτσι οι διευθύνσεις για τις οποίες έχουν γίνει οι μετρήσεις της έντασης. Το σύστημα συντεταγμένων που χρησιμοποιείται είναι το σφαιρικό με το κέντρο του να συμπίπτει με το φωτομετρικό κέντρο του φωτιστικού. Οι άξονες του φωτιστικού παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 2.6).



**Σχήμα 2.6.** Άξονες ενός φωτιστικού, φωτομετρικό κέντρο (1), πρώτος άξονας (2), δεύτερος άξονας (3) και τρίτος άξονας (4).

Γενικά, το σύστημα συντεταγμένων αποτελείται από μια σειρά επιπέδων μαζί με έναν άξονα που ορίζεται από τη γραμμή διατομή τους. Μια διεύθυνση στο χώρο ορίζεται από δύο γωνίες:

- Την γωνία ανάμεσα στο ένα επίπεδο που ορίζεται σαν το αρχικό και στο επίπεδο που περιέχει την ζητούμενη διεύθυνση.
- Την γωνία ανάμεσα στον άξονα που ορίζει η γραμμή διατομής των επιπέδων και τη ζητούμενη διεύθυνση ή την συμπληρωματική της

### 2.7.2 Επίπεδα μέτρησης

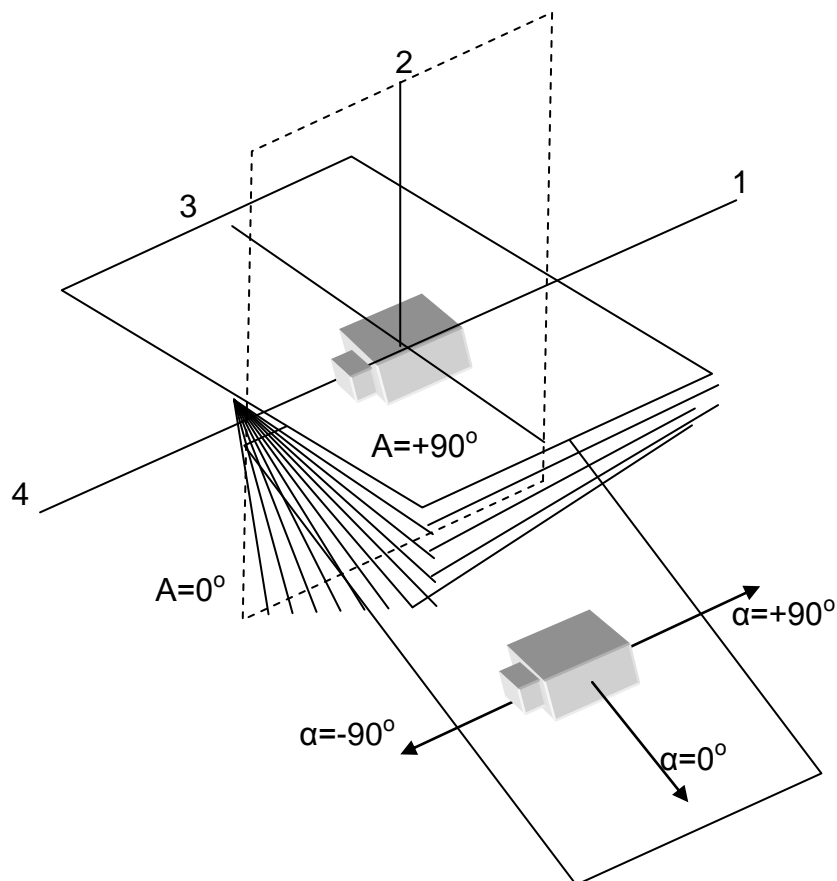
Γενικά, η ένταση φωτισμού ενός φωτιστικού μετράται για κάποιο αριθμό επιπέδων. Από τον μεγάλο αριθμό των πιθανών επιπέδων για τα οποία μπορεί να πραγματοποιηθεί μέτρηση της έντασης φωτισμού, 3 συστήματα επιπέδων έχουν αποδειχθεί πιο χρήσιμα[9].

- Επίπεδα Α (A-planes) [CIE 121, 3.4.1]
- Επίπεδα Β (B-planes) [CIE 121, 3.4.2]
- Επίπεδα Γ (C-planes) [CIE 121, 3.4.3]



### 2.7.2.1 Επίπεδα A (A-planes)

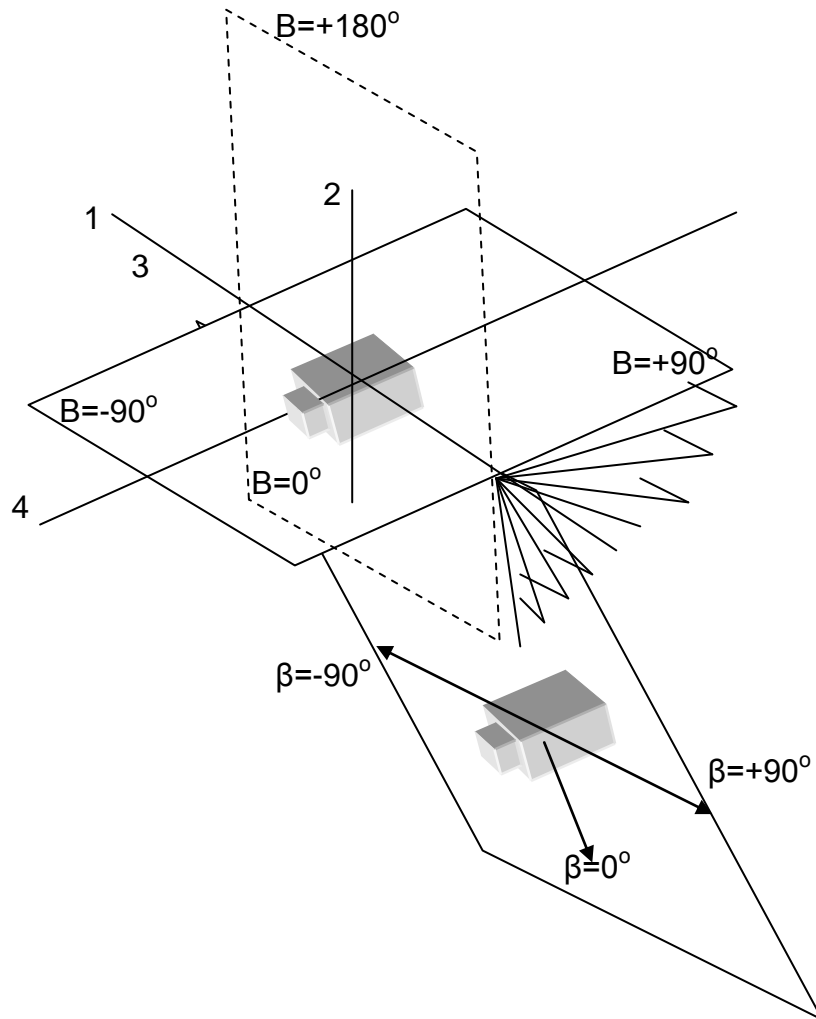
Το σύνολο των A-επιπέδων είναι η ομάδα των επιπέδων των οποίων η γραμμική τομή τους (ο άξονας των πολικών συντεταγμένων, polar axis) περνά από το φωτομετρικό κέντρο και είναι κάθετη στο επίπεδο που περιέχει τον πρώτο και τον δεύτερο άξονα του φωτιστικού. (Τα στοιχεία αναγνώρισης του πρώτου και του δεύτερου άξονα πρέπει να ορίζονται από τον κατασκευαστή ή το φωτομετρικό εργαστήριο.)



Σχήμα 2.7. Διευθύνσεις των A επιπέδων και άξονες του φωτιστικού, πολικός άξονας φωτόμετρου (1), πρώτος άξονας (2), δεύτερος άξονας (3) και τρίτος άξονας (4).

### 2.7.2.2 Επίπεδα B (B-planes)

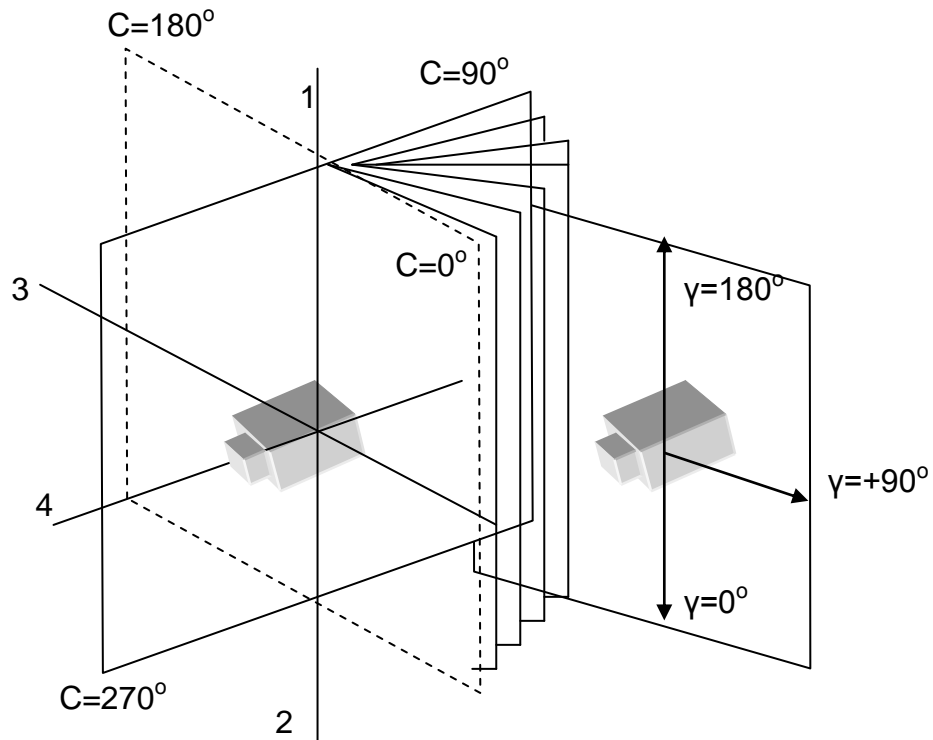
Το σύνολο των B-επιπέδων είναι η ομάδα των επιπέδων των οποίων η γραμμή τομής τους (ο άξονας των πολικών συντεταγμένων, polar axis) περνά από το φωτομετρικό κέντρο και είναι παράλληλη στην διεύθυνση του δεύτερου άξονα του φωτιστικού.



Σχήμα 2.8. Διευθύνσεις των B επιπέδων και άξονες του φωτιστικού, πολικός άξονας φωτόμετρου (1), πρώτος άξονας (2), δεύτερος άξονας (3) και τρίτος άξονας (4).

### 2.7.2.3 Επίπεδα Γ (C-planes)

Το σύνολο των Γ-επιπέδων είναι η ομάδα των επιπέδων των οποίων η γραμμή τομής τους (ο άξονας των πολικών συντεταγμένων, polar axis) είναι η κάθετη διεύθυνση που περνά από το φωτομετρικό κέντρο.



Σχήμα 2.9. Διευθύνσεις των Γ επιπέδων και άξονες του φωτιστικού, πολικός άξονας φωτόμετρου (1), πρώτος άξονας (2), δεύτερος άξονας (3) και τρίτος άξονας (4).

### 2.7.3 Υπολογιστικές σχέσεις μεταξύ επιπέδων [CIE 121, 3.4.4]

Μια συγκεκριμένη κατεύθυνση χαρακτηρίζεται πάντα από δύο γωνίες ανεξαρτήτως του συστήματος επιπέδων που χρησιμοποιείται.

- Μία γωνία στο επίπεδο  $\alpha$ ,  $\beta$ , ή  $\gamma$
- Και μια γωνία για την κλίση του επιπέδου A, B ή C

Οι γωνίες  $\alpha$  ή  $\beta$  σε ένα A ή B επίπεδο μετρούνται από  $0^\circ$  μέχρι  $\pm 180^\circ$  με αρχή την διεύθυνση που είναι κάθετη στην γραμμή τομής των επιπέδων. Η διεύθυνση που αντιστοιχεί στις  $0^\circ$  (των γωνιών  $\alpha$  ή  $\beta$ ) σε ένα A0 ή B0 επίπεδο συμπίπτει συνήθως με τον πρώτο άξονα του φωτιστικού. Τα A ή B επίπεδα μετρούνται από  $0^\circ$  μέχρι  $\pm 180^\circ$ . Το A ή B επίπεδο που ορίζεται στις  $0^\circ$  (A0 ή B0 επίπεδο) περιέχει τον πρώτο άξονα του φωτιστικού και την διεύθυνση του επιπέδου που περιέχει τον δεύτερο και τρίτο άξονα του φωτιστικού (για το A επίπεδο) [Σχήμα 2.7] ή και τον δεύτερο άξονα (για το B επίπεδο) [Σχήμα 2.8].

Οι γωνίες  $\gamma$  σε ένα C επίπεδο μετρούνται από  $0^\circ$  μέχρι  $\pm 180^\circ$  με αρχή την διεύθυνση που είναι κάθετη στην γραμμή τομής του C επιπέδου. Αυτός ο άξονας δεν συμπίπτει πάντα με τον πρώτο άξονα του φωτιστικού όταν αυτό αρχίζει να περιστρέφεται. Το C επίπεδο που ορίζεται στις  $0^\circ$  περιέχει συνήθως τον δεύτερο άξονα του φωτιστικού. Τα υπόλοιπα C επίπεδα ορίζονται μέχρι τις  $360^\circ$ , μετρούμενα από το επίπεδο των  $0^\circ$  και αντίστροφα της κίνησης των δεικτών του ρολογιού όπως κοιτάει κάποιος το φωτιστικό από πάνω [Σχήμα 2.9].

Οι σχέσεις μετασχηματισμού μεταξύ των προαναφερόμενων γωνιών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1).

Προσανατολισμός επιπέδων		Για μετασχηματισμό γωνιών	
Δεδομένο	Ζητούμενο	Για επίπεδα	Για γωνίες
A, $\alpha$	B, $\beta$	$\text{tg}B = \text{tg}\alpha / \cos A$	$\sin\beta = \sin A * \cos\alpha$
A, $\alpha$	C, $\gamma$	$\text{tg}C = \text{tg}\alpha / \sin A$	$\cos\gamma = \cos A * \cos\alpha$
B, $\beta$	A, $\alpha$	$\text{tg}A = \text{tg}\beta / \cos B$	$\sin\alpha = \sin B * \cos\beta$
B, $\beta$	C, $\gamma$	$\text{tg}C = \sin B / \text{tg}\beta$	$\cos\gamma = \cos B * \cos\beta$
C, $\gamma$	A, $\alpha$	$\text{tg}A = \cos C * \text{tg}\gamma$	$\sin\alpha = \sin C * \sin\gamma$
C, $\gamma$	B, $\beta$	$\text{tg}B = \sin C * \text{tg}\gamma$	$\sin\beta = \cos C * \sin\gamma$

Πίνακας 1. Εξισώσεις μετασχηματισμών για τα συστήματα επιπέδων

## **ΜΕΡΟΣ Β: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

#### 3.1 Εισαγωγή

Τα σύγχρονα συστήματα φυσικού φωτισμού διαθέτουν μεγάλο εύρος πολυπλοκότητας και για την κατασκευή τους χρησιμοποιούνται πολλά υλικά διαφορετικής φύσεως. Στην παρούσα εργασία, όπως αναφέρθηκε, σκοπός είναι η ενδεικτική διερεύνηση και όχι η πλήρης και διεξοδική καταγραφή των ιδιοτήτων όλων των διαθέσιμων υλικών. Γι αυτό το λόγο για την ανάλυση των συστημάτων φυσικού φωτισμού επιλέχθηκαν τυπικά υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές εφαρμογές. Η πρόσπτωση ηλιακής ακτινοβολίας προσομοιώνεται με χρήση κατάλληλου λαμπτήρα μέσω πειραματικών διατάξεων που διαμορφώθηκαν ειδικά για τους σκοπούς του πειράματος όπως περιγράφονται αναλυτικά παρακάτω.

#### 3.2 Εξεταζόμενα δείγματα

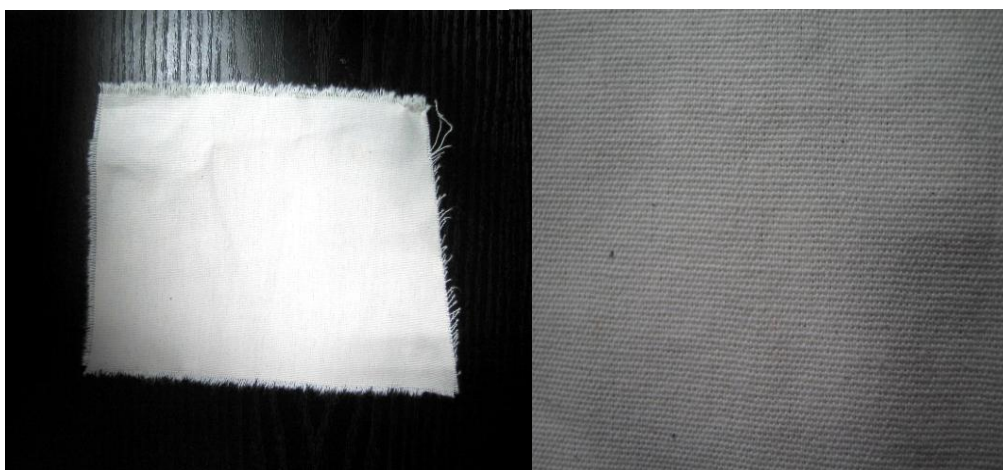
Τα υπό εξέταση δοκίμια επιλέχθηκαν έτσι ώστε να είναι αντιπροσωπευτικά δείγματα από υλικά που χρησιμοποιούνται ευρέως σε κτίρια, τοποθετούμενα σε παράθυρα και μπαλκόνια για σκίαση και άλλους σκοπούς. Η τοποθέτηση τους επηρεάζει σημαντικά την ποσότητα και τον τρόπο με τον οποίο η ηλιακή ακτινοβολία εισέρχεται στους εσωτερικούς χώρους. Συνεπώς η μελέτη της επιρροής που έχουν στην εισερχόμενη φωτεινή ακτινοβολία είναι απαραίτητη για την καλύτερη διαχείριση τόσο του φυσικού, όσο και του τεχνητού φωτισμού.

Συγκεκριμένα τα επιλεγμένα υλικά για τη διεξαγωγή των πειραμάτων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αποτελείται από τρία υφάσματα διαφορετικού πάχους και τρόπου ύφανσης. Τα υφάσματα αυτά χρησιμοποιούνται ευρύτατα για την κατασκευή τεντών και άλλων τύπων σκιάστρων. Η δεύτερη κατηγορία αποτελείται από δύο μεταλλικά πλέγματα διαφορετικής πυκνότητας ραφής και διαφορετικού σύρματος. Αυτά συνήθως τοποθετούνται σε παράθυρα είτε για σκίαση και προστασία των εσωτερικών χώρων από ανεπιθύμητα έντομα.

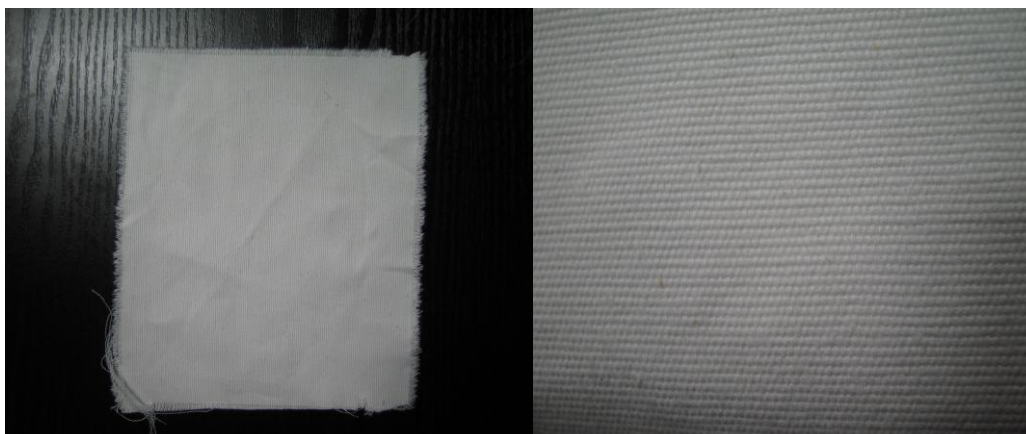
Τα ίδια τα δείγματα παρουσιάζονται στις παρακάτω φωτογραφίες (σχήμα 3.1) όπου διακρίνονται σε μεγέθυνση ο διαφορετικός τρόπος ύφανσης για τα υφάσματα και το μέγεθος του μεταλλικού σύρματος για τα πλέγματα. Τα χαρακτηριστικά όλων των δειγμάτων δίνονται αναλυτικά στον πίνακα που ακολουθεί (Πίνακας 2).

Όνομασία Δείγματος	Είδος	Περιγραφή
Δείγμα 1	Ύφασμα	Ύφασμα νήματος μικρού πάχους.
Δείγμα 2	Ύφασμα	Ύφασμα νήματος μέσου πάχους
Δείγμα 3	Ύφασμα	Ύφασμα νήματος μεγάλου πάχους
Δείγμα 4	Μεταλλικό πλέγμα	Πλέγμα σύρματος μικρής διατομής μεγάλης πυκνότητας ύφανσης.
Δείγμα 5	Μεταλλικό πλέγμα	Πλέγμα σύρματος μεγαλύτερης διατομής με μικρή πυκνότητα ύφανσης

Πίνακας 2 : Αναλυτική περιγραφή και ταξινόμηση δειγμάτων πειράματος.

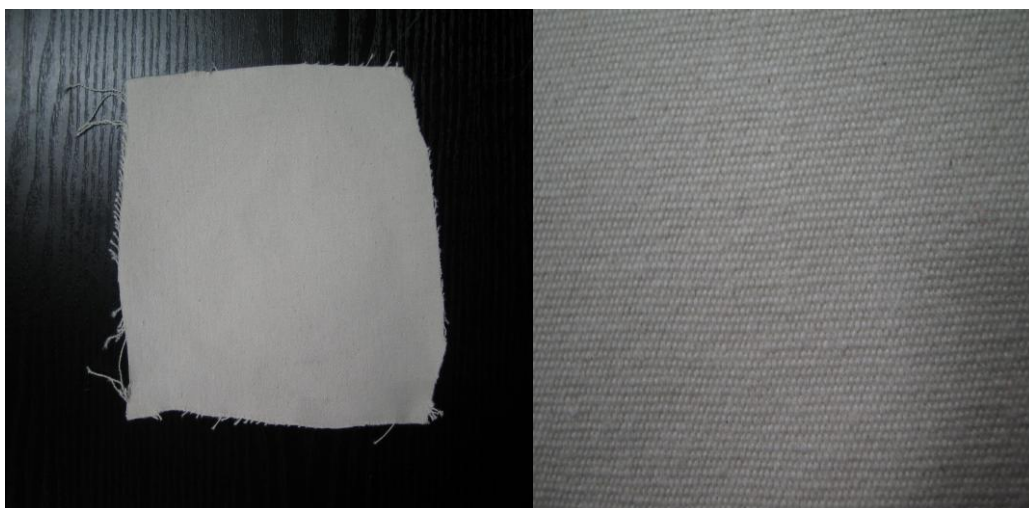


Σχήμα 3.1 : Φωτογραφία δείγματος 1 και σε μεγέθυνση όπου διακρίνεται η πυκνότητα και ο τρόπος ύφανσης.

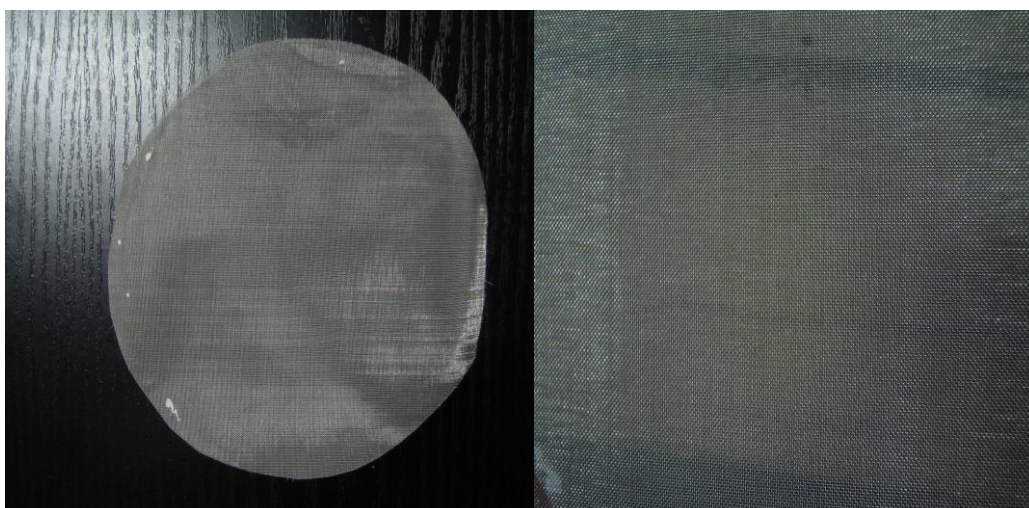


Σχήμα 3.2 : Φωτογραφία δείγματος 2 και σε μεγέθυνση όπου διακρίνεται η πυκνότητα και ο τρόπος ύφανσης.

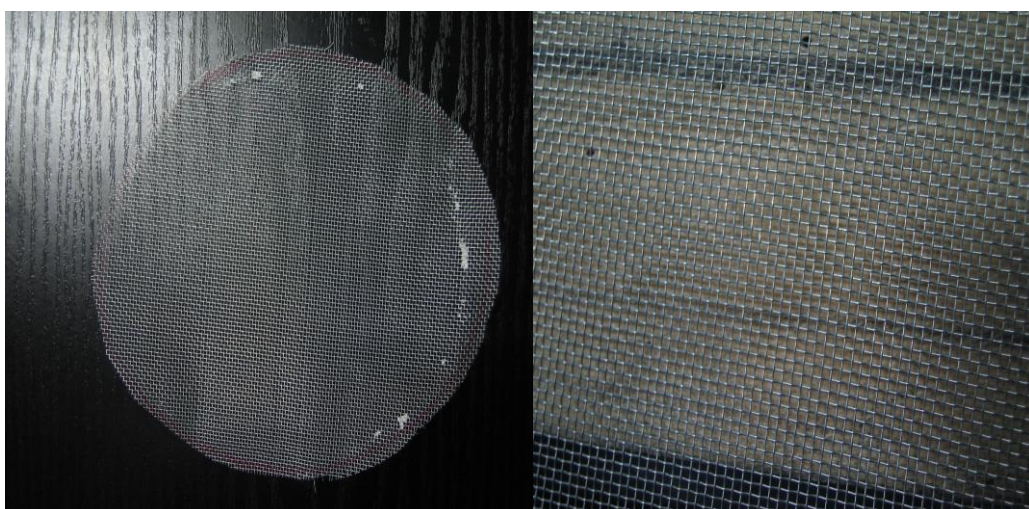




**Σχήμα 3.3 :** Φωτογραφία δείγματος 3 και σε μεγέθυνση όπου διακρίνεται η πυκνότητα και ο τρόπος ύφανσης



**Σχήμα 3.4 :** Φωτογραφία δείγματος 4 και σε μεγέθυνση όπου διακρίνεται το μέγεθος του σύρματος και η πυκνότητα ύφανσης



**Σχήμα 3.5 :** Φωτογραφία δείγματος 5 και σε μεγέθυνση όπου διακρίνεται το μέγεθος του σύρματος και η πυκνότητα ύφανσης

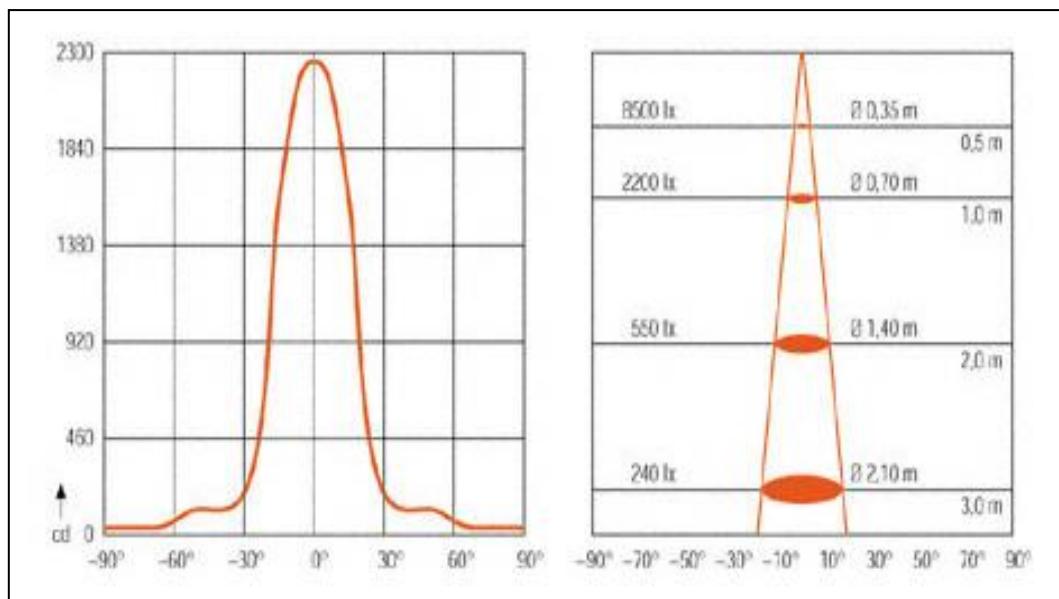
### 3.3 Φωτεινή πηγή.

Για να προσομοιωθεί το ηλιακό φως απαιτείται μια φωτεινή πηγή η οποία θα φωτίζει τα δείγματα παράγοντας φωτεινή δέσμη οι ακτίνες της οποίας να είναι παράλληλες μεταξύ τους. Χρησιμοποιήθηκε λαμπτήρας δέσμης με τέτοια χαρακτηριστικά ώστε οι ακτίνες της φωτεινής δέσμης να μπορούν να θεωρηθούν παράλληλες με ικανοποιητική ακρίβεια για δεδομένη απόσταση του δείγματος.



Ο λαμπτήρας που επιλέχθηκε για την διεξαγωγή του πειράματος είναι εστιακός λαμπτήρας πυρακτώσεως με διχρωϊκό καθρέπτη τύπου OSRAM DECOSTAR 51 IRC 48865 WFL 35W 12V GU5,3 FS1 ο οποίος διαθέτει άνοιγμα δέσμης  $36^\circ$ . Λεπτομερή φωτομετρικά στοιχεία του λαμπτήρα δίδονται στα διαγράμματα που ακολουθούν (σχήμα 3.7).

Σχήμα 3.6 : Λαμπτήρας πειράματος



Σχήμα 3.7 : Φωτομετρικά στοιχεία λαμπτήρα

### 3.4 Μετρούμενα φωτομετρικά μεγέθη

Στην παρούσα εργασία μετράται η ένταση φωτισμού **E** του εξερχόμενου από τα δείγματα φως σε συγκεκριμένη απόσταση από αυτά και για διάφορες θέσεις. Στη συνέχεια με τα συγκεντρωτικά δεδομένα υπολογίζεται η φωτεινή ένταση **I** στις κατευθύνσεις αυτές με εφαρμογή του φωτομετρικού νόμου των αποστάσεων όπως περιγράφεται σε προηγούμενη παράγραφο . Η γνώση της κατανομής της φωτεινής έντασης στο χώρο από το φωτιζόμενο δείγμα δίνει μια πλήρη εικόνα για τον τρόπο με τον οποίο το φως που διαπερνά τα δείγματα κατανέμεται στον χώρο και συνεπώς παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τις οπτικές ιδιότητες του όπως η διαπερατότητα και η ανακατανομή του προσπίπτοντος φωτισμού.



### 3.5 Γεωμετρία μετρήσεων

Για την εκτέλεση των πειραμάτων επιλέχθηκαν ως γωνίες προσπτώσεως του φωτός στα δείγματα, οι  $0^\circ$ ,  $30^\circ$  και  $45^\circ$ . Η μελέτη της φωτεινής ακτινοβολίας που διαπερνά τα δείγματα θα καταγράφεται μέσω των επιπέδων C (C-planes) του διεθνούς προτύπου CIE 121.

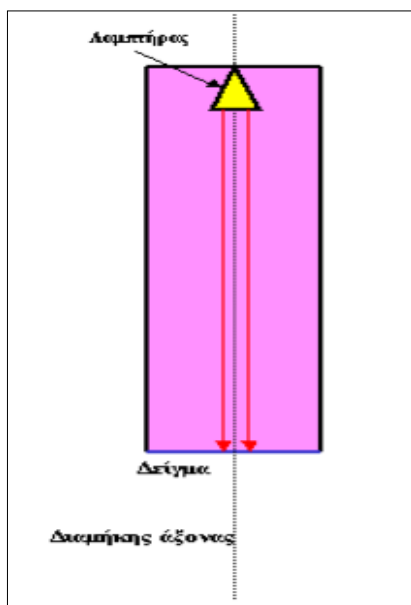
Ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιούνται οι μετρήσεις ώστε οι τα αποτελέσματα να είναι σύμφωνα με τα επίπεδα C του προτύπου της CIE περιγράφεται αναλυτικά στις παρουσιάσεις των πειραματικών διατάξεων που ακολουθούν.

### 3.6 Περιγραφή πειραματικών διατάξεων.

Για την εκτέλεση των μετρήσεων υλοποιήθηκαν δύο διαφορετικές πειραματικές διατάξεις. Η πρώτη διάταξη χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των μετρήσεων για γωνία πρόσπτωσης 0 μοιρών και πραγματοποιήθηκε με τη χρήση σπειροειδούς γωνιοφωτόμετρου ενώ η δεύτερη για τις μετρήσεις που αφορούν τις υπόλοιπες γωνίες πρόσπτωσης φωτός και πραγματοποιήθηκε με τη χρήση στερεοσκοπικού γωνιοφωτόμετρο. Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο τεχνολογίας φωτισμού του Ε.Μ.Π.

#### 3.6.1 Περιγραφή πειραματικής διατάξεως για πρόσπτωση υπό γωνία 0 μοιρών.

Για την υλοποίηση της πρόσπτωσης φωτεινής ακτινοβολίας υπό διάφορες γωνίες στα δείγματα χρησιμοποιήθηκαν κενοί μεταλλικοί κυλινδρικοί σωλήνες, διαμορφωμένοι κατάλληλα για τις ανάγκες κάθε πειράματος. Συγκεκριμένα για επίτευξη γωνίας πρόσπτωσης  $0^\circ$ , στο άνω στόμιο του σωλήνα τοποθετείται με ειδικό στήριγμα ο λαμπτήρας με τρόπο τέτοιο ώστε η φωτεινή του επιφάνεια να είναι ομόκεντρη με το κυκλικό στόμιο και η φωτεινή δέσμη του να είναι παράλληλη στον διαμήκη άξονα του.

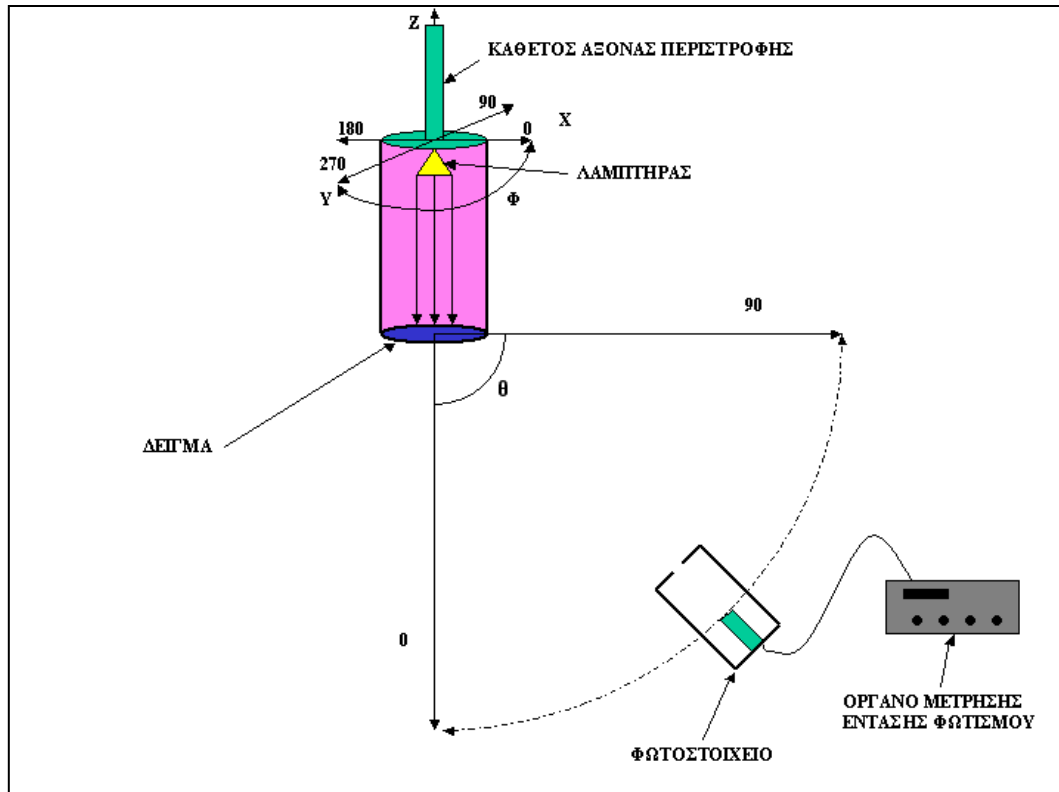


Στην άλλη άκρη του σωλήνα στηρίζονται τα δείγματα. Η στήριξη γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε το επίπεδο του δείγματος να συμπίπτει με αυτό του στομίου. Έτσι το δείγμα σχηματίζει την ίδια γωνία με τον διαμήκη άξονα με αυτή που σχηματίζει το στόμιο. Αφού όμως η φωτεινή δέσμη είναι παράλληλη στον διαμήκη άξονα, τελικώς έχουμε επιτύχει την πρόσπτωση της φωτεινής δέσμης του λαμπτήρα στα δείγματα να γίνεται υπό γωνία  $0^\circ$ . Η ανάρτηση του δείγματος στο σωλήνα δείχνεται στο διπλανό σχήμα (σχήμα 3.8).

**Σχήμα 3.8 : Σχηματική αναπαράσταση ανάρτησης δείγματος στο σωλήνα του πειράματος.**

Το εσωτερικό τοίχωμα του σωλήνα καλύπτεται με ειδική μαύρη ματ βαφή προς αποφυγή ανεπιθύμητων ανακλάσεων και διατήρηση της παράλληλης φωτεινής δέσμης από το λαμπτήρα.

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων για γωνία πρόσπτωσης  $0^\circ$  χρησιμοποιείται η διάταξη του παρακάτω σχήματος (σχήμα 3.9):



Σχήμα 3.9 : Σχηματική αναπαράσταση διατάξεως για την μέτρηση του φωτισμού που διαπερνά τα δείγματα για κάθετη πρόσπτωση εισερχόμενης δέσμης.

Γίνεται χρήση σπειροειδούς γωνιοφωτόμετρου το οποίο διαθέτει δύο ηλεκτρικούς κινητήρες ελεγχόμενους μέσω υπολογιστή. Ο ένας κινητήρας περιστρέφει κάθετο άξονα, (άξονας  $Z$  του σχήματος), πάνω στον οποίο στηρίζεται το φωτιστικό σώμα ενώ ο δεύτερος κινεί βραχίονα ο οποίος φέρει τον αισθητήρα του φωτοστοιχείου.

Ο αισθητήρας ο οποίος αποτελείται από ένα φωτοστοιχείο βρίσκεται σε απόσταση 2,5m από το δείγμα και είναι τοποθετημένος στον βραχίονα εντός κυλινδρικού κλωβού ο οποίος επιτρέπει την διέλευση του φωτός αποκλειστικά από την κατεύθυνση της μετρούμενης φωτεινής πηγής. Κατ' αυτό τον τρόπο αποφεύγονται ανεπιθύμητες συνεισφορές από ανακλώμενο και παράσιτο φωτισμό. Επιπλέον είναι τοποθετημένος κατάλληλα έτσι ώστε να είναι πάντοτε κάθετος προς τη φωτεινή ροή από κάθε μετρούμενη κατεύθυνση. Ο αισθητήρας συνδέεται μέσω ομοαξονικού καλωδίου με ψηφιακό όργανο μέτρησης έντασης φωτισμού (luxmeter). Οι μετρήσεις που λαμβάνονται από το όργανο μέσω του αισθητήρα στέλνονται στο υπολογιστή όπου και αποθηκεύονται.

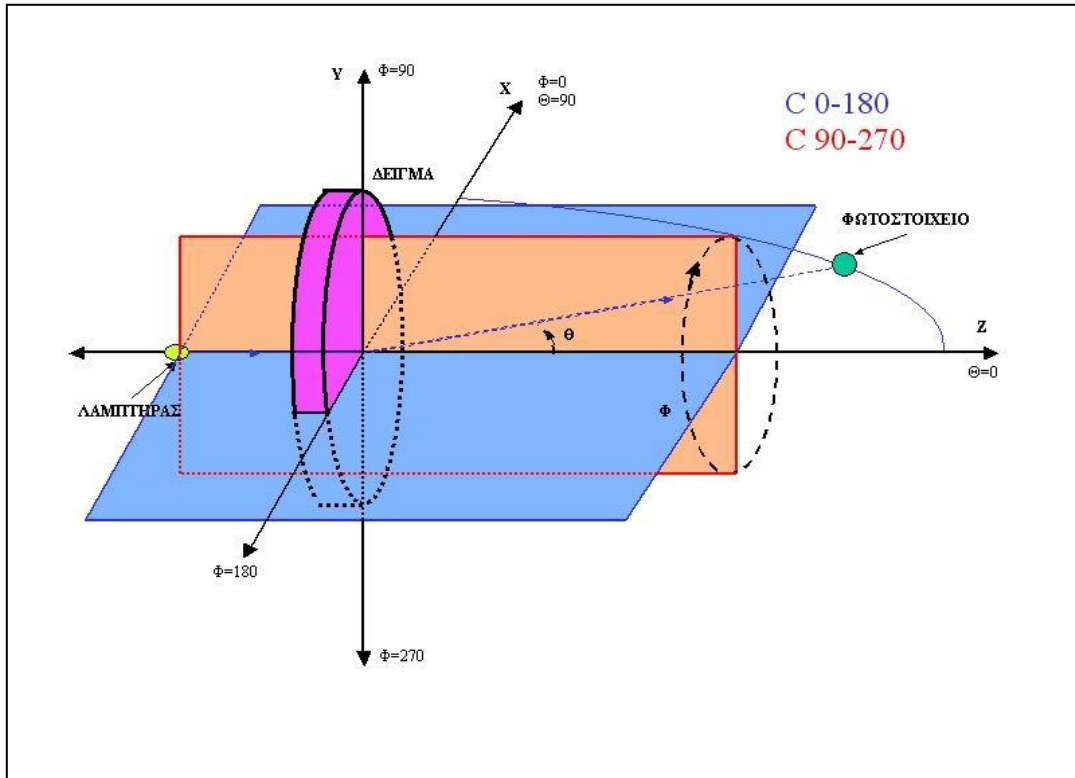
Ο λαμπτήρας του πειράματος συνδέεται στη τάση τροφοδοσίας (τάση δικτύου) μέσω σταθεροποιητή τάσεως για εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας του και σταθερής εκπομπής ακτινοβολίας φωτισμού.

Ο βραχίονας κινείται σε περιφέρεια κύκλου, το κέντρο του οποίου αντιστοιχεί σε αυτό του δείγματος. Το σύστημα σωλήνας – λαμπτήρας - δείγμα είναι αναρτημένο στον κάθετο άξονα κατά τρόπο τέτοιο ώστε το επίπεδο του δείγματος να είναι παράλληλο στο επίπεδο X-Y. Ο άξονας Z έχει δυνατότητα περιστροφής  $\pm 360^\circ$ .



**Σχήμα 3.10 :** Φωτογραφία πειραματικής διάταξης. Διακρίνεται ο μεταλλικός σωλήνας αναρτημένος στον κάθετο άξονα περιστροφής. (Εργαστήριο Φωτοτεχνίας Ε.Μ.Π.)

Με την παραπάνω τοποθέτηση προκύπτει η γεωμετρία μετρήσεων που ακολουθεί στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 3.11):



Σχήμα 3.11 : Γεωμετρία μετρήσεων για κάθετη πρόσπτωση φωτός.

Ο βραχίονας και ο κάθετος άξονας, ελεγχόμενα μέσω του ειδικού λογισμικού, καθορίζουν τις γωνίες  $\theta$  και  $\phi$ . Συγκεκριμένα η θέση του βραχίονα του αισθητήρα προσδιορίζει τις γωνίες  $\theta$  ενώ η περιστροφή του συστήματος σωλήνα-λαμπτήρα-δείγμα περί τον Z αντιστοιχεί στις γωνίες  $\phi$ , οι οποίες με τη σειρά τους καθορίζουν τα επίπεδα C. Με γαλάζιο χρώμα δείχνεται το επίπεδο  $C0^\circ - C180^\circ$  ενώ με κόκκινο το επίπεδο  $C90^\circ - C270^\circ$ .

Η διαδικασία με την οποία λαμβάνονται οι μετρήσεις είναι η εξής :

Για κάθε γωνία  $\theta_i$  του βραχίονα το σύστημα σωλήνας-λαμπτήρα-δείγμα εκτελεί περιστροφή περί τον άξονα Z σταδιακά μεταξύ των γωνιών  $\phi_1 = 0^\circ$  και  $\phi_2 = 360^\circ$  με βήμα ορισμένο κάθε φορά από το χειριστή της διατάξεως. Για κάθε θέση  $(\theta_i, \phi_i)$  μετράται από το όργανο η ένταση φωτισμού  $E(\theta_i, \phi_i)$  που λαμβάνει το φωτοστοιχείο στη θέση αυτή. Κατά την ολοκλήρωση της περιστροφής ο αισθητήρας έχει λάβει μετρήσεις στη συγκεκριμένη γωνία  $\theta_i$  για όλα τα επιθυμητά επίπεδα C  $\phi_i - C(180^\circ + \phi_i)$ .

Έτσι με εισαγωγή των βημάτων περιστροφής βραχίονα και άξονος λαμβάνονται οι τιμές της έντασης φωτισμού στα επιθυμητά επίπεδα C του προτύπου CIE 121. Σημειώνεται ότι η γωνία  $\gamma$  του προτύπου ταυτίζεται με τη γωνία  $\theta_i$  της γεωμετρίας του πειράματος.



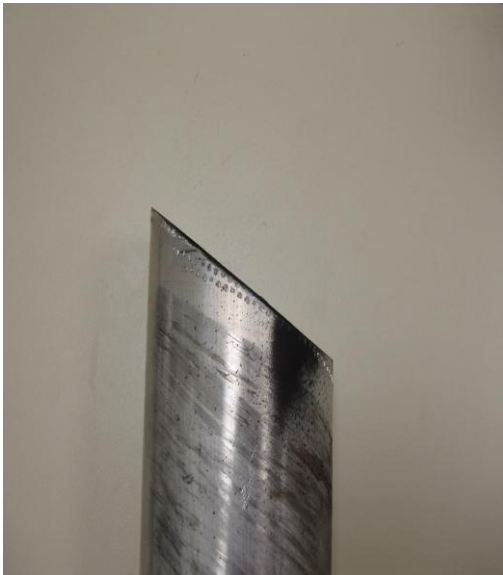
Σχήμα 3.12 : Φωτογραφία του σωλήνα χωρίς δείγμα τοποθετημένο στο στόμιο.



Σχήμα 3.13 : Φωτογραφία του σωλήνα με δείγμα τοποθετημένο στο στόμιο.

### 3.6.2 Περιγραφή πειραματικής διατάξεως για πρόσπτωση 30 και 45 μοιρών.

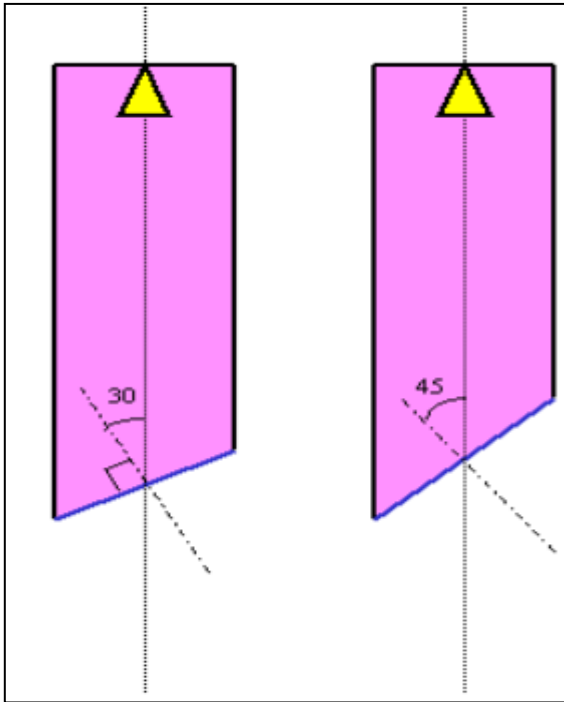
Για την υλοποίηση γωνίας πρόσπτωσης  $30^\circ$  και  $45^\circ$  στα δείγματα, χρησιμοποιούνται και πάλι κενοί μεταλλικοί σωλήνες, ελαφρώς τροποποιημένοι σε σχέση με το προηγούμενο πείραμα. Συγκεκριμένα σε αυτή τη περίπτωση η άκρη των σωλήνων όπου αναρτώνται τα δείγματα κόβονται κατά τρόπο τέτοιο ώστε να σχηματίζεται γωνία  $30^\circ$  και  $45^\circ$  αντίστοιχα μεταξύ του επιπέδου του τεμαχισμένου στομίου και του διαμήκη άξονα του σωλήνα, όπως φαίνεται στις παρακάτω φωτογραφίες :



**Σχήμα 3.14 : Στόμια σωλήνων, όπου τοποθετούνται τα δείγματα, κομμένα στις επιθυμητές γωνίες για πρόσπτωση 30 (αριστερά) και 45 (δεξιά) μοιρών.**

Τα δείγματα στηρίζονται και πάλι ώστε το επίπεδο τους να συμπίπτει με αυτό του στομίου. Έτσι σχηματίζουν την ίδια γωνία με τον διαμήκη άξονα με αυτή που σχηματίζει το στόμιο. Αφού όμως τώρα τα τεμαχισμένα στόμια σχηματίζουν γωνίες  $30^\circ$  και  $45^\circ$  με το διαμήκη άξονα τους και η φωτεινή δέσμη είναι παράλληλη στον διαμήκη άξονα, τελικώς έχουμε επιτύχει την πρόσπτωση της φωτεινής δέσμης του λαμπτήρα στα δείγματα να γίνεται υπό γωνίες  $30^\circ$  και  $45^\circ$ .

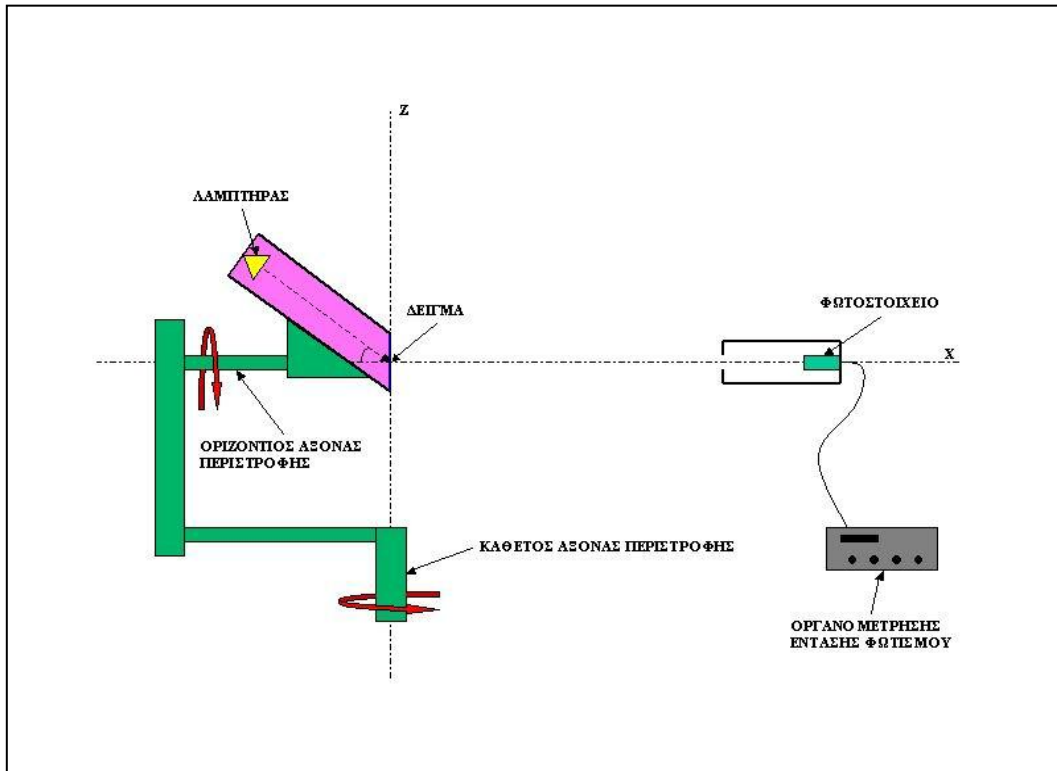
Η ανάρτηση του δείγματος στο σωλήνα δείχνεται στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 3.15).



**Σχήμα 3.15 :** Σχηματική αναπαράσταση ανάρτησης δείγματος στο σωλήνα του πειράματος.

Το εσωτερικό τοίχωμα του σωλήνα καλύπτεται με ειδική μαύρη ματ βαφή προς αποφυγή ανεπιθύμητων ανακλάσεων και διατήρηση της παράλληλης φωτεινής δέσμης από το λαμπτήρα

Για την πραγματοποίηση των μετρήσεων για γωνία πρόσπτωσης 30-45 μοιρών χρησιμοποιείται η πειραματική διάταξη του παρακάτω σχήματος:



**Σχήμα 3.16: Πειραματική διάταξη για μέτρηση πρόσπτωσης υπό γωνία**

Για τις απαιτούμενες μετρήσεις γίνεται χρήση στερεοσκοπικού γωνιοφωτόμετρου το οποίο διαθέτει δύο ηλεκτρικούς κινητήρες ελεγχόμενους μέσω υπολογιστή καθένας από τους οποίους κινεί έναν άξονα.

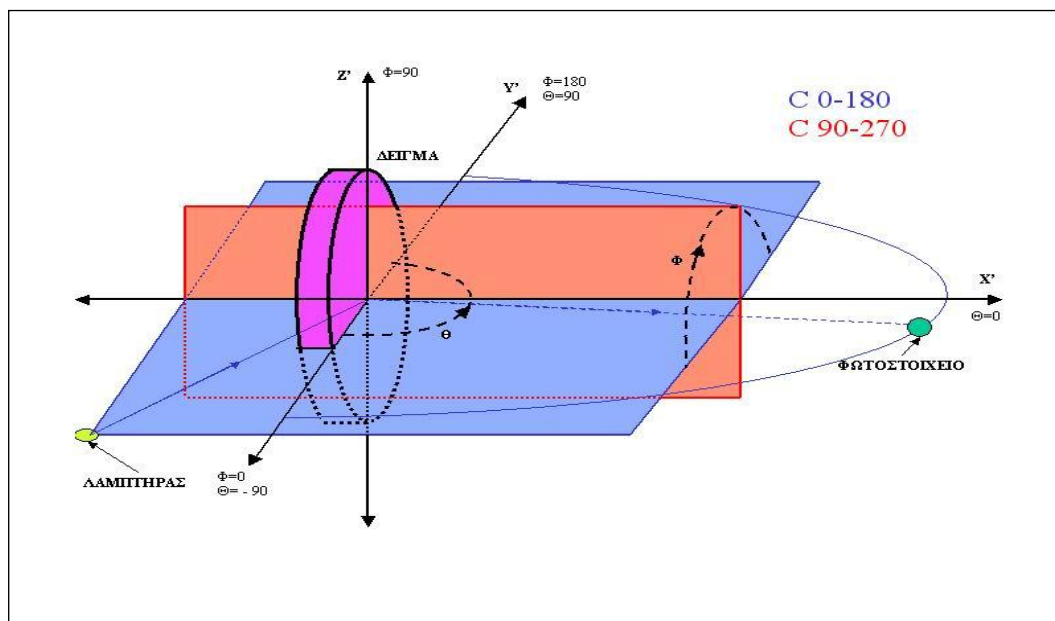
Ο αισθητήρας με το φωτοστοιχείο τοποθετείται σταθερός και πάντοτε κάθετος προς την αρχική θέση του γωνιοφωτόμετρου. Βρίσκεται σε απόσταση 9,9 μέτρων από το κέντρο του δείγματος και είναι κάθετος στην διεύθυνση της επιφάνειας του και σημαδεύει το κέντρο του δείγματος. Ο αισθητήρας βρίσκεται πάντοτε εντός κυλινδρικού κλωβού ο οποίος επιτρέπει την διέλευση του φωτός αποκλειστικά από την κατεύθυνση της μετρούμενης φωτεινής πηγής. Κατ' αυτό τον τρόπο αποφεύγονται ανεπιθύμητες ανακλάσεις και παράσιτος φωτισμός. Το φωτοστοιχείο συνδέεται μέσω ομοαξονικού καλωδίου σε ψηφιακό όργανο μέτρησης έντασης φωτισμού (luxmeter). Οι μετρήσεις που λαμβάνονται από το όργανο μέσω του αισθητήρα στέλνονται στο υπολογιστή όπου και αποθηκεύονται.

Ο λαμπτήρας συνδέεται στη τάση τροφοδοσίας (τάση δικτύου) μέσω σταθεροποιητή τάσεως για εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας του και σταθερής εκπομπής ακτινοβολίας φωτισμού.



Το σύστημα σωλήνας-λαμπτήρας-δείγμα στερεώνεται έτσι ώστε το επίπεδο του δείγματος να είναι πάντοτε κάθετο στον οριζόντιο άξονα περιστροφής και το κέντρο του δείγματος να βρίσκεται πάνω στη νοητή ευθεία του κάθετου άξονα που συνδέει γωνιοφωτόμετρο και αισθητήρα. Δηλαδή η νοητή ευθεία του οριζόντιου άξονα περιστροφής περνά μέσα από το κέντρο του δείγματος και του φωτοστοιχείου.

Με την παραπάνω τοποθέτηση τα υπό εξέταση δείγματα δύνανται να περιστραφούν περί των αξόνων X και Z και προκύπτει η παρακάτω γεωμετρία μετρήσεων η οποία λαμβάνει ως αναφορά το επίπεδο του δείγματος (Σχήμα 3.17)



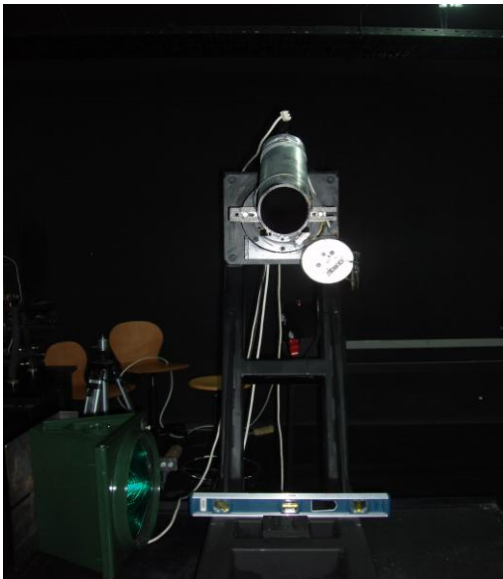
:

**Σχήμα 3.17 : Γεωμετρία μετρήσεων για γωνίες πρόσπτωσης 30 και 45 μοιρών.**

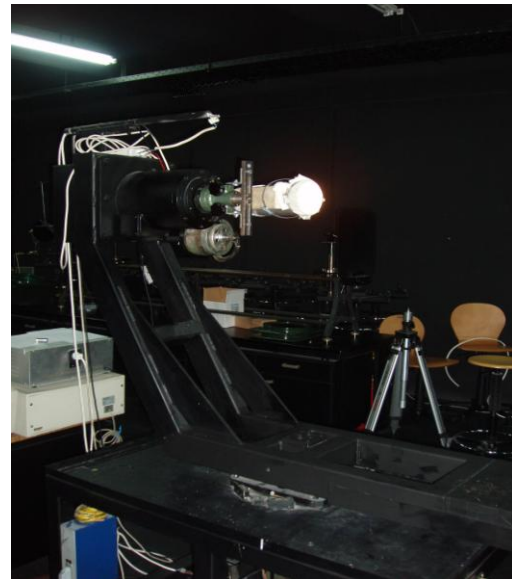
Στο σχήμα 3.17 ο άξονας  $Z'$  ταυτίζεται με τον άξονα  $Z$  του σχήματος 3.16 ενώ η ευθεία που ενώνει το φωτοστοιχείο με το κέντρο του δείγματος είναι ο άξονας  $X$ . Ο οριζόντιος και ο κάθετος άξονας, ελεγχόμενα μέσω του ειδικού λογισμικού, καθορίζουν τις γωνίες  $\theta$  και  $\phi$ . Συγκεκριμένα, περιστροφή περί τον κάθετο άξονα αντιστοιχεί στις γωνίες  $\theta$  ενώ περιστροφή περί τον οριζόντιο άξονα αντιστοιχεί στις γωνίες  $\phi$ , οι οποίες με τη σειρά τους καθορίζουν τα επίπεδα  $C$ . Για την εκτέλεση των μετρήσεων θεωρείται ως επίπεδο  $C0^\circ - C180^\circ$  το επίπεδο το οποίο περιέχει την διεύθυνση των ακτινών του προσπίπτοντος φωτός. Με γαλάζιο χρώμα παρουσιάζεται το επίπεδο  $C0^\circ - C180^\circ$  ενώ με κόκκινο το επίπεδο  $C90^\circ - C270^\circ$



Η διαδικασία με την οποία λαμβάνονται οι μετρήσεις είναι η εξής : Για κάθε γωνία  $\phi_i$  το υπό εξέταση δείγμα στρέφεται σταδιακά περί τον άξονα  $Z$  μεταξύ των γωνιών  $\theta_1 = -90^\circ$  και  $\theta_2 = 90^\circ$  με το επιθυμητό βήμα εισαγόμενο από τον χειριστή της διατάξεως. Για κάθε θέση  $(\theta_i, \phi_i)$  μετράται από το όργανο η ένταση φωτισμού  $E(\theta_i, \phi_i)$  που λαμβάνει το φωτοστοιχείο στη θέση αυτή. Κατά την ολοκλήρωση της περιστροφής ο αισθητήρας έχει λάβει μετρήσεις πάνω στο ημικύκλιο που φαίνεται στο σχήμα 3 και το οποίο βρίσκεται πάντοτε στο επίπεδο  $X'Y'$ . Το επίπεδο  $X'Y'$  όμως συμπίπτει κάθε φορά με το επίπεδο  $C \phi_i - C$  ( $180^\circ + \phi_i$ ) και συνεπώς οι αντίστοιχες μετρήσεις ανήκουν στο επίπεδο αυτό. Σημειώνεται πώς στη γεωμετρία της πειραματικής διάταξης η γωνία  $\gamma$  του προτύπου της CIE αντιστοιχεί στην  $\theta$  της γεωμετρίας του πειράματος.



**Σχήμα 3.18 :** Φωτογραφία σωλήνα αναρτημένη στο στερεοσκοπικό γωνιοφωτόμετρο του εργαστηρίου.



**Σχήμα 3.19 :** Φωτογραφία σωλήνα αναρτημένη στο στερεοσκοπικό γωνιοφωτόμετρο του εργαστηρίου. Διακρίνεται ένα από τα υφασμάτινα δείγματα στερεωμένο σε αυτό και ο λαμπτήρας σε λειτουργία.

### 3.8 Μεθοδολογία των μετρήσεων

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την λήψη των μετρήσεων ήταν πανομοιότυπη και για τις δύο πειραματικές διατάξεις.

Προ της ενάρξεως των μετρήσεων ο λαμπτήρας τίθονταν υπό τάση μέσω του σταθεροποιητή και παρέμενε σε λειτουργία για αρκετό χρονικό διάστημα (περίπου 15 λεπτά) έτσι ώστε να φτάσει στην κανονική θερμοκρασία λειτουργίας του και η εκπομπή φωτεινής ακτινοβολίας να σταθεροποιηθεί.

Κατόπιν τούτου τα δείγματα τοποθετούνταν στα στόμια των σωλήνων. Η τοποθέτηση γινόταν κατάλληλα έτσι ώστε τα δείγματα να εφαρμόζουν τέλεια στα στόμια και να είναι τεταμένα και επίπεδα. Με αυτό τον τρόπο αποφεύχθηκαν

ανεπιθύμητες κυματώσεις στα υφάσματα και καμπύλες στα πλέγματα που θα μπορούσαν ενδεχομένως να επηρεάσουν τις μετρήσεις.

Για την μέτρηση της έντασης φωτισμού  $E$  επιλέχθηκαν βήματα αύξησης των γωνιών  $\theta$  και  $\phi$ ,  $\delta\phi = 10^\circ$  και  $\delta\theta = 5^\circ$ , όπου  $\theta$  και  $\phi$  όπως προσδιορίζονται από την αντίστοιχη κάθε φορά γεωμετρία μετρήσεων (§3.6.1 και §3.6.2). Με αυτήν την επιλογή προκύπτουν τιμές  $E$  σε **18** συνολικά επίπεδα, από το επίπεδο  $C0^\circ - C180^\circ$  έως και το  $C170^\circ - C350^\circ$ . Για κάθε ένα τέτοιο επίπεδο, μετρήσεις λαμβάνονταν για γωνίες  $\gamma$  με βήμα  $5^\circ$  μεταξύ τους. Έτσι προέκυψαν **37** τιμές φωτεινής έντασης για κάθε επίπεδο μεταξύ των γωνιών  $\gamma = 90^\circ$  και  $\gamma = -90^\circ$  (ή  $\gamma = 270^\circ$ ). Συνολικά λοιπόν προκύπτουν **666** μετρήσεις έντασης φωτισμού σε διαφορετικές θέσεις για κάθε ένα δείγμα με βάση τον ορισμό των  $\Gamma$  επιπέδων. Όλα τα μετρούμενα επίπεδα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα

Μετρούμενα επίπεδα $\Gamma$ πειράματος	
$C0^\circ - C180^\circ$	$C90^\circ - C270^\circ$
$C10^\circ - C190^\circ$	$C100^\circ - C280^\circ$
$C20^\circ - C200^\circ$	$C110^\circ - C290^\circ$
$C30^\circ - C210^\circ$	$C120^\circ - C300^\circ$
$C40^\circ - C220^\circ$	$C130^\circ - C310^\circ$
$C50^\circ - C230^\circ$	$C140^\circ - C320^\circ$
$C60^\circ - C240^\circ$	$C150^\circ - C330^\circ$
$C70^\circ - C250^\circ$	$C160^\circ - C340^\circ$
$C80^\circ - C260^\circ$	$C170^\circ - C350^\circ$

Πίνακας 3 : Όλα τα επίπεδα στα οποία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις στα δείγματα

Για κάθε δείγμα έγινε επανάληψη των μετρήσεων δύο φορές με διαφορετικούς αισθητήρες προς επιβεβαίωση των λαμβανομένων τιμών. Παρατηρήθηκε ομοιότητα των μετρούμενων τιμών μέσα στο όριο σφάλματος των οργάνων.

Η σωστή τοποθέτηση των πειραματικών (σωλήνων) στα γωνιοφωτόμετρα επιβεβαιωνόταν με χρήση ειδικού λέιζερ για την αποφυγή σφαλμάτων κατά τη “σκόπευση”.

### 3.9 Πηγές σφαλμάτων.

Στην παρούσα εργασία εντοπίστηκαν δύο σημαντικές πηγές σφαλμάτων οι οποίες λήφθηκαν υπ’ όψιν και αντιμετωπίστηκαν ανάλογα όπως περιγράφεται παρακάτω.

Το πρώτο και σημαντικότερο είναι το σφάλμα κατά την τοποθέτηση των σωλήνων στους κινητούς βραχίονες των γωνιοφωτόμετρων. Η μη σωστή τοποθέτηση οδηγεί σε σφάλμα σκόπευσης, το οποίο έχει ως συνέπεια τη λανθασμένη μέτρηση των επιπέδων  $C$ . Γι αυτό το λόγο η τοποθέτηση των σωλήνων έγινε με χρήση ειδικού λέιζερ ακριβείας το οποίο εξασφαλίζει ικανοποιητικά τον προσανατολισμό τους.

Δεύτερη πηγή σφαλμάτων είναι η παρουσία ενός σταθερού σφάλματος μέτρησης στα ψηφιακά όργανα μέτρησης της έντασης φωτισμού. Ακόμα και σε συνθήκες απόλυτου σκότους η ενδείξεις των οργάνων δεν ήταν μηδενικές. Αυτό έχει ως συνέπεια ακόμα και για γωνίες όπου θα ανέμενε κανείς μηδενικές τιμές φωτεινής έντασης οι ενδείξεις των οργάνων να αναγράφουν κάποια τιμή. Αυτό το σφάλμα επιβεβαιώθηκε ότι είναι σταθερό και ανεξάρτητο από τον οποιαδήποτε προσανατολισμό του γωνιοφωτόμετρου. Συνεπώς με αφαίρεση αυτής της σταθερής τιμής κάθε φορά από την αναγραφόμενη στο όργανο ένδειξη κατά τη διαδικασία μέτρησης παρουσία δείγματος προκύπτει η πραγματική τιμή τις έντασης φωτισμού.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

### 4.1 Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας.

Το πολικό διάγραμμα διαπερατότητας δίνει λεπτομερή πληροφόρηση για τις κατευθύνσεις στις οποίες οδηγείται το φως αφού έχει διαπεράσει το φωτιζόμενο δείγμα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα πολικά διαγράμματα διαπερατότητας για κάθε δείγμα σε κάθε λαμβανόμενο επίπεδο C. Για τις μετρήσεις που αφορούν την κάθετη πρόσπτωση φωτεινής ακτινοβολίας στα δείγματα, σε κάθε πολικό διάγραμμα παρουσιάζονται ταυτόχρονα δύο κάθετα μεταξύ τους επίπεδα.

Η μορφή αυτή παρουσίασης διατηρείται στις περιπτώσεις των υφασμάτων και για τις γωνίες πρόσπτωσης 30 και 45 μοιρών ενώ για τα μεταλλικά πλέγματα κάθε μετρούμενο επίπεδο Γ παρουσιάζεται ξεχωριστά στις γωνίες αυτές.

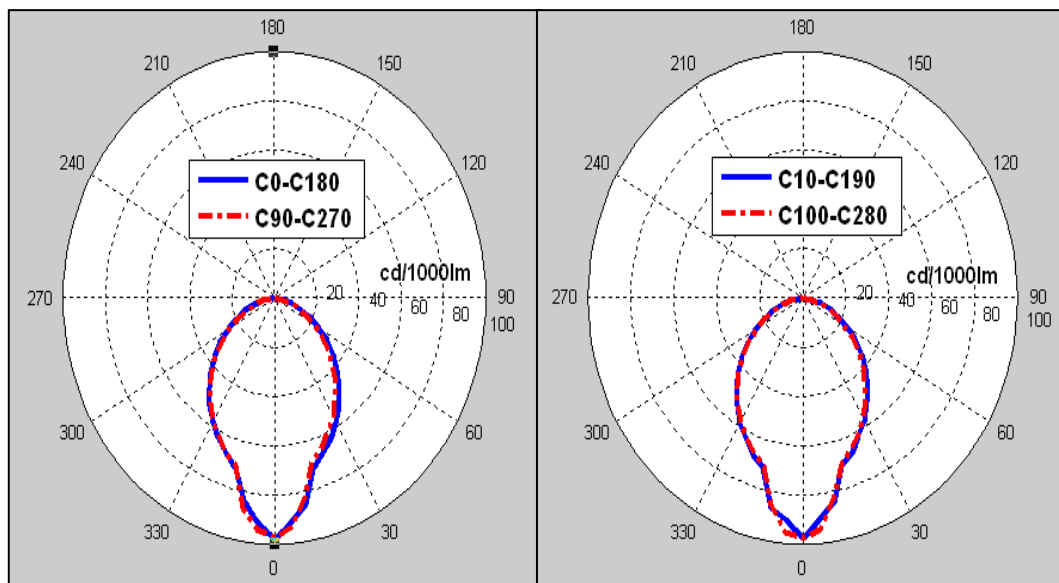
Σε όλα τα πολικά διαγράμματα η γωνία μεταβολής είναι η αντίστοιχη  $\gamma$  του προτύπου 121 της CIE.

Επίσης παρουσιάζονται γραφήματα τα οποία απεικονίζουν την τρισδιάστατη κατανομή της φωτεινής έντασης που διαπερνά τα εξεταζόμενα δείγματα. Τα γραφήματα αυτά αποτελούν όλα τα καταγεγραμμένα επίπεδα Γ ολοκληρωμένα στο χώρο και δίνουν μια ποιοτική εικόνα του τρόπου με τον οποίο κατανέμεται η φωτεινή ένταση στο χώρο και έχουν προκύψει από την εισαγωγή όλων των λαμβανόμενων πειραματικών δεδομένων σε ειδικό υπολογιστικό λογισμικό. Η παρουσίαση γίνεται δίνοντας τρεις διαφορετικές οπτικές γωνίες, μία γενική εποπτική όπου σημειώνονται άξονες X-Y-Z και δύο κάθετες μεταξύ τους πλαινές όψεις στα επίπεδα X-Z και Y-Z. Η μεταβολή στις τιμές της φωτεινής έντασης σημειώνεται με περιοχές διαφορετικού χρωματισμού με το κυανό να αντιστοιχεί στις περιοχές με την χαμηλότερη φωτεινή ένταση και το ερυθρό στις περιοχές με την υψηλότερη.

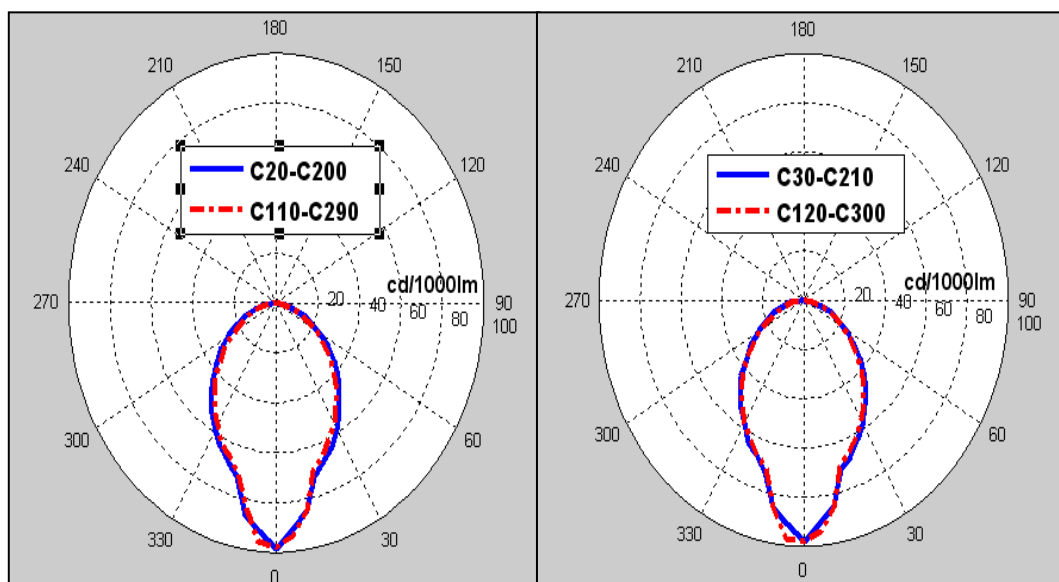
Σε όλα τα διαγράμματα οι τιμές φωτεινής έντασης που αναγράφονται έχουν προκύψει από αναγωγή των υπολογισμένων από τις μετρήσεις τιμών σε 1000 lumen προσπίπτουσας φωτεινής ροής.

#### 4.1.1 Δείγμα 1 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού 0°

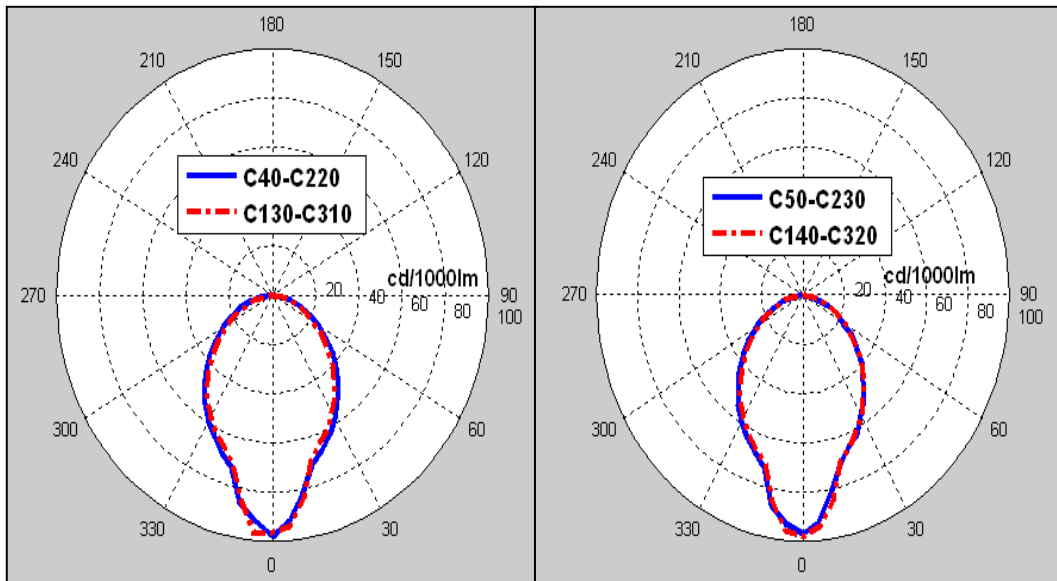
Παρακάτω παρουσιάζονται τα πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας (Σχήματα 4.1 έως 4.5) και η τρισδιάστατη κατανομή της για το δείγμα 1 (Σχήματα 4.6 και 4.7).



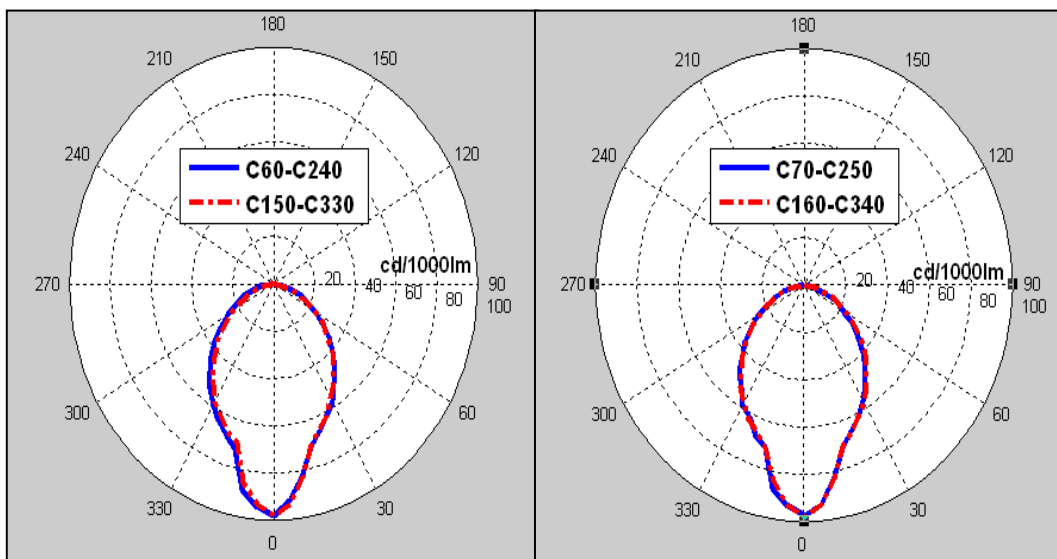
**Σχήμα 4.1: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C0-C180, C90-C270 (αριστερά) και C10-C190, C100-C280 (δεξιά)**



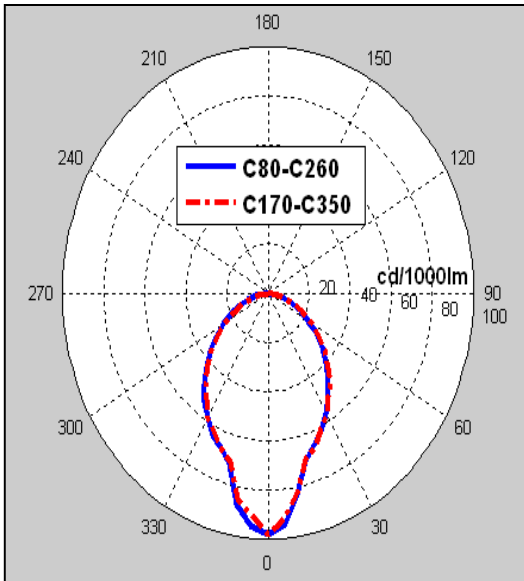
**Σχήμα 4.2 : Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C20-C200, C110-C290 (αριστερά) και C30-C210, C120-C300 (δεξιά).**



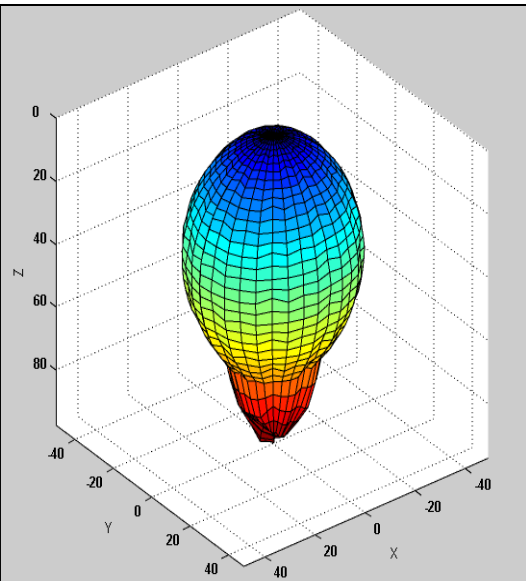
**Σχήμα 4.3 : Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C40-C220, C130-C310 (αριστερά) και C50-C230, C140-C320 (δεξιά)**



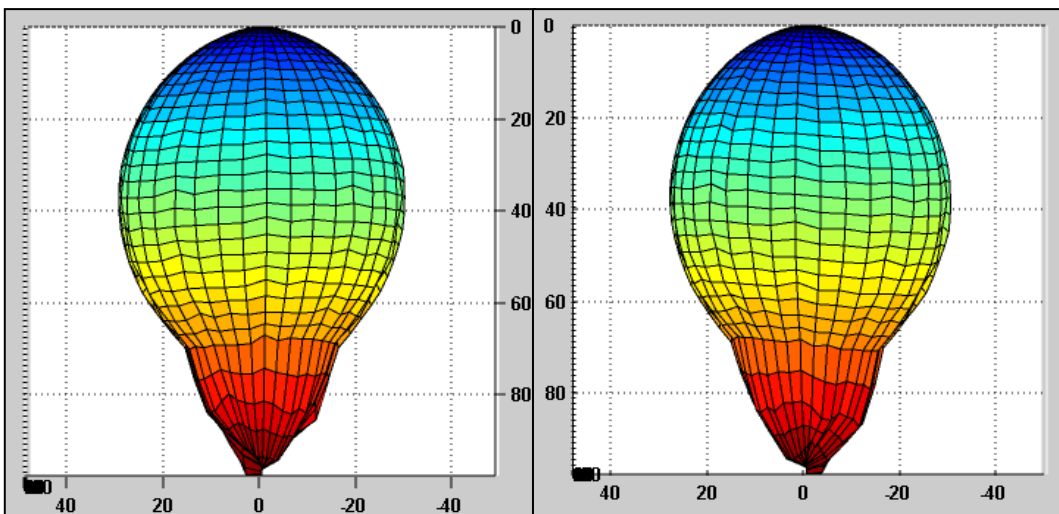
**Σχήμα 4.4: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C60-C240, C150-C330 και C70-C250, C160-C340**



**Σχήμα 4.5 Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C80-C260 και C170-C350**



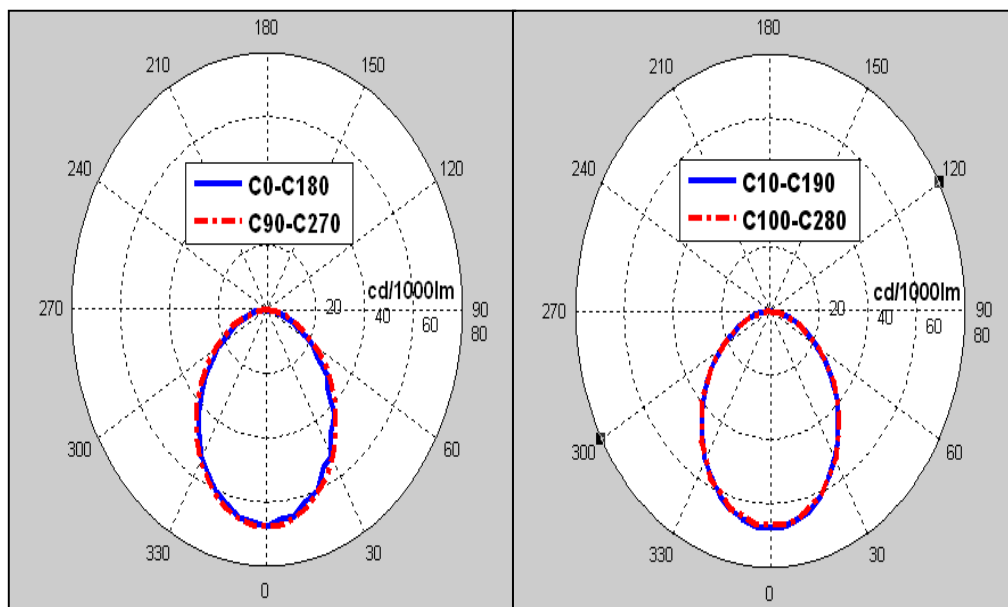
**Σχήμα 4.6 Τρισδιάστατη απεικόνιση της εξεργόμενης φωτεινής διαπερατότητας από το ύφασμα (γενική άποψη).**



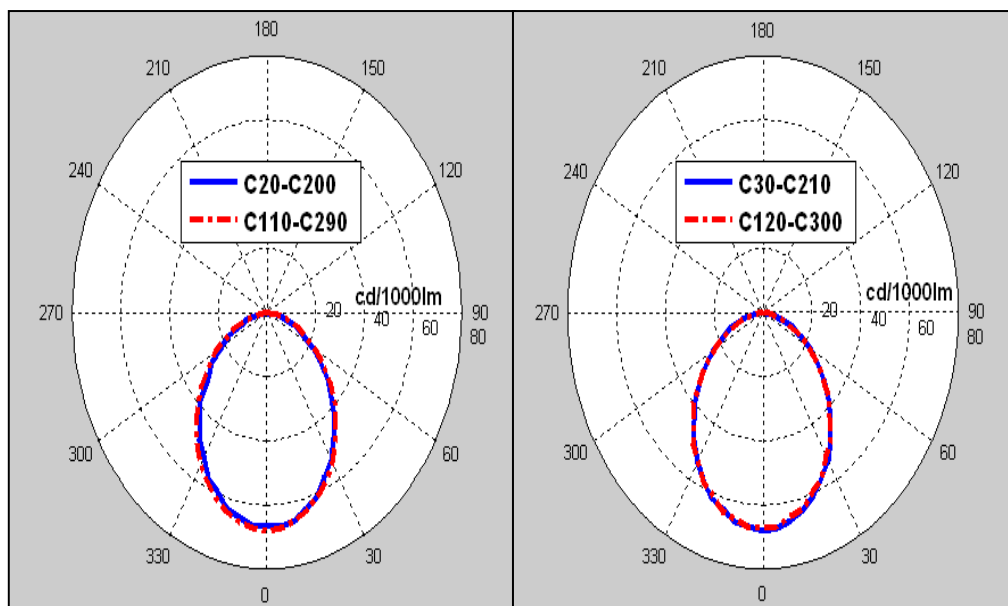
**Σχήμα 4.7 : Τρισδιάστατη απεικόνιση της εξεργόμενης φωτεινής διαπερατότητας από το ύφασμα στο επίπεδο X-Z(αριστερά) και στο επίπεδο Y-Z (δεξιά).**

#### 4.1.2 Δείγμα 2 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού 0°

Παρακάτω παρουσιάζονται τα πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας (Σχήματα 4.8 – 4.12) και η τρισδιάστατη κατανομή της για το δείγμα 2 (Σχήματα 4.13 - 4.14).

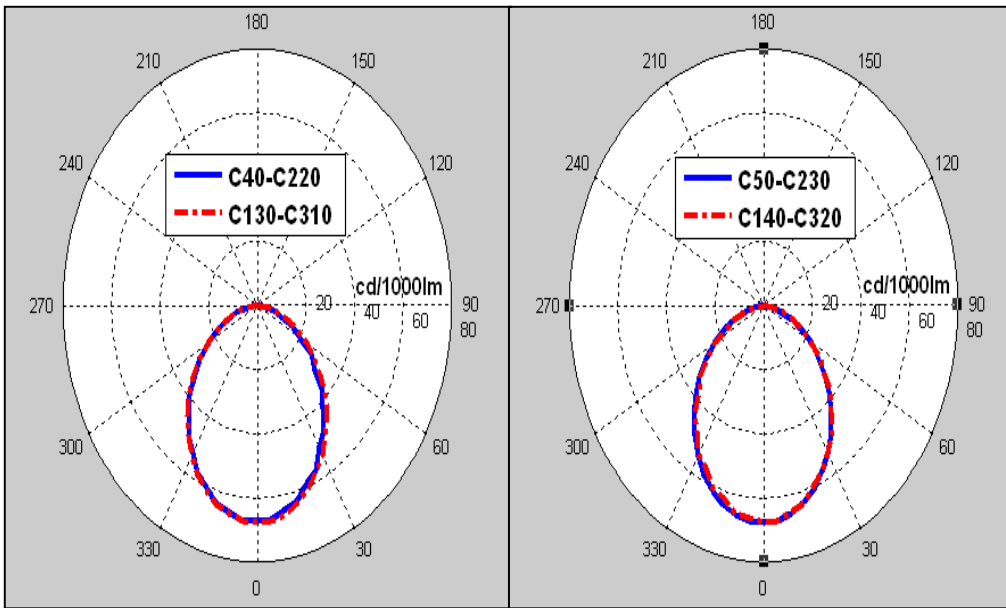


**Σχήμα 4.8: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C0-C180,C90-C270 και C10-C190,C100-C280**

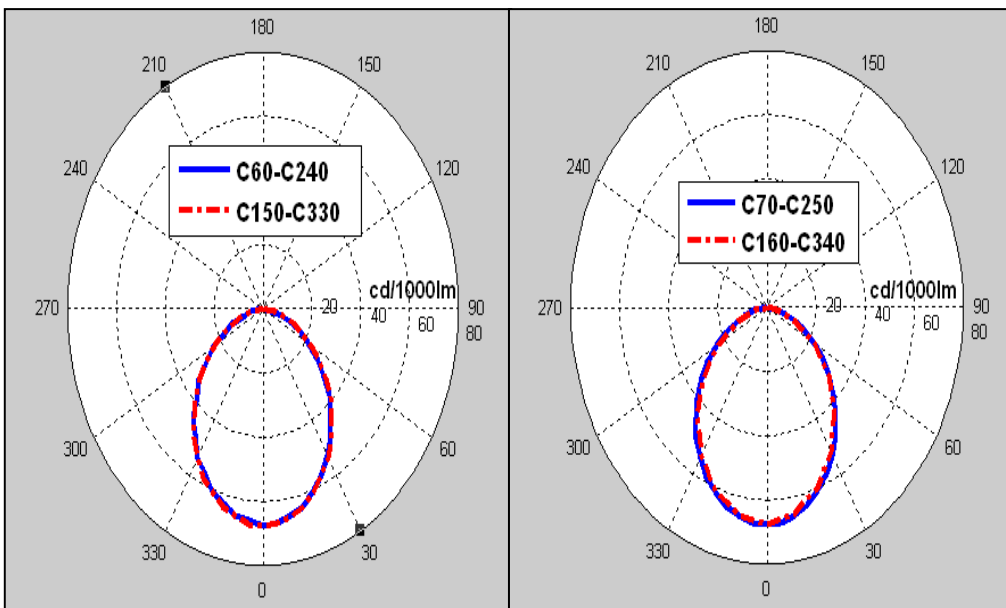


**Σχήμα 4.9: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C20-C200,C110-C290 και C30-C210,C120-C300**

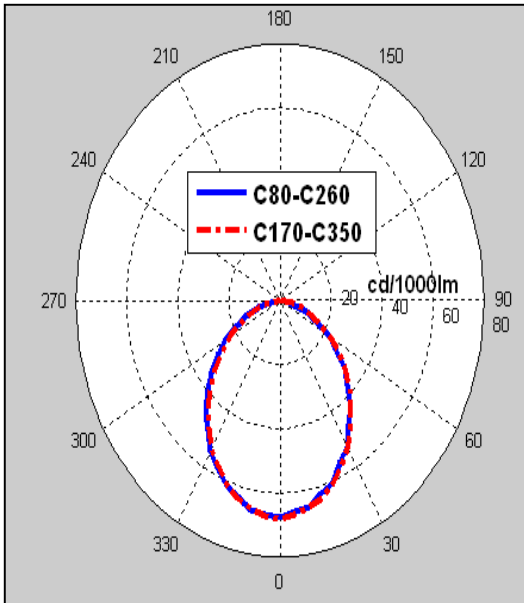




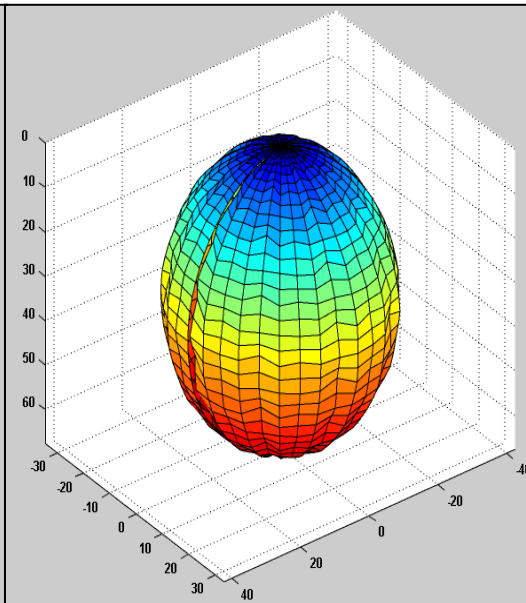
**Σχήμα 4.10 : Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C40-C220, C130-C310 και C50-C230, C140-C320**



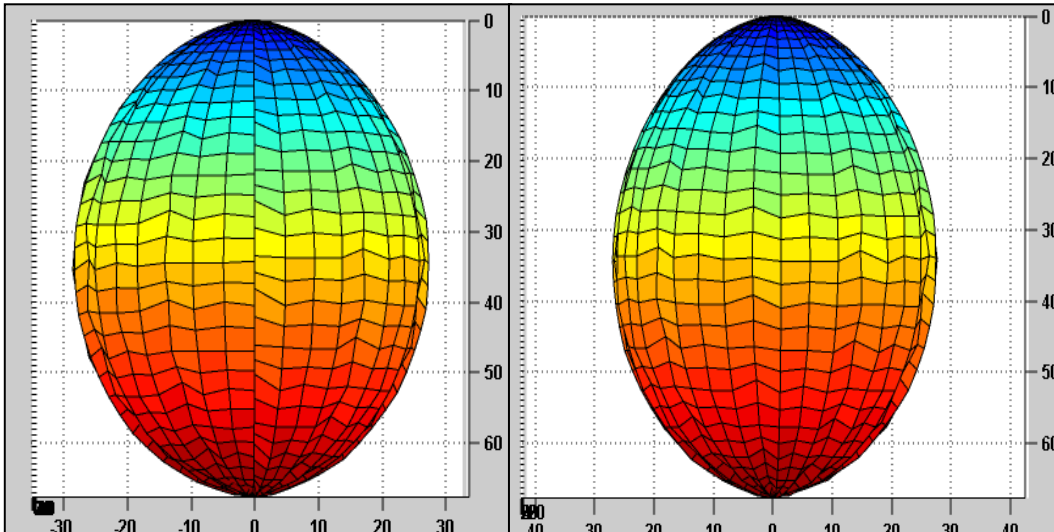
**Σχήμα 4.11: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C60-C240, C150-C330 και C70-C250, C160-C340**



**Σχήμα 4.12: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C80-C260 και C170-C350**



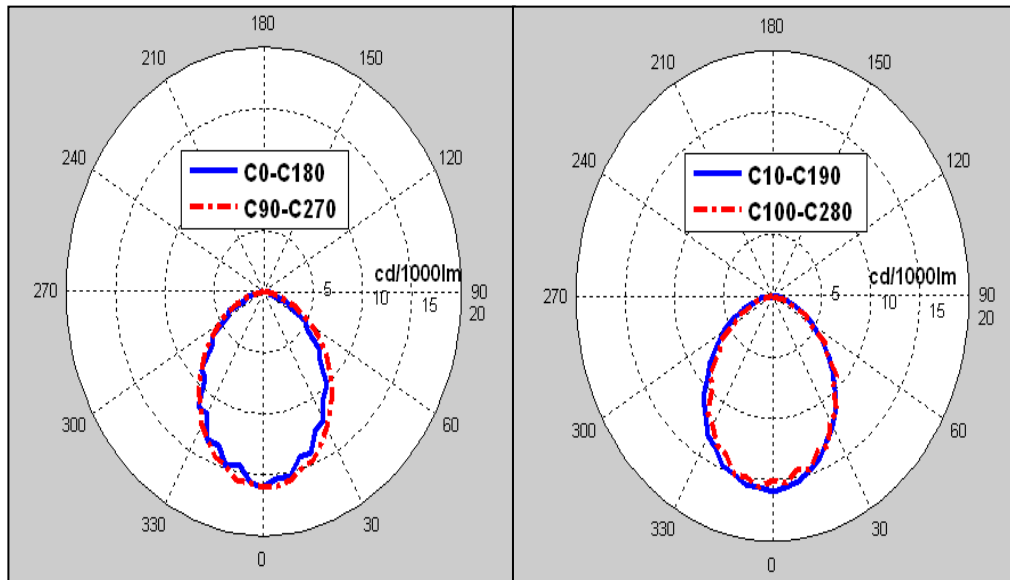
**Σχήμα 4.13: Τρισδιάστατη απεικόνιση της εξεργόμενης από το ύφασμα φωτεινής διαπερατότητας(γενική άποψη.)**



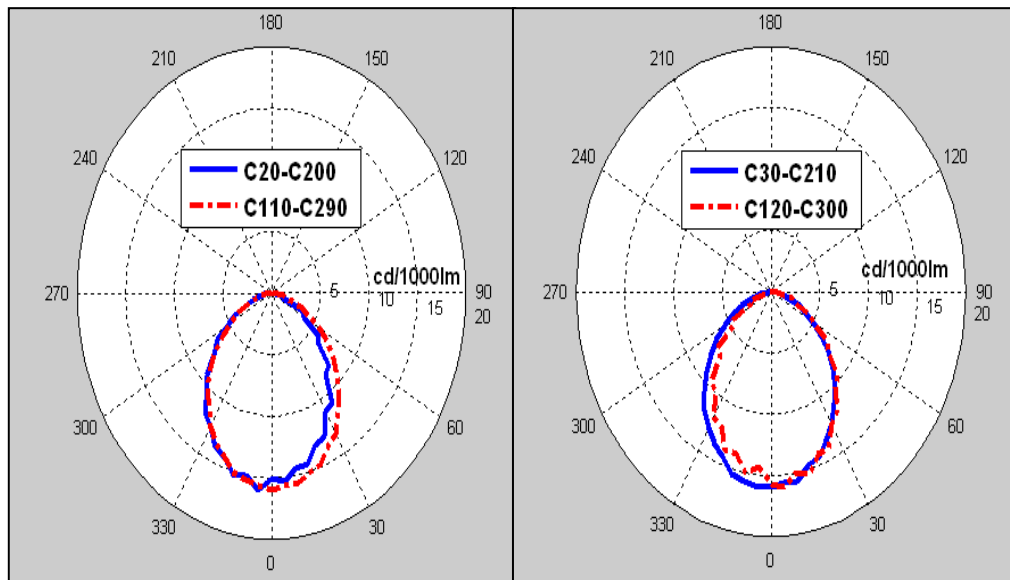
**Σχήμα 4.14: Τρισδιάστατη απεικόνιση της εξεργόμενης φωτεινής διαπερατότητας από το ύφασμα σε άποψη X-Z(αριστερά) και άποψη Y-Z (δεξιά).**

#### 4.1.3 Δείγμα 3 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού $0^\circ$

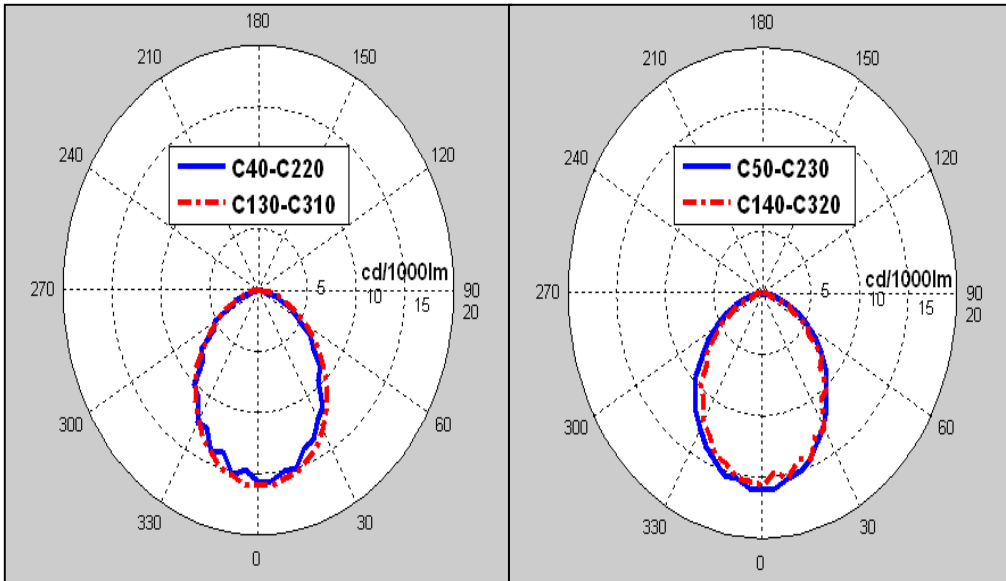
Παρακάτω παρουσιάζονται τα πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας (Σχήματα 4.15 έως 4.19) και η τρισδιάστατη κατανομή της για το δείγμα 3 (Σχήματα 4.20 και 4.21).



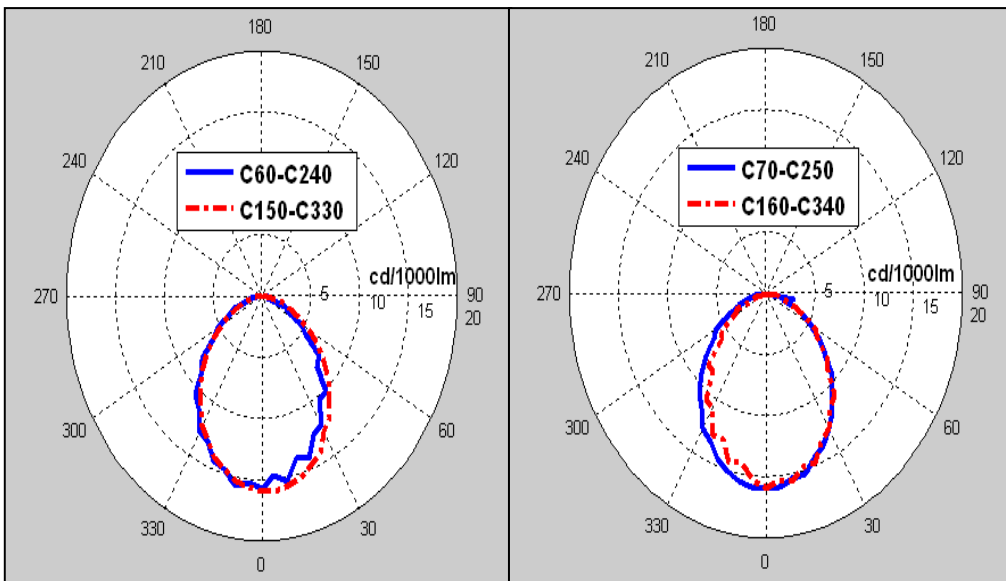
**Σχήμα 4.15: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C0-C180, C90-C270 και C10-C190, C100-C280**



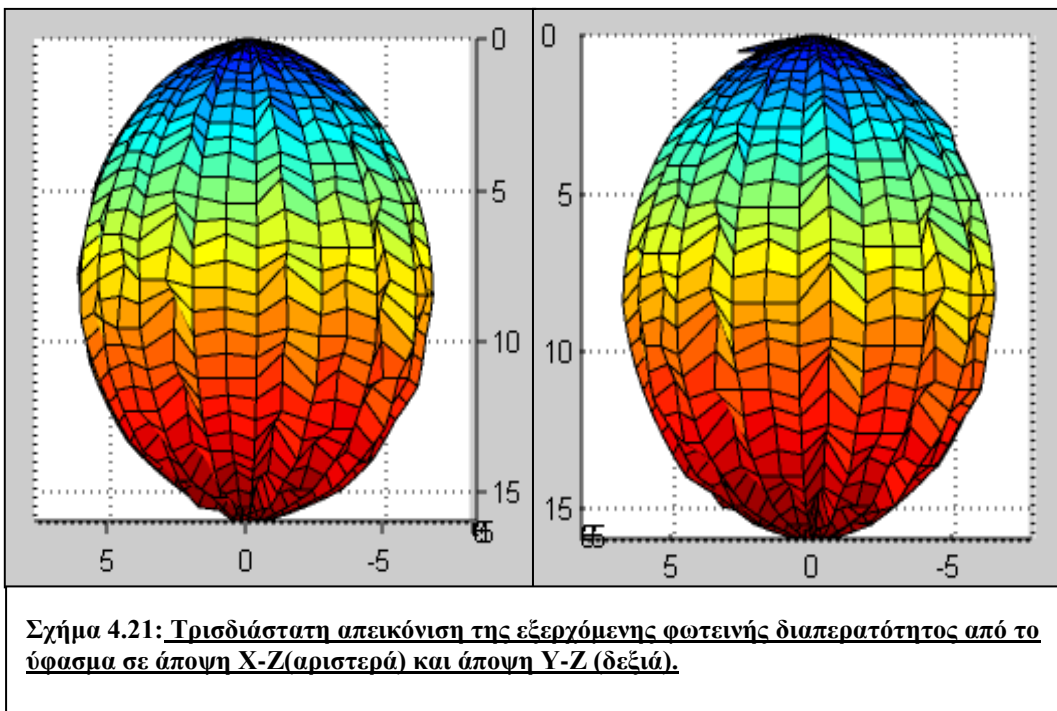
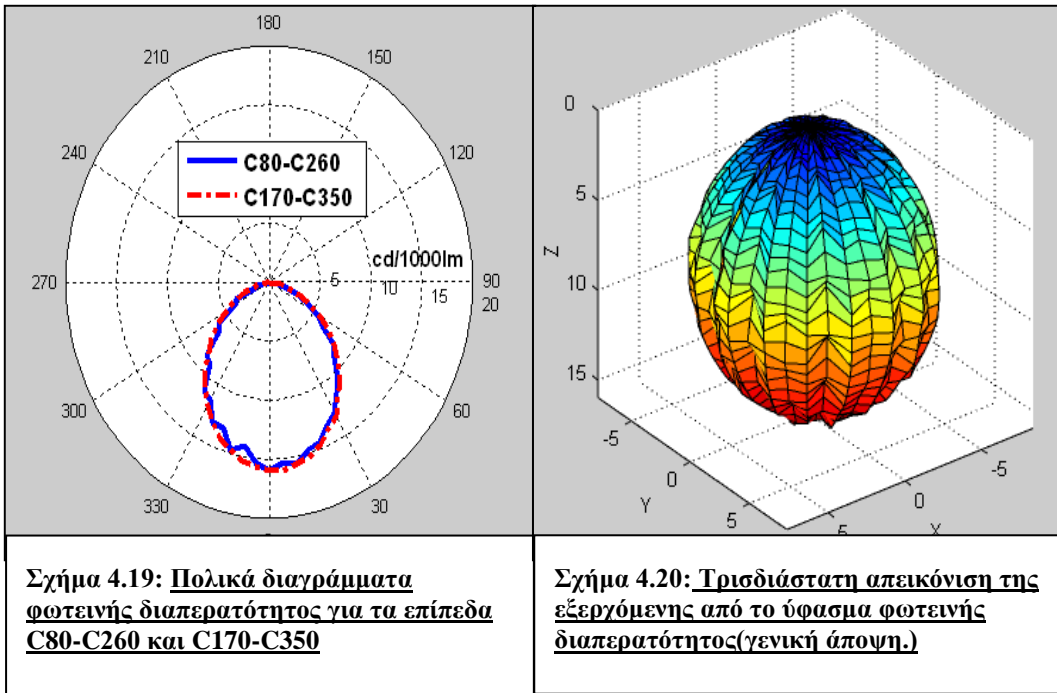
**Σχήμα 4.16: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C20-C200, C110-C290 και C30-C210, C120-C300**



**Σχήμα 4.17 : Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C40-C220,C130-C310 και C50-C230,C140-C320**

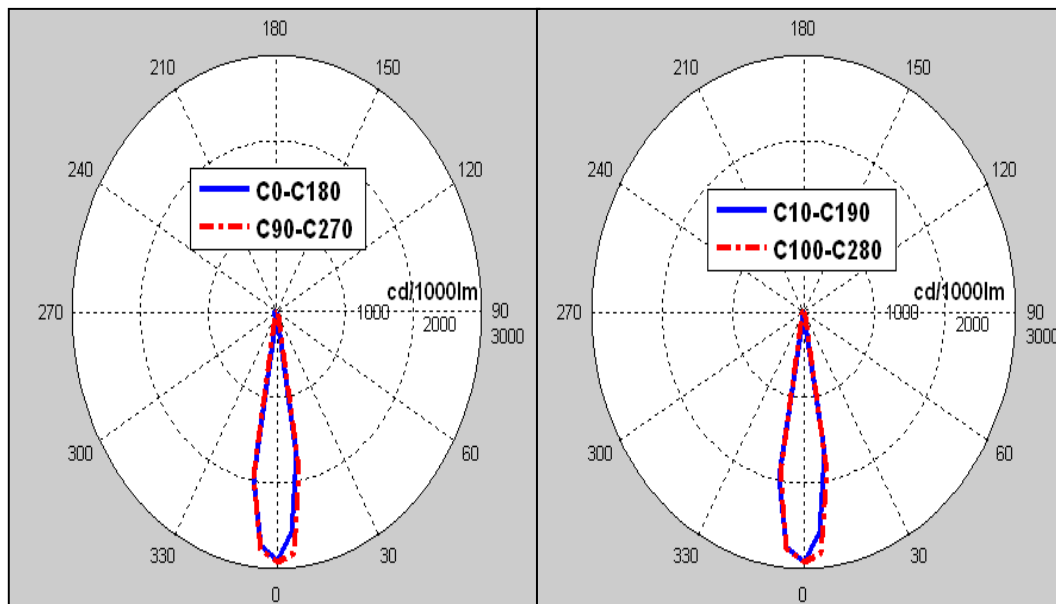


**Σχήμα 4.18: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C60-C240,C150-C330 και C70-C250,C160-C340**

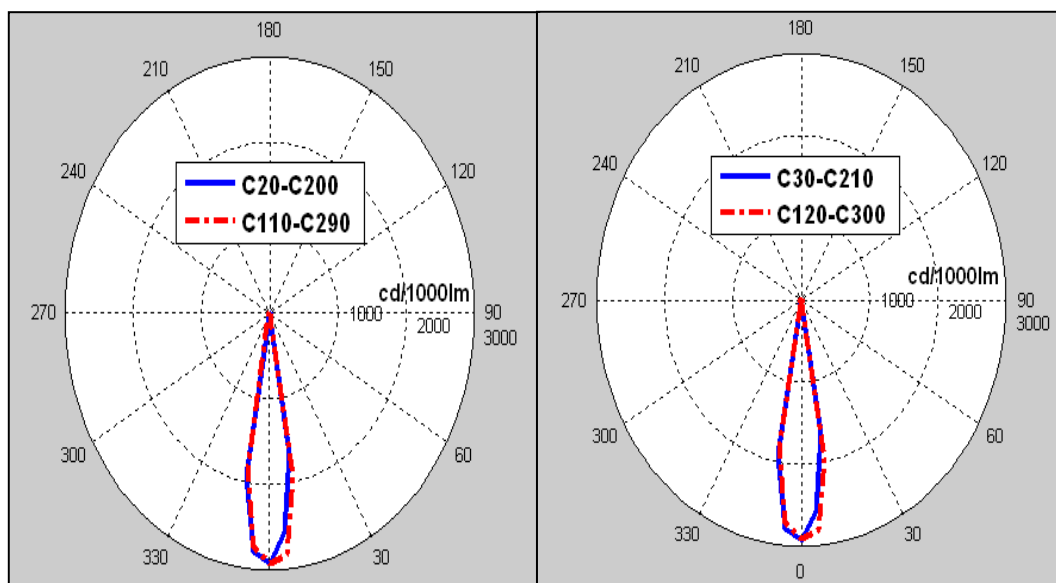


#### 4.1.4 Δείγμα 4 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού $0^\circ$

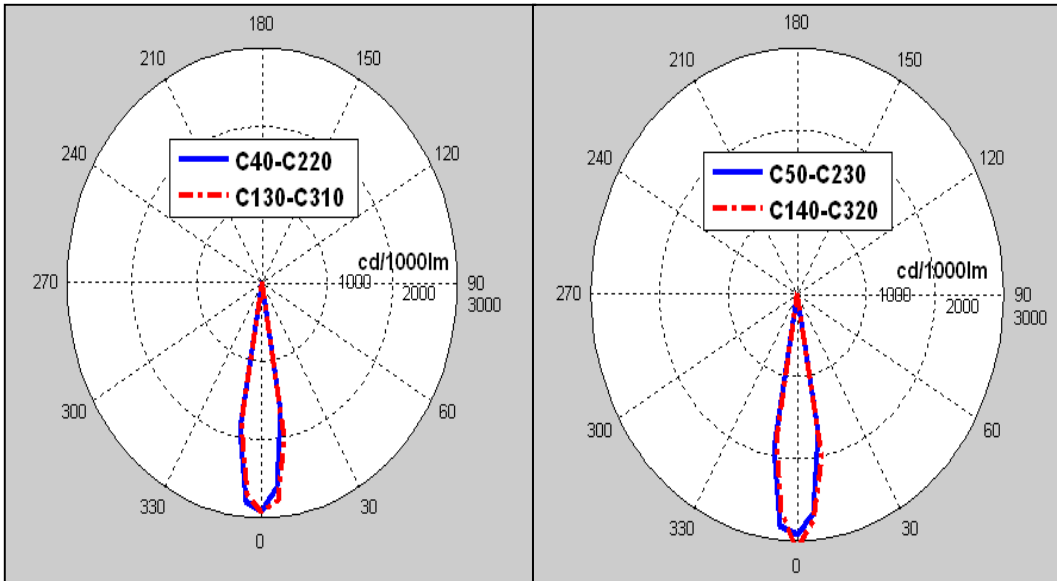
Παρακάτω παρουσιάζονται τα πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας (Σχήματα 4.22 έως 4.26) και η τρισδιάστατη κατανομή της για το δείγμα 4 (Σχήματα 4.27 και 4.28).



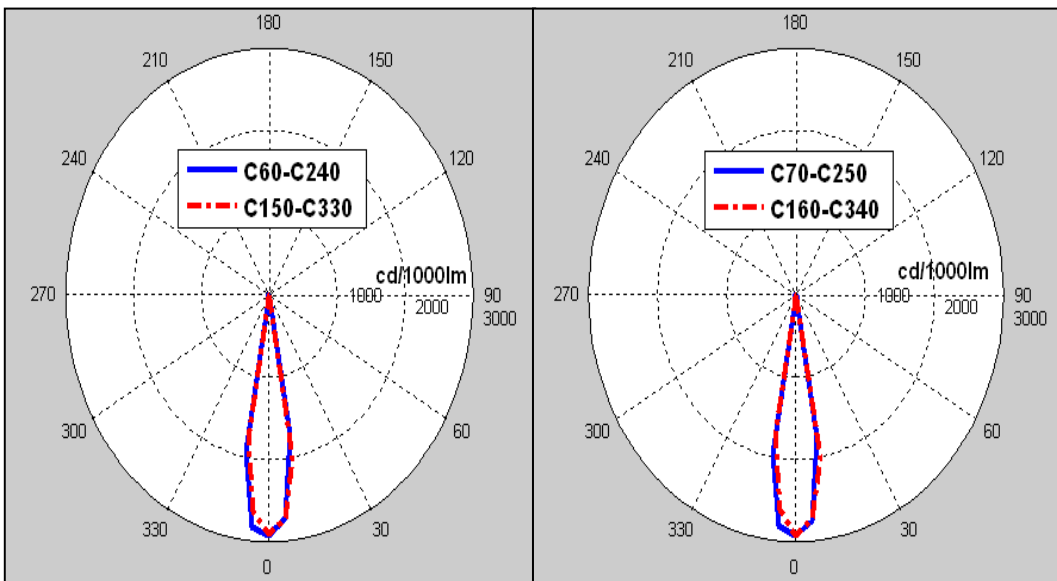
**Σχήμα 4.22: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C0-C180, C90-C270 και C10-C190, C100-C280**



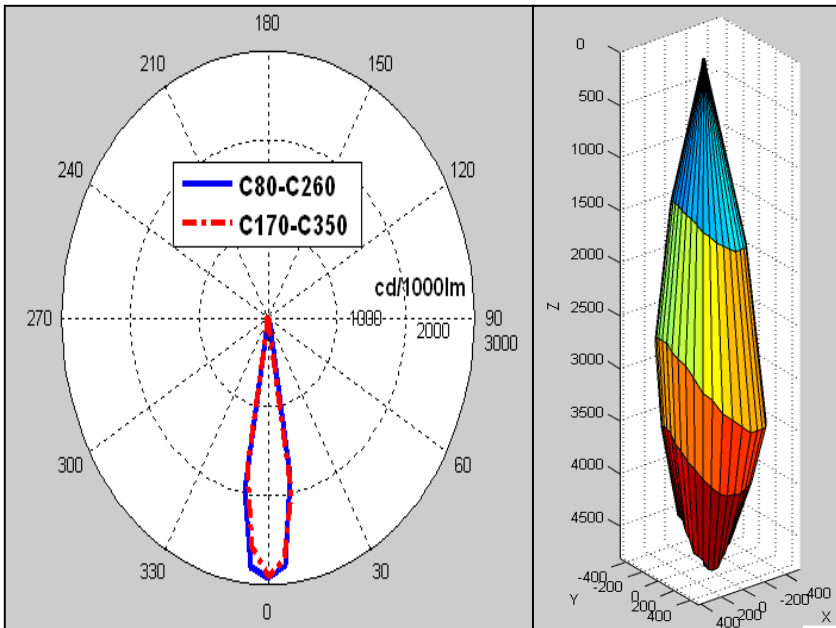
**Σχήμα 4.23: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C20-C200, C110-C290 και C30-C210, C120-C300**



**Σχήμα 4.24 : Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C40-C220,C130-C310 και C50-C230,C140-C320**

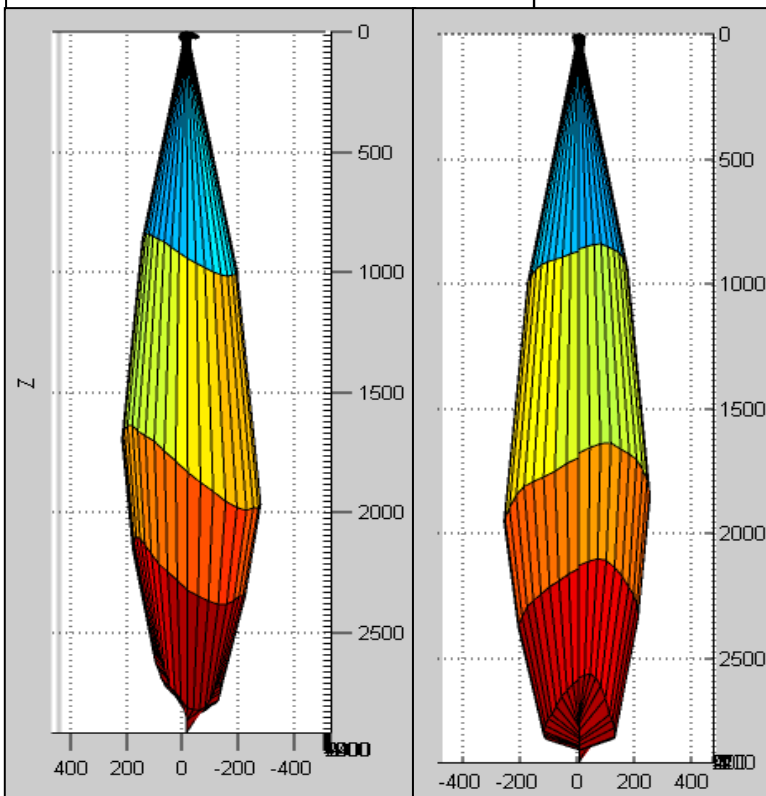


**Σχήμα 4.25: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C60-C240,C150-C330 και C70-C250,C160-C340**



**Σχήμα 4.26: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C80-C260 και C170-C350**

**Σχήμα 4.27: Τρισδιάστατη απεικόνιση της εξερχόμενης από τη σίτα φωτεινής διαπερατότητας**

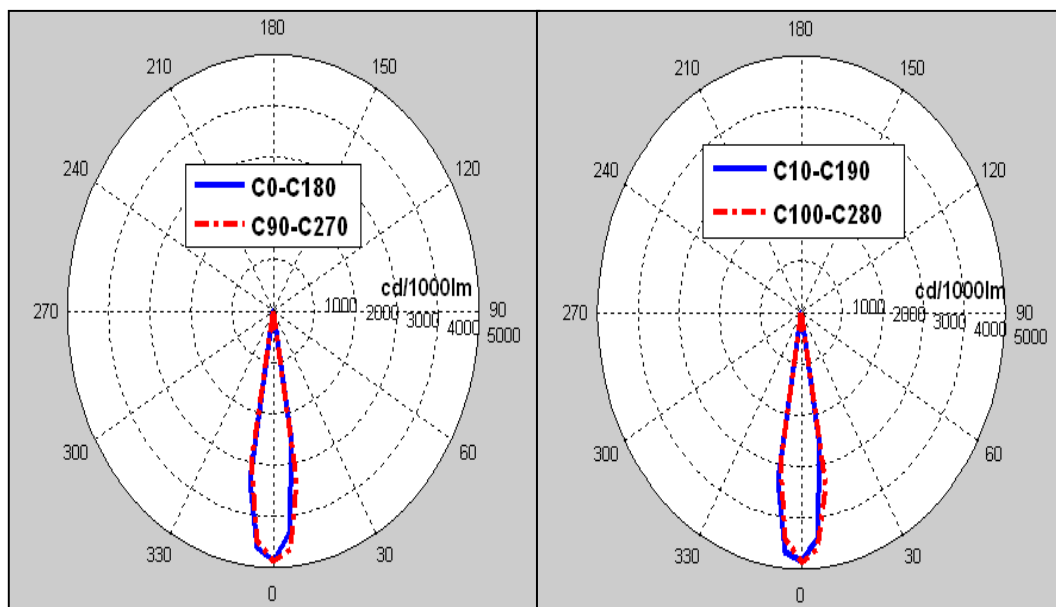


**Σχήμα 4.28: Τρισδιάστατη απεικόνιση της εξερχόμενης φωτεινής διαπερατότητας από τη σίτα σε άποψη X-Z (αριστερά) και άποψη Y-Z (δεξιά).**

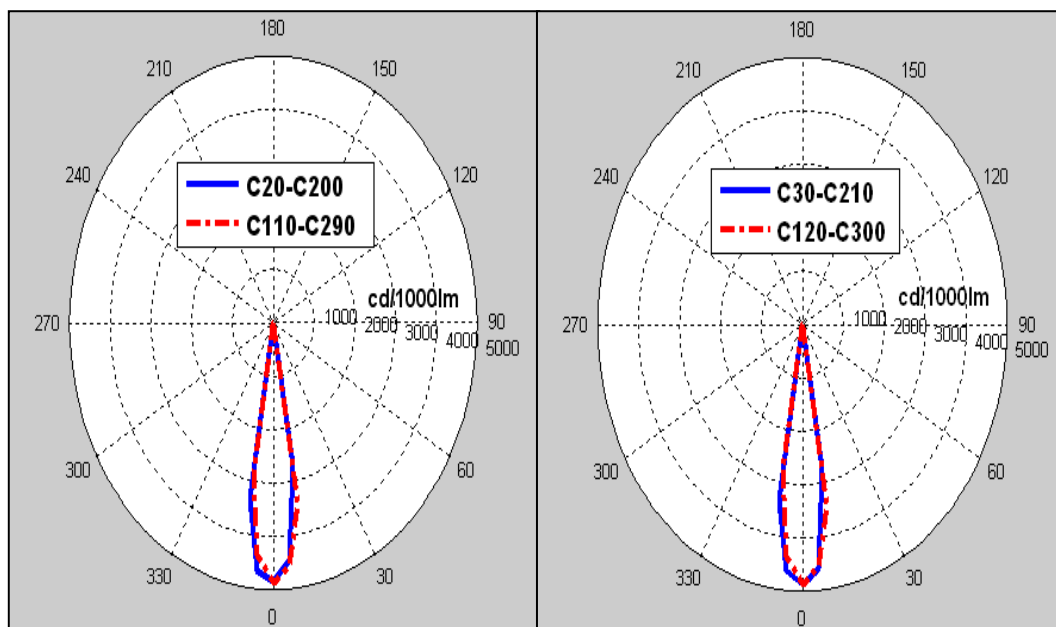


#### 4.1.5 Δείγμα 5 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού 0°

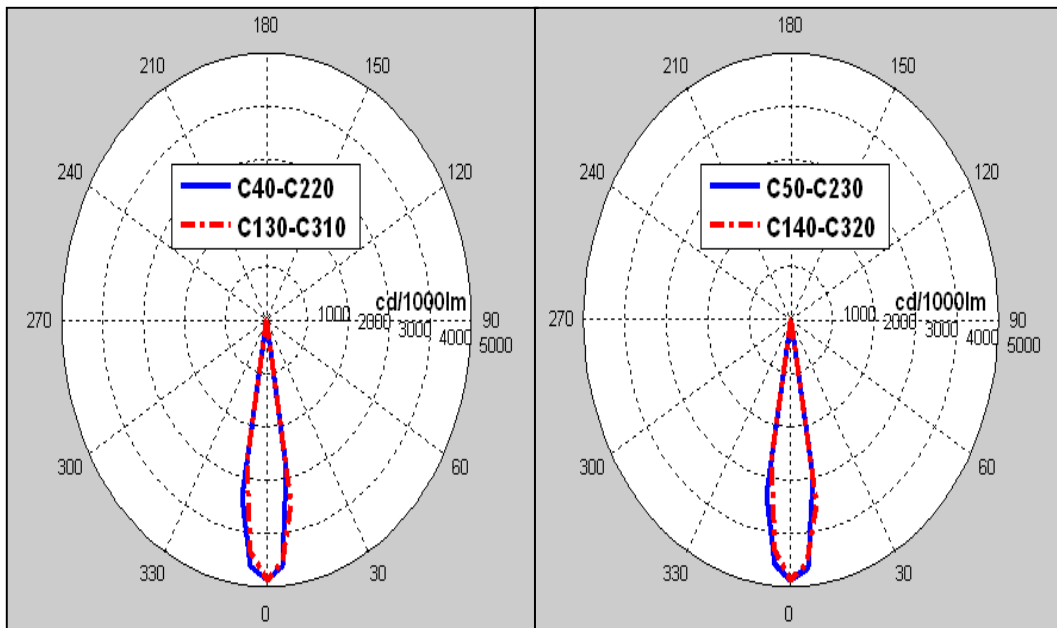
Παρακάτω παρουσιάζονται τα πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας (Σχήματα 4.29 έως 4.33) και η τρισδιάστατη κατανομή της για το δείγμα 5 (Σχήματα 4.34 και 4.35).



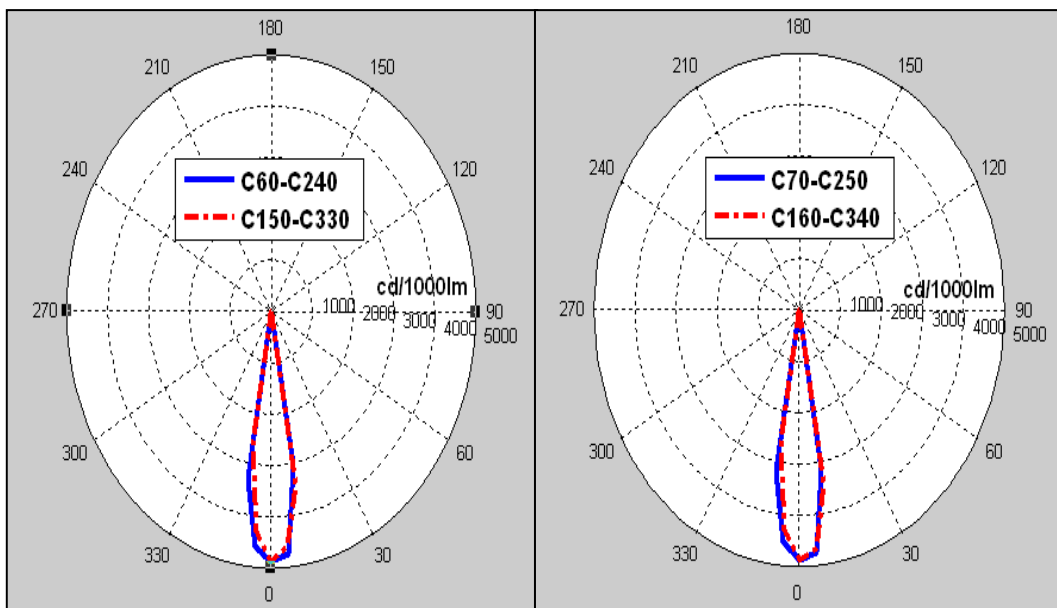
**Σχήμα 4.29: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C0-C180,C90-C270 και C10-C190,C100-C280**



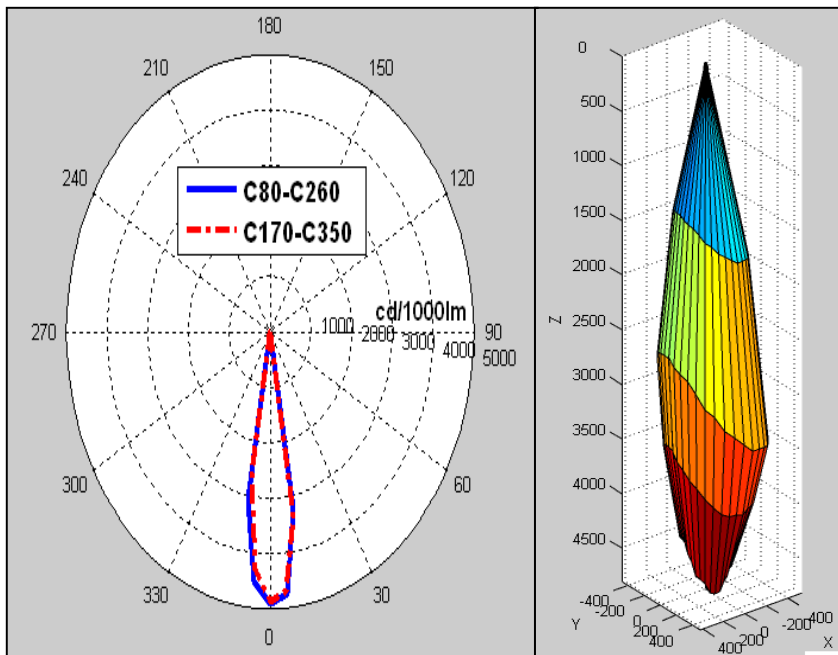
**Σχήμα 4.30: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C20-C200,C110-C290 και C30-C210,C120-C300**



**Σχήμα 4.31 : Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C40-C220,C130-C310 και C50-C230,C140-C320**

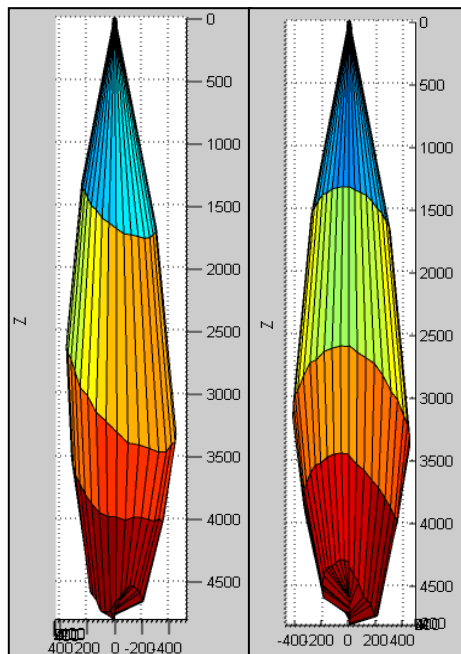


**Σχήμα 4.32: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C60-C240,C150-C330 και C70-C250,C160-C340**



**Σχήμα 4.33: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C80-C260 και C170-C350**

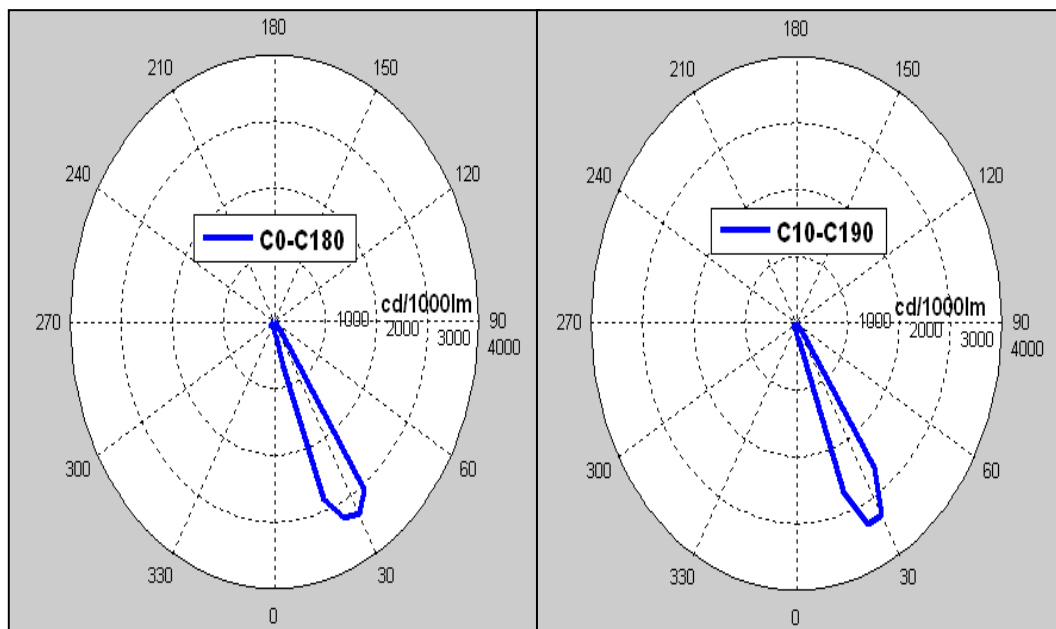
**Σχήμα 4.34: Τρισδιάστατη απεικόνιση της εξερχόμενης από τη σήτα φωτεινής διαπερατότητας.**



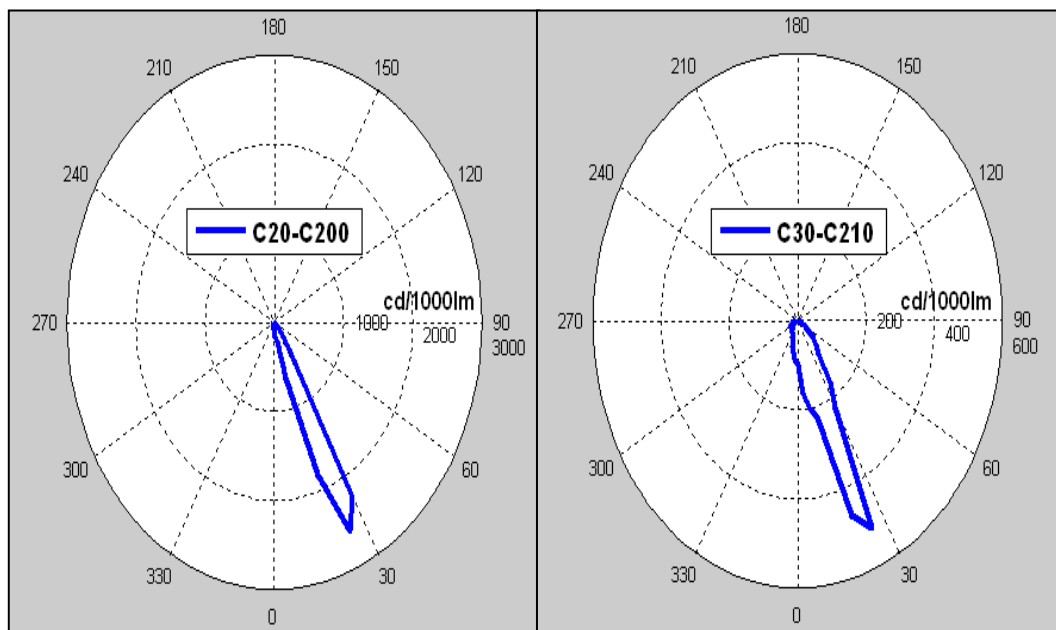
**Σχήμα 4.35: Τρισδιάστατη απεικόνιση της εξερχόμενης φωτεινής διαπερατότητας από τη σήτα σε άποψη X-Z (αριστερά) και άποψη Y-Z (δεξιά).**

#### 4.1.6 Δείγμα 4 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού 30°

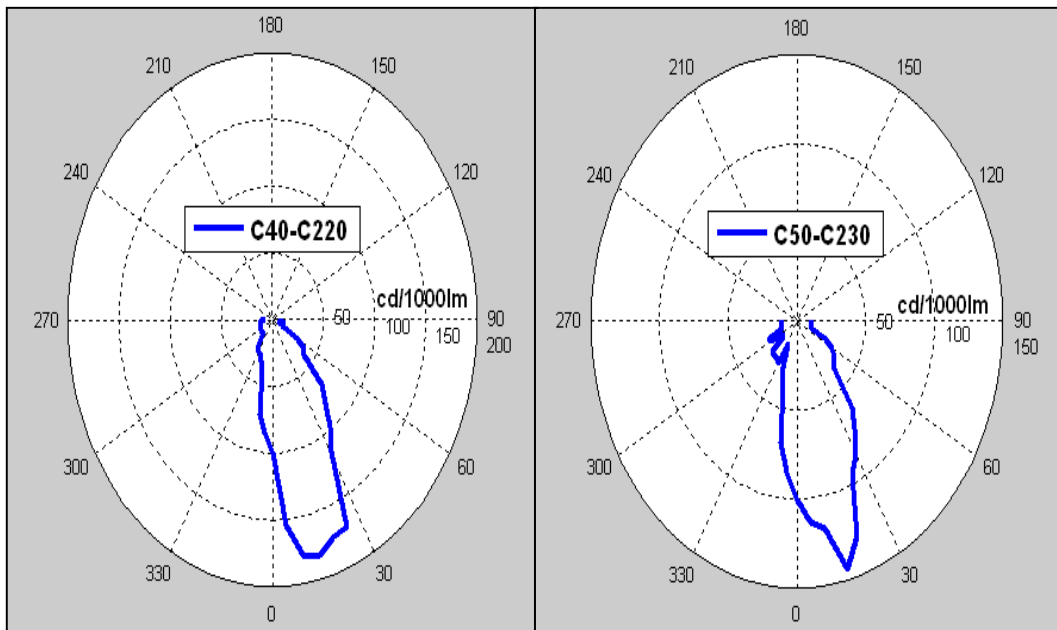
Παρακάτω παρουσιάζονται τα πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας (Σχήματα 4.36 έως 4.44) και η τρισδιάστατη κατανομή της για το δείγμα 4 (Σχήμα 4.45).



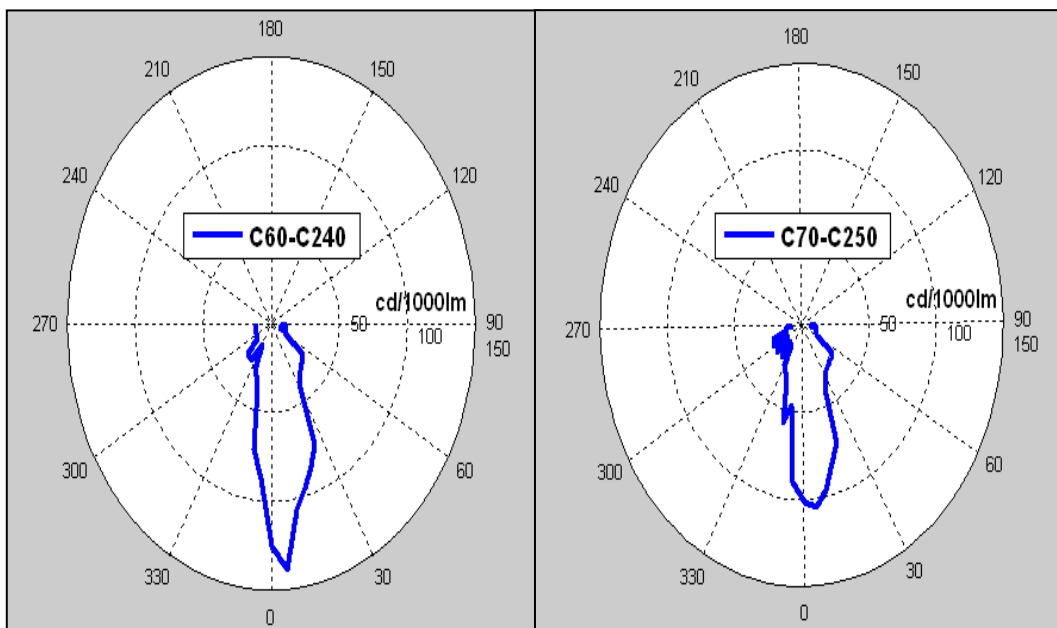
**Σχήμα 4.36: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C0-C180 και C10-C190**



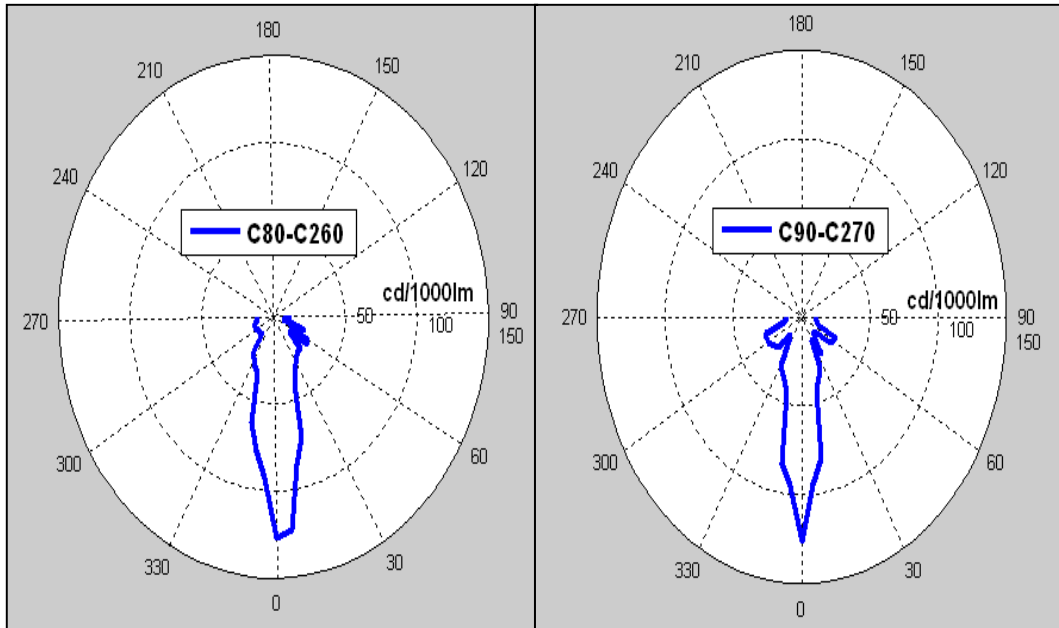
**Σχήμα 37: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C20-C200 και C30-C210**



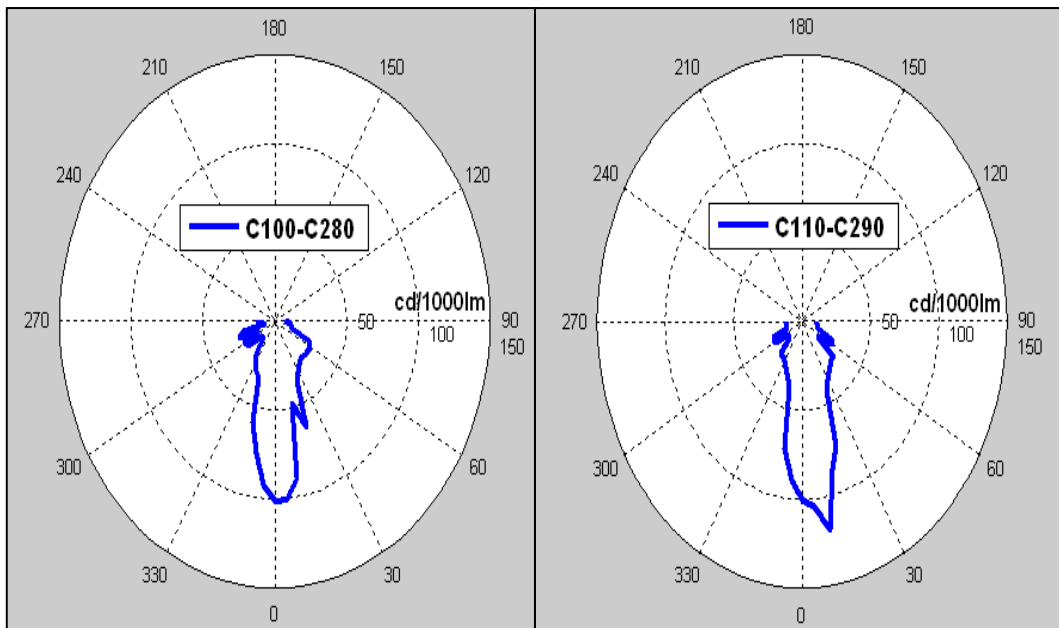
**Σχήμα 4.38: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C40-C220 και C50-C230**



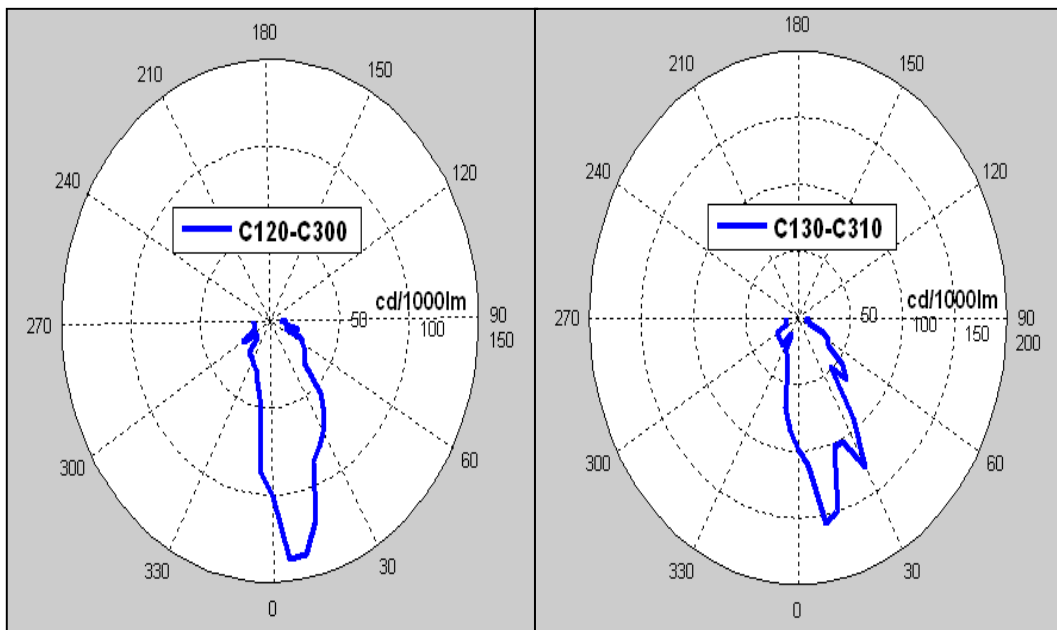
**Σχήμα 4.39: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C60-C240 και C70-C250**



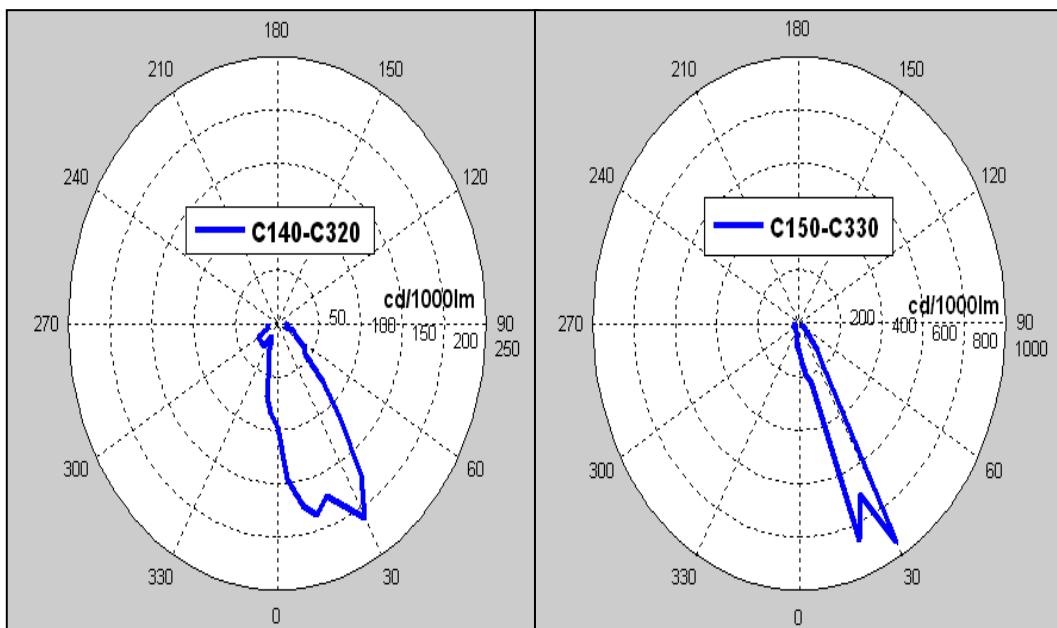
**Σχήμα 4.40: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C80-C260 και C90-C270**



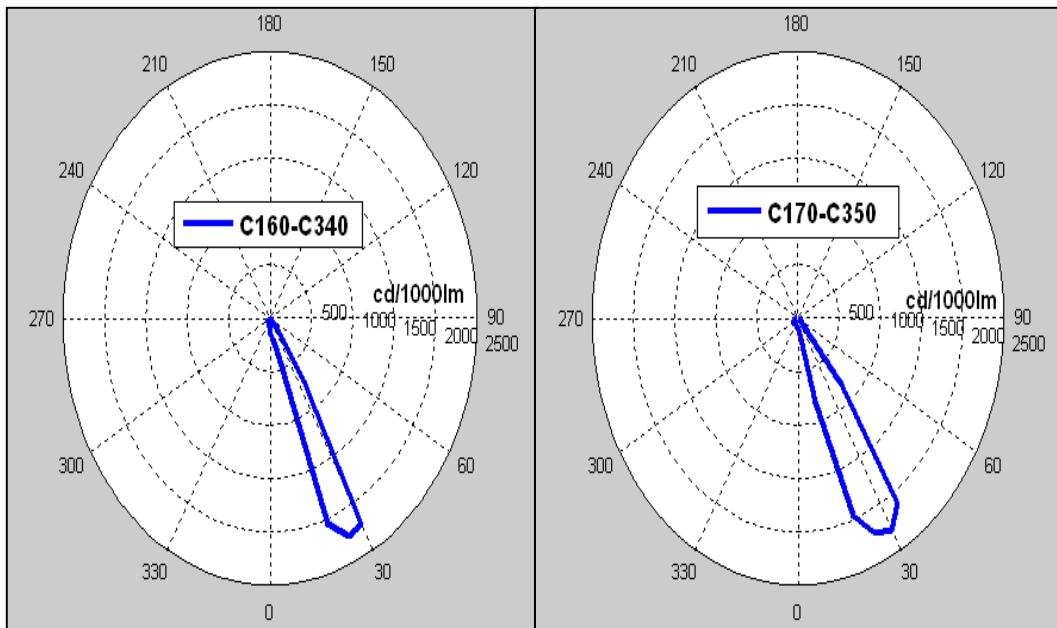
**Σχήμα 4.41: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C100-C280 και C110-C290**



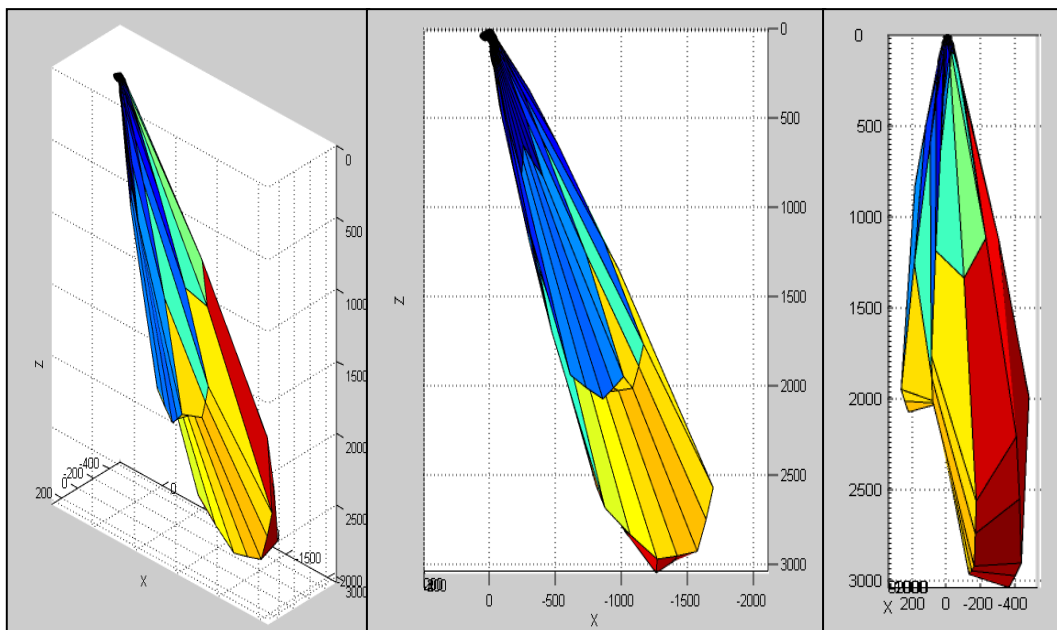
**Σχήμα 4.42: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C120-C300 και C130-C310**



**Σχήμα 4.43: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C140-C320 και C150-C330**



**Σχήμα 4.44 Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C160-C340 και C170-C350**

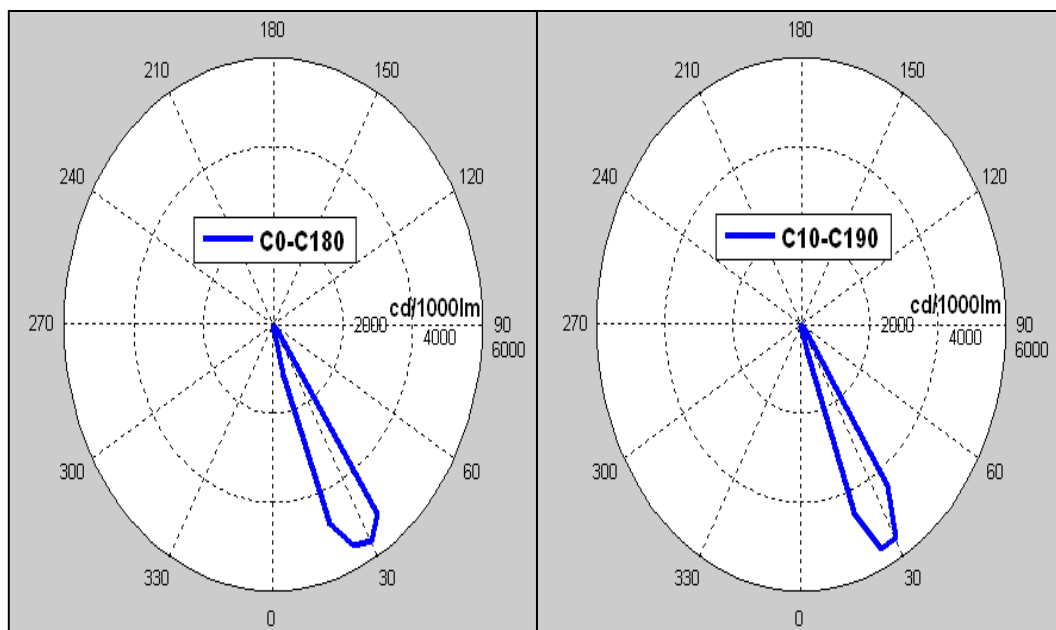


**Σχήμα 4.45: Τρισδιάστατη κατανομή φωτεινής διαπερατότητας σε γενική άποψη (αριστερά), X-Z άποψη (κέντρο) και Y-Z άποψη (δεξιά).**

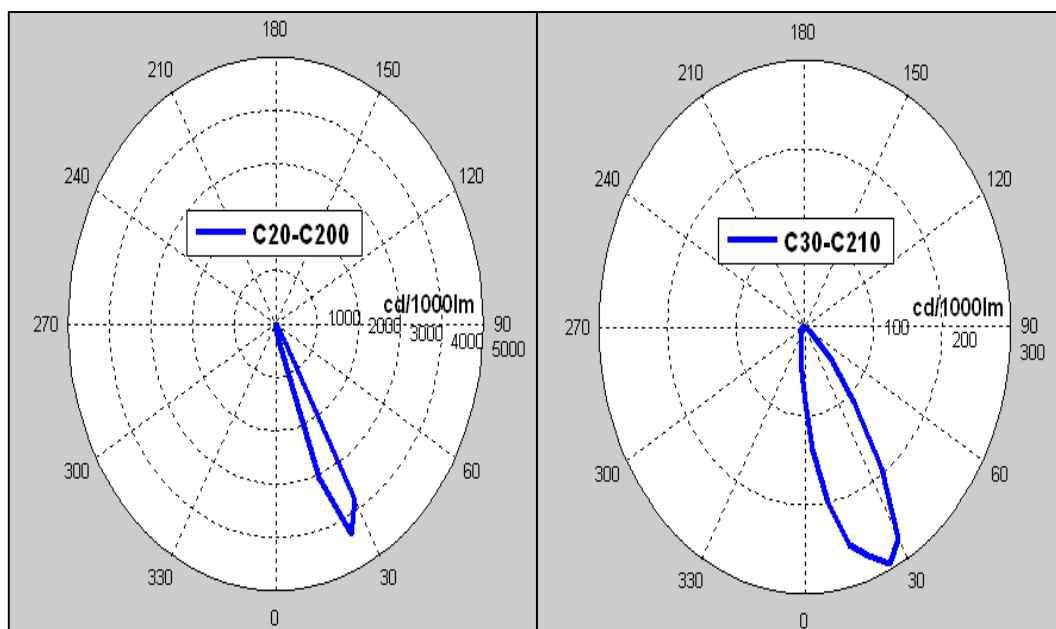


#### 4.1.7 Δείγμα 5 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού 30°

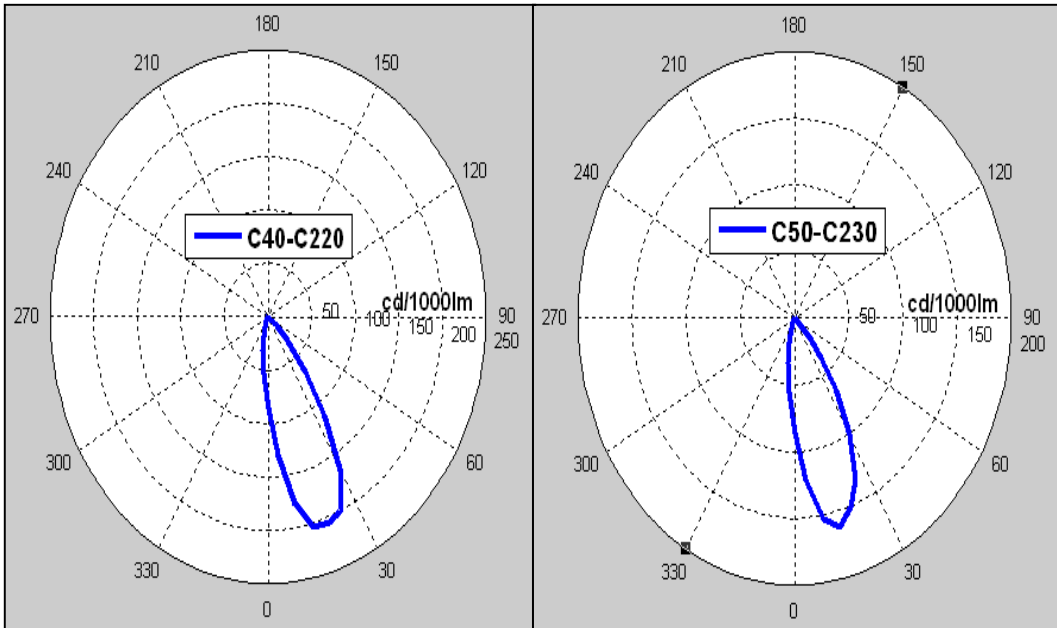
Παρακάτω παρουσιάζονται τα πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας (Σχήματα 4.46 έως 4.54) και η τρισδιάστατη κατανομή της για το δείγμα 5 (Σχήμα 4.55).



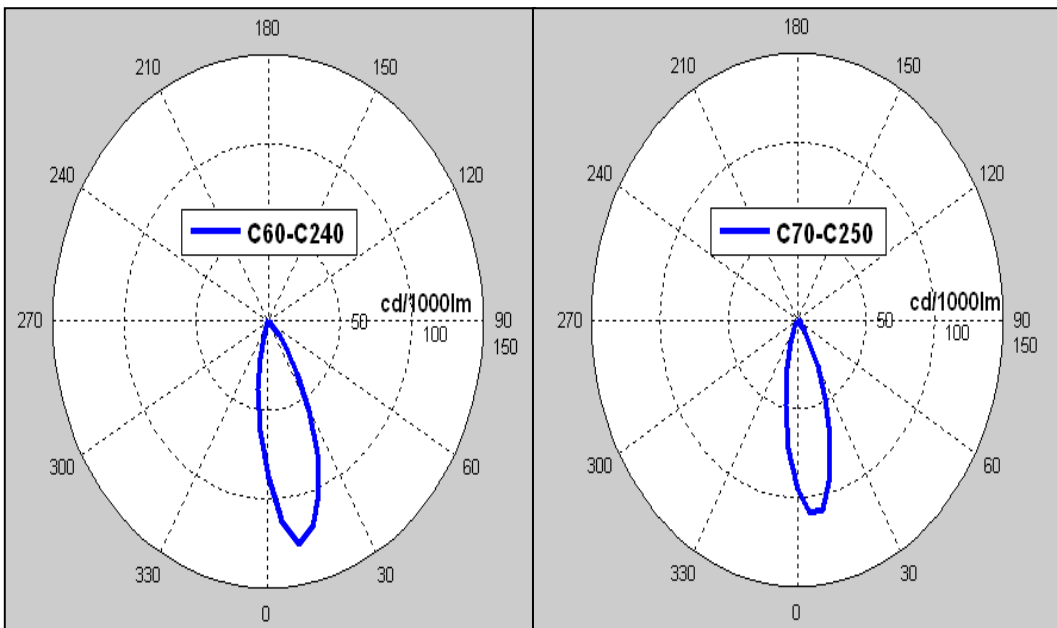
**Σχήμα 4.46: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C0-C180 και C10-C190**



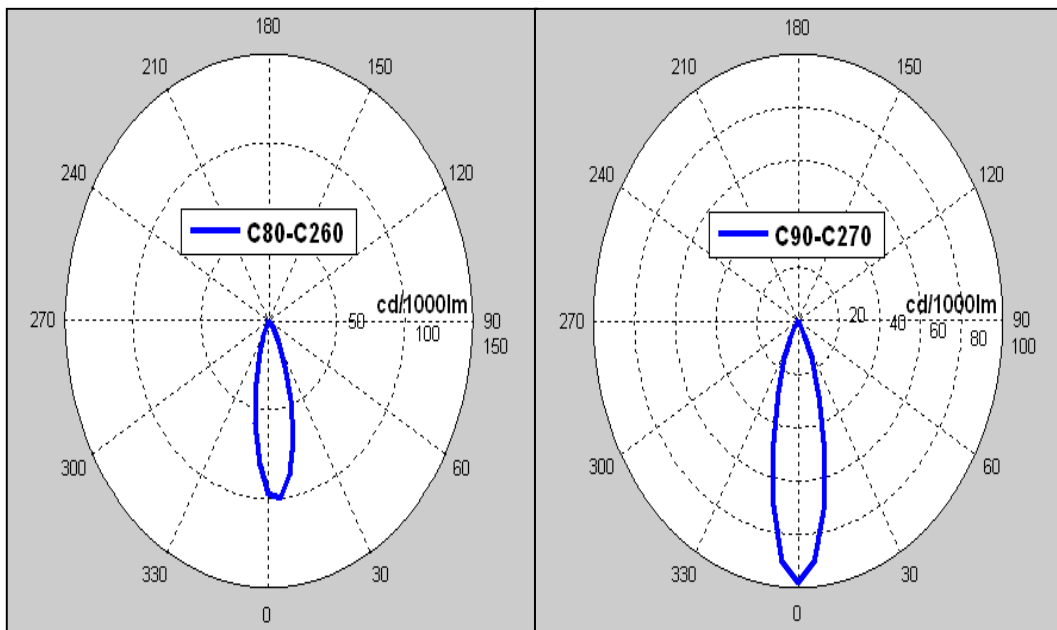
**Σχήμα 4.47: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C20-C200 και C30-C210**



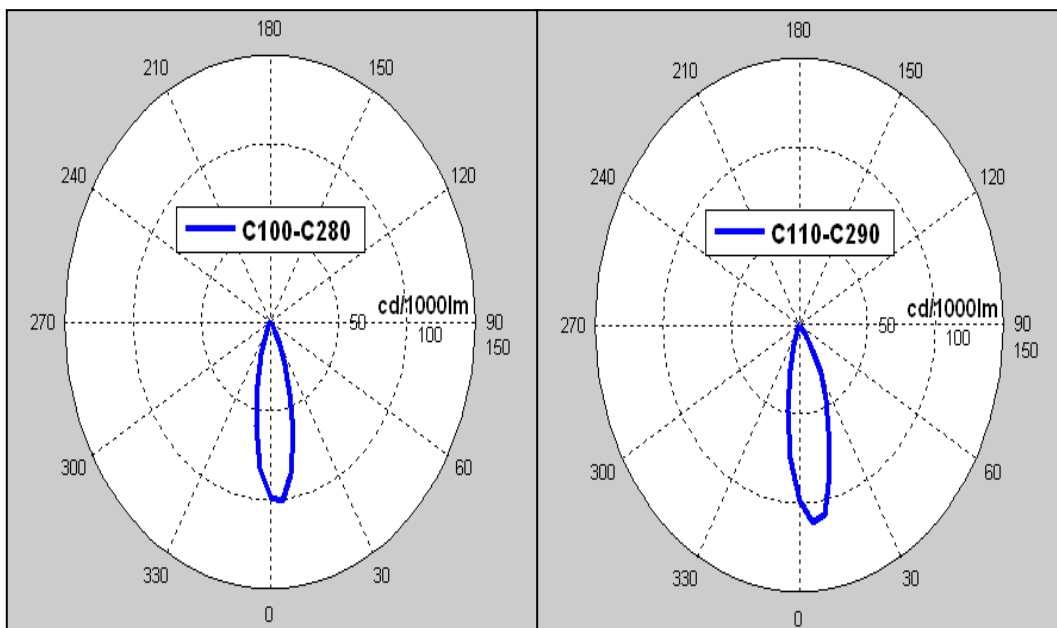
**Σχήμα 4.48: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C40-C220 και C50-C230**



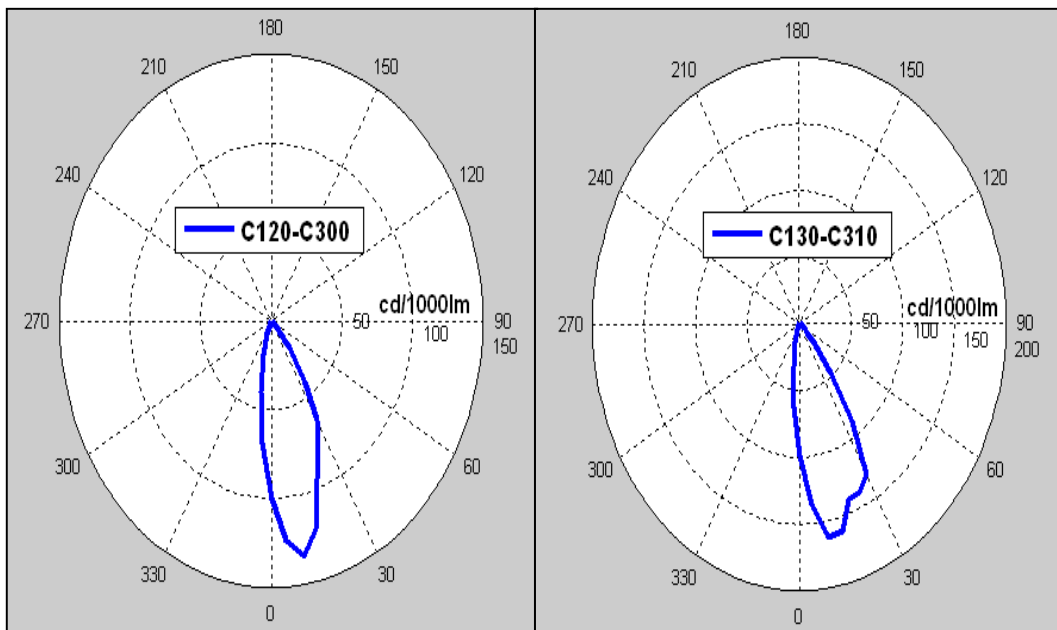
**Σχήμα 4.49: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C60-C240 και C70-C250**



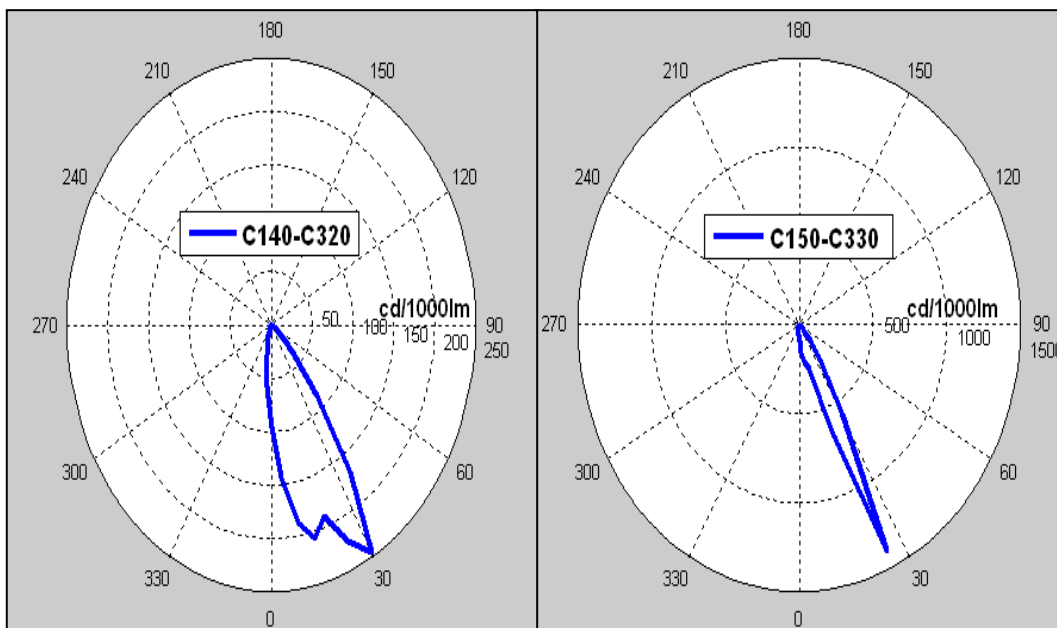
**Σχήμα 4.50: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C80-C260 και C90-C270**



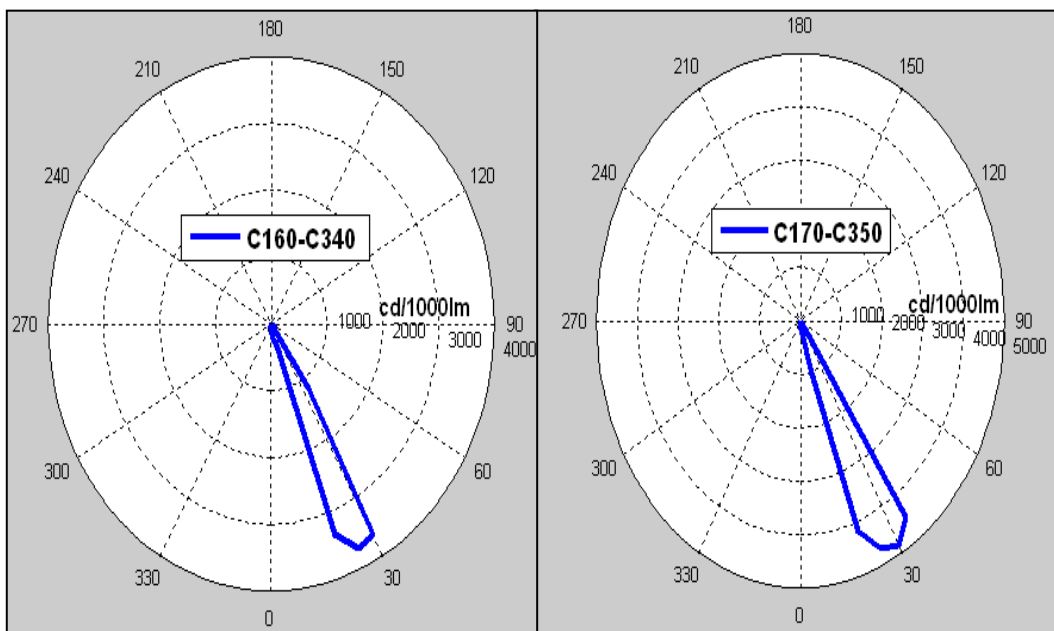
**Σχήμα 4.51: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C100-C280 και C110-C290**



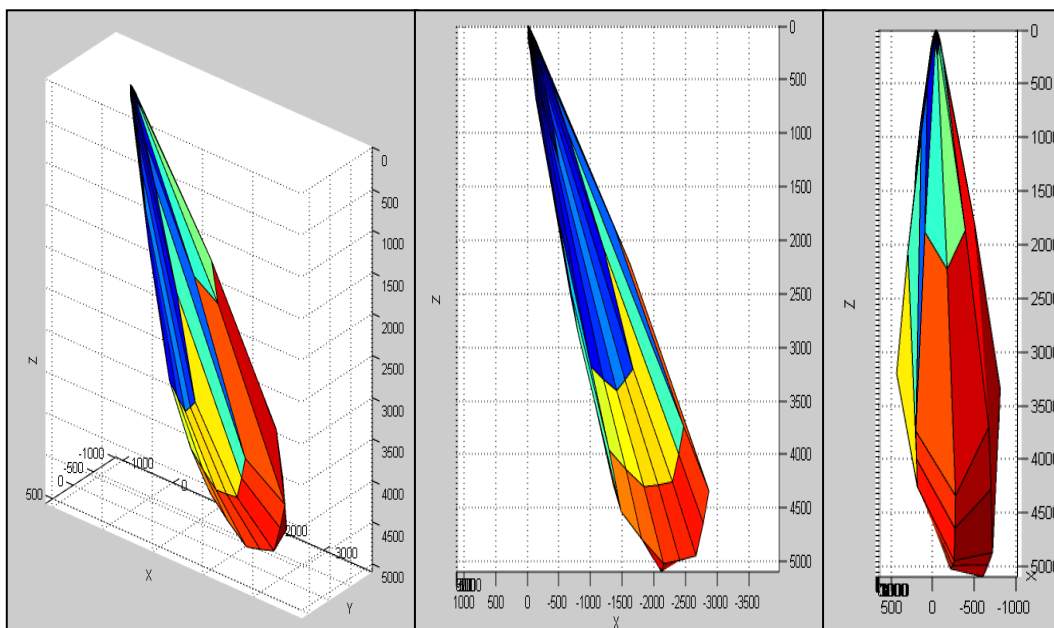
**Σχήμα 4.52: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C120-C300 και C130-C310**



**Σχήμα 4.53: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C140-C320 και C150-C330**



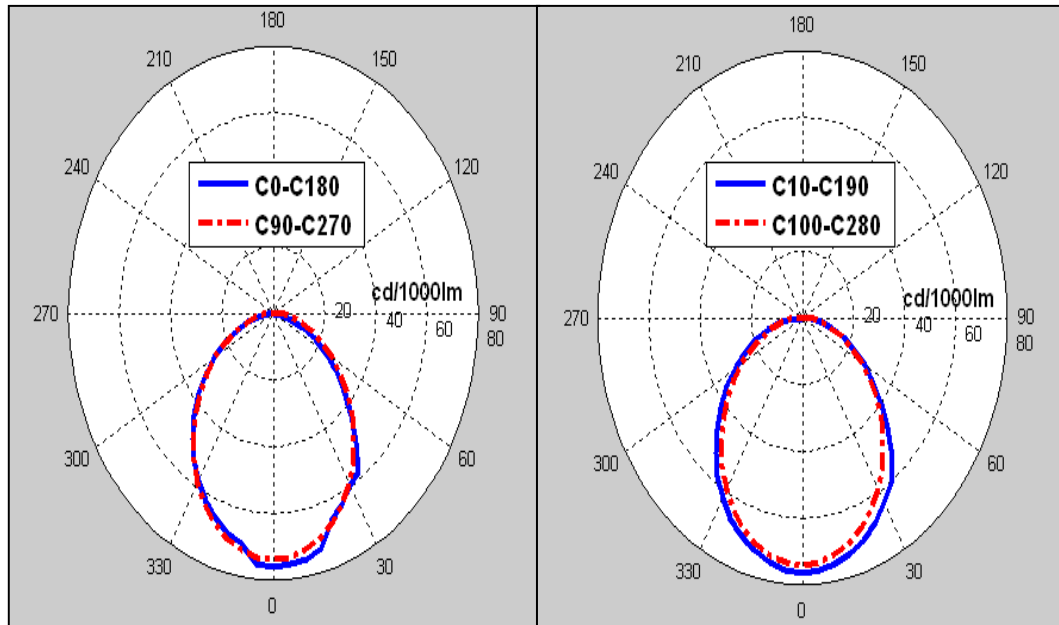
**Σχήμα 4.54: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C160-C340 και C170-C350**



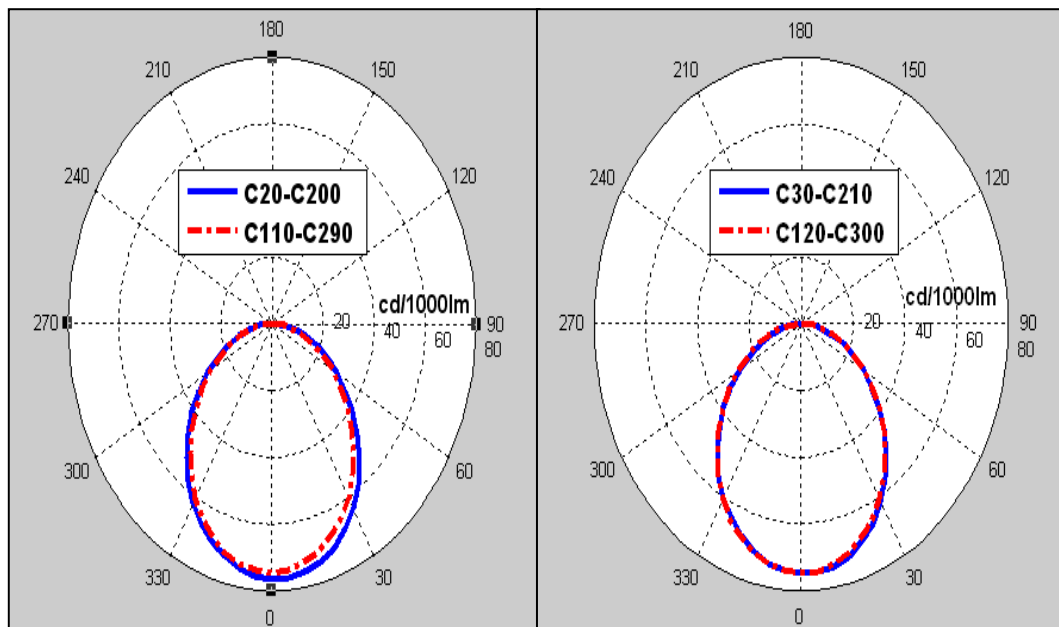
**Σχήμα 4.55: Τρισδιάστατη κατανομή φωτεινής διαπερατότητας σε γενική άποψη (αριστερά), X-Z άποψη (κέντρο) και Y-Z άποψη (δεξιά).**

4.1.8 Δείγμα 1 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού  $45^\circ$ .

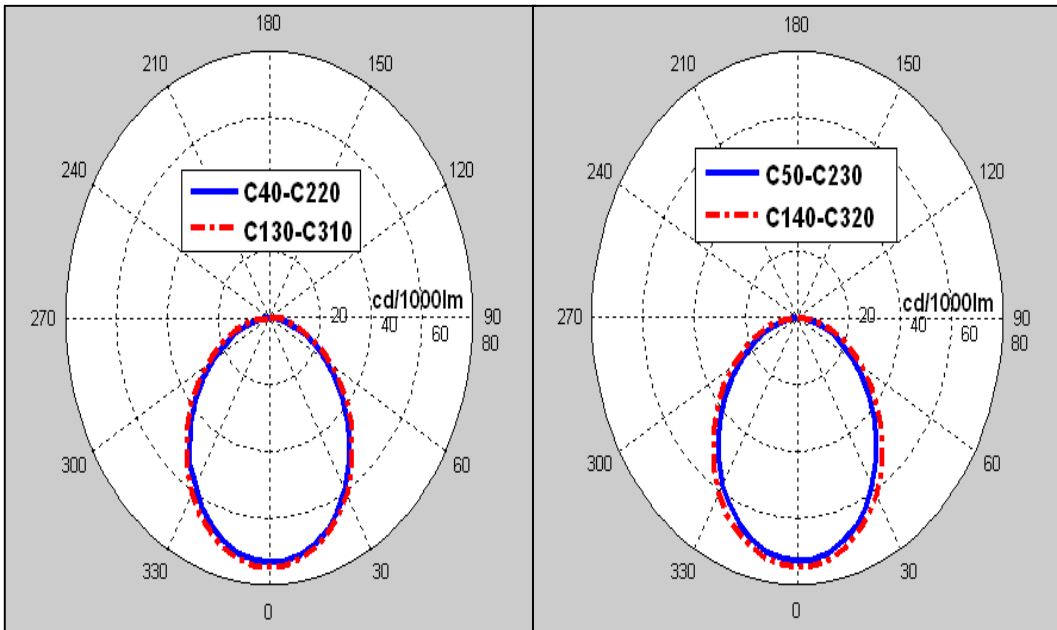
Παρακάτω παρουσιάζονται τα πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας (Σχήματα 4.56 έως 4.60) και η τρισδιάστατη κατανομή της για το δείγμα 1 (Σχήματα 4.61 και 4.62).



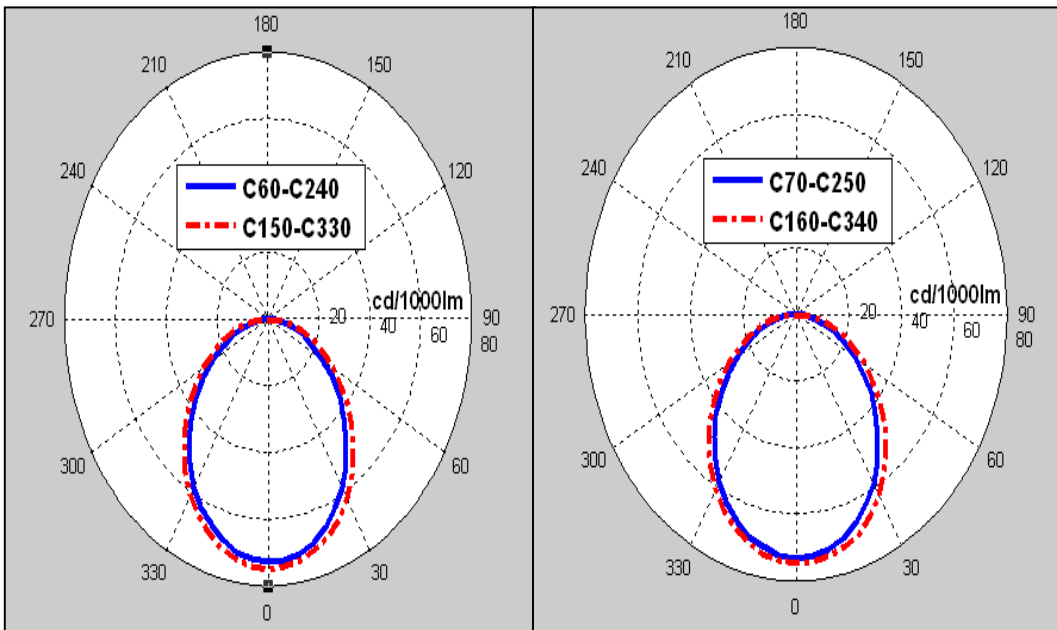
**Σχήμα 4.56 Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C0-C180,C90-C270 και C10-C190,C100-C280**



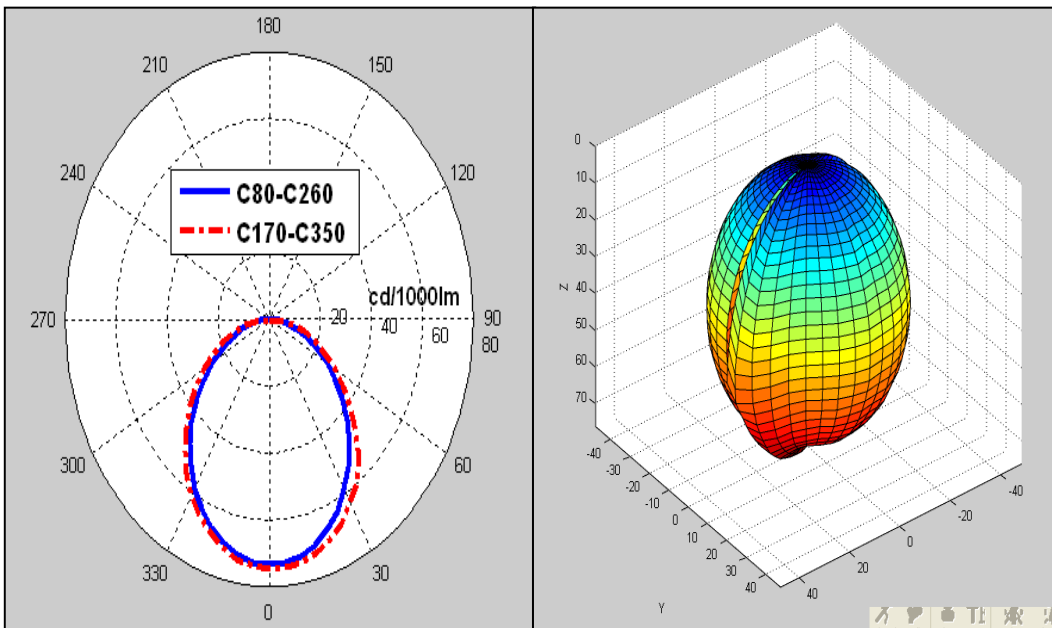
**Σχήμα 4.57: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C20-C200,C110-C290 και C30-C210,C120-C300**



**Σχήμα 4.58 : Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C40-C220,C130-C310 και C50-C230,C140-C320**

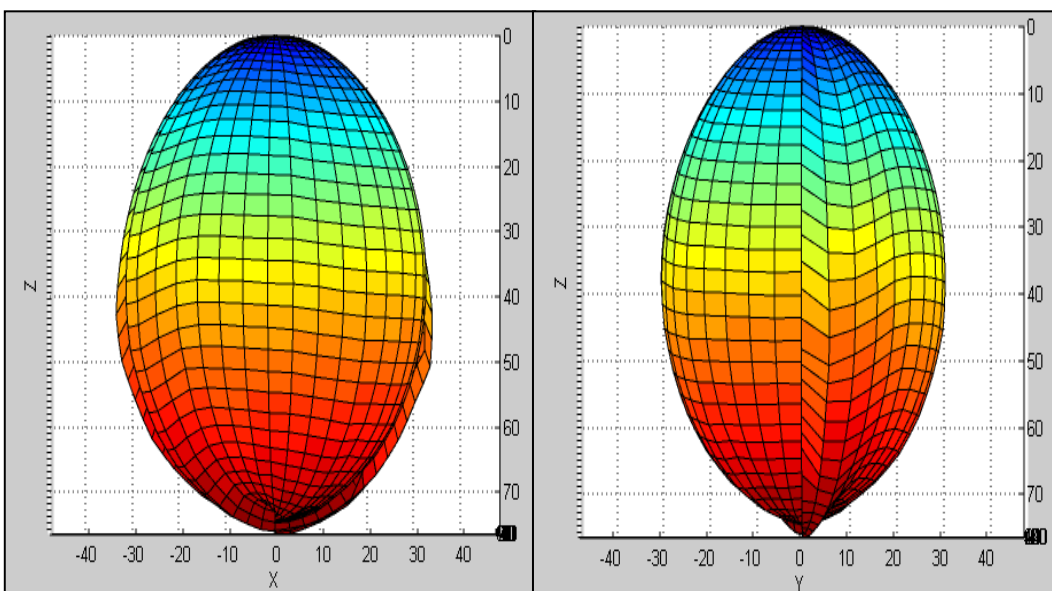


**Σχήμα 4.59: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C60-C240,C150-C330 και C70-C250,C160-C340**



**Σχήμα 4.60: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C80-C260 και C170-C350**

**Σχήμα 4.61: Τρισδιάστατη απεικόνιση της εξεργόμενης φωτεινής διαπερατότητας από το ύφασμα (γενική άποψη).**

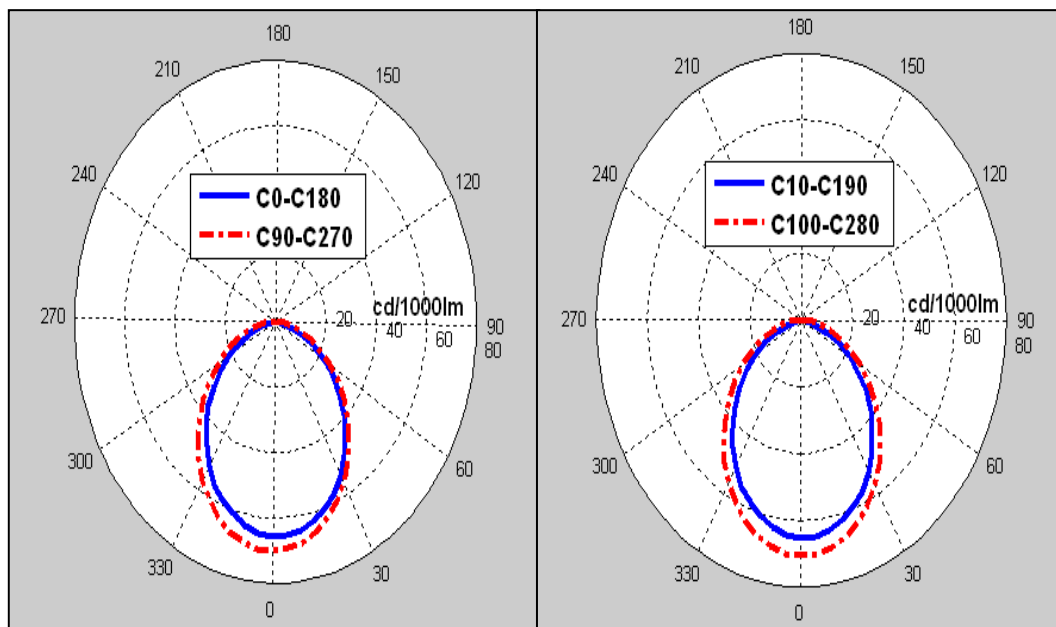


**Σχήμα 4.62 : Τρισδιάστατη απεικόνιση της εξεργόμενης φωτεινής διαπερατότητας από το ύφασμα σε άποψη X-Z(αριστερά) και άποψη Y-Z (δεξιά).**

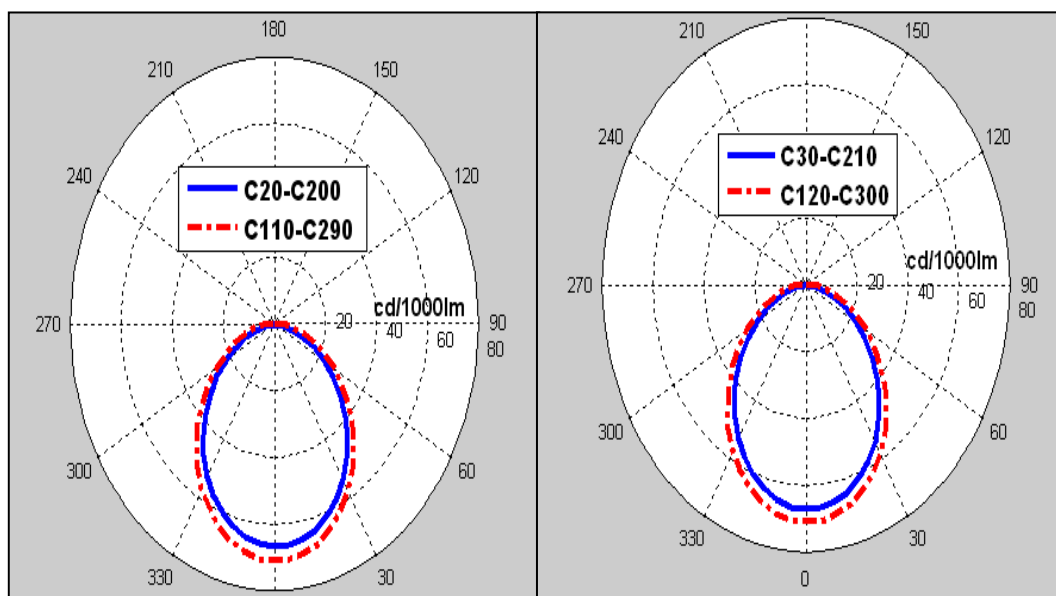


#### 4.1.9 Δείγμα 2 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού $45^\circ$ .

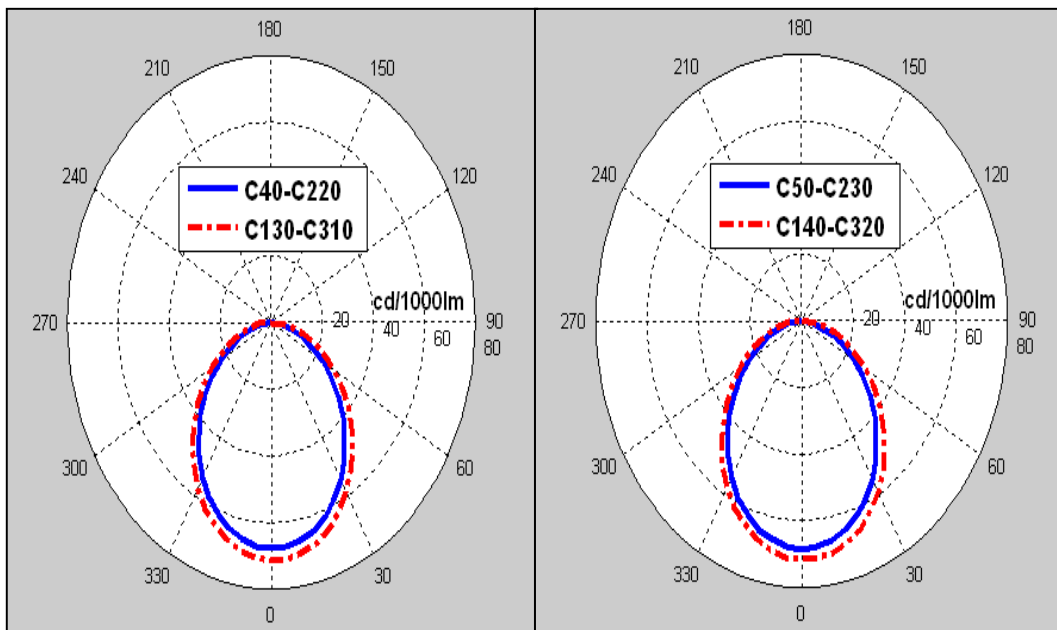
Παρακάτω παρουσιάζονται τα πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας (Σχήματα 4.63 έως 4.67) και η τρισδιάστατη κατανομή της για το δείγμα 2 (Σχήματα 4.68 και 4.69).



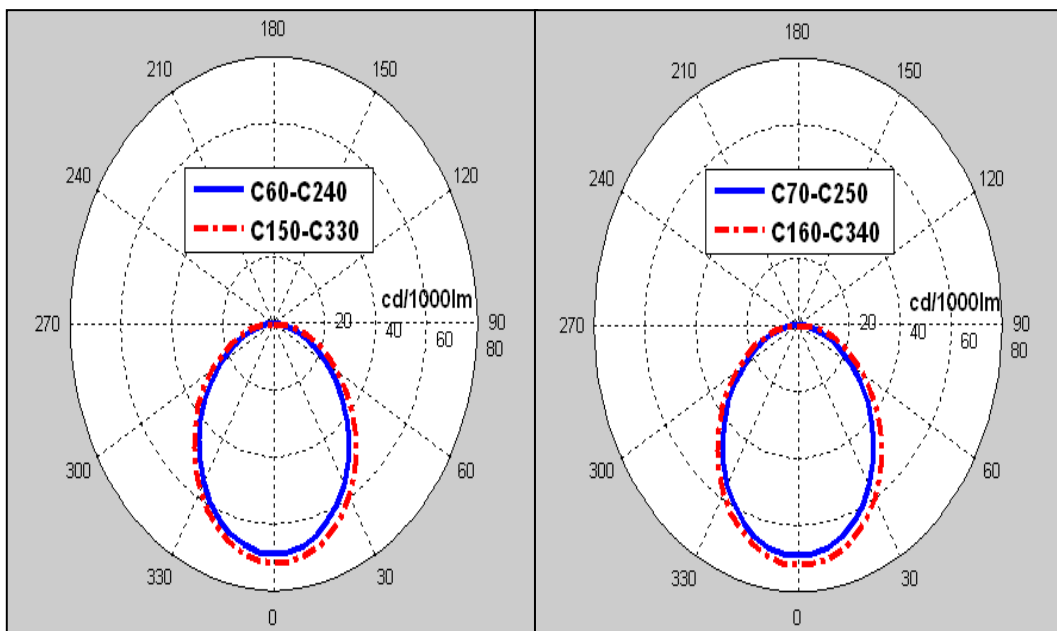
**Σχήμα 4.63: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C0-C180, C90-C270 και C10-C190, C100-C280**



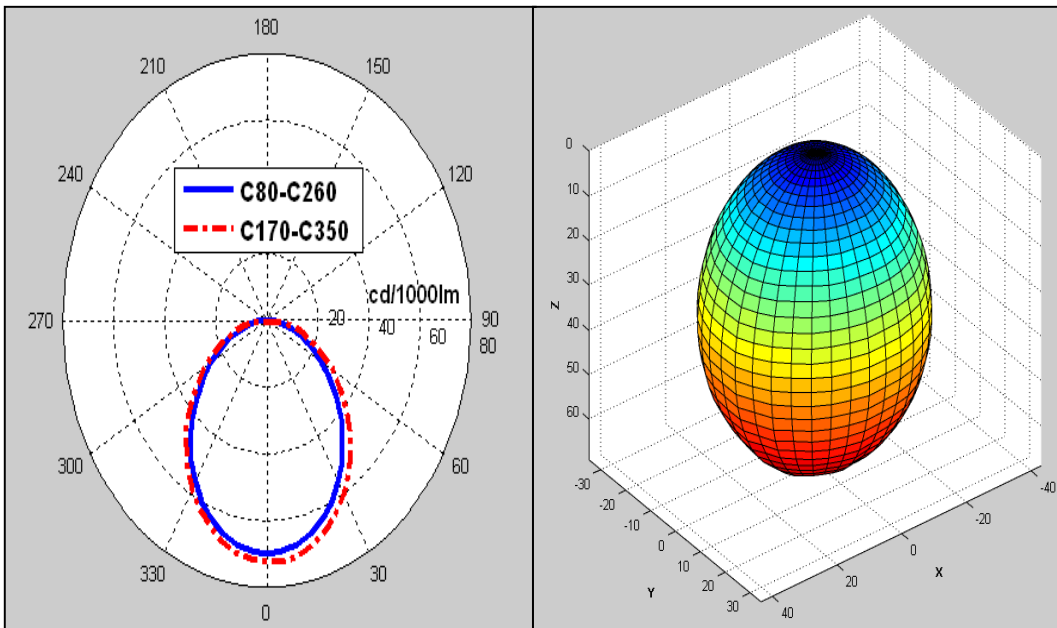
**Σχήμα 4.64: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C20-C200, C110-C290 και C30-C210, C120-C300**



**Σχήμα 4.65 : Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C40-C220,C130-C310 και C50-C230,C140-C320**

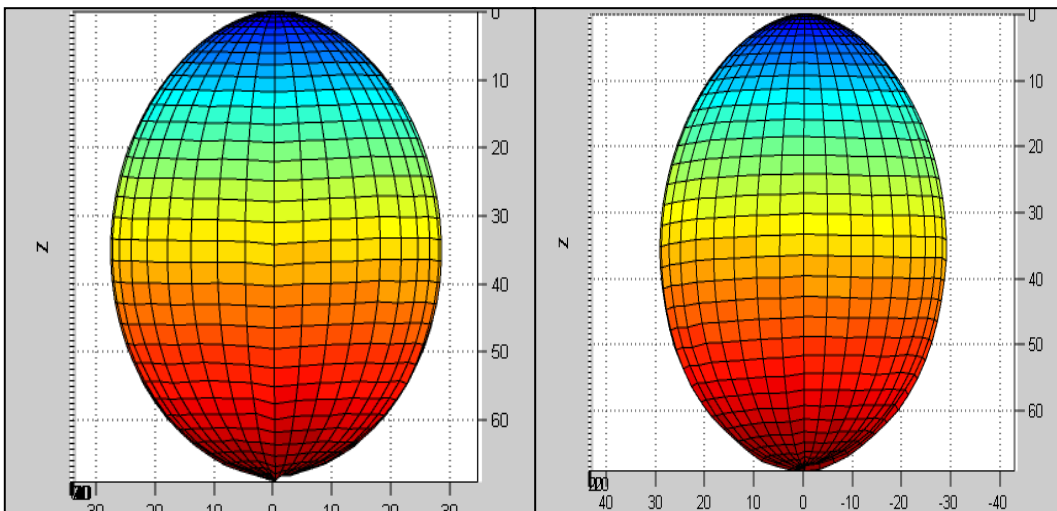


**Σχήμα 4.66: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C60-C240,C150-C330 και C70-C250,C160-C340**



**Σχήμα 4.67: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C80-C260 και C170-C350**

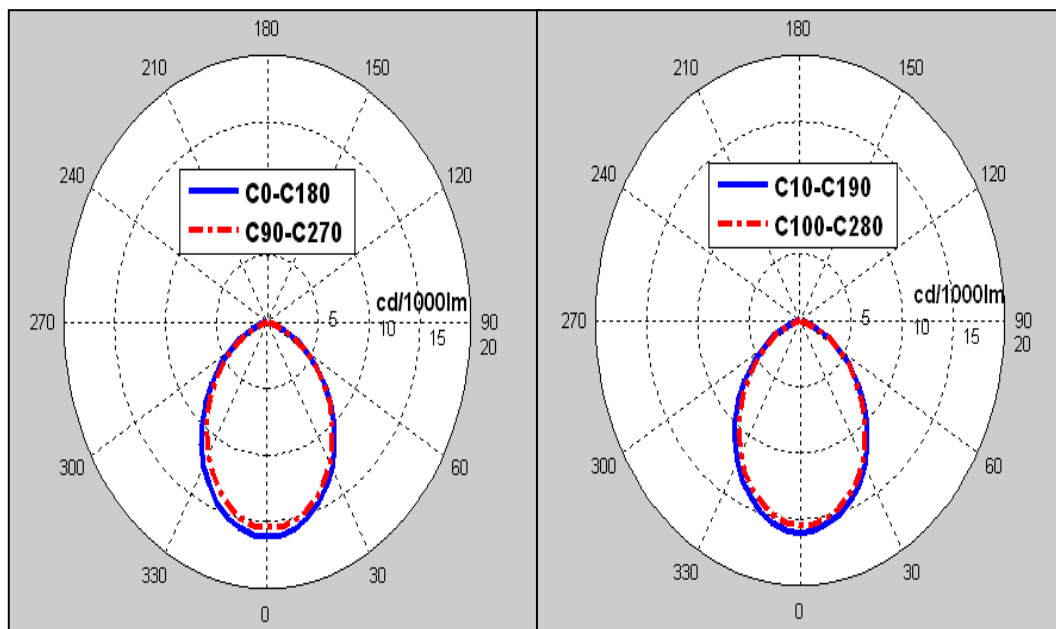
**Σχήμα 4.68: Τρισδιάστατη απεικόνιση της εξεργόμενης φωτεινής διαπερατότητας από το ύφασμα μέσω πάγκου (γενική άποψη).**



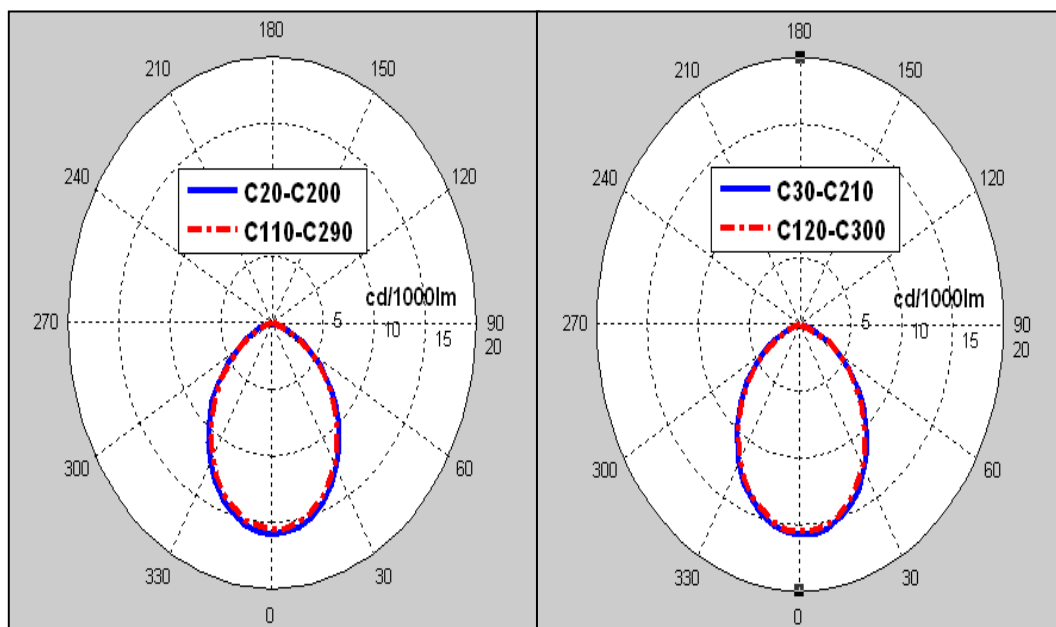
**Σχήμα 4.69 : Τρισδιάστατη απεικόνιση της εξεργόμενης φωτεινής διαπερατότητας από το ύφασμα μεσαίου πάγκου σε άποψη X-Z(αριστερά) και άποψη Y-Z (δεξιά).**

4.1.10 Δείγμα 3 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού  $45^\circ$ .

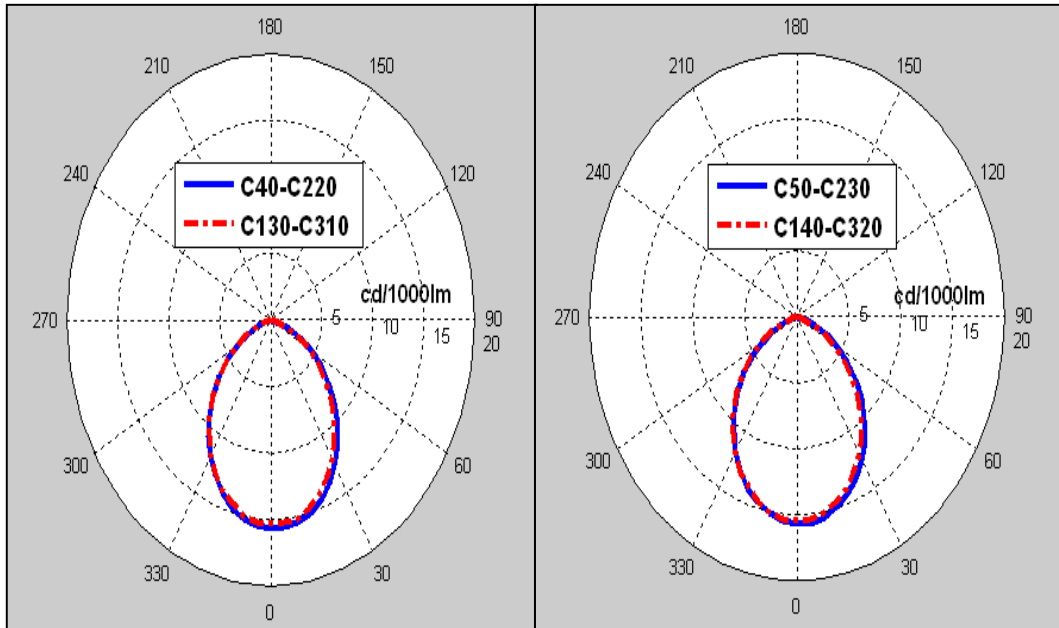
Παρακάτω παρουσιάζονται τα πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας (Σχήματα 4.70 έως 4.74) και η τρισδιάστατη κατανομή της για το δείγμα 3 (Σχήματα 4.75 και 4.76).



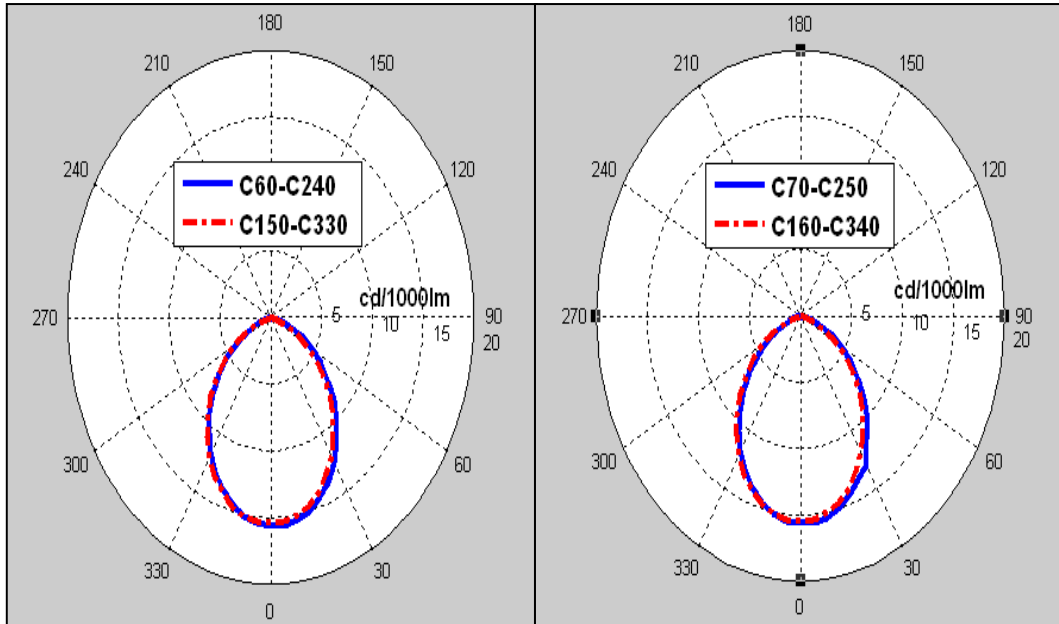
**Σχήμα 4.70: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C0-C180, C90-C270 και C10-C190, C100-C280**



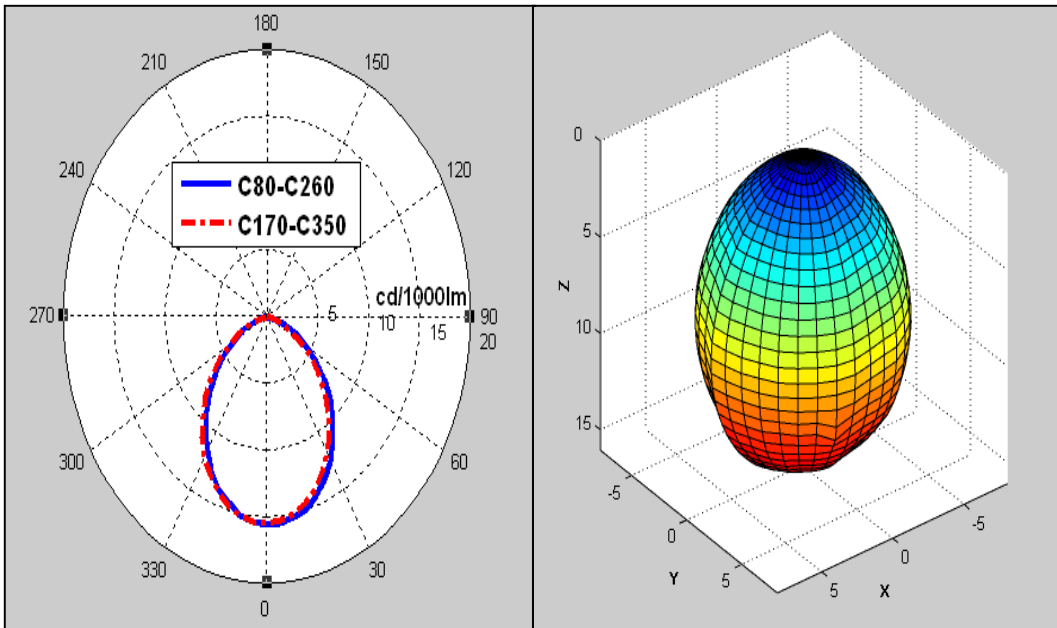
**Σχήμα 4.71: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C20-C200, C110-C290 και C30-C210, C120-C300**



**Σχήμα 4.72 : Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C40-C220,C130-C310 και C50-C230,C140-C320**

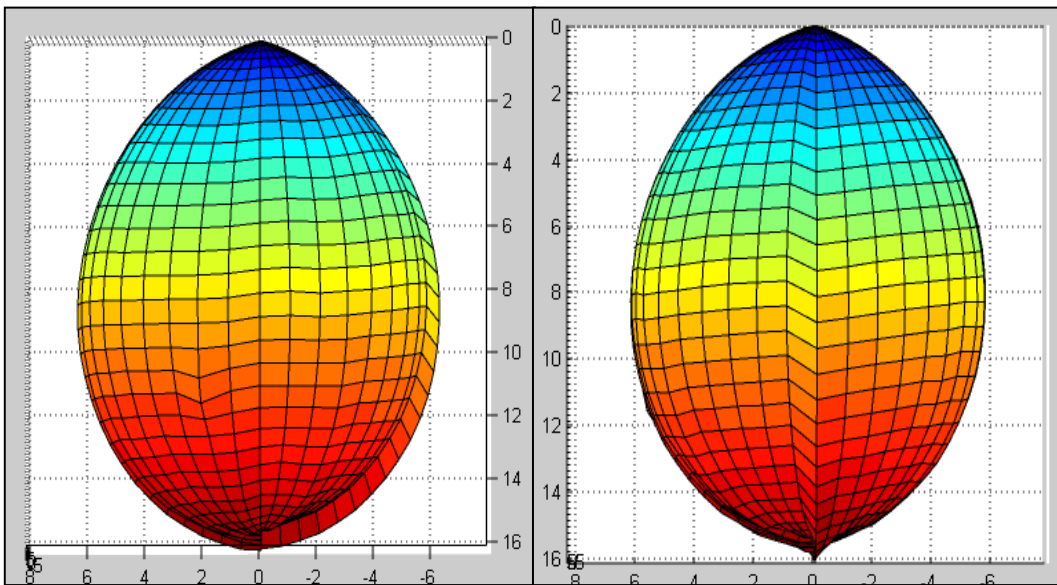


**Σχήμα 4.73: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C60-C240,C150-C330 και C70-C250,C160-C340**



**Σχήμα 4.74: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C80-C260 και C170-C350**

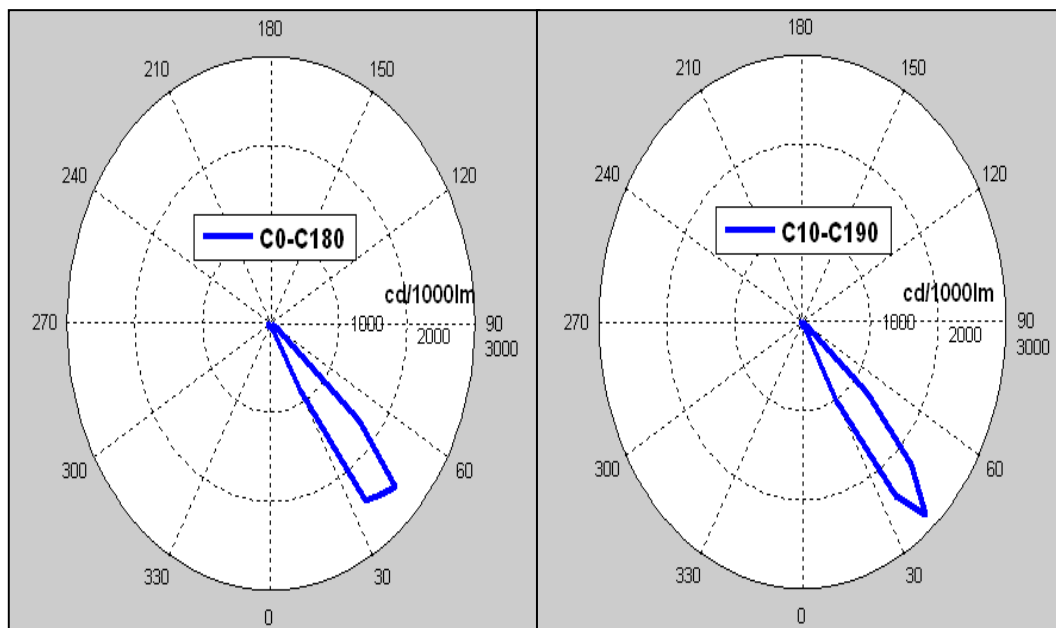
**Σχήμα 4.75: Τρισδιάστατη απεικόνιση της εξεργόμενης φωτεινής διαπερατότητας από το ύφασμα μεγάλου πάχους (γενική άποψη).**



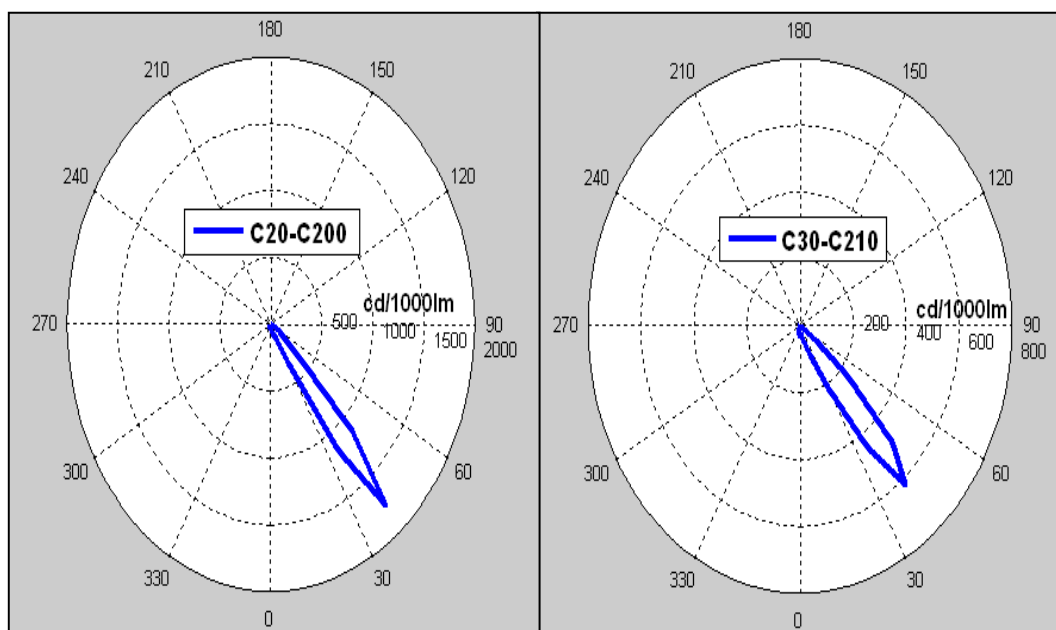
**Σχήμα 4.76 : Τρισδιάστατη απεικόνιση της εξεργόμενης φωτεινής διαπερατότητας από το ύφασμα μεγάλου πάχους σε άποψη X-Z(αριστερά) και άποψη Y-Z (δεξιά).**

4.1.11 Δείγμα 4 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού  $45^\circ$ .

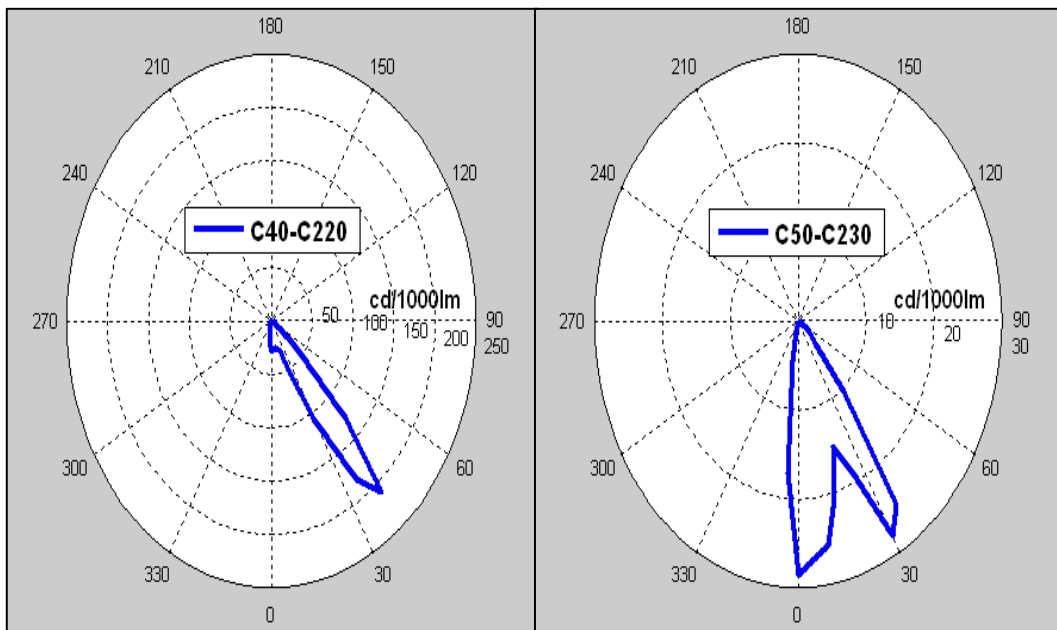
Παρακάτω παρουσιάζονται τα πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας (Σχήματα 4.77 έως 4.84) και η τρισδιάστατη κατανομή της για το δείγμα 4 (Σχήματα 4.85 και 4.86).



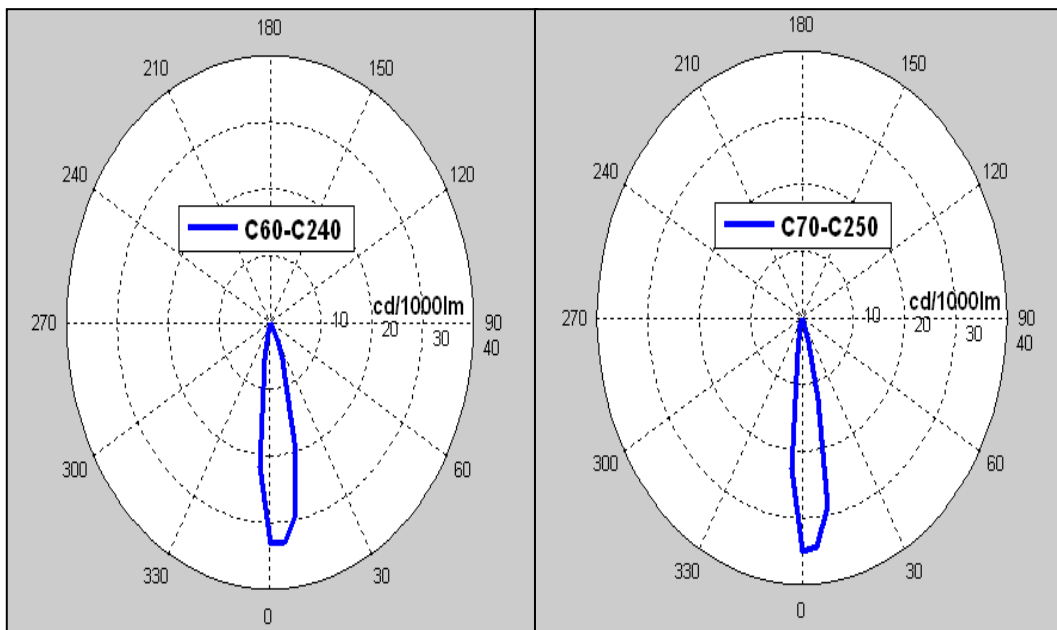
**Σχήμα 4.77: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C0-C180 και C10-C190**



**Σχήμα 4.78: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C20-C200 και C30-C210**

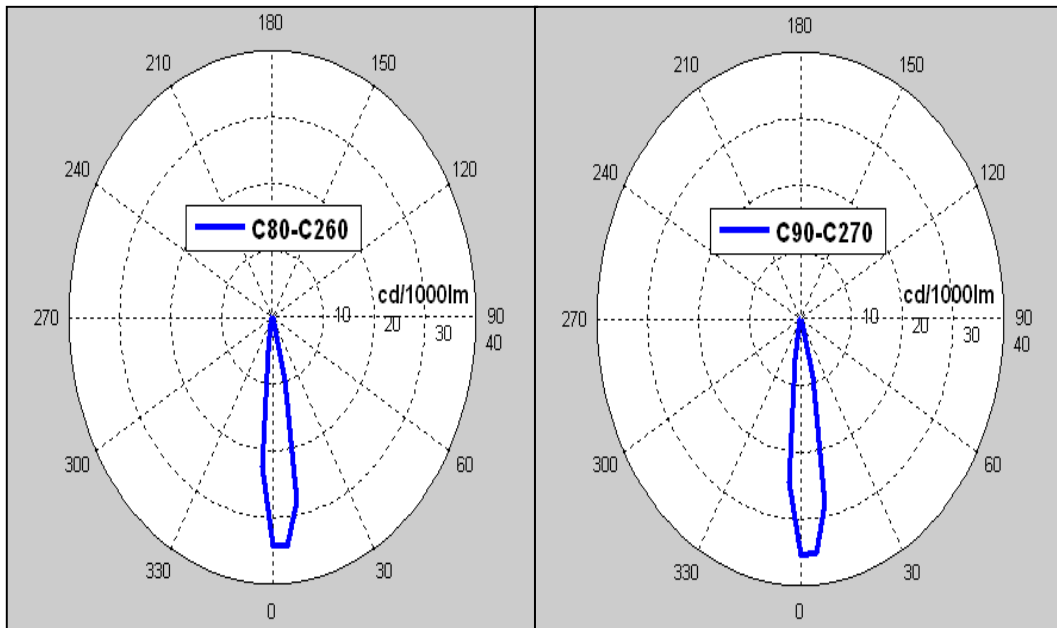


**Σχήμα 4.79: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C40-C220 και C50-C230**

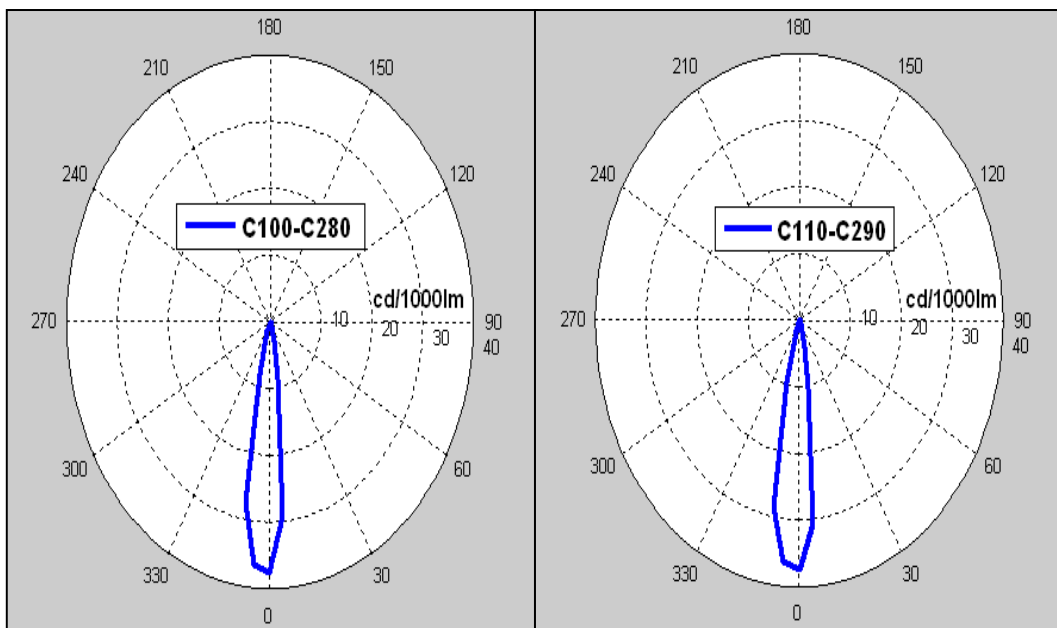


**Σχήμα 4.80: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C60-C240 και C70-C250**

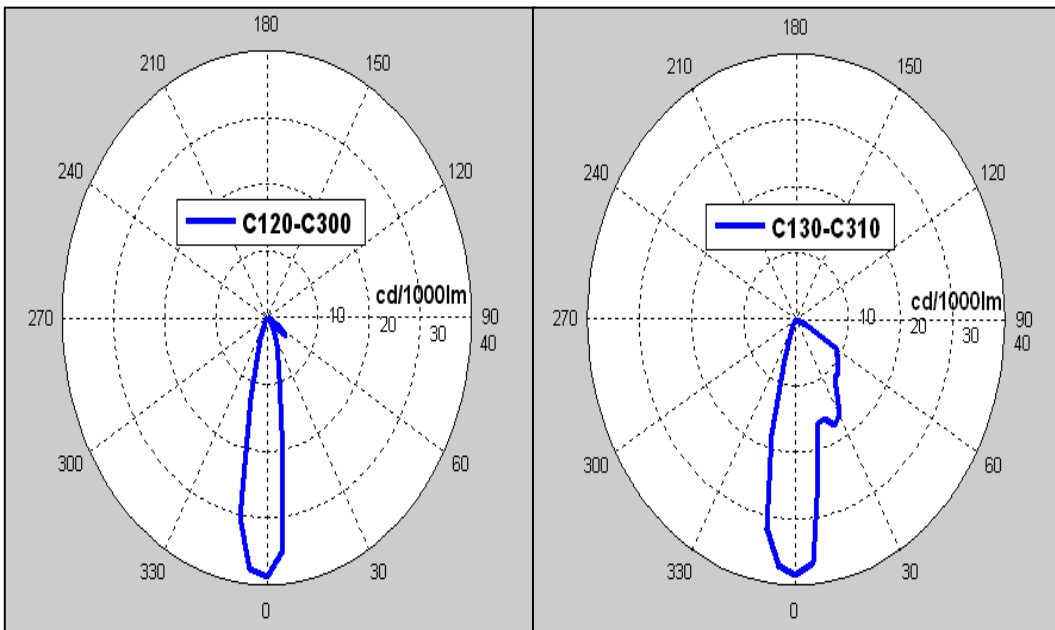




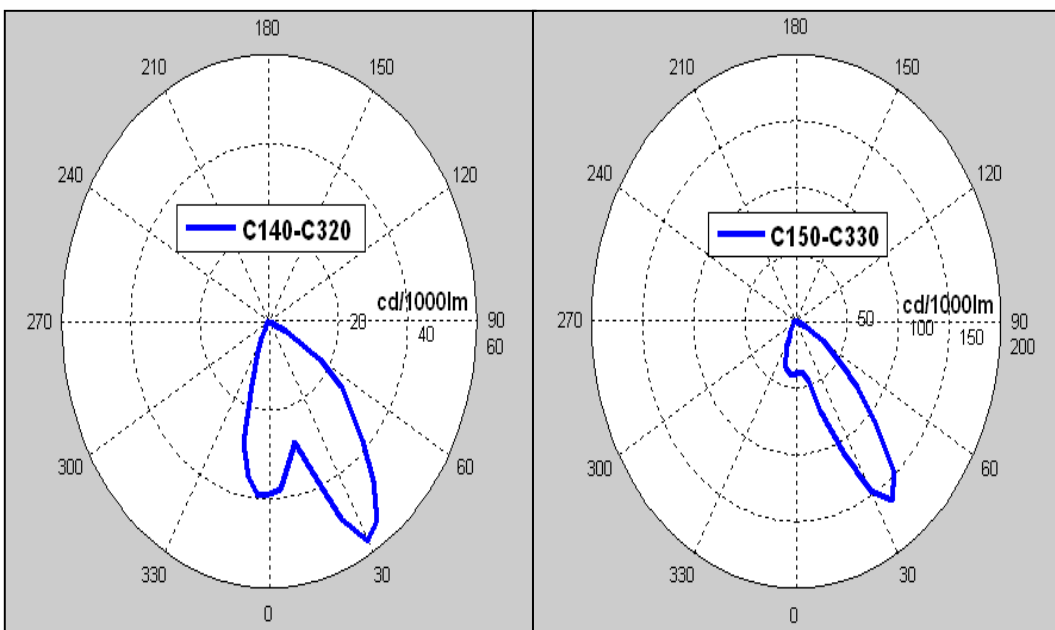
**Σχήμα 4.81: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C80-C260 και C90-C270**



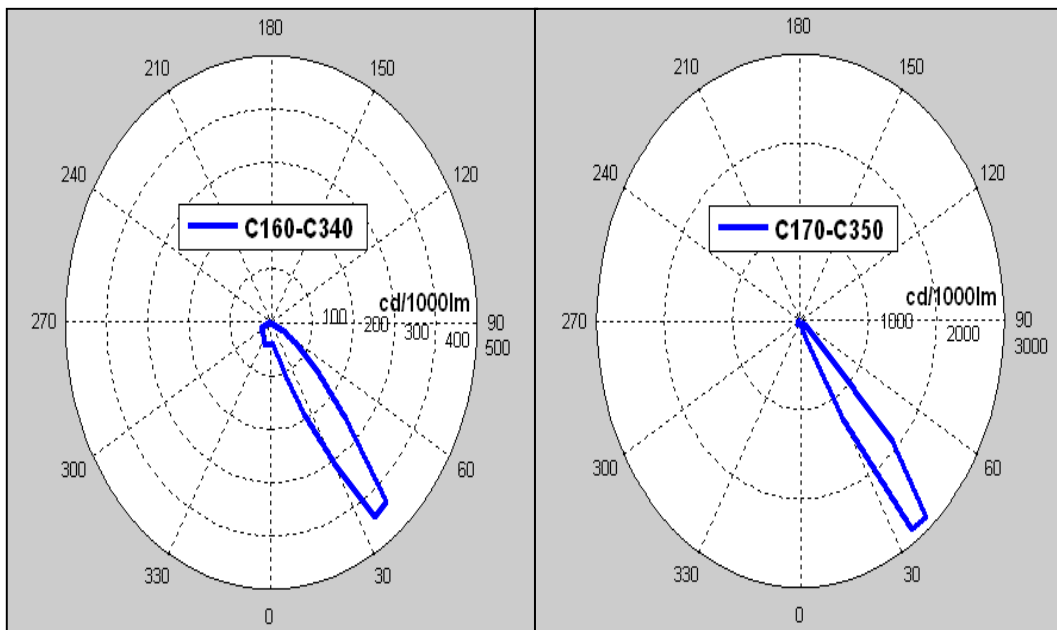
**Σχήμα 4.82: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C100-C280 και C110-C290**



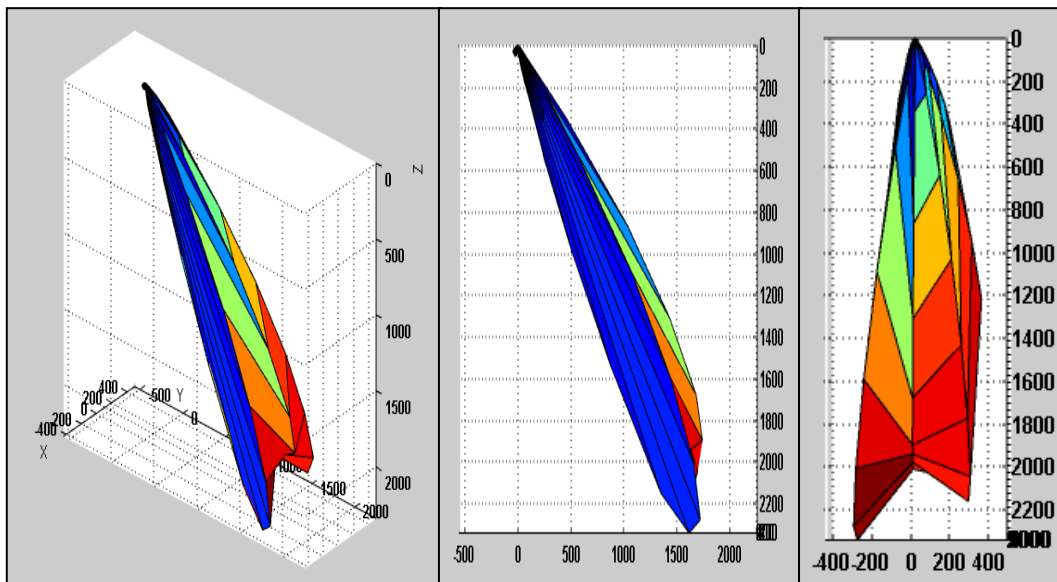
**Σχήμα 4.83: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C120-C300 και C130-C310**



**Σχήμα 4.84: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C140-C320 και C150-C330**



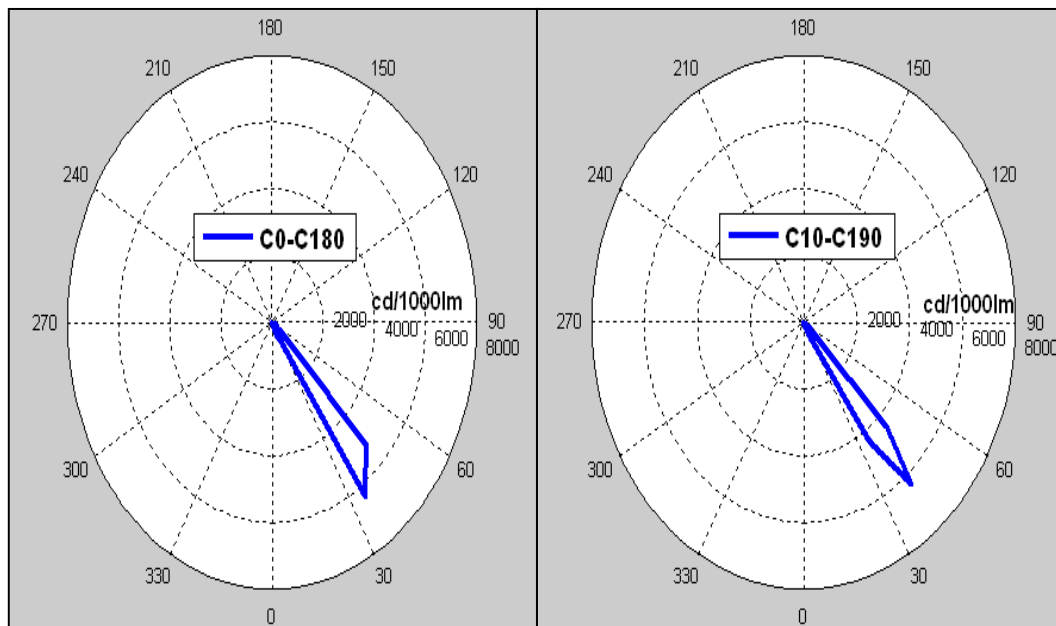
**Σχήμα 4.85: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C160-C340 και C170-C350**



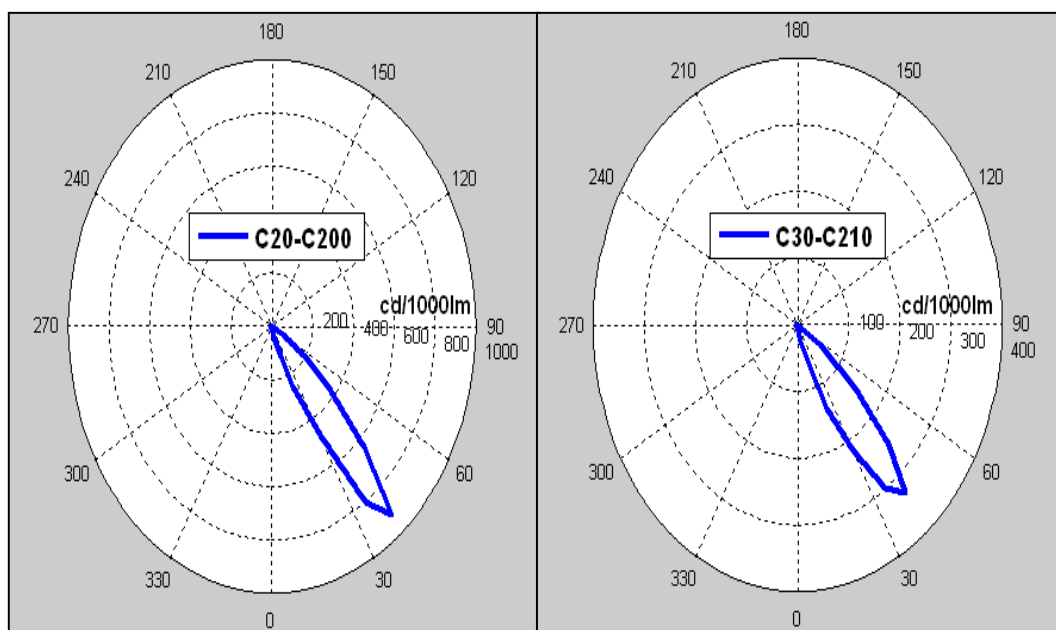
**Σχήμα 4.86: Τρισδιάστατη κατανομή φωτεινής διαπερατότητας σε γενική άποψη (αριστερά) , X-Z άποψη (κέντρο) και Y-Z άποψη(δεξιά).**

4.1.12 Δείγμα 5 - Γωνία πρόσπτωσης φωτισμού  $45^\circ$ .

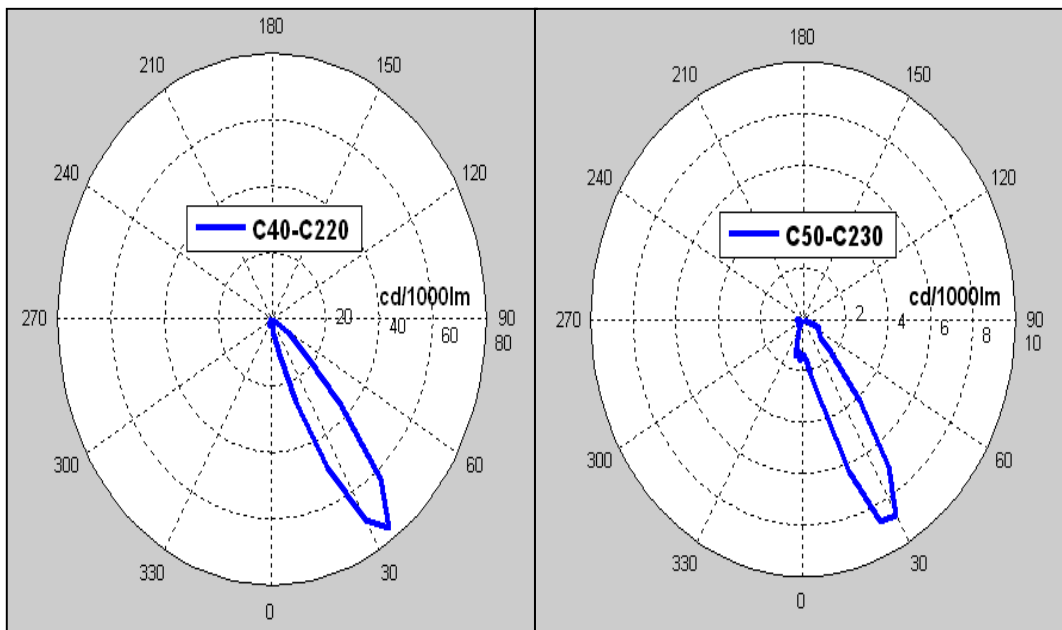
Παρακάτω παρουσιάζονται τα πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας (Σχήματα 4.70 έως 4.74) και η τρισδιάστατη κατανομή της για το δείγμα 5 (Σχήματα 4.75 και 4.76).



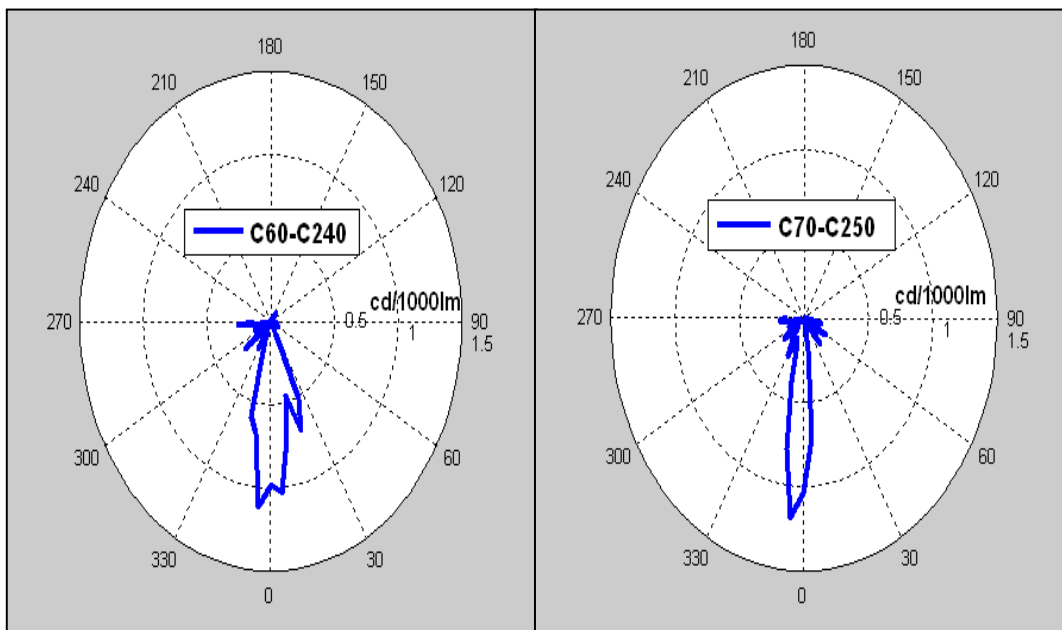
**Σχήμα 4.87: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C0-C180 και C10-C190**



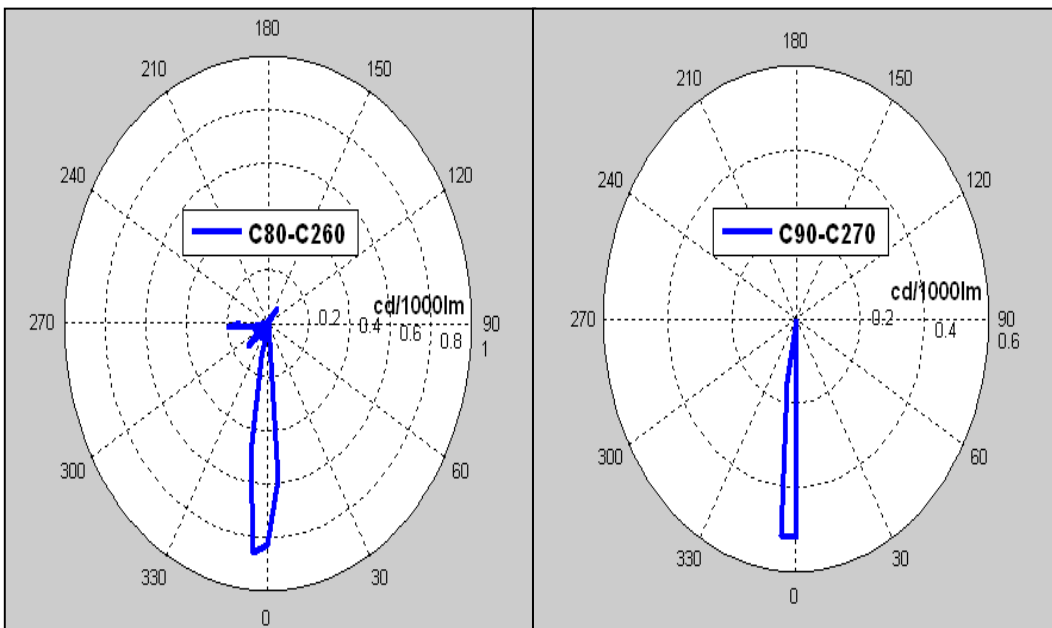
**Σχήμα 4.88: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C20-C200 και C30-C210**



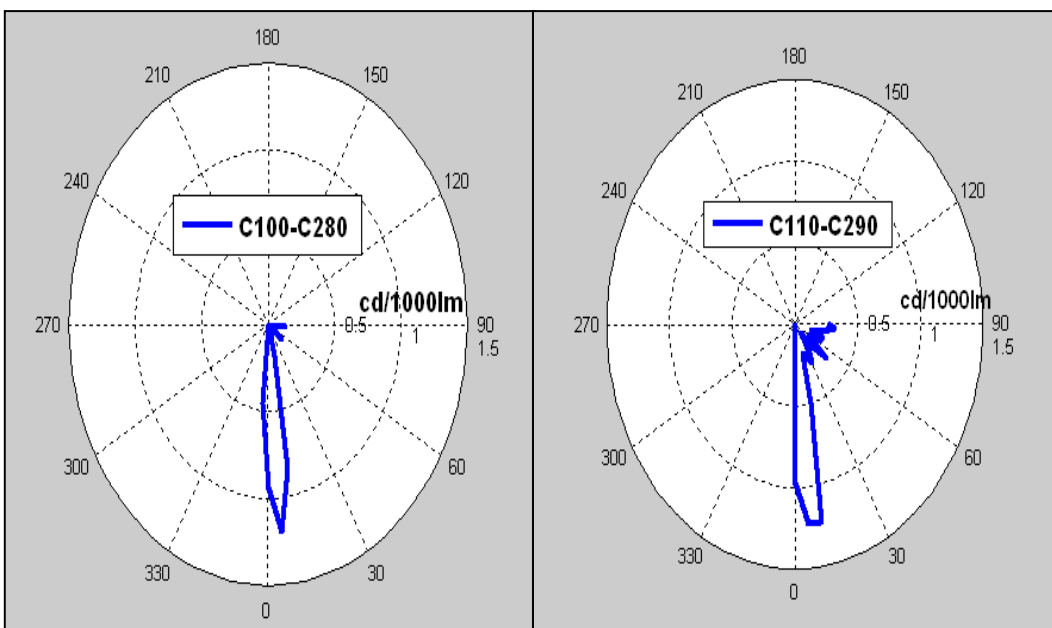
**Σχήμα 4.89: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C40-C220 και C50-C230**



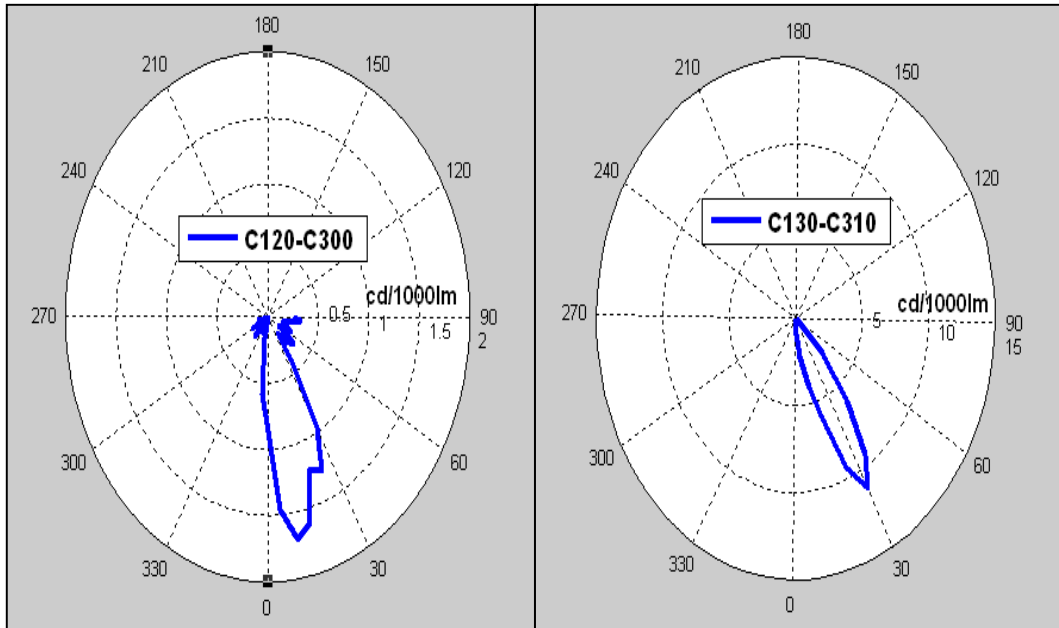
**Σχήμα 4.90: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C60-C240 και C70-C250**



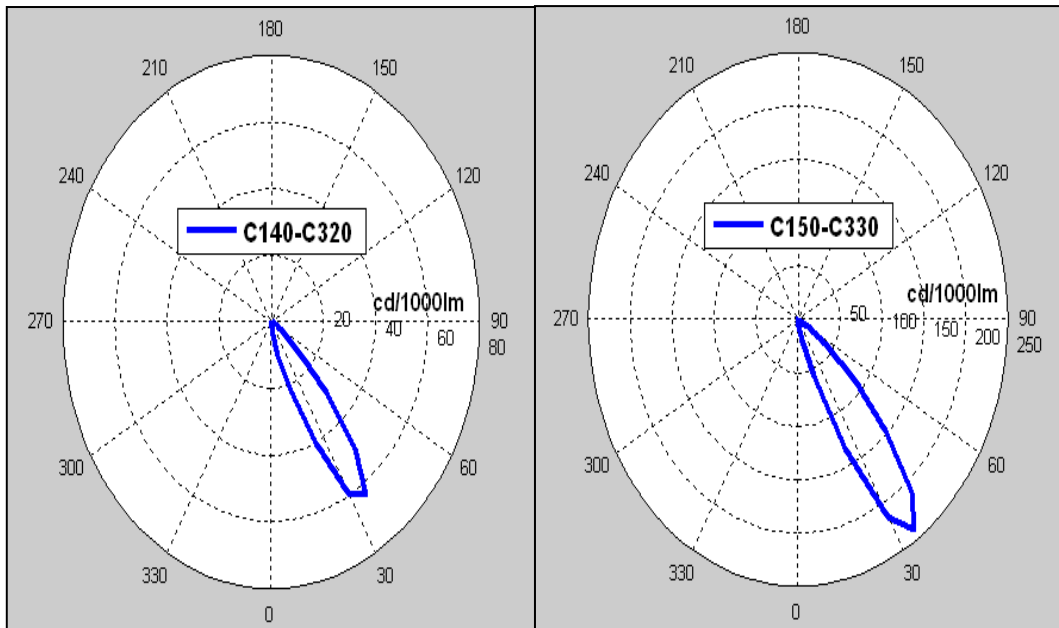
**Σχήμα 4.91: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C80-C260 και C90-C270**



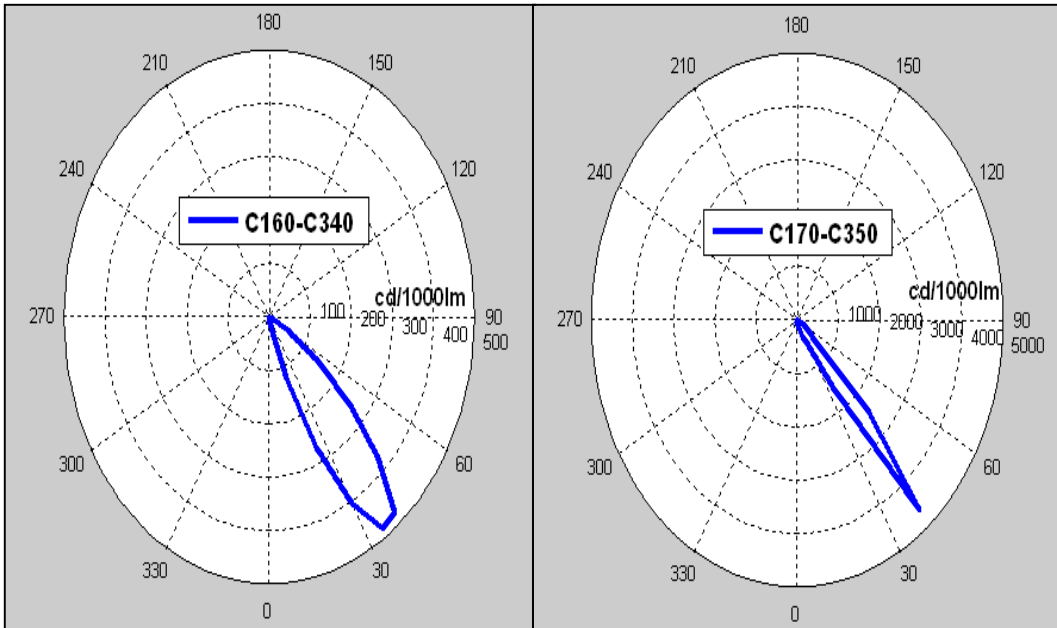
**Σχήμα 4.92: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C100-C280 και C110-C290**



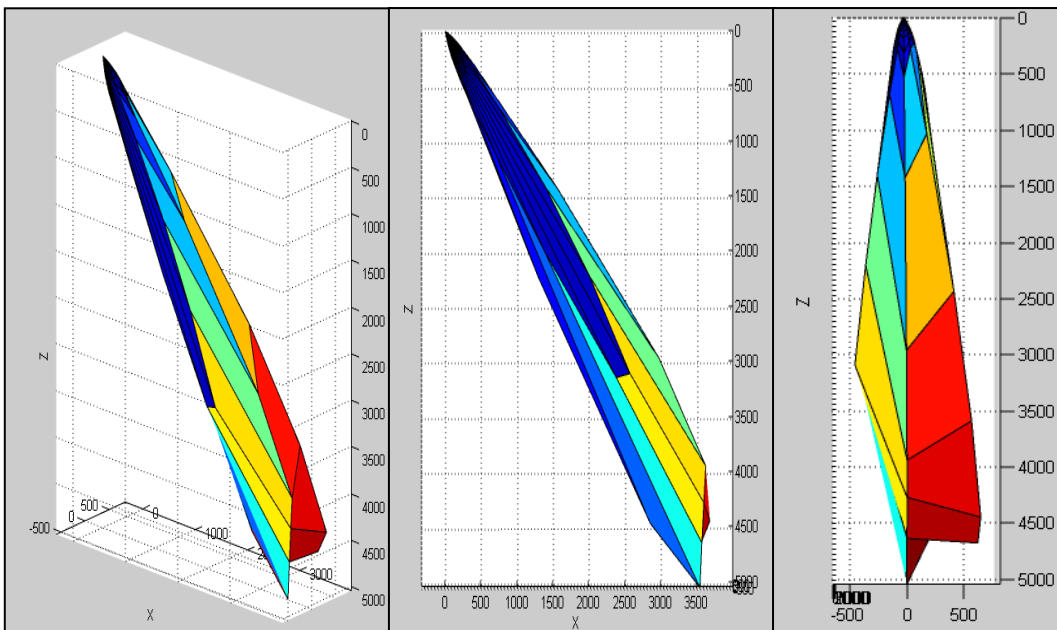
**Σχήμα 4.93: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C120-C300 και C130-C310**



**Σχήμα 4.94: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C140-C320 και C150-C330**



**Σχήμα 4.95: Πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας για τα επίπεδα C160-C340 και C170-C350**



**Σχήμα 4.96: Τρισδιάστατη κατανομή φωτεινής διαπερατότητας σε γενική άποψη (αριστερά) , X-Z άποψη (κέντρο) και Y-Z άποψη(δεξιά).**

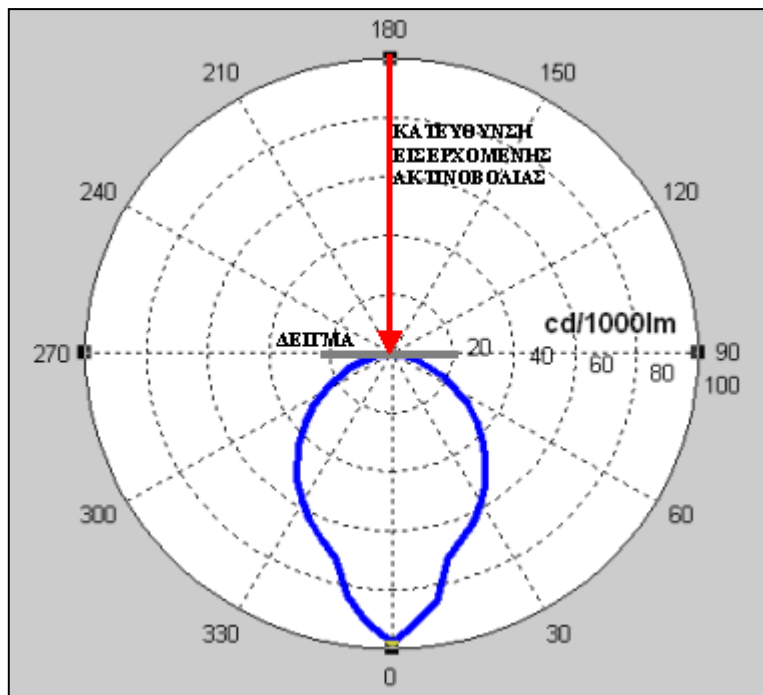


#### 4.1.13 Σχολιασμός γραφημάτων

Είναι φανερό από τα παραπάνω πολικά διαγράμματα και τρισδιάστατες απεικονίσεις ότι προκύπτουν δύο κύριες τάσεις στον τρόπο με τον οποίο ανακατανέμεται η εξερχόμενη φωτεινή ακτινοβολία από τα δείγματα. Γενικώς στα υφάσματα η φωτεινή ακτινοβολία διαχέεται προς τις περισσότερες κατευθύνσεις εμφανίζοντας διαχέουσα διαπερατότητα, ενώ στα μεταλλικά πλέγματα η φωτεινή ακτινοβολία δεν υφίσταται σημαντική εκτροπή εμφανίζοντας κανονική διαπερατότητα. Αλλά και μεταξύ των δειγμάτων της ίδιας φύσεως, τα αποτελέσματα διαφέρουν σημαντικά. Στη παρούσα ενότητα παρατίθενται σχόλια όσον αφορά αυτές τις ιδιότητες κάθε δείγματος ξεχωριστά τα οποία ανακατανέμουν την φωτεινή ακτινοβολία που τα διαπερνά.

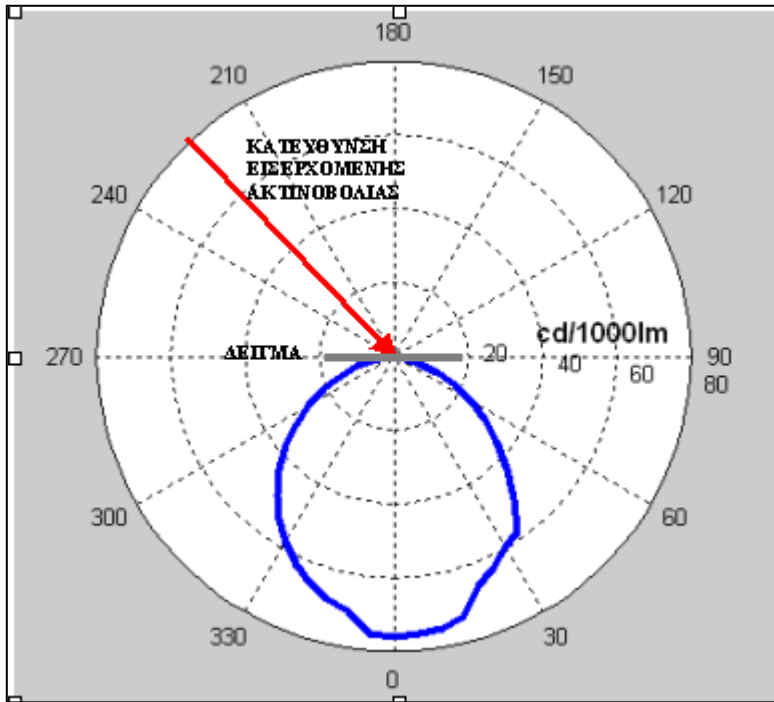
##### α) Δείγμα 1

Το δείγμα 1 είναι το πιο λεπτό από τα υφασμάτινα δείγματα και παρουσιάζει την χαμηλότερη απορροφητικότητα. Συνεπώς είναι το πιο ευαίσθητο στην εισερχόμενη φωτεινή ακτινοβολία υπό την έννοια ότι επιτρέπει μεγαλύτερη διέλευση της ακτινοβολίας αυτής, ιδιαίτερα για γωνίες  $\gamma$  κοντά στο  $\gamma = 0$  όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 4.97) όπου έχει ληφθεί το επίπεδο C0-C180.



Σχήμα 4.97 : Η πολική κατανομή φωτεινής διαπερατότητας στο επίπεδο C0-C180 του δείγματος 1 για κατακόρυφη πρόσπτωση

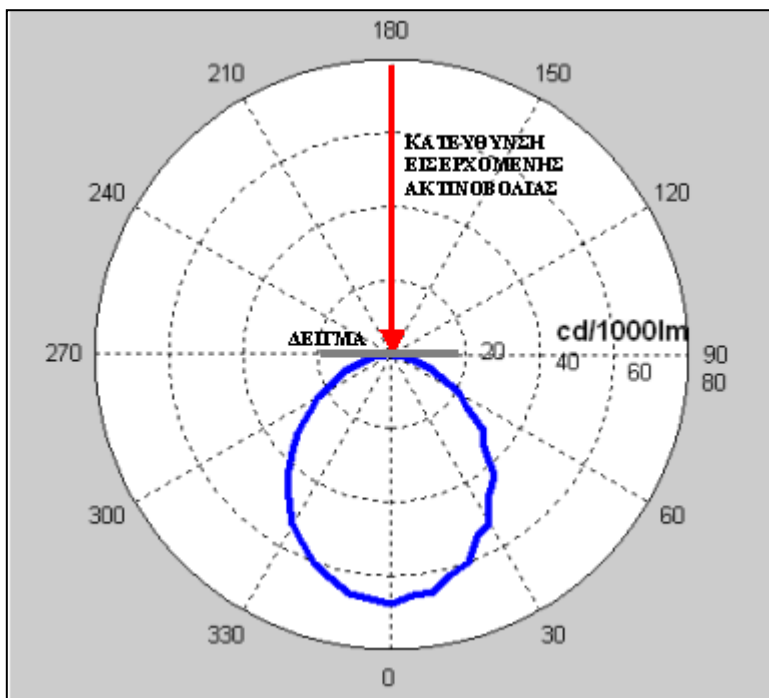
Όταν η γωνία πρόσπτωσης της εισερχόμενης ακτινοβολίας φωτισμού μεταβάλλεται στις  $45^\circ$ , η μορφή της διαπερατότητας για το δείγμα 1 αλλάζει σημαντικά. Η παρουσία του φαινομένου της διάχυσης είναι πολύ περισσότερο εμφανής και το δείγμα 1 παρουσιάζει σχεδόν διαχέουσα διαπερατότητα, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 4.98) για το επίπεδο C0-C180



Σχήμα 4.98 : Η πολική κατανομή φωτεινής διαπερατότητας στο επίπεδο C0-C180 του δείγματος 1 για πρόσπτωση 45 μοιρών.

β) Δείγμα 2

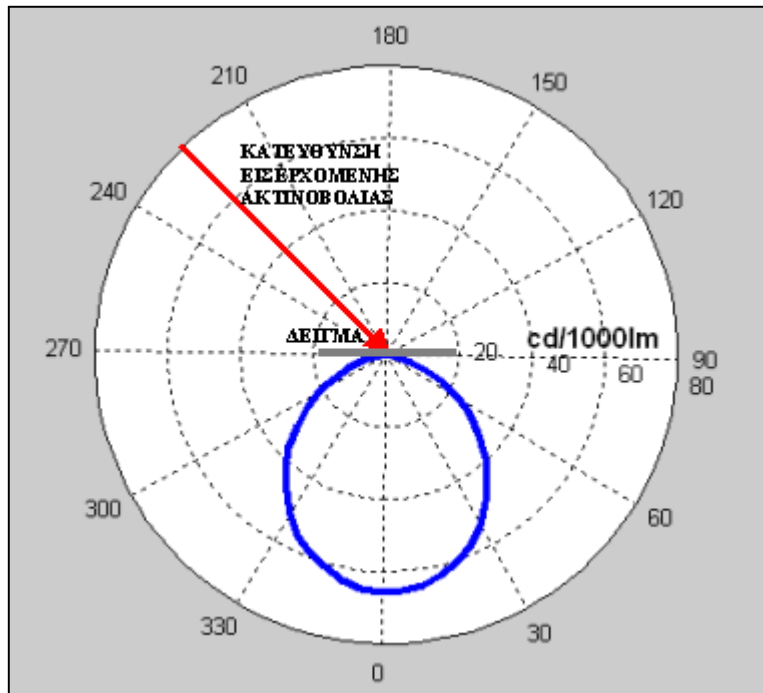
Το δείγμα 2 είναι περισσότερο παχύ από το δείγμα 1 και παρουσιάζει σχεδόν πλήρως διαχέουσα διαπερατότητα για γωνία πρόσπτωσης 0° μοιρών. Η φωτεινή ακτινοβολία που διαπερνά το δείγμα διαχέεται προς όλες τις δυνατές κατευθύνσεις, όπως φαίνεται από το παρακάτω σχήμα (σχήμα 4.99).



Σχήμα 4.99 : Η πολική κατανομή φωτεινής διαπερατότητας στο επίπεδο C0-C180 του δείγματος 2 για πρόσπτωση 0 μοιρών.

Αυτό που αξίζει να παρατηρηθεί είναι η παρουσία ελαφρών αυξομειώσεων στις τιμές της φωτεινής έντασης καθώς μεταβάλλεται η γωνία  $\gamma$ , προσδίδοντας στο διάγραμμα μια “οδοντωτή μορφή”. Προσεκτική εξέταση όλων των πολικών διαγραμμάτων φωτεινής έντασης του δείγματος 2 για γωνία πρόσπτωσης 0 μοιρών (σχήματα 4.8 έως 4.12) αποκαλύπτει ότι οι αυξομειώσεις αυτές δεν παρουσιάζονται σε όλα τα επίπεδα, αλλά η μορφή των διαγραμμάτων εναλλάσσεται μεταξύ οδοντωτής και κανονικής μορφής για κάθε διαδοχικό επίπεδο. Συγκεκριμένα για τα επίπεδα **C0-C180, C20-C200, C40-C220, C60-C240, C80-C260, C100-C280, C120-C300, C140-C320** και **C160-C340** η αυξομείωση της φωτεινής έντασης είναι εμφανής, άλλοτε περισσότερο και άλλοτε λιγότερο έντονα. Αντιθέτως στα διαγράμματα των επιπέδων **C10-C190, C30-C210, C50-C230, C70-C250, C90-C270, C110-C290, C130-C310, C150-C330** και **C170-C350** η μεταβολή της φωτεινής έντασης είναι ομαλή.

Όταν η γωνία πρόσπτωσης της εισερχόμενης ακτινοβολίας φωτισμού μεταβάλλεται στις  $45^\circ$ , η μορφή της διαπερατότητας για το δείγμα 2 δεν αλλάζει σημαντικά, εντούτοις παύει να εμφανίζεται το φαινόμενο της αυξομείωσης. Το δείγμα 2 συνεχίζει να εμφανίζει σχεδόν διαχέουσα διαπερατότητα, όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα (σχήμα 4.100).



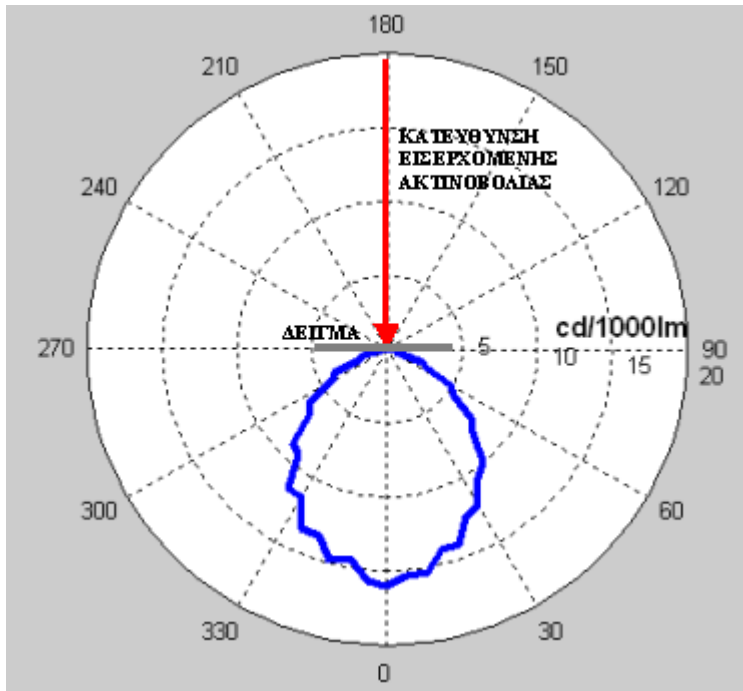
Σχήμα 4.100 : Η πολική κατανομή φωτεινής διαπερατότητας στο επίπεδο C0-C180 του δείγματος 2 για πρόσπτωση 45 μοιρών.

#### γ) Δείγμα 3

Το δείγμα 3 είναι το πιο παχύ από τα τρία υφασμάτινα δείγματα και δεν επιτρέπει τη διέλευση μεγάλης ποσότητας φωτισμού. Εντούτοις ο τρόπος με τον οποίο ανακατευθύνει την φωτεινή ακτινοβολία που το διαπερνά παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Για γωνία πρόσπτωσης 0 μοιρών παρατηρείται μεικτή διαπερατότητα, με την εμφάνιση έντονων αυξομειώσεων στις τιμές της φωτεινής έντασης καθώς μεταβάλλεται η γωνία  $\gamma$ , προσδίδοντας στο διάγραμμα μια “οδοντωτή μορφή” (σχήμα 4.101) όπως στην περίπτωση του δείγματος. 2

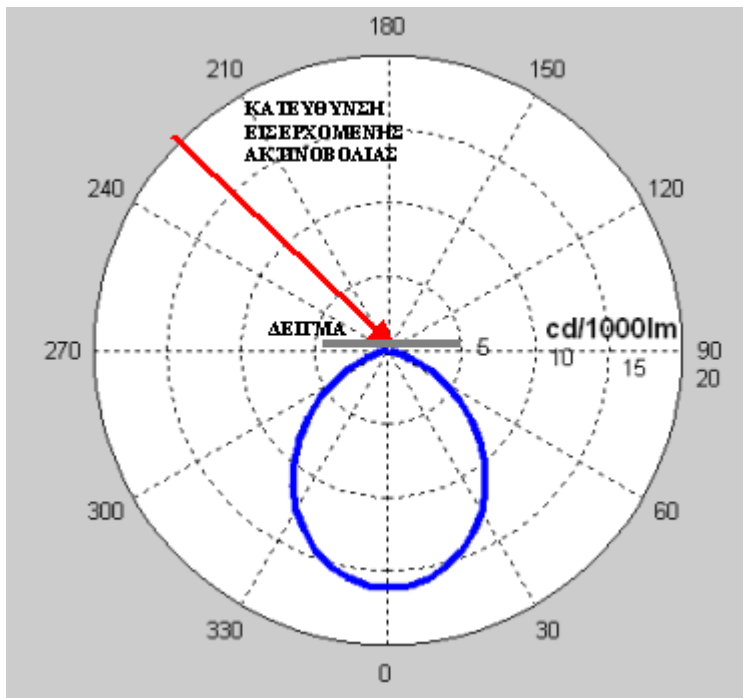
Προσεκτική εξέταση όλων των πολικών διαγραμμάτων φωτεινής διαπερατότητας του δείγματος 3 για γωνία πρόσπτωσης 0 μοιρών (σχήματα 4.15 έως 4.19) αποκαλύπτει ότι οι αυξομειώσεις αυτές παρουσιάζονται σε όλα σχεδόν τα επίπεδα, άλλοτε εντονότερα και άλλοτε όχι. Συγκεκριμένα έχουμε έντονη παρουσία του φαινομένου στα επίπεδα **C0-C180, C20-C200, C40-C220, C60-C240, C80-C260, C100-C280, C120-C300, C140-C320** και **C160-C340**. Αντιθέτως στα διαγράμματα των επιπέδων **C10-C190, C30-C210, C50-C230, C70-C250, C90-C270, C110-C290, C130-C310, C150-C330** και **C170-C350** η μεταβολή της φωτεινής έντασης είναι περισσότερο ομαλή.

Λαμβάνοντας υπ’ όψιν την απουσία του φαινομένου στο δείγμα 1 και την λιγότερο έντονη παρουσία του στο δείγμα 2, η ύπαρξη αυτών των αυξομειώσεων πρέπει να οφείλεται στην υφή των υφασμάτων και στον τρόπο ύφανσης τους, Επιπλέον η ένταση αυτών των αυξομειώσεων δείχνει να εξαρτάται από το πάχος του δείγματος.



Σχήμα 4.101 : Η πολική κατανομή φωτεινής διαπερατότητας στο επίπεδο C0-C180 του δείγματος 3 για πρόσπτωση 0 μοιρών.

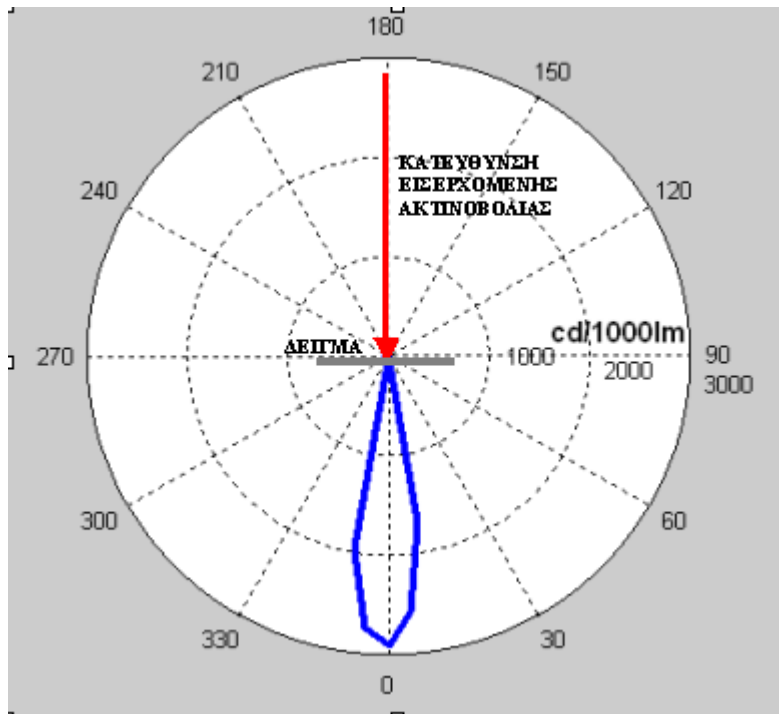
Όταν η γωνία πρόσπτωσης της εισερχόμενης ακτινοβολίας φωτισμού μεταβάλλεται στις  $45^\circ$ , η μορφή της διαπερατότητας για το δείγμα 3 είναι αρκετά διαφορετική, καθώς πάει να εμφανίζεται το φαινόμενο της αυξομείωσης της φωτεινής έντασης. Το δείγμα 3 εμφανίζει διαχέουσα διαπερατότητα, όπως φαίνεται και από το παρακάτω σχήμα ενδεικτικά για το επίπεδο C0-C180 (σχήμα 4.102)



Σχήμα 4.102 : Η πολική κατανομή φωτεινής διαπερατότητας στο επίπεδο C0-C180 του δείγματος 3 για πρόσπτωση 45 μοιρών

δ) Δείγμα 4

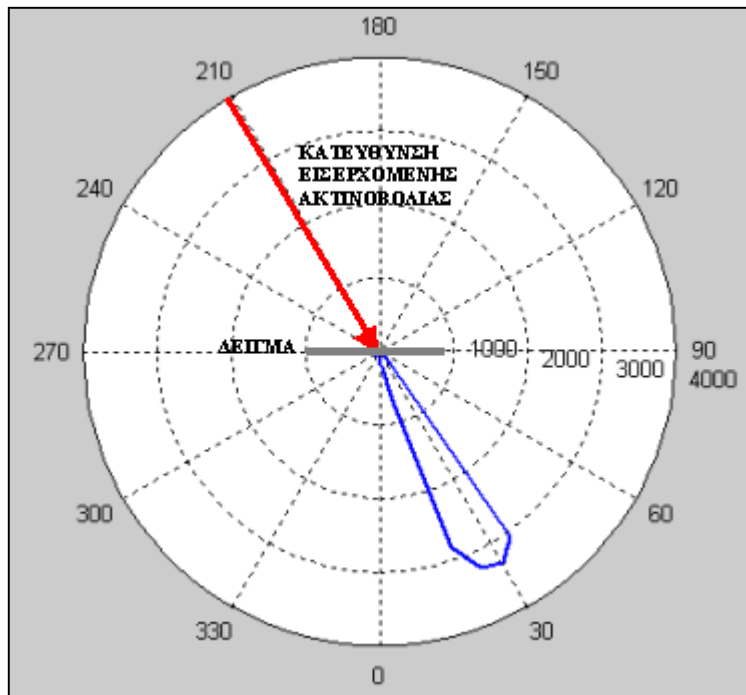
Το δείγμα 4 αποτελείται από μεταλλικό πλέγμα και συνεπώς παρουσιάζει εντελώς διαφορετική συμπεριφορά απ' ό,τι τα προηγούμενα δείγματα. Εξέταση των πολικών διαγραμμάτων κατανομής της φωτεινής διαπερατότητας για γωνία πρόσπτωσης 0 μοιρών (σχήματα 4.22 έως 4.26) δείχνει ότι παρουσιάζει κανονική διαπερατότητα και δεν παρατηρείται καθόλου διάχυση της φωτεινής ακτινοβολίας που το διαπερνά. Ενδεικτικά παρουσιάζεται το επίπεδο C0-C180 στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 4.103).



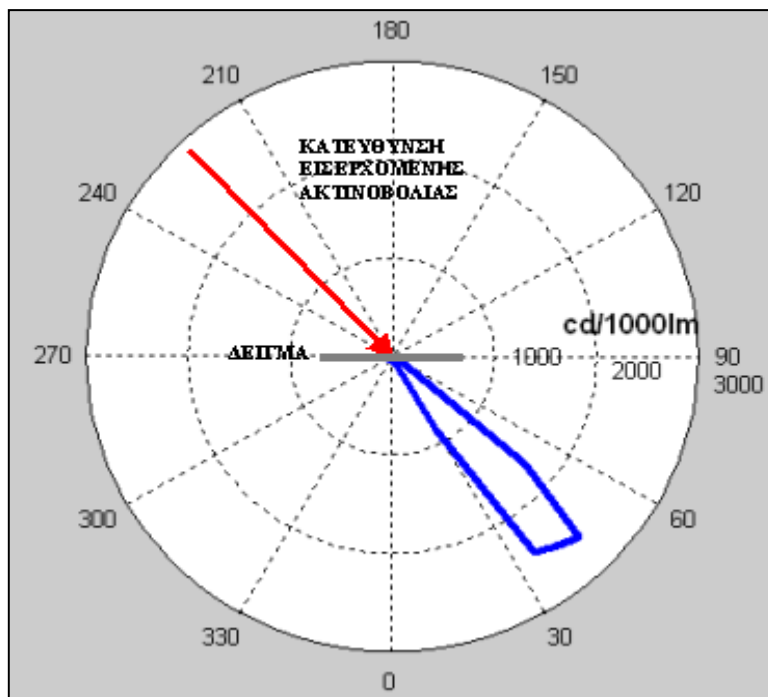
Σχήμα 4.103 : Η πολική κατανομή φωτεινής διαπερατότητας στο επίπεδο C0-C180 του δείγματος 4 για πρόσπτωση 0 μοιρών.

Η ίδια εικόνα διατηρείται και για πρόσπτωση φωτεινής ακτινοβολίας υπό γωνία 30 και 45 μοιρών, όπως φαίνεται από τις τρισδιάστατες κατανομές (σχήματα 4.45 και 4.86) οι οποίες είναι παρόμοιας μορφής με αυτά της κατακόρυφης πρόσπτωσης ακτινοβολίας στο δείγμα.

Στα παρακάτω σχήματα παρατίθεται το επίπεδο C0-C180 για γωνία πρόσπτωσης 30 και 45 μοιρών όπου φαίνεται η κανονική διαπερατότητα του δείγματος (σχήματα 4.104 και 4.105)



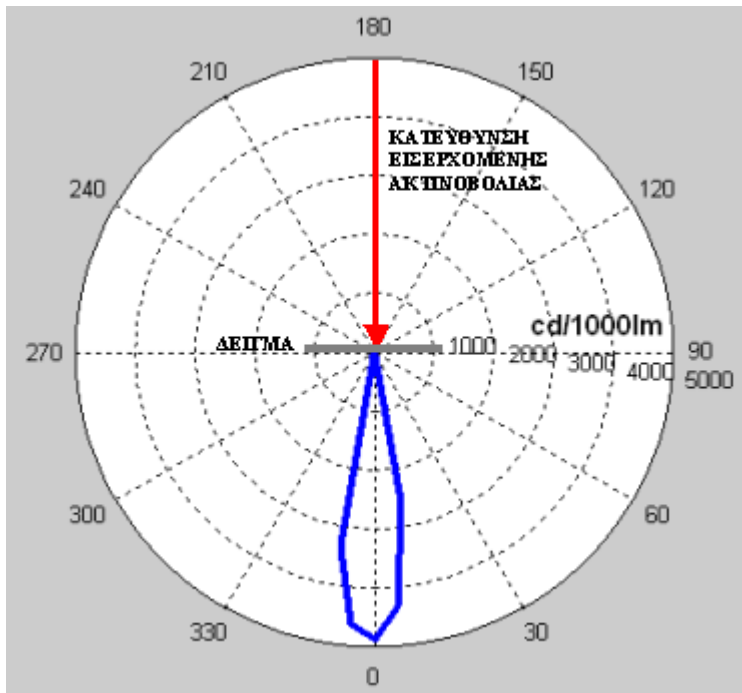
Σχήμα 4.104 : Η πολική κατανομή φωτεινής διαπερατότητας στο επίπεδο C0-C180 του δείγματος 4 για πρόσπτωση 30 μοιρών.



Σχήμα 4.105 : Η πολική κατανομή φωτεινής διαπερατότητας στο επίπεδο C0-C180 του δείγματος 4 για πρόσπτωση 30 μοιρών.

ε) Δείγμα 5

Το δείγμα 5 αποτελείται από μεταλλικό πλέγμα όπως και το προηγούμενο και συνεπώς παρουσιάζει την ίδια συμπεριφορά. Εξέταση των πολικών διαγραμμάτων κατανομής της φωτεινής διαπερατότητας για γωνία πρόσπτωσης 0 μοιρών (σχήματα 4.29 έως 4.33) δείχνει ότι παρουσιάζει κανονική διαπερατότητα και δεν παρατηρείται καθόλου διάχυση της φωτεινής ακτινοβολίας που το διαπερνά. Ενδεικτικά παρουσιάζεται το επίπεδο C0-C180 στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 4.106)

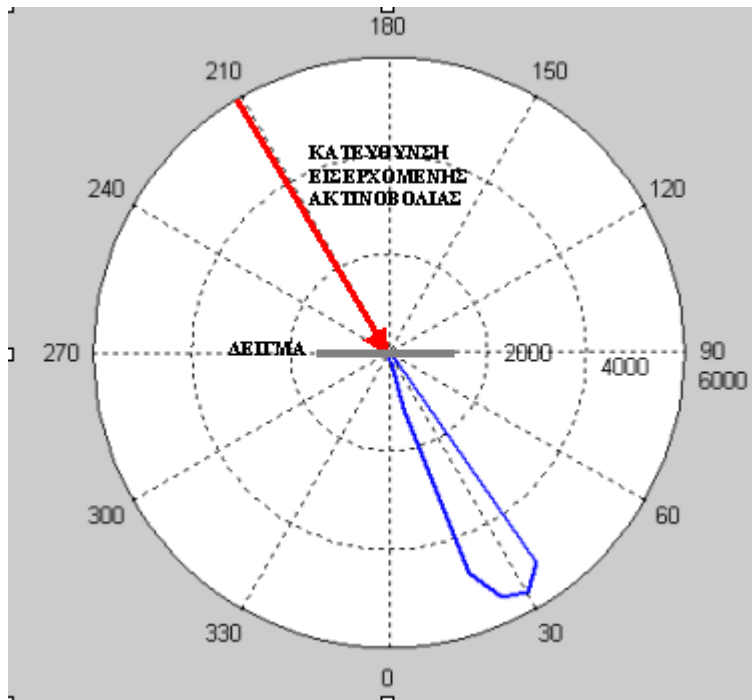


Σχήμα 4.106 : Η πολική κατανομή φωτεινής διαπερατότητας στο επίπεδο C0-C180 του δείγματος 5 για πρόσπτωση 0 μοιρών.

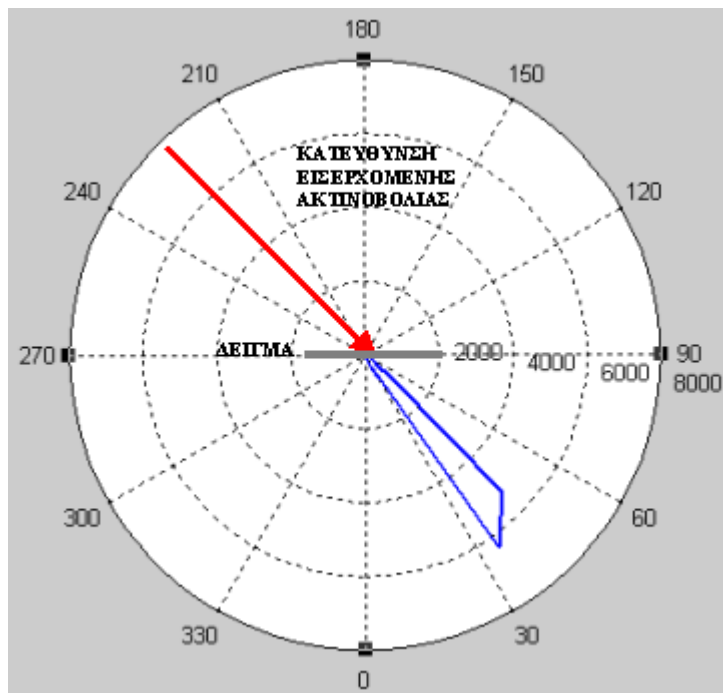
Η ίδια εικόνα διατηρείται και για πρόσπτωση φωτεινής ακτινοβολίας υπό γωνία 30 και 45 μοιρών, όπως φαίνεται από τις τρισδιάστατες κατανομές (σχήματα 4.55 και 4.96) οι οποίες είναι παρόμοιας μορφής με αυτά της κατακόρυφης πρόσπτωσης ακτινοβολίας στο δείγμα.

Στα παρακάτω σχήματα παρατίθεται το επίπεδο C0-C180 για γωνία πρόσπτωσης 30 και 45 μοιρών όπου φαίνεται η κανονική διαπερατότητα του δείγματος (σχήματα 4.107 και 4.108).





Σχήμα 4.107 : Η πολική κατανομή φωτεινής διαπερατότητας στο επίπεδο C0-C180 του δείγματος 5 για πρόσπτωση 30 μοιρών.



Σχήμα 4.108 : Η πολική κατανομή φωτεινής διαπερατότητας στο επίπεδο C0-C180 του δείγματος 5 για πρόσπτωση 45 μοιρών.

#### 4.2 Υπολογισμός συντελεστή διαπερατότητας δειγμάτων

Ο συντελεστής διαπερατότητας για κάθε δείγμα υπολογίζεται από εφαρμογή της σχέσης (12)  $\tau = \frac{\Phi_{\tau}}{\Phi}$ , όπου  $\Phi_{\tau}$  η συνολική φωτεινή ροή που διαπερνά το κάθε δοκίμιο και  $\Phi$  η ολική προσπίπτουσα φωτεινή ροή στο κάθε δείγμα.

Ο υπολογισμός της εξερχόμενης από τα δείγματα φωτεινής ροής  $\Phi_{\tau}$  γίνεται εφαρμόζοντας μεθόδους αριθμητικής ολοκλήρωσης στις μετρούμενες τιμές της έντασης φωτισμού που λαμβάνονται στα επίπεδα Γ. Για τον υπολογισμό της ολικής προσπίπτουσας φωτεινής ροής  $\Phi$  εφαρμόζονται οι ίδιες μέθοδοι σε τιμές έντασης φωτισμού που προκύπτουν από την μέτρηση των ίδιων επιπέδων στους σωλήνες χωρίς την παρουσία δειγμάτων.

Συγκεκριμένα με εφαρμογή της αριθμητικής μεθόδου προέκυψε ότι η συνολική προσπίπτουσα φωτεινή ροή στα δείγματα είναι  $\Phi = 152$  lumen

Στη συνέχεια παρατίθενται σε πίνακες η υπολογισμένη εξερχόμενη φωτεινή ροή  $\Phi_{\tau}$  και ο συντελεστής διαπερατότητας  $\tau$  για κάθε δείγμα ξεχωριστά για τις αντίστοιχες γωνίες πρόσπτωσης:

i) **Πίνακας 4** : Συνολική εξερχόμενη φωτεινή ροή  $\Phi_{\tau}$  και συντελεστής διαπερατότητας  $\tau$  για πρόσπτωση φωτεινής ακτινοβολίας υπό γωνία  $0$  μοιρών στα δείγματα.

Είδος δείγματος	$\Phi_{\tau}$ (lumen)	$\tau$
Δείγμα 1	27,1	0,179
Δείγμα 2	24,8	0,164
Δείγμα 3	5,6	0,037
Δείγμα 4	64,6	0,426
Δείγμα 5	97,8	0,646

ii) **Πίνακας 5** : Συνολική εξερχόμενη φωτεινή ροή  $\Phi_{\tau}$  και συντελεστής διαπερατότητας  $\tau$  για πρόσπτωση φωτεινής ακτινοβολίας υπό γωνία  $30^{\circ}$  στο δείγμα.

Είδος δείγματος	$\Phi_{\tau}$ (lumen)	$\tau$
Δείγμα 1	32	0,211
Δείγμα 2	29,4	0,194
Δείγμα 3	5,6	0,037
Δείγμα 4	84,8	0,557
Δείγμα 5	130,2	0,859

iii) **Πίνακας 6** : Συνολική εξερχόμενη φωτεινή ροή  $\Phi_{\tau}$  και συντελεστής διαπερατότητας  $\tau$  για πρόσπτωση φωτεινής ακτινοβολίας υπό γωνία  $45^{\circ}$  στο δείγμα .

Είδος δείγματος	$\Phi_{\tau}$ (lumen)	$\tau$
Δείγμα 1	22,9	0,151
Δείγμα 2	21	0,139
Δείγμα 3	5,9	0,039
Δείγμα 4	88,1	0,582
Δείγμα 5	112	0,739

Από την εξέταση των τιμών των συντελεστών διαπερατότητας που προέκυψαν για τα διάφορα δείγματα προκύπτει μία ενδιαφέρουσα παρατηρήσεις. Ειδικότερα είναι εμφανές ότι η τιμή του συντελεστή διαπερατότητας των εξεταζόμενων δειγμάτων διαφοροποιείται καθώς μεταβάλλεται η γωνία πρόσπτωσης της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Η μεταβολή αυτή αναλύεται περισσότερο στους πίνακες και στις γραφικές παραστάσεις που ακολουθούν , στις οποίες απεικονίζεται ο συντελεστής διαπερατότητας για κάθε δείγμα ξεχωριστά στις διάφορες γωνίες.

iv) **Πίνακας 7** : Ποσοτική και ποσοστιαία μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας για όλα τα δείγματα μεταξύ των γωνιών πρόσπτωσης 0 και 30

Είδος δείγματος	$\tau_{0^{\circ}}$	$\tau_{30^{\circ}}$	$\Delta \tau = \tau_{0^{\circ}} - \tau_{30^{\circ}}$	%
Δείγμα 1	0,179	0,211	-0,032	17,9%
Δείγμα 2	0,164	0,194	-0,03	18,3%
Δείγμα 3	0,037	0,037	0	0%
Δείγμα 4	0,426	0,557	-0,131	30,8%
Δείγμα 5	0,646	0,859	-0,213	33%

v) **Πίνακας 8** : Ποσοτική και ποσοστιαία μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας για όλα τα δείγματα μεταξύ των γωνιών πρόσπτωσης 0 και 45

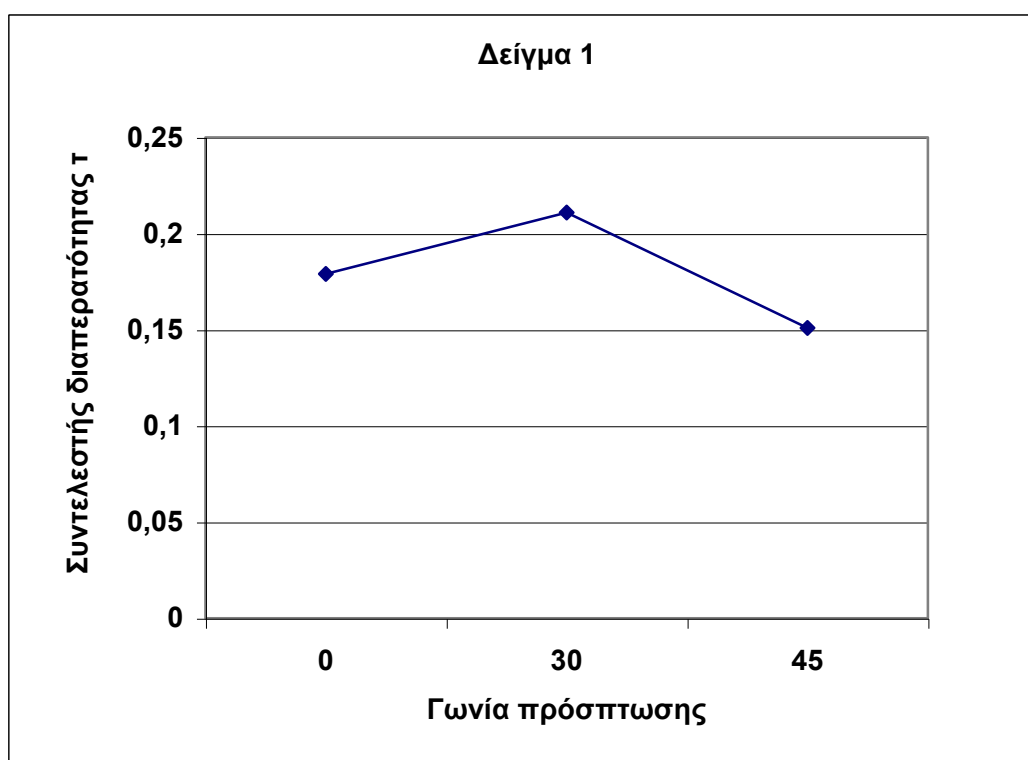
Είδος δείγματος	$\tau_{0^{\circ}}$	$\tau_{45^{\circ}}$	$\Delta \tau = \tau_{0^{\circ}} - \tau_{45^{\circ}}$	%
Δείγμα 1	0,179	0,151	0,028	-15,6%
Δείγμα 2	0,164	0,139	0,025	-15,2%
Δείγμα 3	0,037	0,039	-0,002	5,4%
Δείγμα 4	0,426	0,582	-0,156	36,6%
Δείγμα 5	0,646	0,739	-0,093	14,4%

vi) Πίνακας 9 : Ποσοτική και ποσοστιαία μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας για όλα τα δείγματα μεταξύ των γωνιών πρόσπτωσης 30 και 45

Είδος δείγματος	$\tau_{30^\circ}$	$\tau_{45^\circ}$	$\Delta \tau = \tau_{30^\circ} - \tau_{45^\circ}$	%
Δείγμα 1	0,211	0,151	0,06	-28,40%
Δείγμα 2	0,194	0,139	0,055	-28,40%
Δείγμα 3	0,037	0,039	-0,002	5,40%
Δείγμα 4	0,557	0,582	-0,025	4,50%
Δείγμα 5	0,859	0,739	0,12	-14%

α) Δείγμα 1

Παρακάτω παρουσιάζεται γραφικά η μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας του δείγματος 1 για τις τρεις διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης (σχήμα 4.109).



Σχήμα 4.109: Μεταβολή συντελεστή διαφάνειας τ για τις τρεις διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης φωτός στο ύφασμα μικρού πάχους

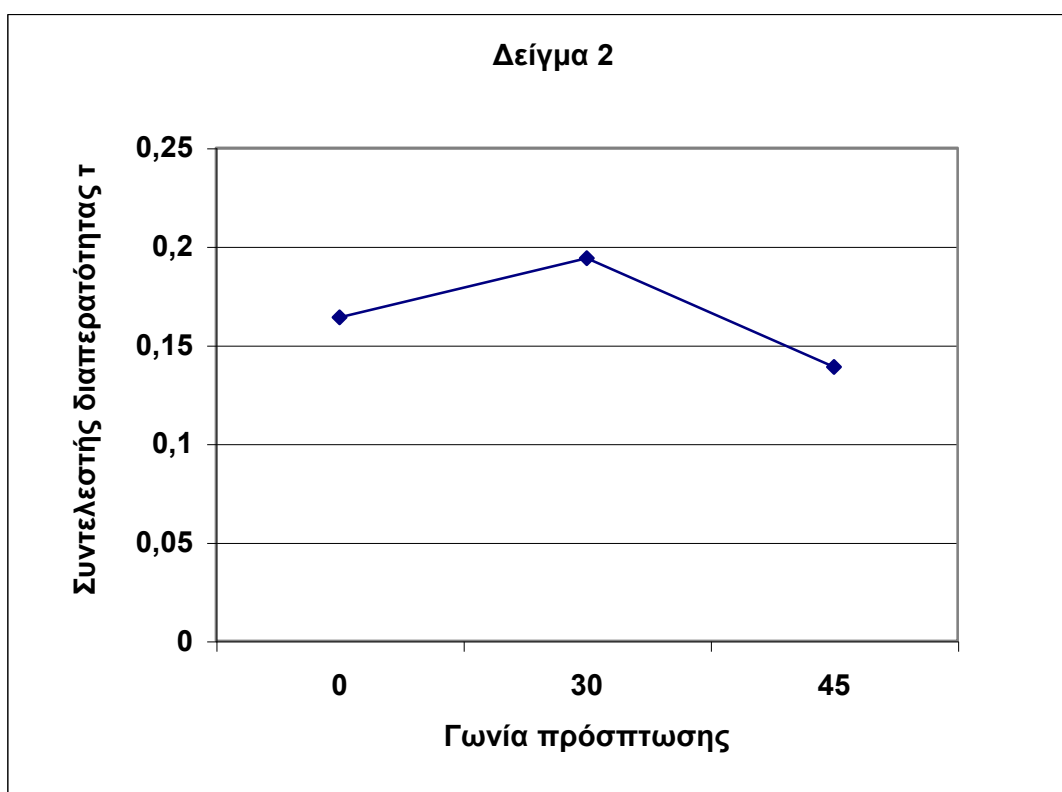
Από το γράφημα είναι εμφανές ότι υπάρχει σημαντική αύξηση του συντελεστή διαπερατότητας για γωνία πρόσπτωσης  $30^\circ$  σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή στις  $0^\circ$ . Συγκεκριμένα η τιμή του συντελεστή διαπερατότητας για γωνία πρόσπτωσης των  $0^\circ$  είναι  $\tau_{0^\circ} = 0,179$  ενώ η αντίστοιχη στις  $30^\circ$  είναι  $\tau_{30^\circ} = 0,211$ . Έχουμε δηλαδή μια αύξηση κατά **18%** σε σχέση με την περίπτωση της κάθετης πρόσπτωσης

Εξίσου σημαντική είναι η μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας από τις  $30^\circ$  στις  $45^\circ$ . Ειδικότερα είναι  $\tau_{45^\circ} = 0,151$ , υπάρχει δηλαδή μείωση κατά **28%** σε σχέση με την αντίστοιχη στις  $30^\circ$ .

Τέλος από τη σύγκριση των τιμών για τις γωνίες των  $0^\circ$  και  $45^\circ$  έχουμε μείωση κατά **15,6%** σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή στις  $0^\circ$ .

## β) Δείγμα 2

Παρακάτω παρουσιάζεται γραφικά η μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας του δείγματος 2 για τις τρεις διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης (σχήμα 4.110)



Σχήμα 4.110 Μεταβολή συντελεστή διαφάνειας τ για τις τρεις διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης φωτός στο ύφασμα μεσαίου πάχους.

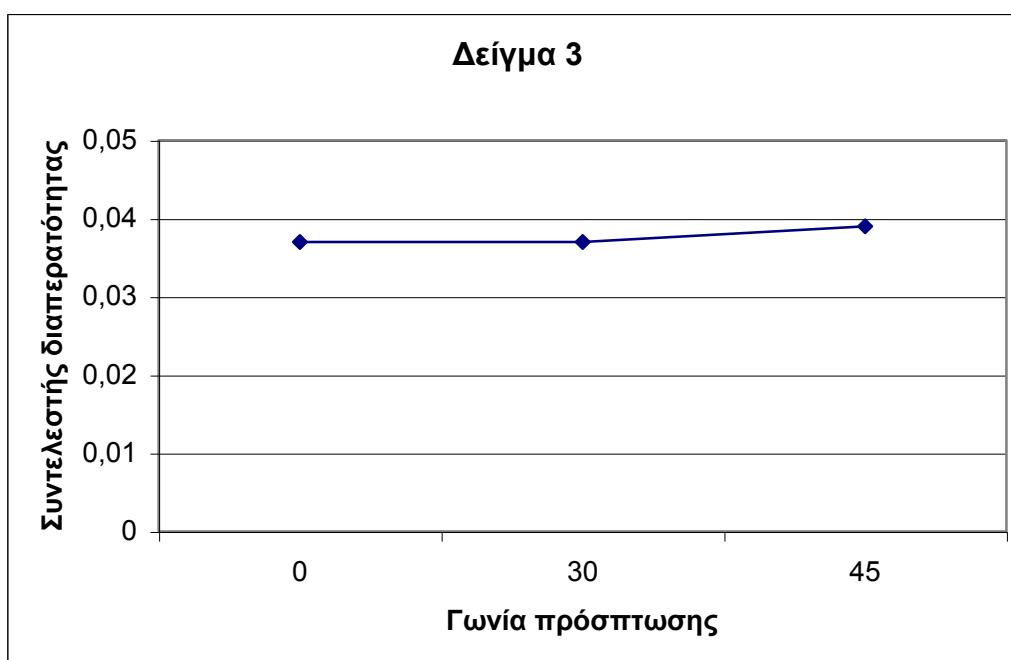
Όπως και στη περίπτωση του δείγματος 1 είναι προφανές ότι υπάρχει σημαντική διαφορά μεταξύ των τιμών του συντελεστή διαπερατότητας για τις διάφορες γωνίες πρόσπτωσης. Πράγματι υπάρχει εμφανής αύξηση του συντελεστή διαπερατότητας για γωνία πρόσπτωσης  $30^\circ$  σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή στις  $0^\circ$ . Συγκεκριμένα η τιμή του συντελεστή διαπερατότητας για γωνία πρόσπτωσης των  $0^\circ$  είναι  $\tau_{0^\circ} = 0,164$  ενώ η αντίστοιχη στις  $30^\circ$  είναι  $\tau_{30^\circ} = 0,194$ . Έχουμε δηλαδή μια αύξηση κατά **15,4%** σε σχέση με την περίπτωση της κάθετης πρόσπτωσης

Μεγαλύτερη είναι η μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας από τις  $30^\circ$  στις  $45^\circ$ . Ειδικότερα είναι  $\tau_{45^\circ} = 0,139$  και παρατηρείται μείωση κατά **28,3%** σε σχέση με την αντίστοιχη στις  $30^\circ$ .

Τέλος από τη σύγκριση των τιμών για τις γωνίες των  $0^\circ$  και  $45^\circ$  έχουμε δηλαδή μείωση κατά **15,2%** σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή στις  $0^\circ$ .

γ) Δείγμα 3

Εδώ παρουσιάζεται γραφικά η μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας του δείγματος 3 για τις τρεις διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης (σχήμα 4.111)



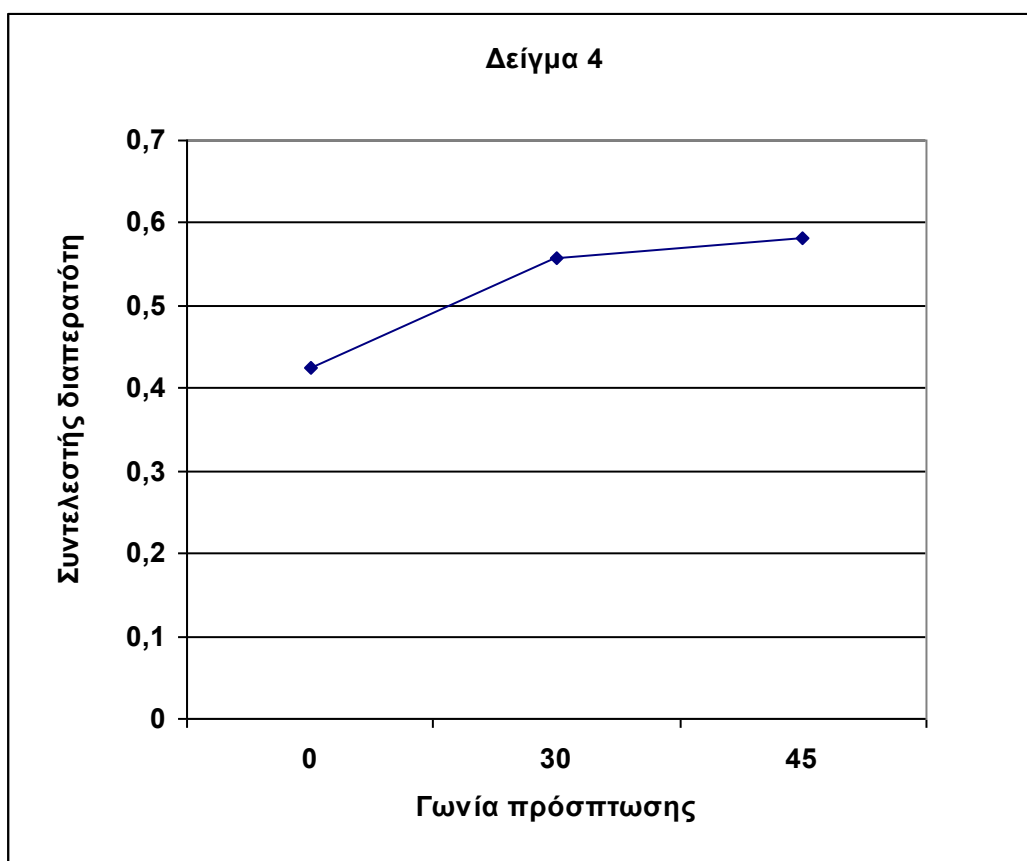
Σχήμα 4.111: Μεταβολή συντελεστή διαφάνειας  $\tau$  για τις τρεις διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης φωτός στο ύφασμα μεσαίου πάχους.

Σε αντίθεση με τα προηγούμενα, το δείγμα 3 δεν παρουσιάζει αξιοσημείωτη μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας για διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης. Συγκεκριμένα οι τιμές του συντελεστή για τις  $0^\circ$  και τις  $30^\circ$  είναι ίδιες,  $\tau_{0^\circ} = \tau_{30^\circ} = 0,037$ , ενώ όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι  $45^\circ$  έχουμε  $\tau_{45^\circ} = 0,039$ , δηλαδή αύξηση κατά **5,4%**.

Η διαφοροποίηση αυτή σε σχέση με τα προηγούμενα δείγματα μπορεί να αιτιολογηθεί εάν ληφθεί υπ' όψιν η γενική υφή των υφασμάτων δειγμάτων. Το δείγμα 3 είναι αρκετά πιο παχύ και διαθέτει πυκνότερη ύφανση τα δείγματα 1 και 2. Αυτό το γεγονός το καθιστά περισσότερο ανθεκτικό στις μεταβολές τις γωνίας πρόσπτωσης της φωτεινής ακτινοβολίας. Αντίθετα για τα δείγματα 1 και 2, παρόλο που διαφέρουν μεταξύ τους αρκετά, η ύφανση τους είναι πολύ πιο αραιή και είναι κατασκευασμένα από μικρότερο νήμα με συνέπεια να διαθέτουν "ελαφρύτερη" κατασκευή. Αυτό τα καθιστά περισσότερο ευαίσθητα στις μεταβολές της γωνίας πρόσπτωσης της εισερχόμενης φωτεινής ακτινοβολίας.

#### δ) Δείγμα 4

Εδώ παρουσιάζεται γραφικά η μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας του δείγματος 4 για τις τρεις διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης (Σχήμα 4.112)



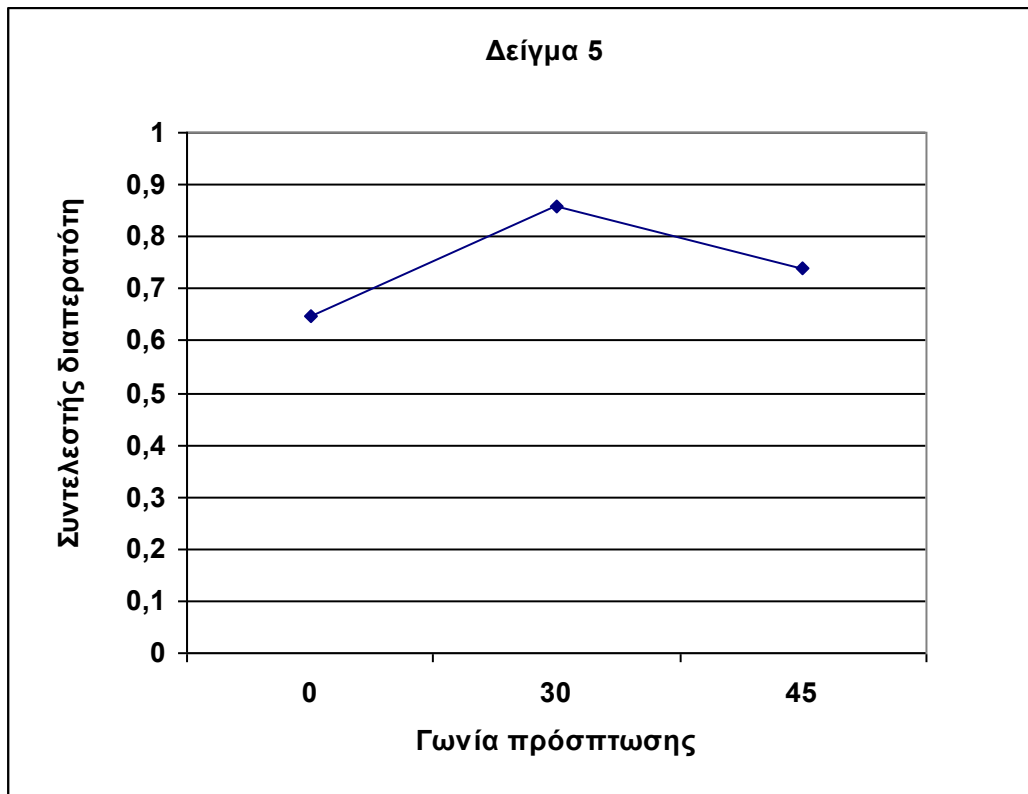
Σχήμα 4.112: Μεταβολή συντελεστή διαφάνειας  $\tau$  για τις τρεις διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης φωτός στο ύφασμα μεσαίου πάχους.

Η συμπεριφορά του συντελεστή διαπερατότητας στην περίπτωση του δείγματος 4 είναι παρόμοια με αυτή των δειγμάτων 1 και 2, παρόλο που τα δείγματα 1 και 2 είναι υφάσματα, ενώ το δείγμα 4 μεταλλικό πλέγμα. Υπάρχει σημαντική αύξηση του συντελεστή από την γωνία πρόσπτωσης των  $0^\circ$  σε αυτήν των  $30^\circ$ . Συγκεκριμένα η τιμή του συντελεστή διαπερατότητας για γωνία πρόσπτωσης των  $0^\circ$  είναι  $\tau_{0^\circ} = 0,426$ , ενώ η αντίστοιχη στις  $30^\circ$  είναι  $\tau_{30^\circ} = 0,557$ . Έχουμε δηλαδή μια σημαντική αύξηση κατά **30,7%** σε σχέση με την περίπτωση της κάθετης πρόσπτωσης.

Για πρόσπτωση στις  $45^\circ$  έχουμε  $\tau_{45^\circ} = 0,582$  και έχουμε αύξηση κατά **4%** σε σχέση με την αντίστοιχη στις  $30^\circ$ . Τέλος από τη σύγκριση των τιμών για τις γωνίες των  $0^\circ$  και  $45^\circ$  έχουμε αύξηση κατά **36,6%** σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή στις  $0^\circ$ .

δ) Δείγμα 5

Εδώ παρουσιάζεται γραφικά η μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας του δείγματος 5 για τις τρεις διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης (σχήμα 4.113)



Σχήμα 4.113: Μεταβολή συντελεστή διαφάνειας  $\tau$  για τις τρεις διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης φωτός στο ύφασμα μεσαίου πάχους.

Στο γράφημα αυτό είναι πάλι εμφανής η ομοιότητα με τα αντίστοιχα γραφήματα των δειγμάτων 1 και 2. Η τιμή του συντελεστή διαπερατότητας για γωνία πρόσπτωσης των  $0^\circ$  είναι  $\tau_{0^\circ} = 0,646$  ενώ η αντίστοιχη στις  $30^\circ$  είναι  $\tau_{30^\circ} = 0,859$ . Έχουμε δηλαδή μια σημαντική αύξηση κατά **33%** σε σχέση με την περίπτωση της κάθετης πρόσπτωσης.

Για πρόσπτωση στις  $45^\circ$  έχουμε συντελεστή διαπερατότητας  $\tau_{45^\circ} = 0,739$ , δηλαδή μείωση κατά **13,9%** σε σχέση με την αντίστοιχη στις  $30^\circ$

Τέλος από τη σύγκριση των τιμών για τις γωνίες των  $0^\circ$  και  $45^\circ$  παρατηρείται αύξηση κατά **14,3%** σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή στις  $0^\circ$ .

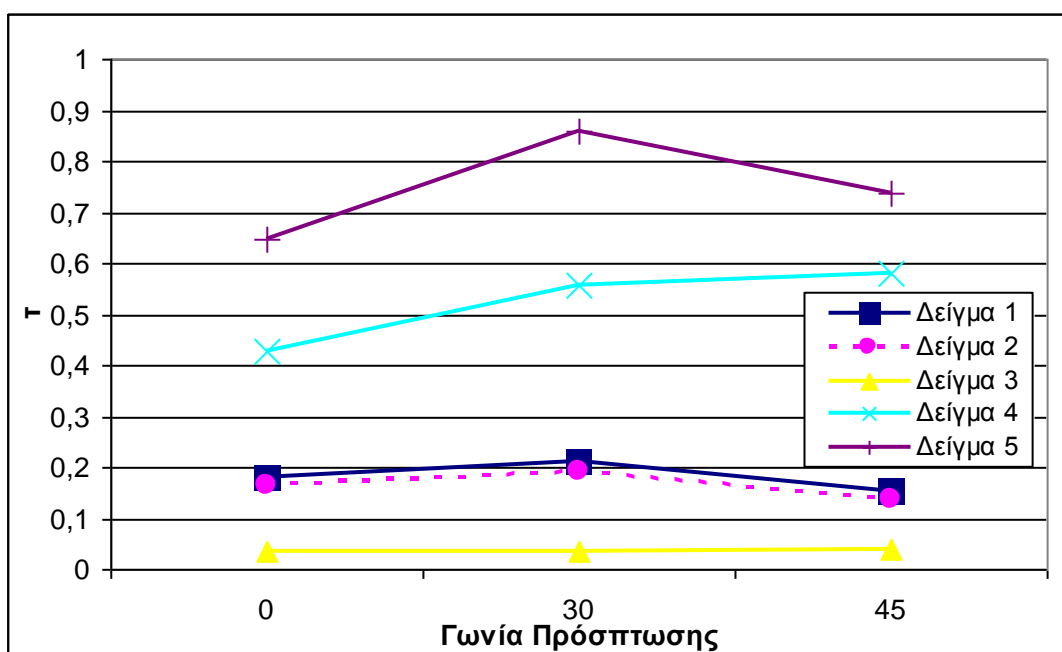


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

### 5.1 Συμπεράσματα

Όπως προκύπτει από την παραπάνω ανάλυση υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στις φωτομετρικές ιδιότητες των εξεταζόμενων υλικών σκίασης τόσο μεταξύ διαφορετικών δειγμάτων όσο και μεταξύ ίδιων δειγμάτων ανάλογα με την γωνία πρόσπτωσης του εισερχόμενου φωτισμού. Αυτές οι διαφοροποιήσεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις κύριους τομείς : Την σημαντική διαφοροποίηση που εμφανίζεται στην διαπερατότητα και στο μέγεθος του συντελεστή διαπερατότητας μεταξύ των υφασμάτινων δειγμάτων και των δειγμάτων μεταλλικών πλεγμάτων, την εξάρτηση του συντελεστού διαπερατότητας κάθε δείγματος από την γωνία πρόσπτωσης του εισερχόμενου φωτισμού και την εξάρτηση των διαγραμμάτων φωτεινής διαπερατότητας κάθε δείγματος από την ίδια γωνία.

Όπως αναλύθηκε στα προηγούμενα, υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των πολικών διαγραμμάτων φωτεινής διαπερατότητας των υφασμάτινων δειγμάτων και των δειγμάτων μεταλλικών πλεγμάτων. Τα υφασμάτινα δείγματα διαχέουν τον εισερχόμενο φωτισμό ενώ τα δείγματα μεταλλικών πλεγμάτων εμφανίζουν κανονική διαπερατότητα και δεν ανακατανέμουν τον εισερχόμενο φωτισμό. Παράλληλα, η ποσότητα φωτισμού που διαπερνά τα δείγματα βρέθηκε να είναι σημαντικά μειωμένη για τα υφασμάτινα δείγματα σε σχέση με αυτή των μεταλλικών πλεγμάτων. Το γεγονός αυτό γίνεται περισσότερο αντιληπτό από το σχήμα που ακολουθεί (σχήμα 4.114) όπου παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι μεταβολές του συντελεστή διαπερατότητας για όλα τα δείγματα του πειράματος.



Σχήμα 4.114 : Μεταβολή του συντελεστή διαπερατότητας  $\tau$  για όλα τα δείγματα του πειράματος.

Εξέταση του παραπάνω σχήματος δείχνει ότι ο συντελεστής διαπερατότητας για τα μεταλλικά πλέγματα κυμαίνεται συνεχώς πάνω από το 40% ενώ φθάνει έως

και το 86% για πρόσπτωση 30° στην περίπτωση του δείγματος 5. Αντίθετα, ο συντελεστής διαπερατότητας των υφασμάτων δειγμάτων σε κάθε περίπτωση δεν ξεπερνά το 21% ενώ λαμβάνει τιμές κάτω από το 5% για το δείγμα 3. Έτσι λοιπόν ενώ τα δύο είδη υλικών προορίζονται για παρόμοιες εφαρμογές σκίασης, το αποτέλεσμα της τοποθέτησης τους θα διαφέρει σημαντικά όσον αφορά το ποσοστό και την κατανομή του φωτισμού που τα διαπερνά.

Ο συντελεστής διαπερατότητας μεταξύ δειγμάτων ίδιας φύσεως διαφέρει επίσης σημαντικά για την ίδια γωνία πρόσπτωσης. Όπως προέκυψε από τα προηγούμενα ο συντελεστής διαπερατότητας για τα υφασμάτινα δείγματα 1 και 2 λαμβάνει τιμές μεταξύ 16% και 21% ενώ για το υφασμάτινο δείγμα 3 κυμαίνεται στο 3,7%. Αντίστοιχα, ο συντελεστής διαπερατότητας του δείγματος 4 μεταβάλλεται μεταξύ 43% και 52% ενώ για το δείγμα 5 οι τιμές του συντελεστή κυμαίνονται μεταξύ 65% και 86%. Τα διαφορετικά επίπεδα τιμών του συντελεστή διαπερατότητας μεταξύ δειγμάτων ίδιας φύσεως είναι ως ένα βαθμό αναμενόμενη καθώς είναι φυσικά δείγματα παχύτερα και με πυκνότερη ύφανση να αποκόπτουν περισσότερο φωτισμό. Όμως η συγκεκριμενοποίηση και ποσοτικοποίηση των ποσοστών φωτισμού που αποκόπονται κάνει την επιλογή τέτοιων υλικών σκίασης περισσότερο αξιόπιστη και ενδεχομένως πιο οικονομική. Αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ τα υφάσματα των δειγμάτων 1 και 2 διατίθενται στην αγορά σε διαφορετική τιμή, παρουσιάζουν σχεδόν ταυτόσημα οπτικά χαρακτηριστικά.

Από την εξάρτηση του συντελεστού διαπερατότητας από την γωνία πρόσπτωσης στα δοκίμια των πειραμάτων προκύπτει ότι το ποσοστό του φωτισμού που διαπερνά ένα σκίαστρο θα μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας με την σταδιακή αλλαγή της θέσης του ήλιου. Όπως αναλύθηκε στα προηγούμενα διακρίνεται μια αύξηση στη τιμή του συντελεστή για γωνία πρόσπτωσης 30° σε σχέση με τις άλλες γωνίες πρόσπτωσης για τα περισσότερα δείγματα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι ένα σκίαστρο σταθερά τοποθετημένο δεν θα αποκόπτει σταθερό ποσοστό της ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας, αλλά αυτό το ποσοστό θα εξαρτάται από την θέση του ήλιου στον ουράνιο θόλο. Μή επαρκή γνώση αυτού του παράγοντα μπορεί ενδεχομένως να οδηγήσει σε υποτίμηση ή υπερεκτίμηση των ποσοτήτων ηλιακής ακτινοβολίας που διαπερνούν τα συστήματα σκίασης και συνεπώς σε λανθασμένο υπολογισμό απαιτήσεων φωτισμού και αναπτυσσόμενων θερμικών φορτίων.

Τα πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας των δειγμάτων που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα δείχνουν ότι η μεταβολή θέσεως της φωτεινής πηγής προκαλεί παράλληλα και μεταβολή στη κατανομή του φωτισμού που τα διαπερνά. Κατ' επέκταση, κατά την τοποθέτηση ενός σκίαστρου για οποιαδήποτε εφαρμογή, η κατανομή του φωτισμού που το διαπερνά δεν θα είναι σταθερή αλλά θα μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο θα αλλάζει η θέση του ήλιου στον ουράνιο θόλο και συνεπώς θα μεταβάλλεται η γωνία πρόσπτωσης στο σκίαστρο. Λεπτομερής γνώση αυτής της ιδιότητας για περισσότερα υλικά μπορεί να αποτελέσει ένα επιπλέον εφόδιο στον σχεδιαστή συστημάτων σκίασης για την καλύτερη τοποθέτηση τους και αποδοτικότερη χρήση τους.

## 5.2 Προοπτικές

Τα τελευταία χρόνια διατίθεται πλειάδα υπολογιστικών εφαρμογών για την προσομοίωση εφαρμογής συστημάτων φυσικού φωτισμού σε κτίρια. Τα

συστήματα σκίασης αποτελούν σημαντικό τμήμα αυτών των συστημάτων και η χρήση τους σε κτίρια ολοένα και πιά διαδεδομένη. Εντούτοις , όπως έχει προαναφερθεί, τα διαθέσιμα στοιχεία για τα υλικά που χρησιμοποιούνται στα συστήματα σκίασης είναι ανεπαρκή. Στην παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε μία συγκεκριμένη μεθοδολογία καταγραφής των οπτικών ιδιοτήτων υλικών σκίασης. Η μεθοδολογία αυτή, επεκτεινόμενη σε περισσότερα υλικά και περισσότερες εξεταζόμενες γωνίες πρόσπτωσης, σε συνδυασμό με τυποποίηση των χρησιμοποιούμενων υλικών είναι δυνατό να συμπληρώσει τα κενά που υπάρχουν στις υπολογιστικές εφαρμογές. Συγκεκριμένα, κάθε ένα τυποποιημένο υλικό σκίασης θα μπορεί , συνοδευόμενο απο τα πολικά διαγράμματα φωτεινής διαπερατότητας και στοιχεία μεταβολής του συντελεστού διαπερατότητας, να εισάγεται σε τυποποιημένες βάσεις δεδομένων. Οι βάσεις αυτές θα μπορούν να είναι διαθέσιμες να ενσωματωθούν σε σύγχρονα υπολογιστικά πακέτα προσομοίωσης και να αποτελέσουν επιπλέον σημαντικό εφόδιο για οποιονδήποτε σχεδιαστή συστημάτων φυσικού φωτισμού.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Είδος Δείγματος : Δείγμα 1 Γωνία Πρόσπτωσης : 0°

$\gamma \backslash C$	0-180	10-190	20-200	30-210	40-220	50-230	60-240	70-250	80-260
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0,06	0,02	0,08	0,05	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07
80	0,17	0,17	0,18	0,19	0,19	0,14	0,2	0,16	0,18
75	0,31	0,28	0,33	0,31	0,33	0,32	0,32	0,32	0,31
70	0,46	0,46	0,47	0,48	0,48	0,45	0,48	0,45	0,46
65	0,62	0,61	0,64	0,64	0,64	0,65	0,64	0,58	0,62
60	0,78	1,31	0,82	0,78	0,83	0,8	0,82	0,79	0,78
55	0,97	0,96	1	1	1	1,01	1	0,94	0,97
50	1,14	1,16	1,18	1,14	1,19	1,16	1,18	1,15	1,14
45	1,33	1,32	1,35	1,35	1,36	1,36	1,35	1,3	1,33
40	1,49	1,51	1,52	1,49	1,54	1,51	1,52	1,5	1,5
35	1,66	1,66	1,69	1,68	1,69	1,7	1,69	1,64	1,68
30	1,81	1,83	1,84	1,81	1,86	1,84	1,85	1,83	1,82
25	1,96	1,96	1,99	1,99	1,99	2	1,99	1,94	1,98
20	2,09	2,11	2,12	2,09	2,13	2,11	2,13	2,11	2,1
15	2,24	2,23	2,26	2,26	2,27	2,27	2,27	2,22	2,25
10	2,62	2,7	2,71	2,66	2,69	2,7	2,76	2,73	2,73
5	2,86	2,83	2,87	2,85	2,89	2,92	2,94	2,91	2,97
0	3,07	3,06	3,07	3,07	3,07	3,03	3,07	3,05	3,06
-5	2,86	2,82	2,86	2,86	2,88	2,89	2,88	2,92	2,94
-10	2,65	2,64	2,64	2,64	2,57	2,52	2,56	2,58	2,59
-15	2,24	2,21	2,25	2,23	2,24	2,22	2,22	2,22	2,21
-20	2,1	2,1	2,1	2,11	2,1	2,05	2,08	2,05	2,06
-25	1,97	1,93	1,98	1,95	1,96	1,94	1,93	1,93	1,92
-30	1,82	1,81	1,82	1,82	1,81	1,76	1,79	1,76	1,76
-35	1,66	1,63	1,67	1,64	1,65	1,63	1,62	1,61	1,6
-40	1,49	1,49	1,49	1,49	1,48	1,42	1,46	1,42	1,43
-45	1,32	1,29	1,32	1,3	1,3	1,28	1,27	1,26	1,25
-50	1,13	1,13	1,14	1,14	1,13	1,07	1,1	1,06	1,07
-55	0,95	0,92	0,96	0,93	0,94	0,92	0,91	0,9	0,89
-60	0,77	0,76	0,77	0,77	0,76	0,7	0,74	0,7	0,71
-65	0,59	0,55	0,6	0,57	0,58	0,56	0,56	0,56	0,55
-70	0,43	0,41	0,43	0,41	0,41	0,41	0,41	0,36	0,4
-75	0,27	0,28	0,28	0,23	0,28	0,24	0,26	0,24	0,25
-80	0,15	0,12	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,09	0,14
-85	0,03	0,04	0,04	0	0,04	0,01	0,03	0,02	0,03
-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Είδος Δείγματος : Δείγμα 1 (συνέχεια) Γωνία Πρόσπτωσης : 0°

$\gamma \backslash C$	90-270	100-280	110-290	120-300	130-310	140-320	150-330	160-340	170-350
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0,03	0,07	0,04	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0
80	0,17	0,16	0,17	0,17	0,11	0,16	0,13	0,16	0,14
75	0,26	0,3	0,27	0,29	0,28	0,28	0,29	0,28	0,24
70	0,43	0,43	0,43	0,43	0,39	0,43	0,4	0,42	0,42
65	0,58	0,59	0,58	0,58	0,58	0,58	0,54	0,59	0,57
60	0,78	0,76	0,71	0,76	0,73	0,75	0,74	0,75	0,76
55	0,93	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93	0,89	0,94	0,92
50	1,14	1,13	1,08	1,12	1,09	1,11	1,11	1,12	1,13
45	1,3	1,31	1,29	1,29	1,3	1,3	1,26	1,31	1,29
40	1,49	1,48	1,43	1,48	1,45	1,47	1,47	1,47	1,49
35	1,64	1,65	1,64	1,64	1,64	1,64	1,61	1,65	1,64
30	1,82	1,81	1,76	1,8	1,78	1,8	1,8	1,8	1,82
25	1,94	1,95	1,94	1,94	1,94	1,94	1,91	1,95	1,94
20	2,1	2,09	2,04	2,08	2,06	2,08	2,08	2,08	2,1
15	2,21	2,22	2,21	2,21	2,21	2,21	2,18	2,23	2,22
10	2,71	2,67	2,61	2,66	2,64	2,67	2,66	2,64	2,65
5	2,96	2,99	3	3,04	3,05	3	2,92	2,91	2,83
0	3,05	3,06	3,06	3,06	3,02	3,07	3,06	3,07	3,06
-5	2,92	2,95	2,93	2,95	2,96	2,95	2,93	2,92	2,88
-10	2,57	2,59	2,64	2,66	2,62	2,65	2,59	2,59	2,58
-15	2,15	2,19	2,17	2,18	2,18	2,19	2,2	2,21	2,19
-20	2,04	2,04	2,05	2,04	2,01	2,06	2,04	2,07	2,07
-25	1,87	1,91	1,88	1,9	1,9	1,91	1,92	1,93	1,9
-30	1,74	1,75	1,75	1,75	1,72	1,77	1,75	1,79	1,79
-35	1,55	1,59	1,57	1,59	1,59	1,6	1,62	1,63	1,6
-40	1,41	1,41	1,42	1,42	1,38	1,44	1,43	1,46	1,47
-45	1,2	1,24	1,22	1,24	1,24	1,25	1,27	1,29	1,26
-50	1,05	1,05	1,06	1,06	1,03	1,09	1,07	1,11	1,12
-55	0,84	0,88	0,86	0,88	0,88	0,9	0,92	0,93	0,91
-60	0,69	0,7	0,71	0,71	0,67	0,73	0,72	0,76	0,76
-65	0,5	0,54	0,52	0,55	0,54	0,56	0,58	0,59	0,56
-70	0,37	0,39	0,38	0,39	0,4	0,41	0,38	0,44	0,42
-75	0,26	0,26	0,22	0,27	0,25	0,27	0,27	0,29	0,3
-80	0,11	0,13	0,13	0,13	0,15	0,15	0,11	0,17	0,15
-85	0,04	0,04	0	0,05	0,02	0,05	0,04	0,05	0,06
-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Είδος Δείγματος : Δείγμα 2 Γωνία Πρόσπτωσης : 0°

$\gamma$ \ C	0-180	10-190	20-200	30-210	40-220	50-230	60-240	70-250	80-260
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0,03	0,06	0,04	0,06	0,07	0,07	0	0,07	0,04
80	0,16	0,16	0,1	0,17	0,13	0,17	0,15	0,16	0,17
75	0,25	0,28	0,26	0,28	0,28	0,29	0,23	0,3	0,27
70	0,41	0,41	0,35	0,42	0,39	0,43	0,41	0,43	0,44
65	0,53	0,56	0,54	0,56	0,57	0,58	0,52	0,6	0,57
60	0,71	0,72	0,66	0,73	0,71	0,74	0,73	0,75	0,76
55	0,85	0,88	0,86	0,88	0,9	0,91	0,86	0,93	0,91
50	1,04	1,05	0,99	1,06	1,04	1,07	1,07	1,09	1,1
45	1,18	1,21	1,2	1,22	1,23	1,24	1,19	1,26	1,24
40	1,37	1,37	1,32	1,38	1,36	1,4	1,39	1,41	1,42
35	1,5	1,52	1,51	1,53	1,54	1,55	1,5	1,57	1,54
30	1,66	1,67	1,61	1,68	1,66	1,68	1,68	1,69	1,7
25	1,77	1,79	1,78	1,8	1,8	1,81	1,76	1,82	1,8
20	1,9	1,9	1,86	1,92	1,89	1,92	1,9	1,91	1,92
15	1,97	1,99	1,98	1,98	2	2	1,96	2,01	1,98
10	2,06	2,06	2,02	2,07	2,04	2,07	2,05	2,06	2,07
5	2,08	2,1	2,09	2,1	2,11	2,11	2,07	2,11	2,09
0	2,12	2,12	2,09	2,13	2,1	2,12	2,11	2,12	2,12
-5	2,05	2,11	2,09	2,11	2,09	2,1	2,1	2,11	2,07
-10	2,04	2,06	2,06	2,06	2,02	2,06	2,04	2,06	2,04
-15	1,93	2	1,97	1,99	1,97	1,98	1,99	1,99	1,95
-20	1,88	1,9	1,9	1,9	1,85	1,9	1,88	1,9	1,89
-25	1,71	1,79	1,76	1,78	1,77	1,78	1,79	1,79	1,74
-30	1,64	1,65	1,66	1,66	1,6	1,66	1,64	1,66	1,65
-35	1,43	1,52	1,49	1,51	1,49	1,51	1,52	1,52	1,47
-40	1,34	1,35	1,35	1,35	1,3	1,36	1,34	1,37	1,36
-45	1,11	1,2	1,16	1,19	1,18	1,19	1,2	1,21	1,16
-50	1,01	1,02	1,02	1,02	0,97	1,03	1,01	1,04	1,03
-55	0,77	0,86	0,83	0,85	0,84	0,85	0,87	0,88	0,82
-60	0,67	0,68	0,69	0,69	0,63	0,7	0,67	0,71	0,7
-65	0,44	0,54	0,5	0,52	0,51	0,52	0,54	0,54	0,48
-70	0,36	0,38	0,38	0,38	0,32	0,39	0,36	0,39	0,38
-75	0,16	0,26	0,22	0,24	0,22	0,24	0,25	0,25	0,19
-80	0,11	0,13	0,13	0,13	0,07	0,13	0,1	0,13	0,12
-85	0	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,03	0,03	0
-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Είδος Δείγματος : Δείγμα 2 (συνέχεια) Γωνία Πρόσπτωσης : 0°

$\gamma \backslash C$	90-270	100-280	110-290	120-300	130-310	140-320	150-330	160-340	170-350
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0	0,05	0,01	0,04
80	0,17	0,1	0,17	0,13	0,16	0,13	0,14	0,14	0,14
75	0,3	0,28	0,29	0,29	0,28	0,21	0,28	0,24	0,26
70	0,45	0,38	0,44	0,4	0,42	0,4	0,4	0,4	0,4
65	0,6	0,58	0,59	0,59	0,58	0,5	0,57	0,52	0,54
60	0,77	0,7	0,77	0,72	0,74	0,71	0,72	0,71	0,7
55	0,93	0,92	0,92	0,92	0,91	0,84	0,9	0,85	0,87
50	1,1	1,04	1,1	1,06	1,08	1,05	1,05	1,05	1,04
45	1,27	1,25	1,26	1,26	1,25	1,17	1,23	1,19	1,21
40	1,42	1,36	1,42	1,38	1,4	1,38	1,38	1,38	1,37
35	1,57	1,55	1,56	1,56	1,55	1,49	1,54	1,5	1,52
30	1,7	1,65	1,71	1,67	1,69	1,67	1,67	1,67	1,67
25	1,82	1,81	1,82	1,82	1,81	1,75	1,81	1,78	1,79
20	1,93	1,88	1,93	1,9	1,92	1,89	1,9	1,91	1,9
15	2,01	1,99	2	2,01	2	1,95	2	1,97	1,99
10	2,07	2,02	2,07	2,05	2,06	2,05	2,05	2,06	2,06
5	2,11	2,09	2,1	2,11	2,1	2,07	2,11	2,08	2,11
0	2,12	2,08	2,13	2,1	2,11	2,11	2,11	2,12	2,13
-5	2,11	2,09	2,11	2,09	2,1	2,11	2,1	2,07	2,1
-10	2,06	2,06	2,06	2,02	2,07	2,04	2,06	2,04	2,05
-15	2	1,97	1,99	1,98	1,99	1,99	1,99	1,94	1,99
-20	1,9	1,9	1,91	1,86	1,91	1,88	1,9	1,88	1,89
-25	1,8	1,77	1,8	1,78	1,79	1,79	1,79	1,73	1,79
-30	1,67	1,67	1,68	1,62	1,68	1,64	1,67	1,64	1,66
-35	1,54	1,51	1,53	1,52	1,52	1,53	1,53	1,46	1,52
-40	1,38	1,38	1,38	1,32	1,39	1,35	1,37	1,35	1,36
-45	1,23	1,2	1,23	1,21	1,22	1,22	1,22	1,15	1,21
-50	1,05	1,06	1,06	1	1,06	1,03	1,05	1,03	1,04
-55	0,89	0,87	0,89	0,87	0,88	0,89	0,88	0,82	0,88
-60	0,71	0,72	0,72	0,66	0,73	0,69	0,72	0,7	0,71
-65	0,56	0,53	0,56	0,54	0,55	0,56	0,56	0,49	0,56
-70	0,4	0,41	0,41	0,35	0,41	0,38	0,41	0,39	0,4
-75	0,27	0,24	0,27	0,25	0,26	0,27	0,27	0,21	0,28
-80	0,13	0,14	0,14	0,08	0,15	0,12	0,15	0,13	0,15
-85	0,04	0,01	0,04	0,02	0,04	0,05	0,05	0	0,06
-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Είδος Δείγματος : Δείγμα 3 Γωνία Πρόσπτωσης : 0°

$\gamma \backslash C$	0-180	10-190	20-200	30-210	40-220	50-230	60-240	70-250	80-260
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0,01	0	0	0	0	0
80	0	0,04	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03	0,03	0
75	0,05	0,06	0,06	0,06	0,02	0,06	0,04	0,05	0,04
70	0,06	0,1	0,08	0,1	0,08	0,09	0,09	0,09	0,04
65	0,12	0,13	0,13	0,13	0,09	0,13	0,11	0,12	0,11
60	0,13	0,18	0,16	0,17	0,16	0,17	0,16	0,18	0,12
55	0,2	0,21	0,21	0,21	0,17	0,21	0,19	0,2	0,19
50	0,21	0,26	0,24	0,25	0,24	0,25	0,25	0,25	0,2
45	0,28	0,29	0,29	0,29	0,25	0,3	0,27	0,29	0,27
40	0,29	0,34	0,32	0,33	0,32	0,33	0,33	0,33	0,28
35	0,36	0,37	0,37	0,37	0,33	0,37	0,35	0,36	0,35
30	0,36	0,41	0,39	0,4	0,39	0,4	0,4	0,4	0,36
25	0,42	0,43	0,43	0,43	0,39	0,43	0,41	0,42	0,41
20	0,42	0,46	0,44	0,45	0,44	0,45	0,45	0,45	0,41
15	0,46	0,47	0,48	0,48	0,43	0,48	0,46	0,47	0,46
10	0,45	0,49	0,47	0,49	0,48	0,48	0,49	0,49	0,44
5	0,49	0,49	0,5	0,5	0,46	0,5	0,48	0,5	0,48
0	0,46	0,5	0,49	0,5	0,49	0,5	0,5	0,5	0,46
-5	0,48	0,49	0,48	0,49	0,49	0,5	0,46	0,5	0,48
-10	0,48	0,48	0,45	0,49	0,47	0,48	0,48	0,48	0,49
-15	0,44	0,46	0,45	0,46	0,47	0,47	0,43	0,48	0,46
-20	0,44	0,44	0,41	0,45	0,43	0,45	0,44	0,45	0,45
-25	0,39	0,41	0,4	0,42	0,42	0,42	0,39	0,43	0,42
-30	0,38	0,38	0,35	0,39	0,38	0,39	0,38	0,4	0,4
-35	0,33	0,35	0,34	0,35	0,36	0,36	0,32	0,37	0,36
-40	0,31	0,31	0,27	0,32	0,3	0,32	0,32	0,33	0,33
-45	0,25	0,27	0,26	0,28	0,28	0,29	0,25	0,3	0,28
-50	0,23	0,23	0,2	0,24	0,23	0,25	0,24	0,25	0,26
-55	0,17	0,19	0,18	0,2	0,2	0,21	0,17	0,21	0,2
-60	0,15	0,15	0,12	0,16	0,15	0,17	0,15	0,17	0,17
-65	0,09	0,12	0,11	0,12	0,12	0,13	0,09	0,13	0,12
-70	0,08	0,08	0,04	0,09	0,07	0,09	0,08	0,09	0,1
-75	0,02	0,05	0,04	0,05	0,06	0,06	0,02	0,06	0,04
-80	0,02	0,02	0	0,02	0,01	0,03	0,02	0,09	0,03
-85	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Είδος Δείγματος : Δείγμα 3 (συνέχεια) Γωνία Πρόσπτωσης : 0°

$\gamma \backslash C$	90-270	100-280	110-290	120-300	130-310	140-320	150-330	160-340	170-350
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0	0,01
75	0,05	0,05	0,05	0,01	0,05	0,03	0,05	0,03	0,04
70	0,09	0,06	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,03	0,08
65	0,12	0,12	0,12	0,07	0,12	0,1	0,11	0,1	0,11
60	0,16	0,14	0,15	0,14	0,15	0,15	0,15	0,11	0,15
55	0,2	0,2	0,19	0,15	0,19	0,18	0,19	0,17	0,19
50	0,24	0,22	0,24	0,22	0,23	0,23	0,23	0,18	0,23
45	0,28	0,28	0,28	0,23	0,28	0,25	0,27	0,26	0,26
40	0,32	0,3	0,32	0,3	0,31	0,31	0,31	0,26	0,31
35	0,35	0,36	0,35	0,31	0,35	0,33	0,34	0,33	0,34
30	0,39	0,38	0,39	0,37	0,38	0,38	0,38	0,34	0,38
25	0,42	0,42	0,42	0,38	0,42	0,4	0,41	0,4	0,41
20	0,45	0,43	0,44	0,43	0,44	0,44	0,44	0,4	0,44
15	0,46	0,47	0,47	0,43	0,47	0,45	0,46	0,45	0,46
10	0,49	0,47	0,48	0,47	0,48	0,48	0,48	0,44	0,48
5	0,49	0,49	0,49	0,45	0,5	0,48	0,49	0,48	0,49
0	0,5	0,49	0,5	0,49	0,5	0,5	0,5	0,46	0,5
-5	0,5	0,48	0,49	0,5	0,5	0,46	0,5	0,48	0,5
-10	0,49	0,45	0,49	0,47	0,49	0,48	0,49	0,49	0,49
-15	0,47	0,46	0,47	0,48	0,48	0,44	0,48	0,46	0,48
-20	0,46	0,42	0,46	0,44	0,46	0,45	0,46	0,46	0,46
-25	0,43	0,42	0,43	0,44	0,44	0,4	0,44	0,42	0,43
-30	0,4	0,37	0,41	0,39	0,41	0,4	0,4	0,4	0,41
-35	0,37	0,36	0,37	0,37	0,38	0,33	0,38	0,36	0,37
-40	0,34	0,3	0,34	0,32	0,34	0,32	0,34	0,34	0,34
-45	0,3	0,29	0,3	0,3	0,3	0,26	0,3	0,28	0,3
-50	0,26	0,22	0,26	0,24	0,26	0,25	0,26	0,26	0,26
-55	0,22	0,2	0,22	0,22	0,22	0,18	0,22	0,2	0,22
-60	0,18	0,13	0,18	0,16	0,18	0,17	0,18	0,18	0,18
-65	0,13	0,12	0,13	0,14	0,14	0,1	0,14	0,12	0,14
-70	0,1	0,06	0,1	0,08	0,1	0,09	0,1	0,1	0,1
-75	0,06	0,05	0,06	0,07	0,07	0,02	0,07	0,05	0,06
-80	0,03	0	0,04	0,02	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04
-85	0	0	0	0	0,01	0	0	0	0
-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Είδος Δείγματος : Δείγμα 4 Γωνία Πρόσπτωσης : 0°

$\gamma \backslash C$	0-180	10-190	20-200	30-210	40-220	50-230	60-240	70-250	80-260
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0,32	0,1	0,04	0,01	0	0	0,04	0,04	0,07
70	0,94	0,43	0,16	0,11	0,07	0,08	0,15	0,21	0,13
65	1,59	0,74	0,39	0,2	0,13	0,2	0,33	0,63	0,22
60	1,64	0,97	0,49	0,26	0,17	0,28	0,71	0,81	0,39
55	1,55	1,05	0,48	0,25	0,22	0,36	0,69	0,91	0,6
50	1,45	1,08	0,44	0,26	0,22	0,3	0,62	0,91	0,78
45	1,31	1,1	0,45	0,26	0,24	0,28	0,52	0,88	0,84
40	1,17	1,1	0,48	0,3	0,28	0,3	0,51	0,83	0,87
35	1,07	1,07	0,63	0,37	0,37	0,38	0,54	0,84	0,93
30	1,09	1,08	0,84	0,52	0,49	0,5	0,67	0,9	1,1
25	1,27	1,23	1,1	0,76	0,68	0,69	0,85	1,08	1,28
20	1,58	1,51	1,39	1,18	0,95	0,97	1,17	1,36	1,5
15	1,91	1,84	1,75	1,61	1,53	1,54	1,59	1,72	1,78
10	61,6	61	60,3	60,1	59,4	59,5	60,3	61,3	61,6
5	85,7	86,2	87,1	87,5	87,7	88,3	88,4	88	87,7
0	91,1	91,1	91,1	91,1	91,1	91	90,9	90,7	90,7
-5	80,7	80,4	80,2	80,7	81,7	83,3	85,3	86	87
-10	53	52,3	51,8	51,7	52,5	53,1	53,8	55,1	56,4
-15	1,85	1,89	1,86	1,8	1,8	1,81	1,89	2,01	2,11
-20	1,55	1,54	1,46	1,29	1,12	1,13	1,3	1,5	1,66
-25	1,34	1,33	1,13	0,9	0,77	0,76	0,92	1,12	1,3
-30	1,26	1,17	0,91	0,65	0,54	0,54	0,66	0,88	1,06
-35	1,22	1,08	0,8	0,46	0,41	0,38	0,5	0,8	0,9
-40	1,23	0,97	0,77	0,35	0,29	0,29	0,42	0,77	0,87
-45	1,17	0,9	0,75	0,27	0,24	0,22	0,4	0,82	0,84
-50	1,1	0,88	0,77	0,24	0,18	0,2	0,44	0,88	0,82
-55	0,91	0,93	0,8	0,2	0,17	0,18	0,53	0,92	0,64
-60	0,53	0,81	0,67	0,18	0,12	0,14	0,57	0,89	0,44
-65	0,22	0,56	0,44	0,13	0,1	0,07	0,2	0,64	0,24
-70	0,13	0,26	0,14	0,06	0,01	0,01	0,03	0,15	0,13
-75	0,04	0,07	0,02	0	0	0	0	0,02	0,03
-80	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
-85	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Είδος Δείγματος : Δείγμα 4 (συνέχεια) Γωνία Πρόσπτωσης : 0°

$\gamma \backslash C$	90-270	100-280	110-290	120-300	130-310	140-320	150-330	160-340	170-350
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0,01	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0,08	0,07	0,05	0	0	0	0	0,02	0,05
70	0,08	0,13	0,29	0,08	0,03	0,04	0,07	0,13	0,28
65	0,1	0,25	0,78	0,44	0,12	0,11	0,15	0,31	0,58
60	0,17	0,41	0,96	0,71	0,2	0,16	0,17	0,45	0,88
55	0,28	0,66	0,97	0,6	0,22	0,18	0,21	0,55	0,96
50	0,49	0,83	0,93	0,49	0,21	0,21	0,22	0,56	0,91
45	0,68	0,89	0,85	0,44	0,24	0,23	0,27	0,58	0,87
40	0,9	0,9	0,81	0,44	0,29	0,31	0,32	0,63	0,91
35	1,07	0,98	0,81	0,52	0,39	0,39	0,42	0,71	1
30	1,21	1,11	0,9	0,66	0,52	0,52	0,54	0,82	1,11
25	1,34	1,29	1,07	0,86	0,7	0,67	0,79	1,03	1,26
20	1,54	1,48	1,36	1,15	0,96	0,94	1,11	1,34	1,49
15	1,81	1,77	1,67	1,57	1,49	1,5	1,59	1,73	1,81
10	61,2	59,9	58,3	57,2	56,6	56	55,3	54,3	53,6
5	87,4	86,7	85,8	85,3	84,3	83	82,3	81,5	80,9
0	90,8	90,8	90,7	90,6	90,8	90,7	90,9	91	91
-5	88,1	88,3	88,4	88	87,1	85,9	85,1	84,8	85,2
-10	57,9	59,2	60,4	61,7	62,5	62,9	62,5	62,5	62,1
-15	2,17	2,15	2,08	1,99	1,91	1,88	1,92	1,97	1,98
-20	1,72	1,71	1,61	1,4	1,25	1,23	1,39	1,57	1,62
-25	1,41	1,37	1,18	1	0,83	0,84	0,91	1,13	1,3
-30	1,17	1,11	0,92	0,71	0,56	0,55	0,58	0,81	1,09
-35	1,02	0,92	0,83	0,59	0,4	0,4	0,43	0,57	1,06
-40	0,82	0,83	0,84	0,54	0,34	0,31	0,34	0,44	1,03
-45	0,63	0,77	0,87	0,6	0,31	0,27	0,3	0,37	1,02
-50	0,41	0,67	0,89	0,66	0,36	0,25	0,28	0,38	1
-55	0,24	0,46	0,82	0,76	0,39	0,23	0,27	0,37	1,03
-60	0,14	0,26	0,7	0,66	0,28	0,19	0,26	0,38	1
-65	0,1	0,14	0,47	0,28	0,18	0,12	0,24	0,27	0,83
-70	0,07	0,1	0,14	0,09	0,08	0,05	0,09	0,12	0,43
-75	0,08	0,06	0,02	0,04	0	0	0,01	0	0,11
-80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-85	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Είδος Δείγματος : Δείγμα 5 Γωνία Πρόσπτωσης : 0°

$\gamma \backslash C$	0-180	10-190	20-200	30-210	40-220	50-230	60-240	70-250	80-260
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0,06	0,07	0,05	0	0	0	0	0	0,02
80	0,18	0,3	0,24	0,1	0,04	0,03	0,05	0,05	0,15
75	0,2	0,33	0,34	0,17	0,12	0,1	0,09	0,14	0,3
70	0,25	0,37	0,34	0,21	0,15	0,13	0,14	0,16	0,37
65	0,32	0,41	0,35	0,19	0,15	0,14	0,13	0,18	0,38
60	0,41	0,46	0,31	0,2	0,15	0,14	0,15	0,17	0,38
55	0,46	0,48	0,31	0,19	0,17	0,16	0,15	0,2	0,39
50	0,52	0,52	0,3	0,22	0,19	0,18	0,2	0,22	0,42
45	0,57	0,54	0,35	0,26	0,25	0,24	0,24	0,29	0,47
40	0,65	0,62	0,42	0,36	0,33	0,33	0,35	0,37	0,57
35	0,79	0,76	0,59	0,5	0,5	0,5	0,5	0,56	0,73
30	1,02	0,98	0,82	0,75	0,72	0,72	0,74	0,8	0,93
25	1,35	1,27	1,16	1,05	1,03	1,02	1,02	1,14	1,19
20	1,77	1,69	1,57	1,49	1,42	1,41	1,47	1,53	1,55
15	2,2	2,15	2,06	1,98	1,93	1,92	1,94	1,96	1,95
10	104,2	103,6	104	104,6	105	104,8	103	99,7	96,1
5	144,3	146	145,4	144,6	144,8	143,2	143,9	141,8	141
0	152,4	152,3	151,7	151,4	151,3	152,3	151,8	151,1	151,3
-5	135,7	138,2	139,9	143,5	144,4	145,6	148,2	148,5	148,2
-10	81,3	83,1	84,5	85,9	88,9	93	95,1	99,2	101,5
-15	2,13	2,14	2,14	2,14	2,14	2,15	2,17	2,21	2,26
-20	1,66	1,64	1,65	1,6	1,52	1,54	1,63	1,7	1,77
-25	1,22	1,22	1,19	1,08	1,03	1,03	1,1	1,19	1,24
-30	0,93	0,9	0,85	0,72	0,66	0,68	0,69	0,79	0,85
-35	0,73	0,74	0,64	0,5	0,48	0,46	0,48	0,57	0,62
-40	0,62	0,58	0,51	0,37	0,33	0,34	0,34	0,41	0,5
-45	0,52	0,5	0,43	0,28	0,26	0,24	0,25	0,32	0,4
-50	0,51	0,45	0,39	0,24	0,19	0,2	0,19	0,26	0,38
-55	0,49	0,45	0,36	0,21	0,18	0,15	0,17	0,24	0,35
-60	0,48	0,42	0,36	0,23	0,15	0,15	0,15	0,22	0,36
-65	0,38	0,37	0,34	0,24	0,17	0,14	0,15	0,23	0,34
-70	0,32	0,29	0,31	0,26	0,15	0,14	0,13	0,19	0,34
-75	0,25	0,26	0,27	0,22	0,11	0,07	0,09	0,15	0,26
-80	0,2	0,17	0,16	0,08	0,02	0,03	0,03	0,06	0,14
-85	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Είδος Δείγματος : Δείγμα 5 (συνέχεια) Γωνία Πρόσπτωσης : 0°

$\gamma \backslash C$	90-270	100-280	110-290	120-300	130-310	140-320	150-330	160-340	170-350
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0,06	0,03	0	0	0	0	0	0	0
80	0,28	0,15	0,06	0,03	0,02	0,03	0,04	0,13	0,15
75	0,48	0,34	0,12	0,09	0,08	0,08	0,17	0,28	0,25
70	0,57	0,41	0,19	0,13	0,12	0,15	0,21	0,33	0,27
65	0,57	0,45	0,18	0,15	0,15	0,15	0,22	0,35	0,3
60	0,57	0,42	0,2	0,15	0,14	0,17	0,2	0,35	0,37
55	0,55	0,44	0,2	0,17	0,17	0,16	0,22	0,34	0,39
50	0,55	0,45	0,24	0,2	0,19	0,21	0,24	0,36	0,43
45	0,55	0,52	0,29	0,26	0,26	0,25	0,3	0,4	0,48
40	0,62	0,59	0,4	0,36	0,35	0,37	0,38	0,49	0,59
35	0,73	0,75	0,55	0,52	0,51	0,5	0,55	0,62	0,73
30	0,92	0,94	0,79	0,72	0,71	0,72	0,74	0,83	0,92
25	1,17	1,23	1,08	1,01	1,01	1	1,07	1,16	1,23
20	1,53	1,57	1,5	1,43	1,4	1,44	1,52	1,6	1,66
15	1,94	1,98	1,94	1,91	1,92	1,95	2,02	2,07	2,11
10	93,9	92,8	89,3	85,8	85	82,9	82,1	81,5	81,6
5	140,6	138,3	136,6	136,2	136	135,1	134,2	134,4	134,8
0	151,8	151,3	151	151,1	151,3	151,7	151,6	151,3	151,6
-5	145,8	144,7	142,7	142	142	143	143,6	145,7	145,9
-10	104,2	106,9	107,4	108,3	109,3	109,2	107,4	106,9	104,9
-15	2,38	2,45	2,48	2,5	2,45	2,41	2,33	2,26	2,22
-20	1,87	1,95	1,97	1,96	1,92	1,83	1,81	1,81	1,76
-25	1,36	1,39	1,37	1,35	1,28	1,27	1,25	1,29	1,33
-30	0,93	0,96	0,89	0,81	0,8	0,79	0,78	0,86	0,96
-35	0,73	0,72	0,61	0,54	0,51	0,52	0,52	0,59	0,74
-40	0,59	0,57	0,44	0,34	0,34	0,34	0,35	0,44	0,57
-45	0,54	0,49	0,32	0,26	0,23	0,24	0,26	0,34	0,52
-50	0,5	0,45	0,27	0,18	0,19	0,19	0,21	0,32	0,49
-55	0,51	0,42	0,23	0,17	0,15	0,17	0,19	0,3	0,5
-60	0,5	0,43	0,22	0,14	0,15	0,15	0,18	0,33	0,47
-65	0,52	0,43	0,2	0,15	0,13	0,15	0,19	0,34	0,45
-70	0,5	0,42	0,2	0,13	0,14	0,15	0,19	0,38	0,37
-75	0,44	0,34	0,14	0,11	0,09	0,12	0,17	0,35	0,32
-80	0,24	0,19	0,08	0,04	0,05	0,05	0,08	0,26	0,25
-85	0,07	0,03	0	0	0	0	0	0,04	0,1
-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Είδος Δείγματος : Δείγμα 4 Γωνία Πρόσπτωσης : 30°

$\gamma$ \ C	0-180	10-190	20-200	30-210	40-220	50-230	60-240	70-250	80-260
90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
85	0,11	0,18	0,18	0,11	0,18	0,18	0,18	0,11	0,18
80	0,18	0,18	0,11	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,11
75	0,19	0,19	0,11	0,18	0,11	0,19	0,12	0,19	0,20
70	0,41	0,21	0,12	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,38
65	0,50	0,45	0,21	0,20	0,21	0,40	0,20	0,20	0,22
60	0,59	0,52	0,45	0,44	0,49	0,50	0,22	0,22	0,46
55	0,64	0,58	0,53	0,60	0,64	0,55	0,47	0,46	0,47
50	1,11	1,01	0,62	1,07	0,69	0,59	0,50	0,48	0,24
45	1,32	1,33	1,25	1,27	1,16	0,64	0,52	0,49	0,45
40	3,96	1,95	2,34	1,63	1,37	1,06	0,56	0,50	0,44
35	51,77	44,59	6,27	2,86	1,65	1,23	0,63	0,52	0,46
30	55,89	55,56	38,08	3,76	1,93	1,43	0,71	0,58	0,51
25	54,34	55,68	43,35	8,65	2,89	1,61	1,26	0,68	0,59
20	47,46	45,23	30,66	7,84	2,92	2,16	1,44	1,21	0,68
15	11,62	6,88	10,93	3,75	3,06	2,43	1,62	1,39	1,21
10	3,80	3,78	3,62	3,39	3,02	1,98	1,80	1,62	1,46
5	2,80	2,84	2,78	2,73	2,59	1,90	2,34	1,77	2,07
0	1,67	1,68	1,68	1,68	1,69	1,69	2,10	1,72	2,14
-5	1,41	1,41	1,41	1,43	1,43	1,43	1,47	1,51	1,56
-10	1,28	1,27	1,24	1,22	1,20	1,17	1,21	0,79	1,31
-15	1,22	0,76	1,12	1,03	0,65	0,63	0,63	0,97	1,04
-20	0,78	1,16	0,67	0,60	0,56	0,53	0,52	0,56	0,59
-25	0,78	1,14	0,63	0,53	0,48	0,24	0,48	0,50	0,52
-30	1,29	1,15	0,60	0,49	0,45	0,45	0,23	0,45	0,46
-35	1,31	1,15	0,56	0,46	0,44	0,43	0,42	0,22	0,43
-40	1,35	0,75	0,52	0,45	0,23	0,42	0,41	0,40	0,21
-45	1,39	1,18	0,50	0,45	0,23	0,41	0,41	0,21	0,21
-50	1,43	1,15	0,50	0,44	0,22	0,21	0,22	0,40	0,22
-55	1,46	0,71	0,50	0,23	0,22	0,21	0,21	0,22	0,22
-60	1,48	0,69	0,52	0,44	0,21	0,38	0,21	0,40	0,23
-65	1,48	0,61	0,51	0,22	0,20	0,36	0,20	0,21	0,23
-70	1,33	0,50	0,45	0,21	0,20	0,19	0,19	0,38	0,24
-75	0,63	0,40	0,20	0,11	0,19	0,19	0,19	0,19	0,23
-80	0,42	0,19	0,19	0,19	0,18	0,19	0,19	0,19	0,20
-85	0,18	0,19	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
-90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Είδος Δείγματος : Δείγμα 4 (συνέχεια) Γωνία Πρόσπτωσης : 30°

$\gamma \backslash C$	90-270	100-280	110-290	120-300	130-310	140-320	150-330	160-340	170-350
90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
85	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,19	0,19	0,19
80	0,19	0,19	0,20	0,19	0,12	0,19	0,19	0,19	0,19
75	0,21	0,21	0,20	0,34	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20
70	0,23	0,21	0,21	0,21	0,20	0,35	0,19	0,21	0,42
65	0,46	0,44	0,39	0,42	0,46	0,41	0,21	0,23	0,49
60	0,45	0,47	0,44	0,46	0,55	0,55	0,48	0,24	0,56
55	0,43	0,48	0,25	0,51	0,60	0,68	0,61	0,53	0,61
50	0,21	0,48	0,51	0,54	0,94	0,73	0,69	0,62	1,08
45	0,21	0,46	0,52	0,58	1,10	1,31	1,35	1,27	1,34
40	0,21	0,47	0,55	0,93	0,81	1,99	2,29	2,44	13,78
35	0,42	0,50	0,59	1,11	1,54	2,94	3,81	12,11	35,67
30	0,24	0,55	0,64	1,25	2,18	3,53	15,87	37,31	38,49
25	0,54	0,61	0,71	1,35	1,72	3,17	11,91	38,01	37,25
20	0,61	1,07	1,24	1,46	1,74	2,88	14,49	34,34	33,16
15	0,71	0,80	1,44	2,01	2,52	3,13	3,72	5,75	13,61
10	1,37	1,50	2,00	2,30	2,63	2,92	3,21	3,44	3,44
5	1,60	1,68	1,75	2,31	1,87	2,46	2,52	2,60	1,92
0	2,12	1,71	1,70	1,69	1,67	1,63	1,96	1,60	1,56
-5	1,62	1,55	1,50	1,47	1,43	1,41	1,38	1,39	1,36
-10	1,40	1,27	1,22	0,75	1,16	1,17	1,19	1,22	1,24
-15	0,73	0,98	0,63	0,62	0,61	0,63	0,67	0,72	1,19
-20	0,64	0,57	0,53	0,51	0,50	0,54	0,60	0,68	1,16
-25	0,56	0,51	0,48	0,47	0,46	0,25	0,54	0,64	0,75
-30	0,50	0,44	0,44	0,43	0,23	0,24	0,50	0,60	0,75
-35	0,23	0,41	0,41	0,41	0,43	0,44	0,48	0,57	0,75
-40	0,22	0,21	0,39	0,40	0,41	0,44	0,48	0,55	1,14
-45	0,41	0,20	0,21	0,21	0,40	0,43	0,47	0,52	0,73
-50	0,43	0,21	0,21	0,21	0,40	0,43	0,47	0,52	0,73
-55	0,45	0,39	0,21	0,21	0,39	0,42	0,24	0,51	0,73
-60	0,47	0,40	0,39	0,38	0,39	0,42	0,48	0,51	1,11
-65	0,48	0,22	0,38	0,20	0,21	0,21	0,46	0,47	1,05
-70	0,45	0,44	0,20	0,19	0,20	0,20	0,22	0,22	0,59
-75	0,22	0,38	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,20	0,44
-80	0,20	0,12	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20
-85	0,19	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19	0,12	0,19	0,19
-90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Είδος Δείγματος : Δείγμα 5 Γωνία Πρόσπτωσης : 30°

$\gamma$ \ C	0-180	10-190	20-200	30-210	40-220	50-230	60-240	70-250	80-260
90	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
85	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
80	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
75	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000
70	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,006	0,001
65	0,003	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,003	0,005	0,001
60	0,011	0,012	0,009	0,002	0,000	0,000	0,004	0,005	0,000
55	0,026	0,030	0,025	0,012	0,005	0,003	0,006	0,004	0,000
50	0,065	0,076	0,063	0,036	0,020	0,012	0,010	0,003	0,000
45	0,115	0,152	0,141	0,088	0,050	0,030	0,017	0,006	0,000
40	0,491	0,282	0,265	0,173	0,105	0,060	0,031	0,013	0,003
35	8,051	6,868	0,696	0,300	0,176	0,104	0,055	0,025	0,010
30	8,693	8,558	5,878	0,423	0,262	0,156	0,090	0,047	0,023
25	8,451	8,576	6,692	0,452	0,308	0,206	0,126	0,075	0,044
20	7,381	6,967	4,733	0,424	0,316	0,233	0,159	0,108	0,073
15	1,807	1,059	0,469	0,392	0,316	0,250	0,185	0,142	0,106
10	0,355	0,349	0,335	0,309	0,274	0,236	0,197	0,167	0,136
5	0,223	0,222	0,218	0,213	0,202	0,189	0,174	0,168	0,155
0	0,131	0,129	0,129	0,131	0,132	0,133	0,135	0,147	0,149
-5	0,073	0,072	0,074	0,077	0,082	0,087	0,096	0,112	0,124
-10	0,038	0,039	0,042	0,045	0,049	0,053	0,060	0,076	0,090
-15	0,019	0,021	0,025	0,028	0,029	0,030	0,032	0,043	0,055
-20	0,010	0,014	0,018	0,019	0,016	0,013	0,015	0,021	0,030
-25	0,006	0,011	0,016	0,015	0,007	0,004	0,005	0,008	0,014
-30	0,005	0,011	0,018	0,012	0,003	0,001	0,001	0,002	0,005
-35	0,006	0,013	0,019	0,010	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
-40	0,006	0,014	0,020	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-45	0,007	0,016	0,018	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-50	0,008	0,018	0,016	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-55	0,010	0,020	0,015	0,012	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
-60	0,011	0,021	0,014	0,014	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
-65	0,011	0,017	0,012	0,014	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
-70	0,010	0,009	0,009	0,012	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
-75	0,007	0,003	0,005	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-80	0,003	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-85	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-90	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000



Είδος Δείγματος : Δείγμα 5 (συνέχεια) Γωνία Πρόσπτωσης : 30°

$\gamma \backslash C$	90-270	100-280	110-290	120-300	130-310	140-320	150-330	160-340	170-350
90	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
85	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
80	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
75	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
70	0,000	0,000	0,000	0,001	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
65	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,001
60	0,000	0,000	0,000	0,000	0,007	0,003	0,002	0,003	0,006
55	0,000	0,000	0,000	0,001	0,009	0,011	0,012	0,013	0,019
50	0,000	0,000	0,000	0,003	0,016	0,027	0,034	0,041	0,053
45	0,000	0,000	0,002	0,012	0,034	0,061	0,085	0,102	0,106
40	0,000	0,003	0,011	0,032	0,074	0,134	0,180	0,194	0,280
35	0,004	0,011	0,028	0,065	0,139	0,261	0,377	1,826	6,935
30	0,012	0,024	0,049	0,100	0,201	0,380	0,903	5,628	7,483
25	0,024	0,041	0,071	0,123	0,214	0,345	2,161	5,734	7,243
20	0,043	0,066	0,098	0,147	0,216	0,295	0,963	5,181	6,448
15	0,073	0,099	0,134	0,187	0,248	0,319	0,405	0,520	1,588
10	0,109	0,134	0,167	0,208	0,251	0,290	0,328	0,361	0,369
5	0,140	0,156	0,173	0,192	0,209	0,221	0,232	0,242	0,236
0	0,151	0,153	0,153	0,154	0,153	0,148	0,146	0,146	0,137
-5	0,140	0,127	0,116	0,107	0,098	0,090	0,084	0,081	0,076
-10	0,112	0,091	0,075	0,062	0,051	0,044	0,040	0,038	0,037
-15	0,079	0,056	0,040	0,030	0,022	0,018	0,016	0,015	0,016
-20	0,047	0,030	0,018	0,012	0,008	0,005	0,004	0,005	0,006
-25	0,024	0,012	0,006	0,003	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001
-30	0,010	0,004	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-35	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-40	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-45	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-50	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-55	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
-60	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
-65	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
-70	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
-75	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-80	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-85	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
-90	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Είδος Δείγματος : Δείγμα 1 Γωνία Πρόσπτωσης : 45°

$\gamma \backslash C$	0-180	10-190	20-200	30-210	40-220	50-230	60-240	70-250	80-260
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0,03	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03	0,04	0,05	0,05
80	0,08	0,13	0,12	0,10	0,08	0,08	0,08	0,09	0,10
75	0,14	0,19	0,18	0,16	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15
70	0,21	0,26	0,25	0,23	0,21	0,20	0,20	0,21	0,21
65	0,29	0,34	0,33	0,30	0,28	0,27	0,27	0,28	0,28
60	0,37	0,42	0,41	0,38	0,36	0,35	0,35	0,35	0,35
55	0,45	0,50	0,49	0,46	0,44	0,43	0,43	0,43	0,43
50	0,52	0,58	0,57	0,54	0,52	0,51	0,51	0,51	0,52
45	0,61	0,66	0,65	0,62	0,60	0,59	0,59	0,60	0,60
40	0,68	0,73	0,72	0,70	0,68	0,67	0,67	0,67	0,68
35	0,75	0,81	0,80	0,77	0,75	0,74	0,74	0,74	0,75
30	0,81	0,86	0,86	0,84	0,81	0,80	0,81	0,81	0,81
25	0,86	0,92	0,92	0,89	0,87	0,86	0,86	0,87	0,87
20	0,91	0,97	0,97	0,94	0,92	0,91	0,91	0,92	0,92
15	0,95	1,00	1,00	0,98	0,96	0,95	0,95	0,96	0,96
10	0,98	1,03	1,04	1,01	0,99	0,99	0,98	0,99	1,00
5	1,05	1,05	1,05	1,03	1,01	1,00	1,00	1,01	1,01
0	1,06	1,06	1,06	1,04	1,02	1,01	1,01	1,02	1,02
-5	1,05	1,06	1,06	1,04	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01
-10	1,04	1,04	1,05	1,03	1,00	0,99	0,99	1,00	1,00
-15	1,01	1,02	1,03	1,00	0,97	0,96	0,96	0,97	0,97
-20	0,92	0,98	0,99	0,96	0,94	0,93	0,92	0,92	0,93
-25	0,88	0,94	0,94	0,92	0,89	0,87	0,87	0,87	0,88
-30	0,83	0,89	0,89	0,85	0,83	0,81	0,81	0,82	0,82
-35	0,80	0,85	0,82	0,79	0,75	0,74	0,74	0,74	0,75
-40	0,70	0,76	0,74	0,71	0,68	0,67	0,67	0,67	0,68
-45	0,60	0,65	0,65	0,63	0,60	0,59	0,59	0,59	0,60
-50	0,51	0,56	0,57	0,55	0,52	0,51	0,51	0,52	0,52
-55	0,42	0,47	0,49	0,47	0,44	0,43	0,43	0,43	0,44
-60	0,33	0,39	0,41	0,39	0,36	0,35	0,35	0,36	0,36
-65	0,25	0,31	0,33	0,31	0,29	0,28	0,28	0,28	0,29
-70	0,18	0,24	0,26	0,24	0,22	0,21	0,21	0,21	0,22
-75	0,11	0,16	0,19	0,18	0,15	0,15	0,14	0,15	0,16
-80	0,04	0,10	0,13	0,12	0,10	0,09	0,09	0,10	0,10
-85	0,00	0,05	0,08	0,07	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05
-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Είδος Δείγματος : Δείγμα 1 (συνέχεια) Γωνία Πρόσπτωσης : 45°

$\gamma \backslash C$	90-270	100-280	110-290	120-300	130-310	140-320	150-330	160-340	170-350
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0,05	0,06	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08
80	0,10	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13
75	0,15	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,19	0,19	0,20
70	0,22	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26
65	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,33	0,34	0,34
60	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,41	0,41	0,42
55	0,44	0,44	0,46	0,47	0,47	0,48	0,49	0,50	0,50
50	0,52	0,53	0,54	0,54	0,55	0,56	0,57	0,58	0,58
45	0,60	0,61	0,62	0,63	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67
40	0,68	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,72	0,74	0,76
35	0,75	0,76	0,77	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,83
30	0,82	0,82	0,83	0,84	0,85	0,85	0,86	0,88	0,88
25	0,88	0,88	0,89	0,90	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93
20	0,93	0,93	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,97	0,97
15	0,97	0,97	0,98	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00
10	1,00	1,00	1,01	1,02	1,01	1,02	1,02	1,02	1,03
5	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,04	1,03	1,04	1,04
0	1,03	1,03	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
-5	1,02	1,02	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03
-10	1,00	1,01	1,01	1,02	1,01	1,01	1,01	1,02	1,01
-15	0,97	0,98	0,98	0,99	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
-20	0,93	0,94	0,94	0,95	0,94	0,95	0,95	0,94	0,95
-25	0,88	0,88	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
-30	0,82	0,83	0,83	0,84	0,84	0,85	0,85	0,84	0,84
-35	0,76	0,76	0,77	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78	0,78
-40	0,68	0,68	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72
-45	0,61	0,61	0,62	0,63	0,63	0,64	0,64	0,64	0,64
-50	0,53	0,53	0,54	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56
-55	0,45	0,45	0,46	0,47	0,48	0,48	0,48	0,49	0,49
-60	0,37	0,38	0,38	0,39	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41
-65	0,30	0,30	0,31	0,32	0,32	0,33	0,33	0,33	0,33
-70	0,23	0,23	0,24	0,25	0,25	0,25	0,26	0,26	0,26
-75	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,19
-80	0,11	0,11	0,12	0,12	0,12	0,13	0,13	0,13	0,13
-85	0,06	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Είδος Δείγματος : Δείγμα 2 Γωνία Πρόσπτωσης : 45°

$\gamma \backslash C$	0-180	10-190	20-200	30-210	40-220	50-230	60-240	70-250	80-260
90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
85	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
80	0,08	0,08	0,08	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,08
75	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
70	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19	0,19
65	0,27	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
60	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
55	0,42	0,41	0,41	0,41	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
50	0,49	0,49	0,49	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48
45	0,57	0,56	0,56	0,56	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56
40	0,64	0,63	0,63	0,63	0,62	0,62	0,62	0,62	0,63
35	0,70	0,70	0,70	0,70	0,69	0,69	0,69	0,69	0,70
30	0,77	0,76	0,76	0,76	0,75	0,76	0,76	0,75	0,76
25	0,82	0,82	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,82
20	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
15	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
10	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,92	0,93
5	0,96	0,95	0,95	0,95	0,94	0,95	0,94	0,94	0,94
0	0,96	0,96	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
-5	0,95	0,96	0,95	0,96	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
-10	0,94	0,95	0,94	0,94	0,94	0,93	0,93	0,93	0,93
-15	0,91	0,91	0,92	0,92	0,91	0,91	0,90	0,90	0,90
-20	0,88	0,88	0,88	0,88	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87
-25	0,84	0,84	0,83	0,83	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82
-30	0,79	0,79	0,78	0,78	0,77	0,77	0,77	0,76	0,76
-35	0,72	0,73	0,72	0,72	0,71	0,71	0,70	0,70	0,70
-40	0,66	0,66	0,65	0,65	0,64	0,63	0,63	0,63	0,63
-45	0,58	0,59	0,58	0,57	0,57	0,57	0,56	0,56	0,56
-50	0,51	0,51	0,51	0,50	0,49	0,49	0,48	0,48	0,48
-55	0,43	0,43	0,43	0,42	0,41	0,41	0,41	0,41	0,40
-60	0,36	0,36	0,35	0,34	0,34	0,33	0,33	0,33	0,33
-65	0,28	0,28	0,28	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
-70	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19
-75	0,14	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
-80	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
-85	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
-90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Είδος Δείγματος : Δείγμα 2 (συνέχεια) Γωνία Πρόσπτωσης : 45°

$\gamma \backslash C$	90-270	100-280	110-290	120-300	130-310	140-320	150-330	160-340	170-350
90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
85	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03
80	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08
75	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
70	0,19	0,20	0,20	0,20	0,21	0,21	0,21	0,21	0,21
65	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
60	0,33	0,34	0,34	0,34	0,35	0,35	0,36	0,36	0,36
55	0,41	0,41	0,42	0,42	0,43	0,43	0,43	0,44	0,43
50	0,48	0,49	0,49	0,49	0,50	0,51	0,51	0,51	0,51
45	0,56	0,56	0,57	0,57	0,58	0,58	0,58	0,59	0,59
40	0,63	0,63	0,64	0,64	0,65	0,65	0,65	0,66	0,66
35	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,72	0,72	0,72	0,72
30	0,75	0,76	0,77	0,77	0,77	0,78	0,78	0,78	0,78
25	0,81	0,81	0,82	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
20	0,86	0,86	0,87	0,87	0,87	0,88	0,88	0,88	0,88
15	0,90	0,90	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
10	0,92	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,94
5	0,94	0,94	0,95	0,95	0,95	0,94	0,95	0,94	0,95
0	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
-5	0,94	0,95	0,94	0,94	0,95	0,94	0,94	0,94	0,95
-10	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,92	0,93
-15	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,89	0,90	0,90
-20	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86
-25	0,81	0,81	0,81	0,81	0,82	0,81	0,81	0,81	0,82
-30	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76	0,76
-35	0,69	0,69	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
-40	0,62	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
-45	0,55	0,55	0,55	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56	0,56
-50	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,49	0,49	0,49	0,49
-55	0,40	0,40	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41	0,41
-60	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,34	0,34	0,34
-65	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,27
-70	0,19	0,19	0,19	0,19	0,20	0,19	0,19	0,19	0,20
-75	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
-80	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,07	0,07	0,07	0,08
-85	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
-90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Είδος Δείγματος : Δείγμα 3 Γωνία Πρόσπτωσης : 45°

$\gamma \backslash C$	0-180	10-190	20-200	30-210	40-220	50-230	60-240	70-250	80-260
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0,006	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004	0,006	0,004
70	0,022	0,020	0,019	0,019	0,018	0,018	0,017	0,017	0,018
65	0,040	0,039	0,037	0,036	0,036	0,035	0,035	0,035	0,034
60	0,059	0,058	0,056	0,054	0,054	0,053	0,053	0,053	0,052
55	0,079	0,077	0,075	0,074	0,073	0,072	0,072	0,071	0,071
50	0,099	0,097	0,095	0,094	0,093	0,092	0,091	0,091	0,090
45	0,119	0,117	0,115	0,113	0,112	0,111	0,110	0,110	0,109
40	0,139	0,136	0,134	0,132	0,131	0,130	0,129	0,128	0,128
35	0,156	0,154	0,152	0,150	0,148	0,147	0,146	0,146	0,146
30	0,174	0,171	0,168	0,167	0,165	0,165	0,163	0,162	0,162
25	0,188	0,186	0,184	0,182	0,180	0,179	0,178	0,178	0,177
20	0,201	0,197	0,196	0,194	0,192	0,192	0,190	0,191	0,191
15	0,211	0,207	0,206	0,205	0,203	0,202	0,201	0,201	0,201
10	0,218	0,216	0,215	0,213	0,211	0,210	0,210	0,210	0,210
5	0,223	0,221	0,219	0,217	0,216	0,215	0,215	0,215	0,214
0	0,224	0,223	0,221	0,219	0,218	0,217	0,217	0,217	0,217
-5	0,224	0,221	0,219	0,220	0,218	0,218	0,217	0,217	0,216
-10	0,220	0,216	0,216	0,216	0,215	0,215	0,214	0,214	0,213
-15	0,213	0,211	0,210	0,209	0,209	0,207	0,208	0,208	0,207
-20	0,203	0,201	0,201	0,200	0,200	0,199	0,199	0,199	0,198
-25	0,191	0,190	0,189	0,189	0,189	0,188	0,188	0,188	0,187
-30	0,176	0,175	0,175	0,175	0,174	0,174	0,174	0,180	0,173
-35	0,161	0,159	0,159	0,159	0,159	0,159	0,159	0,158	0,158
-40	0,143	0,142	0,142	0,141	0,142	0,141	0,141	0,141	0,141
-45	0,123	0,123	0,122	0,122	0,123	0,123	0,123	0,123	0,122
-50	0,103	0,103	0,102	0,103	0,103	0,104	0,104	0,104	0,103
-55	0,083	0,083	0,082	0,083	0,083	0,084	0,084	0,084	0,083
-60	0,063	0,063	0,062	0,063	0,064	0,064	0,064	0,065	0,064
-65	0,043	0,043	0,043	0,044	0,044	0,045	0,045	0,046	0,045
-70	0,025	0,025	0,025	0,025	0,026	0,027	0,027	0,027	0,027
-75	0,009	0,009	0,009	0,009	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
-80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-85	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Είδος Δείγματος : Δείγμα 3 (συνέχεια) Γωνία Πρόσπτωσης : 45°

$\gamma \backslash C$	90-270	100-280	110-290	120-300	130-310	140-320	150-330	160-340	170-350
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
75	0,003	0,003	0,004	0,005	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008
70	0,017	0,017	0,018	0,019	0,019	0,020	0,021	0,022	0,023
65	0,033	0,034	0,035	0,036	0,036	0,037	0,039	0,040	0,041
60	0,052	0,052	0,053	0,054	0,054	0,056	0,058	0,059	0,060
55	0,070	0,070	0,071	0,072	0,073	0,074	0,077	0,078	0,078
50	0,089	0,089	0,090	0,092	0,092	0,094	0,096	0,097	0,098
45	0,108	0,109	0,110	0,112	0,111	0,113	0,116	0,117	0,118
40	0,127	0,128	0,128	0,130	0,129	0,132	0,134	0,135	0,136
35	0,144	0,145	0,146	0,147	0,147	0,149	0,151	0,152	0,153
30	0,161	0,161	0,162	0,163	0,163	0,166	0,167	0,168	0,169
25	0,176	0,177	0,178	0,178	0,178	0,180	0,181	0,183	0,183
20	0,189	0,189	0,190	0,191	0,190	0,191	0,193	0,193	0,195
15	0,199	0,200	0,201	0,200	0,199	0,202	0,204	0,203	0,204
10	0,207	0,208	0,209	0,209	0,208	0,209	0,210	0,210	0,211
5	0,213	0,213	0,213	0,214	0,212	0,213	0,213	0,214	0,214
0	0,215	0,215	0,216	0,216	0,213	0,215	0,214	0,215	0,215
-5	0,215	0,215	0,215	0,216	0,212	0,214	0,214	0,214	0,213
-10	0,212	0,210	0,211	0,212	0,211	0,210	0,209	0,209	0,209
-15	0,205	0,205	0,205	0,206	0,204	0,202	0,202	0,202	0,201
-20	0,196	0,194	0,195	0,195	0,194	0,193	0,192	0,191	0,191
-25	0,185	0,184	0,184	0,184	0,182	0,181	0,180	0,180	0,179
-30	0,170	0,170	0,170	0,170	0,168	0,167	0,166	0,165	0,164
-35	0,155	0,155	0,155	0,154	0,152	0,151	0,150	0,149	0,148
-40	0,138	0,137	0,138	0,136	0,136	0,134	0,132	0,131	0,130
-45	0,120	0,119	0,119	0,119	0,117	0,115	0,114	0,113	0,112
-50	0,101	0,099	0,100	0,099	0,097	0,095	0,094	0,094	0,092
-55	0,081	0,080	0,080	0,080	0,078	0,076	0,074	0,074	0,073
-60	0,062	0,061	0,061	0,060	0,058	0,057	0,056	0,055	0,053
-65	0,043	0,042	0,043	0,042	0,040	0,038	0,036	0,036	0,035
-70	0,025	0,024	0,025	0,024	0,022	0,020	0,020	0,019	0,018
-75	0,009	0,008	0,009	0,008	0,006	0,005	0,004	0,004	0,004
-80	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-85	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000
-90	0	0	0	0	0	0	0	0	0,000

Είδος Δειγματος : Δείγμα 4 Γωνία Πρόσπτωσης : 45°

$\gamma \backslash C$	0-180	10-190	20-200	30-210	40-220	50-230	60-240	70-250	80-260
90	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0
85	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0
80	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0
75	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0
70	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0	0
65	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	0,00	0,00
60	0,07	0,03	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
55	0,13	0,12	0,16	0,11	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
50	2,63	1,94	0,49	0,36	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
45	4,01	3,52	1,76	0,77	0,20	0,01	0,00	0,00	0,00
40	3,89	4,36	2,72	0,96	0,32	0,02	0,00	0,00	0,00
35	3,76	3,69	1,77	0,68	0,28	0,04	0,00	0,00	0,00
30	1,35	1,57	0,51	0,33	0,16	0,04	0,00	0,00	0,00
25	0,16	0,20	0,20	0,15	0,08	0,03	0,01	0,00	0,00
20	0,10	0,10	0,10	0,08	0,05	0,02	0,01	0,01	0,00
15	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
10	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04
5	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05
0	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,05	0,04	0,03
-5	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
-10	0,06	0,05	0,04	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
-15	0,06	0,05	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-20	0,07	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-25	0,07	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-30	0,07	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-35	0,08	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-40	0,08	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-45	0,08	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-50	0,08	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-55	0,07	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-60	0,07	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-65	0,05	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-70	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-75	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00



Είδος Δείγματος : Δείγμα 4 (συνέχεια) Γωνία Πρόσπτωσης : 45°

$\gamma \backslash C$	90-270	100-280	110-290	120-300	130-310	140-320	150-330	160-340	170-350
90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01
60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,05	0,05	0,06
55	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,04	0,08	0,13	0,17
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,12	0,24	0,52
45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06	0,17	0,39	2,99
40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,07	0,23	0,67	4,45
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,08	0,25	0,69	4,41
30	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,09	0,23	0,47	1,95
25	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,08	0,17	0,29	0,43
20	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,06	0,11	0,18	0,22
15	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04	0,07	0,10	0,11
10	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,07
5	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
0	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
-5	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
-10	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07
-15	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04	0,06	0,07	0,08
-20	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	0,07	0,08
-25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06	0,09
-30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05	0,09
-35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,09
-40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,09
-45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,09
-50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,09
-55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,09
-60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,09
-65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,07
-70	0	0	0	0	0	0	0	0,02	0,04
-75	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
-80	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
-85	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
-90	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00

Είδος Δείγματος : Δείγμα 5 Γωνία Πρόσπτωσης : 45°

$\gamma \backslash C$	0-180	10-190	20-200	30-210	40-220	50-230	60-240	70-250	80-260
90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
70	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
65	0,06	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
60	0,26	0,23	0,10	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
55	0,52	0,47	0,33	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
50	1,48	0,72	0,59	0,22	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
45	8,09	6,81	0,99	0,39	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
40	8,82	9,78	1,42	0,51	0,10	0,01	0,00	0,00	0,00
35	9,82	6,72	1,24	0,46	0,12	0,01	0,00	0,00	0,00
30	1,17	1,14	0,72	0,34	0,11	0,01	0,00	0,00	0,00
25	0,57	0,51	0,38	0,21	0,08	0,01	0,00	0,00	0,00
20	0,28	0,24	0,19	0,11	0,04	0,01	0,00	0,00	0,00
15	0,10	0,09	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
10	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
5	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-15	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-20	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-25	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-30	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-35	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-40	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-45	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-50	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-55	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-60	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-65	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-70	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Είδος Δείγματος : Δείγμα 5 (συνέχεια) Γωνία Πρόσπτωσης : 45°

$\gamma \backslash C$	90-270	100-280	110-290	120-300	130-310	140-320	150-330	160-340	170-350
90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,05
60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,08	0,23
55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,23	0,47
50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,14	0,41	0,73
45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,23	0,58	3,81
40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,08	0,33	0,74	7,15
35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,10	0,37	0,75	2,33
30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,09	0,33	0,62	0,85
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,21	0,42	0,53
20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,09	0,19	0,26
15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,06	0,08
10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02
5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
-70	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
-90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

\* Όλες οι τιμές έντασης φωτισμού είναι σε μονάδες lux.

## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- 
- 1 Energy Information Administration : International Energy Outlook 2007 (IEO2007)
  - 2 U.S. Lighting Market Characterization : Volume I: National Lighting Inventory and Energy Consumption Estimate (2002)
  - 3 Lighting Controls: Survey of Market Potential. F. Rubinstein, R. Verderber 1983.
  - 4 Electricity Consumption and Efficiency Trends in the enlarged European Union : Status Report 2006. Paolo Bertoldi, Bogdan Atanasiu.
  - 5 The challenge of natural light :ambiance and control of energy. Fontoynt, M., *Journal de la Construction en Suisse Romande*, N°18, Septembre 1988.
  - 6 Daylight in Buildings : A source book on daylighting systems and components, IEA July 2000.
  - 7 Φωτοτεχνία : Βασικές αρχές φωτομετρίας και μελέτες φωτισμού , Φ.Β. Τοπαλής 1994 , Σελίδες 34-36
  - 8 Φωτοτεχνία : Βασικές αρχές φωτομετρίας και μελέτες φωτισμού , Φ.Β. Τοπαλής 1994, Σελίδες 28-29
  - 9 . CIE 121 Φωτομετρία και γωνιοφωτομετρία των φωτιστικών, 1996