



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΟΜΗΜΕΝΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΡΜΟΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΟ ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

ΚΥΡΙΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

(Α.Μ.: 2011050013)

ΕΠΙΤΡΟΠΗ:

ΚΟΛΟΚΟΤΣΑ ΔΙΟΝΥΣΙΑ (επιβλέπουσα)

ΞΕΚΟΥΚΟΥΛΩΤΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΜΑΡΑΒΕΛΑΚΗ ΠΑΓΩΝΑ

ΧΑΝΙΑ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2016

## **Περίληψη**

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως θέμα την ανάλυση θερμοανακλαστικών υλικών στο δομημένο περιβάλλον. Στα πλαίσια αυτής λοιπόν, εξετάζονται κάποια υλικά και ελέγχεται αν και κατά πόσον μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κατασκευές ή επισκευές κτηρίων με σκοπό την εξοικονόμηση ενέργειας μέσω της ανάκλασης θερμότητας. Τα υλικά που εξετάζονται είναι δύο κατηγοριών: βαφές σε υγρή μορφή και χρωστικές σε μορφή πούδρας για σοβά ή μπετόν. Η μελέτη των υλικών περιλαμβάνει τον υπολογισμό του δείκτη ανάκλασης, τη μέτρηση επιφανειακών θερμοκρασιών κατά την έκθεση των υλικών στον ήλιο για μεγάλο χρονικό διάστημα και την προσομοίωση – μοντελοποίηση της κατάστασης ενός κτηρίου σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας, όταν χρησιμοποιηθούν τα υλικά ως τελική επίστρωση της οροφής του. Ο υπολογισμός του δείκτη ανάκλασης γίνεται μέσω μετρήσεων ποσοστιαίας ανακλαστικότητας σε φασματοφωτόμετρο (για φάσμα που εκτείνεται από το υπεριώδες έως το εγγύς υπέρυθρο) και με χρήση κατάλληλου προτύπου. Για τη μέτρηση των επιφανειακών θερμοκρασιών των δειγμάτων χρησιμοποιούνται ένα καταγραφικό θερμοκρασιών (datalogger) με θερμοζεύγη και μια θερμική κάμερα. Η προαναφερόμενη προσομοίωση γίνεται με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή και αφορά μόνο τα απαιτούμενα φορτία για τη θέρμανση και την ψύξη του εξεταζόμενου κτηρίου, που είναι το κτήριο K1 του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι κάποια από τα υλικά, που εδώ να σημειώσουμε ότι, ως επί το πλείστον, περιείχαν μόνο φυσικής προέλευσης συστατικά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως θερμοανακλαστικά, αφού η χρήση τους οδηγεί σε σημαντική μείωση των μελετώμενων ενεργειακών φορτίων, η οποία μπορεί να φτάσει συνολικά ακόμη και στο 8,5 %. Από τη συνολική μελέτη των αποτελεσμάτων, φαίνεται επίσης ότι πολύ σημαντικό ρόλο για το αν ένα υλικό μπορεί να θεωρηθεί ως θερμοανακλαστικό παίζει ο δείκτης ανάκλασης, χωρίς όμως να είναι ο μόνος, αφού πρέπει να συνεκτιμώνται και η χημική σύσταση του εκάστοτε υλικού, το χρώμα του και άλλα στοιχεία.

## **Abstract**

This thesis is related to the analysis of heat-reflective materials in the built environment. Within this, some materials are examined and checked whether (and to what extent) they can be used in building constructions or repairs, in order to reduce energy consumption through heat reflection. The materials we used contain mostly natural inorganic substances and belong to two categories: liquid dyes and powder pigments for plaster or concrete. The study includes the calculation of the solar reflectance index (SR), the measurement of the surface temperatures of our materials, during their exposure in sunlight for a long time period, and the simulation of the general situation of a building with regard to the energy consumption, when these materials are used as the final coating of its roof. The calculation of the SR index includes measuring the reflectivity (%) of our samples using a spectrophotometer (with a range that extends from the ultraviolet to the near infrared wavelength region) and using the appropriate standard test method. To measure the surface temperatures of the samples, we used a datalogger with thermocouples and a thermal camera. The simulation runs on a computer and it only concerns the required loads for the heating and the cooling of our test building, which is the building K1 of the Department of Environmental Engineering of the Technical University of Crete. The results of our study showed that some of the tested materials can be used as heat-reflective, as their use leads to energy consumption reduction up to 8,5 % for our test building. From an overall examination of our results, it also appears that the solar reflectance index plays a significant role in whether a material can be considered as heat-reflecting. However, there are many other factors that should be taken into consideration, such as the chemical composition of the tested material or its color.

## Περιεχόμενα

Περίληψη	Σελίδα i
Abstract	Σελίδα ii
Περιεχόμενα	Σελίδα iii
Περιεχόμενα εικόνων	Σελίδα v
Περιεχόμενα διαγραμμάτων	Σελίδα vi
Περιεχόμενα πινάκων	Σελίδα vii
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	Σελίδα 1
2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	Σελίδα 5
2.1. ΥΛΙΚΑ	Σελίδα 5
2.1.1. Υπέρλευκο Durostick Powder Color	Σελίδα 5
2.1.2. Υπόλευκο Durostick Powder Color (βάση δημιουργίας)	Σελίδα 6
2.1.3. Χρωστική Durocolor Powder-C No. 6	Σελίδα 6
2.1.4. Χρωστικές Marmoline Powder Colour (Black, Blue, Yellow Ochre)	Σελίδα 7
2.1.5. Θερμοανакλαστική ορυκτή βαφή Coolit-AP	Σελίδα 7
2.1.6. Kraft Profi Interior	Σελίδα 8
2.1.7. WCM – DMP (A2)	Σελίδα 8
2.1.8. NHL – DMP (A6)	Σελίδα 8
2.2. ΟΡΓΑΝΑ	Σελίδα 9
2.2.1. Φασματοφωτόμετρο Cary 5000 UV-Vis-NIR	Σελίδα 9
2.2.2. Θερμική κάμερα Flir ThermaCAM B2	Σελίδα 10
2.2.3. Καταγραφικό θερμοκρασιών CR850 (datalogger & multiplexer)	Σελίδα 10
2.3. ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ	Σελίδα 11
2.4. ΚΤΗΡΙΟ	Σελίδα 12



(συνέχεια)

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	Σελίδα 13
3.1. ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ	Σελίδα 13
3.2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ ΜΕ ΦΑΣΜΑΤΟΦΩΤΟΜΕΤΡΟ	Σελίδα 16
3.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΕΙΚΤΗ ΑΝΑΚΛΑΣΗΣ	Σελίδα 17
3.4. ΛΗΨΗ ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΩΝ ΜΕ ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΜΕΡΑ	Σελίδα 17
3.5. ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΙΚΟΥ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	Σελίδα 18
3.6. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ	Σελίδα 18
3.7. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	Σελίδα 23
3.7.1. Αποτελέσματα μετρήσεων φασματοφωτόμετρου	Σελίδα 23
3.7.2. Αποτελέσματα φωτογραφιών θερμικής κάμερας	Σελίδα 33
3.7.3. Αποτελέσματα μετρήσεων καταγραφικού θερμοκρασιών	Σελίδα 36
3.7.4. Αποτελέσματα προσομοίωσης	Σελίδα 52
3.8. ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ	Σελίδα 53
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	Σελίδα 54
5. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ	Σελίδα 57
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ – ΠΗΓΕΣ	Σελίδα 58
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	Σελίδα 62

## Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1	Υπέρλευκο Durostick Powder Color	Σελίδα 5
Εικόνα 2	Υπόλευκο Durostick Powder Color (βάση δημιουργίας)	Σελίδα 5
Εικόνα 3	Χρωστική Durocolor Powder-C No. 6	Σελίδα 5
Εικόνα 4	Χρωστικές Marmoline Powder Colour Black (α), Blue (β) και Yellow Ochre (γ)	Σελίδα 6
Εικόνα 5	Θερμοανακλαστική ορυκτή βαφή Coolit-AP	Σελίδα 7
Εικόνα 6	Kraft Profi Interior	Σελίδα 8
Εικόνα 7	Φασματοφωτόμετρο Cary 5000 UV-Vis-NIR Spectrophotometer	Σελίδα 9
Εικόνα 8	Πακέτο DRA	Σελίδα 9
Εικόνα 9	Θερμοκάμερα Flir ThermaCAM B2	Σελίδα 10
Εικόνα 10	Datalogger CR850	Σελίδα 10
Εικόνα 11	Multiplexer AM16/32B	Σελίδα 10
Εικόνα 12	Κτήριο K1 (βόρεια άποψη)	Σελίδα 12
Εικόνα 13	Φωτογραφίες δειγμάτων	Σελίδα 15
Εικόνες 14 & 15	Κτήριο K1 σε περιβάλλον SketchUp με τις θερμικές ζώνες	Σελίδα 19
Εικόνα 16	Σημεία λήψης θερμοκρασιών από τα δείγματα για υπολογισμό των μέσων όρων	Σελίδα 32
Εικόνα 17	Μέγιστες και ελάχιστες επιφανειακές θερμοκρασίες δειγμάτων	Σελίδα 34

## Περιεχόμενα διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1	Αποτελέσματα μετρήσεων φασματοφωτόμετρου για όλα τα δείγματα	Σελίδα 24
Διάγραμμα 2	Αποτελέσματα μετρήσεων φασματοφωτόμετρου για τα δείγματα υγρών χρωμάτων	Σελίδα 25
Διάγραμμα 3	Αποτελέσματα μετρήσεων φασματοφωτόμετρου για τα δείγματα με χρωστικές σε μορφή πούδρας	Σελίδα 26
Διάγραμμα 4	Αποτελέσματα μετρήσεων φασματοφωτόμετρου για τα δείγματα που περιέχουν το υπέρλευκο Durostick Powder Color	Σελίδα 27
Διάγραμμα 5	Αποτελέσματα μετρήσεων φασματοφωτόμετρου για τα δείγματα που περιέχουν το υπόλευκο Durostick Powder Color	Σελίδα 28
Διάγραμμα 6	Αποτελέσματα μετρήσεων φασματοφωτόμετρου για τα δείγματα με την (πράσινη) χρωστική Durostick Durocolor Powder-C No. 6	Σελίδα 29
Διάγραμμα 7	Αποτελέσματα μετρήσεων φασματοφωτόμετρου για τα δείγματα που περιέχουν WCM-DMP και NHL-DMP	Σελίδα 30
Διάγραμμα 8	Αποτελέσματα μετρήσεων φασματοφωτόμετρου για τα δύο λευκά δείγματα μόνο με το Durostick Powder Color (υπέρλευκο/υπόλευκο)	Σελίδα 31
Διάγραμμα 9	Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για όλα τα δείγματα και όλες τις ημέρες	Σελίδα 37
Διάγραμμα 10	Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για όλα τα δείγματα στις 20/7/2016	Σελίδα 38
Διάγραμμα 11	Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα υγρών χρωμάτων στις 20/7/2016	Σελίδα 39
Διάγραμμα 12	Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα με χρωστικές σε μορφή πούδρας στις 20/7/2016	Σελίδα 40
Διάγραμμα 13	Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα που περιέχουν το υπέρλευκο Durostick Powder Color στις 20/7/2016	Σελίδα 41
Διάγραμμα 14	Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα που περιέχουν το υπόλευκο Durostick Powder Color στις 20/7/2016	Σελίδα 42
Διάγραμμα 15	Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα με την (πράσινη) χρωστική Durostick Durocolor Powder-C No. 6 στις 20/7/2016	Σελίδα 43

## **Περιεχόμενα διαγραμμάτων (συνέχεια)**

Διάγραμμα 16	Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα που περιέχουν WCM-DMP και NHL-DMP στις 20/7/2016	Σελίδα 44
Διάγραμμα 17	Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για όλα τα δείγματα στις 25/7/2016	Σελίδα 45
Διάγραμμα 18	Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα υγρών χρωμάτων στις 25/7/2016	Σελίδα 46
Διάγραμμα 19	Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα με χρωστικές σε μορφή πούδρας στις 25/7/2016	Σελίδα 47
Διάγραμμα 20	Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα που περιέχουν το υπέρλευκο Durostick Powder Color στις 25/7/2016	Σελίδα 48
Διάγραμμα 21	Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα που περιέχουν το υπόλευκο Durostick Powder Color στις 25/7/2016	Σελίδα 49
Διάγραμμα 22	Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα με την (πράσινη) χρωστική Durostick Durocolor Powder-C No. 6 στις 25/7/2016	Σελίδα 50
Διάγραμμα 23	Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα που περιέχουν WCM-DMP και NHL-DMP στις 25/7/2016	Σελίδα 51

## **Περιεχόμενα πινάκων**

Πίνακας 1	Ποσότητες χρωστικών στα δείγματα	Σελίδα 13
Πίνακας 2	Δείγματα	Σελίδα 14
Πίνακας 3	Αρχικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά οροφής κτηρίου	Σελίδα 20
Πίνακας 4	Αποτελέσματα δείκτη ανάκλασης δειγμάτων	Σελίδα 32
Πίνακας 5	Επιφανειακές θερμοκρασίες δειγμάτων στις 12 το μεσημέρι (21/7/2016)	Σελίδα 35
Πίνακας 6	Επιφανειακές θερμοκρασίες δειγμάτων στις 2 το απόγευμα (21/7/2016)	Σελίδα 35
Πίνακας 7	Επιφανειακές θερμοκρασίες δειγμάτων στις 4 το απόγευμα (21/7/2016)	Σελίδα 36
Πίνακας 8	Αποτελέσματα προσομοίωσης στο κτήριο K1	Σελίδα 52

## **1. Εισαγωγή**

Τις τελευταίες δεκαετίες, παρατηρείται μια μεγάλη αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού, όπως και μια μετακίνηση μεγάλου μέρους αυτού του πληθυσμού στα μεγάλα αστικά κέντρα. Αυτή η κατάσταση, σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή, έχει διογκώσει το ήδη υφιστάμενο πρόβλημα της υπερθέρμανσης των πόλεων, αλλά και του πλανήτη γενικότερα. Το πρόβλημα αυτό ουσιαστικά απορρέει από το ότι η ιδιαίτερα πυκνή αστική δόμηση συγκρατεί μεγάλα θερμικά φορτία, τα οποία συσσωρεύονται με το χρόνο και δημιουργούν ένα φαινόμενο γνωστό με το όνομα φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (urban heat island effect). Σύμφωνα με αυτό το φαινόμενο, η θερμοκρασία στις αστικές περιοχές είναι υψηλότερη από αυτές των περιαστικών και αγροτικών περιοχών. Συνήθως παρατηρείται κατά τη διάρκεια της νύχτας της θερινής περιόδου και η έντασή του μπορεί να φτάσει ή και να ξεπεράσει τους 10 °C σε μεγάλες πόλεις. Τα αίτιά του ποικίλλουν και περιλαμβάνουν την εκπομπή μεγάλων θερμικών φορτίων από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες που λαμβάνουν χώρα στο αστικό κέντρο, το μικρό βαθμό ψύξης της πόλης σε σχέση με τα προάστια και τις αγροτικές περιοχές, την έλλειψη πρασίνου που οδηγεί σε μειωμένη εξάτμιση, την επανεκπομπή ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα προς το έδαφος, λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, και την ύπαρξη, στις εξωτερικές επιφάνειες κτηρίων, πλατειών, δρόμων κλπ., υλικών με μεγάλη θερμοχωρητικότητα και μικρή ανακλαστικότητα (άσφαλτος, τούβλο, τσιμέντο, πέτρα κ.ά.), τα οποία λειτουργούν ως αποθήκη θερμότητας. Το φαινόμενο της αστικής θερμονησίδας μπορεί να επιτείνει και το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, κάτι που έχει αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων, ενώ παρατηρείται σε πολλές πόλεις ανά τον κόσμο. Στον ελλαδικό χώρο, το φαινόμενο αυτό παρουσιάζει αυξητική τάση, με όλο και περισσότερες πόλεις να εμφανίζουν ακραίες θερμοκρασίες σε σχέση με τις περιαστικές και αγροτικές περιοχές, κάτι που δημιουργεί συνθήκες δυσφορίας στον πληθυσμό των πόλεων αυτών, ιδιαίτερα το καλοκαίρι. Δεδομένου ότι τα κτήρια παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στη δημιουργία του φαινομένου αυτού, αφού καταναλώνουν το 40 % της πρωτογενούς ενέργειας παγκοσμίως, εκπέμποντας και τα αντίστοιχα θερμικά φορτία στα αστικά κέντρα, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη να βελτιωθούν είτε οι μέθοδοι κατασκευής είτε τα χρησιμοποιούμενα υλικά. Ιδιαίτερη έμφαση θα πρέπει να δοθεί στο σχεδιασμό κτηρίων που θα μπορούν, λόγω της κατασκευής τους, να απωθούν τη θερμότητα από το να εισέλθει στο εσωτερικό τους, μέσω του λεγόμενου παθητικού ή βιοκλιματικού σχεδιασμού τους.

Ο παθητικός ή βιοκλιματικός σχεδιασμός κτηρίων είναι ένα είδος αρχιτεκτονικού σχεδιασμού που λαμβάνει σοβαρά υπόψη το περιβάλλον και, πιο συγκεκριμένα, τις παραμέτρους της οικολογίας και της βιωσιμότητας. Ως όρος, αφορά το κτήριο τόσο ως κατασκευή όσο και ως μια λειτουργική μονάδα, αφορά δηλαδή και τα υλικά και τις μεθόδους κατασκευής, αλλά και τη φάση λειτουργίας του κτηρίου και τον εξοπλισμό του. Οι στόχοι του σχεδιασμού αυτού περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, τη μείωση των παραγόμενων αποβλήτων, την ορθή χρήση της ενέργειας και του νερού, τη διατήρηση ενός υψηλού βιοτικού επιπέδου, την εξοικονόμηση χρημάτων και ενέργειας κατά τη λειτουργία του κτηρίου και βέβαια το σεβασμό στους φυσικούς πόρους και το περιβάλλον. Επί της ουσίας, μας ενδιαφέρει η θέρμανση, ο δροσισμός, ο αερισμός και ο φωτισμός του κτηρίου να γίνονται με όσο το δυνατόν φυσικότερους τρόπους, χωρίς μεγάλες απώλειες ενέργειας (που συνεπάγονται και οικονομική ζημία) και με τρόπο ώστε το κτήριο να εκμεταλλεύεται κατά το δυνατόν τη θέση του, τον προσανατολισμό του, την αρχιτεκτονική του (ανοίγματα, σκίαστρα κλπ.), τα στοιχεία του περιβάλλοντος χώρου του, τις ιδιότητες των υλικών από τα οποία είναι κατασκευασμένο, τις κλιματικές και μετεωρολογικές συνθήκες και παραμέτρους κλπ.. Αυτά μπορούν να επιτευχθούν με πολλούς τρόπους. Ενδεικτικά αναφέρονται: η χρήση ειδικών υλικών στα επιχρίσματα, η χρήση συστημάτων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (Α.Π.Ε.) και παθητικών συστημάτων νέας τεχνολογίας, η σκίαση (φυσική ή τεχνητή), η μόνωση με χρήση κατάλληλων υλικών, ο προσανατολισμός του κτηρίου προς το νότο (η μεγαλύτερη πλευρά του) και ο σχεδιασμός μεγάλων ανοιγμάτων στη νότια πλευρά του. Με τέτοιους τρόπους, επιτυγχάνεται ο συνολικά ζητούμενος στόχος του βιοκλιματικού σχεδιασμού, που είναι η κατασκευή κτηρίων τα οποία θα είναι ενεργειακά αυτόνομα (όσο αυτό είναι εφικτό), χωρίς τεράστιο κόστος συγκριτικά με τις συνήθεις κατασκευές και χωρίς επιβάρυνση του φυσικού περιβάλλοντος. Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, ο συνδυασμός τρόπων και μεθόδων όπως αυτές που προαναφέραμε επιβάλλεται, αφού καθιστά πιο εύκολη την επίτευξη του τελικού μας στόχου. Η δόμηση με βάση το βιοκλιματικό ή παθητικό σχεδιασμό μπορεί να δώσει λύσεις σε πολλά σύγχρονα προβλήματα, όπως πχ. η έλλειψη ενεργειακών πόρων, αφού τα κτήρια θα εκμεταλλεύονται στο μέγιστο βαθμό τις ανεξάντλητες πηγές ενέργειας (ηλιακή ενέργεια, γεωθερμία κλπ.) και μάλιστα χωρίς αυτό να έχει αρνητικές επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως θέμα την ανάλυση θερμοανакλαστικών υλικών στο δομημένο περιβάλλον. Με τον όρο 'δομημένο περιβάλλον' (built environment) περιγράφεται ο ανθρωπογενούς προέλευσης χώρος μέσα στον οποίο ζουν, εργάζονται και γενικά δημιουργούν οι άνθρωποι καθημερινά. Περιλαμβάνει όλα τα κτήρια και τις υποδομές που έχει κατασκευάσει ο άνθρωπος ανά τους αιώνες, συνδυάζοντας ακόμα και φυσικά στοιχεία, ώστε να εξυπηρετεί τις ανάγκες του. Ως θερμοανакλαστικά υλικά (heat/thermal reflective materials/coatings) αναφέρονται όλα τα υλικά που έχουν θερμοανакλαστικές ιδιότητες, δηλαδή ιδιότητες να ανακλούν μεγάλο ή μικρό μέρος της θερμότητας που προσπίπτει σε ένα κτήριο υπό μορφή (ηλιακής συνήθως) ακτινοβολίας. Οι ιδιότητες αυτές των υλικών οφείλονται κυρίως στα συστατικά τους ή στον τρόπο παρασκευής τους. Τα θερμοανакλαστικά υλικά χρησιμοποιούνται αποκλειστικά στο κέλυφος του κτηρίου και συγκεκριμένα στην εξωτερική επιφάνειά του. Στα υλικά αυτά περιλαμβάνονται χρώματα και βαφές σε υγρή μορφή, χρωστικές σε μορφή πούδρας για σοβά ή μπετόν, ρητίνες, μεμβράνες (ελαστομερή κλπ.), και πολλά άλλα προϊόντα, με τον κατάλογό τους να αυξάνεται συνεχώς, λόγω της μεγάλης ζήτησής τους στη σημερινή αγορά, η οποία προσαρμόζεται τόσο στη σχετική νομοθεσία όσο και στις κτηριακές ανάγκες της εποχής, που επιτάσσουν τη χρήση τέτοιων υλικών στα νεοαναγειρόμενα αλλά και στα ήδη υπάρχοντα κτήρια.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, εξετάζονται δύο από τις προαναφερθείσες κατηγορίες υλικών: χρώματα και βαφές σε υγρή μορφή και χρωστικές σε μορφή πούδρας για σοβά ή μπετόν. Τελικά, και κατόπιν ενδελεχούς έρευνας, θα χρησιμοποιηθούν τρία χρώματα σε υγρή μορφή (το ένα ως πρότυπο για σύγκριση) και οκτώ χρωστικές σε μορφή πούδρας (είτε ως χρωστικές είτε ως βάση δημιουργίας των έγχρωμων κονιαμάτων). Βασική προϋπόθεση για την επιλογή των χρησιμοποιούμενων υλικών είναι αυτά να περιέχουν μόνο ανόργανα συστατικά φυσικής προέλευσης (εκτός από το ένα υγρό χρώμα που χρησιμοποιείται ως πρότυπο και είναι πλαστικό χρώμα), δηλαδή χρωστικές ουσίες προερχόμενες από ορυκτά, μέταλλα, φυτά κλπ.. Ως εκ τούτου, τα παραγόμενα κονιάματα (δεδομένου ότι αυτά παράγονται με την προσθήκη μόνο νερού στις ποσότητες χρωστικών σε μορφή πούδρας) δεν περιέχουν πτητικές ή άλλες οργανικές ενώσεις και διαλύτες, κάτι που τα καθιστά φιλικά προς το περιβάλλον και τον άνθρωπο. Επίσης, προτιμώνται υλικά τα οποία οι ίδιοι οι κατασκευαστές τους τα προτείνουν ως θερμομονωτικά ή ειδικά για εξοικονόμηση ενέργειας.

Τα υλικά αυτά θα εξεταστεί αν και κατά πόσο έχουν θερμοανакλαστικές ιδιότητες και αν συμφέρει να χρησιμοποιηθούν ως θερμομονωτικά με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας. Αυτό θα γίνει μέσω κάποιων μετρήσεων και πιο συγκεκριμένα με τη μελέτη των δεδομένων για το δείκτη ανάκλασης, αλλά και για τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην επιφάνεια των δειγμάτων, όταν αυτά εκτεθούν στην ηλιακή ακτινοβολία για κάποιο χρονικό διάστημα. Τα προαναφερθέντα δείγματα είναι πλακίδια πάνω στα οποία έχει απλωθεί το εκάστοτε χρώμα ή κονίαμα. Τα δεδομένα για το δείκτη ανάκλασης δίνονται από ένα πρότυπο, όπου εισάγονται μετρήσεις της ποσοστιαίας ανάκλασης, οι οποίες δίνονται (συναρτήσει του μήκους κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας) μέσω ενός φασματοφωτόμετρου που καλύπτει φάσμα από την υπεριώδη έως την εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία. Σε ό,τι αφορά τις επιφανειακές θερμοκρασίες, αυτές καταγράφονται με τη βοήθεια ενός καταγραφικού θερμοκρασιών με θερμοζεύγη, ενώ χρησιμοποιείται και θερμική κάμερα για τη λήψη φωτογραφιών, στις οποίες φαίνεται το θερμοκρασιακό εύρος που έχουμε στην επιφάνεια του κάθε δείγματος. Οι επιφανειακές θερμοκρασίες μας δίνουν μια εικόνα και της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτηρίου (αν σε αυτό χρησιμοποιούταν κάποιο από τα μελετώμενα υλικά), αφού αυτές οι δύο θερμοκρασίες είναι περίπου ανάλογες. Όσο για το δείκτη ανάκλασης, αυτός χρησιμοποιείται αργότερα στη μοντελοποίηση – προσομοίωση της κατάστασης του κτηρίου για κάθε ένα από τα χρησιμοποιούμενα υλικά, καθώς εισάγεται στις ιδιότητες της τελικής στρώσης χρώματος της οροφής του μελετώμενου κτηρίου.

Η προσομοίωση που προαναφέραμε αφορά την κατάσταση ενός κτηρίου μετά τη χρήση των μελετώμενων υλικών και τη σύγκριση αυτής της κατάστασης με την αρχική κατάσταση του κτηρίου, πάντα σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας για τη λειτουργία του. Το κτήριο που εξετάζεται είναι το κτήριο με την κωδική ονομασία K1 του Πολυτεχνείου Κρήτης. Η προσομοίωση που γίνεται είναι ουσιαστικά μια μοντελοποίηση όλων των παραμέτρων πριν και μετά τις αλλαγές, ώστε να δούμε πώς θα συμπεριφερόταν το κτήριο αν οι παρεμβάσεις γίνονταν στην πραγματικότητα. Μεταξύ άλλων, λαμβάνονται υπόψη τα κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του κτηρίου, οι θέσεις των χώρων του και τα μετεωρολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής. Η προσομοίωση γίνεται σε υπολογιστή με τη χρήση κατάλληλου λογισμικού και τα αποτελέσματά της μας δείχνουν αν και κατά πόσο συμφέρει να χρησιμοποιηθούν τα υπό μελέτη υλικά με στόχο την εξοικονόμηση ενέργειας.



## 2. Θεωρητικό μέρος

### 2.1. Υλικά

#### • 2.1.1. Υπέρλευκο Durostick Powder Color

Το υπέρλευκο Durostick Powder Color της εταιρίας Durostick (Εικόνα 1) είναι ένα ανόργανο ματ χρώμα για σοβά ή μπετόν σε μορφή πούδρας. Βάσει των πληροφοριών που δίνει η εταιρία που το παράγει, είναι ιδιαίτερα υδαταπωθητικό και επιτρέπει τη διαπίδυση υδρατμών σε μεγάλο βαθμό, αφού έχει υψηλό δείκτη διαπνοής. Είναι πολύ ανθεκτικό, αντιμυκηχικό, με υψηλή καλυπτικότητα, ενώ δεν περιέχει καθόλου πτητικές οργανικές ενώσεις ή διαλύτες. Έχει ως βάση βινυλικές τροποποιημένες ρητίνες και εξευγενισμένα fillers και δεν είναι τοξικό ούτε εύφλεκτο. Η σύστασή του, σε συνδυασμό με τον υψηλό δείκτη διαπνοής, του προσδίδουν θερμομονωτικές ιδιότητες, βοηθώντας έτσι στην εξοικονόμηση ενέργειας. Στα δείγματα PW.1-3 του πειράματός μας, χρησιμοποιήθηκε σε αναλογία 1 προς 1 (50 % κατ' όγκο δηλαδή) με νερό. Όπου χρησιμοποιήθηκε ως βάση δημιουργίας άλλου χρώματος, η αναλογία σκονών – νερού ήταν πάλι 1 προς 1, απλά μειωνόταν ανάλογα η ποσότητα της σκόνης από αυτό. Για παράδειγμα, στα δείγματα PG.1.1-3, η άλλη χρωστική (πράσινο χρώμα) ήταν σε αναλογία 10 % κατά βάρος (κ.β.) επί του συνολικού βάρους των χρησιμοποιούμενων σκονών. Δηλαδή, στο 50 % κ.ό. του συνόλου των σκονών (αφού το υπόλοιπο 50 % κ.ό. είναι το νερό) έχουμε 10 % κ.β. πούδρα της πράσινης και 90 % κ.β. πούδρα της υπέρλευκης χρωστικής.



Εικόνα 1 - Υπέρλευκο Durostick Powder Color



Εικόνα 2 - Υπόλευκο Durostick Powder Color (βάση δημιουργίας)



Εικόνα 3 - Χρωστική Durocolor Powder-C No. 6

- **2.1.2. Υπόλευκο Durostick Powder Color (βάση δημιουργίας)**

Για το υπόλευκο Durostick Powder Color της εταιρίας Durostick (Εικόνα 2) ισχύουν τα ίδια που προαναφέραμε και για το ομώνυμο υπέρλευκο χρώμα, σχετικά με τη σύσταση και τις ιδιότητές του. Η εταιρία το προτείνει ως βάση δημιουργίας άλλων χρωμάτων σοβά ή σκυροδέματος (σε 96 αποχρώσεις με χρήση των χρωστικών Durocolor Powder-C), ενώ για τις αναλογίες χρήσης του στο πείραμά μας ισχύουν αυτά που προαναφέραμε για το υπέρλευκο χρώμα. Στα δείγματα PW.4-6 χρησιμοποιήθηκε χωρίς κάποια πρόσμιξη με άλλη χρωστική (σε αναλογία 1 προς 1 κατ' όγκο με νερό).

- **2.1.3. Χρωστική Durocolor Powder-C No. 6**

Για τα δείγματα με τις πράσινες αποχρώσεις, χρησιμοποιήθηκε η χρωστική Durocolor Powder-C No. 6 της εταιρίας Durostick (Εικόνα 3). Είναι μια υδατοδιαλυτή χρωστική για σοβά και μπετόν σε μορφή πούδρας και αποτελείται κυρίως από ανόργανα οξείδια σιδήρου, επικαλυμμένα με υδατοδιαλυτές βινυλικές ρητίνες, ενώ είναι ανθεκτική στις υπεριώδεις ακτίνες του ήλιου και στο χρόνο. Αξίζει να αναφερθεί ότι, βάσει των τεχνικών στοιχείων που δίνονται στο αντίστοιχο φυλλάδιο του προϊόντος, η χρωστική αυτή έχει συγκεκριμένο βαθμό κορεσμού στο κονίαμα, πέραν του οποίου δεν επηρεάζεται ικανοποιητικά η ένταση και το βάθος του χρώματος. Στα δείγματά μας, χρησιμοποιήθηκε σε ορισμένες αναλογίες % κατά βάρος και πάντα σε συνδυασμό με μια λευκή βάση (υπόλευκο ή υπέρλευκο Durostick Powder Color, WCM-DMP και NHL-DMP).



Εικόνα 4 - Χρωστικές Marmoline Powder Colour Black (α), Blue (β) και Yellow Ochre (γ)

- **2.1.4. Χρωστικές Marmoline Powder Colour (Black, Blue, Yellow Ochre)**

Τα χρώματα Marmoline Powder Colour της εταιρίας Marmoline είναι φυσικές οικολογικές χρωστικές σε μορφή πούδρας για σοβά ή μπετόν. Προέρχονται από φυσικά οξείδια μετάλλων, διαλύονται εύκολα στο νερό και διατίθενται από την εταιρία σε 8 βασικά χρώματα, με δυνατότητα παρασκευής κονιαμάτων πολλών αποχρώσεων. Στη δική μας περίπτωση, χρησιμοποιήθηκαν τρεις από αυτές τις χρωστικές και συγκεκριμένα οι χρωστικές με χρώμα μαύρο (Black – Εικόνα 4α), μπλε (Blue – Εικόνα 4β) και κίτρινης ώχρας (Yellow Ochre – Εικόνα 4γ). Χρησιμοποιήθηκαν σε αναλογία 30 % κ.β. επί της ποσότητας της υπόλευκης χρωστικής Durostick Powder Color (που χρησιμοποιούταν ως βάση δημιουργίας του χρώματος), όπως αναφέρθηκε παραπάνω για τις υπόλοιπες χρωστικές.

- **2.1.5. Θερμοανακλαστική ορυκτή βαφή Coolit-AP**

Η θερμοανακλαστική ορυκτή βαφή Coolit-AP της εταιρίας Keim (Εικόνα 5) είναι μια ματ βαφή εξωτερικών χώρων σε υγρή μορφή. Αποτελείται αποκλειστικά από ανόργανα συστατικά (πιγμέντα και fillers), βασισμένα σε πυριτικά άλατα (κυρίως στον υδρύαλο πυριτικού καλίου) και με μεγάλη σταθερότητα κατά την έκθεσή τους σε υπεριώδη ακτινοβολία. Δεν περιέχει διαλύτες, συντηρητικά και άλλες επιβλαβείς ενώσεις και είναι ιδιαίτερα ανθεκτική στο ηλιακό φως και στο χρόνο. Χαρακτηρίζεται από υψηλό δείκτη διαπίδυσης υδρατμών και είναι ειδικά σχεδιασμένη για περιβάλλοντα με μεγάλη ηλιοφάνεια, αφού αντανακλά μέρος της υπέρυθρης ακτινοβολίας, την οποία εμποδίζει έτσι να εισέλθει στο κτήριο και να το θερμάνει. Στο τεχνικό φυλλάδιο του προϊόντος, αναφέρεται ότι μπορεί να μειώσει ακόμα και κατά 23 °C την επιφανειακή θερμοκρασία ενός δείγματος σε σχέση με μια συμβατική ακρυλική βαφή, μειώνοντας αντίστοιχα και τις εσωτερικές θερμοκρασίες των κτηρίων, αλλά και τα έξοδα ψύξης και κλιματισμού τους. Δεν είναι εύφλεκτη και διατηρεί αντιμυκηλικά και αντιμυκητιασικές ιδιότητες. Στο πείραμά μας, χρησιμοποιήθηκαν δύο αποχρώσεις της, το μαύρο (κωδ. ca. 9008) και το γκρι (κωδ. 9543), χωρίς κάποια αραιώση.

Εικόνα 5 - Θερμοανακλαστική ορυκτή βαφή Coolit-AP



### • 2.1.6. Kraft Profi Interior

Το Kraft Profi Interior της εταιρίας Kraft Paints (Εικόνα 6) είναι ένα πλαστικό ματ χρώμα υδατικής διασποράς για χρήση σε εσωτερικούς χώρους. Έχει χαμηλή περιεκτικότητα σε πτητικές οργανικές ενώσεις, υψηλή καλυπτικότητα και ενδείκνυται για χώρους στους οποίους γίνεται συχνή επαναβαφή. Εδώ χρησιμοποιήθηκε στη λευκή του απόχρωση ως δείγμα αναφοράς, ούτως ώστε να γίνουν κάποιες συγκρίσεις με κάποια από τα υπόλοιπα δείγματα.



Εικόνα 6 - Kraft Profi Interior

### • 2.1.7. WCM – DMP (A2)

Η πούδρα αυτή είναι ένα μίγμα αποτελούμενο από λευκό τσιμέντο Πόρτλαντ (Portland White Cement – WCM) και σκόνη δολομιτικού μαρμάρου (Dolomite Marble Powder – DMP), προερχόμενη από την Καβάλα, σε αναλογία 1 προς 2 (1 μέρος WCM ανά 2 μέρη DMP), με προσθήκη 1 μέρους σκόνης υδρασβέστου (hydrated lime). Η σκόνη υδρασβέστου (υδροξείδιο του ασβεστίου) λειτουργεί ως συνδετικό υλικό (binder) στο παραγόμενο κονίαμα. Ο κωδικός A2 αναφέρεται σε κωδικοποίηση που έγινε σε προηγούμενη εργασία και εδώ απλώς χρησιμοποιείται για συντομία. Το χρώμα της πούδρας WCM-DMP είναι λευκό και χρησιμοποιείται και ως χρωστική (μόνη της δηλαδή), αλλά και ως βάση δημιουργίας άλλων έγχρωμων κονιαμάτων.

### • 2.1.8. NHL – DMP (A6)

Η πούδρα αυτή είναι ένα μίγμα αποτελούμενο από την ίδια σκόνη δολομιτικού μαρμάρου (DMP) που προαναφέραμε και από σκόνη φυσικής υδραυλικής ασβέστου (NHL), σε αναλογία 2 προς 1 (2 μέρη DMP ανά 1 μέρος NHL), με προσθήκη 1 μέρους σκόνης υδρασβέστου, η οποία λειτουργεί και εδώ ως συνδετικό στοιχείο μεταξύ των υλικών του παραγόμενου κονιάματος. Ο κωδικός A6 αναφέρεται πάλι σε προηγούμενη εργασία και χρησιμοποιείται απλά για συντομία. Το χρώμα της πούδρας NHL-DMP είναι λευκό και χρησιμοποιείται και αυτό και ως χρωστική, αλλά και ως βάση για τη δημιουργία άλλων έγχρωμων δειγμάτων.

## 2.2. Όργανα

### • 2.2.1. Φασματοφωτόμετρο Cary 5000 UV-Vis-NIR

Για τις μετρήσεις της ποσοστιαίας ανακλαστικότητας των δειγμάτων μας χρησιμοποιήθηκε το φασματοφωτόμετρο Cary 5000 UV-Vis-NIR Spectrophotometer (Εικόνα 7) της εταιρίας Agilent Technologies, με προσαρτημένο το ειδικό πρόσθετο πακέτο DRA 2500 (Diffuse Reflectance Accessories 2500 [Labsphere] – Εικόνα 8), που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της διάχυτης ανάκλασης. Το Cary 5000 UV-Vis-NIR Spectrophotometer είναι ένα φασματοφωτόμετρο διπλής δέσμης που καλύπτει ένα ευρύ φάσμα, το οποίο ξεκινά από την περιοχή της υπεριώδους ακτινοβολίας (175 nm) και φτάνει έως την περιοχή της εγγύς υπερύθρου ακτινοβολίας (3300 nm), με ακρίβεια μέτρησης έως και 0,2 nm (ανάλογα με τις ρυθμίσεις μέτρησης που γίνονται). Το όργανο έχει ως πηγές φωτός – ακτινοβολίας λάμπες δευτερίου (175 – 330 nm) και αλογόνου (330 – 3300 nm), καθώς και δύο ανιχνευτές, τον R928 PMT για την περιοχή 175 – 800 nm (UV-Vis) και τον Peltier Cooled PbSmart για την περιοχή 800 – 3300 nm (NIR). Στην περίπτωσή μας, οι μετρήσεις αφορούσαν μια περιοχή του φάσματος αυτού που εκτείνεται από τα 200 nm έως τα 2500 nm (ούτως ή άλλως, με τη χρήση του πακέτου DRA 2500 [external], το αρχικώς αναφερόμενο φάσμα του οργάνου περιορίζεται στο προαναφερθέν). Μετά το πέρας κάθε μέτρησης, το όργανο μάς δίνει μια σειρά μετρήσεων της ανακλαστικότητας του εκάστοτε δείγματος (σε ποσοστό επί τοις εκατό) συναρτήσει του μήκους κύματος της ακτινοβολίας (σε nm).



Εικόνα 7 - Φασματοφωτόμετρο Cary 5000 UV-Vis-NIR Spectrophotometer



Εικόνα 8 -  
Πακέτο DRA

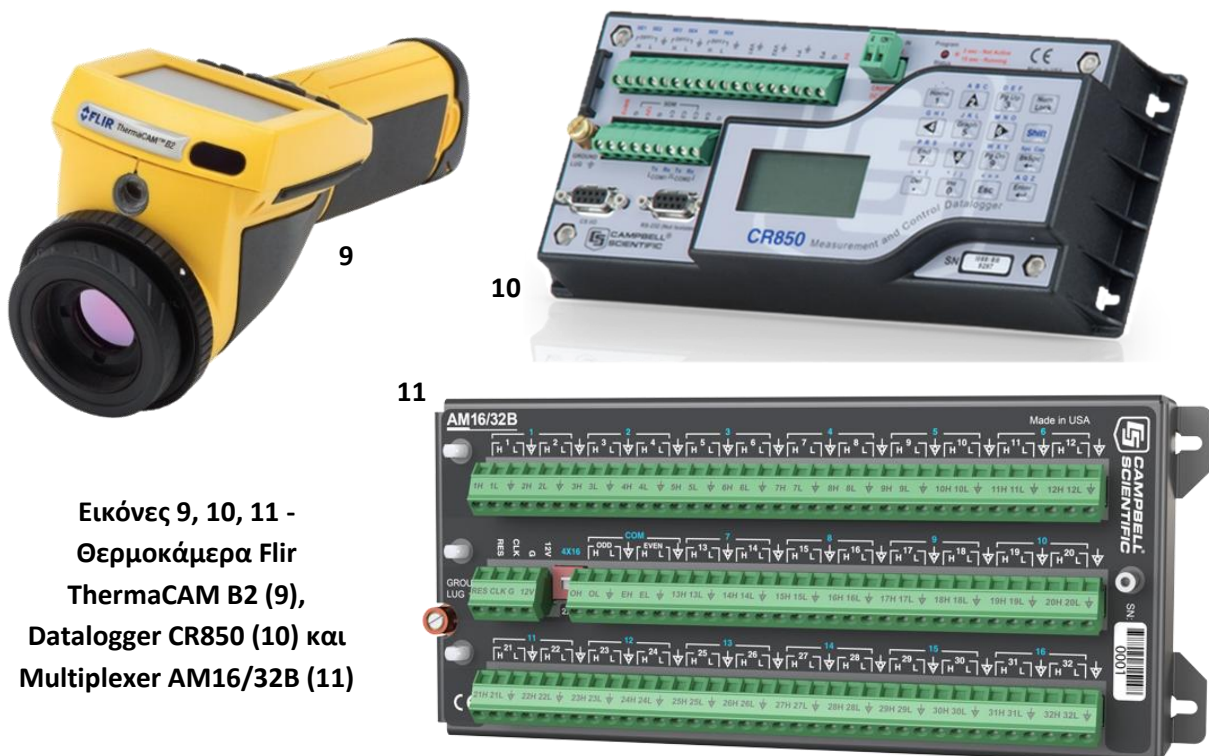


### • 2.2.2. Θερμική κάμερα Flir ThermoCAM B2

Σε ό,τι αφορά τη λήψη φωτογραφιών με τη θερμική κάμερα (θερμοκάμερα), η κάμερα που χρησιμοποιήθηκε ήταν η Flir ThermoCAM B2 (Εικόνα 9) και ανήκει, όπως και όλα τα υπόλοιπα χρησιμοποιούμενα όργανα, στον εξοπλισμό του εργαστηρίου. Η προαναφερόμενη θερμοκάμερα είναι μια υπέρυθρη κάμερα που λειτουργεί σε μήκη κύματος που κυμαίνονται από 7,5 έως 13  $\mu\text{m}$ , τραβώντας φωτογραφίες με εύρος θερμοκρασιακής ένδειξης από -20 έως 100 βαθμούς Κελσίου και με ακρίβεια 0,1  $^{\circ}\text{C}$ . Έχει οθόνη 2,5 ιντσών (LCD) και τραβά φωτογραφίες με ανάλυση 320 X 240 pixels, στις οποίες φαίνονται οι επιφανειακές θερμοκρασίες του εκάστοτε δείγματος.

### • 2.2.3. Καταγραφικό θερμοκρασιών CR850 (datalogger & multiplexer)

Το καταγραφικό θερμοκρασιών (datalogger) που χρησιμοποιήθηκε στην περίπτωση μας είναι το CR850 Measurement and Control Datalogger (Εικόνα 10) της εταιρίας Campbell Scientific, στο οποίο είχε συνδεθεί το AM16/32B Multiplexer (Εικόνα 11) της ίδιας εταιρίας, ώστε να μπορούν να μετρηθούν όλα τα μελετώμενα δείγματα, καθώς έτσι μπορούν να γίνονται ταυτόχρονες μετρήσεις για αριθμό έως και 32 θερμοζευγών (thermocouples). Τα δεδομένα που καταγράφονται αποθηκεύονται στη μνήμη του οργάνου, υπό μορφή πινάκων (χρονική στιγμή – θερμοκρασία), και λαμβάνονται αργότερα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή ώστε να επεξεργαστούν.



Εικόνες 9, 10, 11 -  
Θερμοκάμερα Flir  
ThermaCAM B2 (9),  
Datalogger CR850 (10) και  
Multiplexer AM16/32B (11)

### **2.3. Λογισμικό**

Το λογισμικό που χρησιμοποιείται στην παρούσα εργασία περιλαμβάνει πολλές διαφορετικές εφαρμογές. Για το φασματοφωτόμετρο, χρησιμοποιείται η εφαρμογή Scan από το πακέτο προγραμμάτων της κατασκευάστριας εταιρίας (στο φάκελο Cary WinUV), μέσω της οποίας, και με τη χρήση της μεθόδου 2500 200 DRA Reflectance.MSW, γίνονται οι μετρήσεις της ποσοστιαίας ανακλαστικότητας συναρτήσει του μήκους κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν από τις μετρήσεις έγινε στο πρόγραμμα υπολογιστικών φύλλων Microsoft Excel, στο οποίο έγιναν και όλοι οι υπόλοιποι υπολογισμοί και οι συγκρίσεις που χρειάστηκαν στην εργασία και οι υπολογισμοί των δεικτών ανάκλασης των δειγμάτων (μέσω του προτύπου ASTM E903-12 (2012) και με τη χρήση του φάσματος ASTM G173-03 (2012)). Επίσης, στο Microsoft Excel κατασκευάστηκαν όλα τα διαγράμματα και οι πίνακες που περιέχονται στην εργασία. Σε ό,τι αφορά στις φωτογραφίες των δειγμάτων με τη θερμική κάμερα, αυτές επεξεργάστηκαν με την εφαρμογή FLIR Tools, η οποία παρέχεται από την κατασκευάστρια εταιρία. Στο κομμάτι της προσομοίωσης, χρησιμοποιούνται τα προγράμματα SketchUp (έκδοση Make του έτους 2016), EnergyPlus (έκδοση 8.4.0) και OpenStudio (έκδοση 1.11.0). Το πρόγραμμα SketchUp είναι ένα πρόγραμμα σχεδιασμού – μοντελοποίησης χώρων και κτηρίων σε 2 ή 3 διαστάσεις και εδώ χρησιμοποιείται για να έχουμε μια οπτική εικόνα του κτηρίου στο οποίο κάνουμε την προσομοίωση (κτήριο K1 του Πολυτεχνείου Κρήτης). Το EnergyPlus είναι ένα λογισμικό που βοηθά στη μοντελοποίηση και προσομοίωση των απαιτήσεων και καταναλώσεων ενός κτηρίου σε ενέργεια και νερό, αφού κάνει όλους τους απαραίτητους υπολογισμούς για τα σχετικά φορτία. Στην περίπτωσή μας, χρησιμοποιείται για να γίνουν οι υπολογισμοί των φορτίων για τη θέρμανση, την ψύξη, το φωτισμό και τη λειτουργία του ηλεκτρομηχανολογικού εξοπλισμού, με τα αποτελέσματα των υπολογισμών αυτών να φαίνονται στο OpenStudio. Το OpenStudio ουσιαστικά συνδέει τα δύο προαναφερθέντα προγράμματα (SketchUp και EnergyPlus) και μέσα σε αυτό γίνονται οι αλλαγές που θέλουμε να κάνουμε κατά την προσομοίωση μας, δηλαδή οι αλλαγές των χρωμάτων στην οροφή του εξεταζόμενου κτηρίου. Αφού γίνουν οι αλλαγές που θέλουμε στο Openstudio, γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί για τα φορτία στο EnergyPlus, τα αποτελέσματα εμφανίζονται στο OpenStudio (σε μορφή αριθμητική αλλά και γραφικών παραστάσεων) και οπτικοποιούνται πάνω στο κτήριο στο SketchUp.

## 2.4. Κτήριο

Το κτήριο που μας ενδιαφέρει είναι, όπως προείπαμε, το κτήριο με κωδικό Κ1 του Πολυτεχνείου Κρήτης (Εικόνα 12), στο οποίο στεγάζεται από το 1997 μέρος των εγκαταστάσεων του Τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του ιδρύματος. Οι διαστάσεις του κτηρίου είναι 86,4 m (μήκος), 15,2 m (πλάτος) και 12,0 m (ύψος), ενώ περιλαμβάνει 2032,21 m<sup>2</sup> κλιματιζόμενων χώρων και 1135,43 m<sup>2</sup> μη κλιματιζόμενων χώρων. Έχει τρεις ορόφους, καθένας εκ των οποίων χωρίζεται σε δύο ίσα μέρη με ένα μεγάλο αίθριο με θόλο στην πάνω του πλευρά. Στο ισόγειο του κτηρίου στεγάζονται 14 εργαστήρια, 3 γραφεία, 2 μηχανολογικοί χώροι, ασανσέρ, σκάλες επικοινωνίας με τον πρώτο όροφο και τουαλέτες. Στον πρώτο όροφο υπάρχουν 17 γραφεία, η αίθουσα συνεδριάσεων του τμήματος, 2 μηχανολογικοί χώροι, ασανσέρ, σκάλες για την πρόσβαση στους υπόλοιπους ορόφους, τουαλέτες και ένα δωμάτιο που χρησιμοποιείται ως κουζίνα. Ο δεύτερος όροφος περιλαμβάνει κυρίως χώρους με μηχανολογικό εξοπλισμό, ενώ μέρος του ορόφου χρησιμοποιείται ως εργαστηριακός και βοηθητικός χώρος. Οι ενεργειακές ανάγκες του κτηρίου καλύπτονται από το δημόσιο δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως έχει προαναφερθεί, το κτήριο θα χρησιμοποιηθεί στη διαδικασία της προσομοίωσης, αφού στην οροφή του θα γίνουν παρεμβάσεις (στην τελική εξωτερική στρώση χρώματος που θα προστεθεί) με χρήση των δεδομένων που προέκυψαν από τη μελέτη των δειγμάτων μας.



Εικόνα 12 - Κτήριο Κ1 (βόρεια άποψη)



### 3. Πειραματικό μέρος

#### 3.1. Παρασκευή δειγμάτων

Τα δείγματα που προετοιμάστηκαν ήταν συνολικά 48, ενώ χρησιμοποιήθηκαν και 2 πλακίδια χωρίς χρώμα, ως πρότυπα δείγματα (δείγματα 0.UP [πάνω πλευρά] και 0.DOWN [κάτω πλευρά]). Ουσιαστικά, παρασκευάστηκαν 16 διαφορετικά δείγματα, σε 3 πλακίδια το καθένα. Σε κάθε δείγμα δόθηκε ένας κωδικός αντίστοιχος με το χρώμα που περιείχε και ανάλογα με το αν αυτό ήταν σε υγρή μορφή ή σε μορφή σκόνης. Τα δείγματα με τους κωδικούς τους και τα στοιχεία για την αναλυτική περιγραφή της χρωστικής που χρησιμοποιείται κάθε φορά περιέχονται στον Πίνακα 2.

Για την παρασκευή των δειγμάτων, αρχικά αγοράστηκαν όλα τα υλικά και κόπηκαν οι πλάκες πεζοδρομίου σε μικρότερα πλακίδια. Έπειτα, αποφασίστηκε η ποσότητα των δειγμάτων που θα γίνουν και οι αναλογίες χρωστικής που αυτά θα έχουν, ενώ υπολογίστηκαν και οι ποσότητες χρωστικών που προέκυψαν από αυτές τις αναλογίες, οι οποίες φαίνονται στον Πίνακα 1. Κατόπιν, ζυγίστηκαν σε ζυγό ακριβείας ( $\pm 0,001$  gr) οι προαναφερθείσες ποσότητες χρωστικών ουσιών και ετοιμάστηκαν τα χρώματα (μόνο οι χρωστικές σε μορφή σκόνης, αφού τα υγρά χρώματα ήταν φυσικά έτοιμα), τα οποία μετά από καλή ανάδευση (και αφού η επιφάνεια των πλακιδίων καθαρίστηκε από τη σκόνη κλπ.), απλώθηκαν με μικρές σπάτουλες στα πλακίδια με τρόπο ώστε να καλύπτεται καλά ολόκληρη η πάνω επιφάνειά τους. Το ίδιο έγινε και για τα τρία υγρά χρώματα. Τέλος, σε κάθε πλακίδιο – δείγμα γράφτηκε με ανεξίτηλο μαρκαδόρο ο κωδικός του και τα δείγματα αφέθηκαν να στεγνώσουν καλά για μερικές ημέρες.

Δείγμα	Ποσότητα βάσης	Βάση (λευκή χρωστική)	Ποσότητα χρωστικής	Χρωστική
PG.1	17,461 gr	Durostick Powder Color (υπέρλευκο)	1,770 gr	Durostick Durocolor Powder-C No. 6 (10 %)
PG.3	14,616 gr	Durostick Powder Color (υπέρλευκο)	4,398 gr	Durostick Durocolor Powder-C No. 6 (30 %)
PG.3	12,389 gr	Durostick Powder Color (υπόλευκο)	3,752 gr	Durostick Durocolor Powder-C No. 6 (30 %)
PY.3	10,544 gr	Durostick Powder Color (υπόλευκο)	3,181 gr	Marmoline Powder Colour Yellow Ochre (30 %)
PB.3	10,778 gr	Durostick Powder Color (υπόλευκο)	3,238 gr	Marmoline Powder Colour Black (30 %)
PBL.3	12,454 gr	Durostick Powder Color (υπόλευκο)	3,793 gr	Marmoline Powder Colour Blue (30 %)
PB.3*	14,375 gr	Durostick Powder Color (υπόλευκο)	4,369 gr	Marmoline Powder Colour Black (30 %)
PG.5	11,498 gr	Durostick Powder Color (υπέρλευκο)	5,741 gr	Durostick Durocolor Powder-C No. 6 (50 %)
A2G	15,193 gr	WCM-DMP (A2)	4,561 gr	Durostick Durocolor Powder-C No. 6 (30 %)
A6G	11,440 gr	NHL-DMP (A6)	3,456 gr	Durostick Durocolor Powder-C No. 6 (30 %)
(οι παραπάνω ποσότητες αφορούν και μοιράστηκαν στα τρία πλακίδια του εκάστοτε δείγματος)				

Πίνακας 1 - Ποσότητες χρωστικών στα δείγματα

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΡΜΟΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΟ ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

α/α	Κωδικός	Ονομασία - σύσταση βαφής - χρώματος	Απόχρωση	Είδος	Πλακίδιο
1	CB.1	Keim Coolit-AP (θερμοανакλαστική βαφή)	μαύρο	υγρό	1
2	CB.2				2
3	CB.3				3
4	CW.1	Kraft Profi Interior (εσωτερικών χώρων)	λευκό	υγρό	1
5	CW.2				2
6	CW.3				3
7	CG.1	Keim Coolit-AP (θερμοανакλαστική βαφή)	γκρι	υγρό	1
8	CG.2				2
9	CG.3				3
10	PW.1	Durostick Powder Color (υπέρλευκο - μπλε ετικέτα)	λευκό	σκόνη	1
11	PW.2				2
12	PW.3				3
13	PG.1.1	Durostick Durocolor Powder-C No. 6 (10 % κ.β.) + Durostick Powder Color (υπέρλευκο - μπλε ετικέτα)	πράσινο	σκόνη	1
14	PG.1.2				2
15	PG.1.3				3
16	PG.3.1	Durostick Durocolor Powder-C No. 6 (30 % κ.β.) + Durostick Powder Color (υπέρλευκο - μπλε ετικέτα)	πράσινο	σκόνη	1
17	PG.3.2				2
18	PG.3.3				3
19	PW.4	Durostick Powder Color (λευκό/βάση - κόκκινη ετικέτα)	λευκό	σκόνη	1
20	PW.5				2
21	PW.6				3
22	PG.3.4	Durostick Durocolor Powder-C No. 6 (30 % κ.β.) + Durostick Powder Color (λευκό/βάση - κόκκινη ετικέτα)	πράσινο	σκόνη	1
23	PG.3.5				2
24	PG.3.6				3
25	PY.3.1	Marmoline Powder Colour Yellow Ochre (30 % κ.β.) + Durostick Powder Color (λευκό/βάση - κόκκινη ετικέτα)	κίτρινο	σκόνη	1
26	PY.3.2				2
27	PY.3.3				3
28	PBL.3.1	Marmoline Powder Colour Blue (30 % κ.β.) + Durostick Powder Color (λευκό/βάση - κόκκινη ετικέτα)	μπλε	σκόνη	1
29	PBL.3.2				2
30	PBL.3.3				3
31	PB.3.1	Marmoline Powder Colour Black (30 % κ.β.) + Durostick Powder Color (λευκό/βάση - κόκκινη ετικέτα)	μαύρο	σκόνη	1
32	PB.3.2				2
33	PB.3.3				3
34	PG.5.1	Durostick Durocolor Powder-C No. 6 (50 % κ.β.) + Durostick Powder Color (υπέρλευκο - μπλε ετικέτα)	πράσινο	σκόνη	1
35	PG.5.2				2
36	PG.5.3				3
37	A2.1	WCM-DMP (White Cement - Dolomite Marble Powder) [A2]	λευκό	σκόνη	1
38	A2.2				2
39	A2.3				3
40	A2G.1	WCM-DMP (White Cement - Dolomite Marble Powder) + Durostick Durocolor Powder-C No. 6 (30 % κ.β.)	πράσινο	σκόνη	1
41	A2G.2				2
42	A2G.3				3
43	A6.1	NHL-DMP (Natural Hydraulic Lime - DMP) [A6]	λευκό	σκόνη	1
44	A6.2				2
45	A6.3				3
46	A6G.1	NHL-DMP (Natural Hydraulic Lime - DMP) + Durostick Durocolor Powder-C No. 6 (30 % κ.β.)	πράσινο	σκόνη	1
47	A6G.2				2
48	A6G.3				3

**Πίνακας 2 - Δείγματα**

Παρακάτω (Εικόνα 13) φαίνονται φωτογραφίες των δειγμάτων μας:



Εικόνα 13 - Φωτογραφίες δειγμάτων

(α: 0.UP, β: 0.DOWN, γ: PW.1, δ: PW.4, ε: PG.1.1, ζ: PG.3.1, η: PG.5.1, θ: PG.3.4, ι: PB.3.1, κ: PB.3.1\*, λ: PY.3.1, μ: PBL.3.1, ν: A2.3, ξ: A2G.1, ο: A6.1, π: A6G.1, ρ: CB.1, σ: CG.1, τ: CW.1)

### **3.2. Μετρήσεις φασματοφωτόμετρου**

Για τις μετρήσεις ποσοστιαίας ανακλαστικότητας των δειγμάτων χρησιμοποιήσαμε, όπως προείπαμε, το όργανο Cary 5000 UV-Vis-NIR Spectrophotometer με προσαρτημένο σε αυτό το πακέτο DRA 2500, που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ανακλαστικότητας συναρτήσεως του μήκους κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η διαδικασία που ακολουθείται για να γίνουν οι μετρήσεις αυτές περιγράφεται παρακάτω:

- 1) Ανοίγουμε το όργανο 30 λεπτά προτού ξεκινήσουμε τις μετρήσεις για να προετοιμαστεί (αυτόματα) ώστε να πάρει τις μετρήσεις.
- 2) Μετά την πάροδο των 30 λεπτών, ανοίγουμε στον υπολογιστή την εφαρμογή Scan από το φάκελο Cary WinUV, μέσω της οποίας γίνονται οι μετρήσεις της ανακλαστικότητας.
- 3) Από το μενού File, κάνουμε κλικ στην επιλογή Open Method και επιλέγουμε τη μέθοδο 2500 200 DRA Reflectance.MSW.
- 4) Όταν φορτωθεί η μέθοδος, κάνουμε κλικ στην επιλογή Setup και στο παράθυρο που μας ανοίγει επιλέγουμε το Baseline και, μέσα στο ομώνυμο παράθυρο διαλόγου, την καρτέλα Zero/Baseline Correction, ώστε το όργανο να κάνει μια αυτόματη βαθμονόμηση (calibration) για το 0 % και το 100 % της ανακλαστικότητας.
- 5) Τοποθετούμε με προσοχή τα δύο αριθμημένα πρότυπα δείγματα (standards) στις θέσεις δεξιά (#1) και αριστερά (#2), προσέχοντας παράλληλα οι επιφάνειες τους να είναι καθαρές (χωρίς σκόνη κλπ.).
- 6) Κάνουμε κλικ στην επιλογή Baseline για να γίνει μέτρηση για το 100 % της ανακλαστικότητας και, αφού τελειώσει αυτή η μέτρηση (κάθε μέτρηση διαρκεί περίπου 3 λεπτά), ανοίγουμε το κάλυμμα του οργάνου και τοποθετούμε ένα αδιαφανές κάλυμμα μαύρου χρώματος μεταξύ της δέσμης και του πρότυπου δείγματος που έχουμε τοποθετήσει στην αριστερή θέση (#2), ώστε να κάνουμε τη μέτρηση για το 0 % της ανακλαστικότητας.
- 7) Αφού γίνει η μέτρηση, αφαιρούμε το κάλυμμα και το πρότυπο δείγμα που βρίσκεται στην αριστερή θέση (#2) και πατάμε το Start (το άλλο πρότυπο δείγμα (#1) παραμένει στη δεξιά θέση).
- 8) Στο παράθυρο που μας ανοίγει, αποθηκεύουμε τα δεδομένα όπου εμείς θέλουμε (σε αρχείο επέκτασης .DSW) και βάζουμε το δείγμα που θέλουμε να μετρήσουμε στην αριστερή θέση, γράφοντας το όνομά του στο παράθυρο που μας έχει ανοίξει η εφαρμογή και πατώντας OK, ώστε να ξεκινήσει η μέτρηση.

- 9) Όταν τελειώσει η μέτρηση, αλλάζουμε δείγμα στην αριστερή θέση του οργάνου και όνομα δείγματος στο παράθυρο που μας έχει ανοίξει, αν θέλουμε να μετρήσουμε και κάποιο άλλο δείγμα, αλλιώς κάνουμε κλικ στην επιλογή Finish.
- 10) Για να αποθηκεύσουμε τα δεδομένα των μετρήσεων, επιλέγουμε από το μενού File την επιλογή Save data as και αποθηκεύουμε τα δεδομένα σε αρχείο με επέκταση .BSW, ενώ, από το ίδιο μενού, κάνουμε κλικ στην επιλογή Export report (\*.csv) για να αποθηκεύσουμε τα δεδομένα υπό μορφή αναφοράς σε αρχείο επέκτασης .csv (comma separated values), το οποίο θα ανοίξουμε αργότερα στο πρόγραμμα υπολογιστικών φύλλων Microsoft Excel για να κάνουμε την επεξεργασία των δεδομένων των μετρήσεών μας.

### **3.3. Υπολογισμός δείκτη ανάκλασης**

Ο δείκτης ανάκλασης (SR – Solar Reflectance) των δειγμάτων υπολογίζεται μέσω του προτύπου ASTM E903-12 (Standard test method for solar absorptance, reflectance, and transmittance of materials using integrating spheres - 2012) και με τη χρήση του φάσματος ASTM G173-03 (Standard Tables for Reference Solar Spectral Irradiances: Direct Normal and Hemispherical on 37° Tilted Surface - 2012). Χρησιμοποιούνται τα δεδομένα από τις μετρήσεις της ποσοστιαίας ανάκλασης συναρτήσει του μήκους κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας, οι οποίες έγιναν με τον τρόπο που μόλις πριν αναφέραμε. Τα δεδομένα εισάγονται στη φόρμα του προτύπου σε περιβάλλον Microsoft Excel και, κατόπιν αυτόματων υπολογισμών, λαμβάνονται τα αποτελέσματα για το δείκτη ανάκλασης. Τα αποτελέσματα αυτά περιλαμβάνουν τόσο τιμές για τις επιμέρους περιοχές του φάσματος (υπεριώδης, ορατή και εγγύς υπέρυθρη), όσο και για ολόκληρο το φάσμα.

### **3.4. Μετρήσεις θερμικής κάμερας**

Η διαδικασία λήψης των φωτογραφιών με τη θερμική κάμερα είναι σχετικά απλή. Απλώς ανοίγουμε τη θερμοκάμερα, εστιάζουμε πάνω στο δείγμα που θέλουμε να μετρήσουμε (με τη βοήθεια της οθόνης υγρών κρυστάλλων), τραβάμε τη φωτογραφία πατώντας τη σκανδάλη της κάμερας και την αποθηκεύουμε στη μνήμη της κάμερας με χρήση των κατάλληλων εντολών και πλήκτρων. Αργότερα, μεταφέρουμε με καλώδιο τις φωτογραφίες σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για την περαιτέρω επεξεργασία τους με το ειδικό λογισμικό της κάμερας (πακέτο εφαρμογών Flir Tools).

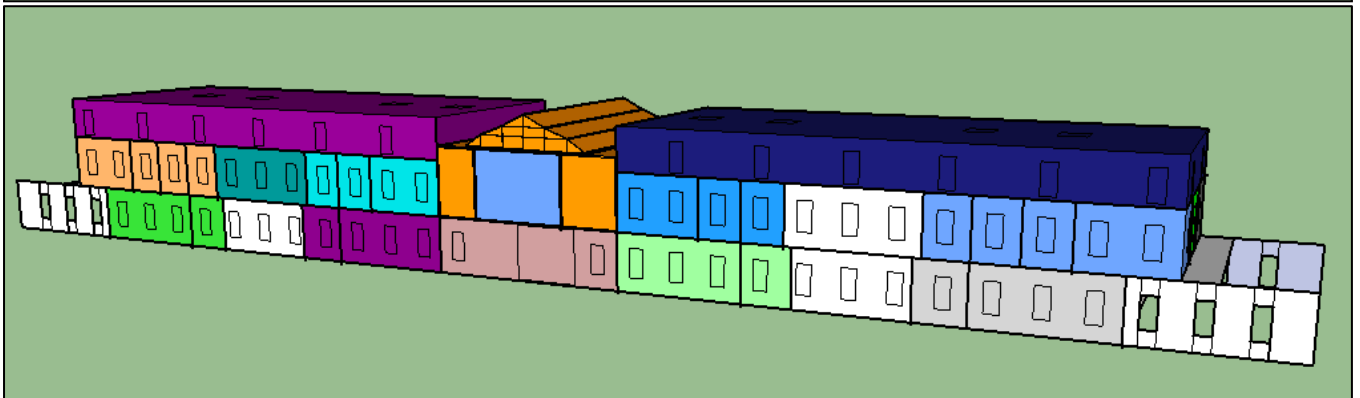
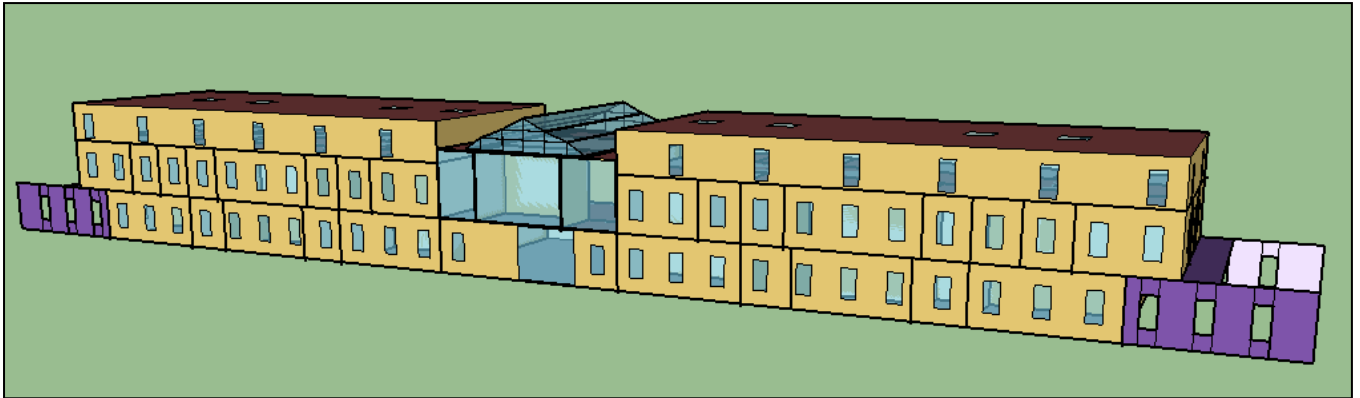
### **3.5. Προετοιμασία & μετρήσεις καταγραφικού θερμοκρασιών**

Σχετικά με το καταγραφικό θερμοκρασιών, το datalogger δηλαδή, αυτό συνδέεται αρχικά με το multiplexer που προαναφέραμε στο οποίο συνδέονται τα θερμοζεύγη που χρησιμοποιούνται για να γίνουν οι μετρήσεις. Τα θερμοζεύγη αποτελούνται από δύο ειδικά καλώδια, τα οποία συνδέονται στη μία άκρη τους στις δύο υποδοχές της κάθε θέσης του multiplexer (H: high και L: low) και στην άλλη άκρη ενώνονται μεταξύ τους, ώστε να δημιουργηθεί κύκλωμα και να γίνει η μέτρηση της επιφανειακής θερμοκρασίας. Η άκρη αυτή του θερμοζεύγους τοποθετείται στην επιφάνεια κάθε δείγματος, με τη βοήθεια ενός μικρού κομματιού φελιζόλ, στερεωμένου με σύρμα (ώστε να γίνεται επαφή του άκρου του θερμοζεύγους με την επιφάνεια του πλακιδίου). Όταν ολοκληρωθεί η σύνδεση όλων των δειγμάτων, θέτουμε σε λειτουργία το όργανο και ξεκινά η καταγραφή των θερμοκρασιών. Το datalogger διαθέτει μπαταρία για τη λειτουργία του, αλλά μπορεί να συνδεθεί και με τροφοδοσία συνεχούς ρεύματος από το δίκτυο. Οι μετρήσεις λαμβάνονται με ένα σταθερό χρονικό βήμα, το οποίο μπορεί να ρυθμιστεί ανά περίπτωση. Στη δική μας έρευνα, το όργανο έπαιρνε μετρήσεις επιφανειακής θερμοκρασίας των δειγμάτων ανά 10 λεπτά για περίπου επτά ημέρες (από 18/7/2016 15:50 έως 26/7/2016 10:30).

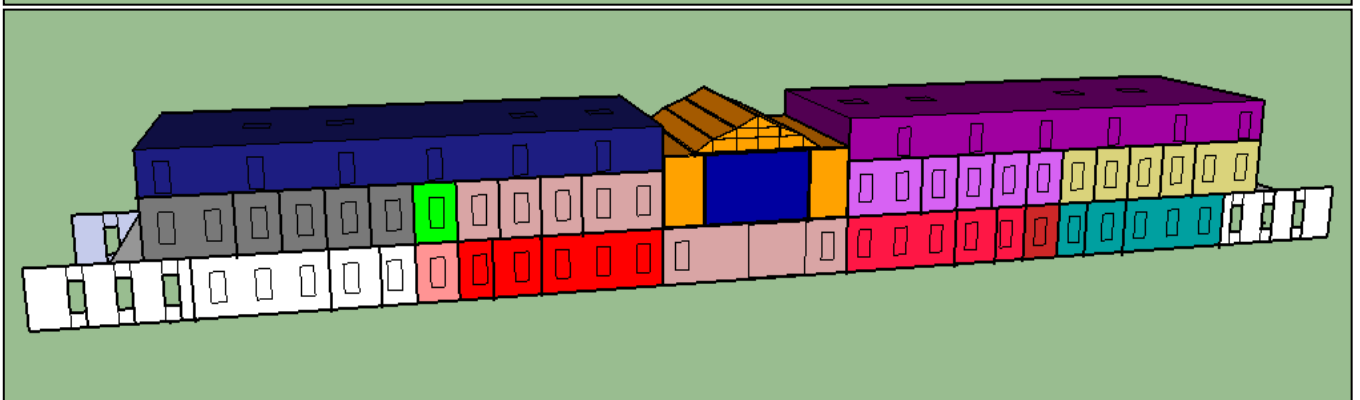
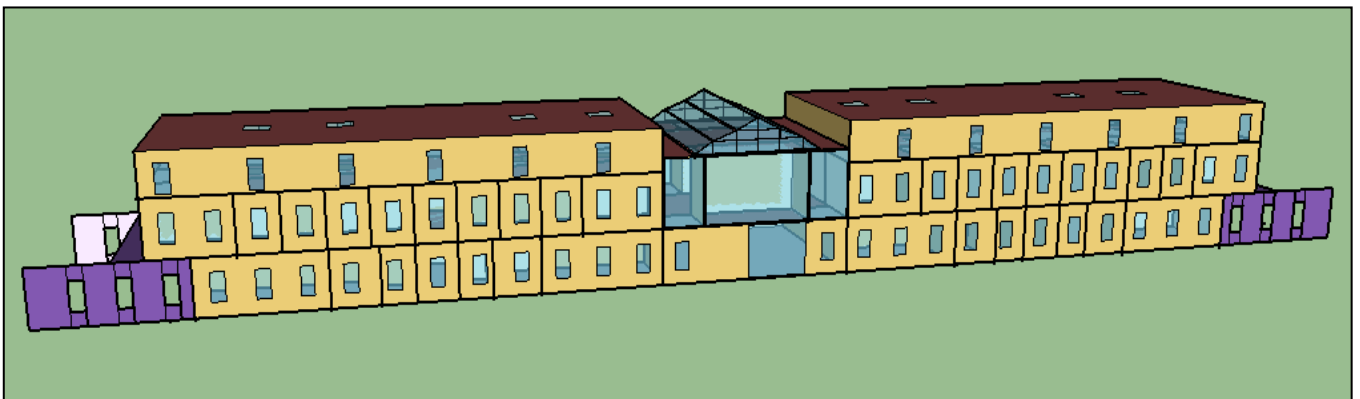
### **3.6. Προσομοίωση**

Η μοντελοποίηση του κτηρίου K1 που μελετάμε έχει γίνει με τη βοήθεια των προγραμμάτων Sketch Up και OpenStudio, ενώ οι υπολογισμοί γίνονται μέσω του προγράμματος Energy Plus. Το κτήριο έχει χωριστεί σε 30 θερμικές ζώνες (thermal zones) για την καλύτερη και ορθότερη προσέγγιση των ενεργειακών απαιτήσεων και καταναλώσεων. Ο διαχωρισμός έχει γίνει βάσει διαφόρων κριτηρίων. Πιο συγκεκριμένα, τα κριτήρια αυτά είναι κυρίως ο προσανατολισμός του κάθε χώρου στο κτήριο (βορράς, νότος κλπ.), η θέση του (όροφος κλπ.) και η λειτουργία του (εργαστήριο, γραφείο κλπ.). Στο ισόγειο του κτηρίου έχουμε 13 θερμικές ζώνες (ζώνες 1, 2, 3, 4, 5, 6, 14, 18, 19, 20, 21, 22 και 23), στον πρώτο όροφο 14 (ζώνες 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 17, 24, 25, 26, 27, 28 και 29) και στο δεύτερο όροφο 2 (ζώνες 13 και 30), ενώ μια θερμική ζώνη (η ζώνη 16) εκτείνεται από τον πρώτο έως και το δεύτερο όροφο και περιλαμβάνει το θόλο που υπάρχει στο κέντρο του κτηρίου. Οι θερμικές ζώνες διακρίνονται και στο πρόγραμμα Sketch Up (Εικόνες 14 και 15), με διαφορετικό χρώμα η κάθε μία, ενώ στο OpenStudio φαίνονται τα στοιχεία κάθε ζώνης ξεχωριστά.





Εικόνες 14 (πάνω) & 15 (κάτω) - Κτήριο K1 σε περιβάλλον SketchUp με τις θερμικές ζώνες



Σε ό,τι αφορά τα χαρακτηριστικά του κτηρίου, αυτά διακρίνονται σε κατασκευαστικά και λειτουργικά. Τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά αφορούν τα υλικά και τον τρόπο κατασκευής των διαφόρων δομικών στοιχείων των επιμέρους κατασκευών του κτηρίου (τοίχοι, παράθυρα κλπ.). Τα λειτουργικά χαρακτηριστικά έχουν να κάνουν με τη χρήση του κάθε χώρου (δηλαδή αν ο χώρος αυτός λειτουργεί ως γραφείο, εργαστήριο κλπ., τότε λειτουργεί, τι εξοπλισμό περιέχει κλπ.). Τα χαρακτηριστικά αυτά (κατασκευαστικά και λειτουργικά) καθορίζουν επί της ουσίας τις ενεργειακές ανάγκες, άρα και τις καταναλώσεις ενέργειας που θα έχουμε κατά τη λειτουργία του κτηρίου, και αποτελούν την υπάρχουσα κατάσταση του κτηρίου, στην οποία θα αναφερόμαστε παρακάτω όταν θα λαμβάνουν χώρα οι παρεμβάσεις μας στο κτήριο. Οι παρεμβάσεις αυτές θα αφορούν μόνο την οροφή του κτηρίου (την οροφή του δευτέρου ορόφου δηλαδή). Επί της ουσίας, η μόνη αλλαγή που θα γίνεται θα αφορά στο χρώμα που θα μπαίνει ως τελικό στρώμα στην οροφή του κτηρίου. Επομένως, όλες οι αλλαγές που θα γίνουν έχουν να κάνουν μόνο με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κτηρίου στις θερμικές ζώνες 13 και 30.

Σχετικά με τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά του κτηρίου, μας ενδιαφέρουν επί της ουσίας μόνο αυτά της οροφής του δευτέρου ορόφου (της οροφής του κτηρίου δηλαδή), αφού είναι το μοναδικό τμήμα του κτηρίου που υφίσταται αλλαγές. Στην αρχική κατάσταση του κτηρίου, πριν τις όποιες αλλαγές, η οροφή αποτελείται (από την εξωτερική προς την εσωτερική πλευρά) από μια τσιμεντοσανίδα, μια στρώση αέρα και δύο φύλλα γυψοσανίδας πάχους συνολικά 36 χιλιοστών (18 χιλιοστά το κάθε φύλλο). Στο OpenStudio, αυτά τα στοιχεία περιέχονται σε ένα ξεχωριστό layer με την ονομασία EksoterikosTixos2osOrofos (Πίνακας 3). Η μόνη αλλαγή λοιπόν που θα γίνεται θα περιλαμβάνει την προσθήκη, πάνω από το φύλλο τσιμεντοσανίδας, μιας στρώσης χρώματος με τον εκάστοτε δείκτη ανάκλασης SR, ανάλογα με το δείγμα που θέλουμε να προσομοιώσουμε.

Τμήμα του κτηρίου	Ονομασία layer	Περιεχόμενα layer (από έξω προς τα μέσα)	Περιγραφή layer
Οροφή 2 <sup>ου</sup> ορόφου	EksoterikosTixos2osOrofos	PROJECT CEMENT BOARD PROJECT Wall air space resistance PROJECT 18mm gypsum board PROJECT 18mm gypsum board	τσιμεντοσανίδα εξωτερικά, κατόπιν αέρας και διπλή γυψοσανίδα

Πίνακας 3 - Αρχικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά οροφής κτηρίου



Για τα λειτουργικά χαρακτηριστικά, έχουμε ήδη αναφέρει σε προηγούμενη ενότητα τους χώρους που περιλαμβάνει κάθε όροφος. Απλά εδώ να πούμε ότι οι χώροι αυτοί περιλαμβάνουν γραφεία, εργαστήρια, μια αίθουσα συνεδριάσεων, τουαλέτες, διαδρόμους, σκάλες και μηχανολογικούς χώρους. Το ωράριο των εργαστηρίων και των γραφείων (αλλά και των υπόλοιπων χώρων πάνω – κάτω) θεωρείται ότι είναι 8:00 – 20:00 από τη Δευτέρα έως την Παρασκευή, αν και κάποια μπορεί να μην τηρούν επακριβώς αυτό το ωράριο. Τα σαββατοκύριακα και τις αργίες το κτήριο παραμένει κλειστό. Το ανθρώπινο δυναμικό που απασχολείται στο κτήριο αποτελείται από καθηγητές, βοηθούς εργαστηρίων, φοιτητές και επισκέπτες. Η δραστηριότητα των εργαζόμενων θεωρείται ως ελαφριά καθιστική εργασία κυρίως σε υπολογιστή. Η συνολική παραγόμενη θερμότητα που παράγει κάθε άνθρωπος εκτελώντας την παραπάνω δραστηριότητα είναι 120 W (τα αισθητά κέρδη που αποδίδει είναι 75 W και τα λανθάνοντα 45 W). Ο ηλεκτρομηχανολογικός εξοπλισμός του κτηρίου περιλαμβάνει εξοπλισμό γραφείων με συνολική ισχύ 250 W, εργαστηριακό εξοπλισμό συνολικής ισχύος 250 W και απαγωγούς (στα εργαστήρια) ισχύος 880 W. Ειδικότερα, για τους λαμπτήρες μπορούμε να πούμε ότι έχουν ισχύ 18 W και λειτουργούν συνήθως το πρωί (8:00 – 11:00) και το απόγευμα (16:00 – 20:00), ενώ οι υπολογιστές είναι ισχύος 400 W και θεωρείται ότι είναι ανοιχτοί όλες τις ώρες λειτουργίας των χώρων, με τον αριθμό τους να ποικίλλει ανάλογα με τους εργαζόμενους σε κάθε ζώνη. Το σύστημα θέρμανσης – ψύξης του κτηρίου χρησιμοποιεί ηλεκτρισμό και αποτελείται από αντλίες θερμότητας τύπου VRV (της εταιρίας Hitachi), εγκατεστημένες στο δεύτερο όροφο. Ο θερμοστάτης έχει οριστεί για τη θέρμανση στους 19 °C και για την ψύξη στους 26 °C. Πρέπει να σημειωθεί ότι το σύστημα θέρμανσης – ψύξης λειτουργεί με τρόπο ώστε να μην είναι εφικτή η θέρμανση ενός χώρου με ταυτόχρονη ψύξη ενός άλλου χώρου στο κτήριο (δηλαδή λειτουργεί είτε η θέρμανση είτε η ψύξη για όλο το κτήριο και όχι και οι δύο ταυτόχρονα).

Η προσομοίωση περιλαμβάνει, όπως αναφέραμε παραπάνω, και τα μετεωρολογικά δεδομένα της ευρύτερης περιοχής, της περιοχής των Χανίων στην περίπτωσή μας. Αυτά λαμβάνονται από το μετεωρολογικό σταθμό που βρίσκεται στη Σούδα (γεωγρ. πλάτος: 35°52'88'', γεωγρ. μήκος: 24°14'54'', υψόμετρο: 147,64 m) και ανήκει στο δίκτυο της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.). Αφορούν το έτος 2005 και είναι σε ωριαία βάση. Επίσης, να αναφέρουμε ότι οι καιρικές συνθήκες την περίοδο που γινόταν το πείραμα ήταν πολύ καλές, με ηλιοφάνεια και αρκετά υψηλές θερμοκρασίες.

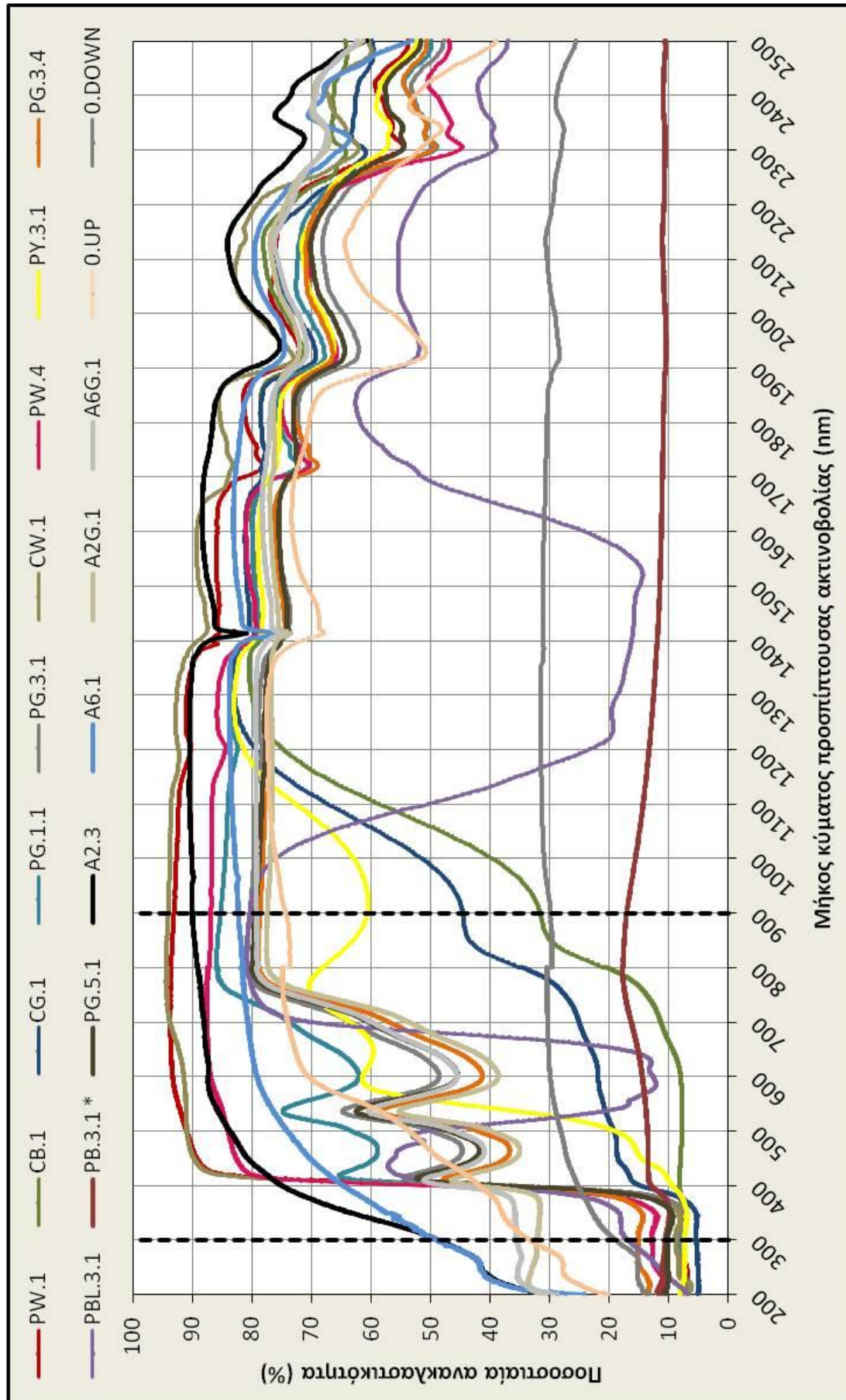
Η διαδικασία της προσομοίωσης γίνεται στο OpenStudio, με τους υπολογισμούς να λαμβάνουν χώρα στο EnergyPlus. Τα βήματά της περιγράφονται συνοπτικά παρακάτω:

- 1) Στο OpenStudio, ανοίγουμε το αρχείο που περιέχει μοντελοποιημένο το κτήριο K1 και, στην καρτέλα Site, φορτώνουμε το αρχείο καιρού (με τα δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού της Σούδας Χανίων). Το αρχείο του κτηρίου περιέχει ήδη όλα τα στοιχεία για τα αρχικά κατασκευαστικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά του.
- 2) Μέσα στην καρτέλα Constructions και στο παράθυρο Materials, φτιάχνουμε μια ένα νέο υλικό, το οποίο θα είναι το εκάστοτε δείγμα μας, του οποίου παίρνει και το όνομα.
- 3) Για όλα τα δείγματα, επιλέγουμε ως τραχύτητα (roughness) την επιλογή 'Smooth', ως πάχος (thickness) τα 0,001 m, ως αγωγιμότητα (conductivity) τα 0,02 W/m·K, ως πυκνότητα (density) τα 120 kg/m<sup>3</sup>, ως ειδική θερμότητα (specific heat) τα 147 J/kg·K και ως θερμική απορρόφηση (thermal absorptance) την τιμή 0,9.
- 4) Ως ηλιακή απορρόφηση (solar absorptance), βάζουμε, για κάθε δείγμα, την ποσότητα 1 - (SR/100) και ως οπτική απορρόφηση (visible absorptance), την ποσότητα 1-(SR<sub>vis</sub>/100).
- 5) Στο παράθυρο Constructions της ίδιας καρτέλας, κατασκευάζουμε μια νέα στρώση (layer) με ό,τι ακριβώς περιέχει το αρχικό layer EksoterikosTixos2osOrofos (Πίνακας 3), με την προσθήκη όμως, πάνω από την τσιμεντοσανίδα (στην εξωτερική πλευρά του κτηρίου δηλαδή), της εκάστοτε στρώσης χρώματος που δημιουργήσαμε για κάθε δείγμα, προσθέτοντας το όνομα του δείγματος στο τέλος του ήδη υπάρχοντος ονόματος για το layer (πχ. για το δείγμα CB.1, το νέο layer θα λέγεται EksoterikosTixos2osOrofos\_cb.1).
- 6) Στο παράθυρο Construction Sets της ίδιας καρτέλας, αντικαθιστούμε στην οροφή (roof) του δευτέρου ορόφου (άρα και του κτηρίου) το ήδη υπάρχον layer με αυτό που δημιουργήσαμε.
- 7) Στην καρτέλα Output Variables, ενεργοποιούμε ως μεταβλητές εξόδου τις Zone Infiltration Total Heat Gain Energy, Zone Infiltration Total Loss Energy, Zone Lights Total Heating Energy, Zone Mean Air Temperature και Zone Total Internal Total Heating Energy.
- 8) Στην καρτέλα Run Simulation (και στο παράθυρο Output), 'τρέχουμε' την προσομοίωση και, μετά από μερικά λεπτά, λαμβάνουμε τα αποτελέσματά της, τόσο στην καρτέλα Results Summary (συνολικά για όλο το έτος), όσο και στα αρχεία τύπου \*.csv, τα οποία περιέχουν τους ωριαίους υπολογισμούς των ζητούμενων ενεργειακών φορτίων.

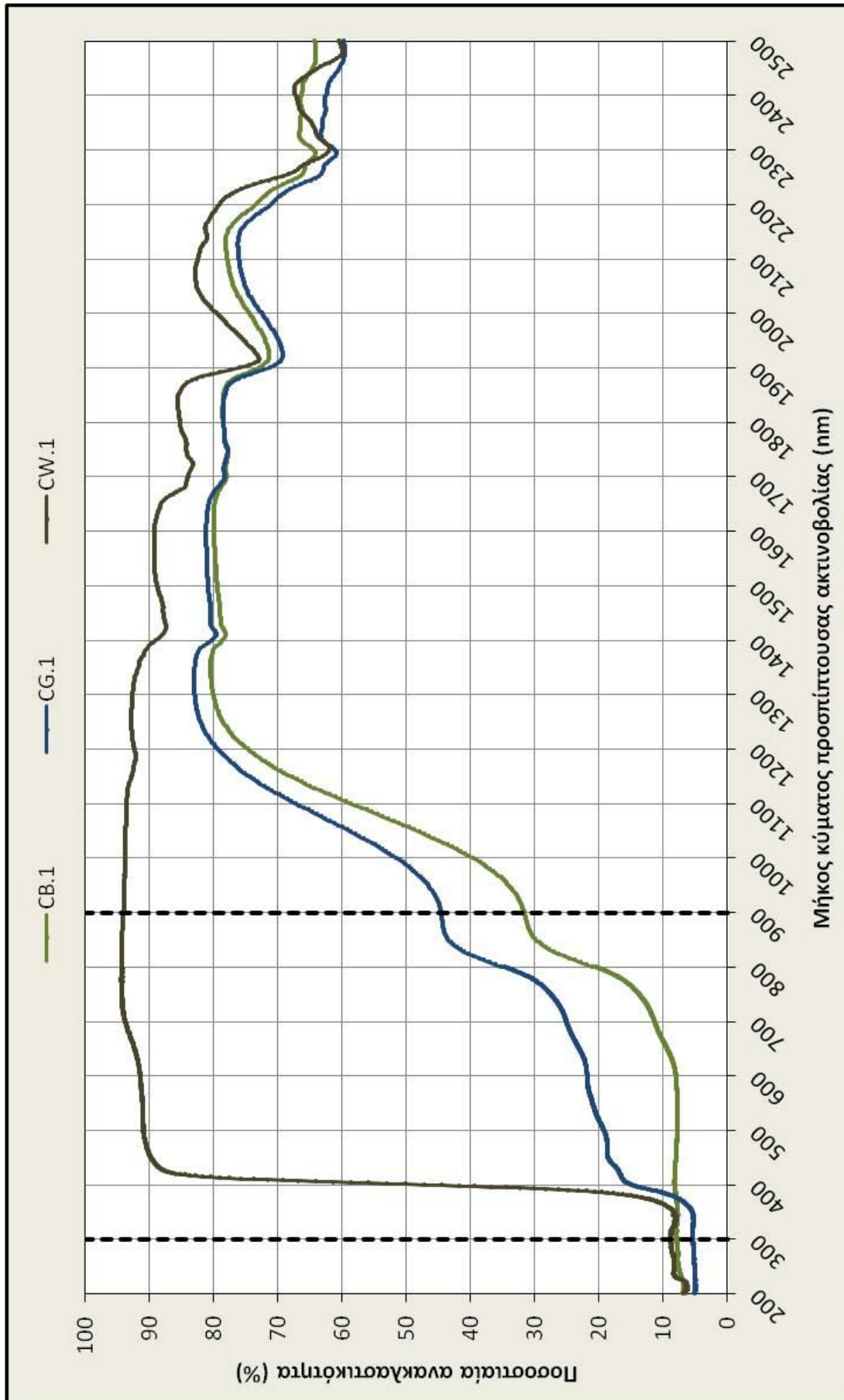
### **3.7. Αποτελέσματα**

#### **• 3.7.1. Αποτελέσματα μετρήσεων φασματοφωτόμετρου**

Αφού λάβουμε τα αποτελέσματα που μας δίνει το φασματοφωτόμετρο (ποσοστιαία ανακλαστικότητα συναρτήσει του μήκους κύματος ακτινοβολίας σε nm), τα επεξεργαζόμαστε με τη βοήθεια του προγράμματος Microsoft Excel και κατασκευάζουμε τη γραφική παράσταση των μετρήσεων κάθε δείγματος (που αντιστοιχεί σε μια σειρά δεδομένων). Οι γραφικές παραστάσεις όλων των δειγμάτων μπαίνουν μαζί σε ένα διάγραμμα (Διάγραμμα 1), με σκοπό να γίνουν κάποιες συγκρίσεις μεταξύ των δειγμάτων. Σε αυτό, εκτός από τις καμπύλες γραμμές που απεικονίζουν τις τιμές των μετρήσεων κάθε δείγματος που περιέχεται στο υπόμνημα, φαίνονται και δύο κατακόρυφες διακεκομμένες γραμμές που καταδεικνύουν τα δύο άκρα του ορατού φάσματος (300 – 900 nm), όπως αυτό αναφέρεται στη διεθνή βιβλιογραφία. Επιπλέον, πάλι για λόγους συγκρίσεων, κατασκευάζονται και κάποια διαγράμματα που αφορούν μόνο μερικά από τα δείγματα. Στο Διάγραμμα 2, περιέχονται τα στοιχεία για τα υγρά χρώματα, στο Διάγραμμα 3 για τις χρωστικές σε μορφή πούδρας, στο Διάγραμμα 4 όσα δείγματα έχουν παρασκευαστεί με βάση το υπέρλευκο Durostick Powder Color, στο Διάγραμμα 5 όσα δείγματα περιέχουν το υπόλευκο Durostick Powder Color, στο Διάγραμμα 6 όλα τα δείγματα που περιέχουν την (πράσινη) χρωστική Durostick Durocolor Powder-C No. 6, στο Διάγραμμα 7 τα δείγματα που περιέχουν τις ορυκτές βάσεις (WCM-DMP και NHL-DMP) και στο Διάγραμμα 8, τα δύο δείγματα μόνο με τα Durostick Powder Color (υπέρλευκο και υπόλευκο). Οι τιμές που προκύπτουν για το δείκτη ανάκλασης SR για κάθε δείγμα για τα διάφορα τμήματα του φάσματος (υπεριώδες, ορατό, εγγύς υπέρυθρο) αλλά και για το σύνολό του παρουσιάζονται στον Πίνακα 4. Εδώ να αναφέρουμε ότι το δείγμα PB.3, που περιέχει ως χρωστική τη Marmoline Powder Colour Black (σε αναλογία κ.β. 30 %) και ως βάση το υπόλευκο Durostick Powder Color, παρασκευάστηκε δύο φορές, κατόπιν αμφιβολιών για τα αποτελέσματα της πρώτης δοκιμής. Τα δείγματα της δεύτερης δοκιμής έχουν κωδικό PB.3 \*, και δε διαφέρουν στη σύνθεση (στην αναλογία χρωστικών δηλαδή), όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1. Η επανάληψη έγινε απλώς για να διαπιστωθεί αν είχε γίνει κάποιο λάθος στην πρώτη παρασκευή. Τελικά, όπως φαίνεται και από τα αποτελέσματα, δεν ισχύει κάτι τέτοιο, αφού οι τιμές τόσο για την ανακλαστικότητα όσο και για το δείκτη ανάκλασης είναι παραπλήσιες, επομένως οι όποιες αρχικές αμφιβολίες μας οφείλονται στη φύση του χρησιμοποιούμενου υλικού.

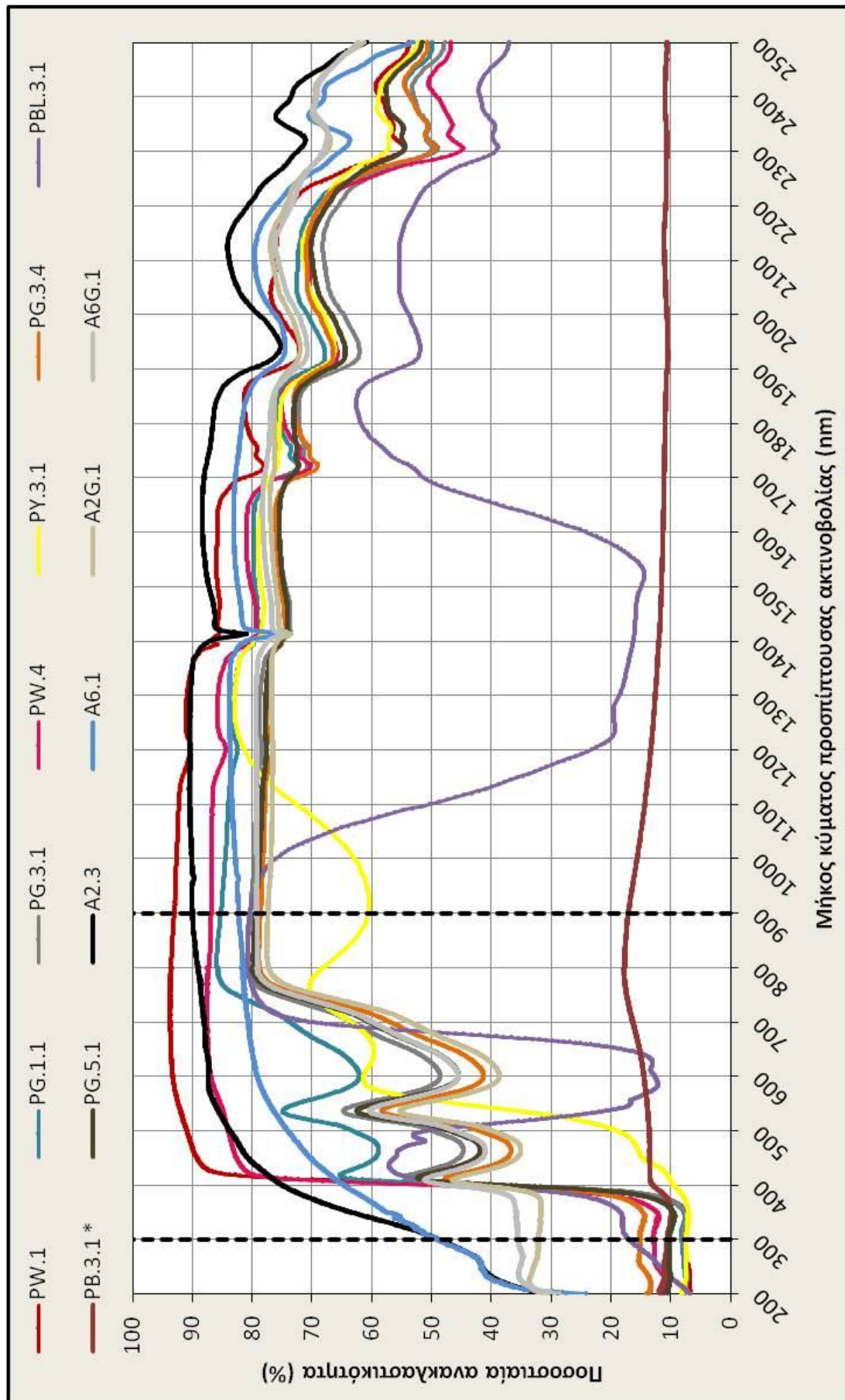


Διάγραμμα 1 - Αποτελέσματα μετρήσεων φασματοφωτόμετρου για όλα τα δείγματα

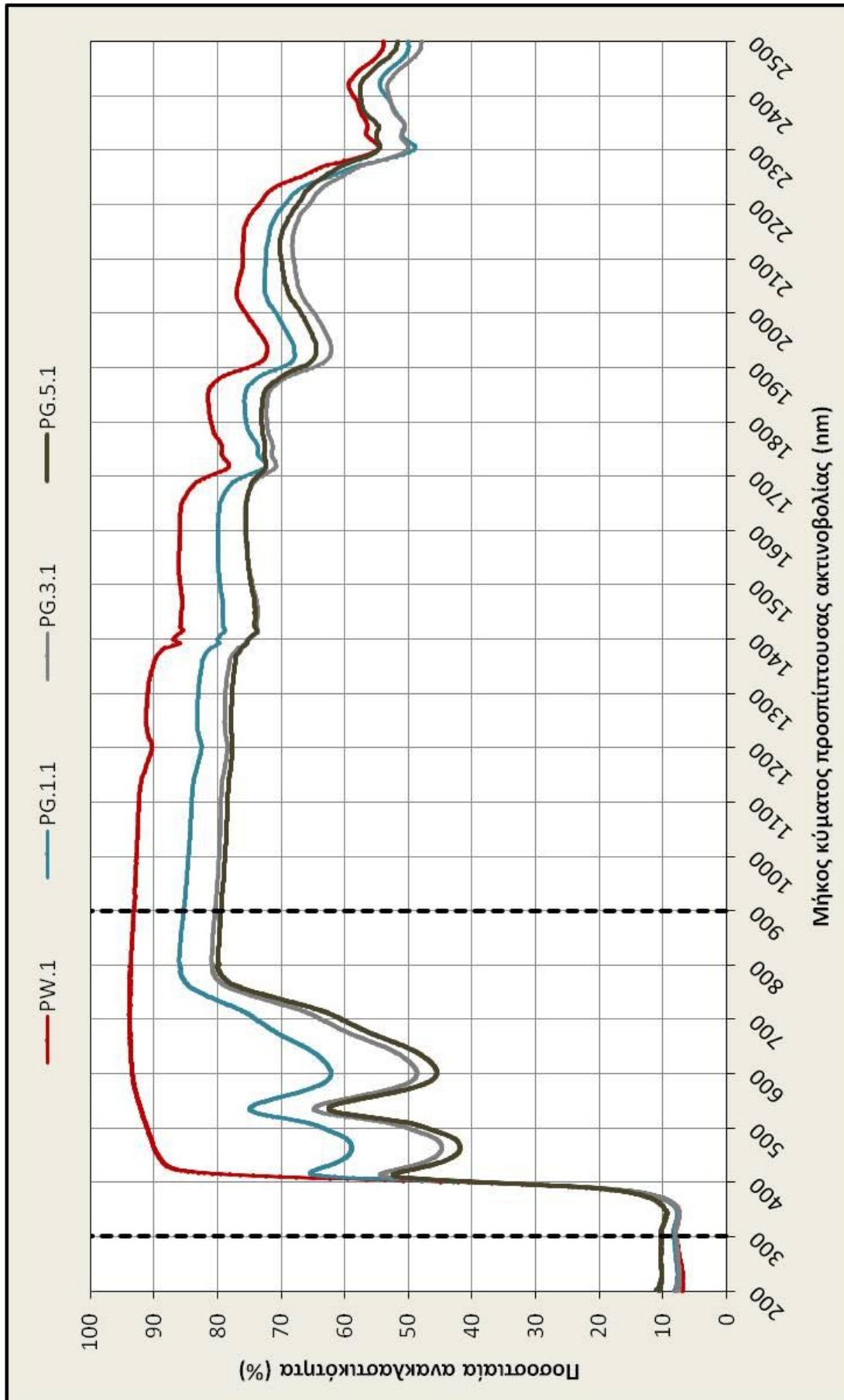


Διάγραμμα 2 - Αποτελέσματα μετρήσεων φασματοφωτόμετρου για τα δείγματα υγρών χρωμάτων

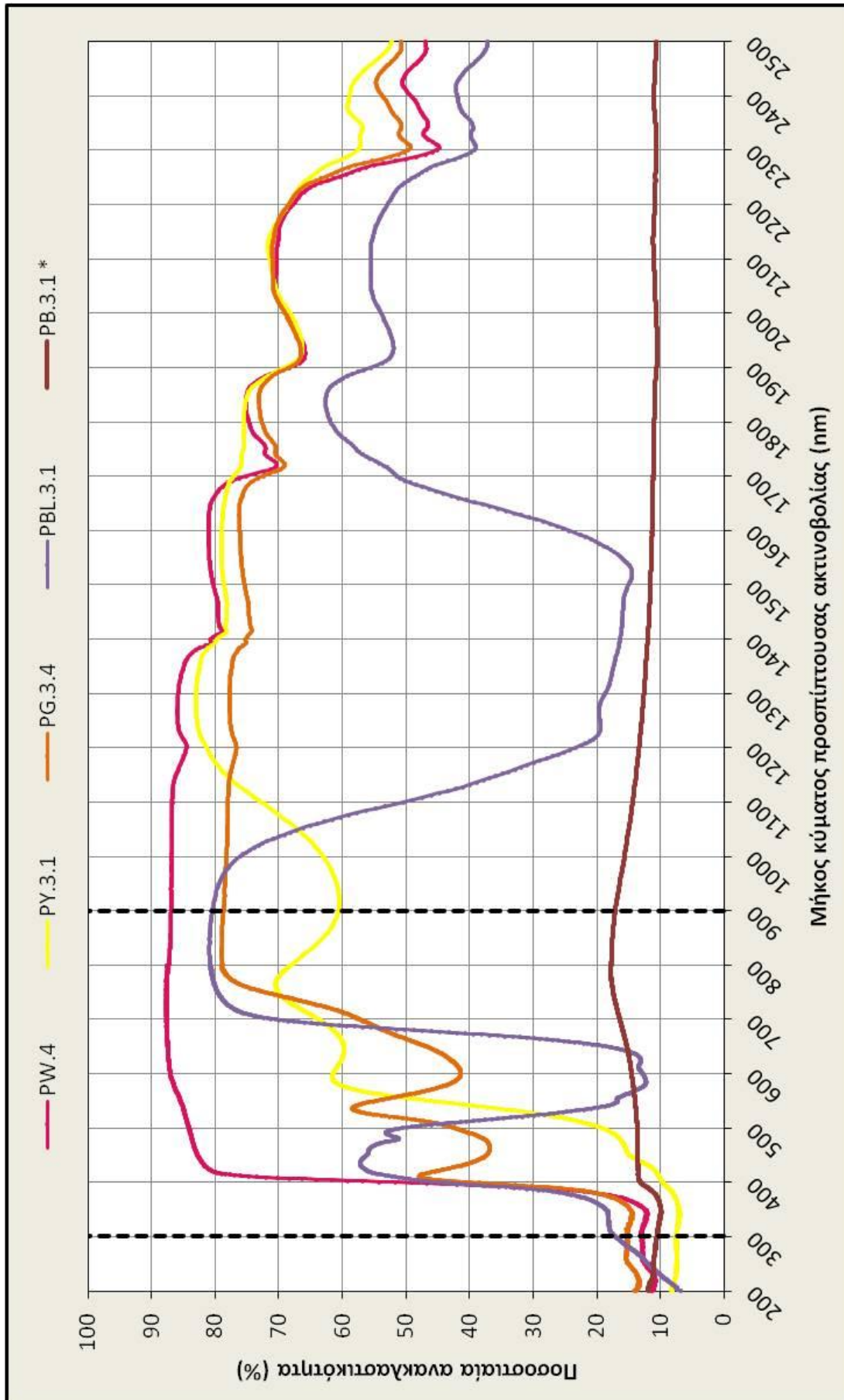




Διάγραμμα 3 - Αποτελέσματα μετρήσεων φασματοφωτόμετρου για τα δείγματα με χρωστικές σε μορφή πούδρας

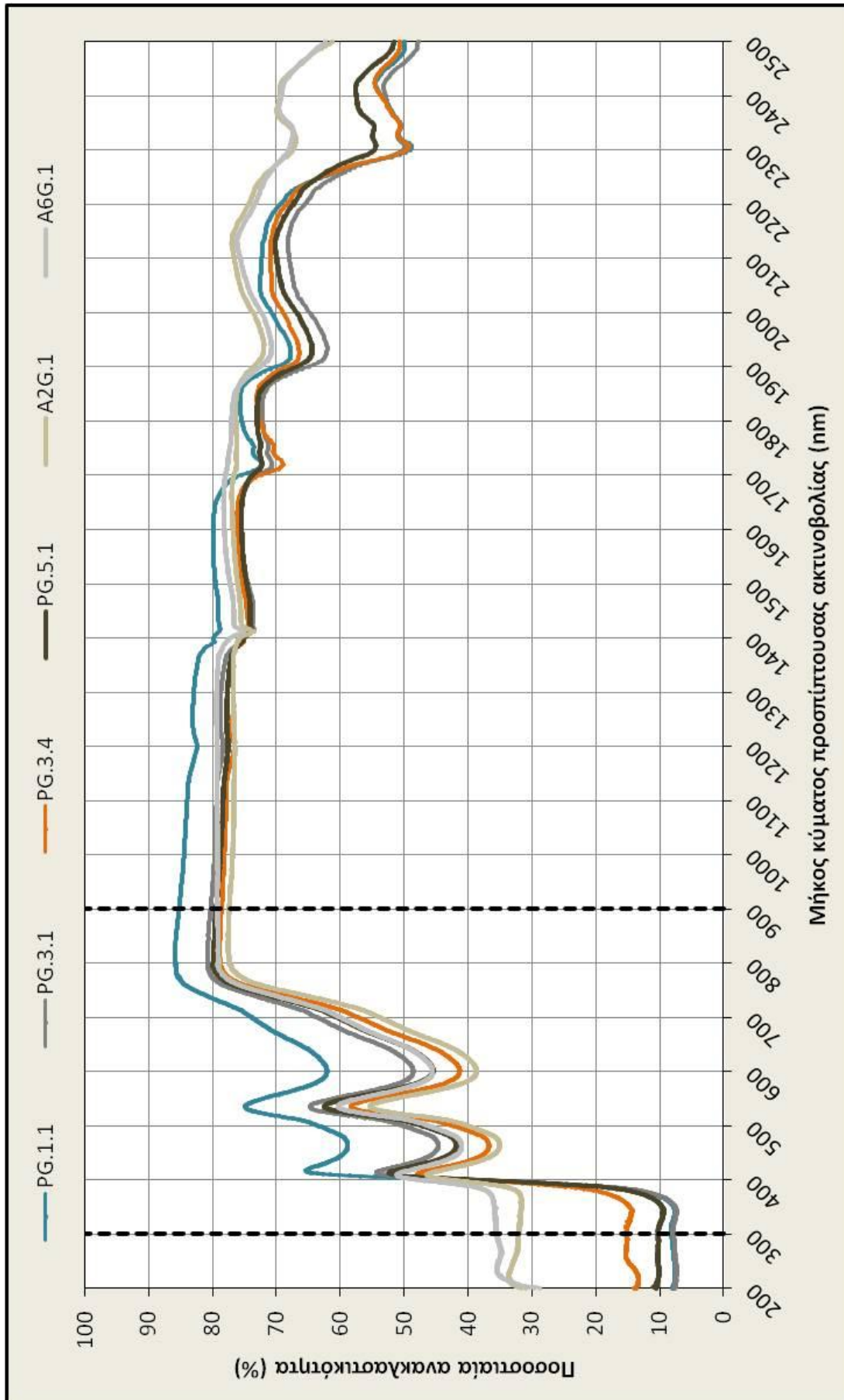


Διάγραμμα 4 - Αποτελέσματα μετρήσεων φασματοφωτόμετρου για τα δείγματα που περιέχουν το υπέρλευκο Durostick Powder Color

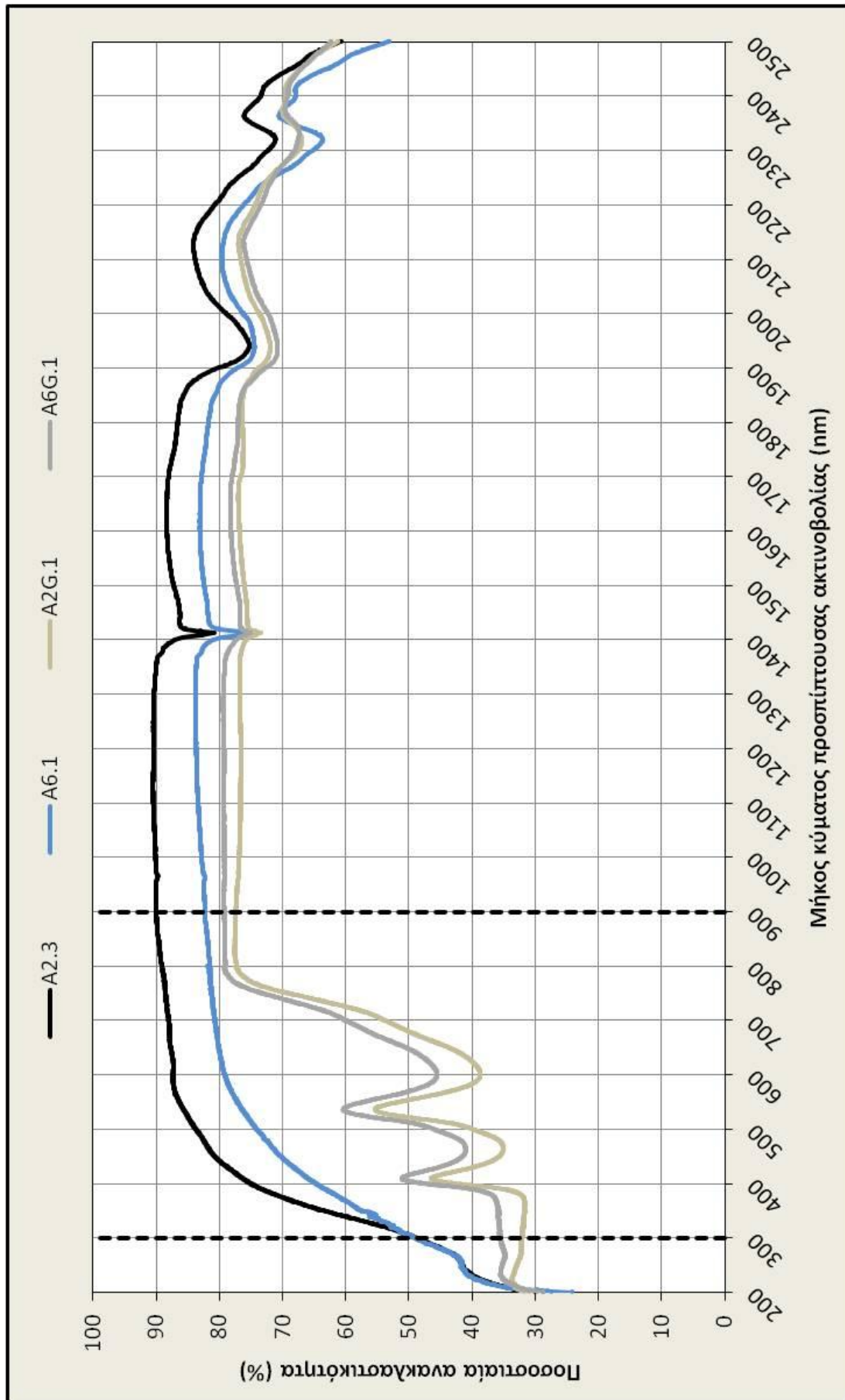


Διάγραμμα 5 - Αποτελέσματα μετρήσεων φασματοφωτόμετρου για τα δείγματα που περιέχουν το υπόλευκο Durostick Powder Color

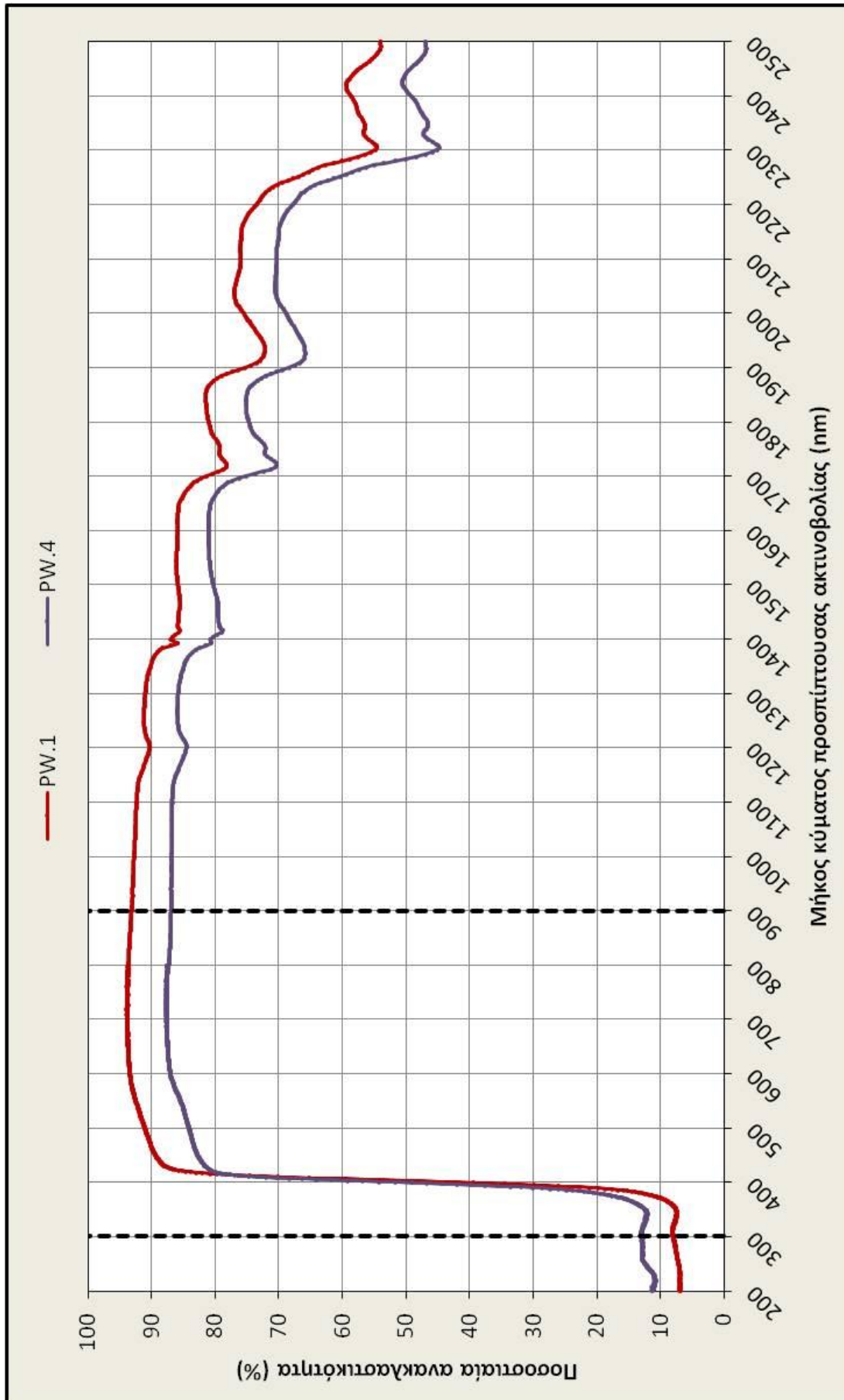




Διάγραμμα 6 - Αποτελέσματα μετρήσεων φασματοφωτόμετρου για τα δείγματα με την (πράσινη) χρωστική Durostick Durocolor Powder-C No. 6



Διάγραμμα 7 - Αποτελέσματα μετρήσεων φασματοφωτόμετρου για τα δείγματα που περιέχουν WCM-DMP και NHL-DMP



Διάγραμμα 8 - Αποτελέσματα μετρήσεων φασματοφωτόμετρου για τα δύο λευκά δείγματα μόνο με το Durostick Powder Color (υπέρλευκο/υπόλευκο)

Δείγμα	SR	SR <sub>IR</sub>	SR <sub>VIS</sub>	SR <sub>UV</sub>
PW.1	87,36	88,98	90,60	8,15
CB.1	31,66	47,95	8,55	7,95
CG.1	41,21	56,16	20,92	5,88
PG.1.1	72,82	80,81	65,23	8,40
PG.3.1	65,22	75,90	52,96	8,13
CW.1	88,23	90,73	90,06	9,19
PW.4	81,69	82,96	84,58	13,24
PB.3.1	13,09	12,87	13,65	9,72
PB.3.1 *	14,49	14,80	14,31	10,23
PY.3.1	56,79	69,66	40,80	7,28
PG.3.4	61,85	74,45	45,88	15,32
PBL.3.1	47,82	58,62	33,23	18,75
PG.5.1	63,79	75,24	50,09	10,24
A2.3	86,11	87,94	84,98	59,49
A6.1	78,52	81,13	76,08	55,13
A2G.1	61,27	74,41	43,34	31,88
A6G.1	65,06	76,63	49,50	35,88
O.UP	67,56	72,86	61,67	36,96
O.DOWN	29,70	30,51	28,98	21,96

Πίνακας 4 - Αποτελέσματα δείκτη ανάκλασης δειγμάτων

Σημείωση: Στα γραφήματα, περιλαμβάνεται η σειρά δεδομένων μόνο για το δείγμα PB.3.1 \* και όχι και για το PB.3.1, αφού τα αποτελέσματα είναι παραπλήσια και δε θα είχε νόημα να συγκρίνουμε τα δύο δείγματα μεταξύ τους.

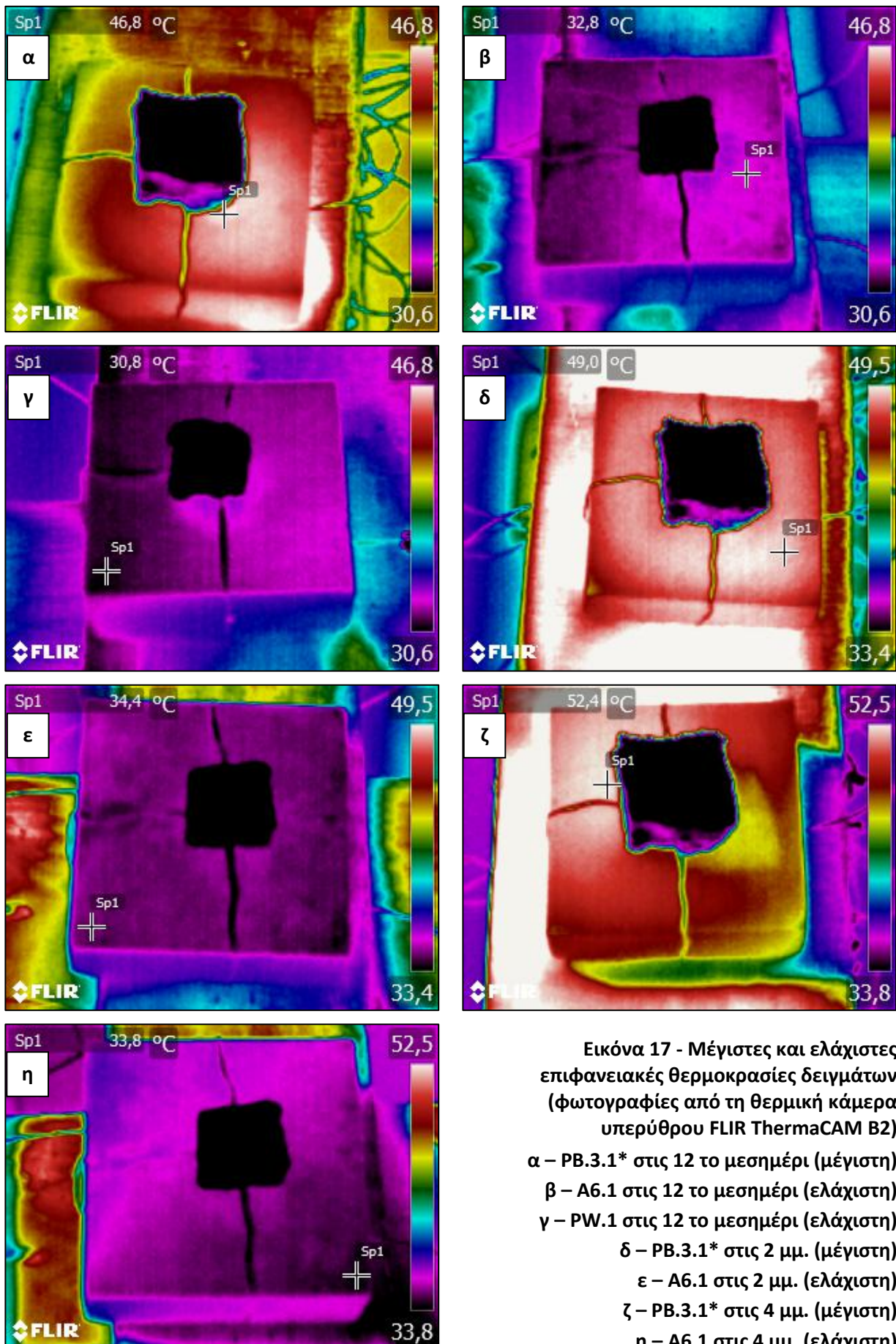


Εικόνα 16 - Σημεία λήψης θερμοκρασιών  
από τα δείγματα για υπολογισμό των μέσων όρων

### • 3.7.2. Αποτελέσματα φωτογραφιών θερμικής κάμερας

Δεδομένου ότι μας ενδιαφέρει να δούμε τις υψηλότερες θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην επιφάνεια των δειγμάτων μας μέσα στην ημέρα κατά την έκθεσή τους στην ηλιακή ακτινοβολία, πήραμε φωτογραφίες των δειγμάτων με τη θερμοκάμερα τις ώρες κατά τις οποίες ο ήλιος είναι ακριβώς πάνω τους και τα θερμαίνει ανεμπόδιστα. Όπως είναι φυσικό, αυτό γίνεται τις μεσημεριανές και απογευματινές ώρες, οπότε οι φωτογραφίες ελήφθησαν την Πέμπτη 21 Ιουλίου 2016 από τις 12 το μεσημέρι έως και τις 4 το απόγευμα, ανά δίωρο (3 σετ φωτογραφιών). Μετά τη λήψη των φωτογραφιών, έγινε επεξεργασία τους σε ηλεκτρονικό υπολογιστή με τη βοήθεια της εφαρμογής FLIR Tools, με σκοπό να υπάρξει μια κοινή χρωματική κλίμακα, η οποία φυσικά θα αντιστοιχεί σε ίδιο θερμοκρασιακό εύρος, ώστε να μπορούν να γίνουν ευκολότερα και με μεγαλύτερη ακρίβεια οι απαραίτητες συγκρίσεις και να εξαχθούν τα τελικά μας συμπεράσματα. Επίσης, βρέθηκε η μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία που είχαμε σε κάθε δείγμα, ενώ ελήφθησαν και τέσσερις θερμοκρασίες (προσεγγιστικά) από τέσσερα σημεία κοντά στις γωνίες κάθε πλακιδίου (Εικόνα 16), με σκοπό να υπολογιστεί ο μέσος όρος τους και να γίνουν κάποιες συγκρίσεις. Οι μέσοι όροι αυτοί υπολογίστηκαν με τη βοήθεια του Microsoft Excel και περιέχονται, μαζί με τα υπόλοιπα στοιχεία στους Πίνακες 5, 6 και 7 για τις τρεις ομάδες φωτογραφιών (12 το μεσημέρι, 2 μμ. και 4 μμ. αντίστοιχα). Σε αυτούς, σημειώνονται με κόκκινο χρώμα η υψηλότερη και με μοβ χρώμα η χαμηλότερη θερμοκρασία για κάθε σετ φωτογραφιών. Οι φωτογραφίες των πλακιδίων στα οποία παρατηρούνται αυτά τα απόλυτα μέγιστα και ελάχιστα των επιφανειακών θερμοκρασιών φαίνονται στην Εικόνα 17. Στην Εικόνα 17α, φαίνεται η φωτογραφία του δείγματος PB.3.1\* (στο οποίο παρατηρείται η μέγιστη θερμοκρασία στο πρώτο σετ φωτογραφιών) με τη θερμική κάμερα στις 12 το μεσημέρι, στις Εικόνες 17β και 17γ οι φωτογραφίες των δειγμάτων A6.1 και PW.1 αντίστοιχα (ελάχιστη θερμοκρασία πρώτου σετ) στις 12 το μεσημέρι, στην Εικόνα 17δ φαίνεται το πλακίδιο PB.3.1\* στις 2 μμ. (μέγιστη θερμοκρασία δευτέρου σετ), στην Εικόνα 17ε το A6.1 στις 2 μμ. (ελάχιστη θερμοκρασία δευτέρου σετ), στην Εικόνα 17ζ το PB.3.1\* στις 4 μμ. (μέγιστη θερμοκρασία τρίτου σετ) και στην Εικόνα 17η το δείγμα A6.1 στις 4 μμ. (ελάχιστη θερμοκρασία τρίτου σετ). Οι υπόλοιπες φωτογραφίες των δειγμάτων με τη θερμοκάμερα περιέχονται στο Παράρτημα.





Εικόνα 17 - Μέγιστες και ελάχιστες επιφανειακές θερμοκρασίες δειγμάτων (φωτογραφίες από τη θερμική κάμερα υπερύθρου FLIR ThermaCAM B2)  
 α – PB.3.1\* στις 12 το μεσημέρι (μέγιστη)  
 β – A6.1 στις 12 το μεσημέρι (ελάχιστη)  
 γ – PW.1 στις 12 το μεσημέρι (ελάχιστη)  
 δ – PB.3.1\* στις 2 μμ. (μέγιστη)  
 ε – A6.1 στις 2 μμ. (ελάχιστη)  
 ζ – PB.3.1\* στις 4 μμ. (μέγιστη)  
 η – A6.1 στις 4 μμ. (ελάχιστη)

**ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΡΜΟΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΤΟ ΔΟΜΗΜΕΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**

(°C)	Υψηλότερη θερμοκρασία	Χαμηλότερη θερμοκρασία	Θερμοκρασία σημείου 1	Θερμοκρασία σημείου 2	Θερμοκρασία σημείου 3	Θερμοκρασία σημείου 4	Θερμοκρασιακός μέσος όρος σημείων 1-4
PB.3.1	44,5	37,8	41,4	43,4	42,8	39,6	41,8
PB.3.1 *	46,8	39,4	41,2	43,6	45,3	41,4	42,9
CB.1	45,4	38,4	39,9	43,2	44,6	39,9	41,9
A2G.1	41,3	37,1	37,4	39,4	39,6	38,1	38,6
A6G.1	40,1	36,2	36,6	38,4	39,7	36,5	37,8
A6.1	33,4	30,6	31,6	32,0	32,4	31,4	31,9
A2.3	34,0	31,0	31,5	32,3	32,6	31,7	32,0
CG.1	42,0	35,7	37,8	39,8	40,5	37,2	38,8
PY.3.1	40,7	35,6	37,4	39,0	39,6	36,6	38,2
PG.1.1	38,8	35,4	35,8	36,2	37,0	36,3	36,3
PW.1	33,4	30,6	31,0	32,1	32,4	30,8	31,6
PW.4	35,0	31,2	31,8	33,0	33,4	31,7	32,5
CW.1	35,4	31,4	31,7	32,9	33,6	31,9	32,5
O.UP	38,5	34,3	36,0	37,4	37,1	35,2	36,4
O.DOWN	46,7	40,6	42,3	44,5	44,9	42,6	43,6
PBL.3.1	35,6	32,2	33,1	33,5	33,8	32,8	33,3
PG.3.4	35,1	31,1	32,3	32,8	33,3	31,9	32,6
PG.5.1	35,1	31,5	32,8	33,3	33,2	31,8	32,8
PG.3.1	36,7	32,5	34,4	35,5	35,1	33,1	34,5

**Πίνακας 5 - Επιφανειακές θερμοκρασίες δειγμάτων στις 12 το μεσημέρι (21/7/2016)**

(°C)	Υψηλότερη θερμοκρασία	Χαμηλότερη θερμοκρασία	Θερμοκρασία σημείου 1	Θερμοκρασία σημείου 2	Θερμοκρασία σημείου 3	Θερμοκρασία σημείου 4	Θερμοκρασιακός μέσος όρος σημείων 1-4
PB.3.1	49,0	41,3	47,6	47,5	43,8	42,8	45,4
PB.3.1 *	49,5	44,5	47,6	47,5	47,8	46,5	47,4
CB.1	47,5	42,4	46,3	45,6	45,6	44,6	45,5
A2G.1	44,6	41,6	43,3	42,7	42,2	42,8	42,8
A6G.1	43,0	40,1	41,5	40,8	41,4	40,4	41,0
A6.1	35,4	33,4	34,8	34,4	34,1	34,4	34,4
A2.3	36,6	34,0	36,2	34,9	34,4	34,8	35,1
CG.1	47,2	43,0	45,4	45,2	44,7	45,1	45,1
PY.3.1	44,3	41,5	43,2	43,3	43,1	42,5	43,0
PG.1.1	40,9	38,2	39,6	39,1	39,1	39,4	39,3
PW.1	36,1	34,3	35,1	35,5	34,7	34,4	34,9
PW.4	37,5	35,2	37,2	36,6	35,7	35,4	36,2
CW.1	41,7	39,2	40,9	40,6	40,4	40,3	40,6
O.UP	37,2	35,3	36,2	35,6	35,8	36,3	36,0
O.DOWN	48,5	44,1	47,8	45,4	45,2	45,5	46,0
PBL.3.1	39,2	36,2	38,1	37,7	37,1	36,9	37,5
PG.3.4	40,0	36,0	38,7	38,0	37,0	36,7	37,6
PG.5.1	38,9	35,6	38,4	37,3	37,2	36,3	37,3
PG.3.1	39,9	37,0	39,4	39,0	37,6	37,7	38,4

**Πίνακας 6 - Επιφανειακές θερμοκρασίες δειγμάτων στις 2 το απόγευμα (21/7/2016)**

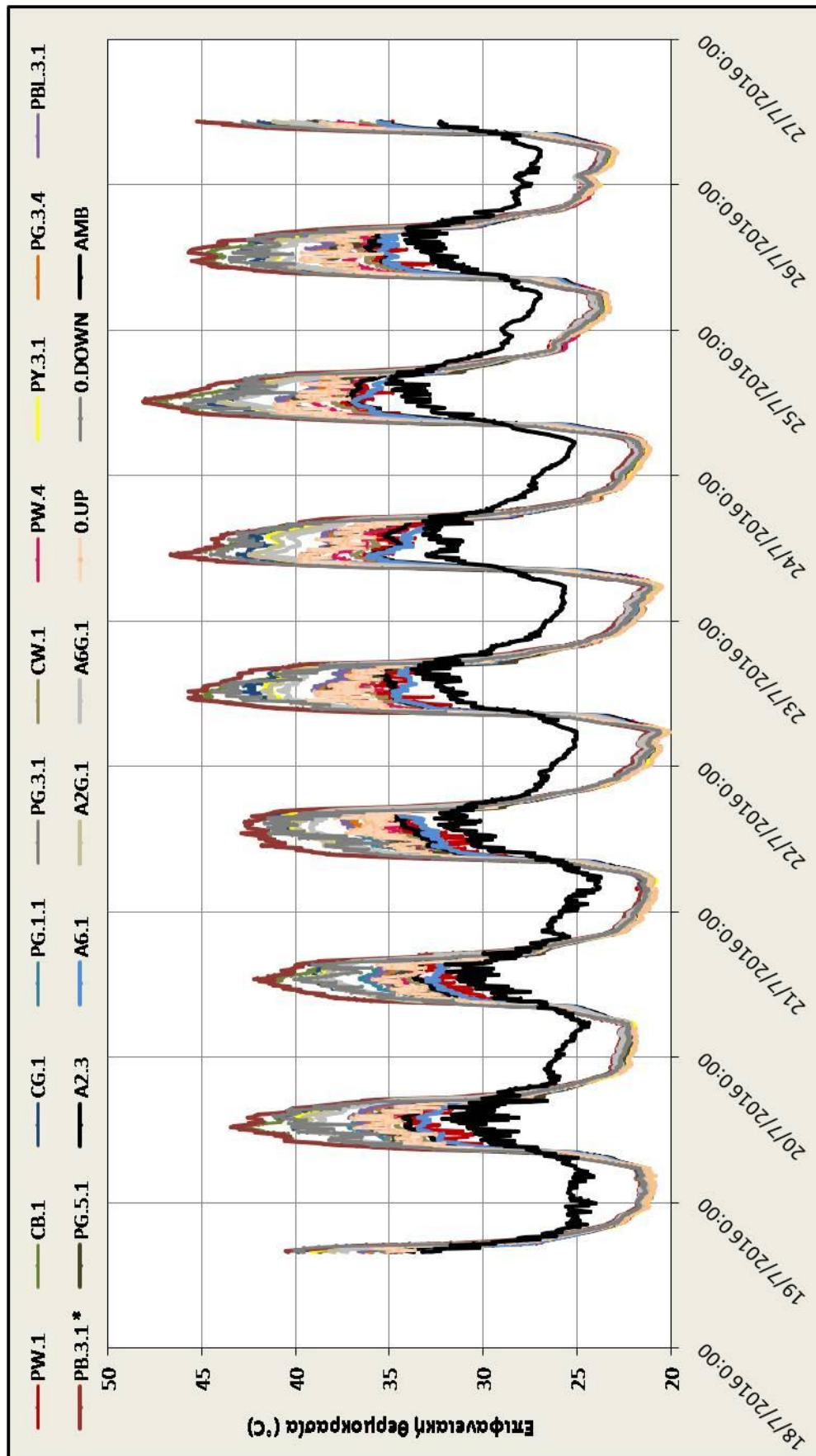
(°C)	Υψηλότερη θερμοκρασία	Χαμηλότερη θερμοκρασία	Θερμοκρασία σημείου 1	Θερμοκρασία σημείου 2	Θερμοκρασία σημείου 3	Θερμοκρασία σημείου 4	Θερμοκρασιακός μέσος όρος σημείων 1-4
PB.3.1	52,0	44,6	50,9	48,9	45,7	47,3	48,2
PB.3.1 *	52,5	44,7	51,2	49,0	46,8	48,6	48,9
CB.1	49,7	44,3	49,1	47,7	45,0	46,7	47,1
A2G.1	45,9	40,4	45,6	43,4	40,8	43,3	43,3
A6G.1	44,0	39,2	43,7	41,2	39,5	40,9	41,3
A6.1	37,8	33,8	37,6	36,3	34,1	35,5	35,9
A2.3	39,2	34,4	38,9	36,9	34,8	36,6	36,8
CG.1	48,9	42,0	47,8	46,5	43,5	45,9	45,9
PY.3.1	46,3	40,8	45,9	44,1	41,5	43,2	43,7
PG.1.1	43,0	38,2	42,4	41,0	38,7	40,6	40,7
PW.1	39,0	34,9	38,8	37,6	35,1	36,6	37,0
PW.4	40,9	36,2	40,6	38,4	36,6	38,3	38,5
CW.1	39,7	35,4	39,2	37,4	35,7	38,0	37,6
O.UP	44,4	39,3	44,2	42,1	39,5	41,3	41,8
O.DOWN	51,6	43,4	50,8	47,3	44,8	47,8	47,7
PBL.3.1	45,2	38,5	44,5	42,6	39,9	41,4	42,1
PG.3.4	43,2	38,5	42,7	40,8	39,3	41,0	41,0
PG.5.1	43,3	39,2	42,6	40,1	39,8	40,9	40,9
PG.3.1	43,6	39,2	43,2	41,9	39,5	41,4	41,5

Πίνακας 7 - Επιφανειακές θερμοκρασίες δειγμάτων στις 4 το απόγευμα (21/7/2016)

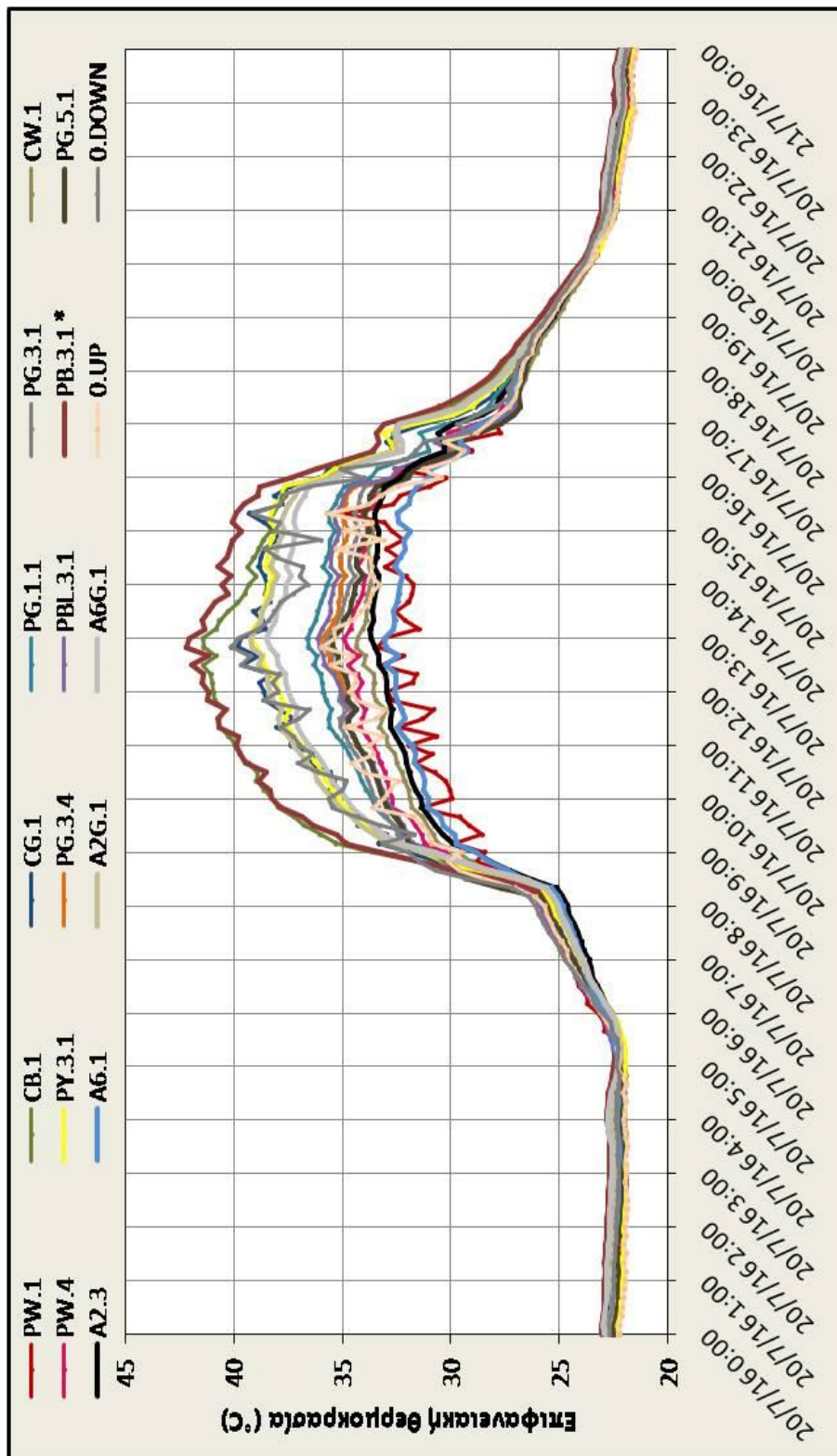
### • 3.7.3. Αποτελέσματα μετρήσεων καταγραφικού θερμοκρασιών

Τα αποτελέσματα που μας δίνει το καταγραφικό θερμοκρασιών (datalogger) είναι χρονοσειρές μετρήσεων της επιφανειακής θερμοκρασίας των δειγμάτων μας. Με χρήση των αποτελεσμάτων αυτών, κατασκευάζονται κάποια διαγράμματα στο Microsoft Excel, ώστε να γίνουν πάλι οι απαραίτητες συγκρίσεις για να εξαχθούν τα τελικά συμπεράσματα. Στο Διάγραμμα 9, φαίνονται όλες οι χρονοσειρές μετρήσεων μαζί σε ένα διάγραμμα, μαζί με τη χρονοσειρά μετρήσεων της θερμοκρασίας περιβάλλοντος (ambient). Γίνεται ξεκάθαρο όμως ότι δεν μπορούν εύκολα να εξαχθούν συμπεράσματα, καθώς σε ένα μόνο διάγραμμα έχει συμπυκνωθεί μεγάλος όγκος πληροφοριών, κάτι που αποτυπώνεται και στην ίδια τη μορφή του, η οποία επί της ουσίας δε μας βοηθάει. Επομένως, κατασκευάζονται και κάποια ακόμη διαγράμματα, μόνο για τις δύο ημέρες στις οποίες είχαμε τη μέγιστη και την ελάχιστη μέση θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτές είναι η 25η Ιουλίου 2016 (29,87 °C) και η 20η Ιουλίου (27,26 °C) αντίστοιχα. Τα Διαγράμματα 10 – 16 λοιπόν περιέχουν τα δεδομένα για τις 20/7/2016 και τα Διαγράμματα 17 – 23 τα δεδομένα για τις 25/7/2016, ενώ είναι αντίστοιχα με αυτά που έγιναν για τις μετρήσεις του φασματοφωτόμετρου.

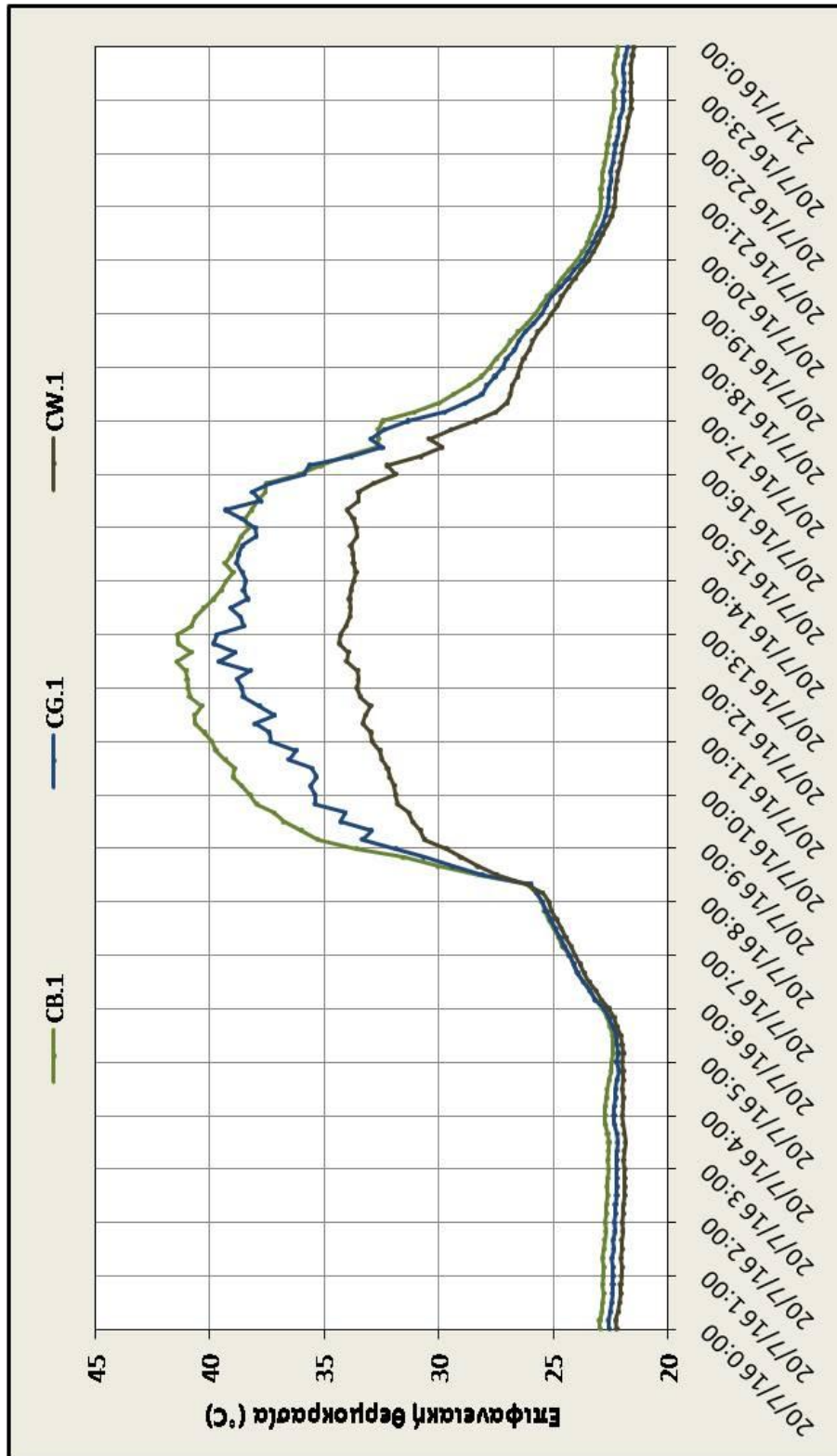




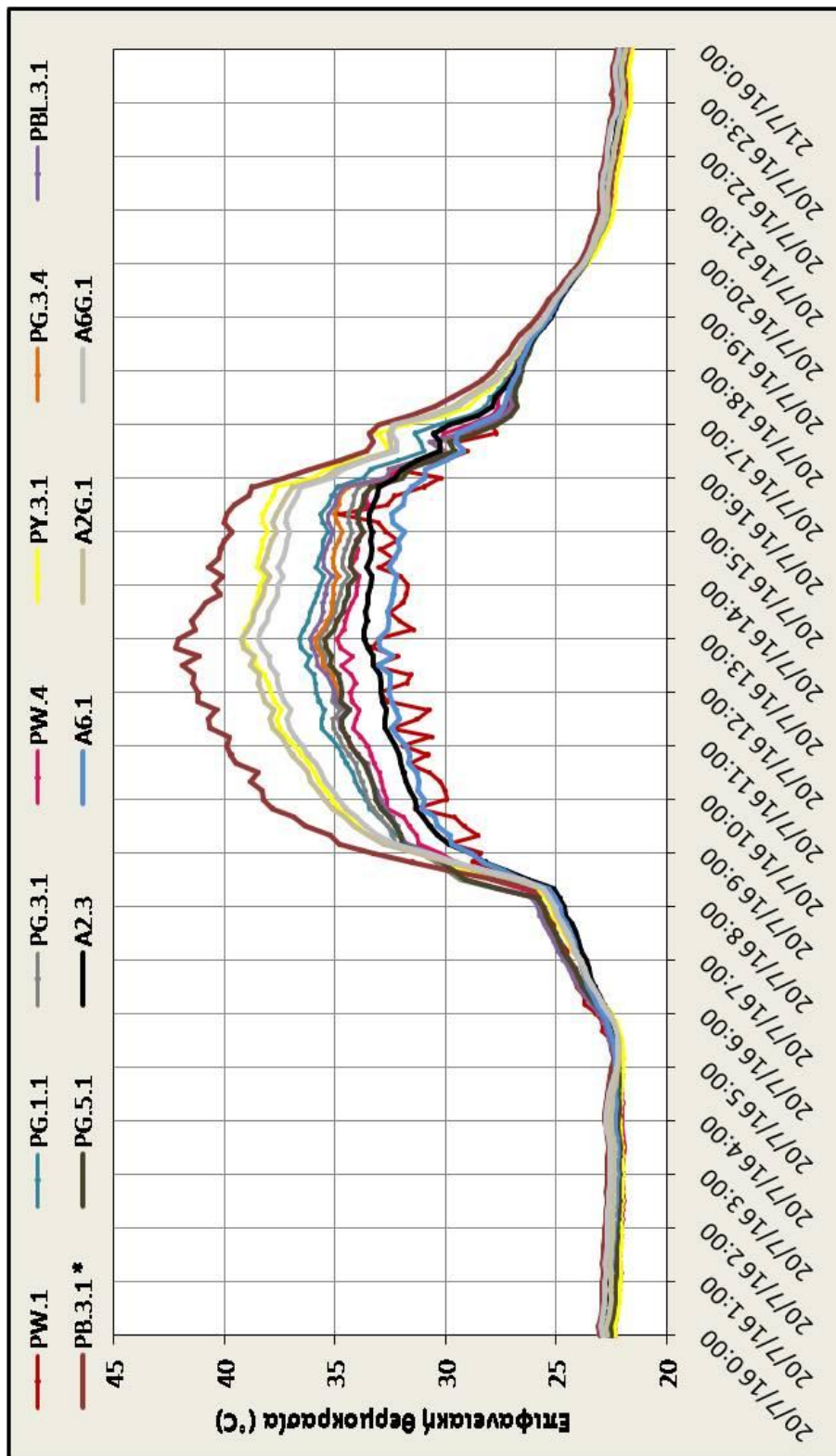
Διάγραμμα 9 - Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για όλα τα δείγματα και όλες τις ημέρες



Διάγραμμα 10 - Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για όλα τα δείγματα στις 20/7/2016

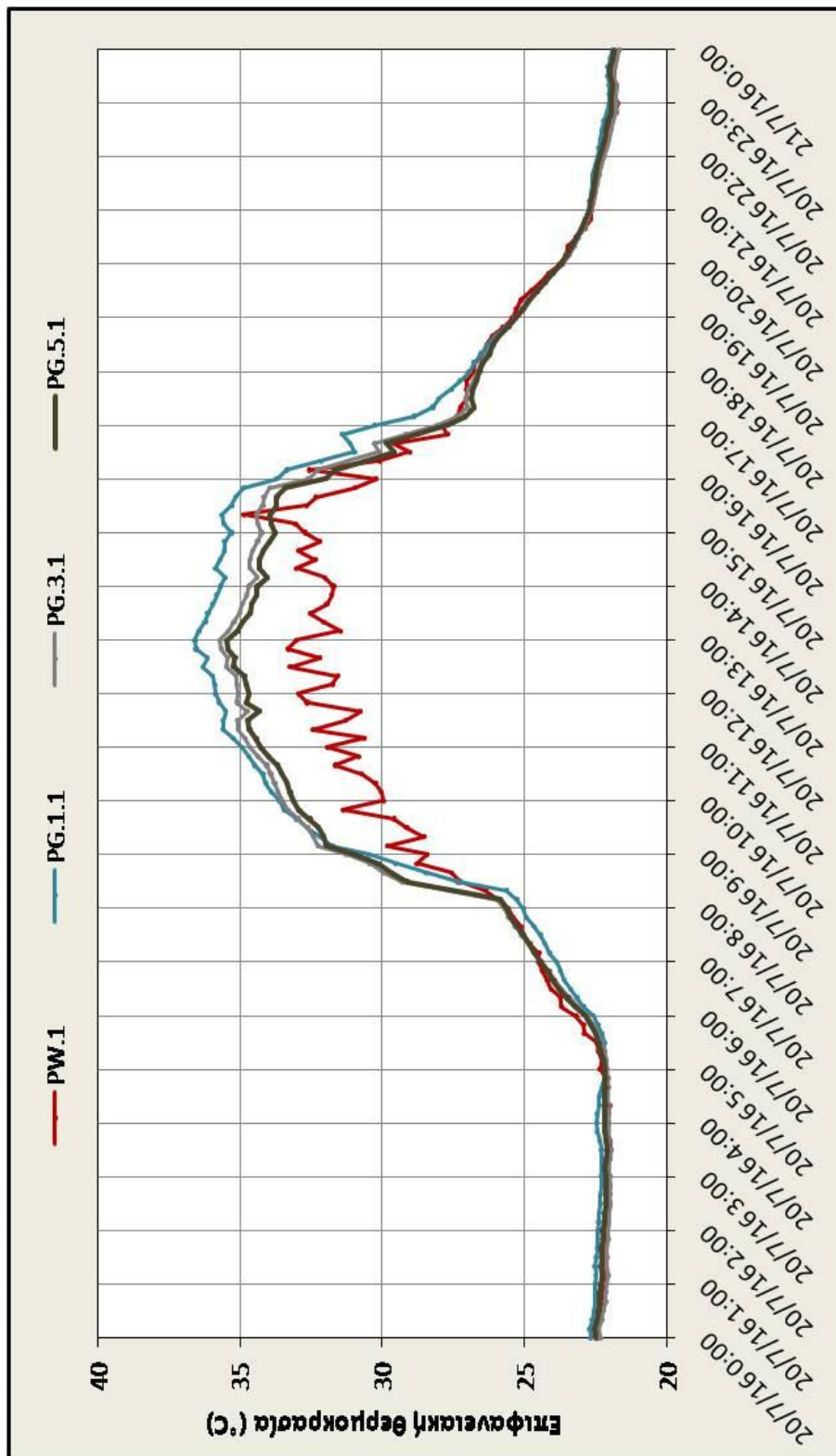


Διάγραμμα 11 - Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα υγρών χρωμάτων στις 20/7/2016

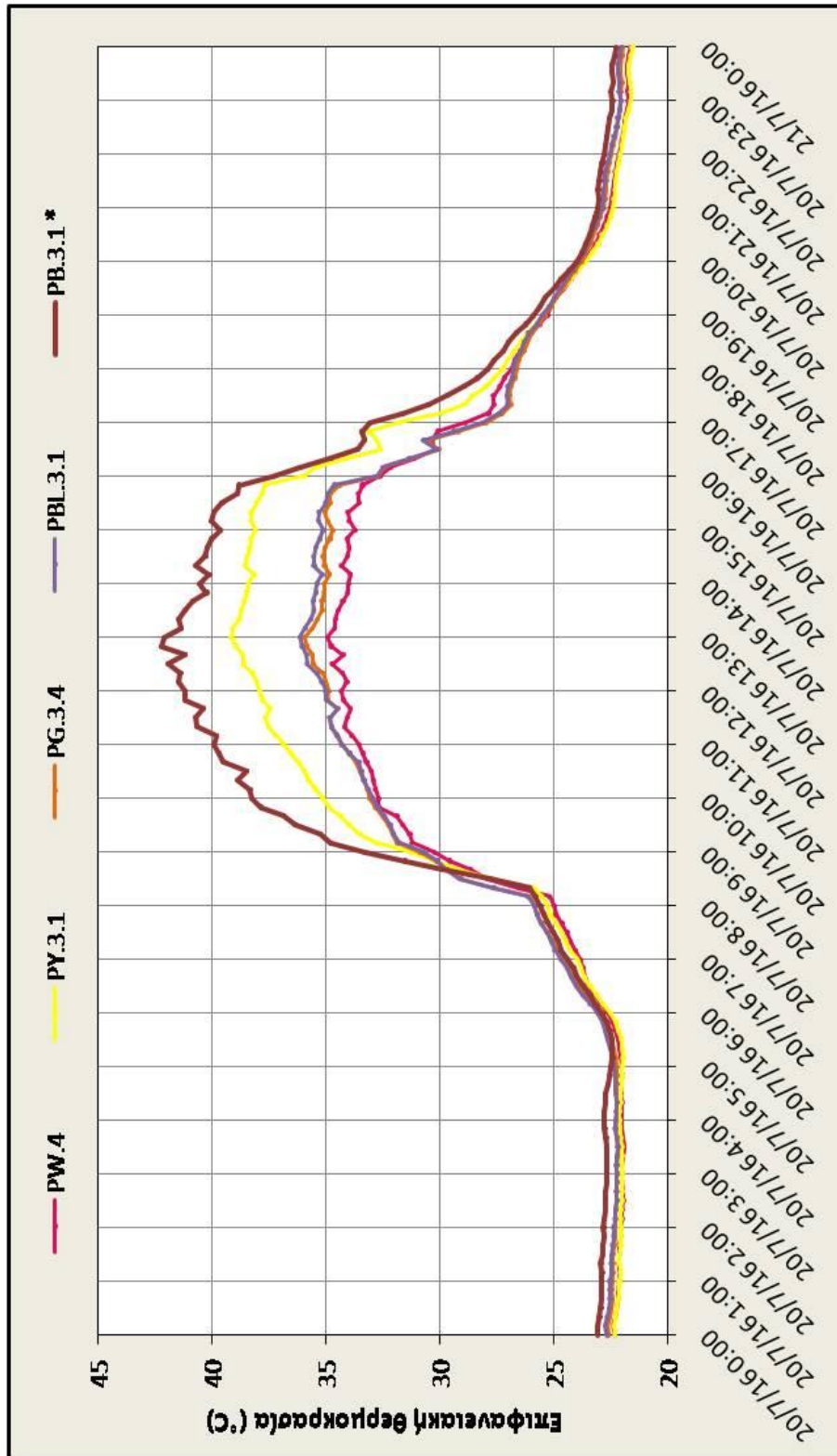


Διάγραμμα 12 - Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα με χρωστικές σε μορφή πούδρας στις 20/7/2016

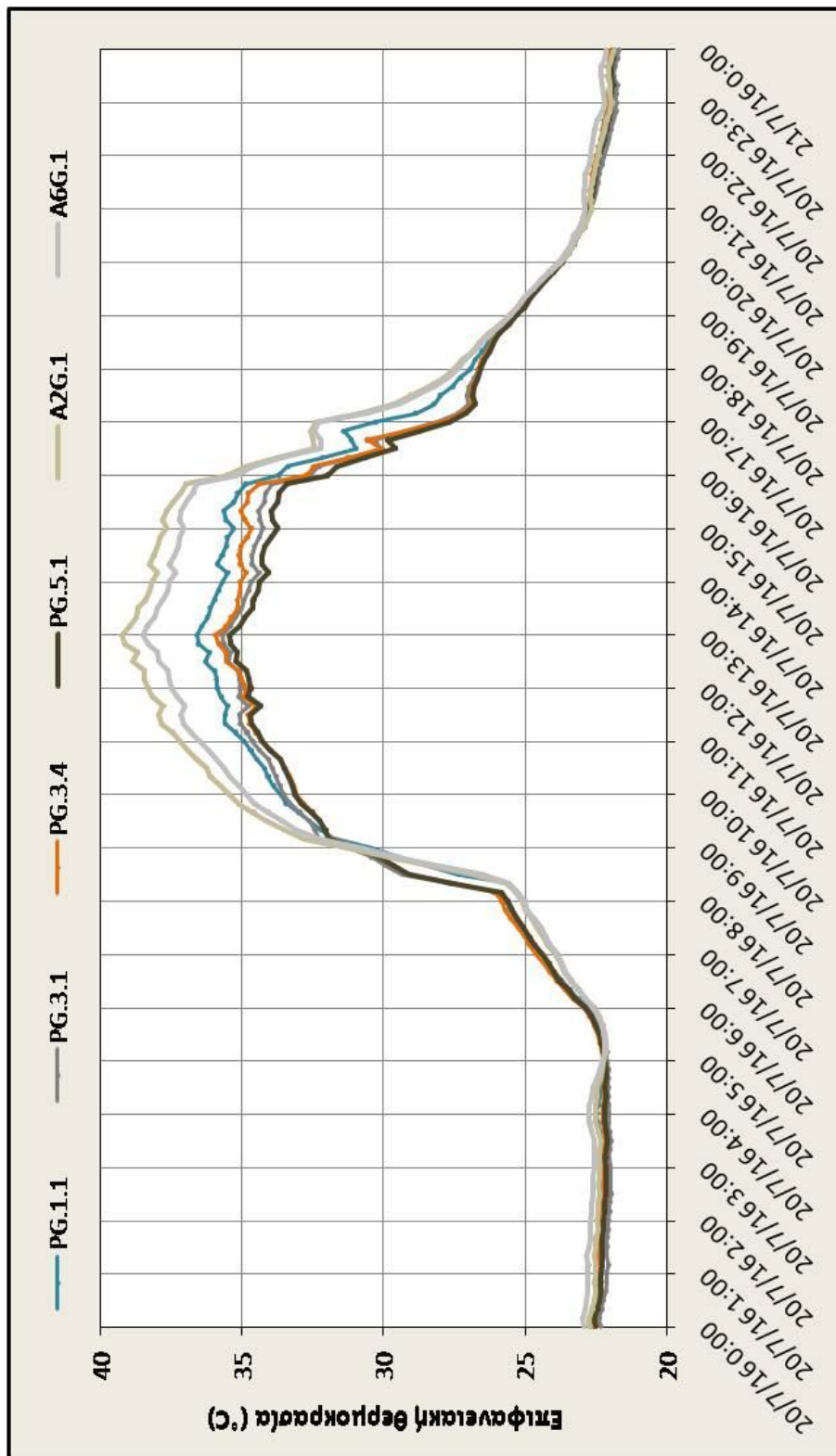




Διάγραμμα 13 - Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα που περιέχουν το υπέρλευκο Durostick Powder Color στις 20/7/2016

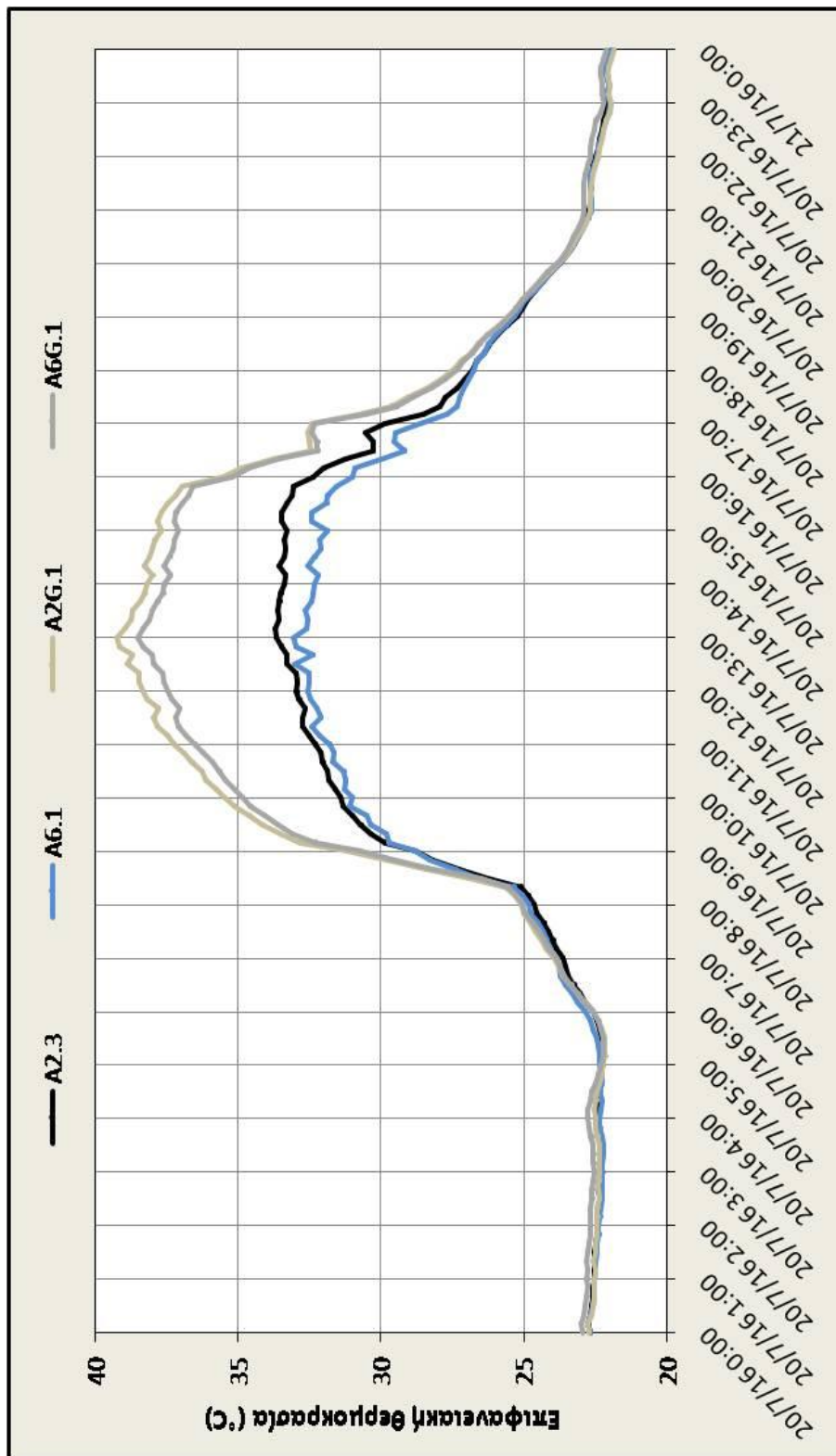


Διάγραμμα 14 - Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα που περιέχουν το υπόλευκο Durostick Powder Color στις 20/7/2016

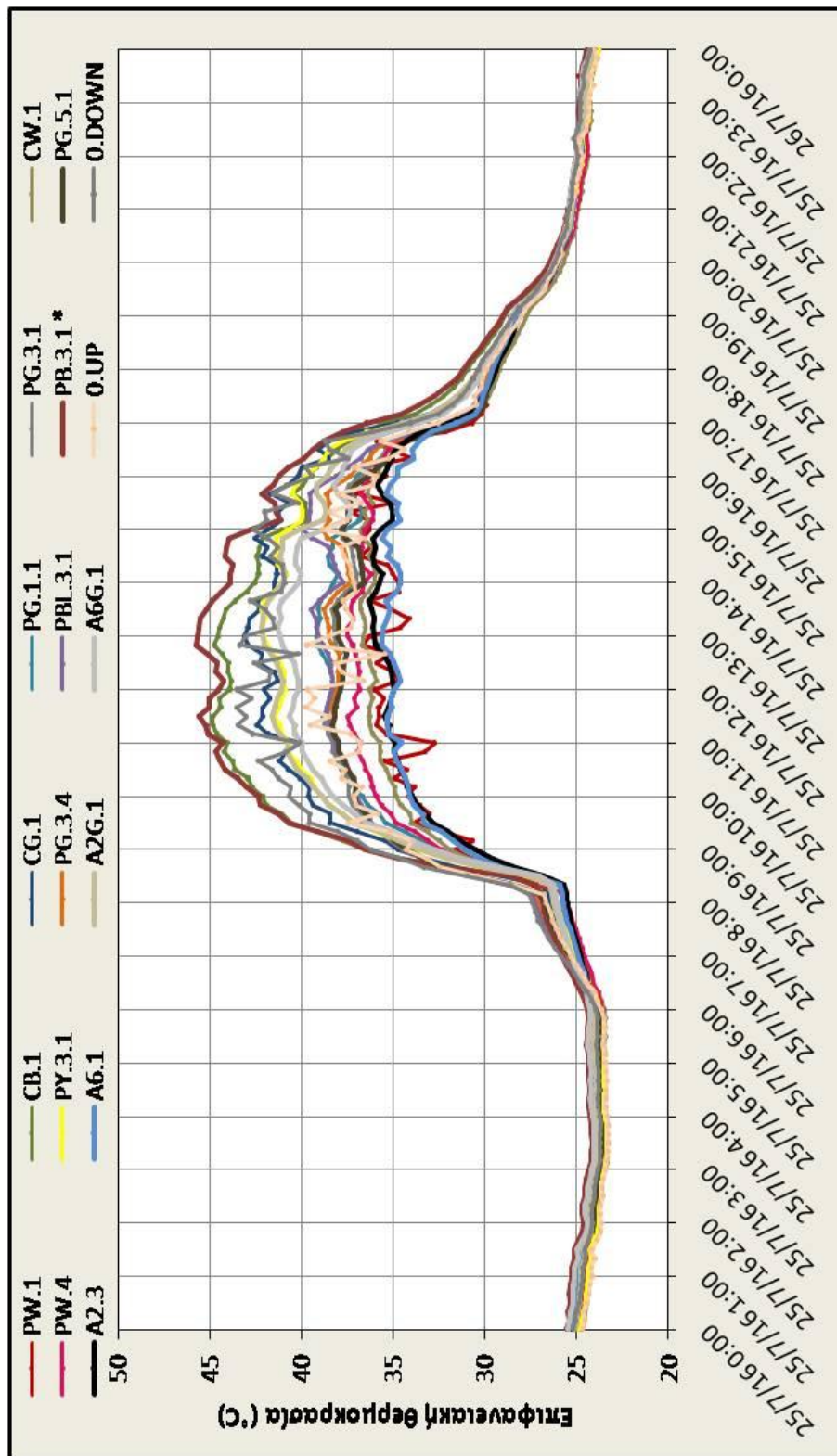


Διάγραμμα 15 - Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα με την (πράσινη) χρωστική Durostick Durocolor Powder-C No. 6 στις 20/7/2016

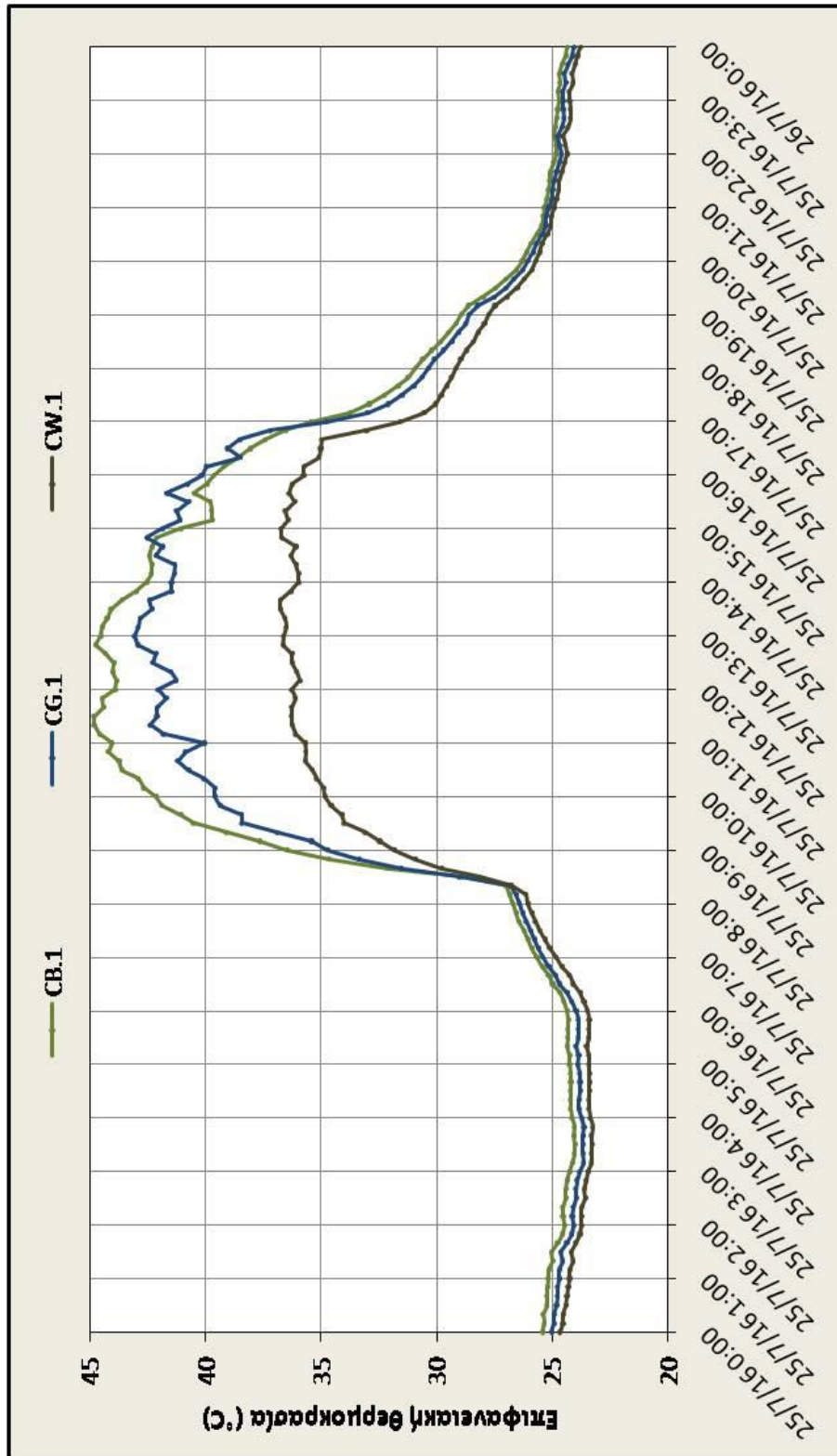




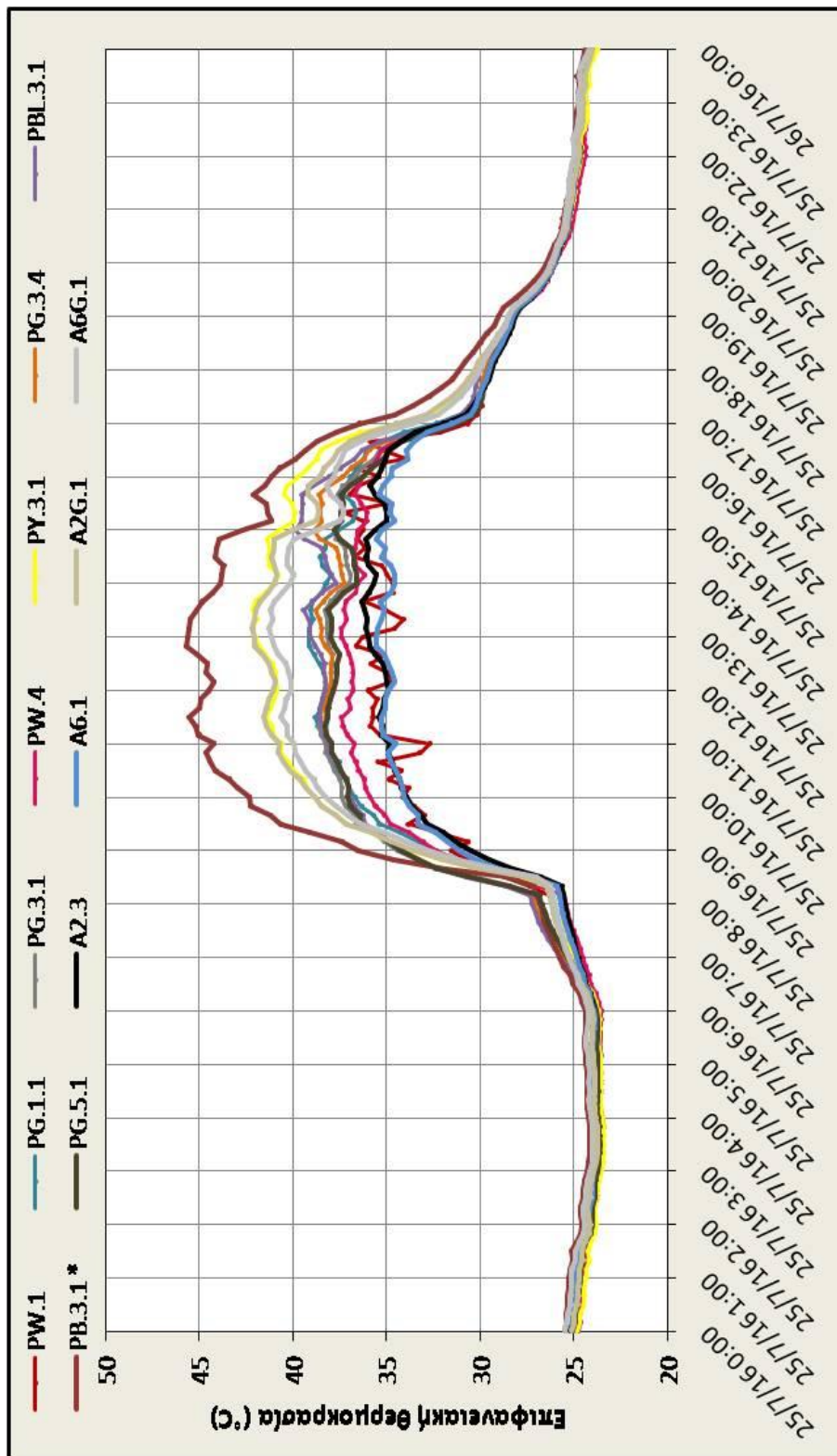
Διάγραμμα 16 - Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα που περιέχουν WCM-DMP και NHL-DMP στις 20/7/2016



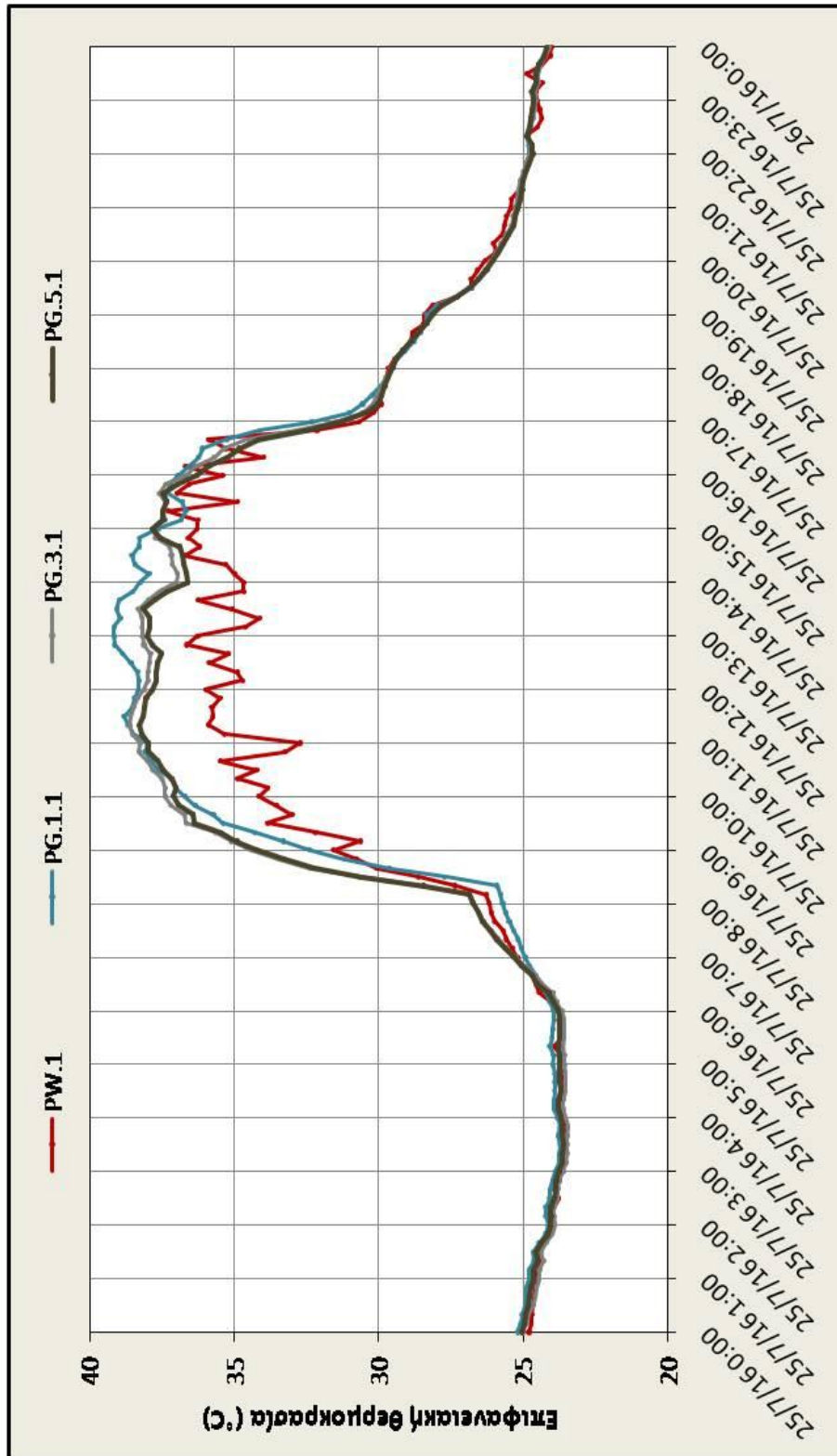
Διάγραμμα 17 - Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για όλα τα δείγματα στις 25/7/2016



Διάγραμμα 18 - Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα υγρών χρωμάτων στις 25/7/2016

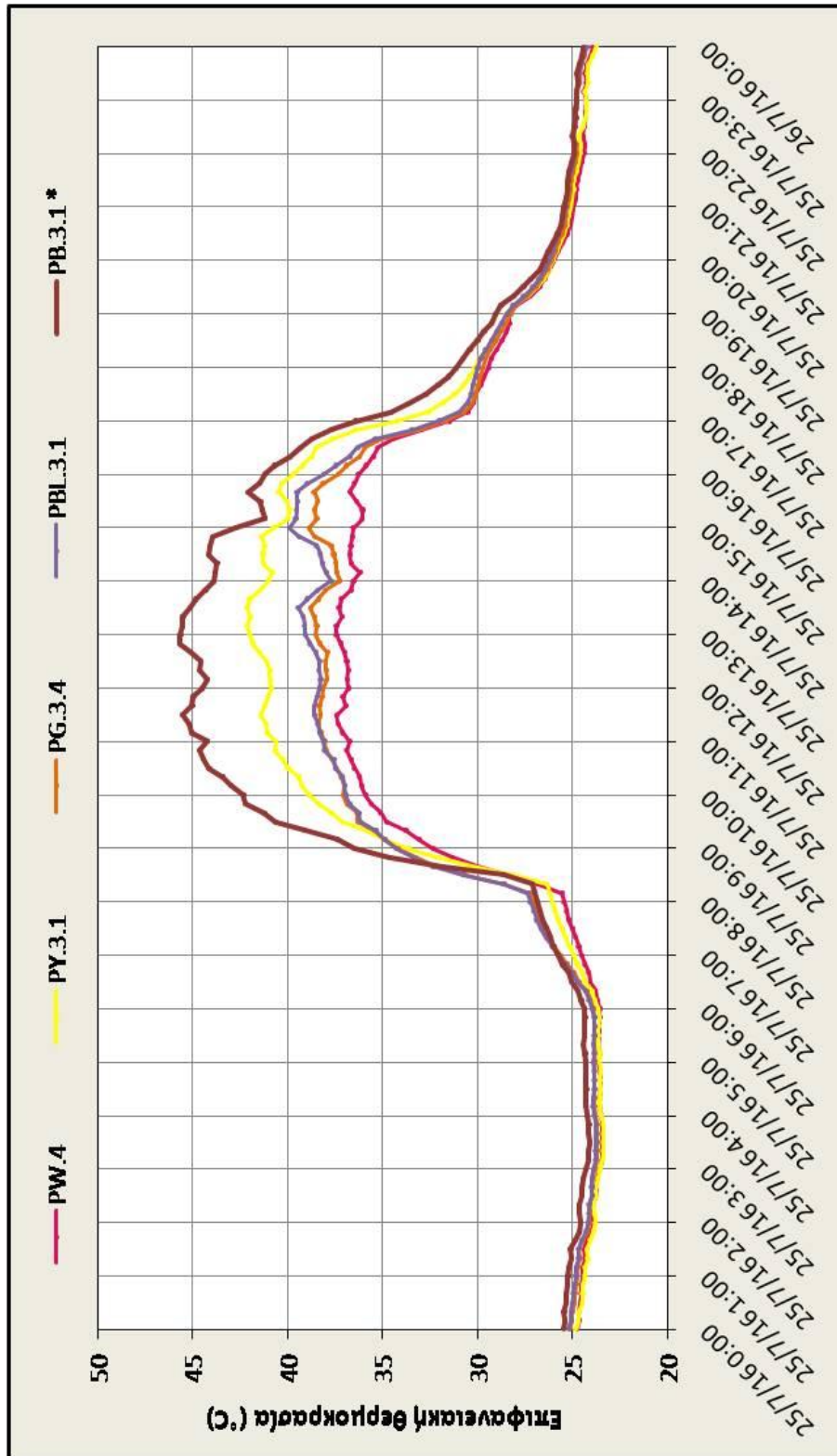


Διάγραμμα 19 - Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα με χρωστικές σε μορφή πούδρας στις 25/7/2016

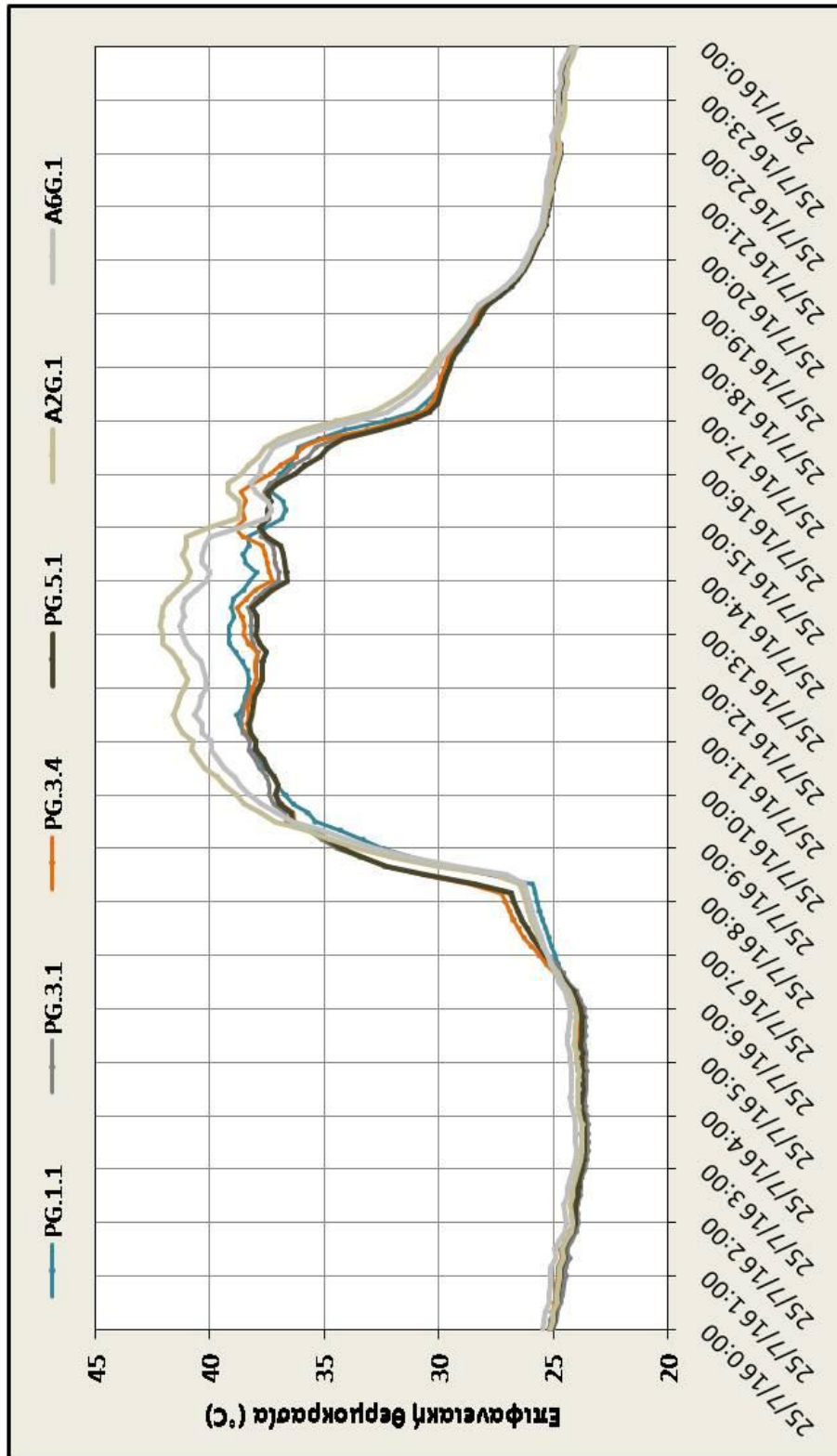


Διάγραμμα 20 - Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα που περιέχουν το υπέρλευκο Durostick Powder Color στις 25/7/2016



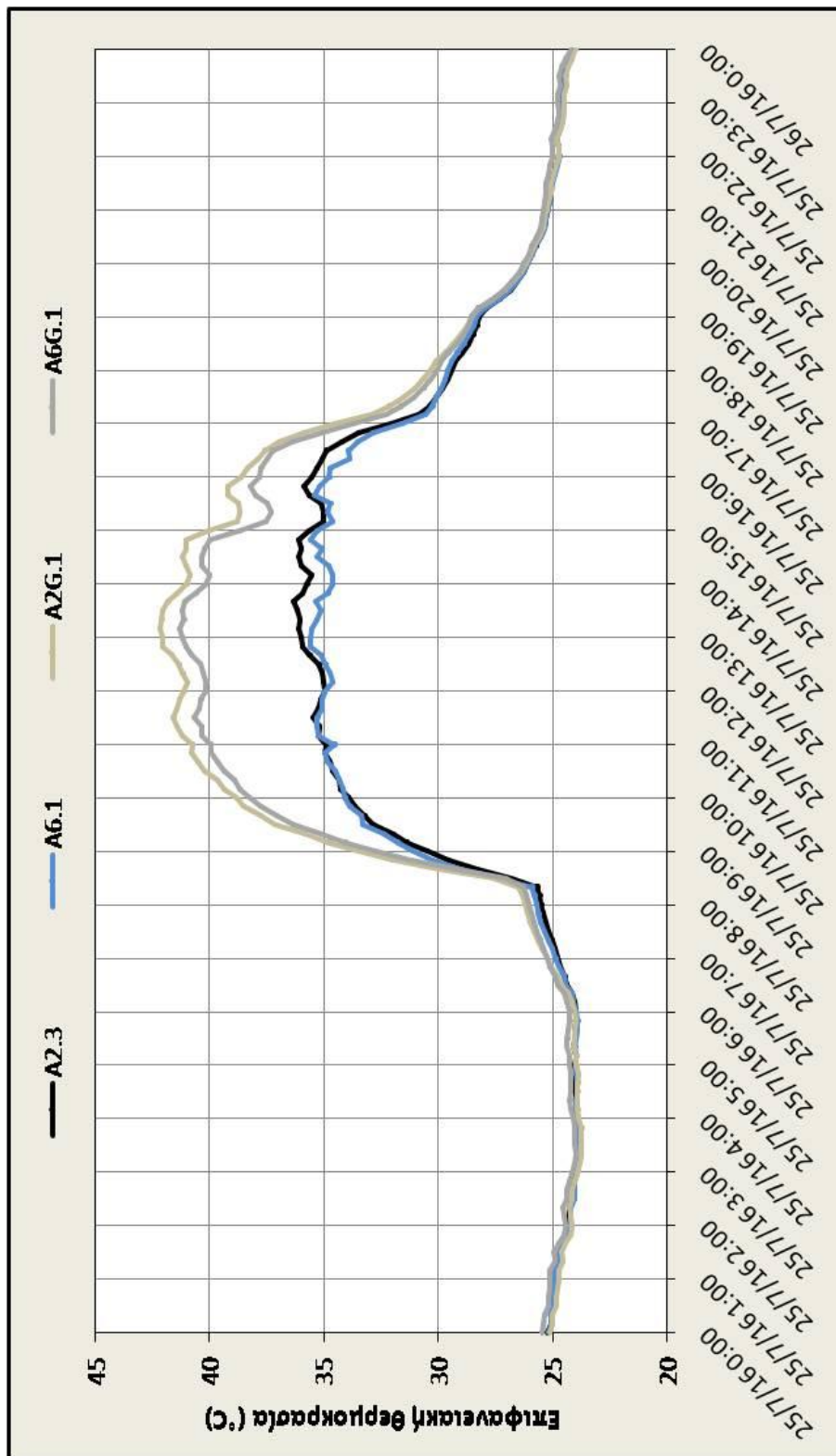


Διάγραμμα 21 - Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα που περιέχουν το υπόλευκο Durostick Powder Color στις 25/7/2016



Διάγραμμα 22 - Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα με την (πράσινη) χρωστική Durostick Durocolor Powder-C No. 6 στις 25/7/2016





Διάγραμμα 23 - Αποτελέσματα μετρήσεων datalogger για τα δείγματα που περιέχουν WCM-DMP και NHL-DMP στις 25/7/2016

### • 3.7.4. Αποτελέσματα προσομοίωσης

Η προσομοίωση γίνεται για επιλεγμένα δείγματα, αφού δε θα είχε νόημα να γίνει για όλα. Συγκεκριμένα, λαμβάνει χώρα για τα τρία δείγματα με τους υψηλότερους δείκτες ανάκλασης, τα τρία με τους χαμηλότερους δείκτες ανάκλασης και για ένα δείγμα με δείκτη ανάκλασης στην ενδιάμεση περιοχή τιμών (ενδεικτικά – τυχαία). Επίσης, ‘τρέχουμε’ προσομοίωση και για τα δύο δείγματα της καθαρής πλάκας (0.UP και 0.DOWN). Έτσι, έχουμε συνολικά οκτώ δείγματα (δεδομένου ότι το 0.DOWN ανήκει σε δύο από τις προαναφερόμενες κατηγορίες), πέραν φυσικά της αρχικής κατάστασης του κτηρίου, για την οποία γίνεται προσομοίωση, με σκοπό να γίνονται συγκρίσεις για το πώς μεταβάλλονται τα απαιτούμενα θερμικά/ψυκτικά φορτία ανά περίπτωση. Τα δείγματα αυτά είναι τα: CW.1, PW.1 και A2.3 (υψηλότεροι SR), PG.3.4 (μέσος SR), CB.1, 0.DOWN και PB.3.1\* (χαμηλότεροι SR) και 0.UP (ως δείγμα αναφοράς, μαζί με το 0.DOWN που προαναφέρθηκε). Τα αποτελέσματα περιέχονται στον Πίνακα 8 και αφορούν τα απαιτούμενα φορτία για θέρμανση και ψύξη και το άθροισμά τους, αλλά και τα ποσοστά μεταβολής (%) κάθε φορτίου για κάθε δείγμα συγκρινόμενο πάντα με την αρχική κατάσταση του κτηρίου. Με πράσινο χρώμα (και αρνητικό πρόσημο) σημειώνονται τα δείγματα για τα οποία προκύπτει εξοικονόμηση ενέργειας και με κόκκινο χρώμα αυτά για τα οποία παρατηρείται αύξηση των απαιτούμενων φορτίων. Όλα τα φορτία έχουν μονάδες kBtu, όπως δίνονται από τους υπολογισμούς του EnergyPlus και του OpenStudio.

Δείγμα	Απαιτούμενο φορτίο για θέρμανση (kBtu)	± %	Απαιτούμενο φορτίο για ψύξη (kBtu)	± %	Συνολικά απαιτούμενο φορτίο (kBtu)	± %	Δείκτης ανάκλασης SR (%)
ΑΡΧΙΚΟ ΚΤΗΡΙΟ	479.937	-	1.161.986	-	1.641.923	-	-
CW.1	534.104	11,29	965.551	-16,91	1.499.655	-8,66	88,23
PW.1	532.777	11,01	968.470	-16,65	1.501.247	-8,57	87,36
A2.3	530.891	10,62	972.688	-16,29	1.503.579	-8,43	86,11
0.UP	505.831	5,40	1.036.201	-10,83	1.542.032	-6,08	67,56
PG.3.4	498.950	3,96	1.056.029	-9,12	1.554.979	-5,30	61,85
CB.1	466.989	-2,70	1.161.720	-0,02	1.628.709	-0,80	31,66
0.DOWN	465.132	-3,08	1.168.602	0,57	1.633.734	-0,50	29,70
PB.3.1*	451.417	-5,94	1.222.163	5,18	1.673.580	1,93	14,49

Πίνακας 8 - Αποτελέσματα προσομοίωσης στο κτήριο K1

### **3.8. Σφάλματα πειραματικής διαδικασίας**

Σε ό,τι αφορά στα διάφορα σφάλματα που μπορεί να προκύπτουν στην πειραματική διαδικασία, αυτά υπάρχουν μεν σε κάποιο βαθμό, αλλά γενικά θεωρείται ότι δεν επηρεάζουν τα αποτελέσματα που λαμβάνουμε σε βαθμό που θα πρέπει να ληφθούν κάποια μέτρα. Αναλυτικότερα, κατά την παρασκευή των δειγμάτων, είναι πιθανό να υπάρχει ανομοιομορφία στο πάχος της στρώσης χρώματος στα πλακίδια, γεγονός που ίσως επηρεάζει λίγο τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στην επιφάνεια τους, όταν τα δείγματα εκτίθενται στον ήλιο. Αυτό βέβαια δεν επηρεάζει καθόλου τις μετρήσεις ανακλαστικότητας, αφού στο φασματοφωτόμετρο γίνονται μετρήσεις που αφορούν μόνο την επιφάνεια του δείγματος. Επίσης, επειδή στις ποσότητες χρωστικής (μόνο για τις χρωστικές σε μορφή πούδρας) δεν υπάρχει πολύ μεγάλη ακρίβεια στη ζύγιση, ίσως να διαφοροποιούνται λίγο οι αναλογίες κατά βάρος, ενώ και οι αναλογίες κατ' όγκο δεν είναι απόλυτα ακριβείς, αφού δε γίνονται σχετικές μετρήσεις ή ζυγίσεις, αλλά τα χρώματα παρασκευάζονται προσεγγιστικά (οπτικά). Επιπλέον, σε κάποια δείγματα παρατηρήθηκε ότι δεν υπήρχε πολύ καλή ομογενοποίηση του χρώματος, κάτι που ίσως επιδρά στα αποτελέσματα των μετρήσεων (αφού δημιουργούνται σβόλοι κλπ.). Η παρουσία σκόνης και μικρών σωματιδίων στην επιφάνεια των δειγμάτων κατά τη διάρκεια λήψης των μετρήσεων μπορεί να έχει αλλοιώσει και αυτή με τη σειρά της λίγο τα αποτελέσματα που προκύπτουν. Άλλος παράγοντας που δύναται να έχει επίπτωση στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων μας και στη διαμόρφωση των συμπερασμάτων μας είναι ο τρόπος λήψης των φωτογραφιών με τη θερμική κάμερα. Κάποιες από τις φωτογραφίες δεν έχουν τραβηχτεί ακριβώς από τη θέση που πρέπει (κατακόρυφα πάνω από το εκάστοτε δείγμα) και έτσι ίσως 'χάνονται' κάποιες μετρήσεις θερμοκρασιών στις φωτογραφίες της κάμερας. Στη διαδικασία της προσομοίωσης, τα όποια σφάλματα δε λαμβάνονται υπόψη, αφού εμπεριέχονται ομοίως στα αποτελέσματα όλων των προσομοιώσεων και, ως εκ τούτου, δεν αλλοιώνουν το συνολικό αποτέλεσμα της έρευνας. Τέλος, είναι πιθανό κατά τις μετρήσεις να έγιναν κάποια μικροσφάλματα από τον παρατηρητή, ενώ η ακρίβεια των οργάνων και η ακρίβεια των υπολογισμών που έγιναν (δεκαδικά ψηφία κλπ.) μπορεί να έχουν επίσης επηρεάσει, σε πολύ μικρό βαθμό όμως, τα αποτελέσματά μας. Γενικά όμως, όπως προαναφέραμε, τα σφάλματα αυτά δεν παίζουν μεγάλο ρόλο στην έρευνά μας, την οποία θεωρούμε κατά το δυνατόν αξιόπιστη.

## **4. Συμπεράσματα**

Από τη συνολική μελέτη των αποτελεσμάτων της έρευνάς μας προκύπτουν πολλά και χρήσιμα συμπεράσματα. Αναλυτικότερα, από τις μετρήσεις της ανακλαστικότητας και τον υπολογισμό των τιμών του δείκτη ανάκλασης SR για τα δείγματα, προκύπτει ότι όλα τα δείγματα έχουν καλύτερη συμπεριφορά από το δείγμα 0.DOWN (χρησιμοποιείται ως δείγμα αναφοράς, αφού είναι επί της ουσίας τσιμέντο χωρίς σοβά και έχει SR 29,70), εκτός από τα δείγματα PB.3.1 και PB.3.1\*, τα οποία έχουν και τους χαμηλότερους SR (13,09 και 14,49 αντίστοιχα). Τον υψηλότερο SR (88,23) εμφανίζει το δείγμα CW.1, κάτι αναμενόμενο, αφού είναι λευκό. Από τα δείγματα με την πράσινη χρωστική Durostick Durocolor Powder-C No. 6, υψηλότερο SR εμφανίζει το δείγμα PG.1.1 (72,82), όπως άλλωστε αναμενόταν, αφού έχει τη μικρότερη περιεκτικότητα σε χρωστική. Από τα δείγματα που περιέχουν τα ορυκτά WCM-DMP και NHL-DMP, υψηλότερο δείκτη ανάκλασης έχει το A2.3 (86,11), από αυτά που περιέχουν χρωστικές σε μορφή πούδρας το PW.1 (87,36) και από τα υγρά χρώματα το CW.1 (88,23), όπως ήδη προαναφέραμε. Επομένως, συμπεραίνουμε εύκολα και ότι το PW.1 (87,36) έχει υψηλότερο SR από το PW.4 (81,69), επομένως το υπέρλευκο Durostick Powder Color συμπεριφέρεται καλύτερα από το υπόλευκο Durostick Powder Color. Συγκρίνοντας μεταξύ τους τα δείγματα PG.3.4 (61,85), PY.3.1 (56,79), PBL.3.1 (47,82) και PB.3.1\* (14,49), τα οποία περιέχουν την ίδια λευκή χρωστική ως βάση (υπόλευκο Durostick Powder Color) στην ίδια αναλογία (30 %), προκύπτει ότι η πράσινη χρωστική (Durostick Durocolor Powder-C No. 6) συμπεριφέρεται καλύτερα, ενώ ακολουθούν κατά σειρά η κίτρινη (Marmoline Powder Colour Yellow), η μπλε (Marmoline Powder Colour Blue) και η μαύρη (Marmoline Powder Colour Black).

Από τις φωτογραφίες που τραβήχτηκαν με τη θερμοκάμερα και από τα σχετικά στοιχεία, εξάγονται κάποια συμπεράσματα, για τα οποία όμως δεν μπορούμε να είμαστε απόλυτα βέβαιοι, αφού οι φωτογραφίες απεικονίζουν την κατάσταση μόνο για μια χρονική στιγμή. Παρόλα αυτά, φαίνεται ξεκάθαρα ότι υψηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες εμφανίζουν τα δείγματα μαύρου χρώματος και το δείγμα 0.DOWN και χαμηλότερες τα δείγματα λευκού χρώματος. Πιο συγκεκριμένα, το δείγμα PB.3.1\* εμφανίζει και στα τρία σετ φωτογραφιών την υψηλότερη θερμοκρασία (46,8 °C στις 12 το μεσημέρι, 49,5 °C στις 2 μμ. και 52,5 °C στις 4 μμ.), ενώ τις χαμηλότερες θερμοκρασίες τις έχουμε στα δείγματα A6.1 και PW.1 για τις 12 το μεσημέρι με 30,6 °C και στο δείγμα A6.1 για τις 2 μμ. και τις 4 μμ. με 33,4 °C και 33,8 °C

αντίστοιχα. Σε ό,τι αφορά τους μέσους όρους θερμοκρασιών που υπολογίστηκαν από τα τέσσερα σημεία, βλέπουμε ότι δε συμφωνούν απόλυτα με τους SR, αν και, όπως προείπαμε, δε μπορούμε να βασιστούμε στα στοιχεία αυτά. Γενικά όμως, παρατηρούμε ότι υπάρχει μια εξάρτηση των θερμοκρασιών από το δείκτη ανάκλασης, αν και προφανώς παίζουν ρόλο και άλλοι παράγοντες, όπως η χρησιμοποιούμενη απόχρωση, το πάχος της στρώσης βαφής, η χημική σύσταση του δείγματος κλπ..

Προχωρώντας στα δεδομένα που έχουμε από το καταγραφικό θερμοκρασιών, παρατηρούμε ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος παρουσιάζει μικρότερες διακυμάνσεις από αυτές των δειγμάτων σε όλες τις περιπτώσεις. Επίσης, όπως είναι φυσιολογικό, τα δείγματα που αναπτύσσουν τις υψηλότερες θερμοκρασίες είναι αυτά που έχουν μαύρο χρώμα (CB.1, PB.3.1, PB.3.1\*), καθώς και το δείγμα αναφοράς O.DOWN, ενώ τα δείγματα που αναπτύσσουν τις χαμηλότερες θερμοκρασίες είναι αυτά που έχουν λευκό χρώμα (CW.1, PW.1, PW.4, A2.3, A6.1), τα οποία μάλιστα είναι και τα μόνα με θερμοκρασίες χαμηλότερες από το δείγμα αναφοράς O.UP, που είναι το πάνω μέρος του πλακιδίου χωρίς χρώμα. Συγκρίνοντας πάλι μεταξύ τους τα δείγματα PG.3.4, PY.3.1, PBL.3.1 και PB.3.1\*, προκύπτει ότι η πράσινη χρωστική συμπεριφέρεται καλύτερα (αφού αναπτύσσει τις χαμηλότερες θερμοκρασίες), ενώ ακολουθούν κατά σειρά η μπλε, η κίτρινη και η μαύρη.

Από τα αποτελέσματα της προσομοίωσης που έγινε για τα επιλεγμένα 8 δείγματα, βλέπουμε ότι όλα τα δείγματα, εκτός από το PB.3.1\* (που την αυξάνει κατά 1,93 %), μειώνουν τη συνολικά απαιτούμενη ενέργεια για τη θέρμανση και την ψύξη του κτηρίου από 0,50 % έως και 8,66 %. Ως καλύτερο δείγμα προάγεται το CW.1 με μείωση του συνολικού φορτίου κατά 8,66 %, κάτι που είναι λογικό, αφού έχει και τον υψηλότερο SR και είναι από τα δείγματα που αναπτύσσουν συγκριτικά χαμηλές επιφανειακές θερμοκρασίες. Το φορτίο θέρμανσης μειώνεται για τα δείγματα μαύρου χρώματος (CB.1, PB.3.1\*) και το O.DOWN, ενώ αυξάνεται για όλα τα υπόλοιπα. Το φορτίο ψύξης αυξάνεται μόνο για το PB.3.1\* και το O.DOWN και μειώνεται για όλα τα υπόλοιπα. Εδώ, να υπενθυμίσουμε ότι στην αρχική κατάσταση του κτηρίου η τελευταία εξωτερική στρώση της κατασκευής της οροφής είναι μια τσιμεντοσανίδα, με ιδιότητες παρόμοιες με αυτές του δείγματος αναφοράς O.DOWN. Τέλος, παρατηρείται ότι η μεταβολή (μείωση/αύξηση) του συνολικού φορτίου είναι καθαρά ανάλογη των τιμών απορροφητικότητας (θερμικής, ηλιακής και οπτικής) που χρησιμοποιούμε, όπως και των αντίστοιχων τιμών του δείκτη ανάκλασης.

Συνοψίζοντας λοιπόν όλα τα παραπάνω, προκύπτει ότι κάποια από τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν ως δείγματα μπορούν να αξιοποιηθούν και να χρησιμοποιηθούν ως θερμοανακλαστικά υλικά σε κτήρια. Ειδικότερα, ως τέτοια προτείνεται να χρησιμοποιηθούν τα υλικά που περιέχονται στα δείγματα PW.1, A2.3 και CW.1, με την υποσημείωση όμως ότι το τελευταίο περιέχει πλαστικό χρώμα εσωτερικών χώρων (Kraft Profi Interior) και όχι κάποια φυσικής προέλευσης χρωστική ή βαφή όπως τα υπόλοιπα. Προτείνονται λοιπόν, ως θερμοανακλαστικά, το υπέρλευκο Durostick Powder Color, που είναι ένα υλικό με βάση βινυλικές τροποποιημένες ρητίνες και εξευγενισμένα fillers, και το ορυκτό WCM-DMP (White Cement - Dolomite Marble Powder), δηλαδή το μίγμα που αποτελείται (κυρίως) από λευκό τσιμέντο Πόρτλαντ και σκόνη δολομιτικού μαρμάρου. Για τα δείγματα για τα οποία δεν έχει γίνει προσομοίωση, αποφεύγεται να προταθούν υλικά, καθώς δε γνωρίζουμε τι αποτελέσματα θα προέκυπταν από τις προσομοιώσεις για τα εξεταζόμενα απαιτούμενα φορτία θέρμανσης και ψύξης του κτηρίου. Επίσης, παρόλο που η χρήση του δείγματος PG.3.4 οδηγεί σε μείωση 5,30 % του συνολικού ενεργειακού φορτίου, δεν προτείνεται εδώ η χρωστική που περιέχει (Durostick Durocolor Powder-C No. 6), καθώς το δείγμα αυτό παρουσιάζει μικρότερη μείωση από την αντίστοιχη του δείγματος αναφοράς O.UP (μείωση φορτίου κατά 6,08 %). Επιπλέον, βλέπουμε ότι η συμπεριφορά ενός υλικού (πάντα σε σχέση με την ανάκλαση θερμότητας) εξαρτάται σε γενικές γραμμές από το δείκτη ανάκλασης και το χρώμα του, με τους δύο αυτούς παράγοντες να συνδέονται άμεσα μεταξύ τους. Πιο αποδοτικά είναι τα δείγματα με πιο ανοικτό χρώμα (λευκό κλπ.) και υψηλότερους δείκτες ανάκλασης και λιγότερο αποδοτικά αυτά με πιο σκούρο χρώμα (μαύρο κλπ.) και χαμηλότερους δείκτες ανάκλασης. Γενικά, προκύπτει η εκτίμηση ότι υλικά με δείκτη ανάκλασης άνω του 40 – 50 % μπορούν να έχουν τουλάχιστον ικανοποιητική απόδοση ως θερμοανακλαστικά ή θερμομονωτικά, ανάλογα πάντα και με τη χημική τους σύσταση, το χρώμα τους και άλλους παράγοντες που παίζουν ρόλο. Λέγοντας ικανοποιητική απόδοση, εννοούμε να μην αναπτύσσουν μεγάλες θερμοκρασίες όταν εκτίθενται στον ήλιο για μεγάλο χρονικό διάστημα και να προσφέρουν, όταν χρησιμοποιηθούν στην εξωτερική επιφάνεια – πρόσοψη ενός κτηρίου, μια μείωση του ενεργειακού φορτίου που απαιτείται για τη θέρμανση και την ψύξη του σε ετήσια βάση, κάτι που θα έχει και τον ανάλογο αντίκτυπο στο σχετικό κόστος.

## **5. Προτάσεις μελλοντικής έρευνας**

Κατά τη διάρκεια της έρευνάς μας, προέκυψαν κάποια θέματα και ερωτήματα, τα οποία θα μπορούσαν να απαντηθούν με μελλοντική διερεύνηση στο πεδίο των θερμοανакλαστικών υλικών και της εξοικονόμησης ενέργειας στα κτήρια, προς όφελος τόσο της επιστημονικής κοινότητας όσο και της αγοράς αυτών των υλικών και του κοινού. Πιο συγκεκριμένα, σε μελλοντικές έρευνες θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και άλλα υλικά (υποστρώματα, χρωστικές, βάσεις κλπ.) ή ακόμα και οι ίδιες χρωστικές, με άλλες όμως αναλογίες, ώστε να εξεταστεί αν θα προκύψουν και άλλα υλικά με παρόμοιες (ή και καλύτερες) ιδιότητες με αυτά που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία. Επιπλέον, χρήσιμο θα ήταν να δοκιμαστούν τα ίδια υλικά σε άλλες εφαρμογές, σχετικές πάντα με την εξοικονόμηση ενέργειας, αλλά και να μελετηθούν οι θερμοανакλαστικές τους ιδιότητες συνδυαστικά, τόσο με κάποιους από τους υπόλοιπους κατασκευαστικούς παράγοντες ενός κτηρίου (αφού εδώ εξετάσαμε μόνο την εξωτερική στρώση χρώματος της οροφής του), όσο και με το κόστος τους, τις μηχανικές αντοχές τους και τη φθορά τους στο χρόνο. Προτείνεται επίσης η περαιτέρω μελέτη των υλικών (τόσο αυτών που χρησιμοποιήσαμε εμείς, όσο και άλλων που κυκλοφορούν στην αγορά) ως προς τη χημική τους σύσταση, με έμφαση στη βελτίωση της θερμοανакλαστικής τους απόδοσης, την οικολογική τους συμπεριφορά και τη μείωση του κόστους χρήσης τους, που, πολλές φορές, καθιστά από δύσκολη έως αδύνατη τη χρησιμοποίησή τους στις κατασκευές και επισκευές κτηρίων. Σημαντικά συμπεράσματα θα μπορούσαν να προκύψουν και από τη διεξαγωγή του πειραματικού μέρους της έρευνάς μας σε άλλες κλιματικές ή μετεωρολογικές συνθήκες (άλλη εποχή ή άλλη περιοχή), όπως και από την προσομοίωση της κατάστασης σε διάφορες περιοχές και την ταυτόχρονη μελέτη των αποτελεσμάτων. Σε ό,τι αφορά τις χρησιμοποιούμενες μεθόδους και όργανα, θα μπορούσε να υπολογιστεί ο δείκτης ανάκλασης με διαφορετικό τρόπο, να χρησιμοποιηθεί φασματοφωτόμετρο με δυνατότητα μελέτης σε ευρύτερο φάσμα και να γίνουν μετρήσεις με μικρότερο χρονικό βήμα ή/και με μεγαλύτερη συνολική διάρκεια στο καταγραφικό θερμοκρασιών. Τέλος, σε ό,τι έχει να κάνει με την προσομοίωση της κατάστασης του κτηρίου μετά τη χρήση των μελετώμενων υλικών, θα μπορούσε να αφορά και άλλα τμήματα πέραν της οροφής, ενώ θα ήταν δυνατό να συμπεριληφθούν στη μελέτη τα αποτελέσματα για τα απαιτούμενα ηλεκτρικά φορτία για το φωτισμό και τη λειτουργία του εξοπλισμού του κτηρίου (αν βέβαια έχουν πρώτα γίνει και άλλες παρεμβάσεις σε αυτό), που εδώ δεν έχουν εξεταστεί.



## **Βιβλιογραφία – Πηγές**

### **➤ Βιβλία – Άρθρα – Δημοσιεύσεις**

Doulos, L., Santamouris, M., Livada, I., 2004. *Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials*. Solar Energy 77, 231-249

Gobakis, K., Kolokotsa, D., Maravelaki-Kalaitzaki, N., Perdikatsis, V., Santamouris, M., 2014. *Development and analysis of advanced inorganic coatings for buildings and urban structures*. Energy and Buildings 89, 196-205

Gobakis, K., Kolokotsa, D., Synnefa, A., Saliari, M., Giannopoulou, K., Santamouris, M., 2011. *Development of a model for urban heat island prediction using neural network techniques*. Sustainable Cities and Society 1, 104-115

Karlessi, T., Santamouris, M., Apostolakis, K., Synnefa, A., Livada, I., 2009. *Development and testing of thermochromic coatings for buildings and urban structures*. Solar Energy 83, 538-551

Kolokotsa, D., Maravelaki-Kalaitzaki, P., Papantoniou, S., Vangeloglou, E., Saliari, M., Karlessi, T., Santamouris, M., 2012. *Development and analysis of mineral based coatings for buildings and urban structures*. Solar Energy 86 (5), 1648-1659

Mastrapostoli, E., Santamouris, M., Kolokotsa, D., Perdikatsis, V., Venieri, D., Gompakis, K., 2015. *On the ageing of cool roofs: Measure of the optical degradation, chemical and biological analysis and assessment of the energy impact*. Energy and Buildings 114, 191-199

Santamouris, M., Synnefa, A., Kolokotsa, D., Dimitriou, V., Apostolakis, K., 2008. *Passive cooling of the built environment – use of innovative reflective materials to fight heat island and decrease cooling needs*. International Journal of Low-Carbon Technologies 3 (2), 71-82

Synnefa, A., Santamouris, M., Apostolakis, K., 2006. *On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment*. Solar Energy 81, 488-497

Synnefa, A., Santamouris, M., Livada, I., 2005. *A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment*. Solar Energy 80, 968-981

Βαγγέλογλου, Ε., *Εξοικονόμηση ενέργειας σε κτήρια με χρήση χρωμάτων, κονιαμάτων και επιχρισμάτων*, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2010

Διακρούσης, Σ., *Αξιολόγηση επιρροής διαφοροποιημένου αδρανούς στα κονιάματα ως προς τις οπτικές τους ιδιότητες*, Μεταπτυχιακή διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2015

Κατσιγιάννης, Ε., *Εξοικονόμηση ενέργειας σε κτήρια με χρήση οικολογικών υλικών στα επιχρίσματα*, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2012

Πυλούδη, Ε., *Μετατροπή του κτιρίου Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης σε κτίριο μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης*, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, 2013

### ➤ Διαδίκτυο

[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BA%CE%BB%CE%B9%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82\\_%CF%83%CF%87%CE%B5%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82\\_%CE%BA%CF%84%CE%B9%CF%81%CE%AF%CF%89%CE%BD](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B9%CE%BF%CE%BA%CE%BB%CE%B9%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CF%83%CF%87%CE%B5%CE%B4%CE%B9%CE%B1%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82_%CE%BA%CF%84%CE%B9%CF%81%CE%AF%CF%89%CE%BD)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Green\\_building](https://en.wikipedia.org/wiki/Green_building)

<http://www.en-gr.com/index.php/el/2012-01-14-16-57-43/vioklimatika/1077-bioclimatic-architecture>

<http://www.eipak.org/pathitiko-ktirio-passive-house/vasikes-arxes-pathitikou-ktiriou>

[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BD%CE%B7%CF%83%CE%AF%CE%B4%CE%B1](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%91%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%B8%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BD%CE%B7%CF%83%CE%AF%CE%B4%CE%B1)

[http://myithaka.nl/climategr/?page\\_id=494](http://myithaka.nl/climategr/?page_id=494)

[https://en.wikipedia.org/wiki/Built\\_environment](https://en.wikipedia.org/wiki/Built_environment)

<https://www.astm.org/Standards/E903.htm>

<https://www.astm.org/Standards/G173.htm>

<http://marmoline.gr/el/categories/d%C3%A9cor-xromata-pro%CF%8Aonta-texnotropias-egxroma-koniamata/products/fysiki-xrostiki-se-morfi-poydras>

[https://marmoline.s3.amazonaws.com/system/uploads/document/file/293/TDS - POWDER COLOUR\\_gr.pdf](https://marmoline.s3.amazonaws.com/system/uploads/document/file/293/TDS - POWDER COLOUR_gr.pdf)

<http://abio.gr/index.php/el/proionta/catalog/item/oikologika-hromata%2C-tehnotropies%2C-apentomosi-ksiloi%2C-monotika-ilika/912-eksoterika%2C-oikologika-hromata-keim/8898-keim-coolit-ap-%28thermo-anaklastiki%2C-orikti-bafi%29>

[http://abio.gr/images/eshop/catalog/products/8898/files/Keim%20Coolit\\_05\\_2013\\_engl%20\(1\).pdf](http://abio.gr/images/eshop/catalog/products/8898/files/Keim%20Coolit_05_2013_engl%20(1).pdf)

[http://abio.gr/images/eshop/catalog/products/8898/files/Coolit-AP\\_engl\\_05\\_2013.pdf](http://abio.gr/images/eshop/catalog/products/8898/files/Coolit-AP_engl_05_2013.pdf)

[http://durostick.gr/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=flypage.tpl&product\\_id=90&category\\_id=24&Itemid=109&option=com\\_virtuemart&lang=el&vmcchk=1&Itemid=109](http://durostick.gr/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=90&category_id=24&Itemid=109&option=com_virtuemart&lang=el&vmcchk=1&Itemid=109)

[http://durostick.gr/index.php?page=shop.getfile&file\\_id=1264&product\\_id=90&option=com\\_virtuemart&Itemid=109&lang=el](http://durostick.gr/index.php?page=shop.getfile&file_id=1264&product_id=90&option=com_virtuemart&Itemid=109&lang=el)

[http://www.durostick.gr/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=flypage.tpl&product\\_id=91&category\\_id=24&Itemid=109&option=com\\_virtuemart&lang=el](http://www.durostick.gr/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=91&category_id=24&Itemid=109&option=com_virtuemart&lang=el)

[http://www.durostick.gr/index.php?page=shop.getfile&file\\_id=1844&product\\_id=91&option=com\\_virtuemart&Itemid=109&lang=el](http://www.durostick.gr/index.php?page=shop.getfile&file_id=1844&product_id=91&option=com_virtuemart&Itemid=109&lang=el)

[http://www.durostick.gr/index.php?page=shop.product\\_details&flypage=flypage.tpl&product\\_id=92&category\\_id=24&Itemid=109&option=com\\_virtuemart&lang=el](http://www.durostick.gr/index.php?page=shop.product_details&flypage=flypage.tpl&product_id=92&category_id=24&Itemid=109&option=com_virtuemart&lang=el)

[http://www.durostick.gr/index.php?page=shop.getfile&file\\_id=1267&product\\_id=92&option=com\\_virtuemart&Itemid=109&lang=el](http://www.durostick.gr/index.php?page=shop.getfile&file_id=1267&product_id=92&option=com_virtuemart&Itemid=109&lang=el)

<http://www.agilent.com/en-us/products/uv-vis-uv-vis-nir/uv-vis-uv-vis-nir-systems/cary-5000-uv-vis-nir>

<http://www.agilent.com/cs/library/usermanuals/public/1972.pdf>

[http://www.agilent.com/cs/library/brochures/5990-7786EN\\_Cary-4000-5000-6000i-UV-Vis-NIR\\_Brochure.pdf](http://www.agilent.com/cs/library/brochures/5990-7786EN_Cary-4000-5000-6000i-UV-Vis-NIR_Brochure.pdf)

<https://www.agilent.com/cs/library/usermanuals/Public/1625.pdf>

[http://www.agilent.com/cs/library/flyers/public/5991-1717EN\\_PromoFlyer\\_UV\\_DRA.pdf](http://www.agilent.com/cs/library/flyers/public/5991-1717EN_PromoFlyer_UV_DRA.pdf)

[http://www.agilent.com/cs/publishingimages/cary\\_5000\\_uv-vis-nir\\_spectrophotometer\\_lg.png](http://www.agilent.com/cs/publishingimages/cary_5000_uv-vis-nir_spectrophotometer_lg.png)

<http://alacron.com/clientuploads/directory/Cameras/FLIR/B2%20D atasheet.pdf>

[http://assets.tequipment.net/assets/1/26/DimLarge/thermacam\\_b2\\_19\\_image\\_1.jpg](http://assets.tequipment.net/assets/1/26/DimLarge/thermacam_b2_19_image_1.jpg)

<https://www.campbellsci.com/cr850>

[https://s.campbellsci.com/documents/us/product-brochures/b\\_cr800-series.pdf](https://s.campbellsci.com/documents/us/product-brochures/b_cr800-series.pdf)

<https://s.campbellsci.com/documents/us/manuals/cr800-cr850.pdf>

<https://s.campbellsci.com/images/10-89.png>

<https://www.campbellsci.com/am16-32b>

[https://s.campbellsci.com/documents/us/product-brochures/b\\_am16-32b.pdf](https://s.campbellsci.com/documents/us/product-brochures/b_am16-32b.pdf)

<https://s.campbellsci.com/documents/us/manuals/am16-32b.pdf>

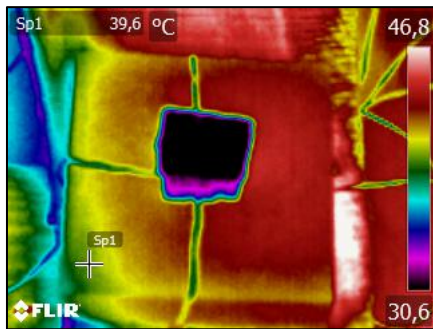
<https://s.campbellsci.com/images/14-8428.png>

<http://www.enveng.tuc.gr/index.php?lang=el>

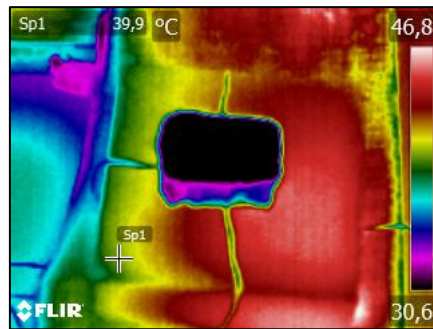
[http://www.hnms.gr/hnms/greek/observation/observation\\_html?&dr\\_region=ObsCrete&dr\\_city=Chania\\_Souda](http://www.hnms.gr/hnms/greek/observation/observation_html?&dr_region=ObsCrete&dr_city=Chania_Souda)

## Παράρτημα

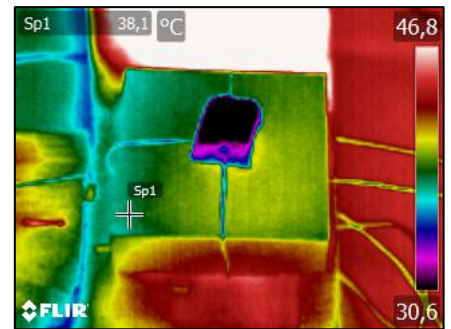
### \* Φωτογραφίες θερμοκάμερας



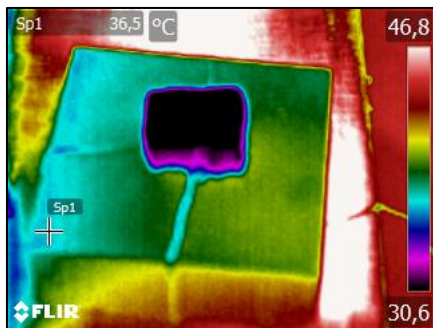
PB.3.1 (12:00)



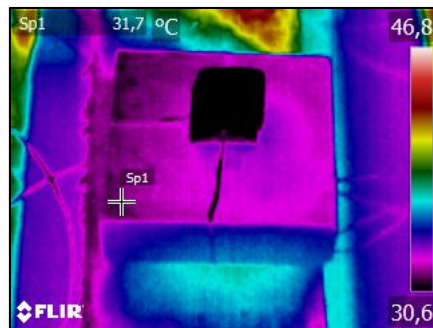
CB.1 (12:00)



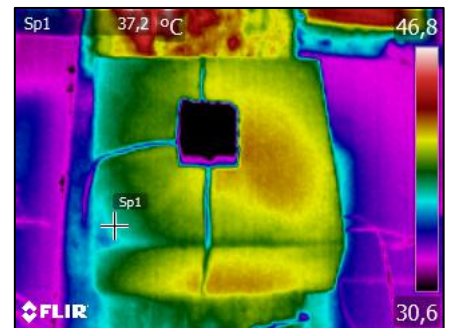
A2G.1 (12:00)



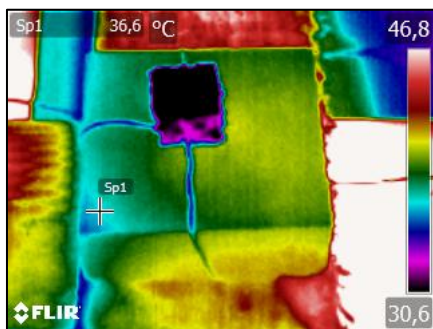
A6G.1 (12:00)



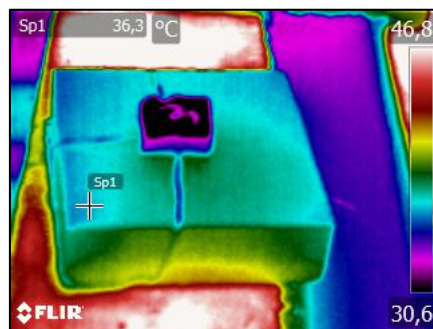
A2.3 (12:00)



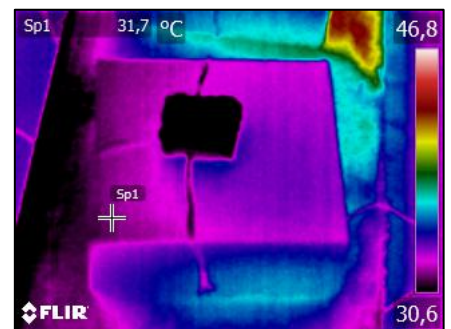
CG.1 (12:00)



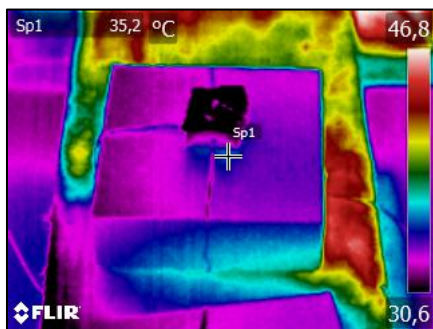
PY.3.1 (12:00)



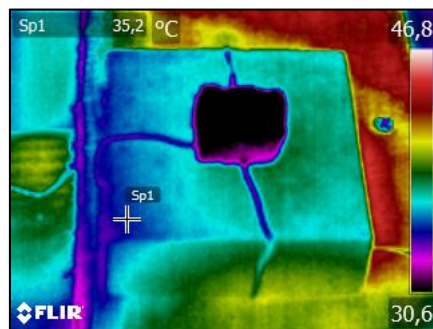
PG.1.1 (12:00)



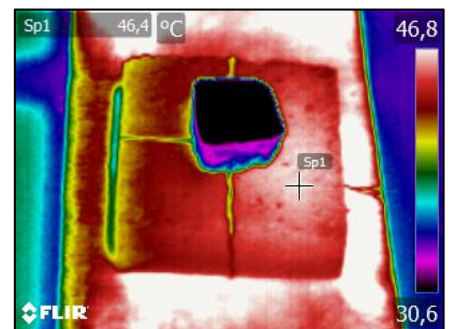
PW.4 (12:00)



CW.1 (12:00)

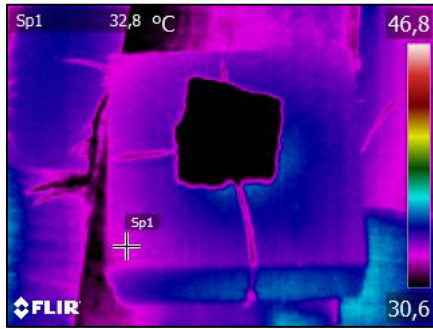


O.UP (12:00)

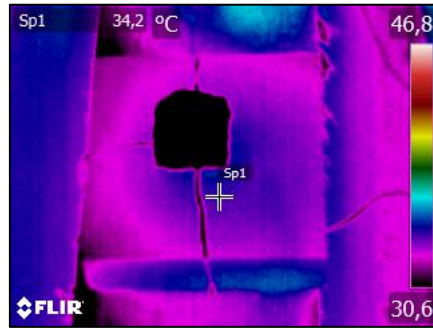


O.DOWN (12:00)

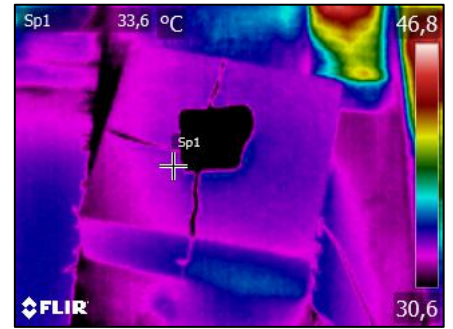




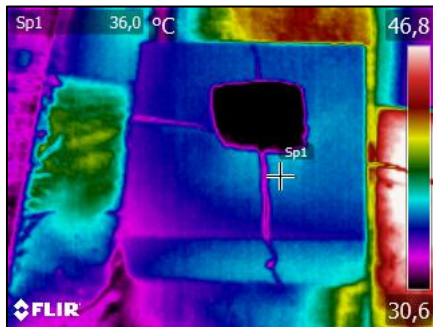
PBL.3.1 (12:00)



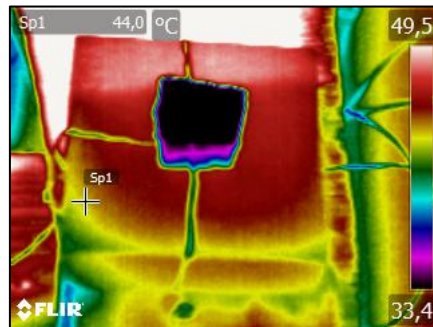
PG.3.4 (12:00)



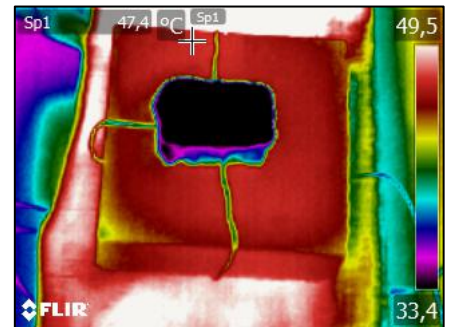
PG.5.1 (12:00)



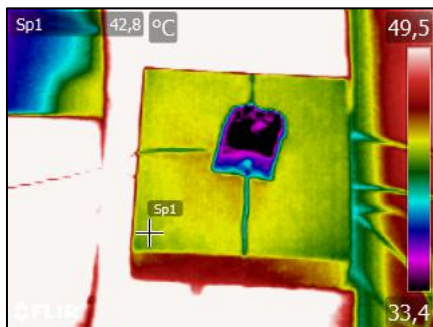
PG.3.1 (12:00)



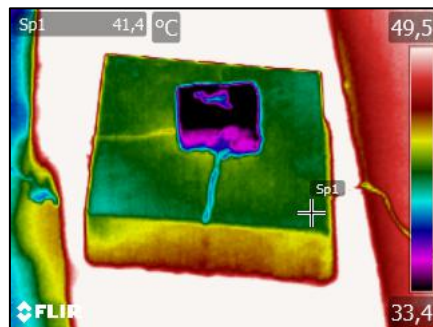
PB.3.1 (14:00)



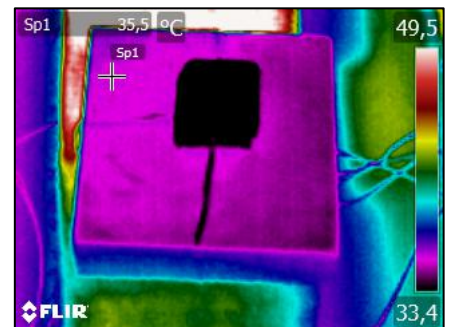
CB.1 (14:00)



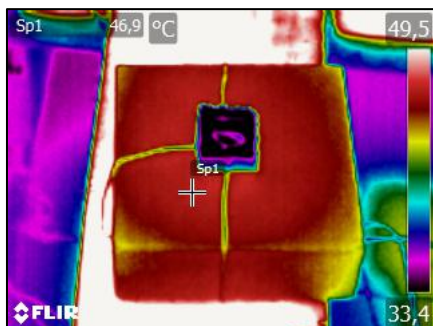
A2G.1 (14:00)



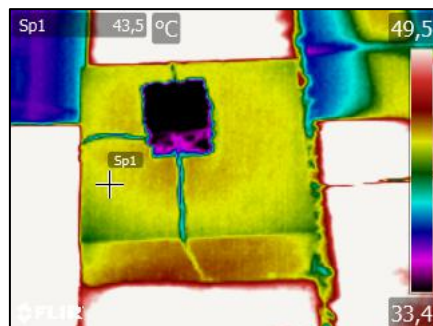
A6G.1 (14:00)



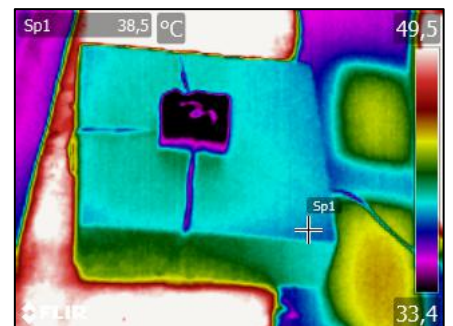
A2.3 (14:00)



CG.1 (14:00)

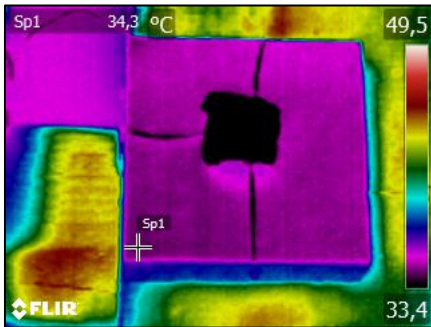


PY.3.1 (14:00)

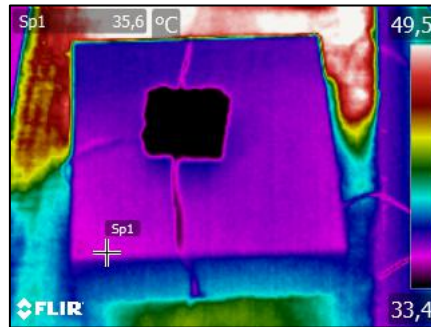


PG.1.1 (14:00)

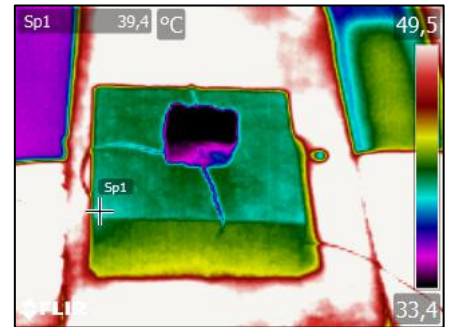




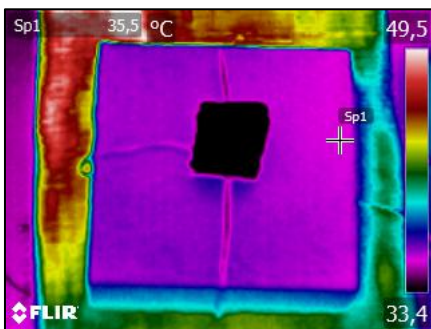
PW.1 (14:00)



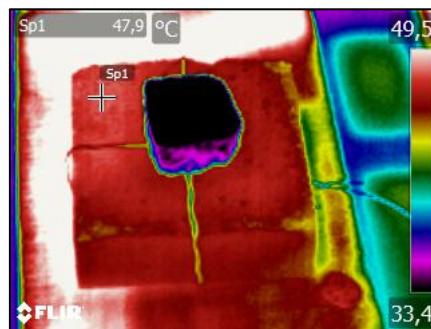
PW.4 (14:00)



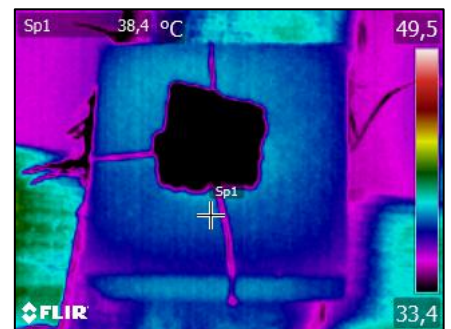
CW.1 (14:00)



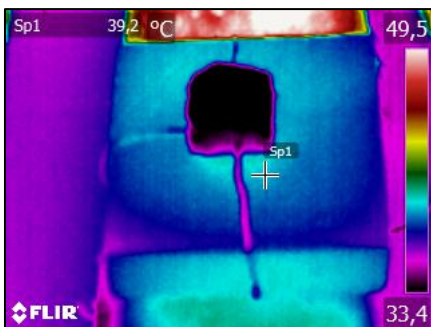
O.UP (14:00)



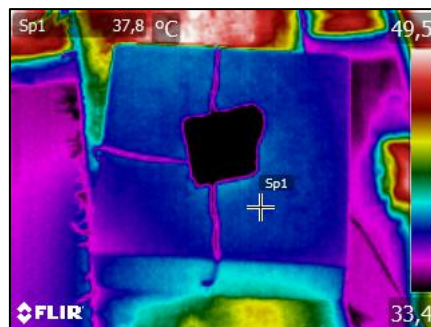
O.DOWN (14:00)



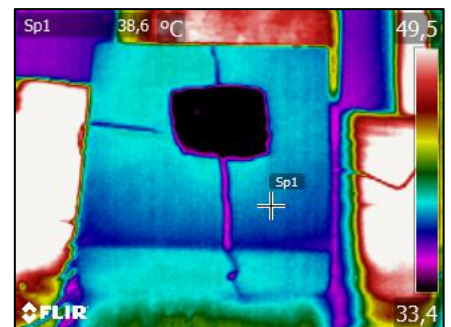
PBL.3.1 (14:00)



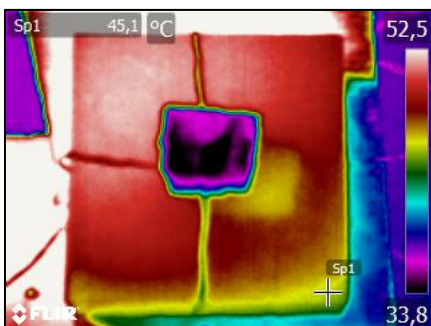
PG.3.4 (14:00)



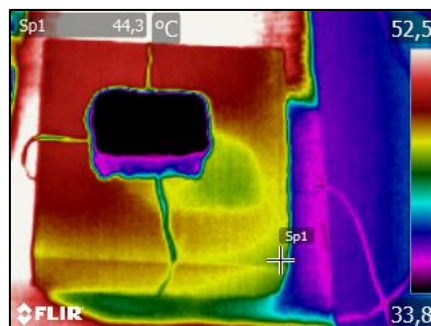
PG.5.1 (14:00)



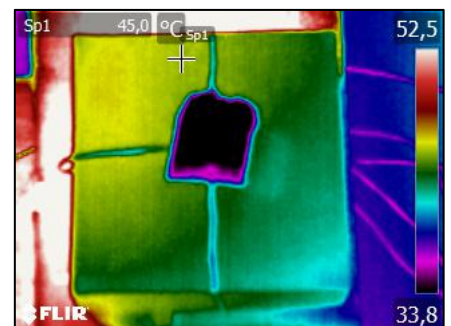
PG.3.1 (14:00)



PB.3.1 (16:00)

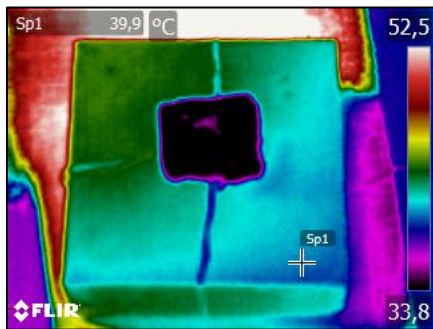


CB.1 (16:00)

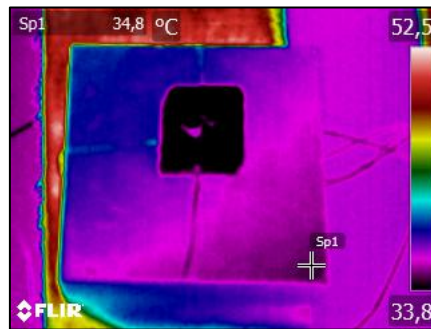


A2G.1 (16:00)

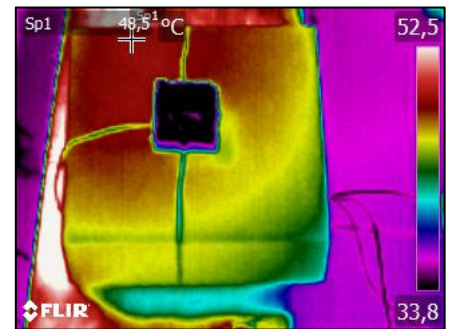




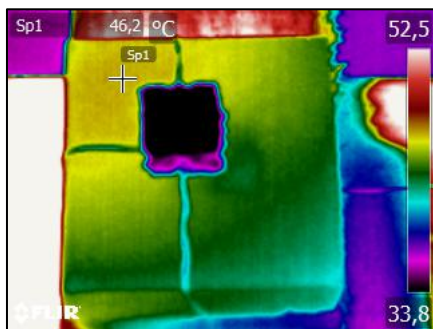
A6G.1 (16:00)



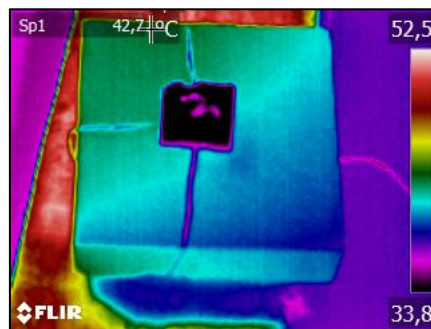
A2.3 (16:00)



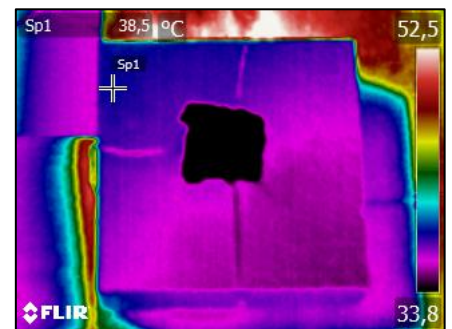
CG.1 (16:00)



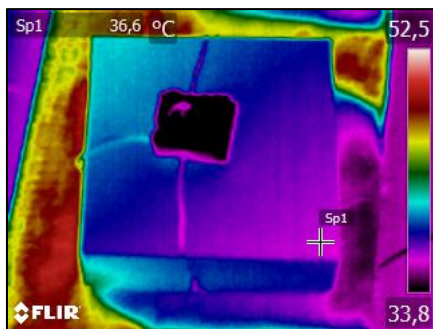
PY.3.1 (16:00)



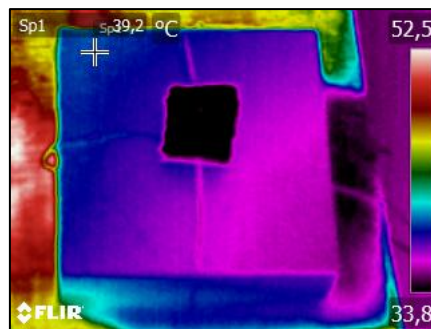
PG.1.1 (16:00)



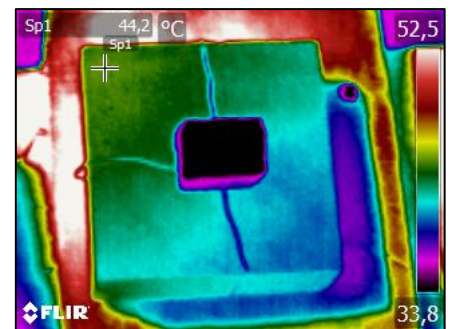
PW.1 (16:00)



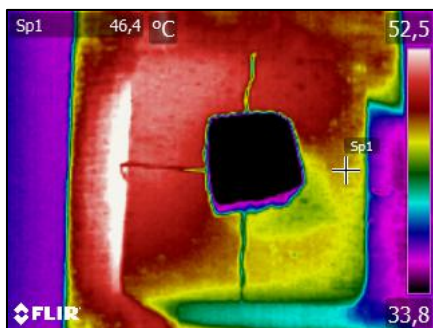
PW.4 (16:00)



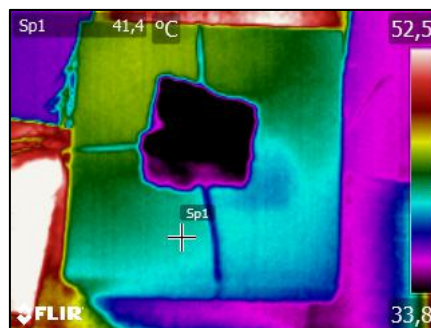
CW.1 (16:00)



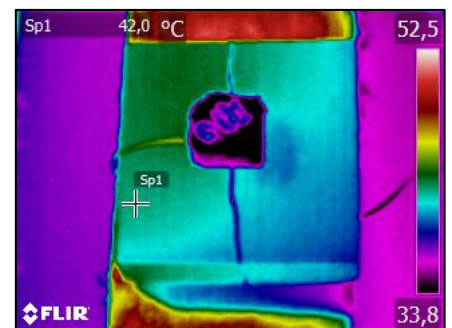
O.UP (16:00)



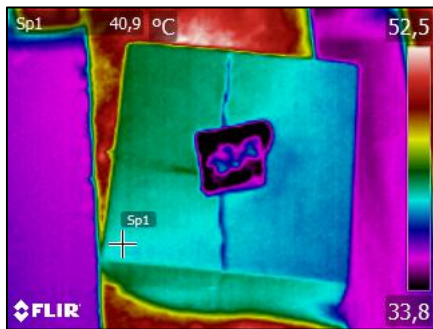
O.DOWN (16:00)



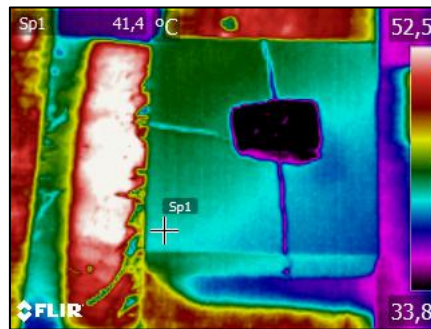
PBL.3.1 (16:00)



PG.3.4 (16:00)



PG.5.1 (16:00)



PG.3.1 (16:00)

(Όλες οι ώρες αφορούν τις 21 Ιουλίου 2016, ημερομηνία που τραβήχτηκαν οι φωτογραφίες με τη θερμοκάμερα.)