



Π.Ο.Β.Α.Σ.
ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΑ ΟΜΟΣΠΟΝΔΙΑ ΒΙΟΤΕΧΝΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ

**Η συμβολή των Ανακλαστικών Βαφών
στη βελτίωση της λειτουργικότητας,
της θερμικής άνεσης & της ενεργειακής
απόδοσης στις αρχιτεκτονικές
εφαρμογές αλουμινίου**

2025

Με τη συνεργασία της ΝΕΟΚΕΜ



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Η αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειών	3
2. Ποιο είναι το αποτέλεσμα στα αρχιτεκτονικά προφίλ αλουμινίου;	4
3. Πειραματική μελέτη του φαινομένου	5
4. Τρόποι αντιμετώπισης	7

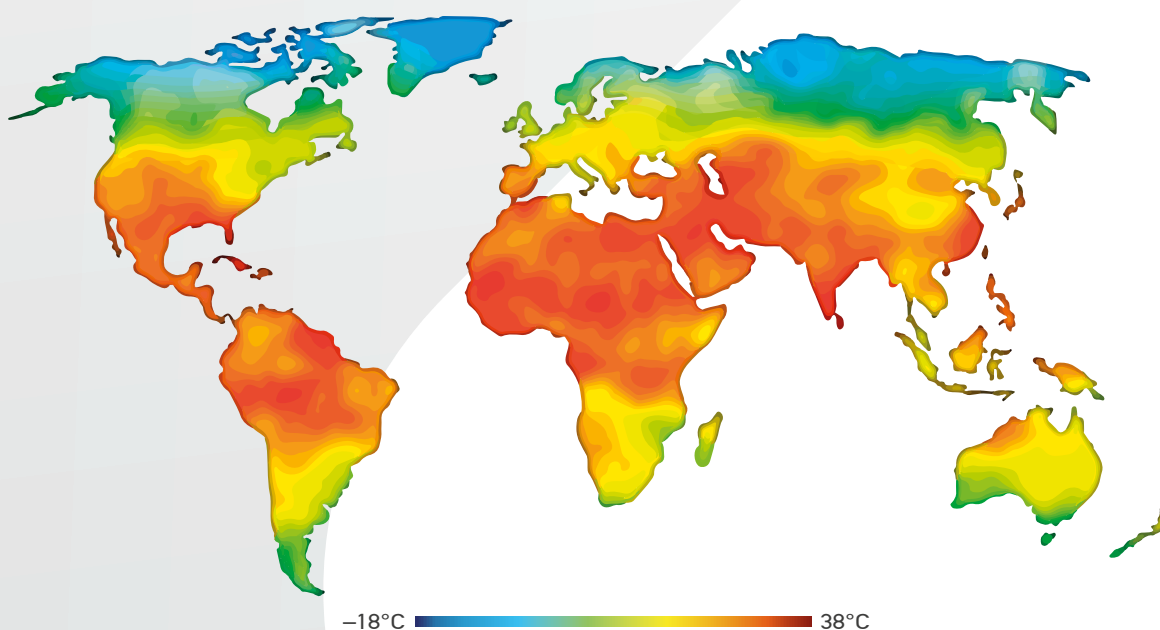
1. Η ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΩΝ

Ο ήλιος εκπέμπει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία, όταν προσπίπτει σε μια επιφάνεια, μπορεί να απορροφηθεί, αντανακλαστεί ή μεταδοθεί, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1. Η ηλιακή ακτινοβολία — και κυρίως το υπέρυθρο φάσμα της (infrared, IR) — μεταφέρει σημαντικά ποσά ενέργειας (~ 50% της ενέργειας του ήλιου) θερμαίνοντας τις επιφάνειες.



Σχήμα 1. Πρόσπτωση ακτινοβολίας σε μία επιφάνεια

Όταν το χρώμα της επιφάνειας τείνει προς το σκούρο, η ηλιακή ακτινοβολία απορροφάται σε μεγαλύτερο ποσοστό και μετατρέπόμενη σε θερμότητα αυξάνει σημαντικά τη θερμοκρασία της. Στις χώρες της Μεσογείου, όπως στην Ελλάδα, κατά τη διάρκεια των θερμών μηνών, που πλέον έχουν παρατεταμένη διάρκεια λόγω της κλιματικής αλλαγής, και ειδικά τις μεσημεριανές ώρες, οι θερμοκρασίες στις επιφάνειες που εκτίθενται απευθείας στον ήλιο μπορούν να φτάσουν ή και να ξεπεράσουν τους 80°C. Αυτή η σοβαρή αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται στην έντονη ηλιακή ακτινοβολία και στα υλικά που την απορροφούν και την μετατρέπουν σε θερμότητα.



Σχήμα 2. Χάρτης που απεικονίζει την υπέρυθρη ακτινοβολία (infrared) της Γης (Βαθμοί Κελσίου).

2. ΠΟΙΟ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΣΤΑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΑ ΠΡΟΦΙΛ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ;

Όλα τα υλικά έχουν ένα συντελεστή θερμικής διαστολής (συνήθως συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα α). Ο συντελεστής αυτός εκφράζει μια ιδιότητα των υλικών και περιγράφει πόσο μεταβάλλεται το μήκος τους (ή ο όγκος τους) όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία τους. Η γραμμική θερμική διαστολή αφορά την αύξηση του μήκους ενός υλικού, ενώ η θερμική διαστολή όγκου αναφέρεται στην αύξηση του όγκου του.

Λαμβάνοντας υπόψη τον συντελεστή του αλουμινίου, τυπικά $\alpha = 24 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, στον Πίνακα 1 αποτυπώνεται η γραμμική διαστολή του αλουμινίου (mm/m) για ορισμένες διαφορές θερμοκρασίας (ΔT). Για παράδειγμα, για μία διαφορά θερμοκρασίας $\Delta T = 70 \text{ } ^\circ\text{C}$, η διαστολή του αρχιτεκτονικού προφίλ μπορεί να φτάσει μέχρι 1.67mm για κάθε τρέχων μέτρο προφίλ. Άρα μία κατασκευή με ύψος 3 μέτρα μπορεί να έχει διαστολή $3 \times 1.67 = 5.01 \text{ mm}$.

Πίνακας 1. Γραμμική διαστολή αλουμινίου σε mm για ένα μέτρο μήκος προφίλ για διάφορες διαφορές θερμοκρασίας (ΔT).

ΔT ($^\circ\text{C}$)	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Δl (mm/m)	0,96	1,08	1,20	1,31	1,43	1,55	1,67	1,79	1,91

Στα θερμοδιακοπτόμενα προφίλ αλουμινίου, το υλικό της θερμοδιακοπής (πολυαμίδιο) λειτουργεί ως θερμική μόνωση. Η υψηλή θερμοκρασία που προκαλείται από την ενέργεια της ηλιακής ακτινοβολίας, δημιουργεί διαστολές των αρχιτεκτονικών προφίλ. Έτσι, οι δύο πλευρές του προφίλ — η εσωτερική και η εξωτερική — παρουσιάζουν διαφορετική θερμοκρασία και κατά συνέπεια, διαφορετικό μήκος το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη στρέβλωση του προφίλ αλουμινίου - γνωστό ως φαινόμενο της καμπύλης. Το φαινόμενο αυτό προκαλεί προβλήματα λειτουργικότητας στην κατασκευή τα οποία είναι παροδικά. Τις απογευματινές ώρες και με την πτώση της θερμοκρασίας εξαλείφονται, καθώς το υλικό συστέλλεται και επανέρχεται στις αρχικές του διαστάσεις.

ΠΡΙΝ

Αρχικό μήκος κατά το σχεδιασμό όπου και οι δύο πλευρές βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία.

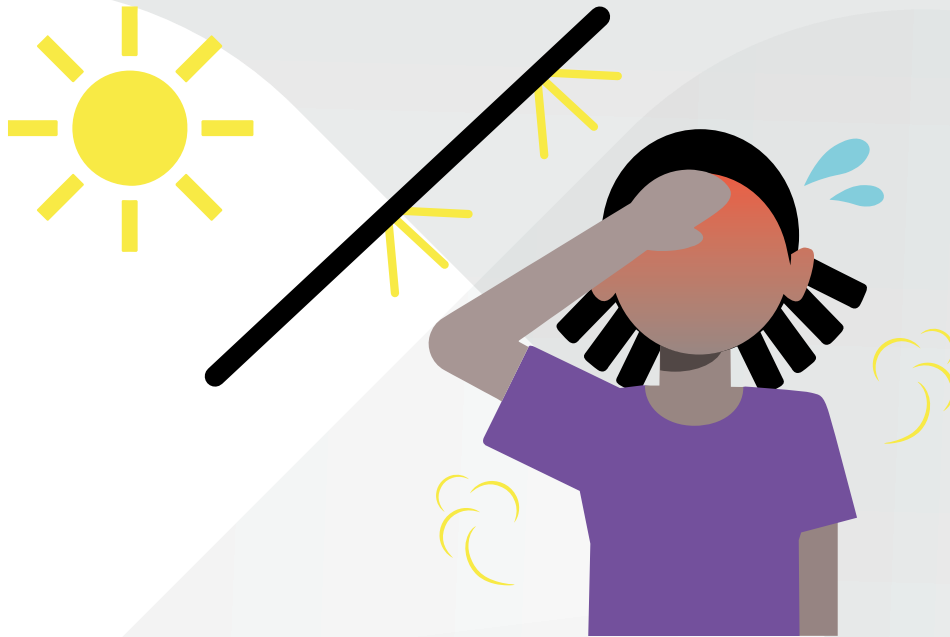
ΜΕΤΑ

Φαινόμενο της καμπύλης.



Σχήμα 3. Σχηματική παρουσίαση του φαινομένου της καμπύλης.

Επιπροσθέτως, οι σκουρόχρωμες επιφάνειες όχι μόνο απορροφούν πιο γρήγορα την ηλιακή ακτινοβολία, αλλά και την εκπέμπουν με μεγαλύτερο ρυθμό, ένα στοιχείο που εξουδετερώνει τη θερμική άνεση που επιδιώκει ο βιοκλιματικός σχεδιασμός, προκαλώντας δυσφορία σε όσους βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια.



Η μειωμένη θερμική άνεση και η θερμική δυσφορία μπορούν να προκαλέσουν μια σειρά από προβλήματα που επηρεάζουν την υγεία, την ευεξία, την παραγωγικότητα και την ασφάλεια των ανθρώπων. Επιπροσθέτως αυξάνονται και οι ενεργειακές απαιτήσεις για ψύξη, κάτι που συνεπάγεται σημαντική αύξηση των λογαριασμών ηλεκτρικής ενέργειας.

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Για τη μελέτη του φαινομένου διεξήχθησαν πειραματικές μετρήσεις, ενώ χρησιμοποιήθηκαν αποτελέσματα από προηγούμενες μετρήσεις και από τη διεθνή βιβλιογραφία.

Επιλέχθηκαν δύο ομάδες **υπερανθεκτικών χρωμάτων**, με αμμοβολισμένη επιφάνεια σε δύο εκδόσεις — **Απλή** και **Cool** — καθώς και ένα **χρώμα αναφοράς**.

1. Ομάδα “Απλή” (Standard)

- **AMMOS RAL 9005** — σκούρο μαύρο
- **AMMOS RAL 7016** — ανθρακί
- **SAHARA 520 NIGHT** — ειδικό μεταλλικό σκούρο χρώμα

2. Ομάδα “Cool” (Υψηλής Ανακλαστικότητας)

- **AMMOS RAL 9005 (Cool)** — σκούρο μαύρο
- **AMMOS RAL 7016 (Cool)** — ανθρακί
- **SAHARA 520 NIGHT (Cool)** — ειδικό μεταλλικό σκούρο χρώμα

3. Χρώμα Αναφοράς

- **AMMOS RAL 9016** — λευκό

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται οι συντελεστές ανακλαστικότητας των χρωμάτων που επιλέχθηκαν. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι, όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής ανακλαστικότητας, τόσο μικρότερη είναι η απορρόφηση της ενέργειας, άρα τόσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στην επιφάνεια του προφίλ.

Πίνακας 2. Συντελεστές ανακλαστικότητας σύμφωνα με το πρότυπο του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών, Τμήμα Φυσικής, Τομέας Φυσικής Περιβάλλοντος και Μετεωρολογίας, Ομάδα Μελετών Κτιριακού Περιβάλλοντος.

Χρώμα	Συντελεστής ανακλαστικότητας
ΑΜΜΟΣ RAL 9005 – ΑΠΛΟ	5
ΑΜΜΟΣ RAL 9005 – COOL	21
ΑΜΜΟΣ RAL 7016 – ΑΠΛΟ	7
ΑΜΜΟΣ RAL 7016 – COOL	26
ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΧΡΩΜΑ_SAHARA 520 NIGHT – ΑΠΛΟ	9
ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΧΡΩΜΑ_SAHARA 520 NIGHT – COOL	26
ΑΜΜΟΣ RAL 9016 – ΑΠΛΟ	78

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές μετρήσεις για τα ανωτέρω χρώματα, με σκοπό τη σύγκριση της θερμικής τους συμπεριφοράς. Για τη διερεύνηση και συγκριτική αξιολόγηση της θερμικής συμπεριφοράς των χρωμάτων, χρησιμοποιήθηκε μία επαναλήψιμη και πλήρως ελεγχόμενη μέθοδος δοκιμών, η οποία έχει αναπτυχθεί στην εταιρεία NEEKEM.

Η εξέταση της θερμικής συμπεριφοράς των χρωμάτων πραγματοποιείται με τη χρήση λαμπτήρα υπέρυθρης ακτινοβολίας **Philips IR-type 175W / 230V**, τοποθετημένου σε σταθερή απόσταση **28 cm** από τα δοκίμια. Ως υπόστρωμα χρησιμοποιούνται τυποποιημένα πάνελ **Q-panel A-46 (6 mm × 100 mm × 150 mm)**, βαμμένα με πάχος μεμβράνης **80-100 μm**. Η θερμοκρασία της επιφάνειας καταγράφεται με **επιστημονικό ψηφιακό θερμόμετρο**, επιτρέποντας την αξιόπιστη σύγκριση των χρωμάτων υπό τις ίδιες συνθήκες έκθεσης.

Η μέθοδος αυτή αναδεικνύει με ακρίβεια την επίδραση των ανακλαστικών τεχνολογιών (COOL) στη μείωση της θερμοκρασίας του υποστρώματος, με ενδεικτικά αποτελέσματα να παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Ενδεικτικά Δεδομένα θερμοκρασίας στην επιφάνεια των δοκιμίων

Χρώμα	Θερμοκρασία επιφάνειας δοκιμίου (°C)
ΑΜΜΟΣ RAL 9005 – ΑΠΛΟ	78.4 °C
ΑΜΜΟΣ RAL 9005 – COOL	63.0 °C
ΑΜΜΟΣ RAL 7016 – ΑΠΛΟ	77.4 °C
ΑΜΜΟΣ RAL 7016 – COOL	62.2 °C
ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΧΡΩΜΑ_SAHARA 520 NIGHT – ΑΠΛΟ	76.9 °C
ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟ ΧΡΩΜΑ_SAHARA 520 NIGHT – COOL	62.1 °C
ΑΜΜΟΣ RAL 9016 – ΑΠΛΟ	52.9 °C

Από τον Πίνακα 3 μπορούν να εξαχθούν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Καταγράφεται μία σημαντική μείωση της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στην επιφάνεια των δοκιμών ανακλαστικών χρωμάτων (Cool), τόσο σε απόλυτες τιμές (-15°C) όσο και σε ποσοστό ($\sim 20\%$) σε σύγκριση με τα αντίστοιχα απλά χρώματα. Η μείωση της θερμοκρασίας εξαρτάται από την απόχρωση, από τον προσανατολισμό, από τη γεωγραφική θέση καθώς και από άλλους παράγοντες.
2. Η απόλυτη διαφορά θερμοκρασίας με τη χρήση ανακλαστικών χρωμάτων μειώνεται ακόμη και κάτω από 10°C συγκριτικά με το λευκό χρώμα (RAL 9016). Όσον αφορά την αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια των δοκιμών σε σχέση με αυτή του λευκού χρώματος (RAL 9016), τότε παρατηρείται μία αύξηση θερμοκρασίας της τάξης του $\sim 18\%$ όταν γίνεται χρήση ανακλαστικών χρωμάτων (Cool), ενώ με τη χρήση απλών χρωμάτων η θερμοκρασία των δοκιμών αυξάνεται περισσότερο από 45% ($> 45\%$) για τα σκούρα χρώματα.
3. Εάν δεχτούμε ότι κατά τη διάρκεια μία ημέρας θα παρατηρηθεί η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας για 3 χρώματα: AMMOS RAL 9005 ΑΠΛΟ (**78.4°C**), AMMOS RAL 9005 COOL (**63.0°C**) και AMMOS RAL 9016 ΑΠΛΟ (**52.9°C**), τότε για μία κατασκευή ύψους 3 μέτρων η μέγιστη γραμμική θερμική διαστολή που μπορεί να παρατηρηθεί είναι:
 - 5,64 mm για το χρώμα SAHARA 520 NIGHT ΑΠΛΟ
 - 4,54 mm για το χρώμα SAHARA 520 NIGHT COOL
 - 3,80 mm για το χρώμα AMMOS RAL 9016 ΑΠΛΟ

Σημαντική διευκρίνιση

Οι παραπάνω μετρήσεις έχουν πραγματοποιηθεί σε εργαστηριακό περιβάλλον, με τη χρήση λαμπτήρα υπέρυθρης ακτινοβολίας (infrared, IR). Το υπέρυθρο φάσμα αντιστοιχεί περίπου στο 50% της συνολικής ενέργειας της ηλιακής ακτινοβολίας, συνεπώς τα αποτελέσματα που προκύπτουν αποτυπώνουν με ακρίβεια τη συγκριτική συμπεριφορά των χρωμάτων. Ωστόσο, σε πραγματική έκθεση στον ήλιο, οι απόλυτες τιμές θερμοκρασίας μπορεί να διαφοροποιούνται, καθώς επηρεάζονται από πολλούς εξωτερικούς παράγοντες (τοποθεσία, προσανατολισμός, εποχή, συνθήκες περιβάλλοντος).

4. ΤΡΟΠΟΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗΣ

Για τον περιορισμό της υπερθέρμανσης σε κατασκευές που εκτίθενται στην ηλιακή ακτινοβολία (όπως συστήματα σκίασης, μπαλκονόπορτες και προσόψεις), τη βελτίωση της θερμικής συμπεριφοράς και της λειτουργικότητας, προτείνονται οι ακόλουθες επιλογές:

1. Ανοιχτόχρωμες ή παστέλ αποχρώσεις, που χάρη στη φυσική τους ανακλαστικότητα διατηρούν χαμηλότερες θερμοκρασίες.
2. Ψυχρά (Cool) χρώματα, τα οποία, με την καινοτόμο σύνθεσή τους, αντανακλούν αποτελεσματικά την ηλιακή ακτινοβολία και περιορίζουν τη θερμική φόρτιση των σκουρόχρωμων επιφανειών.



Π.Ο.Β.Α.Σ.
ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΑ ΟΜΟΣΠΟΝΔΙΑ ΒΙΟΤΕΧΝΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ

ΠΑΝΕΛΛΗΝΙΑ ΟΜΟΣΠΟΝΔΙΑ ΒΙΟΤΕΧΝΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ - ΣΙΔΗΡΟΥ

Καποδιστρίου 24, 106 82 Αθήνα

T: 210 645 3740 | E: info@povas.gr