

# ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΤΙΚΗ ΠΛΑΚΑ ΑΠΟ ΕΞΗΛΑΣΜΕΝΗ ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗ

Χρήστος Λεπτοκαρίδης  
Πολιτικός Μηχανικός, Polykem

Θεόδωρος Θεοδωρόπουλος  
Διευθυντής Εργοστασίου Polytile, Polykem

*Λέξεις κλειδιά: Θερμομόνωση, Δώμα, Ανεστραμμένη Θερμομόνωση, Πλάκα ταράτσας, Στεγάνωση, Styrofoam, DOW, σύνθετο πλακίδιο, ΚΑΠΕ, επίπεδη οροφή*

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ:** Το θερμομονωτικό Πλακίδιο Polytile είναι μια εύχρηστη και προκατασκευασμένη λύση θερμομόνωσης της τελευταίας πλάκας του κτηρίου (ταράτσα) σε εφαρμογές ανεστραμμένης θερμομόνωσης. Το Polytile είναι ένα σύνθετο πλακίδιο (διαστάσεων 30x60 cm) και αποτελείται από μία θερμομονωτική στρώση αφρώδους εξηλασμένης πολυστερίνης πάχους 5cm STYROFOAM της DOW και μια επικάλυψη από υπόλευκο προστατευτικό χυτό κονίαμα πάχους 2cm. Περιμετρικά διαθέτει πατούρες Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα κτίρια που διαθέτουν επίπεδες επισκέψιμες στέγες και δίνει σημαντικά τεχνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα συγκρινόμενο με συμβατικές μεθόδους θερμομόνωσης.

## 1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΪΟΝΤΟΣ

### 1.1 Παραγωγική διαδικασία

Το Polytile παράγεται σε εργοστάσιο προκατασκευασμένου σκυροδέματος της Polykem στη Ν.Αρτάκη, Ευβοίας. Η παραγωγή διαχωρίζεται στις εξής φάσεις:

Επεξεργασία των πλακών Styrofoam της Dow – διαμόρφωση περιμετρικών ακμών και επιφάνειας. Οι περιμετρικές ακμές έχουν διαμόρφωση τύπου “ραμποτέ” (αρσενικό-θηλυκό) ώστε να εξασφαλίζουν καλή συναρμογή μεταξύ των πλακών και σταθερότητα ώστε να μη δημιουργούνται θερμογέφυρες, αλλά και να έχουμε μία πολύ καλή βατότητα του δώματος.

Παραγωγή προστατευτικής κονίας - Παραγωγή τσιμεντοειδούς κονίας με λευκό τσιμέντο. Η χρήση υπερρευστοποιητών μας επιτρέπει τη διατήρηση του λόγου νερού/τσιμέντου στο χαμηλό επίπεδο του 0,30. Η

χρήση ρυθμιστών ιξώδους στο μίγμα είναι εξαιρετικά σημαντική ώστε να υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή της κονιάς σε όλη την πλάκα του Styrofoam και να αποφεύγεται η μείωση της θλιπτικής αντοχής σε σημεία της πλάκας.

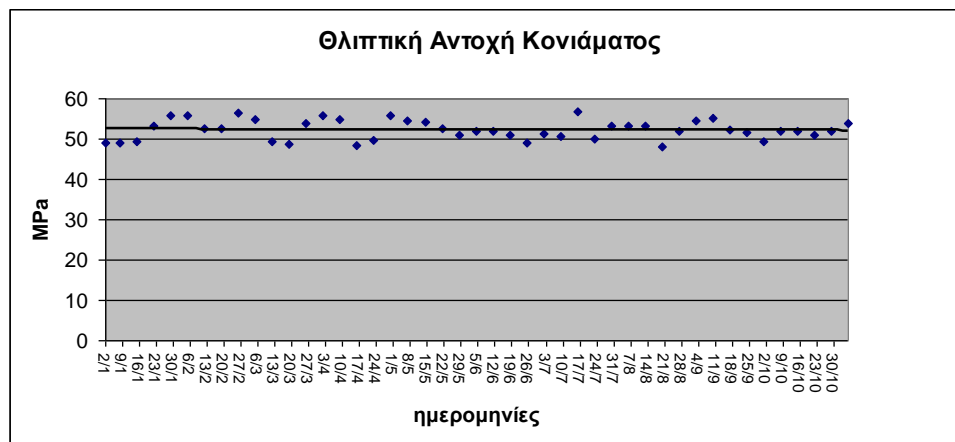
Η κονία διαχέεται πάνω στις πλάκες του Styrofoam. Η δόνηση γίνεται περιμετρικά της πλάκας και ομοιόμορφα ώστε να μην προκαλείται απόμειξη της κονιάς και να διασφαλίζεται η επιπεδότητα της πλάκας με ανοχές της τάξης του  $\pm 3$  mm.

Μετά την παραγωγή οι πλάκες Polytile συντηρούνται στον αέρα σε κλειστό χώρο του εργοστασίου για 28 ημέρες. Μετά το πέρας αυτού του χρόνου ακολουθεί οπτικός έλεγχος ποιότητας σε κάθε πλάκα και δειγματοληπτικός έλεγχος επιπεδότητας.

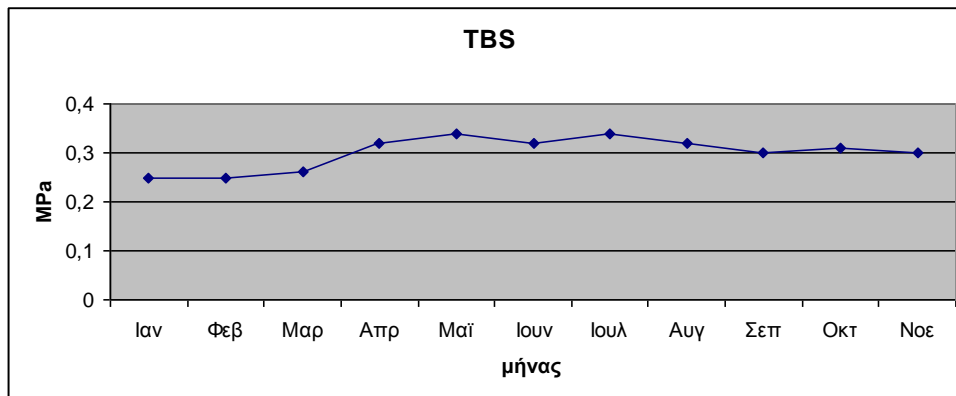
Αξίζει να σημειωθεί ότι η παραγωγή του εργοστασίου διακόπτεται αν η εξωτερική θερμοκρασία υπερβεί τους 35 C ή βρεθεί κάτω των 5 C.

## 1.2 Αποτελέσματα Δοκιμών

Το εργαστήριο ποιοτικού ελέγχου του εργοστασίου διεξάγει μια σειρά ποιοτικών ελέγχων σε ημερήσια, εβδομαδιαία και μηνιαία βάση. Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής και δοκιμής απότριψης για το 2007. Το εργαστήριο του εργοστασίου διεξάγει επίσης δοκιμές κοκκομετρικής διαβάθμισης και ισοδύναμου άμμου για την άμμο σε εβδομαδιαία βάση. Φορτία πρώτων υλών που δεν συμμορφώνονται με τα όρια του ΚΤΣ-97 δεν γίνονται δεκτά. Σε λιγότερο συχνή βάση διεξάγονται δοκιμές απότριψης (abrasion resistance test) κατά ASTM C944-99. Όλες οι δοκιμές στην εξηλασμένη πολυστερίνη διεξάγονται στα εργαστήρια της DOW.



Εικόνα 1 . Αποτελέσματα θλιπτικής αντοχής Ιανουαρίου-Νοεμβρίου 2007,  $\mu.o.$  52,28 MPa,  $S_d=2,37$



Εικόνα 2. Αποτελέσματα ελέγχου TBS (bonding strength test μεταξύ κονιάς και εξηλασμένης πολυστερίνης) Ιανουαρίου-Νοεμβρίου 2007, μ.ο. 0,30 MPa. Η αστοχία παρατηρείται σε κάθε δοκιμή στην εξηλασμένη πολυστερίνη και όχι στη διεπιφάνεια εξηλασμένης πολυστερίνης και κόλλας.

Πίνακας 1. Τυπικές τιμές δοκιμών συστατικών υλικών Polytile

	Polytile
Διαστάσεις πλακιδίου	300 mm X 600 mm
Πάχος θερμομονωτικού	50 mm
Πάχος προστατευτικού κονιάματος	20 mm
Συντ.Θερμ.αγωγιμότητας λ θερμομονωτικού σε μέση θερμοκρασία δοκιμής 10°C (90 ημέρες)	0,028 Kcal/mh°C
Συντ.θερμικής αγωγιμότητας λ προστατευτικού κονιάματος	1,20 Kcal/mh°C
Αντοχή σε συμπίεση θερμομονωτικού (χαμηλότερη τιμή μεταξύ ορίου διαρροής ή 10% παραμόρφωση)	0,30 N/mm <sup>2</sup>
Αντοχή κονιάματος σε αποκόλληση	0,25 N/mm <sup>2</sup>
Ελάχιστη αντοχή κονιάματος σε συμπίεση (28 ημέρες)	20 N/mm <sup>2</sup>

## 2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΝΕΣΤΡΑΜΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΣΗΣ

### 2.1 Βασικές αρχές

Η συμβατική μέθοδος θερμομόνωσης για επισκέψιμες επίπεδες οροφές προτείνει την τοποθέτηση της στεγανωτικής στρώσης πάνω από τη στρώση θερμομόνωσης. Μια τέτοια διάταξη μειώνει τον κίνδυνο της συμπύκνωσης

υδρατμών αλλά αυξάνει τον κίνδυνο συνολικής αστοχίας της στεγάνωσης, εφόσον την αφήνει εκτεθειμένη σε καιρικά φαινόμενα και μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές. Η κατασκευαστική αρχή της ανεστραμμένης θερμομόνωσης επιλύει το πρόβλημα τοποθετώντας τη θερμομόνωση πάνω από τη στεγανωτική στρώση, διατηρώντας την σε σταθερή θερμοκρασία κοντά στη θερμοκρασία του εσωτερικού του κτιρίου και προστατεύοντας την από τις καταστρεπτικές επιπτώσεις της υπερϊώδους ακτινοβολίας και τις μηχανικές κακώσεις. Η θερμομόνωση προστατεύει τη στεγανωτική κάλυψη από:

- τις μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές: +80°C έως -20°C.
- τη διάβρωση λόγω καιρικών συνθηκών.
- τις μηχανικές κακώσεις κατά την κατασκευή, τη χρήση και τη συντήρηση.

Στην ανεστραμμένη θερμομόνωση δώματος, το σύνθετο θερμομονωτικό πλακίδιο τοποθετείται πάνω από τη στεγανωτική στρώση και στερεώνεται κατάλληλα ώστε να συγκρατείται από την επίπλευση και την ανύψωση του ανέμου. Οι κατασκευές ανεστραμμένης θερμομόνωσης μπορούν να χωριστούν σε βαριές ή ελαφρές με βάση τον τύπο της κατασκευής του κτιρίου. Αν η κατασκευή περιλαμβάνει πλάκες Polytile, ο σχεδιασμός της πλάκας πρέπει να υποστηρίζει το φορτίο των 47 - 48 kg/m<sup>2</sup> που επιβάλλεται από το σύστημα ανεστραμμένης θερμομόνωσης δώματος με πλάκες Polytile.

Η βασική κατασκευή της οροφής μπορεί να είναι από σκυρόδεμα, μέταλλο ή ξύλο: πρέπει να είναι σχεδιασμένη ώστε να αντέχει τα μέγιστα προβλεπόμενα φορτία με κατάλληλο συντελεστή ασφαλείας. Τα δώματα με ανεστραμμένη θερμομόνωση δέχονται τρία κύρια φορτία:

- στατικά φορτία: το ίδιο βάρος όλων των χρησιμοποιούμενων υλικών.
- φορτία ανέμου: οι θετικές και αρνητικές πιέσεις που δρουν επάνω στην οροφή θα πρέπει να υπολογίζονται με την πρότυπη ή την κατευθυντική μέθοδο.
- κινητά φορτία

Στην κατασκευή της ανεστραμμένης θερμομόνωσης δώματος κάποια ποσότητα νερού της βροχής ( η οποία και δεν θα οδηγηθεί από τις φυσικές κλίσεις στις υδροροές) θα περάσει κάτω από τις μονωτικές πλάκες και μπορεί με αυτόν τον τρόπο να προκαλέσει απώλεια θερμότητας. Σύμφωνα με το EN ISO 6946:1997/A1, παράρτημα D4.3, η επιπλέον απώλεια θερμότητας λόγω του νερού της βροχής θα πρέπει να υπολογιστεί με μια διόρθωση  $\Delta U [W/m^2 \times K]$  στο συνολικό U-value της κατασκευής. [Leimer, Rode, Kunzel, Bednar, 2003]

Γενικά προτείνεται για ανεστραμμένη μόνωση η χρήση ενός συντελεστή προσαύξεσης 20% στο U-value. [Dow, L68151:P7111, May 2006] Κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις η προσαύξεση αυτή μπορεί να μειωθεί στο 2% [BBA 97/3431]

Κατά την εφαρμογή πρέπει να δοθεί προσοχή στα εξής σημεία:

- Για να έχουμε ικανή απορροή υδάτων η κλίση πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 1:80 [BS 6229:2003]
- Οι υδρορροές πρέπει να είναι κατάλληλα τοποθετημένες έτσι ώστε να δέχονται τα όμβρια τόσο από την πάνω επιφάνεια του Polytile όσο και από την κάτω. Διευκρινήσεις δίνονται στο EN 12056:2000
- Για την καλύτερη αποστράγγιση των όμβριων προτείνεται από το BS 8218:1998 η χρήση ενός μη υφαντού γεωφάσματος από ίνες πολυεστέρα 130-140 gr/m<sup>2</sup>. Το γεωφάσμα θα εφαρμοστεί μεταξύ του Polytile και της στεγανωτικής στρώσης.

## 2.2 Χρήση του Polytile

Στις εφαρμογές ανεστραμμένης μόνωσης, το θερμομονωτικό υλικό που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να έχει μία σειρά από αυξημένες απαιτήσεις τις οποίες το Polytile καλύπτει απόλυτα. Συνοπτικά αναφέρονται κάποιες από τις φυσικομηχανικές ιδιότητες του

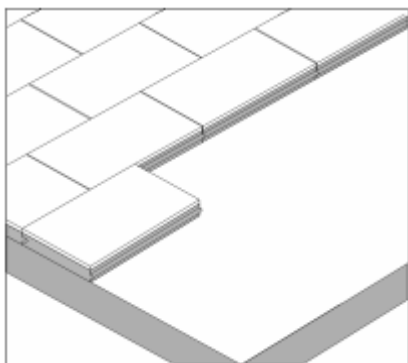
- Διατηρεί τις θερμομονωτικές του ιδιότητες και είναι ανθεκτικό στην απορρόφηση της υγρασίας με τη χρήση του Styrofoam της DOW ως υλικό θερμομόνωσης. Η χρήση εξηλασμένης πολυστερίνης με τη χαρακτηριστική δομή κλειστών κυψελίδων που έχει διασφαλίζει το χαμηλό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, τη χαμηλή υγραπορροφητικότητα και την υψηλή αντοχή στη συμπίεση.
- Έχει ικανοποιητική αντοχή στην συμπίεση με τη χρήση λευκής τσιμεντοειδούς επικάλυψης με ελάχιστη αντοχή 20 Mpa.
- Αντέχει στις επιδράσεις του κύκλου πήξης – τήξης του νερού με τη χρήση αερακτικού στο μείγμα του κονιάματος. Η εισαγωγή φυσαλίδων αέρα στο κονίαμα εκτονώνει τις εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται από τη πήξη του νερού λόγω παγετού.

## 2.3 Πεδίο εφαρμογών του Polytile

Το Polytile είναι σχεδιασμένο για να δίνει το μέγιστο δυνατό όφελος σε κατασκευές ανεστραμμένης θερμομόνωσης δώματος, καθώς οι περιμετρικές πλευρές με διαμόρφωση ραμποτέ (αρσενικό – θηλυκό) εξασφαλίζουν καλή συναρμογή μεταξύ των πλακών και σταθερότητα ώστε να μη δημιουργούνται θερμογέφυρες, αλλά και να έχουμε ένα επισκέψιμο δώμα. Αυτές οι ιδιότητες κάνουν ιδανική τη χρήση του σε μεγάλες επιφάνειες (σχολεία, βιομηχανικά κτίρια, κ.α.)

Σε μικρότερα κτίρια ή σε παλαιές κατασκευές προσφέρει ευκολία και ταχύτητα τοποθέτησης αλλά και μικρό βάρος (46kg/m<sup>2</sup>) κατάλληλο για δώματα ελάχιστου φορτίου πλακόστρωσης.

Σε όλες τις περιπτώσεις το Polytile είναι επαναχρησιμοποιήσιμο ώστε να μπορούν να γίνονται εύκολα οποιοσδήποτε επεμβάσεις ή επισκευές στο κτίριο ή ακόμη και καθ' ύψος επεκτάσεις.



Εικόνα 3 – Τοποθετημένο Polytile

### 3. ΟΙΚΟΝΟΜΟΤΕΧΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Κατά τη διάρκεια του 2006 ανατέθηκε στο ΚΑΠΕ να διενεργήσει μια οικονομοτεχνική έρευνα για τα οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη που προκύπτουν από τη χρήση του Polytile

Η μελέτη στηρίχθηκε στην εξής βάση:

- Η ελληνική επικράτεια διαιρέθηκε σε 4 κλιματικές ζώνες βάση των συνθηκών μέσης θερμοκρασίας/ υγρασίας/ ανέμου και ηλιοφάνειας.
- Εξετάσθηκαν μια τυπική 4-όροφη κατασκευή από σκυρόδεμα (πολυκατοικία) και μια τυπική 2-όροφη κατασκευή από σκυρόδεμα (μονοκατοικία)
- Η σύγκριση υπολόγισε το οικονομικό όφελος από τη εξοικονόμηση ενέργειας για δώματα με θερμομόνωση από Polytile σε σχέση με μη θερμομονωμένα δώματα.
- Εξετάσθηκε επίσης η μέση μείωση εκπομπών αερίων ρύπων στην ατμόσφαιρα και ο μέσος χρόνος απόσβεσης του κόστους της θερμομόνωσης του δώματος.

Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες

Πίνακας 2. Εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση Polytile- Πολυκατοικία (ΚΑΠΕ, 2006))

Τυπική 4όροφη κατασκευή	Συνολική εξοικονόμηση ενέργειας	Μέση μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> ,SO <sub>2</sub>	Χρόνος απόσβεσης κόστους	Μέσο ετήσιο οικονομικό ωφέλος μετά την απόσβεση (Ευρώ)
A ζώνη	7,31%	7,00%	6-8 χρόνια	302
B ζώνη	7,14%	6,6%	6-8 χρόνια	425
Γ ζώνη	7,79%	7,6%	5,5-7 χρόνια	628
Δ ζώνη		7,81%	4-6 χρόνια	910

Πίνακας 3. Εξοικονόμηση ενέργειας με χρήση Polytile- μονοκατοικία (ΚΑΠΕ, 2006)

Τυπική Ζόροφη κατασκευή	Συνολική εξοικονόμηση ενέργειας	Μέση μείωση εκπομπών CO <sub>2</sub> ,SO <sub>2</sub>	Χρόνος απόσβεσης κόστους	Μέσο ετήσιο οικονομικό ωφέλος μετά την απόσβεση (Ευρώ)
Α ζώνη	28,90%	39,70%	7-9 χρόνια	744
Β ζώνη	31,83%	38,23%	5-7 χρόνια	1133,5
Γ ζώνη	33,53%	38,82%	3-5 χρόνια	1596,8
Δ ζώνη		34,29%	2-4 χρόνια	2310,4



Εικόνα 4 – κλιματικές ζώνες κατά ΚΑΠΕ

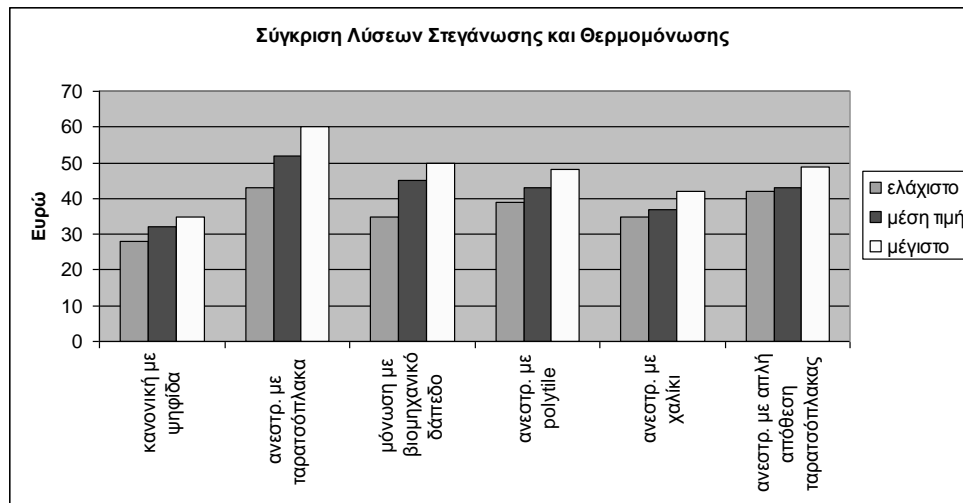
Σε γενικές γραμμές η μελέτη δείχνει ότι μια τυπική πολυκατοικία στην Αθήνα θα μπορούσε να κερδίσει περίπου 1000 Ευρώ το χρόνο αν χρησιμοποιούσε Polytile στο Δώμα της. Γενικά τα ενεργειακά οφέλη μπορούν να φτάσουν μέχρι και το 34% (ηλεκτρικό ρεύμα + πετρέλαιο θέρμανσης ή φυσικό αέριο) Εκτός από την εξοικονόμηση ενέργειας μειώνεται και η εκπομπή αερίων ρύπων μέχρι 40% .

Αξίζει να τονίσουμε ότι η μελέτη έχει γίνει με οικονομικά δεδομένα του 2006. Η επικαιροποίηση της μελέτης αυτής με δεδομένα του 2008 και τις αυξημένες τιμές τόσο στο πετρέλαιο όσο και στο ηλεκτρικό ρεύμα θα δώσει προφανώς πολύ πιο θετικά αποτελέσματα.

#### 4. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΚΟΣΤΟΥΣ

Με στόχο να γνωρίσουμε το κόστος εφαρμογής του Polytile στην ελληνική αγορά διενεργήσαμε στις αρχές του 2007 μια σειρά προσωπικών συνεντεύξεων με εφαρμοστές. Έγιναν συνολικά 10 συνεντεύξεις με εφαρμοστές οι οποίοι θεωρήθηκαν αντιπροσωπευτικοί της ελληνικής αγοράς. Τα δεδομένα που τους θέσαμε ήταν τα εξής:

- Κτίριο με επίπεδη στέγη 150 μ<sup>2</sup> στην Αθήνα που απαιτεί στεγάνωση και θερμομόνωση
  - Κοστολόγηση των παραπάνω εργασιών εκτός του ΦΠΑ και ΙΚΑ
  - Σύγκριση όλων των ανταγωνιστικών λύσεων στεγάνωσης και θερμομόνωσης με όλες τις πιθανές απαιτήσεις βατότητας
- Προέκυψαν τα παρακάτω κόστη ανα τετραγωνικό μέτρο:



Εικόνα 5 Σύγκριση Λύσεων

Από τα παραπάνω προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- Οι λύσεις που προσφέρουν εξαιρετικά περιορισμένη βατότητα (συμβατική με ψηφίδα και ανεστραμμένη με χαλίκι) βρίσκονται στο ίδιο χαμηλό επίπεδο κόστους. (περίπου 32-35 Ευρώ /m<sup>2</sup>). Αυτές οι λύσεις αναφέρονται σε κτίρια με οροφές πρακτικά μη προσβάσιμες
- Οι λύσεις που προσφέρουν περιορισμένη βατότητα (polytile και απλή απόθεση ταρατσόπλακας) βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο κόστους. (περίπου 42 Ευρώ /m<sup>2</sup>) Το Polytile προσφέρει το πλεονέκτημα μια βιομηχανοποιημένης λύσης
- Λύσεις που προσφέρουν πλήρη βατότητα είναι σημαντικά ακριβότερες (>>45 Ευρώ /m<sup>2</sup>) και αναφέρονται σε κτίρια διαφορετικών απαιτήσεων.

## 5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι η χρήση του Polytile σε μια επίπεδη οροφή προσφέρει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Προϊόν βιομηχανοποιημένης, ελεγχόμενης και σταθερής παραγωγής χρησιμοποιώντας ένα αξιόπιστο μονωτικό υλικό.



- Η χρήση του σε ένα σύστημα ανεστραμμένης μόνωσης οροφής προστατεύει τη στεγανωτική στρώση από καιρικές καταπονήσεις και γήρανση
- Έχει μικρό σχετικά βάρος και είναι επαναχρησιμοποιήσιμο.
- Δεν υπάρχουν θερμικές γέφυρες χάρη στην ραμποτέ διαμόρφωση των ακμών του.
- Προσφέρει σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντολογικά οφέλη
- Είναι το οικονομικότερο σύστημα σε σχέση με την προσβασιμότητα που προσφέρει.

## 6. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

### *Τεχνικές εκθέσεις*

- DOW-λύσεις δόμησης (2007)
- Κ.Α.Π.Ε. “Τεχνοοικονομική Μελέτη ενεργειακής συμπεριφοράς θερμομονωτικού πλακιδίου δωμαίων-Polytile” (2006)
- DOW – L68151:P7111, May 2006

### *Πρότυπα (standards)*

- ASTM C39/C39M-05e1 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens(2003)
- BS EN 13892-2:2002 Methods of test for screed materials. Determination of flexural and compressive strength(2002)
- BS 5075-2:1982 Concrete admixtures. Specification for air-entraining admixtures(1982)
- DD CEN/TS 772-22:2006 Methods of test for masonry units. Determination of freeze/thaw resistance of clay masonry units(2006)
- EN ISO 6946:1997 Building components and building elements. Thermal resistance and thermal transmittance. Calculation method
- British board of Agreement No 97/3431, August 2003
- EN 12056-1:2000 Gravity drainage systems inside buildings. General and performance requirements
- EN 13164:2001 Thermal insulation products for building –Factory made products of extruded polystyrene
- BS 6229:2003 Flat roofs with continuously supported coverings. Code of practice
- BS 8218:1998 Code of practice for mastic asphalt roofing
- British Board of Agrément(BBA) No 97/3431, August 2003
- Π.Δ. 1.6.4.7.1979 (ΦΕΚ 362Δ') «Κανονισμός δια την θερμομόνωση Κτιρίων»

## *Άρθρα*

Bofah, Gerhard, Kramer, WSP Consulting Engineers, Sep 1995, Calculation of Pressure equilibration underneath loose-laid, flow permeable roof insulation boards.

Leimer, Rode, Kunzel, Bednar , BBS, 2003, Requirements of inverted roofs with a drainage layer.