



ΗΜΕΡΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ 2011 ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΗΣ
& ΦΥΣΙΚΗΣ
ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Βελτιστοποίηση της ενεργειακής συμπεριφοράς προκατασκευασμένων κτιρίων. Παράδειγμα εφαρμοσμένης έρευνας

Επ. υπεύθυνη: Κατερίνα Τσικαλουδάκη, λέκτορας Α.Π.Θ.
Συνεργάτες: Κ. Λάσκος, πολ.μηχ., υπ. διδάκτορας
Α. Καραούλης, πολ.μηχ., υπ. διδάκτορας
Α. Χατζηδημητρίου, αρχ. μηχαν., υπ. διδάκτορας

Ερευνητικό έργο: Διερεύνηση της ενεργειακής συμπεριφοράς προκατασκευασμένων κτιρίων

Δράση: Κουπόνια καινοτομίας



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ
ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ

ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΤΑΜΕΙΟ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ (Ε.Τ.Π.Α.)



ΤΡΟΠΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΤΙΡΙΩΝ

- ✓ Μεταλλικός σκελετός από κοιλοδοκούς
- ✓ Πλήρωση των διακένων του σκελετού με θερμομονωτικά υλικά (διογκωμένη πολυστερίνη και ξυλόμαλλο)
- ✓ Τσιμεντοκονίαμα για επίχριση
- ✓ Πατώματα από ελαφρά οπλισμένο σκυρόδεμα
- ✓ Συνήθης επιστέγαση: κεκλιμένη στέγη

Ερευνητικό έργο: Διερεύνηση της ενεργειακής συμπεριφοράς προκατασκευασμένων κτιρίων

«λεπτά» σημεία

- ✓ Μεγάλη εκτεθειμένη επιφάνεια σε σχέση με τον όγκο των κτιρίων
- ✓ Ελαφριά κατασκευή
- ✓ Υψηλή θερμομόνωση στα διάκενα, ασθενής περιοχή ο μεταλλικός σκελετός

στόχοι

- ✓ Περιορισμός των θερμικών φορτίων με ενίσχυση του κτιριακού κελύφους
 - ✓ Ελαχιστοποίηση της υγραποίησης των υδρατμών από συμπύκνωση
 - ✓ Ενσωμάτωση αρχών βιοκλιματικού σχεδιασμού
- «Αμυντικός» σχεδιασμός κελύφους ελλείπει θερμικής μάζας

άξονες

- α. Βελτιστοποίηση δομικών στοιχείων (U, θερμογέφυρες)
- β. Βιοκλιματικός σχεδιασμός

α. Βελτιστοποίηση δομικών στοιχείων

$$U = \frac{1}{R_T}$$

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

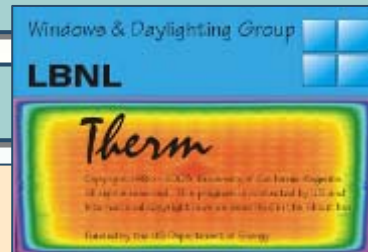
μεθοδολογία υπολογισμού για εναλλακτικές διατάξεις



Συντελεστής θερμοπερατότητας U

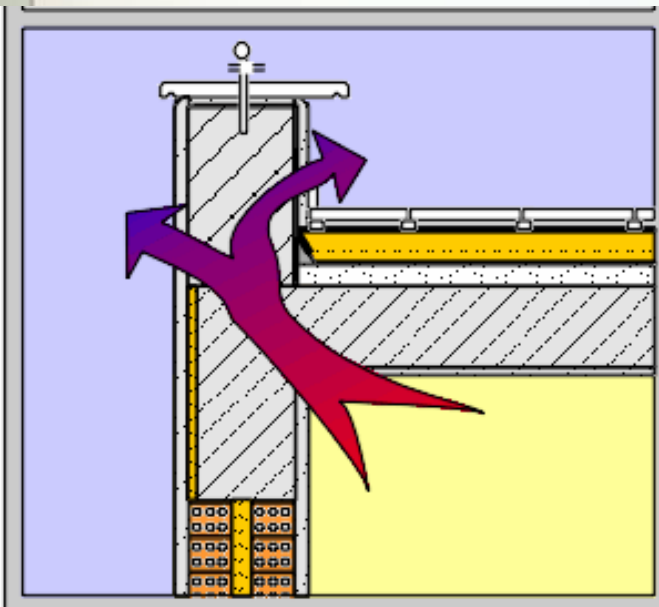


Γραμμικός συντελεστής θερμοπερατότητας Ψ



$$\Psi = L^{2D} - \sum_{j=1}^n U_j l_j$$

L^{2D} : the linear thermal coupling coefficient obtained from a 2-D calculation



Θερμογέφυρες

Παρατηρούνται:

Σε περιοχές του κτιριακού κελύφους, που η θερμική αντίσταση αλλάζει σημαντικά, οδηγώντας σε πολυδιάσταση ροή θερμότητας.

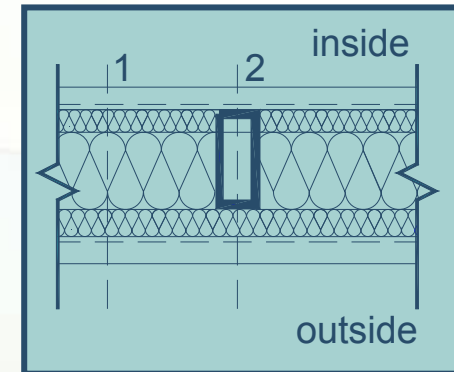
Όσο καλύτερα είναι μονωμένο το κέλυφος, τόσο πιο έντονη είναι η επιρροή των θερμογεφυρών στη διαμόρφωση των θερμικών απωλειών.

α. Βελτιστοποίηση δομικών στοιχείων: τοιχοποιίες



Αρχική κατασκευαστική διαμόρφωση κατακόρυφων δομικών στοιχείων

Δομικό στοιχείο	Υλικό	Πάχος d [m]	Θερμική αγωγιμότητα λ [W/(m K)]	Συντελεστής θερμοπερατ. U [W/(m ² K)]
Τοιχοποιία: Θέση 1	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	0.332
	Ξυλόμαλλο	0.025	0.090	
	Διογκωμένη πολυστερίνη	0.075	0.035	
	Ξυλόμαλλο	0.035	0.090	
	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	
Τοιχοποιία: Θέση 2	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	1.677
	Κοιλοδοκός	0.010	58.000	
	Ξυλόμαλλο	0.035	0.090	
	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	



Μέσο U τοίχου:
 $U_w = 0.466 \text{ W/(m}^2\text{k)}$

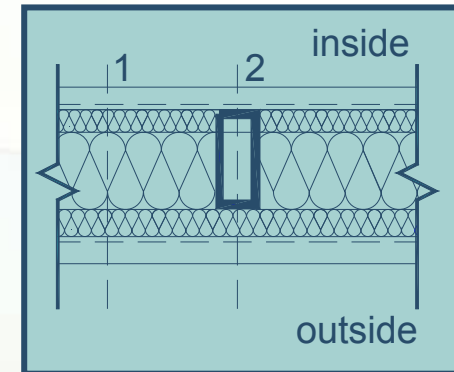


α. Βελτιστοποίηση δομικών στοιχείων: τοιχοποιίες



Αρχική κατασκευαστική διαμόρφωση κατακόρυφων δομικών στοιχείων

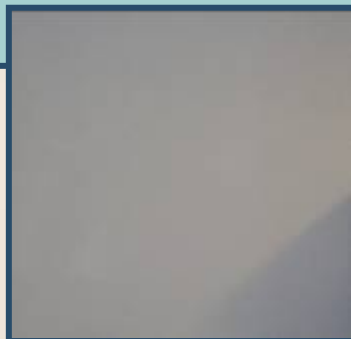
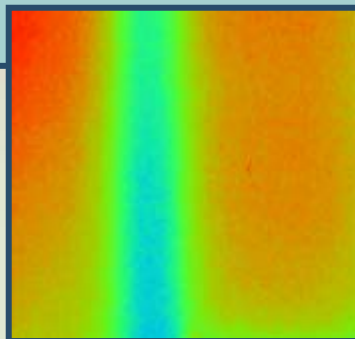
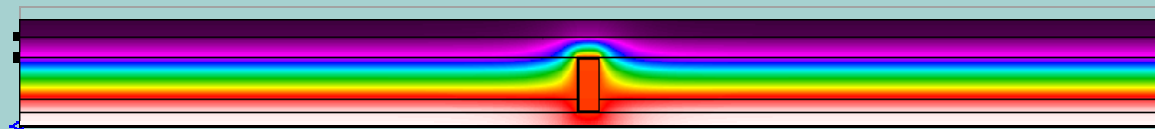
Δομικό στοιχείο	Υλικό	Πάχος d [m]	Θερμική αγωγιμότητα λ [W/(m K)]	Συντελεστής θερμοπερατ. U [W/(m ² K)]
Τοιχοποιία: Θέση 1	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	0.332
	Ξυλόμαλλο	0.025	0.090	
	Διογκωμένη πολυστερίνη	0.075	0.035	
	Ξυλόμαλλο	0.035	0.090	
	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	
Τοιχοποιία: Θέση 2	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	1.677
	Κοιλοδοκός	0.010	58.000	
	Ξυλόμαλλο	0.035	0.090	
	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	



Μέσο U τοίχου:
 $U_w = 0.466 \text{ W/(m}^2\text{k)}$

θερμογέφυρες

$\Psi = 0,103 \text{ W/(m K)}$

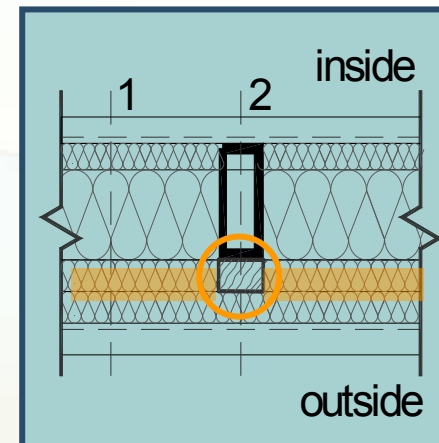


α. Βελτιστοποίηση δομικών στοιχείων: τοιχοποιίες



α' πρόταση για κατακόρυφα στοιχεία

Δομικό στοιχείο	Υλικό	Πάχος d [m]	Θερμική αγωγιμότητα λ [W/(m K)]	Συντελ. θερμοπερατ. U [W/(m ² K)]
Τοιχοποιία: Θέση 1	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	0.258
	Ξυλόμαλλο	0.025	0.090	
	Διογκωμένη πολυστερίνη	0.075	0.035	
	Διογκωμένη πολυστερίνη	0.030	0.035	
	Ξυλόμαλλο	0.035	0.090	
	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	
Τοιχοποιία: Θέση 2	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	1.131
	Κοιλοδοκός	0.010	58.000	
	Ξύλινο πηχάκι	0.030	0.13	
	Ξυλόμαλλο	0.035	0.090	
	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	



Μέσο U τοίχου:
 $U_w = 0.363 \text{ W/(m}^2\text{k)}$

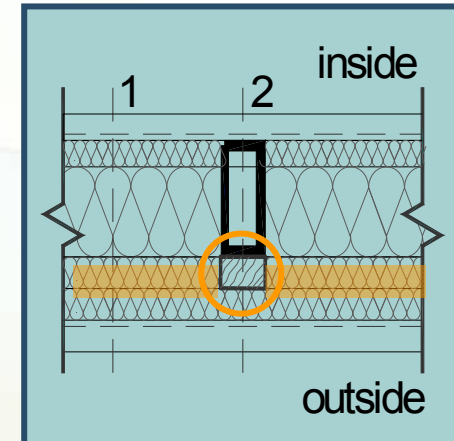


α. Βελτιστοποίηση δομικών στοιχείων: τοιχοποιίες



α' πρόταση για κατακόρυφα στοιχεία

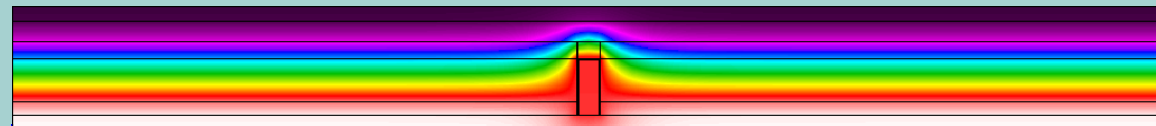
Δομικό στοιχείο	Υλικό	Πάχος d [m]	Θερμική αγωγιμότητα λ [W/(m K)]	Συντελ. θερμοπερατ. U [W/(m ² K)]
Τοιχοποιία: Θέση 1	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	0.258
	Ξυλόμαλλο	0.025	0.090	
	Διογκωμένη πολυστερίνη	0.075	0.035	
	Διογκωμένη πολυστερίνη	0.030	0.035	
	Ξυλόμαλλο	0.035	0.090	
	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	
Τοιχοποιία: Θέση 2	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	1.131
	Κοιλοδοκός	0.010	58.000	
	Ξύλινο πηχάκι	0.030	0.13	
	Ξυλόμαλλο	0.035	0.090	
	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	



Μέσο U τοίχου:
 $U_w = 0.363 \text{ W/(m}^2\text{k)}$

θερμογέφυρες

$\Psi = 0.04 \text{ W/(m K)}$

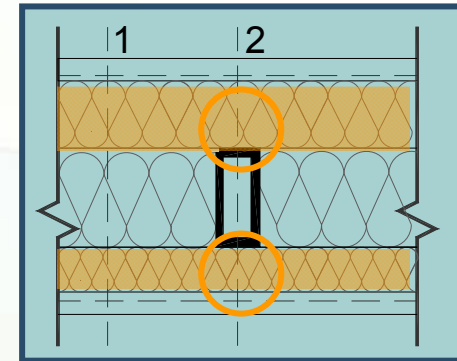


α. Βελτιστοποίηση δομικών στοιχείων: τοιχοποιίες



β' πρόταση για κατακόρυφα στοιχεία

Δομικό στοιχείο	Υλικό	Πάχος d [m]	Θερμική αγωγιμότητα λ [W/(m K)]	Συντελεστής θερμοπερατ. U [W/(m ² K)]
Τοιχοποιία: Θέση 1	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	0.225
	Ξυλόμαλλο	0.050	0.090	
	Διογκωμένη πολυστερίνη	0.100	0.035	
	Ξυλόμαλλο	0.075	0.090	
	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	
Τοιχοποιία: Θέση 2	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	0.626
	Ξυλόμαλλο	0.010	0.090	
	Κοιλοδοκός	0.10	58.000	
	Ξυλόμαλλο	0.035	0.090	
	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	



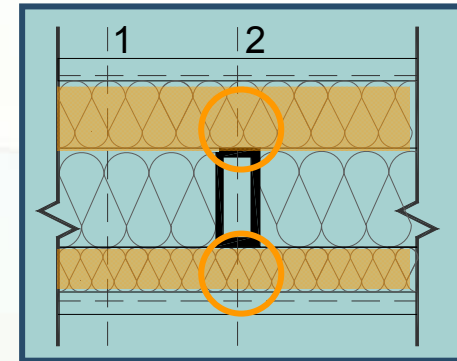
Μέσο U τοίχου:
 $U_w = 0.265 \text{ W/(m}^2\text{k)}$

α. Βελτιστοποίηση δομικών στοιχείων: τοιχοποιίες



β' πρόταση για κατακόρυφα στοιχεία

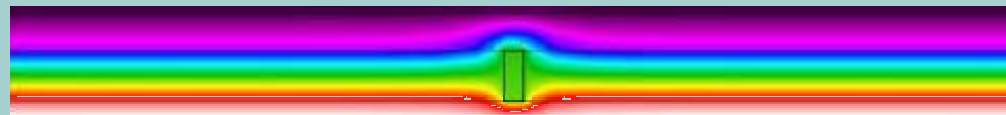
Δομικό στοιχείο	Υλικό	Πάχος d [m]	Θερμική αγωγιμότητα λ [W/(m K)]	Συντελεστής θερμοπερατ. U [W/(m ² K)]
Τοιχοποιία: Θέση 1	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	0.225
	Ξυλόμαλλο	0.050	0.090	
	Διογκωμένη πολυστερίνη	0.100	0.035	
	Ξυλόμαλλο	0.075	0.090	
	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	
Τοιχοποιία: Θέση 2	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	0.626
	Ξυλόμαλλο	0.010	0.090	
	Κοιλοδοκός	0.10	58.000	
	Ξυλόμαλλο	0.035	0.090	
	Τσιμεντοκονίαμα με πλέγμα	0.025	1.400	



Μέσο U τοίχου:
 $U_w = 0.265 \text{ W/(m}^2\text{k)}$

θερμογέφυρες

$\Psi = 0.025 \text{ W/(m K)}$



α. Βελτιστοποίηση δομικών στοιχείων: τοιχοποιίες

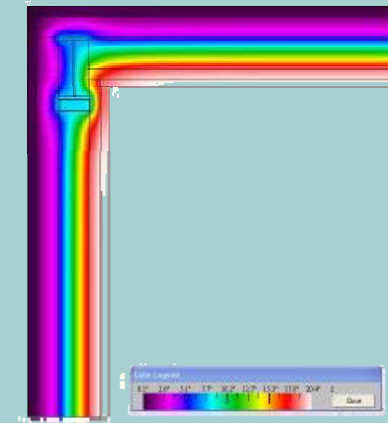
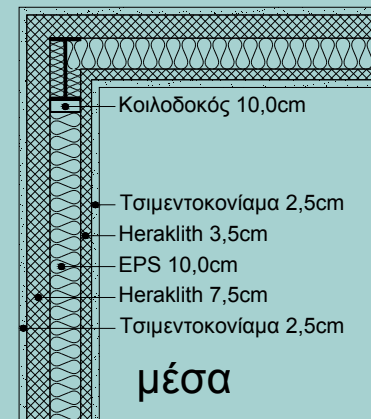


β' πρόταση για κατακόρυφα στοιχεία: συναρμογή με δομικά στοιχεία

θερμογέφυρες

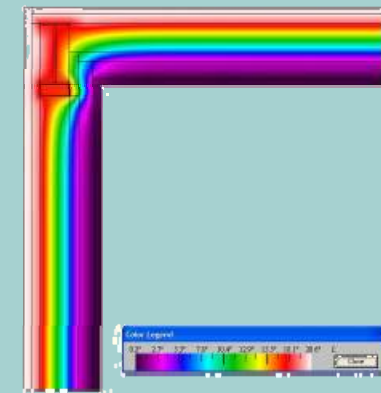
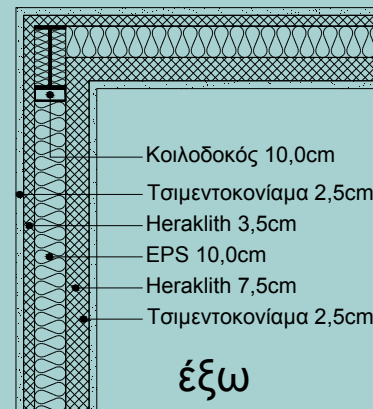
ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΓΩΝΙΕΣ

$$\Psi = 0.11 \text{ W/(m K)}$$



ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΓΩΝΙΕΣ

$$\Psi = 0.04 \text{ W/(m K)}$$



α. Βελτιστοποίηση δομικών στοιχείων: τοιχοποιίες

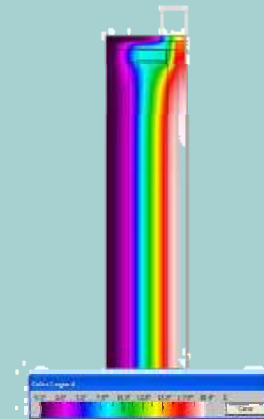
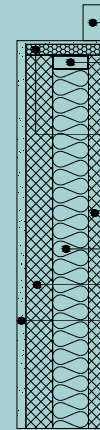


β' πρόταση για κατακόρυφα στοιχεία: συναρμογή με δομικά στοιχεία

θερμογέφυρες

ΜΕ ΚΟΥΦΩΜΑΤΑ

$$\Psi = -0.12 \text{ W/(m K)}$$



ΜΕ ΔΑΠΕΔΟ

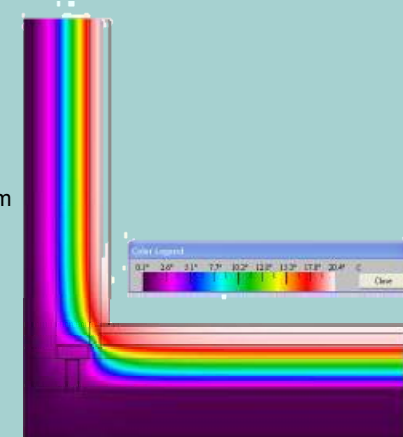
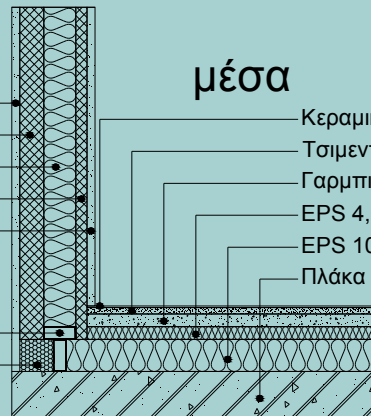
$$\Psi = -0.12 \text{ W/(m K)}$$

Τσιμεντοκονίαμα 2,5cm
Heraklith 7,5cm
EPS 10,0cm
Heraklith 3,5cm
Τσιμεντοκονίαμα 2,5cm

Κοιλοδοκός 10,0cm
XPS

μέσα

Κεραμικά πλακίδια 0,5cm
Τσιμεντοκονίαμα 2,0cm
Γαρμπιλοσκυρόδεμα 4,0cm
EPS 4,0cm
EPS 10,0cm
Πλάκα 15,0cm



α. Βελτιστοποίηση δομικών στοιχείων: τοιχοποιίες

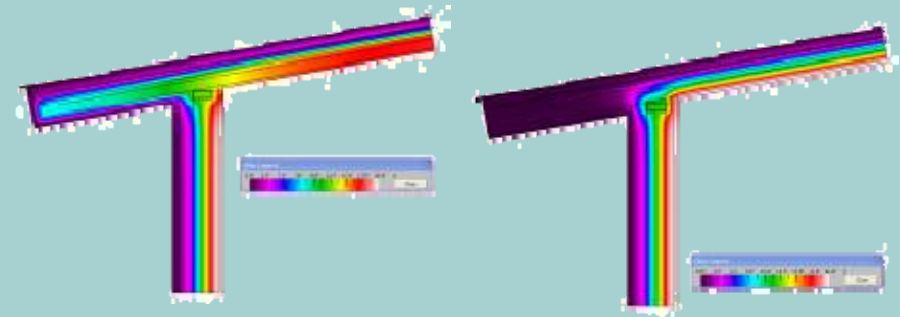
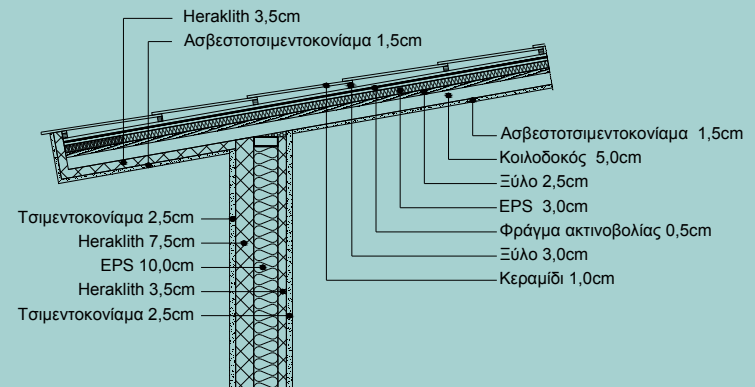


β' πρόταση για κατακόρυφα στοιχεία: συναρμογή με δομικά στοιχεία

θερμογέφυρες

ΜΕ ΣΤΕΓΗ

$\Psi = -1.30 \text{ W/(m K)}$ στη θέση του σκελετού
 $\Psi = +0.06 \text{ W/(m K)}$ στη θέση της μόνωσης



β. Βιοκλιματικός σχεδιασμός



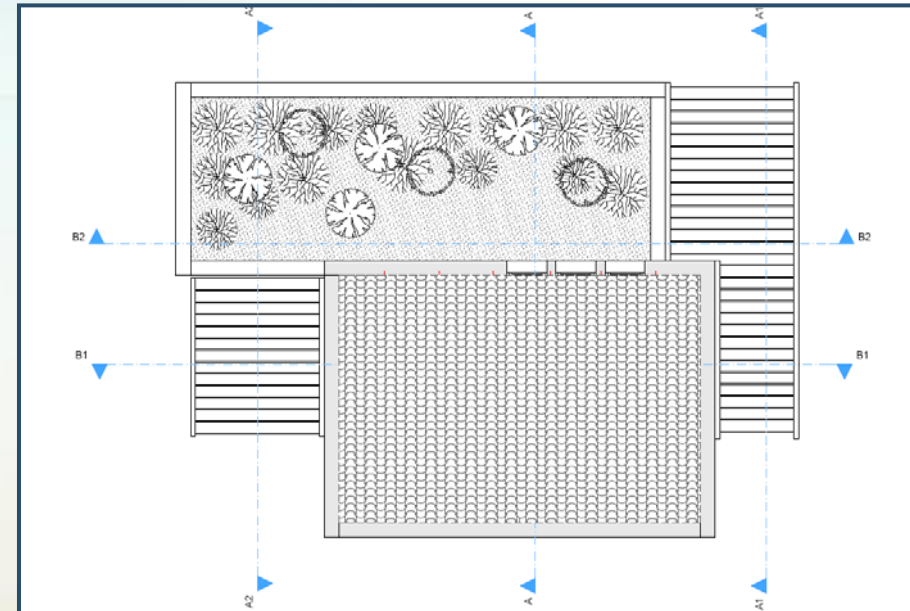
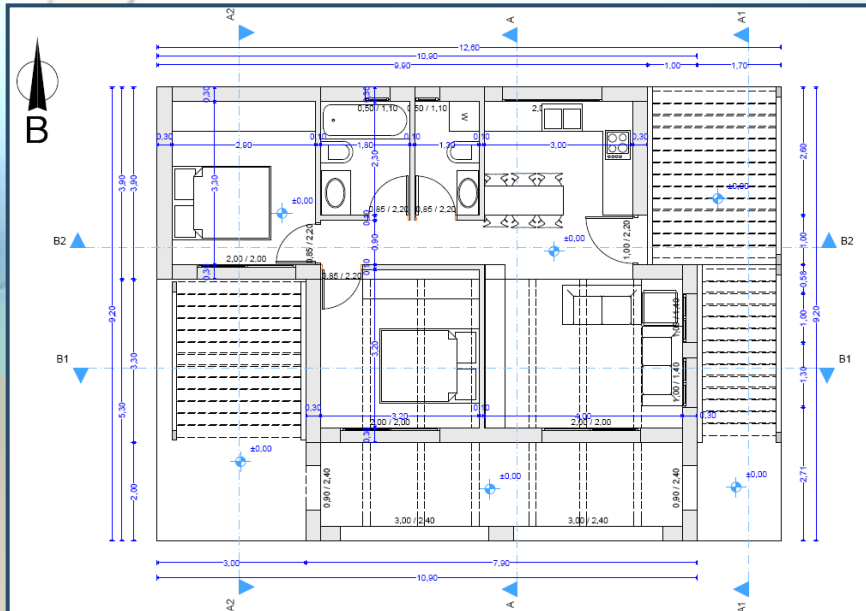
Εφαρμογή σε πιλοτικό κτίριο



Β. Βιοκλιματικός σχεδιασμός



Εφαρμογή σε πιλοτικό κτίριο



- Μονώροφο κτίσμα
- Επιστέγαση με στέγη & φυτεμένο δώμα
- Χωροθέτηση χρήσεων
- Διαμπερής αερισμός
- Χωροθέτηση ανοιγμάτων
- Μελέτη ηλιοπροστασίας

β. Βιοκλιματικός σχεδιασμός



Εφαρμογή σε πιλοτικό κτίριο

Δυτική όψη:
Καθόλου ανοίγματα



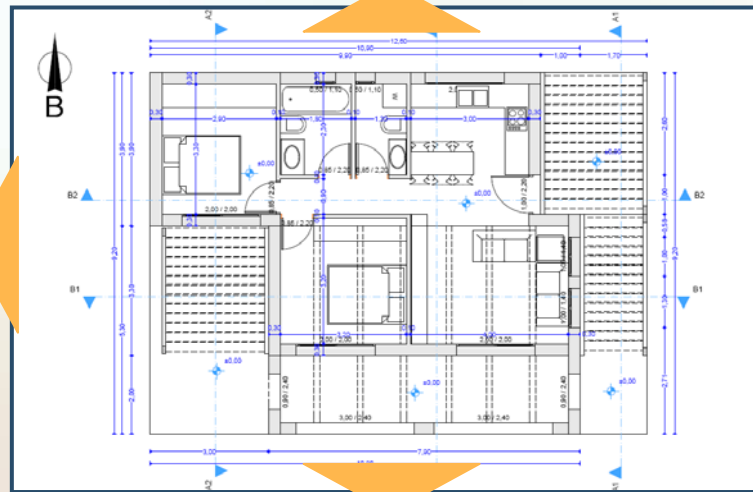
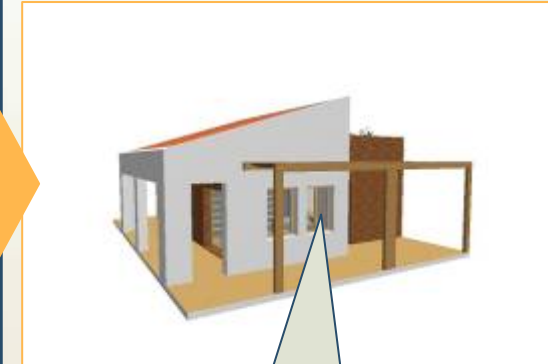
Νότια όψη:
Μεγάλα ανοίγματα
για ηλιακά κέρδη
Διαστασιολόγηση
ηλιοπροστασίας



Βόρεια όψη:
Μικρά ανοίγματα
για αερισμό



Ανατολική όψη:
Ηλιοπροστασία
για καλοκαίρι

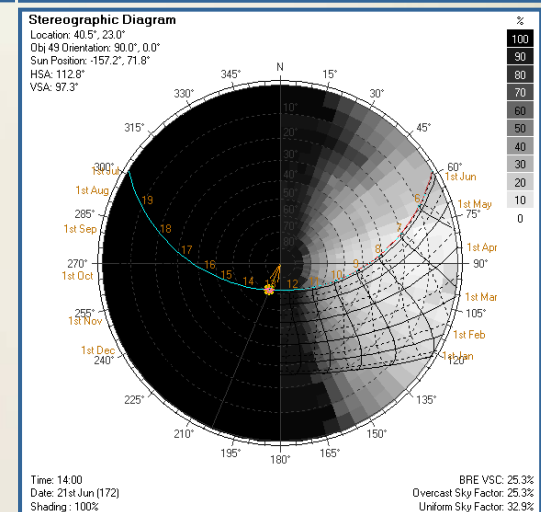
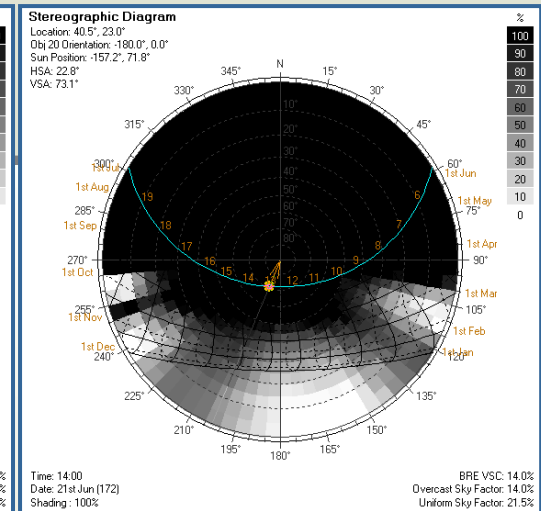
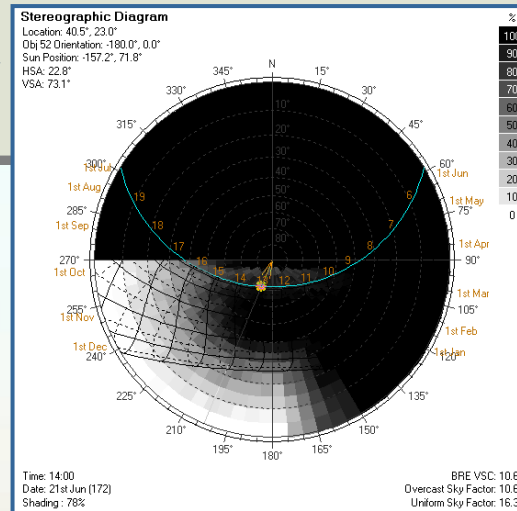


β. Βιοκλιματικός σχεδιασμός



Εφαρμογή σε πιλοτικό κτίριο

Μελέτη ηλιοπροστασίας ανοιγμάτων



β. Βιοκλιματικός σχεδιασμός



Εφαρμογή σε πιλοτικό κτίριο

Ενεργειακή συμπεριφορά κτιρίου: υπολογισμός μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U_m

Δομικό στοιχείο	Εμβαδό A	Συντ. θερμοπερατότητας U	A x U
Τοιχοποιία	121.15	0.265	32.105
Κουφώματα	21.73		35.07
Δώμα	36.54	0.31	11.33
Στέγη	29.70	0.30	8.91
Δάπεδο	64.98	0.28	
Σύνολο	274.10		

Μηδενικές οι θερμογέφυρες!!!

$$U_m = \frac{\sum_{j=1}^n A_j \cdot U_j \cdot b + \sum_{i=1}^k l_i \cdot \Psi_i \cdot b}{\sum_{j=1}^n A_j} = 0,38 \text{ W/m}^2\text{K} \ll 0,66 = U_{m, \max}$$

Β. Βιοκλιματικός σχεδιασμός



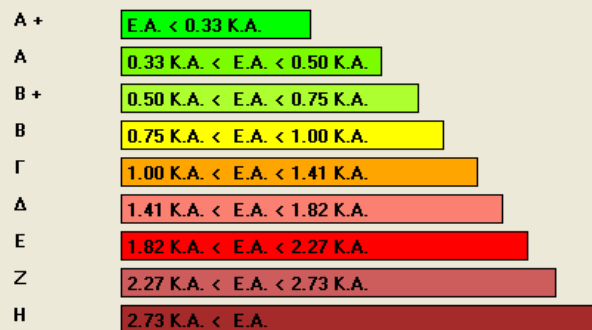
Εφαρμογή σε πιλοτικό κτίριο

Ενεργειακή συμπεριφορά κτιρίου: *εκτίμηση ενεργειακής απόδοσης κατά Κ.Εν.Α.Κ.*

Δημιουργία αρχείου αποτελεσμάτων 8.06.2011 11.03

Ενεργειακή κατηγορία

Μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης



63.2 kWh / m²

Ενεργειακά μη αποδοτικό

Πρωτογενής ενέργεια ανα τελική χρήση (kWh/m²)

	Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο
►	Θέρμανση	81.0	45.7
	Ψύξη	30.1	13.7
	ZNΧ	19.2	3.8
	Φωτισμός	0.0	0.0
	Συνεισφορά ΑΠΕ - ΣΗΘ	0.0	0.0
	Σύνολο	130.2	63.2
	Κατάταξη	-	A

Με εγκατάσταση:

συμβατικής αντλίας θερμότητας για κάλυψη αναγκών θέρμανσης, ψύξης και ζεστού νερού χρήσης.

Ηλιακού συλλέκτη 1,5 m² για κάλυψη απαιτήσεων Κ.Εν.Α.Κ. σε ZNΧ από ΑΠΕ

Β. Βιοκλιματικός σχεδιασμός



Εφαρμογή σε πιλοτικό κτίριο

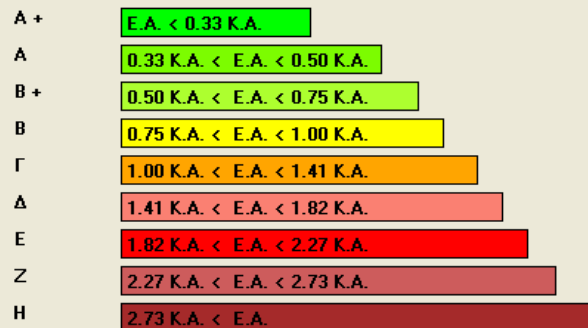
Ενεργειακή συμπεριφορά κτιρίου: σύγκριση με συμβατική κατασκευή

Συμβατική
κατασκευή

Δημιουργία αρχείου αποτελεσμάτων 8.06.2011 11.03

Ενεργειακή κατηγορία

Μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης



Ενεργειακά μη αποδοτικό

Πρωτογενής ενέργεια ανα τελική χρήση (kWh/m²)

	Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο
▶ Θέρμανση	81.0	45.7	
Ψύξη	30.1	13.7	
ZNΚ	19.2	3.8	
Φωτισμός	0.0	0.0	
Συνεισφορά ΑΠΕ - ΣΗΘ	0.0	0.0	
Σύνολο	130.2	63.2	
Κατάταξη	-	-	A

Δημιουργία αρχείου αποτελεσμάτων 8.06.2011 11.29

Ενεργειακή κατηγορία

Μηδενικής ενεργειακής κατανάλωσης



Ενεργειακά μη αποδοτικό

Πρωτογενής ενέργεια ανα τελική χρήση (kWh/m²)

	Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο
▶ Θέρμανση	110.3	82.5	
Ψύξη	28.8	13.9	
ZNΚ	19.2	3.8	
Φωτισμός	0.0	0.0	
Συνεισφορά ΑΠΕ - ΣΗΘ	0.0	0.0	
▶ Σύνολο	158.3	100.1	
Κατάταξη	-	-	B+



ΗΜΕΡΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ 2011 ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ



ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ
ΟΙΚΟΔΟΜΙΚΗΣ
& ΦΥΣΙΚΗΣ
ΤΩΝ ΚΤΙΡΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ
ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Βελτιστοποίηση της ενεργειακής συμπεριφοράς προκατασκευασμένων κτιρίων. Παράδειγμα εφαρμοσμένης έρευνας

Επ. υπεύθυνη: Κατερίνα Τσικαλουδάκη, λέκτορας Α.Π.Θ.
Συνεργάτες: Κ. Λάσκος, πολ.μηχ., υπ. διδάκτορας
Α. Καραούλης, πολ.μηχ., υπ. διδάκτορας
Α. Χατζηδημητρίου, αρχ. μηχαν., υπ. διδάκτορας