



1

Ενεργειακή αναβάθμιση κτιρίων
Το παράδειγμα του κτιρίου διοίκησης του ΚΑΠΕ
Αθήνα, 17.12.10

Ενεργειακή επιθεώρηση
Κατάταξη κτιρίου σύμφωνα με τον ΚΕΝΑΚ

Άγισ Μ. Παπαδόπουλος
Καθηγητής Πολυτεχνικής Σχολής Α.Π.Θ.

agis@eng.auth.gr



Το κτίριο

2

Περιγραφή κτιρίου

Το κτίριο είναι προσανατολισμένο στον άξονα βορρά νότου





Το κτίριο

ΕΜΟΠΜ

3

Περιγραφή κτιρίου – κυριότερα χαρακτηριστικά

- Κλιματική Ζώνη Β
- Δυτικός προσανατολισμός
- Εκτεθειμένο
- Πανταχόθεν ελεύθερο



Το κτίριο

ΕΜΟΠΜ

4

Περιγραφή κτιρίου - κέλυφος

Πριν τις παρεμβάσεις



Μετά τις παρεμβάσεις





Το κτίριο

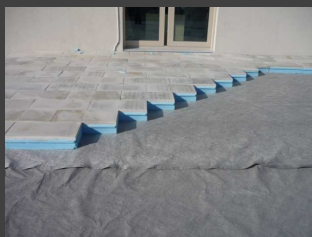
5

Οι παρεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούν σε:

- Αναδρομική θερμομόνωση του κελύφους

Τοποθετήθηκε σύστημα εξωτερικής θερμομόνωσης με 0,06 cm εξηλασμένη πολυστερίνη τύπου Styrofoam και Xenergy, με $\lambda=0,035$ και $0,031$ W/mK αντιστοίχως, σε όλους τους εξωτερικούς τοίχους.

Στην κεραμοσκεπή και στο δώμα τοποθετήθηκαν 10cm εξηλασμένης πολυστερίνης.



Το κτίριο

6

Οι παρεμβάσεις που πραγματοποιήθηκαν αφορούν σε:

- Αλλαγή κουφωμάτων

Τα κουφώματα παρέμειναν χωνευτά και χρησιμοποιήθηκε η σειρά S400

$$U_f = 4.22 \text{ W/m}^2\text{K}$$

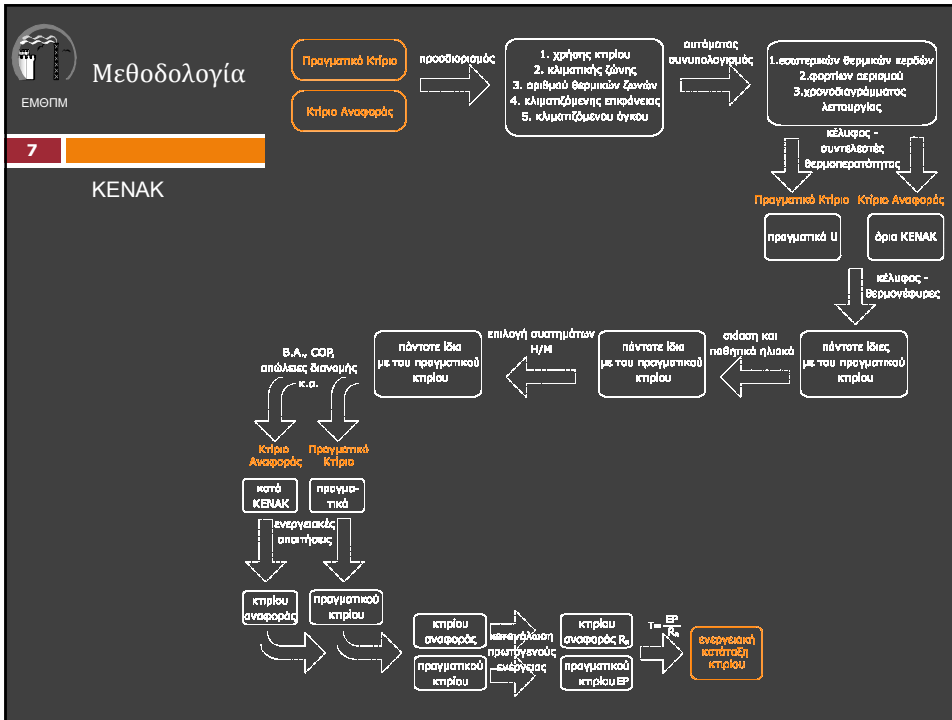
$$U_g = 1.1 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$g = 40\%$$

και U_w ανάλογα με τις διαστάσεις

Profile	Af (m²)	Uf (W/m²K)	Af * Uf (W/K)
ΦΥΛΛΟ ΠΡΟΣΘΕΤΟ	0.12 m²	3.80 W/m²K	0.45 W/K
ΚΛΑΣΑ ΦΥΛΛΟ	0.41 m²	3.70 W/m²K	1.52 W/K
Total	0.53 m²	3.72 W/m²K	1.97 W/K
Glas	Ag (m²)	Ug (W/m²K)	Ag * Ug (W/K)
24mm	0.67 m²	1.10 W/m²K	0.74 W/K
Total	0.67 m²	1.10 W/m²K	0.74 W/K
Interconnection Glas	Lg (m)	Psi (W/mK)	Psi * Lg (W/K)
Total	3.43 m	0.08 W/mK	0.27 W/K
Uw	1.20 m²	2.49 W/m²K	2.98 W/K





Μεθοδολογία
ΕΜΘΠΜ

8

Υπολογισμός κατά ΚΕΝΑΚ με το TEE-KENAK

- Μονοζωνικά
- Χρήση κτιρίου γραφείων
- Συνυπολογισμός των θερμογεφυρών στατικά, χωρίς να επηρεάζεται η ενεργειακή κλάση

Υπολογισμός με το Energy Plus

- ο Δυναμική προσομοίωση
- ο Χρονοδιάγραμμα, εσωτερικά θερμικά κέρδη και αερισμός κατά ΚΕΝΑΚ
- ο Διατομές και λοιπές παραδοχές για το κέρυφος κατά ΚΕΝΑΚ



Σενάρια μελέτης

9

Σενάριο 1

Αρχική κατάσταση, μη μονωμένο κτίριο, κουφώματα με ξύλινο πλαίσιο και μονό υαλοπίνακα (Θεωρητικά το κτίριο έπρεπε να είναι μονωμένο σύμφωνα με το ΚΘΚ)

Σενάριο 2

Υφιστάμενη κατάσταση, με πλημμελή μόνωση στον πυρήνα της δικέλυφης τοιχοποιίας, κουφώματα αλουμινίου χωρίς θερμοδιακοπή με διπλό υαλοπίνακα

Σενάριο 3

Πλήρης ενεργειακή αναβάθμιση του κελύφους με θερμομόνωση Kelyfos και υψηλής ενεργειακής ποιότητας κουφώματα

Σενάριο 4

Σενάριο 3 και επιπρόσθετα αυτοματισμός ελέγχου για το σύστημα φωτισμού



Θερμομονωτικά χαρακτηριστικά κατασκευής

10

	ΣΕΝ 1	ΣΕΝ 2	ΣΕΝ 2	
	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ (ΜΗ ΜΟΝΩΜΕΝΗ)	ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ (ΠΛΗΜΜΕΛΩΣ ΜΟΝΩΜΕΝΗ)	ΠΛΗΡΩΣ ΘΕΡΜΟΜΟΝΩΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΠΑΡΕΜΒΑΣΗ	ΟΡΙΑ ΚΕΝΑΚ
ΔΩΜΑ	3.05	3.05	0.31	0.45
ΣΤΕΓΗ	4.25	4.25	0.32	0.45
ΔΑΠΕΔΟ ΕΠΙ ΕΔΑΦΟΥΣ	3.1	3.1	3.1	0.9
ΑΝΟΙΓΜΑΤΑ	5.1 ~ 5.5	4.6 ~ 5.0	1.8~ 2.6	3.0
ΔΙΚΕΛΥΦΗ	2.2	0.8	0.32	0.5
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	3.4	3.4	0.5	0.5



Θερμομονωτικά χαρακτηριστικά κατασκευής

11

Έλεγχος U_m

Λόγος A/V [m^{-1}]	Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές μέσου συντελεστή θερμοπερατότητας U_m [W/m^2K]			
	ΖΩΝΗ Β	ΣΕΝΑΡΙΟ 1	ΣΕΝΑΡΙΟ 2	ΣΕΝΑΡΙΟ 3 (84)
0.4	1.03			
0.5	0.98			
0.6	0.93	2.3	1.8	0.65
0.7	0.88			



Αποτελέσματα μελέτης

12

Σενάριο 1: Αρχική κατάσταση, μη μονωμένο κτίριο, κουφώματα με ξύλινο πλαίσιο και μονό υαλοπίνακα



Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο
Θέρμανση	31.6	71.7
Ψύξη	48.9	110.2
ZNX	12.3	16.4
Φωτισμός	71.6	125.0
ΑΠΕ - ΣΗΘ	0.0	0.0
Σύνολο	164.4	323.3
Κατάσταση	-	E

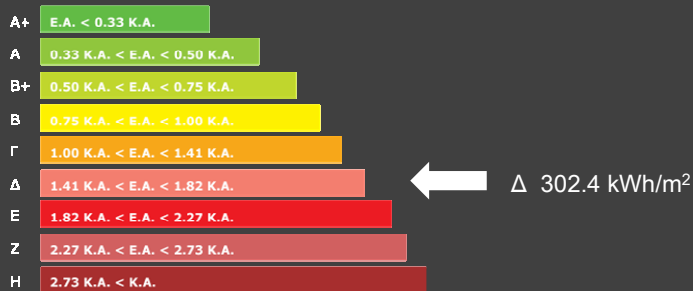
Με τη μέθοδο της κατηγορίας αναφοράς: Γ



Αποτελέσματα μελέτης

13

Σενάριο 2: Πρότερη κατάσταση πλημμελής μόνωση στον πυρήνα της δικέλυφης τοιχοποιίας, κουφώματα αλουμινίου χωρίς θερμοδιακοπή με διπλό υαλοπίνακα



Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο
Θέρμανση	31.6	57.1
Ψύξη	48.9	103.9
ZNX	12.3	16.4
Φωτισμός	71.6	125.0
ΑΠΕ - ΣΗΘ	0.0	0.0
Σύνολο	164.4	302.4
Κατάσταση	-	Δ

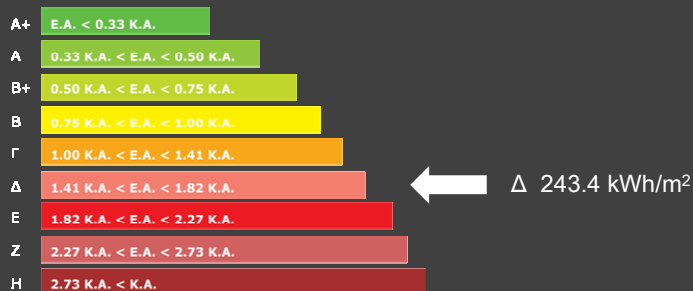
Με τη μέθοδο της κατηγορίας αναφοράς B



Σενάρια Προσομοίωσης

14

Σενάριο 3: Πλήρης ενεργειακή αναβάθμιση του κελύφους με θερμομόνωση Kelyfos και υψηλής ενεργειακής ποιότητας κουφώματα



Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο
Θέρμανση	31.6	27.2
Ψύξη	48.9	74.8
ZNX	12.3	16.4
Φωτισμός	71.6	125.0
ΑΠΕ - ΣΗΘ	0.0	0.0
Σύνολο	164.4	243.4
Κατάσταση	-	Δ

Με τη μέθοδο της κατηγορίας αναφοράς B+



Σενάρια Προσομοίωσης

15

Σενάριο 4: Σενάριο 3 και επιπρόσθετα αυτοματισμός ελέγχου για το σύστημα φωτισμού



Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο
Θέρμανση	31.6	31.5
Ψύξη	48.9	56.4
ZNX	12.3	16.4
Φωτισμός	71.6	2.9
ΑΠΕ - ΣΗΘ	0.0	0.0
Σύνολο	164.4	107.2
Κατάταξη	-	B+

Με τη μέθοδο της κατηγορίας αναφοράς A+



Σενάρια Μελέτης

16

Σενάρια Μελέτης: Προσομοίωση Energy Plus

Σενάριο 1

Υφιστάμενη κατάσταση, πλήρως αμόνωτο κέλυφος

Σενάριο 2

Υφιστάμενη κατάσταση, με μόνωση στον πυρήνα της δικέλυφης τοιχοποιίας

Σενάριο 3

Θερμομόνωση κελύφους και αντικατάσταση κουφωμάτων



Σενάρια Προσομοίωσης

17

Σενάρια Μελέτης – Energy Plus

Σενάριο 1

ΓΡΑΦΕΙΟ												
Μέγιστες και ελάχιστες τιμές ενεργειακής κατανάλωσης [(kWh/(m ² *έτος))]												
Κλιματική Ζώνη												
	Α			Β			Γ			Δ		
A+	EK <	40		EK <	45		EK <	50		EK <	55	
A	40	≤EK <	60	45	≤EK <	70	50	≤EK <	75	55	≤EK <	85
B+	60	≤EK <	90	70	≤EK <	100	75	≤EK <	110	85	≤EK <	125
B	90	≤EK <	120	100	≤EK <	135	110	≤EK <	145	125	≤EK <	165
Γ	120	≤EK <	140	135	≤EK <	155	145	≤EK <	170	165	≤EK <	195
Δ	140	≤EK <	160	155	≤EK <	175	170	≤EK <	195	195	≤EK <	220
E	160	≤EK <	200	175	176.35	220	195	≤EK <	240	220	≤EK <	275
Z	200	≤EK <	240	220	≤EK <	265	240	≤EK <	290	275	≤EK <	330
H	240	≤EK		265	≤EK		290	≤EK		330	≤EK	



Σενάρια Προσομοίωσης

18

Σενάρια Μελέτης – Energy Plus

Σενάριο 2

ΓΡΑΦΕΙΟ												
Μέγιστες και ελάχιστες τιμές ενεργειακής κατανάλωσης [(kWh/(m ² *έτος))]												
Κλιματική Ζώνη												
	Α			Β			Γ			Δ		
A+	EK <	40		EK <	45		EK <	50		EK <	55	
A	40	≤EK <	60	45	≤EK <	70	50	≤EK <	75	55	≤EK <	85
B+	60	≤EK <	90	70	≤EK <	100	75	≤EK <	110	85	≤EK <	125
B	90	≤EK <	120	100	≤EK <	135	110	≤EK <	145	125	≤EK <	165
Γ	120	≤EK <	140	135	≤EK <	155	145	≤EK <	170	165	≤EK <	195
Δ	140	≤EK <	160	155	172.53	175	170	≤EK <	195	195	≤EK <	220
E	160	≤EK <	200	175	≤EK <	220	195	≤EK <	240	220	≤EK <	275
Z	200	≤EK <	240	220	≤EK <	265	240	≤EK <	290	275	≤EK <	330
H	240	≤EK		265	≤EK		290	≤EK		330	≤EK	



Σενάρια Προσομοίωσης

19

Σενάρια Μελέτης – Energy Plus

Σενάριο 3

ΓΡΑΦΕΙΟ												
Μέγιστες και ελάχιστες τιμές ενεργειακής κατανάλωσης [(kWh/(m ² *έτος)]												
Κλιματική Ζώνη												
	Α			Β			Γ			Δ		
A+		EK <	40		EK <	45		EK <	50		EK <	55
A	40	≤EK <	60	45	57.62	70	50	≤EK <	75	55	≤EK <	85
B+	60	≤EK <	90	70	≤EK <	100	75	≤EK <	110	85	≤EK <	125
B	90	≤EK <	120	100	≤EK <	135	110	≤EK <	145	125	≤EK <	165
Γ	120	≤EK <	140	135	≤EK <	155	145	≤EK <	170	165	≤EK <	195
Δ	140	≤EK <	160	155	≤EK <	175	170	≤EK <	195	195	≤EK <	220
E	160	≤EK <	200	175	≤EK <	220	195	≤EK <	240	220	≤EK <	275
Z	200	≤EK <	240	220	≤EK <	265	240	≤EK <	290	275	≤EK <	330
H	240	≤EK		265	≤EK		290	≤EK		330	≤EK	

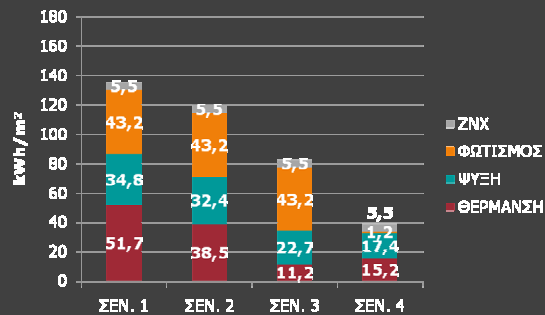


Αποτελέσματα μελέτης

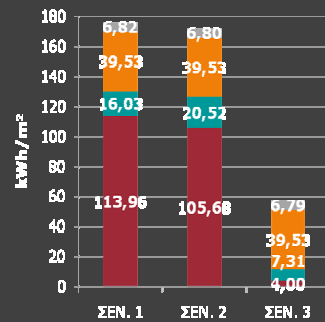
20

Τελικές καταναλώσεις

ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ



Energy Plus



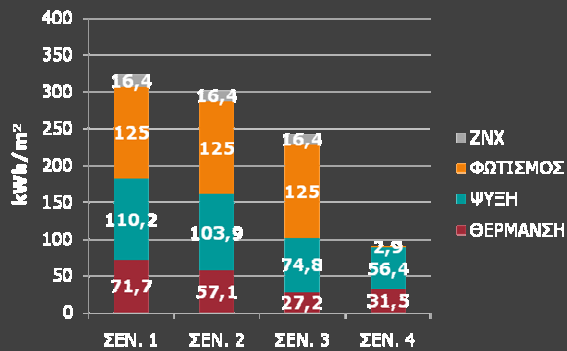


Αποτελέσματα μελέτης

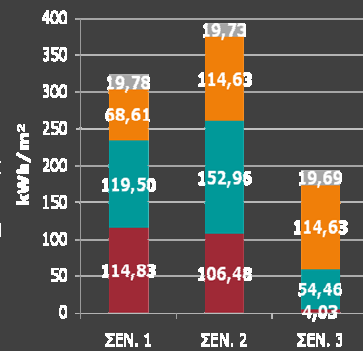
21

Πρωτογενείς καταναλώσεις

ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ



Energy Plus

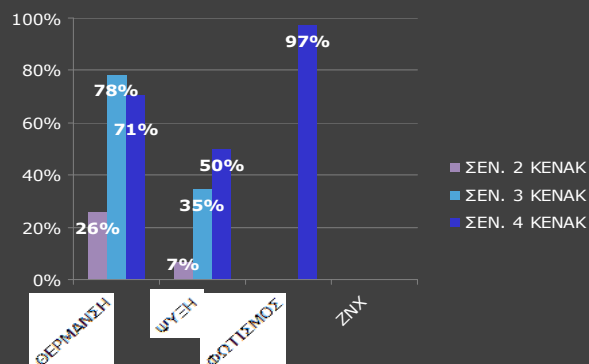


Αποτελέσματα μελέτης

22

Ποσοπαιές εξοικονομήσεις

ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ



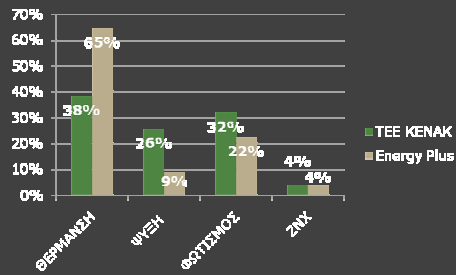


Αποτελέσματα μελέτης

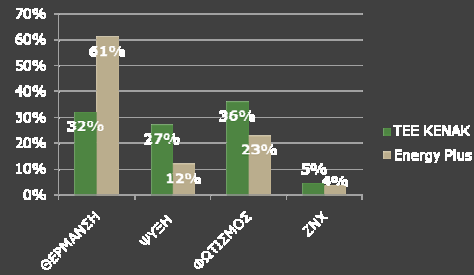
23

Επιμερισμένες ποσοστιαίες ενεργειακές καταναλώσεις (τελική ενέργεια)

ΣΕΝΑΡΙΟ 1



ΣΕΝΑΡΙΟ 2

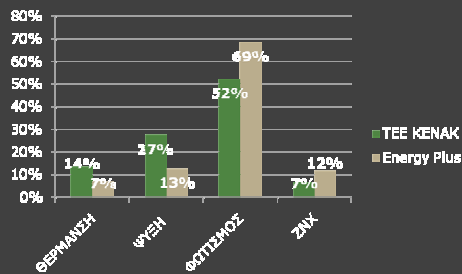


Αποτελέσματα μελέτης

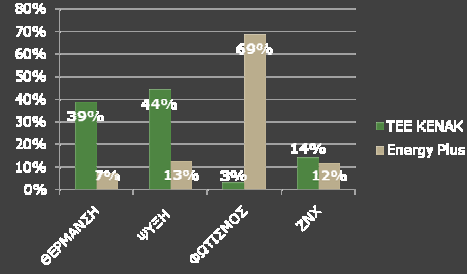
24

Επιμερισμένες ποσοστιαίες ενεργειακές καταναλώσεις (τελική ενέργεια)

ΣΕΝΑΡΙΟ 3



ΣΕΝΑΡΙΟ 4 & 3





Παραμετρική ανάλυση

25

Πώς θα διαμορφώνονταν κατά ΚΕΝΑΚ οι καταναλώσεις και οι κατηγορίες, αν δεν επρόκειτο για κτίριο γραφείων αλλά για κατοικία?

Σενάριο 1 – Μη μονωμένο κτίριο

Σενάριο 2 – Κτίριο με μόνωση στον πυρήνα της δικέλυφης τοιχοποιίας

Σενάριο 3 – Κτίριο με Κελυφος και κουφώματα υψηλής ενεργειακής απόδοσης

Σενάριο 4 – Κτίριο με Κελυφος, κουφώματα υψηλής ενεργειακής απόδοσης και ηλιοθερμικά για ΖΝΧ



Σενάρια μελέτης

26

Σενάρια Μελέτης – ΤΕΕ ΚΕΝΑΚ – Κτίριο κατοικίας

Σενάριο 1



Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο
Θέρμανση	64.1	155.0
Ψύξη	27.0	59.9
ΖΝΧ	40.8	108.5
Φωτισμός	0.0	0.0
ΑΠΕ – ΣΗΘ	0.0	0.0
Σύνολο	131.9	323.4
Κατάταξη	-	Z



Σενάρια μελέτης

27

Σενάρια Μελέτης – TEE KENAK – Κτίριο κατοικίας

Σενάριο 2



Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο
Θέρμανση	64.1	122.1
Ψύξη	27.0	56.5
ZNX	40.8	108.5
Φωτισμός	0.0	0.0
ΑΠΕ - ΣΗΘ	0.0	0.0
Σύνολο	131.9	287.1
Κατάσταση	-	E

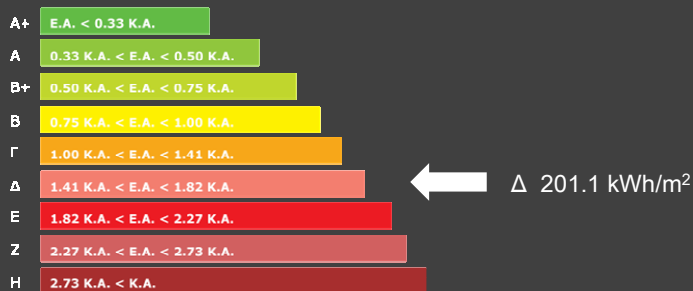


Σενάρια μελέτης

28

Σενάρια Μελέτης – TEE KENAK – Κτίριο κατοικίας

Σενάριο 3



Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο
Θέρμανση	58.8	52.2
Ψύξη	27.1	40.4
ZNX	40.8	108.5
Φωτισμός	0.0	0.0
ΑΠΕ - ΣΗΘ	0.0	0.0
Σύνολο	126.7	201.1
Κατάσταση	-	Δ

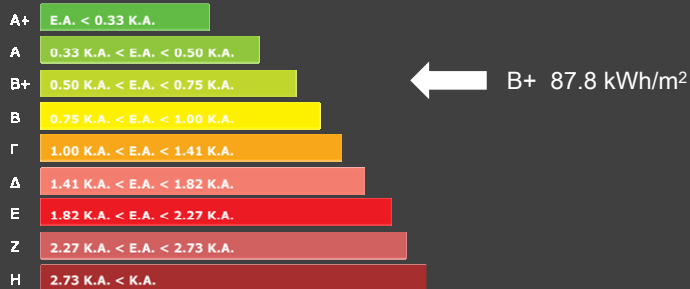


Σενάρια μελέτης

29

Σενάρια Μελέτης – TEE KENAK – Κτίριο κατοικίας

Σενάριο 4



Τελική χρήση	Κτίριο αναφοράς	Υπάρχον κτίριο
Θέρμανση	58.8	44.3
Ψύξη	27.1	40
ZNX	40.8	3.5
Φωτισμός	0.0	0.0
ΑΠΕ - ΣΗΘ	0.0	0.0
Σύνολο	126.7	87.8
Κατάταξη	-	B+



Σημεία άξια σχολιασμού

30

Υπάρχουν αρκετά σημεία που δημιουργούν προβλήματα κατά την εφαρμογή της μεθοδολογίας του KENAK και του λογισμικού TEE-KENAK. Μερικά από αυτά:

1. Όπως είναι δομημένη η εφαρμογή της μεθόδου του κτιρίου αναφοράς, χωρίς παρεμβάσεις μείωσης της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας είναι αδύνατον να επιτευχθεί η κατηγορία B.
2. Δεν συνεκτιμάται η ανάγκη επαναδιαστασιολόγησης του λέβητα.
3. Δεν συνεκτιμάται η ανάγκη επαναδιαστασιολόγησης του συστήματος ψύξης.
4. Δεν συνεκτιμώνται η βλάστηση και η φυσική σκίαση περιμετρικά του κτιρίου.
5. Τα διαγράμματα ηλιασμού αναφέρονται σε ηλιακή ώρα, χωρίς να είναι δυνατή η ακριβής αναγωγή σε τεχνητή ώρα.
6. Τείνει να υποεκτιμάται η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση.
7. Τείνει να υπερεκτιμάται η κατανάλωση ενέργειας για ψύξη.



Οικονομοτεχνική σκοπιμότητα

31

Αξιολόγηση της οικονομικής σκοπιμότητας της παρέμβασης για τις εξής οριακές συνθήκες:

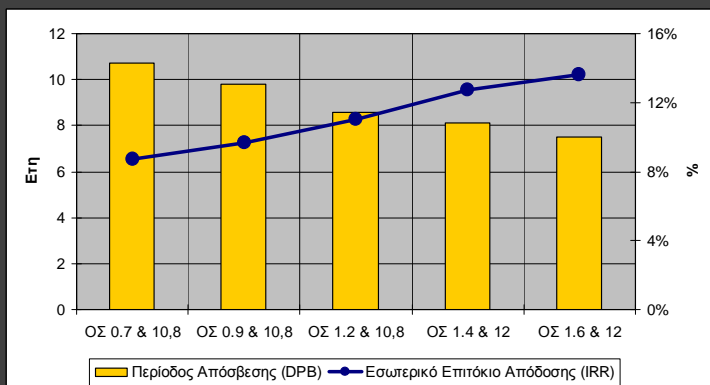
1. Η αξιολόγηση γίνεται στη βάση των αποτελεσμάτων της κατά ΚΕΝΑΚ διερεύνησης
2. Κόστος κεφαλαίου 5%
3. Πληθωρισμός 3%
4. Αύξηση τιμής πετρελαίου κατά 3% ετησίως και ηλεκτρισμού κατά 4%
5. Αρχική τιμή πετρελαίου 0,7 €/l
6. Αρχική τιμή ηλεκτρισμού 0,108 €/kWh



Οικονομοτεχνική σκοπιμότητα

32

Σενάριο	Καθαρή Παρούσα Αξία (NPV) €	Περίοδος Απόσβεσης (DPB) Έτη	Εσωτερικό Επιτόκιο Απόδοσης (IRR) %
ΟΣ 0.7 & 10,8	54.586	10,7	8,74%
ΟΣ 0.9 & 10,8	64.295	9,8	9,67%
ΟΣ 1.2 & 10,8	91.883	8,6	11,02%
ΟΣ 1.4 & 12	122.408	8,1	12,76%
ΟΣ 1.6 & 12	137.327	7,5	13,58%



Η κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε ένα παλιό, πλημμελώς θερμομονωμένο κτίριο είναι αποδεδειγμένα υψηλή.

Η αναδρομική θερμομόνωση του κτιριακού κελύφους με υψηλής ποιότητας ολοκληρωμένα συστήματα εξωτερικής θερμομόνωσης αποτελεί υποδειγματική λύση για τον περιορισμό των απωλειών μέσω αυτού.

Τα υψηλής ενεργειακής απόδοσης κουφώματα αποτελούν μονόδρομο ειδικά για τα μεγάλης έκτασης ανοίγματα των ελληνικών κατασκευών.

Τα συμπεράσματα αυτά τεκμηριώνονται και από τα αποτελέσματα της αξιολόγησης της ανακαίνισης του κτιρίου διοίκησης του ΚΑΠΕ, τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά, καθώς η εξοικονόμηση αγγίζει το 71% για τη θέρμανση και το 50% για την ψύξη.



Συμπεράσματα

35

Αποτελεί εγγενές χαρακτηριστικό του KENAK, ότι μέτρα περιορισμού των θερμικών απωλειών δεν αρκούν, από μόνα τους, για την επίτευξη των ορίων των κατηγοριών B και άνω, στο σχήμα κατάταξης των κτιρίων με βάση την κατανάλωσή τους.

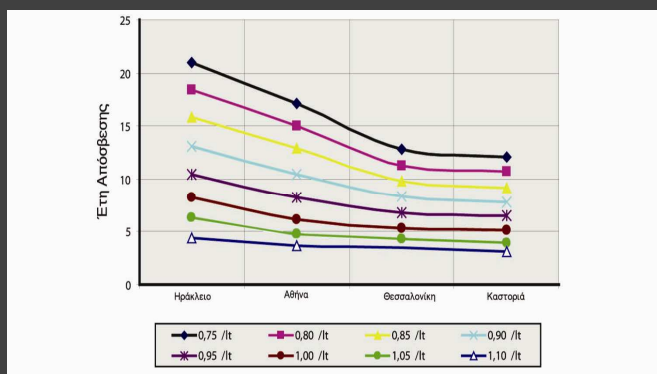
Απαιτείται συνδυασμός παρεμβάσεων, ώστε να επιτευχθεί μείωση των ηλεκτρικών φορτίων, μια που αυτά συνεισφέρουν δυσανάλογα πολύ στην πρωτογενή ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων.

Τέλος, η οικονομική σκοπιμότητα των παρεμβάσεων, ιδιαίτερα υπό το πρίσμα της εξίσωσης των τιμών πετρελαίου θέρμανσης και κίνησης, είναι ιδιαίτερα ελκυστική.



Αντί επιλόγου

36



Παπαδόπουλος Α.Μ., Θεοδοσίου Θ.Γ. και Οξυζίδης Σ. (2008), Ολοκληρωμένη αξιολόγηση συστημάτων θερμολύσεως κατακόρυφων θεσμικών στοιχείων, 1ο Πανελλήνιο Συνέδριο Δομικών Υλικών & Στοιχείων – Έκθεση, 21-23 Μαΐου 2008, Αθήνα, 1227-1238