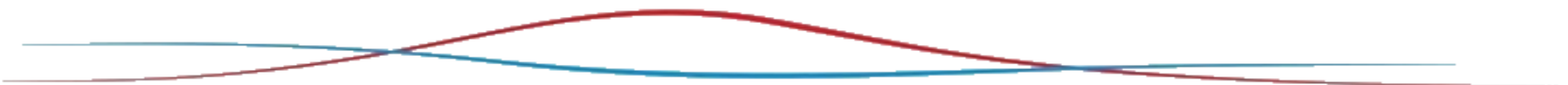




Ενεργειακή Απόδοση Κτηρίων

*Εισαγωγή στη Μηχανολογία
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών*

Γεώργιος Μιχ. Σταυρακάκης
Επίκουρος Καθηγητής

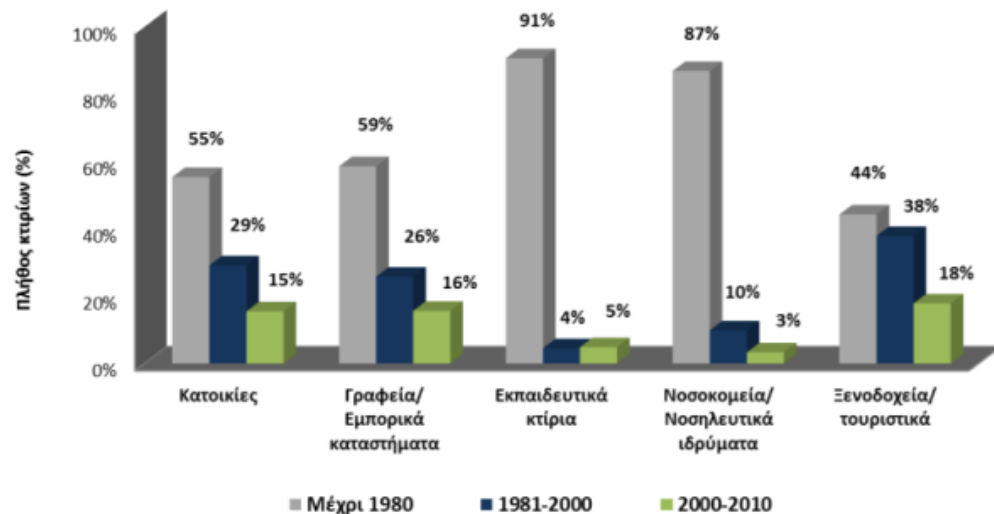


Κτηριακό απόθεμα στην Ελλάδα

Πλήθος κτιρίων ανά χρήση, έτος 2011

Χρήση κτιρίου	Πλήθος κατοικιών & κτιρίων τριτογενούς τομέα
Κατοικίες	4,122,088
Ξενοδοχεία	8,309
Σχολεία/ εκπαιδευτικά	15,576
Γραφεία/ καταστήματα	152,550
Νοσοκομεία/ κλινικές	1,742
Άλλο	626,630
Σύνολο	4,925,895

Με βάση την περίοδο κατασκευής των κτηρίων, προκύπτει ότι το μεγαλύτερο πλήθος κτηρίων (κατοικίες, σχολεία, γραφεία κλπ) κατασκευάστηκε πριν από το 1980 (μη ύπαρξη θεσμικού πλαισίου ενεργειακής απόδοσης-μη αποδοτικά κτίρια)





Ενεργειακή απόδοση – Ηλικία του κτηρίου

ΠΔ 1.6.1979: Κανονισμός θερμομόνωσης κτηρίων (ΚΘΚ)

Ν. 3851/2010: 1^{ος} Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτηρίων (ΚΕΝΑΚ) (ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης για νέα και για ριζικά ανακαινιζόμενα κτήρια).

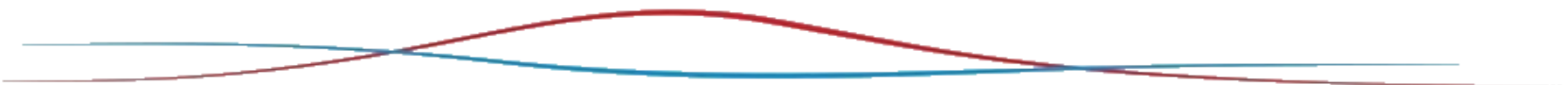
Ν. 4122/2013: Αναθεωρημένος Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ) (αναθ. Ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης για νέα και για ριζικά ανακαινιζόμενα κτίρια).

ΦΕΚ 2367B/2017: 2^η Αναθεώρηση ΚΕΝΑΚ (αναθεωρημένες ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης)



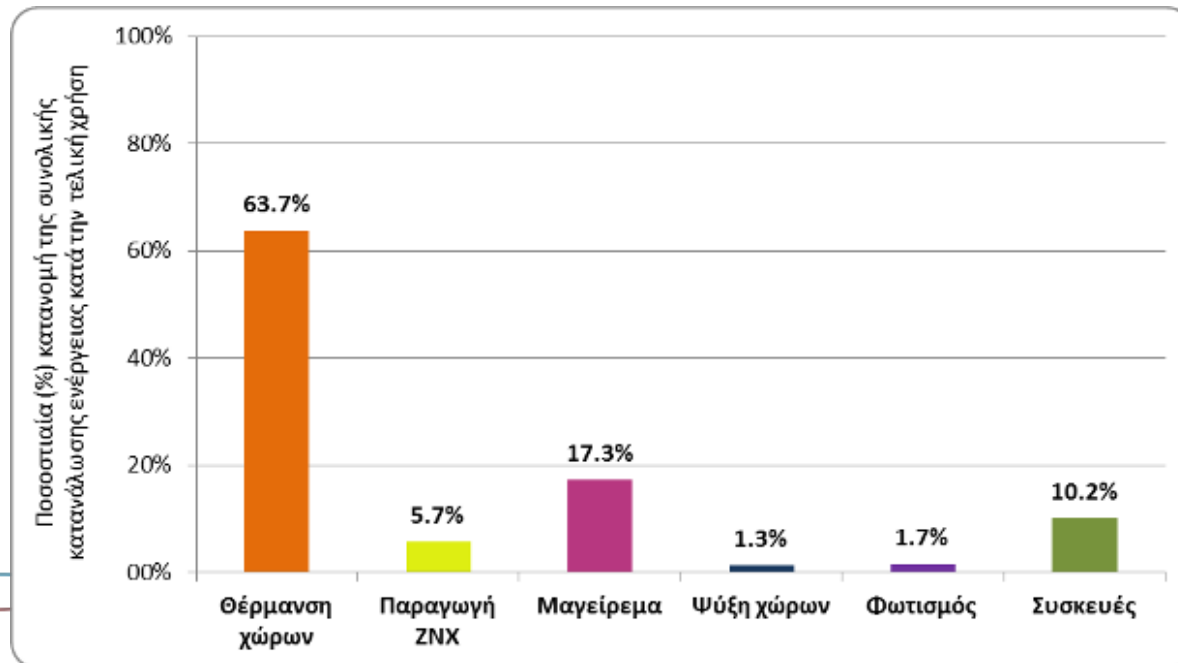
ΆΡΑ, κτήρια με οικοδομική άδεια πριν το 1980 δεν έχουν θερμομόνωση!

Δηλ. με βάση το διάγραμμα της προηγούμενης διαφάνειας, το μεγαλύτερο ποσοστό των κτηρίων είναι θερμικά απροστάτευτα! Ενδεικτικά, το 55% των κατοικιών, το 91% των εκπαιδευτικών κτηρίων, το 87% των νοσοκομείων, κτλ.



Ενεργειακή κατανάλωση νοικοκυριών

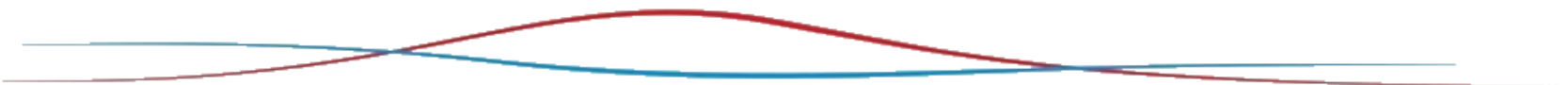
- Κάθε ελληνικό νοικοκυριό καταναλώνει περίπου 14.000 kWh ετησίως, για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του.
- Η μέση ετήσια κατανάλωση θερμικής ενέργειας (για θέρμανση χώρου, ζεστό νερό, μαγείρεμα κ.ά.) ανά νοικοκυριό είναι 10.244 kWh, απ' όπου το 85.9% της συνολικής ετήσιας θερμικής ενέργειας που καταναλώνεται, είναι για την θέρμανση χώρου.
- Η μέση ετήσια κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά νοικοκυριό 3.750 kWh, απ' όπου το 38.4% της συνολικής ετήσιας ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνεται, είναι για το μαγείρεμα.





Η ενεργειακή κατανάλωση στο κτήριο επιμερίζεται σε βασικές τελικές χρήσεις:

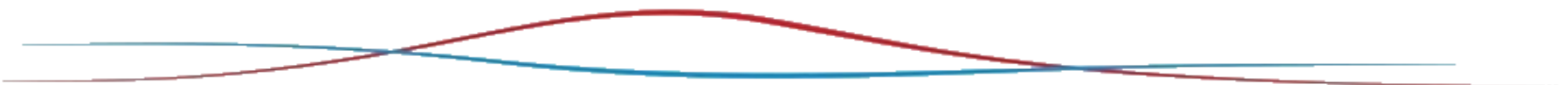
- Ψύξη χώρων
- Θέρμανση χώρων
- Παραγωγή Ζεστού Νερού Χρήσης (ZNX)
- Φωτισμός
- Άλλες χρήσεις (μαγείρεμα, ΗΜ εξοπλισμός, Υπολογιστές, κτλ.) ανάλογα με τον τύπο του κτιρίου.





Η ενεργειακή κατανάλωση στο κτήριο επιμερίζεται ανά φορέα ενέργειας:

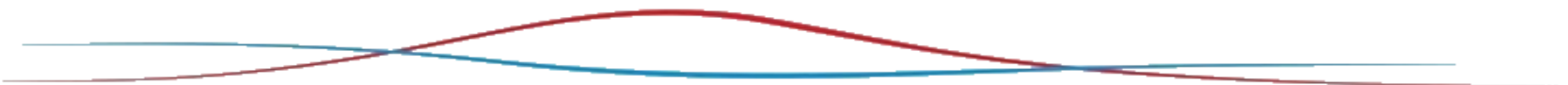
- Ηλεκτρική ενέργεια
- Θερμική ενέργεια π.χ. καύσιμο λέβητα για θέρμανση, δηλ. πετρέλαιο, φυσικό αέριο, κτλ.
- Ενέργεια από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας





Και μπορεί να αναχθεί σε:

- Κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά φορέα ενέργειας
- Συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας
- Εκπομπές CO₂ και άλλων αερίων του θερμοκηπίου ανά φορέα ενέργειας
- Συνολικές εκπομπές CO₂ και άλλων αερίων του θερμοκηπίου





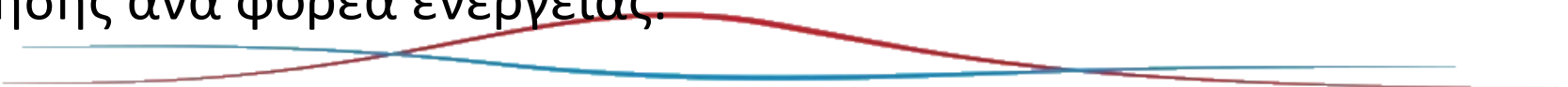
Ορισμοί

Τελική κατανάλωση ενέργειας (Final energy consumption)

Είναι η ενέργεια που τροφοδοτείται σε κάθε σημείο τελικής χρήσης (για τα κτήρια βλ. προαναφερόμενες τελικές χρήσεις) και ΔΕΝ συμπεριλαμβάνει τις απώλειες μεταφοράς κατά την διανομή ενέργειας καθώς και του μετασχηματισμού καυσίμων στους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής.

Μπορεί να αθροιστεί ανά φορέα ενέργειας προς την εκτίμηση της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης τελικής χρήσης ανά φορέα. Αυτή είναι η κατανάλωση σε kWh που αναγράφεται στους εκκαθ. Λογαριασμούς π.χ. ηλεκτρικού ρεύματος.

Ανά τελική χρήση, μπορεί να παρουσιαστεί ως ποσοστό συμμετοχής στη συνολική ενεργειακή κατανάλωση τελικής χρήσης ανά φορέα ενέργειας.





Ορισμοί

Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας (Primary energy consumption)

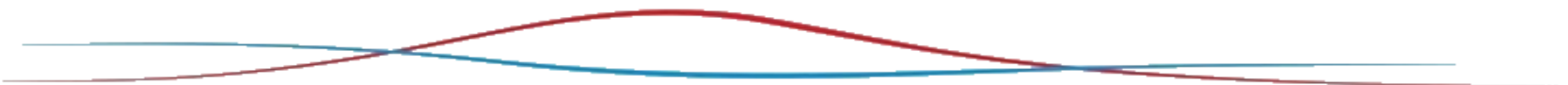
Είναι η περιεχόμενη ενέργεια ανά φορέα ενέργειας, δηλ. σε ορυκτά καύσιμα και σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, και η οποία δεν έχει υποστεί μετατροπή ή μετασχηματισμό.

Η πρωτογενής ενέργεια είναι ουσιαστικά η προέλευση της ενεργειακής κατανάλωσης τελικής χρήσης πριν τις μετατροπές (περιλαμβάνει απώλειες μεταφοράς και μετασχηματισμού), μέχρι την τροφοδοσία στο τελικό σημείο κατανάλωσης.

Η πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας ανά φορέα ενέργειας προκύπτει από την μετατροπή της τελικής κατανάλωσης ανά φορέα μέσω του πολλαπλασιασμού με ειδικούς συντελεστές μετατροπής (που συχνά βρίσκονται στη βιβλιογραφία).

Η συνολική πρωτογενής κατανάλωση είναι το άθροισμα των ποσών πρωτογενούς κατανάλωσης ανά φορέα ενέργειας.

Είναι ο πιο συνηθισμένος δείκτης ενεργειακής αποτίμησης και κατάταξης των κτηρίων, αφού εκπροσωπεί τη συνολική ενεργειακή κατανάλωση ενός κτηρίου.





Ορισμοί

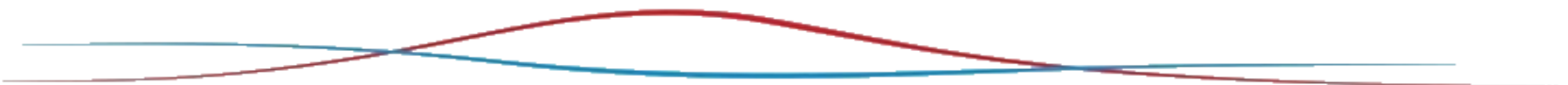
Περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την κατανάλωση ενέργειας

Είναι οι εκπομπές (απομακρυσμένες ή επιτόπιες) διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) και άλλων αερίων του θερμοκηπίου από την καύση συμβατικών μορφών καυσίμων για την παραγωγή και εκμετάλλευση ενέργειας.

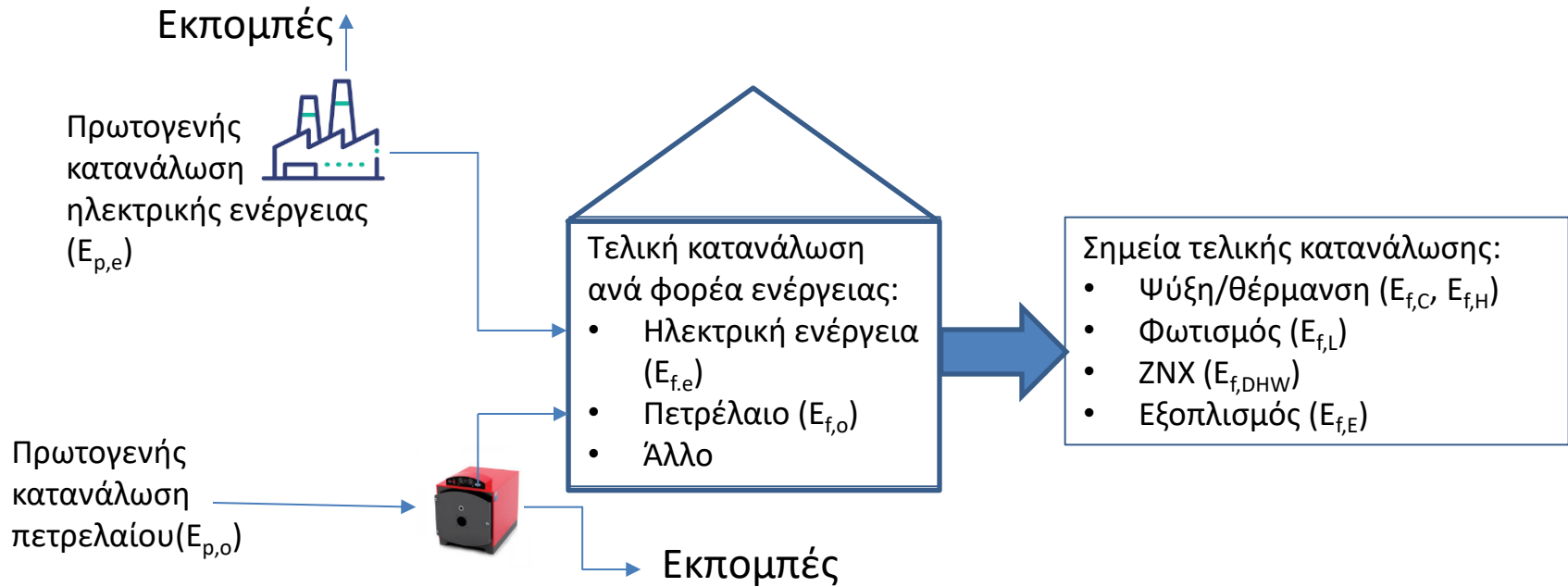
Ταξινόμηση εκπομπών (για κτήρια):

A) Απομακρυσμένες (ή έμμεσες) εκπομπές: Συνήθως οι εκπομπές από καπνοδόχο θερμοηλεκτρικού σταθμού από την καύση λιγνιτικών καυσίμων για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

B) Επιτόπιες (ή άμεσες) εκπομπές: Συνήθως από κάποιο λέβητα καύσης συμβατικού καυσίμου (π.χ. πετρέλαιο) για την παραγωγή θερμικής ενέργειας για θέρμανση χώρων ή/και παραγωγή ΖΝΧ.



Ενεργειακό διάγραμμα ροής – Τελική κατανάλωση



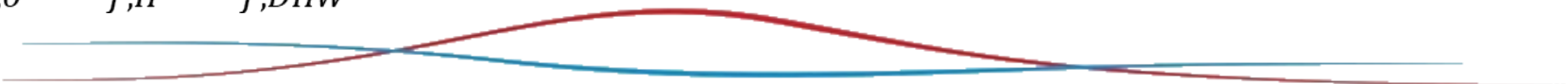
Ενδεικτική περίπτωση: Ηλεκτρική ενέργεια για ψύξη (π.χ. κλιματιστικά), για φωτισμό και για εξοπλισμό. Πετρέλαιο για θέρμανση χώρων και ΖΝΧ.

Συνολική τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας:

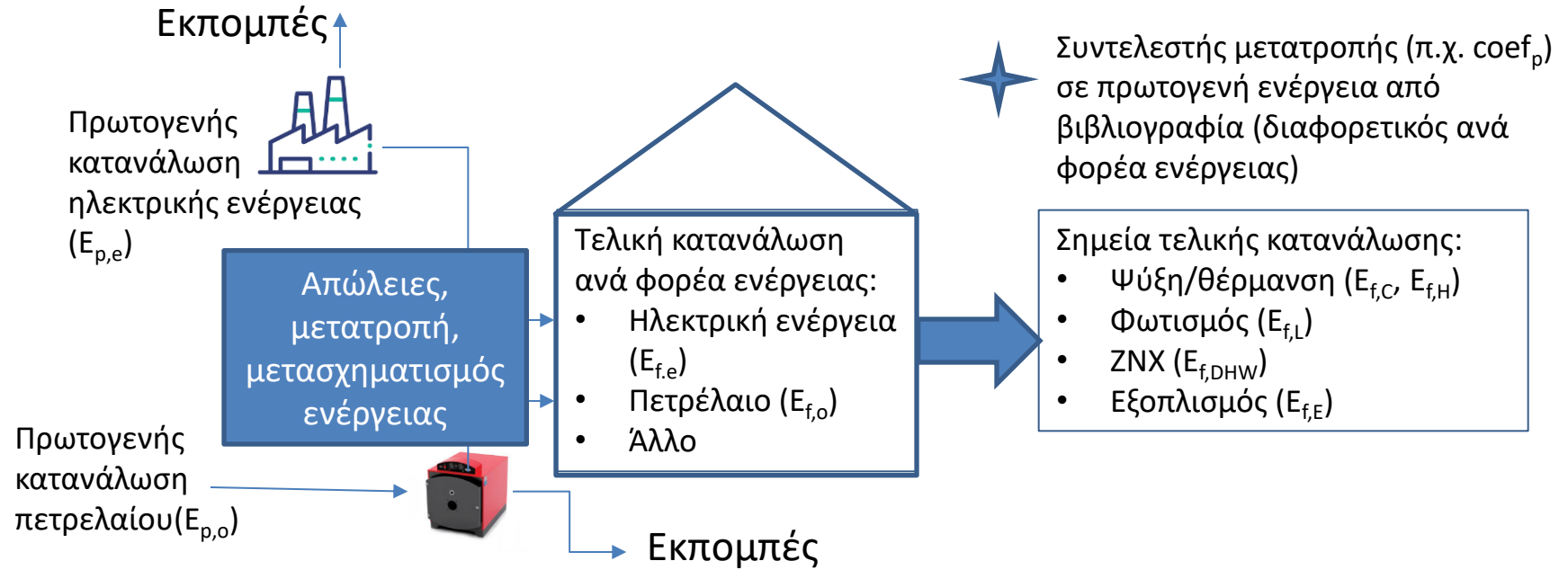
$$E_{f,e} = E_{f,C} + E_{f,L} + E_{f,E}$$

Συνολική τελική κατανάλωση πετρελαίου:

$$E_{f,o} = E_{f,H} + E_{f,DHW}$$



Ενεργειακό διάγραμμα ροής – Πρωτογενής κατανάλωση



Ενδεικτική περίπτωση: Ηλεκτρική ενέργεια για ψύξη (π.χ. κλιματιστικά), για φωτισμό και για εξοπλισμό. Πετρέλαιο για θέρμανση χώρων και ΖΝΧ.

Συνολική τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας:

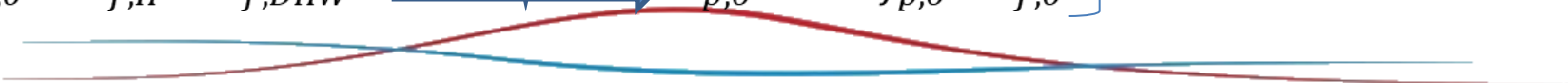
$$E_{f,e} = E_{f,C} + E_{f,L} + E_{f,E} \quad \longrightarrow \quad E_{p,e} = coef_{p,e} * E_{f,e}$$

Συνολική τελική κατανάλωση πετρελαίου:

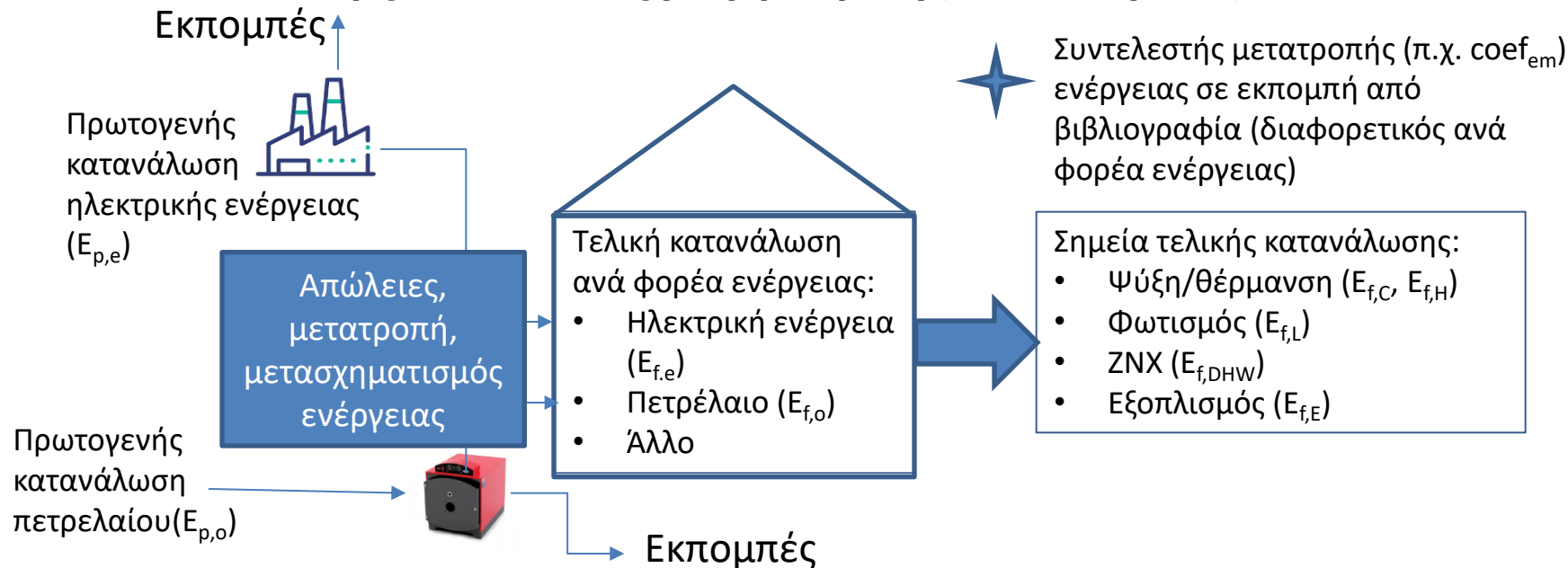
$$E_{f,o} = E_{f,H} + E_{f,DHW} \quad \longrightarrow \quad E_{p,o} = coef_{p,o} * E_{f,o}$$

Συνολική πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας (Συνήθης δείκτης ενεργειακής αποτίμησης κτηρίων):

$$E_{p,tot} = E_{p,e} + E_{p,o}$$



Ενεργειακό διάγραμμα ροής – Εκπομπές



Ενδεικτική περίπτωση: Ηλεκτρική ενέργεια για ψύξη (π.χ. κλιματιστικά), για φωτισμό και για εξοπλισμό. Πετρέλαιο για θέρμανση χώρων και ΖΝΧ.

Συνολική τελική κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας:

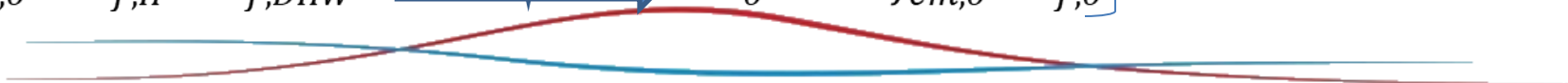
$$E_{f,e} = E_{f,C} + E_{f,L} + E_{f,E} \quad \longrightarrow \quad Em_e = coef_{em,e} * E_{f,e}$$

Συνολική τελική κατανάλωση πετρελαίου:

$$E_{f,o} = E_{f,H} + E_{f,DHW} \quad \longrightarrow \quad Em_o = coef_{em,o} * E_{f,o}$$

Συνολικές εκπομπές ρύπων
(Συνήθης δείκτης περιβ/ής
αποτίμησης κτηρίων):

$$Em_{tot} = Em_e + Em_o$$

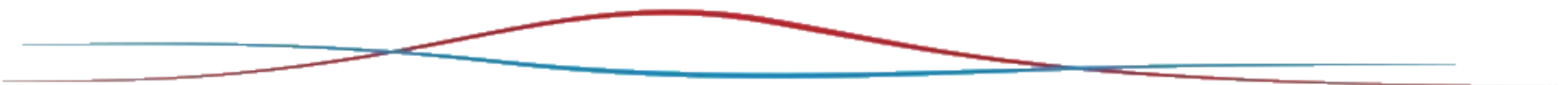




Μετατροπή σε πρωτογενή ενέργεια - Συντελεστές

Πίνακας 1.2 της [TOTEE 20701-1/2017](#)

Πηγή ενέργειας	Συντελεστής μετατροπής σε πρωτογενή ενέργεια $coef_p$
Φυσικό αέριο	1,05
Πετρέλαιο θέρμανσης	1,10 $coef_{p,o}$
Ηλεκτρική ενέργεια	2,9 $coef_{p,e}$
Υγραέριο	1,05
Βιομάζα	1,00
Τηλεθέρμανση από θερμικούς σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής	0,7
Τηλεθέρμανση από ΑΠΕ	0,5





Μετατροπή ενέργειας σε εκπομπές - Συντελεστές

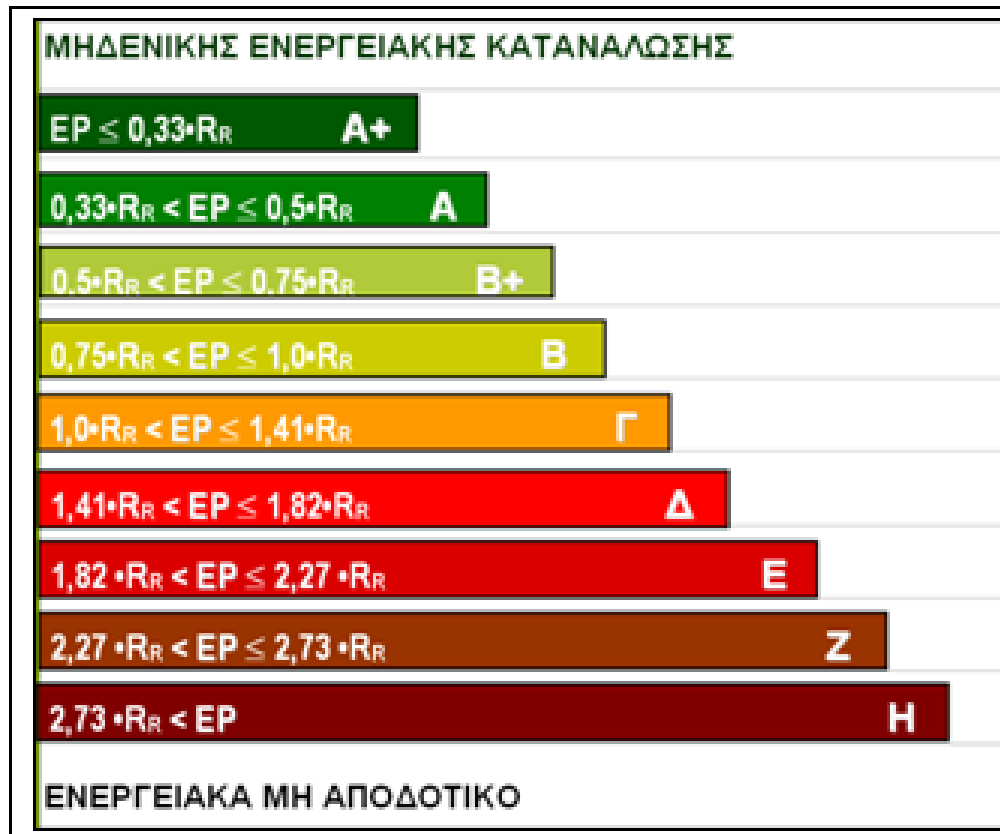
Πίνακας 7.1 της [TOTE 20701-1/2017](#)

Καύσιμο	Κατώτερη θερμογόνος δύναμη	Πυκνότητα των καυσίμου	$coef_{em}$ CO ₂	SO ₂	NO _x
	[kWh/kg]	[kg/m ³]	[g/kWh]	[g/kWh]	[g/kWh]
Πετρέλαιο θέρμανσης $coef_{em,o}$	11,92		263,6	0,1	200,0
Υγραέριο	12,73		238,0	0,0	165,1
Φυσικό αέριο	13,83		196,3	0,0	152,0
Βιομάζα (τυποποιημένη ή μη)	4,31		--	--	--
Λιγνίτης			1320,0	1,2	1,0
Ηλεκτρισμός (περιοχές που είναι διασυνδεδεμένες με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο)	$coef_{em,e}$		850,0	15,5	1,2
Ηλεκτρισμός (νησιά που δεν είναι διασυνδεδεμένα με το ηπειρωτικό ηλεκτρικό δίκτυο)			1062,5	19,4	1,5
Θερμική ενέργεια από τηλεθέρμανση			346,6	1,5	0,6

Για την Κρήτη δεν ισχύει πλέον

ΚΕΝΑΚ – Ενεργειακή Κατάταξη

Η ενεργειακή κατάταξη του κτηρίου βασίζεται στη σύγκριση της συνολικής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου στις πραγματικές συνθήκες και χαρακτηριστικά λειτουργίας με την συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του αντίστοιχου κτηρίου αναφοράς. Ακολουθώς οι ενεργειακές κατηγορίες κατάταξης των κτηρίων:



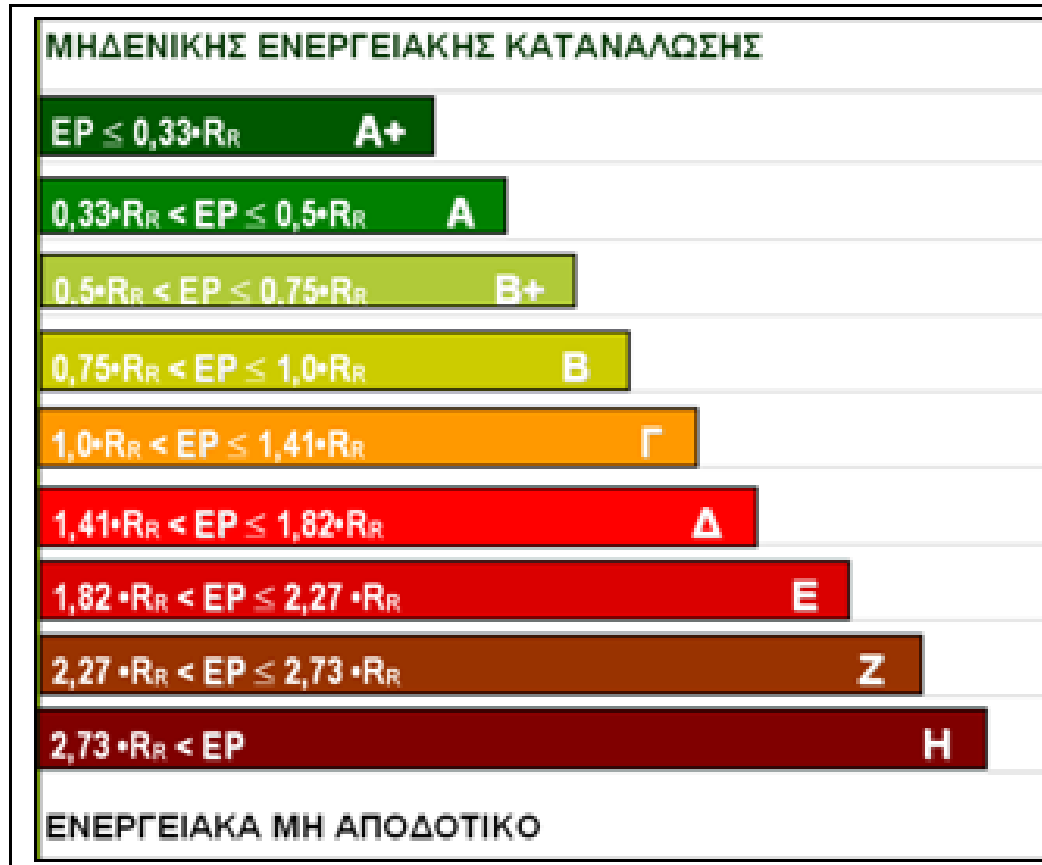
Όπου:

EP είναι η συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του κτηρίου στις πραγματικές του συνθήκες και χαρακτηριστικά λειτουργίας.

R_R είναι η συνολική κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας του αντίστοιχου κτηρίου αναφοράς.

ΚΕΝΑΚ – Ενεργειακή Κατάταξη / Παράδειγμα

Για ένα κτήριο έχει υπολογιστεί ότι η συνολική ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας είναι 1,82 φορές μεγαλύτερη από αυτή του αντίστοιχου κτηρίου αναφοράς. Να εκτιμηθεί το δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας (energy-saving potential), δηλ. το % της αναγκαίας μείωσης της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας, ώστε το κτήριο να εντάσσεται στην ενεργειακή κατηγορία «B».



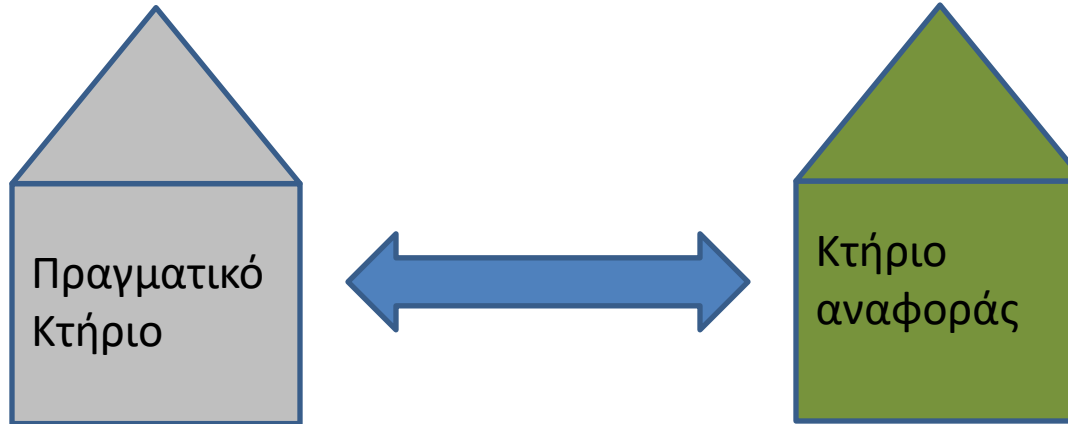
Απάντηση:

Το κτήριο εντάσσεται στην ενεργειακή κατηγορία «Δ».

Για την επίτευξη ένταξης στην κατηγορία «B» απαιτείται μείωση της κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας κατά:

$$100\% \cdot (1,82 - 1) / 1,82 = 45\%$$

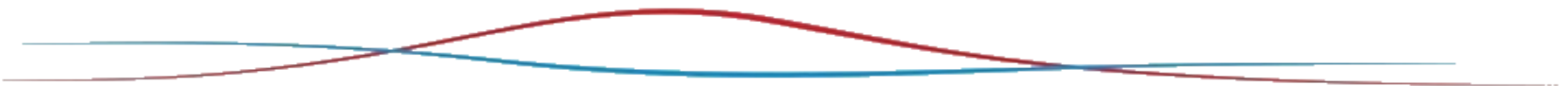
ΚΕΝΑΚ – Η «φιλοσοφία» του κτηρίου αναφοράς



Το κτήριο αναφοράς είναι εκείνο που κάθε επιμέρους στοιχείο του (δομικά στοιχεία, συστήματα, κτλ.) πληροί τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης κατά ΚΕΝΑΚ.

ΔΕΝ ΕΙΝΑΙ ΚΑΘΟΛΙΚΟ για όλα τα κτήρια! Για κάθε πραγματικό κτήριο μπορεί να αντιστοιχίζεται ένα «δίδυμο» ιδεατό κτήριο, το οποίο έχει την ίδια γεωμετρία, θέση, προσανατολισμό, χρήση και χαρακτηριστικά λειτουργίας με το εξεταζόμενο κτήριο, και το οποίο πληρεί τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης ΚΕΝΑΚ και έχει καθορισμένα τεχνικά χαρακτηριστικά τόσο στα εξωτερικά δομικά του στοιχεία όσο και στα Η/Μ τεχνικά συστήματα που αφορούν στην θέρμανση/ψύξη/κλιματισμό, στην παραγωγή ΖΝΧ και στο φωτισμό.

Η εθνική μεθοδολογία υπολογισμών (λογισμικό ΚΕΝΑΚ) επιλύει ταυτόχρονα την ενεργειακή απόδοση του πραγματικού κτηρίου και του ιδεατού «εαυτού» του που πληρεί τις ελάχιστες απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης (κτήριο αναφοράς). Ο λόγος της υπολογιζόμενης συνολικής πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας του πραγματικού κτηρίου προς αυτή του αντίστοιχου κτηρίου αναφοράς δίνει την ενεργειακή κατάσταση του κτηρίου.





ΚΕΝΑΚ – Πιστοποιητικό ενεργειακής απόδοσης (ΠΕΑ)

Α.Π.: Α.Α.:

ΧΡΗΣΗ: Κτίριο <input type="checkbox"/> Τμήμα κτιρίου <input type="checkbox"/> Αριθμός ιδιοκτησίας: Κλιματική Ζώνη: Διεύθυνση: Τ.Κ. Πόλη: Έτος κατασκευής: Συνολική επιφάνεια [m ²]: Θερμαινόμενη επιφάνεια [m ²]: Όνομα ιδιοκτήτη:	(Φωτογραφία κτιρίου)
ΒΑΘΜΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	
ΜΗΔΕΝΘΕΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ	ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ
EP ≤ 0,30 • Pth A+	
0,30 • Pth < EP ≤ 0,5 • Pth A	
0,5 • Pth < EP ≤ 0,75 • Pth B+	
0,75 • Pth < EP ≤ 1,0 • Pth B	B
1,0 • Pth < EP ≤ 1,4 • Pth Γ	
1,4 • Pth < EP ≤ 1,82 • Pth Δ	
1,82 • Pth < EP ≤ 2,27 • Pth E	
2,27 • Pth < EP ≤ 2,73 • Pth Z	
2,73 • Pth < EP H	
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΜΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟ	
Υπολογιζόμενη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας κτιρίου αναφοράς [kWh/m ²):
Υπολογιζόμενη ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [kWh/m ²):
Υπολογιζόμενες ετήσιες εκπομπές CO ₂ [kgCO ₂ /m ²):
Πραγματική ετήσια κατανάλωση ενέργειας & Εκπομπές CO ₂ :	Θερμική άνεση <input type="checkbox"/>
Ηλεκτρική ενέργεια [kWh/m ²): Καύσιμα [kWh/m ²):	Οπτική άνεση <input type="checkbox"/>
Συνολική ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας [kWh/m ²):	Ακουστική άνεση <input type="checkbox"/>
Συνολικές ετήσιες εκπομπές CO ₂ [kg/m ²):	Ποιότητα αέρα <input type="checkbox"/>

Α.Π.: Α.Α.:

ΕΤΗΣΙΑ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΑΝΑ ΤΕΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ						
Πηγή ενέργειας	Τελική χρήση	Συνεισφορά στο ενεργειακό ισοζύγιο του κτιρίου (%)				
Ηλεκτρική	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Φωτισμός <input type="checkbox"/>	40%	<input type="checkbox"/>	ZNX <input type="checkbox"/>		
	Ορυκτά καύσιμα	Πετρέλαιο	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Φωτισμός <input type="checkbox"/>	40% <input type="checkbox"/> ZNX <input type="checkbox"/>		
		Φυσικό αέριο	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Φωτισμός <input type="checkbox"/>	40% <input type="checkbox"/> ZNX <input type="checkbox"/>		
Άλλο:	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Φωτισμός <input type="checkbox"/>	40% <input type="checkbox"/> ZNX <input type="checkbox"/>				
ΑΠΕ	Ηλιακή	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Φωτισμός <input type="checkbox"/>	40% <input type="checkbox"/> ZNX <input type="checkbox"/>			
	Βιομάζα	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Φωτισμός <input type="checkbox"/>	40% <input type="checkbox"/> ZNX <input type="checkbox"/>			
	Γεωθερμία	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Φωτισμός <input type="checkbox"/>	40% <input type="checkbox"/> ZNX <input type="checkbox"/>			
	Άλλο:	Θέρμανση <input type="checkbox"/> Φωτισμός <input type="checkbox"/>	40% <input type="checkbox"/> ZNX <input type="checkbox"/>			
Σύνολο						
Ετήσια κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας ανά τελική χρήση [kWh/m ²)						
Θέρμανση:		40%:				
Ζεστό Νερό Χρήσης (ZNX):		Φωτισμός:				
ΑΠΕ & ΣΗΘ (:):						
ΣΥΣΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ						
1.						
2.						
3.						
Αριθμός σύστασης	Εκτιμώμενο αρχικό κόστος επένδυσης [€]	Εκτιμώμενη ετήσια εξοικονόμηση πρωτογενούς ενέργειας και τιμή μονάδας*			Εκτιμώμενη ετήσια μείωση εκπομπών CO ₂ * [kg/m ²]	Εκτιμώμενη περίοδος αποπληρωμής* [έτη]
1		[kWh/m ²]	[%]	[€/kWh]		
2						
3						
* Η εξοικονόμηση ενέργειας και τιμή μονάδας αφορά την κάθε επί μέρους σύσταση και τα ποσά δεν αθροίζονται. Όμοιος για την ετήσια μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και την περίοδο αποπληρωμής.						
Ημερομηνία έκδοσης ΠΕΑ:				Σφραγίδα:		
Όνοματεπώνυμο Επιθεωρητή:				Υπογραφή:		
Α.Μ. Επιθεωρητή:						



Ενεργειακή επιθεώρηση – Συλλογή βασικών στοιχείων

Υλικά δομικών στοιχείων κτηριακού κελύφους

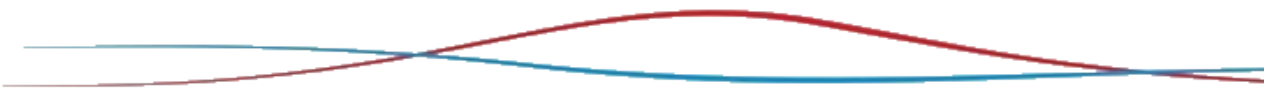
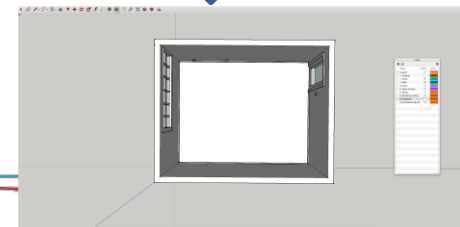
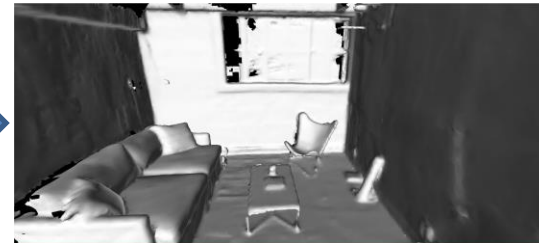
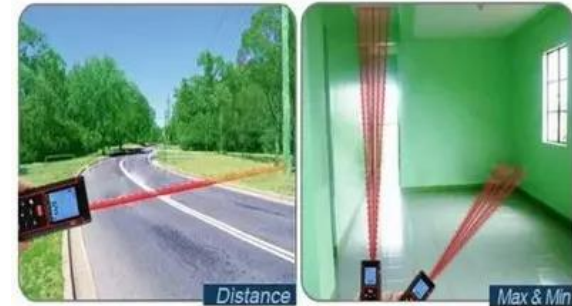
Αρχιτεκτονική αποτύπωση

Επιμετρήσεις

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ηλεκτρονικό αποστασιόμετρο.

Ή ακόμα και προηγμένες εφαρμογές real-time scanning και ψηφιοποίηση γεωμετρίας π.χ. βλ. το canvas app

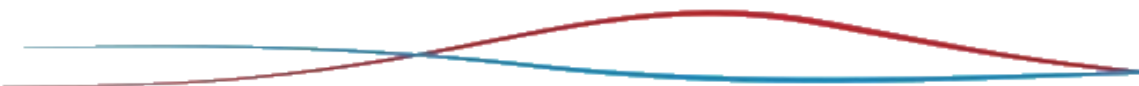
<https://canvas.io/>



Ενεργειακή επιθεώρηση – Συλλογή βασικών στοιχείων

Φωτισμός

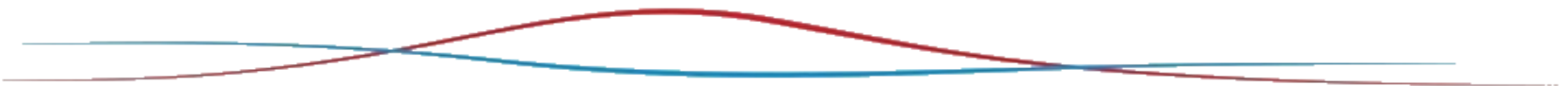
- Είδος λαμπτήρων π.χ. φθορίου, πυρακτώσεως, LED, κτλ.
- Αριθμός λαμπτήρων ανά είδος.
- Ισχύς του κάθε λαμπτήρα.
- Φωτογραφική τεκμηρίωση.



Ενεργειακή επιθεώρηση – Συλλογή βασικών στοιχείων

Σύστημα θέρμανσης

- Ονομαστική ισχύς λέβητα
- Β.απ. Από φύλλο συντήρησης
- Φωτογραφική τεκμηρίωση μονάδας Λέβητα-καυστήρα, κατάσταση μόνωσης σωληνώσεων, τερματικές μονάδες.





Ενεργειακή επιθεώρηση – Συλλογή βασικών στοιχείων

Σύστημα ψύξης

- Ονομαστική θερμική και ψυκτική ισχύς κλιματιστικών
- Β.απ. COP/EER κλιματιστικών

Συντελεστής ενεργειακής επίδοσης (απόδοση θέρμανσης)

$$COP = \frac{\text{Heating capacity (W)}}{\text{Heating input power (W)}} = \frac{5300}{1880} = 2.819$$

Βαθμός ενεργειακής απόδοσης (απόδοση ψύξης)

$$EER = \frac{\text{Cooling capacity (W)}}{\text{Cooling input power (W)}} = \frac{5000}{1850} = 2.7$$

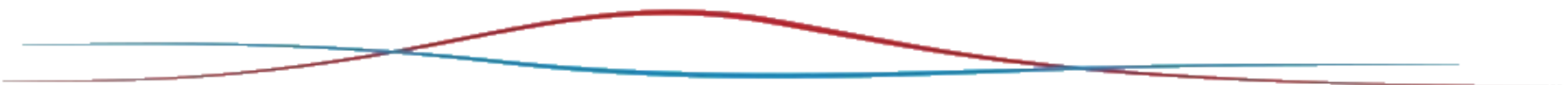


Ενεργειακή επιθεώρηση – Συλλογή βασικών στοιχείων

Σύστημα ΖΝΧ

- Καταγραφή τεχνικών στοιχείων μονάδων παραγωγής
- Έλεγχος αν υφίσταται «συνεργασία» συστημάτων π.χ. λέβητας πετρελαίου που χρησιμοποιείται και για θέρμανση χώρων και για ΖΝΧ.
- Καταγραφή ηλιακού θερμοσίφωνα (ισχύς, επιφάνεια πάνελ)
- Καταγραφή ισχύος ηλεκτρικού θερμοσίφωνα
- Καταγραφή πιθανής λειτουργίας λέβητα πετρελαίου και το καλοκαίρι αποκλειστικά για ΖΝΧ

Δεν ξεχνώ να φωτογραφίσω «ταμπελάκια»!!! Π.χ. ηλεκτρικός θερμοσίφωνα

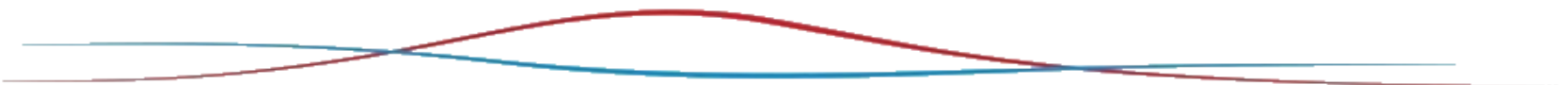




Μετατροπές – Παράδειγμα - Κατοικία

Μία κατοικία 120 m^2 στη Σκύρο καταναλώνει, για την κάλυψη αναγκών κυρίως φωτισμού και κλιματισμού, συνολική ηλεκτρική ενέργεια 80 kWh/m^2 το έτος. Για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης χώρων (διαθέτει λέβητα πετρελαίου) καταναλώνει 1 τόνο πετρέλαιο το έτος. Να υπολογιστούν:

1. Η συνολική πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας της κατοικίας.
2. Οι συνολικές εκπομπές CO_2 από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας και πετρελαίου.





Ενεργειακή Απόδοση Κτηρίων
Εισαγωγή στη Μηχανολογία

Συνολική τριπλή κατανάλωση υδρευτικής

$$\text{Ενέργειας του νερού: } E_{f,e} = 120 \text{ m}^2 \cdot 80 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2} = 9600 \text{ kWh}$$

Κατώτερη θερμότητα διατήρησης νερού: 11,92 kWh/Kg

Το νερό καταναλώνει 1η εκκίνηση 1000 Kg, οπότε:

$$\text{Τριπλή κατανάλωση νερού (kWh): } 1000 \cdot 11,92 = 11920 \text{ kWh}$$
$$\text{1η δ. } E_{f,o} = 11920 \text{ kWh}$$

Πρωτογενής κατανάλωση νερού (kWh) =>

$$\Rightarrow E_{p,o} = \text{coef}_{p,o} \cdot E_{f,o} = 1,1 \cdot 11920 = 13112 \text{ kWh}$$

Πρωτογενής κατανάλωση υδρευτικής ενέργειας (kWh) =>

$$\Rightarrow E_{p,e} = \text{coef}_{p,e} \cdot E_{f,e} = 2,9 \cdot 9600 = 27840 \text{ kWh}$$

Συνολική πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας =>

$$\Rightarrow E_{p,\text{tot}} = E_{p,o} + E_{p,e} = 40952 \text{ kWh (σύνολο)}$$

Συνολική εκπομπή CO₂

$$E_{m,\text{tot}} = E_{m,e} + E_{m,o} = \underbrace{\text{coef}_{em,e}}_{1062,5 \text{ g/kWh (μν διασυνδεδεμένο νερό)}} \cdot E_{f,e} + \underbrace{\text{coef}_{em,o}}_{263,6 \text{ g/kWh}} \cdot E_{f,o} =$$

$$= 1062,5 \cdot 9600 + 263,6 \cdot 11920 = 13342112 \text{ gr CO}_2 =$$

$$= 13,34 \text{ tns CO}_2$$



Βασικές μονάδες μέτρησης

Ενεργειακή κατανάλωση

Η βασική μονάδα μέτρησης της ενεργειακής κατανάλωσης στα κτίρια είναι η kWh.

Προκύπτει ως το γινόμενο της ωφέλιμης ισχύος (kW) της τεχνολογίας που καταναλώνει ενέργεια (π.χ. λαμπτήρας, θερμική αντίσταση, κλιματιστικό, κτλ.) επί τις απαιτούμενες ώρες λειτουργίας για την κάλυψη της ενεργειακής ανάγκης.

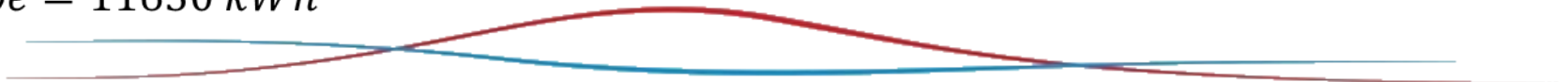
Παράδειγμα: Ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως ηλεκτρικής ισχύος 60 W λειτουργεί 8 ώρες ημερησίως, συνεπώς συντελεί στην κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας (τελικής χρήσης) $0,06 \text{ kW} * 8 \text{ h} = 0,48 \text{ kWh}$ ημερησίως.

Άλλες συνήθειες μονάδες μέτρησης ενέργειας:

$$1 \text{ Joule} = \frac{1}{3600000} \text{ kWh}$$

$$1 \text{ BTU} = 0.000293 \text{ kWh}$$

Τόνοι ισοδύναμου πετρελαίου (ΤΙΠ)/tones of oil equivalent (toe): 1 ΤΙΠ ισοδυναμεί με την ενέργεια που εκλύεται από την καύση ενός τόνου αργού πετρελαίου.

$$1 \text{ toe} = 11630 \text{ kWh}$$




Βασικές μονάδες μέτρησης

Ενεργειακή ισχύς

Κατά την εκτίμηση της ενεργειακής κατανάλωσης συχνά καλούμαστε να επεξεργαστούμε στοιχεία που αφορούν στην εγκατεστημένη ισχύ της ενεργειακής τεχνολογίας. Η ισχύς μετράται σε Watt, και συχνότατα τη συναντούμε σε kW. Για παράδειγμα, η εγκατεστημένη ισχύς ενός Φ/Β 10 kW.

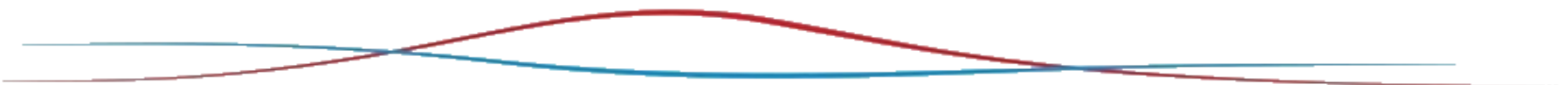
Για πολλές τεχνολογίες κατά την ενεργειακή επιθεώρηση καταγράφονται ισχύς σε άλλες μονάδες μέτρησης. Π.χ. για λέβητα πετρελαίου συναντούμε ισχύς σε kcal/h, για κλιματιστικό π.χ. το λεγόμενο «12άρι» έχει ονομαστική ισχύ 12000 Btu/h.

Συνήθεις μονάδες ισχύος:

$$1 \text{ kcal/h} = 0,00116 \text{ kW}$$

$$1 \text{ BTU/h} = 0,000293 \text{ kW}$$

$$1 \text{ hp (ιπποδύναμη)} = 0,73 \text{ kW}$$





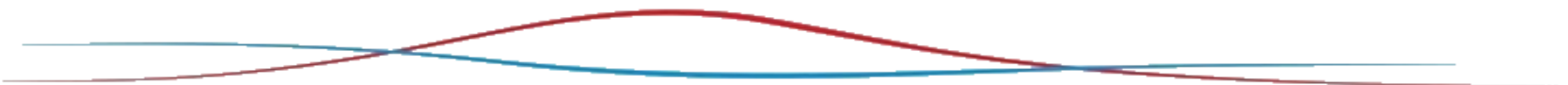
Βαθμός απόδοσης

Καμμία συσκευή δεν αποδίδει ακριβώς την ενεργειακή ισχύ που απορροφά. Μπορεί να αποδώσει περισσότερο ή λιγότερο ανάλογα με τον βαθμό απόδοσης της τεχνολογίας, δηλ. της ικανότητάς της να εκμεταλλεύεται την απορροφούμενη ισχύ σε ωφέλιμη.

Ο βαθμός απόδοσης ενός λέβητα πετρελαίου συχνά (π.χ. όταν δεν είναι συμπυκνωτικός) είναι <1 ως αποτέλεσμα της απώλειας καυσαερίων λόγω ανεπαρκούς μόνωσης ή/και λόγω υπερδιαστασιολόγησης.

Ο βαθμός απόδοσης ενός κλιματιστικού (αντλία θερμότητας) είναι ο λεγόμενος COP (Coefficient of Performance) ή EER (Energy Efficiency Ratio), όταν λειτουργεί για την κάλυψη αναγκών θέρμανσης ή ψύξης, αντιστοίχως. Συνήθεις τιμές COP των αντλιών θερμότητας κυμαίνονται από 2 (παλαιάς τεχνολογίας) έως 5 για αντλίες υψηλής ενεργειακής απόδοσης. Η αναμενόμενη κατανάλωση (σε kWh) ενός κλιματιστικού είναι ίση με:

Εγκατ. Ισχύς* ώρες λειτουργίας/COP





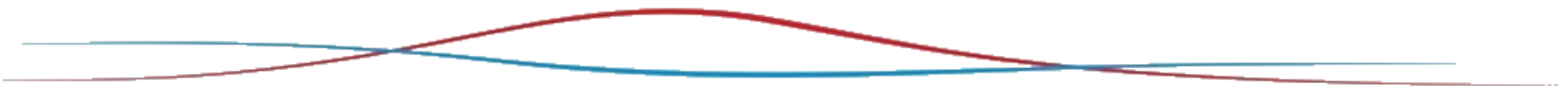
Βασικά οικονομικά της ενέργειας

Κατά την ενεργειακή αποτίμηση κτηρίων είναι πολύ σημαντική η εκτίμηση οικονομικών δεικτών. Από τους πιο βασικούς δείκτες είναι η ενεργειακή δαπάνη. Να μπορούμε δηλ. να εκτιμούμε τι αναμένεται να ξοδέψουμε από τη λειτουργία μίας τεχνολογίας κάλυψης ενεργειακών αναγκών.

Η εκτίμηση αυτή μπορεί να γίνει με αξιοποίηση του κόστους ανά μονάδα ενέργειας π.χ. €/kWh. Με γνωστό αυτόν το δείκτη και την αναμενόμενη κατανάλωση ενέργειας μπορούμε να εκτιμήσουμε το συνολικό ενεργειακό κόστος.

Σε επόμενες ενότητες θα αναλυθούν επιπλέον δείκτες που χρησιμοποιούνται κυρίως στην αξιολόγηση παρεμβάσεων ενεργειακής αναβάθμισης των κτιρίων, όπως είναι:

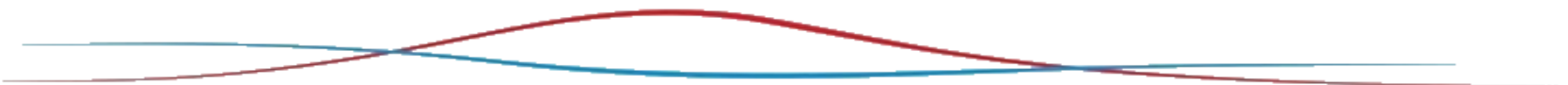
- Ο χρόνος αποπληρωμής μίας επένδυσης.
- Το σταθμισμένο κόστος επένδυσης δηλ. κόστος επένδυσης ανά μονάδα εξοικονομούμενης ενέργειας.
- Η καθαρή παρούσα αξία
- Κ.α.





Παράδειγμα – Ενεργειακή επίδοση κλιματιστικού

Σε ένα μικρό κτήριο γραφείου 50 m^2 υπάρχει κλιματιστικό ονομαστικής ισχύος 9000 Btu/h με συντελεστή απόδοσης $\text{COP}=\text{EER}=2,7$ (για θέρμανση και για ψύξη). Το κλιματιστικό λειτουργεί υπό πλήρες φορτίο 2000 ώρες το χειμώνα για θέρμανση και 1000 ώρες το καλοκαίρι για ψύξη. Να υπολογιστεί η συνολική ετήσια κατανάλωση ενέργειας του κλιματιστικού σε kWh, καθώς και το αντίστοιχο κόστος αν υποτεθεί κόστος ηλεκτρικής ενέργειας $0,15 \text{ €/kWh}$. Να εκτιμηθεί η εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων που θα επιτευχθεί εάν το κλιματιστικό αντικατασταθεί από ένα άλλο ίδιας ισχύος αλλά με $\text{COP}=\text{EER}=3,5$.





Ονομαστική ισχύς κλιματισμού $\Rightarrow 9000 \text{ Btu/h} \Rightarrow 9000 \cdot 0,000293 = 2,637 \text{ kW}$

Επιπλέον καταπόνηση χειμώνα $\Rightarrow 2,637 \cdot 1000 \cdot \frac{1}{\text{COP}} = 1953,33 \text{ kWh}$

Επιπλέον καταπόνηση καλοκαίρι $\Rightarrow 2,637 \cdot 1000 \cdot \frac{1}{\text{COP}} = 976,66 \text{ kWh}$

Συνολική επιπλέον καταπόνηση
ηλεκτρικής ενέργειας $\Rightarrow 1953,33 + 976,66 = 2920 \text{ kWh}$

Οπότε συνολική ετήσια καταπόνηση: 2920 kWh

Αντίστοιχο κόστος $\Rightarrow 2920 \text{ kWh} \cdot 0,15 \frac{\text{€}}{\text{kWh}} = 438 \text{ € ετησίως}$

Αντικατάσταση με κλιματιστικό ίδιου ισχύος με $\text{COP} = 3,5$

Συνολική καταπόνηση ετησίως: $2,637 \cdot 3000 \cdot \frac{1}{3,5} = 2260,28 \text{ kWh}$

Εξοικονόμηση ενέργειας: $2920 - 2260,28 = 659,72 \text{ kWh}$ ήδη $22,6\%$

Κόστος με το νέο κλιματιστικό $\Rightarrow 2260,28 \cdot 0,15 = 339 \text{ € ετησίως}$

Εξοικονόμηση χρημάτων: $438 - 339 = 99 \text{ €}$

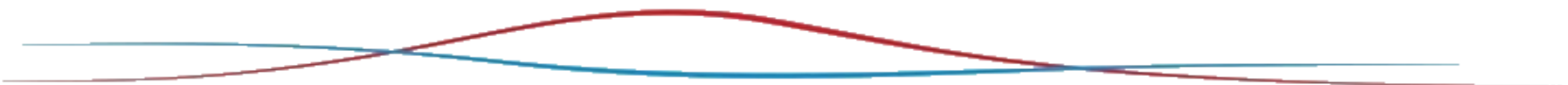


Παράδειγμα – Εκτίμηση πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας, εκπομπών και ενεργειακών δαπανών

Μια κατοικία 100m² σε μη διασυνδεδεμένη περιοχή διαθέτει λέβητα πετρελαίου ονομαστικής ισχύος 35.000 kcal/h, με βαθμό απόδοσης 87%, ο οποίος χρησιμοποιείται μόνο για θέρμανση χώρων. Για την κάλυψη των αναγκών θέρμανσης, ο λέβητας λειτουργεί 200 ώρες ετησίως. Μόνο για σκοπούς ψύξης, η κατοικία διαθέτει 2 κλιματιστικά εγκατεστημένης ψυκτικής ισχύος 9.000 Btu/h με βαθμό απόδοσης COP=EER=2,4 το κάθε ένα. Το κάθε κλιματιστικό λειτουργεί 400 ώρες ετησίως. Από διαθέσιμους λογαριασμούς προκύπτει ότι η κατοικία καταναλώνει συνολικά 4.000 kWh ηλεκτρικής ενέργειας ανά έτος. Να υπολογιστούν:

1. Η τελική κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση, για ψύξη και για άλλες χρήσεις (μαγείρεμα, φωτισμός, κτλ.).
2. Η συνολική πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας της κατοικίας και οι συνολικές εκπομπές CO₂.
3. Το συνολικό κόστος ενέργειας εάν υποτεθεί κόστος πετρελαίου 1 €/lt και κόστος ηλεκτρικής ενέργειας 0,15 €/kWh.
4. Η εξοικονόμηση τελικής ηλεκτρικής ενέργειας, η αποφυγή εκπομπών CO₂ και η εξοικονόμηση χρημάτων που θα επιτευχθεί, από την αντικατάσταση των κλιματιστικών με άλλα ίδιας ονομαστικής ισχύος με τα υφιστάμενα αλλά με COP=EER=3,8.

Δίδονται: ΚΘΔπετρ=11,92 kWh/kg, πυκνότητα πετρελαίου ρ=0,86 kg/lt.





Παράδειγμα – Εκτίμηση πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας, εκπομπών και ενεργειακών δαπανών

1. Τελική κατανάλωση ενέργειας ανά χρήση.

Τελική κατανάλωση για θέρμανση:

Ορίζεται ο βαθμός απόδοσης του λέβητα: $n = \frac{P_m}{P_{th}}$ όπου P_m είναι η ισχύς του λέβητα, P_{th} είναι η απορροφούμενη θερμική ισχύς των μηχανών.

Μετατροπή ισχύος του λέβητα σε kW: $P_m = 35000 \cdot 0,00116 = 40,6kW$

Απορροφούμενη θερμική ισχύς: $P_{th} = P_m/n = 46,67kW$

Τελική καταναλωση για θερμικής ενέργειας (που είναι και πετρελαίου στο συγκεκριμένο παράδειγμα):

$$E_{f,th} = P_{th} \cdot 200h = 9334kWh.$$

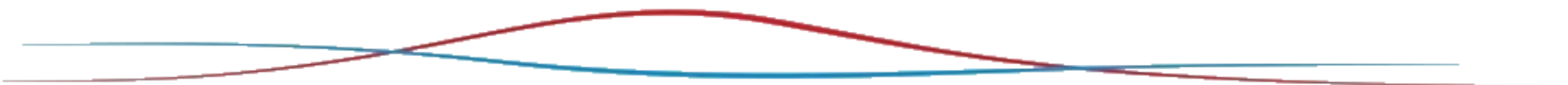
Τελική κατανάλωση για ψύξη:

$$E_{f,c} = E_{f,c1} + E_{f,c2} = \frac{P_{c1} \cdot 400h}{COP_1} + \frac{P_{c2} \cdot 400h}{COP_2} = 879kWh$$

Όπου $P_{c1}=P_{c2}=9000Btu/h \cdot 0,000293=2,637 kW$

Τελική κατανάλωση λοιπών χρήσεων (μαγείρεμα, φωτισμός):

$$E_{f,e-ou} = 4000 - 879 = 3121kWh$$





Παράδειγμα – Εκτίμηση πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας, εκπομπών και ενεργειακών δαπανών

2. Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας και εκπομπές.

Πρωτογενής κατανάλωση ενέργειας:

$$E_{p,e} = coef_{p,e} * E_{f,e} = 2,9 * 4000 = 11600 kWh$$

$$E_{p,o} = coef_{p,o} * E_{f,o} = 1,1 * 9334 = 10267,4 kWh$$

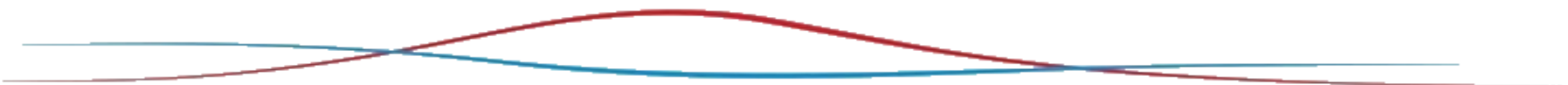
$$\text{Συνολική πρωτογενής κατανάλωση: } E_p = E_{p,e} + E_{p,o} = 21867,4 kWh$$

Εκπομπές CO₂:

$$Em_e = coef_{em,e} * E_{f,e} = 1,0625 \frac{kg}{kWh} * 4000 kWh = 4250 kg, \text{ ή } 4,25 \text{ tns το έτος.}$$

$$Em_o = coef_{em,o} * E_{f,o} = 0,2636 \frac{kg}{kWh} * 9334 kWh = 2460,44 kg, \text{ ή } 2,46 \text{ tns το έτος.}$$

$$Em_{total} = 6,71 \text{ tns το έτος.}$$





Παράδειγμα – Εκτίμηση πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας, εκπομπών και ενεργειακών δαπανών

3. Συνολικό ετήσιο κόστος ενέργειας.

Κόστος κατανάλωσης πετρελαίου:

$$K\Theta\Delta' = K\Theta\Delta * \rho = 11,92 \frac{kWh}{kg} * 0,86 \frac{kg}{lt} = 10,25 kWh/lt$$

$$\text{Οπότε, } E_{f,o} = \frac{9334}{10,25} = 910,63 \text{ lt.}$$

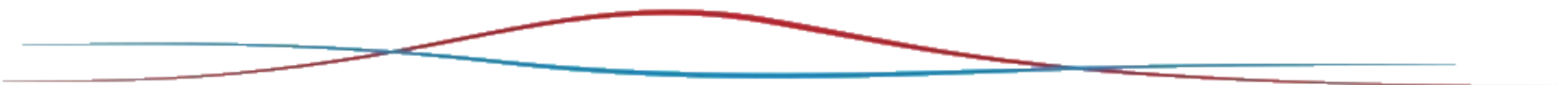
$$\text{Cost-oil} = 910,63 * 1 = 910,63 \text{ € το έτος.}$$

Κόστος κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας:

$$\text{Cost-el} = 4000 * 0,15 = 600 \text{ € το έτος.}$$

Συνολικό κόστος ενέργειας:

$$\text{Cost} = 910,63 + 600 = 1510,63 \text{ € το έτος.}$$





Παράδειγμα – Εκτίμηση πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας, εκπομπών και ενεργειακών δαπανών

4. Αντικατάσταση κλιματιστικών.

Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας νέων κλιματιστικών:

$$E'_{f,c} = 555,16 \text{ kWh}$$

Εξοικονόμηση ηλεκτρικής ενέργειας:

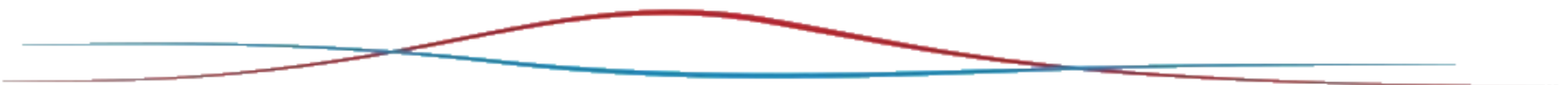
$$\Delta E_{f,c} = 879 - 555,16 = 323,84 \text{ kWh}$$

Αποφυγή εκπομπών:

$$\Delta E_{em} = 323,84 * 1,0625 = 344,08 \text{ kg ή } 0,34 \text{ tns το έτος.}$$

Εξοικονόμηση χρημάτων:

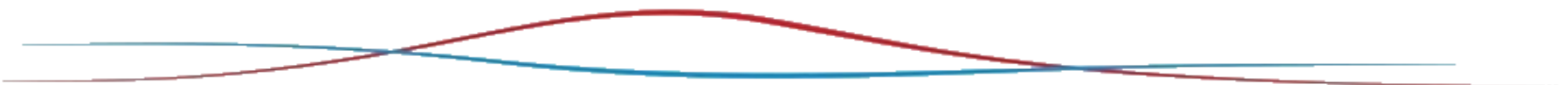
$$\Delta C = \Delta E_{f,c} * 0,15 = 48,57 \text{ € το έτος.}$$





Βιβλιογραφία

- Διαφάνειες Θεωρίας
- Γ. Παντελίδης, Οδηγός Ενεργειακής Επιθεώρησης Κτηρίων – Σύμφωνα με το νέο Κ.Εν.Α.Κ. 2017, 2η έκδοση, Εκδόσεις Δεδεμάδη, ISBN: 978-960-9482-67-7.
- [Τεχνική Οδηγία ΤΟΤΕΕ ΚΕΝΑΚ 20701-1-2017](#), Αναλυτικές εθνικές προδιαγραφές παραμέτρων για τον υπολογισμό της ενεργειακής απόδοσης κτηρίων και την έκδοση του πιστοποιητικού ενεργειακής απόδοσης, Α' έκδοση.
- [Τεχνική Οδηγία ΤΟΤΕΕ ΚΕΝΑΚ 20701-2-2017](#), Θερμοφυσικές ιδιότητες δομικών υλικών και έλεγχος της θερμομονωτικής επάρκειας των κτηρίων, Α' έκδοση.
- [Τεχνική Οδηγία ΤΟΤΕΕ ΚΕΝΑΚ 20701-3-2010](#), Κλιματικά δεδομένα ελληνικών περιοχών, Γ' έκδοση.
- [Τεχνική Οδηγία ΤΟΤΕΕ ΚΕΝΑΚ 20701-4-2017](#), Οδηγίες και έντυπα εκθέσεων ενεργειακών επιθεωρήσεων κτιρίων, συστημάτων θέρμανσης και συστημάτων κλιματισμού, Α' έκδοση.





Βιβλιογραφία

- ΟΔΗΓΟΙ του ΚΕΝΤΡΟΥ ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΩΝ ΠΗΓΩΝ ΚΑΙ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ (Κ.Α.Π.Ε.): Οδηγός Ενεργειακής Διαχείρισης στα Κτίρια, Οδηγός Ενεργειακού Ελέγχου και Καταγραφής στη Βιομηχανία, Οδηγός Εξοικονόμησης Ηλεκτρικής Ενέργειας, Οδηγός Εξοικονόμησης Ενέργειας στα συστήματα HVAC.
- Υ.Α. Δ6/Β/οικ.11038 “Διαδικασίες, Απαιτήσεις και Κατευθύνσεις για τη Διεξαγωγή Ενεργειακών Επιθεωρήσεων”, ΦΕΚ/τ.Β/1526/27-7-1999.
- Διεθνής επιστημονική βιβλιογραφία:
 - M. Santamouris-D.Asimakopoulos, “Passive Cooling of Buildings”, Έκδοση της Ε.Ε., Εκδ. Οίκος James & James Ltd.
 - Ch. Gottschalk (UNESCO), “Industrial Energy Conservation” Εκδόσεις John Wiley.
 - G.M. Stavrakakis et al., Experimental and numerical assessment of cool-roof impact on thermal and energy performance of a School building in Greece, Energy and Buildings 130 (2016) 64-84.
 - Stavrakakis, G.M.; Katsaprakakis, D.A.; Damasiotis, M. Basic Principles, Most Common Computational Tools, and Capabilities for Building Energy and Urban Microclimate Simulations. Energies 2021, 14, 6707.
<https://doi.org/10.3390/en14206707>.
- ~~Ευρωπαϊκές Οδηγίες 2010/31/ΕΕ, 2012/27/ΕΕ και κανονισμός 244/2012/ΕΕ.~~