



Research Fund
for Coal & Steel



Large Valorisation on Sustainability of Steel Structures

Ανάλυση Κύκλου Ζωής
για μεταλλικές κατασκευές
Φάση Χρήσης



Περιεχόμενα

1) Λειτουργική ενέργεια κτιρίου

- Εισαγωγή
- Τοποθεσία και κλίμα
- Μέθοδος υπολογισμού ενεργειακών αναγκών
- Αλγόριθμος για την ποσοτικοποίηση ενεργειακών αναγκών (φάση χρήσης)

2) Επικύρωση και επαλήθευση αλγορίθμου

- Πλαίσιο αναφοράς (EN 15265:2007)
- Διαμέρισμα αναφοράς (προσαρμογή από EN 15265:2007)
- Μελέτη περίπτωσης κτιρίου κατοικίας

3) Τελικά συμπεράσματα

Λειτουργική ενέργεια

Εισαγωγή

Ο αλγόριθμος για την ποσοτικοποίηση της λειτουργικής ενέργειας κατά τη διάρκεια χρήσης, αναπτύχθηκε προηγουμένως στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος RFCS



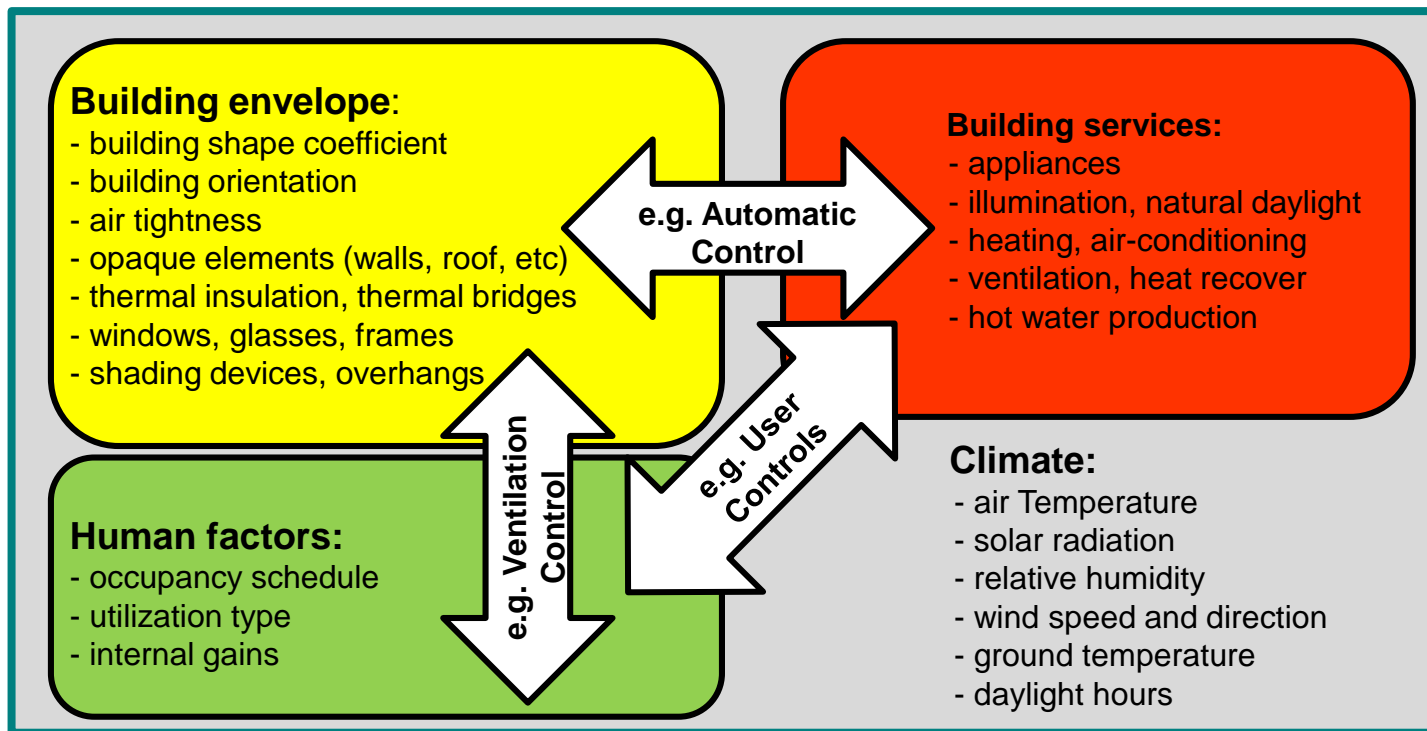
SB STEEL

SB_Steel (2014), Sustainable Building Project in Steel. Draft final report. RFSR-CT-2010-00027. Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel.

Εισαγωγή

Προκειμένου να υπολογιστεί η λειτουργική ενέργεια ενός κτιρίου κατά το στάδιο χρήσης του, είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη οι μεταβλητές οι οποίες σχετίζονται σε την θερμικής συμπεριφορά και την ενεργειακή αποδοτικότητα του κτιρίου που έχουν τον μεγαλύτερο αντίκτυπο.

Οι παράμετροι μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τέσσερα σύνολα τα οποία φέρουν τους τίτλους: κλίμα, κτιριακό κέλυφος, κτιριακές υπηρεσίες και ανθρώπινοι παράγοντες



Τοποθεσία και κλίμα

Η τοποθεσία του κτιρίου, όσον αφορά στις κλιματικές συνθήκες, έχει ζωτική σημασία για τους υπολογισμούς της θερμικής συμπεριφοράς. Όσον αφορά στο θέμα αυτό, δύο είναι οι κύριες κλιματικές παράμετροι που πρέπει να καθοριστούν προκειμένου να πραγματοποιηθεί ο υπολογισμός ενεργειακών αναγκών:

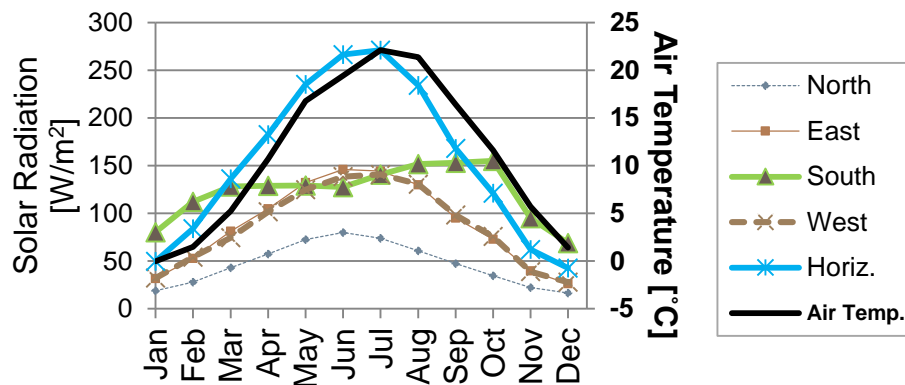
- Θερμοκρασία του αέρα.
- Ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνεια με καθορισμένο προσανατολισμό.

Τα δεδομένα των κλιματολογικών συνθηκών λήφθηκαν από τις βιβλιοθήκες του λογισμικού EnergyPlus energy (EERE-USDoE, 2014) ενώ όσα επιπλέον χρειάστηκαν δόθηκαν από τους συνεργάτες του προγράμματος.

EERE-USDoE (2014), Energy Efficiency and Renewable Energy Website from the United States Department of Energy:

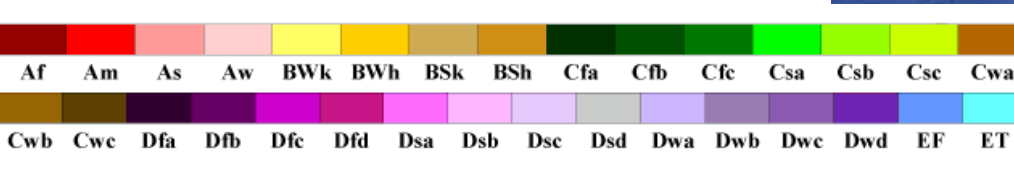
http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data2.cfm/region=6_europe_wmo_region_6

Timisoara (RO)

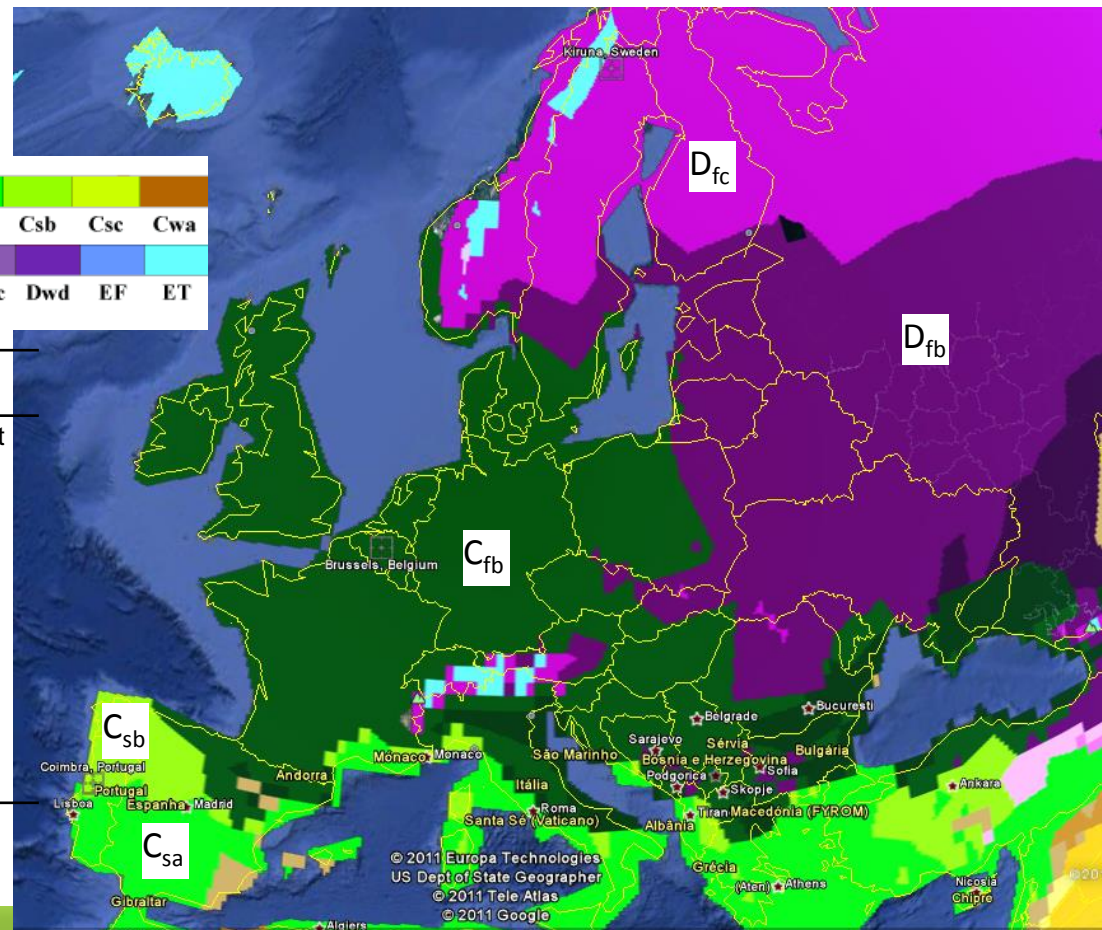


Τοποθεσία και κλίμα

Η μεθοδολογία επί του παρόντος βαθμονομείται για πέντε κλιματικές περιοχές (κατηγοριοποιημένες σύμφωνα με την κλιματική ταξινόμηση Köppen-Geiger): (i) Csa; (ii) Csb; (iii) Cfb; (iv) Dfb; (v) Dfc



Main Climates:	Precipitation:	Temperature:
A: equatorial	W: desert	h: hot arid
B: arid	S: steppe	k: cold arid
C: warm temperate	f: fully humid	a: hot summer
D: snow	s: summer dry	b: warm summer
E: polar	w: winter dry	c: cool summer
	m: monsoonal	d: extremely continental
		F: polar frost
		T: polar tundra



Τοποθεσία και κλίμα

Βάση δεδομένων 52 πόλεων

City	Country	Climatic Region	City	Country	Climatic Region	City	Country	Climatic Region
Amsterdam	Netherlands	Cfb	Kiev	Ukraine	Dfb	Oslo	Norway	Dfb
Ankara	Turkey	Csb	Kiruna	Sweden	Dfc	Ostersund	Sweden	Dfc
Arhanglesk	Russia	Dfc	Kraków	Poland	Cfb	Paris	France	Cfb
Athens	Greece	Csa	La Coruña	Spain	Csb	Porto	Portugal	Csb
Barcelona	Spain	Csa	Lisbon	Portugal	Csa	Poznan	Poland	Cfb
Berlin	Germany	Cfb	Ljubljana	Slovenia	Cfb	Prague	Czech Republic	Cfb
Bilbao	Spain	Cfb	London	England	Cfb	Rome	Italy	Csa
Bratislava	Slovakia	Cfb	Lublin	Poland	Dfb	Salamanca	Spain	Csb
Brussels	Belgium	Cfb	Madrid	Spain	Csa	Sanremo	Italy	Csb
Cluj-Napoca	Romania	Dfb	Marseille	France	Csa	Sevilla	Spain	Csa
Coimbra	Portugal	Csb	Milan	Italy	Cfb	Stockholm	Sweden	Dfb
Gdansk	Poland	Cfb	Minsk	Belarus	Dfb	Tampere	Finland	Dfc
Genova	Italy	Csb	Montpellier	France	Csa	Timisoara	Romania	Cfb
Graz	Austria	Dfb	Moscow	Russia	Dfb	Vienna	Austria	Dfb
Hamburg	Germany	Cfb	Munich	Germany	Cfb	Warsaw	Poland	Dfb
Helsinki	Finland	Dfb	Nantes	France	Cfb	Wroclaw	Poland	Cfb
Istambul	Turkey	Csa	Nice	France	Csb			
Katowice	Poland	Cfb	Opole	Poland	Cfb			

Μέθοδος υπολογισμού ενεργειακών αναγκών

Η προσέγγιση που υιοθετήθηκε δίνει τη δυνατότητα υπολογισμού των ενεργειακών αναγκών σε μηνιαία βάση για:

- θέρμανση και ψύξη χώρου
- παραγωγή ζεστού νερού χρήσης.

Το **ISO 13790 (2008)**, το οποίο είναι το βασικό πρότυπο που χρησιμοποιείται, αναθέτει συγκεκριμένους υπολογισμούς σε άλλα πρότυπα.

Λαμβάνοντας υπόψη τη σημασία της παραγωγής του ζεστού νερού χρήσης στην ενεργειακή κατανάλωση του κτιρίου, κυρίως σε κτίρια κατοικιών, είναι πολύ σημαντικό να υπολογιστεί η συνεισφορά του.

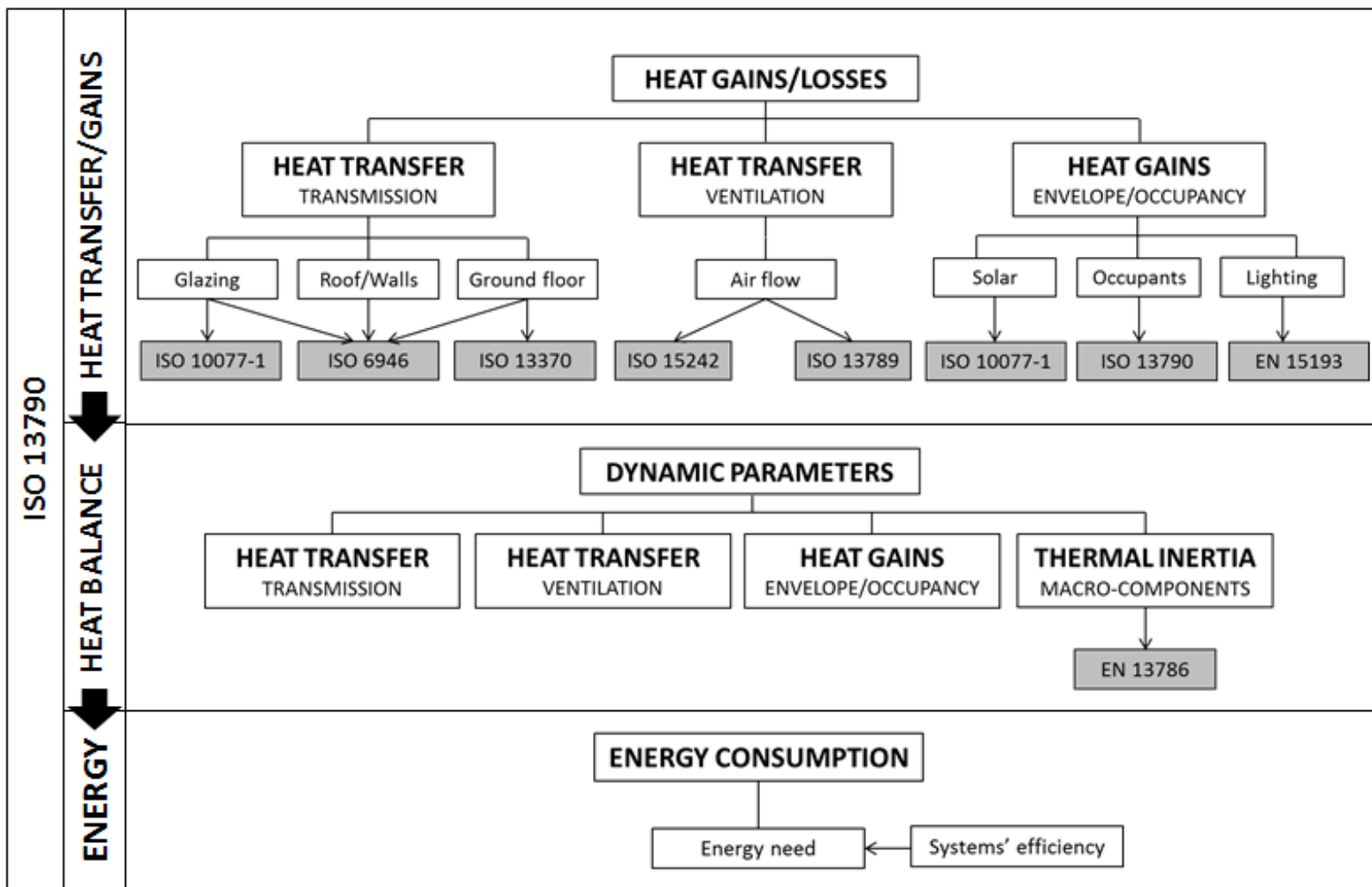
Όπως προαναφέρθηκε, αυτό διενεργείται υπό την καθοδήγηση του **EN 15316-3-1 (2007)**.

ISO 13790 (2008), Energy performance of buildings – Calculation of energy use for space heating and cooling, CEN – European committee for Standardization.

EN 15316-3-1 (2007), Heating systems in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 3.1 Domestic hot water systems, characterisation of needs (tapping requirements), CEN – European committee for Standardization.

Μέθοδος υπολογισμού ενεργειακών αναγκών

Διάγραμμα ροής του αλγορίθμου και τα πρότυπα αναφοράς για κλιματισμό χώρου.



Αλγόριθμος για την ποσοτικοποίηση ενεργειακών αναγκών (φάση χρήσης)

Κύρια δεδομένα εισόδου

ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ ΚΤΙΡΙΟΥ → σχετικά με τις κλιματολογικές συνθήκες:

- i) θερμοκρασία αέρα;
- ii) ηλιακή ακτινοβολία σε επιφάνεια με δεδομένο προσανατολισμό.

ΤΥΠΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ: π.χ. κατοικία, γραφεία, βιομηχανικές αίθουσες.

ΚΕΛΥΦΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ: βασισμένο σε macro-στοιχεία (π.χ. τοίχοι, οροφή, πλάκες, ανοίγματα)

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ & ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΚΤΙΡΙΟΥ (e.g. μήκος, πλάτος, ύψος και αριθμός ορόφων).

ΕΣΩΤΕΡΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ: σημεία θέρμανσης και ψύξης, αερισμός και παροχή αέρα

ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ για θέρμανση και ψύξη του χώρου καθώς και για ΖΝΧ

Κύρια δεδομένα εξόδου

Ενέργεια για θέρμανση, ψύξη χώρου και παραγωγής ΖΝΧ.

Ενεργειακό ισοζύγιο για κάθε κύριο στοιχείο κατασκευής (π.χ. τοίχοι, οροφή, παράθυρα).

Αλγόριθμος για την ποσοτικοποίηση ενεργειακών αναγκών (φάση χρήσης)

Εξισώσεις για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ενέργειας για **ΘΕΡΜΑΝΣΗ**, $Q_{H,nd}$:

1) ΣΥΝΕΧΗ (cont) λειτουργία συστημάτων :

a) $Q_{H,ht}$ Συνολικές Ενεργειακές ανάγκες
(από μετάδοση+ από αερισμό)

→ (απώλειες)

b) $Q_{H,gn}$ Συνολικά κέρδη(εσωτερικά+ ηλιακά)

c) $\eta_{H,gn}$ συντελεστής χρήσης
θερμικού κέρδους

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn}$$

2) Διόρθωση για ΔΙΑΚΟΠΤΟΜΕΝΗ λειτουργία:

a) συντελεστής μείωσης για διακοπτόμενη λειτουργία($a_{H,red}$)

$$Q_{H,nd,interm} = a_{H,red} Q_{H,nd,cont}$$

Αλγόριθμος για την ποσοτικοποίηση ενεργειακών αναγκών (φάση χρήσης)

Εξισώσεις για τον υπολογισμό της απαιτούμενης ενέργειας για ΨΥΞΗ*, $Q_{C,nd}$:

1) ΣΥΝΕΧΗ (cont) λειτουργία συστημάτων :

a) $Q_{C,ht}$ Συνολικές Ενεργειακές ανάγκες (από μετάδοση+ από αερισμό)

b) $Q_{C,gn}$ Συνολικά κέρδη(εσωτερικά+ ηλιακά)

c) $\eta_{C,ls}$ Συντελεστής χρήσης ψυκτικής απώλειας

Σύγκριση με
ισοζύγιο για
θέρμανση

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn}$$

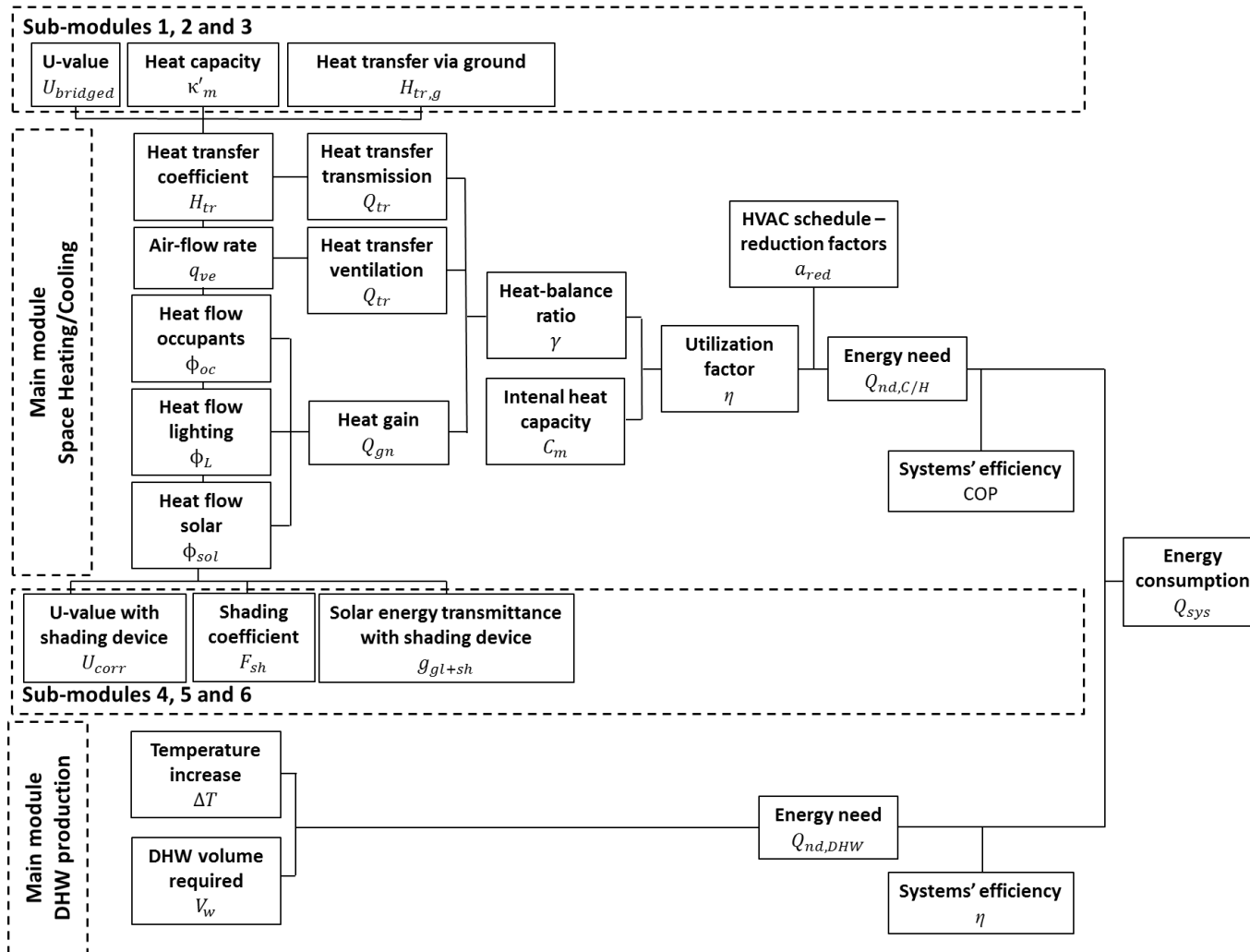
$$Q_{C,nd} = Q_{C,nd,cont} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} Q_{C,ht}$$

2) Διόρθωση για ΔΙΑΚΟΠΤΟΜΕΝΗ λειτουργία:

a) συντελεστής μείωσης για διακοπτόμενη λειτουργία

* Παρεμφερής προσέγγιση με θέρμανση

Αλγόριθμος για την ποσοτικοποίηση ενεργειακών αναγκών (φάση χρήσης)



Επικύρωση της μεθοδολογίας

Υπολογισμός ενεργειακών αναγκών

Η ακρίβεια του μηνιαίου αλγορίθμου επικυρώθηκε εφαρμόζοντάς τον σε δώδεκα μελέτες περίπτωσης όπως παρουσιάζονται στο EN 15265 για έναν ενιαίο χώρο γραφείου. Έπειτα, λαμβάνοντας υπόψη ότι τα πραγματικά κτίρια έχουν πιο πολύπλοκη δομή από έναν μόνο χώρο, ο αλγόριθμος βαθμονομείται για κτίρια κατοικιών με πολλούς χώρους, εφαρμόζοντας τους διορθωτικούς συντελεστές στα τέσσερα κύρια στοιχεία θερμικού ισοζυγίου ενός κτιρίου καθώς και στις δυναμικές αδιάστατες παραμέτρους. (Santos *et al.* 2014):

- Πλαίσιο αναφοράς (EN 15265:2007);
- Διαμέρισμα αναφοράς (προσαρμογή από EN 15265:2007)
- Μελέτη περίπτωσης κτιρίου κατοικίας

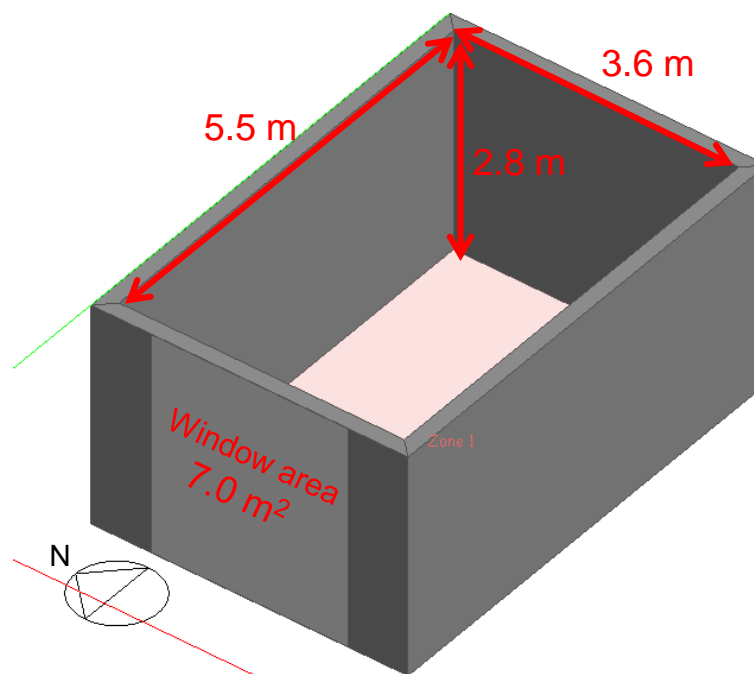
P. SANTOS; R. MARTINS; H. GERVÁSIO; L. SIMÕES DA SILVA, "Assessment of building operational energy at early stages of design – A monthly quasi-steady-state approach", **Energy and Buildings** (ISSN: 0378-7788), vol. 79, pp. 58–73, 2014.

EN 15265 (2007), Energy performance of buildings - Calculation of energy needs for space heating and cooling using dynamic methods - General criteria and validation procedures. CEN - European Committee for Standardization.

Πλαίσιο αναφοράς (EN 15265:2007)

Η παρούσα ενότητα παρουσιάζει ορισμένες από τις δοκιμές που διεξήχθησαν με σκοπό τον έλεγχο της ακρίβειας του μηνιαίου αλγορίθμου, χρησιμοποιώντας τις 12 δοκιμές περίπτωσης

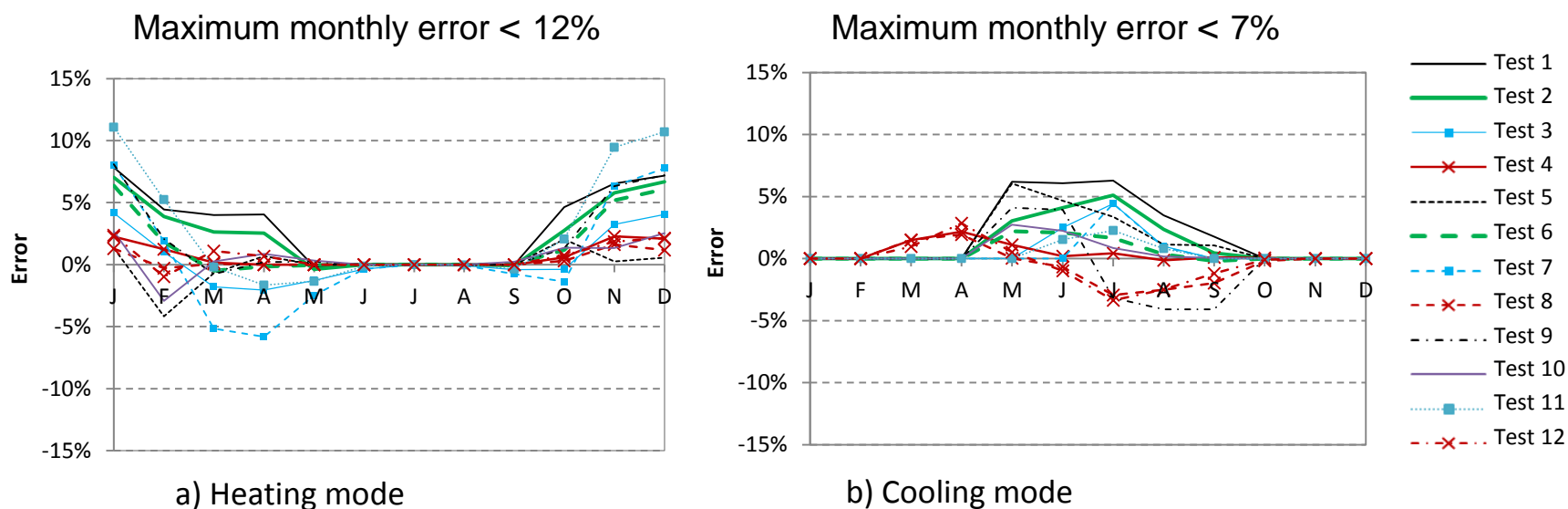
(Informative)	Test 1 Reference Case Test 2 Higher Thermal Inertia Test 3 No Internal Gains Test 4 No Solar Protection
Intermittent HVAC (Normative)	Test 5 = Test1 + Test 6 = Test2 + Test 7 = Test3 + Test 8 = Test4 + <div style="text-align: center;">HVAC only 8h00-18h00 from Monday to Friday</div>
Intermittent HVAC + External Roof (Normative)	Test 9 = Test5 + Test 10 = Test6 + Test 11 = Test7 + Test 12 = Test8 + <div style="text-align: center;">External Roof</div>



Για κάθε μία από τις δώδεκα δοκιμές περίπτωσης που λαμβάνονται υπόψη, το πρότυπο παρέχει αποτελέσματα αναφοράς για τις ενεργειακές ανάγκες σε θέρμανση και ψύξη.

Πλαίσιο αναφοράς (EN 15265:2007)

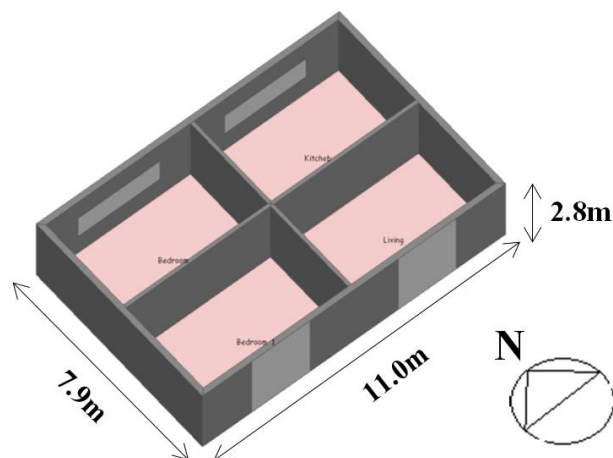
Η ακρίβεια του αλγορίθμου βασίζεται: στην μελέτη περίπτωσης, στον μήνα και στη θέρμανση ή ψύξη του χώρου.



Monthly precision of the space heating/cooling algorithm: Twelve test-cases of EN 15265:2007.

Διαμέρισμα Αναφοράς (adapted from EN 15265:2007)

Δεδομένου ότι ο μηνιαίος αλγόριθμος αποσκοπεί στην πρόβλεψη των ενεργειακών αναγκών των κτιρίων, αντί να επικεντρώνεται μόνο σε έναν χώρο, όπως προβλέπεται στο **EN 15265 (2007)**, όλες οι βαθμονομήσεις διεξήχθησαν με ένα νέο σύνολο δοκιμών περίπτωσης που βασίζονται σε τυπικά χαρακτηριστικά κτιρίου (διαμέρισμα)



a) Building model (internal dimensions)

Element	U-value [W/m ² .K]	κ_m [J/m ² .K]
External wall	0.493	81297
Internal wall	-	9146
Roof	0.243	6697
Ground floor	-	63380

κ_m Areal heat capacity

b) Thermal properties of the envelope

Test case	GFR [%]	NGWR [%]	SGWR [%]	Shading devices
T1	35	36	54	ON
T2				OFF
T3	25	20	40	ON
T4				OFF
T5	15	12	24	ON
T6				OFF

GFR: glazing to floor ratio; NGWR: north-oriented glazed to wall ratio;

SGWR: south-oriented glazed to wall ratio.

c) Main variables of the test cases

Παράδειγμα ενός κτιριακού μοντέλου που χρησιμοποιείται στις δοκιμές περίπτωσης για τη βαθμονόμηση του μηνιαίου αλγορίθμου

Μελέτη περίπτωσης κατοικίας

Το κτίριο είναι ένα διώροφο σπίτι για μία μόνο οικογένεια που βρίσκεται στην Κοΐμπρα (Πορτογαλία).



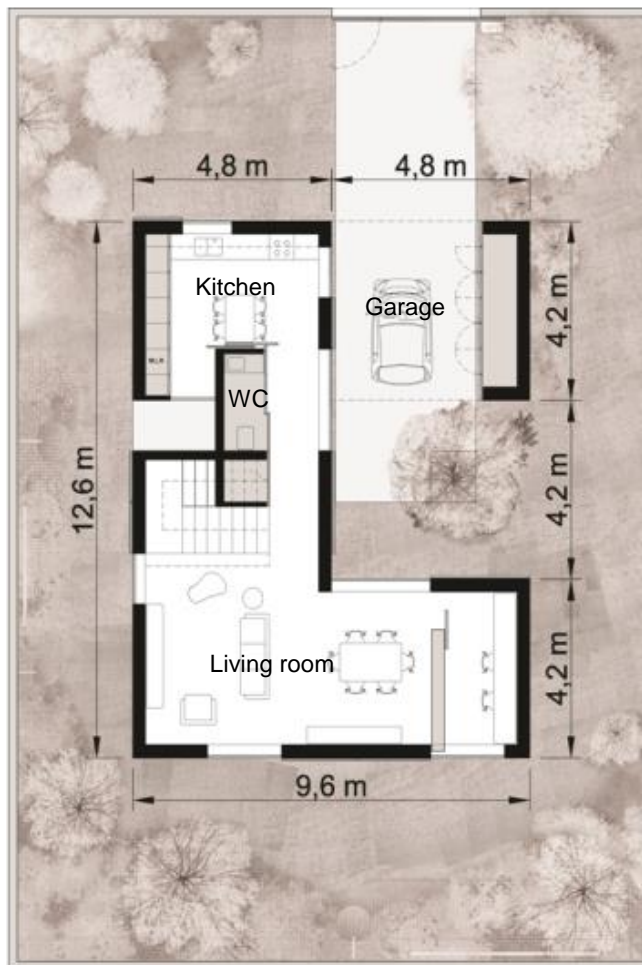
South-West view



North-West view

Μελέτη περίπτωσης κατοικίας

Ground-floor level



First-floor level

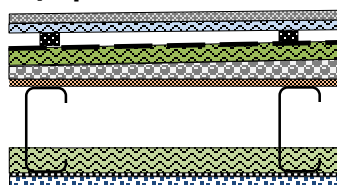


Σχέδια Κτιρίου

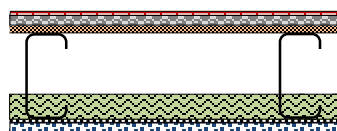
Μελέτη περίπτωσης κατοικίας

Αδιαφανές κέλυφος:

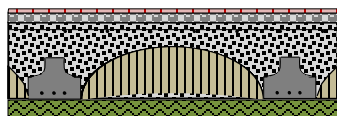
Οροφή



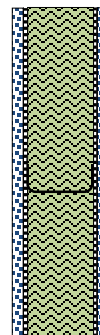
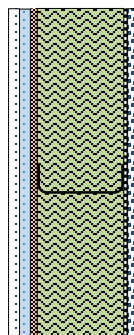
Εσωτερικό πάτωμα



Ισόγειο πατωμα



Εξωτερικός Εσωτερικό
τοίχος χώρισμα



Θερμικές Ιδιότητες:

Element	U-value [W/m ² .K]	κ_m [J/m ² .K]
Roof slab	0.37	13435
Interior floor	-	61062
Ground floor	0.60	65957
Exterior wall	0.29	13391
Interior wall	-	26782

Υαλοστάσια:

Θερμικές Ιδιότητες:

Materials	U-value [W/m ² .K]	SHGC
PVC frame and double pane (8+6 mm, with air gap of 14 mm)	2.60	0.78

SHGC – Solar heat gain coefficient

Μελέτη περίπτωσης κατοικίας

Τα αποτελέσματα της αναφορικής περίπτωσης εξάχθηκαν από προσομοιώσεις με τα παρακάτω εργαλεία.



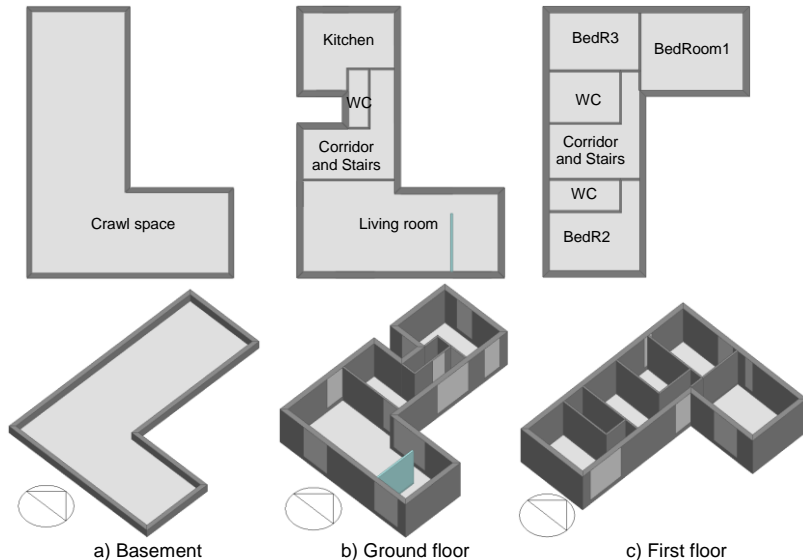
DesignBuilder
SOFTWARE

et EnergyPlus

Προσομοιώθηκαν 10 θερμικές ζώνες



Όψη οικίας στο DsB model



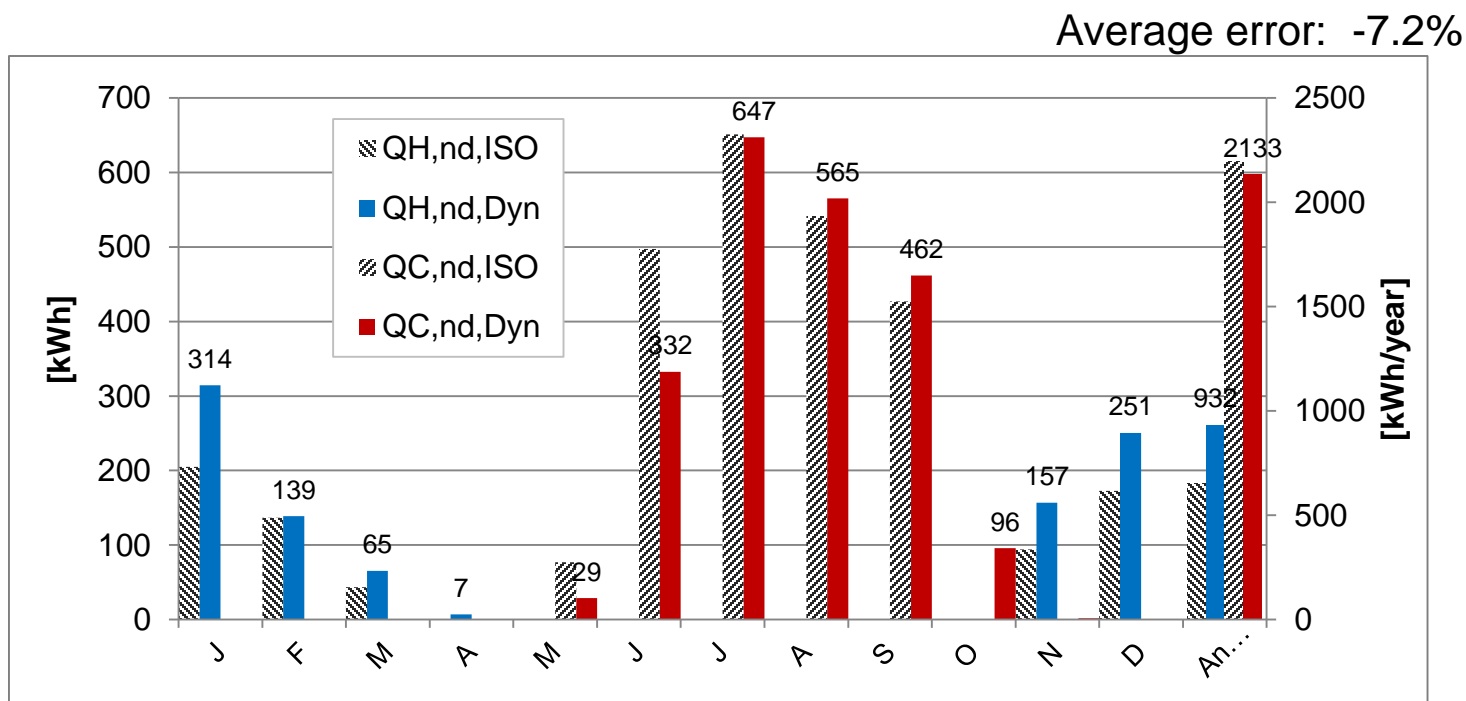
Κατόψεις ορόφων



Εξέλιξη σκίασης στις 10 Αυγ.

Μελέτη περίπτωσης κατοικίας

Αποτελέσματα:



Κτιριακές απαιτήσεις ενέργειας για θέρμανση και ψύξη:
δυναμική προσομοίωση(Dyn) vs μηνιαίος αλγόριθμος(ISO)

Τελικά Συμπεράσματα

- Για την ανάλυση κύκλου ζωής είναι απαραίτητη η εκτίμηση της εμπεριεχόμενης αλλά και της λειτουργικής ενέργειας (embodied and operational energy).
- Η ακριβής πρόλεξη της λειτουργικής ενέργειας δεν είναι απλή υπόθεση καθώς βασίζεται σε πολυάριθμες παραμέτρους.
- Χρησιμοποιήθηκε ένας απλοποιημένος αλγόριθμος για τον υπολογισμό των ενεργειακών αναγκών για θέρμανση/ψύξη χώρου και παραγωγή ZNX, βασισμένος σε πρότυπα
- Η ακρίβεια της μεθόδου μηνιαίου υπολογισμού από το πρότυπο ISO 13790 επαληθεύτηκε με τη χρήση δυναμικών προσομοιώσεων.
- Η σύγκριση των αποτελεσμάτων και από τα δύο είδη αναλύσεων διευκολύνει να συναχθεί το συμπέρασμα ότι η ακρίβεια και των δύο προσεγγίσεων είναι πολύ λογική. (μέσο σφάλμα < 10%).

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!

*Δημ.Γιαννόπουλος
PhD, MSc Μηχ.Μηχανικός
LCA Expert*

HMCS



**Εργαστήριο
Ετερογενών Μειγμάτων &
Συστημάτων Καύσης**

hmcs.mech.ntua.gr

