

Ένα Πολυστοχικό Πρότυπο Απόφασης για την Εξοικονόμηση Ενέργειας σε Κτίρια

*Ν. Καμπέλης, Ε. Γρηγορούδης, Κ. Καλαϊτζάκης, Γ.
Σταυρακάκης, Πολυτεχνείο Κρήτης
Χ. Διακάκη, Ν. Κολοκοτσά, Τ.Ε.Ι. Κρήτης*

Δομή παρουσίασης

- ◉ Εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια
 - Μέτρα
 - Στόχοι (κριτήρια)
- ◉ Πρόβλημα πολυστοχικού προγραμματισμού
 - Συνήθης πρακτική - μειονεκτήματα
 - Ανταγωνιστικότητα κριτηρίων
 - Συναινετικός Προγραμματισμός - Βήματα
- ◉ Πρότυπο απόφασης
 - Κτιριακό κέλυφος
 - Συστήματα
- ◉ Εφαρμογή
 - Αποτελέσματα
- ◉ Επόμενα βήματα - προεκτάσεις

Εξοικονόμηση ενέργειας στα κτίρια

- ◉ Κτίριο: Υπό κατασκευή / υφιστάμενο
- ◉ Μέτρα εξοικονόμησης ενέργειας
 - Κτιριακό κέλυφος
 - Επιλογή (αντικατάσταση) δομικών υλικών
 - Ανοίγματα – διαστάσεις, προσανατολισμός, κουφώματα κλπ.
 - Διαστάσεις, προσανατολισμός κτιρίου, σκίαση κ.α.
 - Συστήματα
 - Απόδοση – ρυθμίσεις - συντήρηση λειτουργίας συστημάτων θέρμανσης, κλιματισμού, νερού χρήσης
 - Εκμετάλλευση τεχνολογιών ΑΠΕ
- ◉ Κριτήρια-στόχοι
 - Ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης
 - Ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων
 - Ελαχιστοποίηση του λειτουργικού κόστους
 - Ελαχιστοποίηση του κόστους επένδυσης
 - Βελτίωση του εσωτερικού περιβάλλοντος

Πρόβλημα πολυστοχικού προγραμματισμού

◉ Ανταγωνιστικά κριτήρια

- Ελαχιστοποίηση ενεργειακής κατανάλωσης – κόστους επένδυσης
- Ελαχιστοποίηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων – κόστους επένδυσης
- Ελαχιστοποίηση κόστους λειτουργίας – βελτιστοποίηση συνθηκών εσωτερικού περιβάλλοντος

◉ Συνήθης μέθοδος:

- Αξιολόγηση εναλλακτικών μέτρων με χρήση προσομοίωσης κατά την οποία εξετάζεται περιορισμένος αριθμός σεναρίων
 - Υπολογισμός επιδόσεων συνδυασμού εναλλακτικών μέτρων σε κάθε κριτήριο
 - Μειονεκτήματα:
 - Χρονοβόρος διαδικασία
 - Περιορισμένος αριθμός εξεταζόμενων σεναρίων
 - Υποκειμενικότητα σεναρίων βάσει εμπειρίας «ειδικού»
 - Δυσκολία προσαρμογής στις προτιμήσεις του αποφασίζοντος
 - Αδυναμία εύρεσης βέλτιστης λύσης

Πολυστοχικό πρότυπο απόφασης

- ◉ Συναινετικός Προγραμματισμός
- ◉ Βήματα
 - Μορφοποίηση & επίλυση για το κτιριακό κέλυφος
 - Μορφοποίηση & επίλυση για το πρόβλημα της επιλογής συστημάτων

Πολυστοχικό πρότυπο απόφασης: Κτιριακό κέλυφος

◉ Κτιριακό κέλυφος

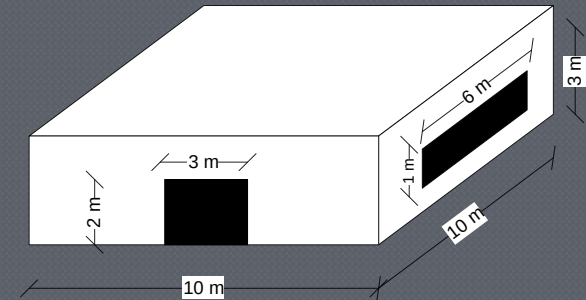
- Κριτήρια
 - Ελαχιστοποίηση συντελεστή θερμοπερατότητας κτιρίου (**building load coefficient**)
 - Ελαχιστοποίηση κόστους επένδυσης
- Μεταβλητές απόφασης
 - Επιλογή εναλλακτικών δομών (τοιχοποιία, οροφή, δάπεδο)
 - Επιλογή κατασκευαστικών στοιχείων (τύπος πόρτας, παράθυρου, τούβλου, μονωτικό υλικό)
 - Επιλογή πάχους μόνωσης
- Περιορισμοί
 - Επιλογή ενός είδους κατασκευαστικών στοιχείων
 - Επιλογή μίας εναλλακτικής δομής
 - Όριο πάχους μόνωσης

Πολυστοχικό πρότυπο απόφασης: Συστήματα

- Συστήματα: Θέρμανση/κλιματισμός/ζεστό νερό χρήσης/ηλιακός συλλέκτης
 - Κριτήρια
 - Ελαχιστοποίηση συνολικής ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας
 - Ελαχιστοποίηση ετήσιων εκπομπών CO₂
 - Ελαχιστοποίηση κόστους επένδυσης
 - Μεταβλητές απόφασης
 - Επιλογή κατηγορίας συστημάτων
 - Επιλογή συστημάτων
 - Περιορισμοί
 - Επιλογή ενός μόνο κοινού συστήματος (θέρμανσης-κλιματισμού, θέρμανσης – ζεστού νερού)
 - Επιλογή ενός μόνο συστήματος θέρμανσης, κλιματισμού, ζεστού νερού εάν δεν έχει επιλεγεί κοινό σύστημα που να καλύπτει το είδος της ζήτησης
 - Επιλογή το πολύ ενός ηλιακού συλλέκτη για τις ανάγκες ζεστού νερού χρήσης

Εφαρμογή: Δεδομένα κτιριακού κελύφους

Εμβαδόν τοιχοποιίας (m ²)	Δομή τοιχοποιίας	Επίπεδα	Υλικά	Πάχος (m)	k (W/mK)	Κόστος (euro/m ²)
120	1	1	Επίχρισμα	0,025	0,87	10
		2	Τούβλο	0,15	0,72	6,2
		3	Επίχρισμα	0,025	0,87	10
	2	1	Επίχρισμα	0,025	0,87	10
		2	Τούβλο	0,06	0,72	23
		3	Τούβλο	0,06	0,72	23
		4	Επίχρισμα	0,025	0,87	10



Εμβαδόν οροφής (m ²)	Δομή οροφής	Επίπεδα	Υλικά	Πάχος (m)	k (W/mK)	Κόστος (euro/m ²)
100	1	1	Κεραμίδια	0,1	1	55
		2	Σκυρόδεμα	0,15	0,72	55
	2	1	Πλακίδια	0,1	1	51
		2	Οξιά	0,3	0,17	70

Εμβαδόν δαπέδου (m ²)	Δομή δαπέδου	Επίπεδα	Υλικά	Πάχος (m)	k (W/mK)	Κόστος (euro/m ²)
100	1	1	Πλακίδια	0,1	1	55
		2	Σκυρόδεμα	0,15	0,72	55
	2	1	Οξιά	0,3	0,17	70
		2	Σκυρόδεμα	0,15	0,72	55

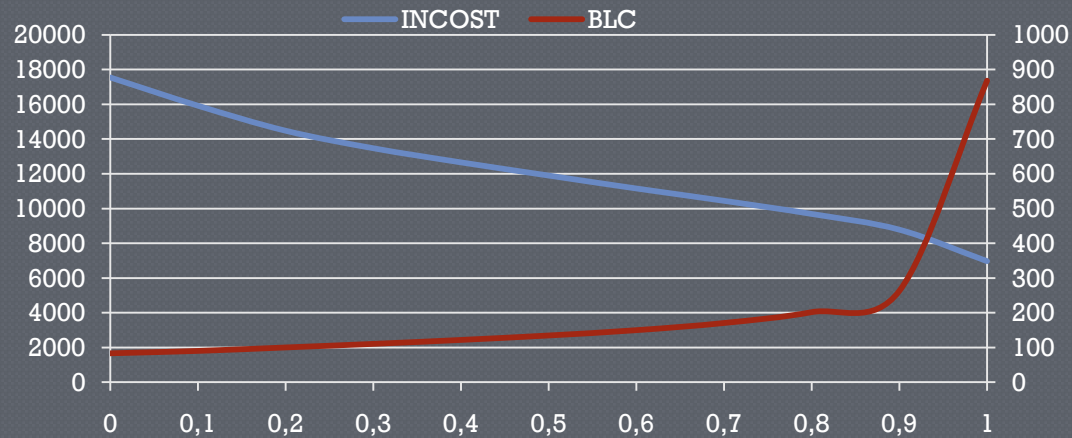
Εφαρμογή: Δεδομένα κτιριακού κελύφους

Μεταβλητή απόφασης	Πάχος (m)	Μεταβλητή απόφασης	Υλικά	k (W/mK)	Κόστος (euro/m3)
X1_wal	X111_dwal	X111_mwal	Πολυστερίνη	0,036	200
	X112_dwal	X112_mwal	Υαλοβάμβακας	0,042	180
	X113_dwal	X113_mwal	Πολυουρεθάνη	0,02	300
X2_wal	X211_dwal	X211_mwal	Πολυστερίνη	0,036	200
	X212_dwal	X212_mwal	Υαλοβάμβακας	0,042	180
	X213_dwal	X213_mwal	Πολυουρεθάνη	0,02	300

Εμβαδόν παραθύρου (m2)	Κατηγορία παραθύρου	Τύπος παραθύρου	Μεταβλητή απόφασης	U (W/m2K)	Κόστος (euro/m2)
6	1	1	X11_win	5	40
	2	1	X21_win	2.6	55
		2	X22_win	1.6	65

Εμβαδόν πόρτας (m2)	Τύπος πόρτας	Μεταβλητή απόφασης	U (W/m2 K)	Κόστος (euro/m2)
6	1	X1_dor	2.7	800
	2	X2_dor	2.1	1000

Διακύμανση κριτηρίων κτιριακού κελύφους



Πίνακας Πληρωμών	incost (€)	blc (W/K)
min (incost)	6.970	867,64
min (blc)	17.545	83,01
Επιλογή λύσης	incost (€)	blc (W/K)
p_cost=0.9 p_blc=0.1	8.782	262.85

Μεταβλητές απόφασης κτιριακού κελύφους

Μεταβλητή απόφασης	Τιμή
X1_DOR	1
X2_DOR	0
X11_WIN	0
X21_WIN	0
X22_WIN	1

Μεταβλητή απόφασης	Τιμή
X1_WAL	1
X11_DWAL	0.022
X111_MWAL	0
X112_MWAL	0
X113_MWAL	1
X2_WAL	0
X21_DWAL	0
X211_MWAL	0
X212_MWAL	0
X213_MWAL	0

Μεταβλητή απόφασης	Τιμή
X1_CEIL	0
X11_DCEIL	0
X111_MCEIL	0
X112_MCEIL	0
X113_MCEIL	0
X2_CEIL	1
X21_DCEIL	0.022
X211_MCEIL	0
X212_MCEIL	0
X213_MCEIL	1

Μεταβλητές απόφασης κτιριακού κελύφους

Μεταβλητή απόφασης	Τιμή
X1_FLO	1
X11_DFLO	0.022
X111_MFLO	0
X112_MFLO	0
X113_MFLO	1
X2_FLO	0
X21_DFLO	0
X211_MFLO	0
X212_MFLO	0
X213_MFLO	0

Υπολογισμός καταναλώσεων

◉ Ενέργεια θέρμανσης

- Απώλειες κτιριακού κελύφους (BLC)
- Απώλειες λόγω φυσικού αερισμού
- Θερμικά κέρδη λόγω ηλιακής ακτινοβολίας
- Εσωτερικά θερμικά κέρδη

◉ Ενέργεια κλιματισμού

- Θερμικά φορτία κτιριακού κελύφους
- Θερμικά φορτία λόγω φυσικού αερισμού
- Θερμικά κέρδη λόγω ηλιακής ακτινοβολίας
- Εσωτερικά θερμικά κέρδη

◉ Ενέργεια ζεστού νερού χρήσης

- Κατανάλωση / άτομο / ημέρα

Εφαρμογή: Δεδομένα συστημάτων

Συστήματα θέρμανσης	Κατηγορία	Τύπος	Απόδοση	Κόστος (€)	Μεταβλητή απόφασης
Σύστημα θέρμανσης με αντιστάσεις	EH-1	1	1	5000	X11_eh
		2	0,85	4200	X12_eh
Σύστημα θέρμανσης πετρελαίου	NEH-1	1	0,83	5300	X11_neh
		2	0,62	4700	X12_neh
Σύστημα θέρμανσης φυσικού αερίου	NEH-2	1	0,85	5800	X21_neh
		2	0,55	4500	X22_neh

Συστήματα κλιματισμού /θέρμανσης	Κατηγορία	Τύπος	Απόδοση	Κόστος (€)	Μεταβλητή απόφασης
Υδρόψυκτο ηλεκτρικό	1	1	2	500	X11_hc
		2	2,3	800	X12_hc
		3	2,5	1200	X21_hc

Εφαρμογή: Δεδομένα συστημάτων

Συστήματα ζεστού νερού χρήσης	Κατηγορία	Τύπος	Απόδοση	Κόστος (€)	Μεταβλητή απόφασης
Σύστημα με αντιστάσεις	EW-1	1	1	1200	X11_ew
		2	0,85	1000	X12_ew
Σύστημα πετρελαίου	NEW-1	1	0,8	1000	X11_new
		2	0,6	800	X12_new
Σύστημα φυσικού αερίου	NEW-2	1	0,73	850	X21_new
		2	0,6	650	X22_new

Συστήματα θέρμανσης/ζεστού νερού χρήσης	Κατηγορία	Τύπος	Απόδοση	Κόστος (€)	Μεταβλητή απόφασης
Σύστημα με αντιστάσεις	EHW-1	1	1	7200	X11_ehw
		2	0,85	5800	X12_ehw
Σύστημα πετρελαίου	NEHW-1	1	0,81	6200	X11_nehw
		2	0,7	5800	X12_nehw
Σύστημα φυσικού αερίου	NEHW-2	1	0,84	7200	X21_nehw
		2	0,65	5700	X22_nehw

Εφαρμογή: Δεδομένα συστημάτων

Ηλιακοί συλλέκτες	Κατηγορία	Τύπος	Απόδοση	Κόστος (€)	Μεταβλητή απόφασης
Επίπεδος	SLC-1	1	0,9	900	X11_slc
		2	0,8	600	X12_slc
Σωληνοειδής	SLC-2	1	0,72	780	X21_slc
		2	0,67	500	X22_slc

Εφαρμογή: Διακύμανση κριτηρίων συστημάτων

P_Qt	P_INCOST	P_emCO2	Qt (MJ)	Incst (€)	emCO2 (kg)
0	0	1	48891.25	3850.00	5044.578
0	0.2	0.8	53151.84	1450	5483.738
0	0.4	0.6	53151.84	1450	5483.738
0	0.6	0.4	61111.71	1150	6305.595
0	0.8	0.2	61111.71	1150	6305.595
0	1	0	61111.71	1150	6305.595
P_Qt	P_INCOST	P_emCO2	Qt (MJ)	Incst (€)	emCO2 (kg)
0.2	0	0.8	48891.25	3850.00	5044.578
0.2	0.2	0.6	53151.84	1450	5483.738
0.2	0.4	0.4	61096.4	1350	6304.76
0.2	0.6	0.2	61111.71	1150	6305.595
0.2	0.8	0	61111.71	1150	6305.595
P_Qt	P_INCOST	P_emCO2	Qt (MJ)	Incst (€)	emCO2 (kg)
0.4	0	0.6	48891.25	3850.00	5044.578
0.4	0.2	0.4	53151.84	1450	5483.738
0.4	0.4	0.2	61096.4	1350	6304.76
0.4	0.6	0	61111.71	1150	6305.595

P_Qt	P_INCOST	P_emCO2	Qt (MJ)	Incst (€)	emCO2 (kg)
0.6	0	0.4	48885.07	4000	5045.446
0.6	0.2	0.2	53151.84	1450	5483.738
0.6	0.4	0	53151.84	1450	5483.738
P_Qt	P_INCOST	P_emCO2	Qt (MJ)	Incst (€)	emCO2 (kg)
0.8	0	0.2	48885.07	3200	5045.446
0.8	0.2	0	53151.84	1450	5483.738
P_Qt	P_INCOST	P_emCO2	Qt (MJ)	Incst (€)	emCO2 (kg)
1	0	0	48885.07	3400	5045.446

Εφαρμογή: Διακύμανση κριτηρίων συστημάτων

- Πίνακας πληρωμών

Πίνακας Πληρωμών	incost (€)	Q (M)	em_CO2(kg)
min (incost)	1150	61.111,71	6305,59
min (Q)	3.400	48.885,07	5.045,44
min (em_CO2)	3.850	48.891,25	5.044,57

Συμπεράσματα-Προεκτάσεις

- ◉ Πολυστοχικό πρότυπο απόφασης
 - Μοντελοποίηση προτιμήσεων αποφασίζοντος
 - Μοντελοποίηση πρόσθετων περιορισμών – επεκτάσιμο
 - Εύρεση βέλτιστης λύσης
- ◉ Μελλοντική έρευνα
 - Επέκταση προτύπου σε υφιστάμενα κτίρια
 - Εφαρμογή προχωρημένων αλγορίθμων επίλυσης
 - Περαιτέρω ανάπτυξη βάσης δεδομένων
 - Ανάπτυξη ΣΥΑ