

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΟΝ ΟΙΚΙΑΚΟ ΤΟΜΕΑ ΥΠΟ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ

Ι. Μιχαλόπουλος, Α. Αγγελής-Δημάκης, Γ. Αραμπατζής, Δ. Ασημακόπουλος
*Μονάδα Διαχείρισης Ενεργειακών και Περιβαλλοντικών Συστημάτων,
Σχολή Χημικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Ηρώων Πολυτεχνείου 9, Πολυτεχνειούπολη
Ζωγράφου, 15780, Αθήνα, e-mail: assim@chemeng.ntua.gr*

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αξιολογούνται οι επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας στον οικιακό τομέα καθώς και η μείωση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης από την ενεργειακή κατανάλωση. Οι εξεταζόμενες επεμβάσεις επιλέγονται μετά από εκτενή βιβλιογραφική ανασκόπηση επίσημων εκθέσεων, μελετών, επιστημονικών άρθρων και δημοσιεύσεων του ημερήσιου τύπου. Προσδιορίζεται το εύρος στο οποίο κυμαίνεται το εκτιμώμενο ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας και το αντίστοιχο κόστος υλοποίησής κάθε επέμβασης. Στη βάση αυτών υπολογίζεται η συνολική ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας και μείωση εκπομπών CO₂ ανά κατοικία και το ισοδύναμο ετήσιο κόστος.

Οι προτεινόμενες επεμβάσεις αξιολογούνται με βάση την ανάλυση κόστους αποτελεσματικότητας και αυξητικού κόστους. Αρχικά, η αποτελεσματικότητα εκφράζεται σε όρους εξοικονόμησης ενέργειας και στη συνέχεια σε όρους μείωσης εκπομπών. Η διαδικασία αξιολόγησης εκτελείται επαναληπτικά με χρήση της μεθόδου Monte Carlo, για την εκτίμηση της αβεβαιότητας του τελικού αποτελέσματος. Από τις δύο αυτές προσεγγίσεις προκύπτει το τελικό σχέδιο δράσης, το οποίο περιλαμβάνει το σύνολο των οικονομικά αποτελεσματικών και αποδοτικών επεμβάσεων. Επιπλέον, συγκρίνοντας τις δύο προσεγγίσεις εντοπίζονται οι πιθανές διαφορές στο σχέδιο δράσης και οι παράμετροι εκείνες, η μεταβολή των οποίων επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό το τελικό αποτέλεσμα.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σημασία της αποτελεσματικής διαχείρισης της ενέργειας άρχισε να συγκεντρώνει το ενδιαφέρον στην Ελλάδα κυρίως μετά την περίοδο 1973-1974, όταν και σημειώθηκε η πρώτη διεθνής ενεργειακή κρίση, που συνοδεύθηκε από την απότομη αύξηση των τιμών του πετρελαίου. Οι ενεργειακές πολιτικές που υιοθετήθηκαν από το σημείο εκείνο και μετά είχαν ως στόχο τη μείωση της εξάρτησης της χώρας από το πετρέλαιο, την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας, τη δημιουργία έργων υποδομής για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και τη διασύνδεση με τις γειτονικές χώρες (Τίγκας κ.α., 2005). Στους στόχους αυτούς προστέθηκε τα τελευταία χρόνια, η αποδοτικότερη αλλά και περιβαλλοντικά φιλική χρήση της ενέργειας (ΣΕΕΣ, 2008).

Σήμερα, οι εφαρμοζόμενες εθνικές πολιτικές διαμορφώνονται από το θεσμικό πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Ενεργειακής Πολιτικής αλλά και του ευρύτερου διεθνούς χώρου. Για κάθε κράτος μέλος έχει καθοριστεί αναλογικά ένας εθνικός στόχος διείσδυσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ) στην ακαθάριστη τελική κατανάλωση (18% για την Ελλάδα), ώστε η

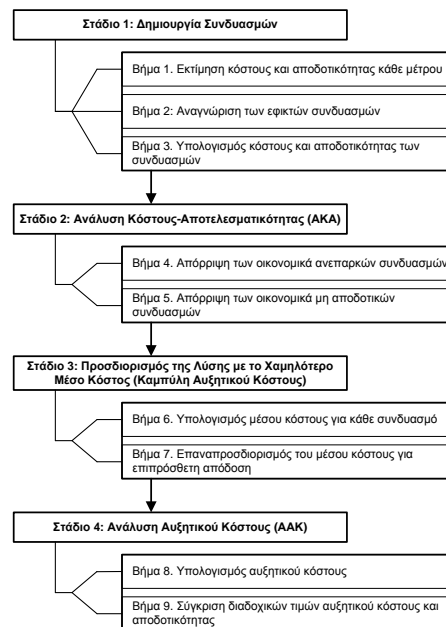
συνολική διεύθυνση για την Ε.Ε. να φτάσει το 20% έως το 2020 (2009/28/ΕΚ). Αντίστοιχα, για τον τομέα των μεταφορών όλα τα κράτη-μέλη πρέπει να εξασφαλίσουν ότι το μερίδιο των ΑΠΕ στην τελική κατανάλωση θα ισούται με 10% έως το 2020. Σχετικά με τις εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου, ο στόχος που είχε τεθεί από το Πρωτόκολλο του Κιότο αναθεωρήθηκε με πρόσφατη απόφαση της Ε.Ε. (406/2009/ΕΚ) και προσδιορίζει μια συνολική μείωση των εκπομπών κατά 14% σε σχέση με τα επίπεδα του 2005. Τέλος, σύμφωνα με την Οδηγία 2006/32/ΕΚ, η Ελλάδα υποχρεούται μέχρι το 2016 να μειώσει την τελική εγχώρια ενεργειακή κατανάλωση κατά 9% σε σχέση με τη μέση κατανάλωση της πενταετίας 2001-2005, αφαιρουμένων των τομέων που εμπίπτουν στο σύστημα εμπορίας ρύπων.

Στην προσπάθεια επίτευξης των στόχων αυτών στη χώρα μας, εξέχοντα ρόλο διαδραματίζει ο οικιακός τομέας, καθώς αποτελεί το δεύτερο μεγαλύτερο καταναλωτή του ελληνικού ενεργειακού συστήματος. Ευθύνεται για το 36% της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης ενώ μόνο την περίοδο 2000-2005 η κατανάλωση αυτή αυξήθηκε κατά 24%. Ένας από τους βασικούς λόγους για τους οποίους τα ελληνικά κτίρια είναι ιδιαίτερα ενεργοβόρα είναι η παλαιότητά τους και η μη ενσωμάτωση σύγχρονης τεχνολογίας σε αυτά λόγω έλλειψης σχετικής νομοθεσίας τα τελευταία 30 χρόνια.

Στόχος της παρούσας εργασίας είναι αρχικά η συλλογή και καταγραφή των προτεινόμενων εναλλακτικών επεμβάσεων για την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση εκπομπών στον οικιακό τομέα που έχουν προταθεί από διάφορους ερευνητές/φορείς και στη συνέχεια η αξιολόγησή τους με στόχο τον προσδιορισμό του οικονομικά αποτελεσματικότερου σχεδίου δράσης, λαμβάνοντας υπόψη και την παράμετρο της αβεβαιότητας των δεδομένων.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

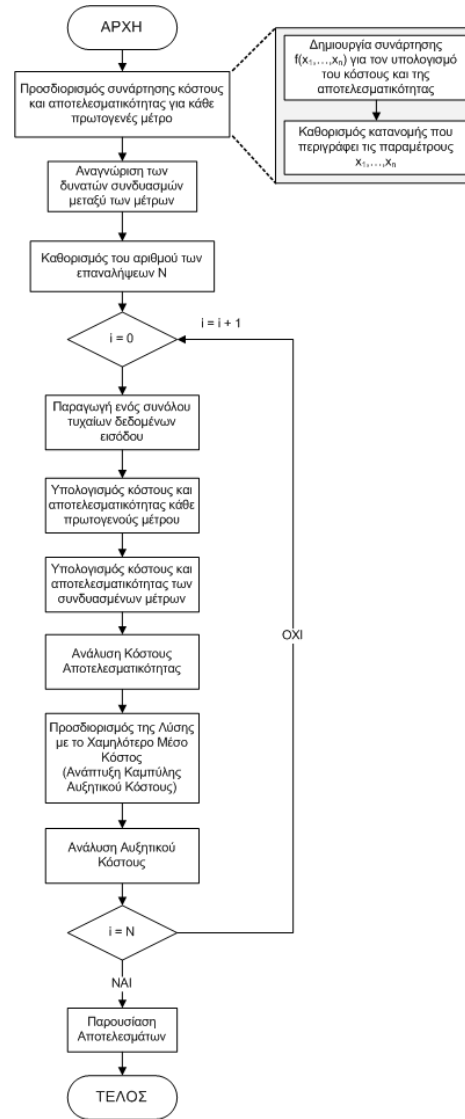
Για την αξιολόγηση των εναλλακτικών επεμβάσεων χρησιμοποιείται η ανάλυση κόστους αποτελεσματικότητας και η ανάλυση αυξητικού κόστους. Ο αλγόριθμος (Σχήμα 1), στον οποίο βασίζεται η διαδικασία αξιολόγησης, προέρχεται από μια δημοσίευση του Ινστιτούτου Υδατικών Πόρων του Σώματος Μηχανικού του Στρατού των ΗΠΑ (Orth, 1994). Η εφαρμοσιμότητά του σε περιβαλλοντικά προβλήματα σχεδιασμού καταδεικνύεται από την παρατήρηση των Carlson και Palesh (1993) ότι η ανάλυση κόστους αποτελεσματικότητας και η ανάλυση αυξητικού κόστους αποτελούν δύο βασικές έννοιες για την αξιολόγηση εναλλακτικών περιβαλλοντικών επεμβάσεων. Ο αλγόριθμος αυτός επεκτείνεται στα πλαίσια της παρούσας εργασίας ενσωματώνοντας την εκτίμηση και αξιολόγηση της αβεβαιότητας που εμπεριέχεται στον υπολογισμό του κόστους και της αποτελεσματικότητας των διαφόρων επεμβάσεων (Σχήμα 2).



Σχήμα 1: Ανάλυση Κόστους-Αποτελεσματικότητας και Ανάλυση Αυξητικού Κόστους

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται η μέθοδος Monte Carlo, η οποία εισάγει την επαναληπτική εκτέλεση του αλγορίθμου και τον προσδιορισμό της μορφής της στατιστικής κατανομής που περιγράφει τις μεταβλητές εξόδου, δηλαδή του συνολικού κόστους και της συνολικής αποτελεσματικότητας.

Τα συγκριτικά πλεονεκτήματα της συγκεκριμένης προσέγγισης, ως προς τις παραδοσιακές τεχνικές οικονομικής αξιολόγησης, είναι η ευκολία εφαρμογής της και η ικανότητά της να καθορίζει τις καταλληλότερες δράσεις μέσα από μια σύντομη και απλή διαδικασία. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος κόστους-αποτελεσματικότητας δεν προτείνει μια «άριστη» ή «ιδανική» λύση αλλά παρέχει μια βάση σύγκρισης των μεταβολών κόστους και αποτελεσματικότητας και μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερη επιλογή μεταξύ εναλλακτικών λύσεων (Yoe, 1992). Ως κόστος συνήθως ορίζεται το άμεσο κόστος εφαρμογής μιας επέμβασης, ενώ η αποτελεσματικότητα εκφράζεται σε όρους κάποιου φυσικού μεγέθους (π.χ. παραγόμενη ενέργεια, εκπομπές ρύπων) που σχετίζεται με την εφαρμογή της (RPA, 2004). Τα εννέα διακριτά βήματα από τα οποία αποτελείται ο αλγόριθμος, μπορούν, για την καλύτερη κατανόησή του, να χωριστούν σε τέσσερα επιμέρους στάδια. Το πρώτο στάδιο έχει ως στόχο την εκτίμηση του κόστους και της αποτελεσματικότητας όλων των μέτρων, και τη δημιουργία όλων των εφικτών λύσεων, συνδυάζοντας τα μέτρα αυτά. Στο δεύτερο στάδιο πραγματοποιείται η ανάλυση κόστους αποτελεσματικότητας, με στόχο την απόρριψη των οικονομικά μη αποτελεσματικών και μη αποδοτικών λύσεων. Ως οικονομικά μη αποτελεσματικές ορίζονται οι λύσεις που, για την ίδια αποτελεσματικότητα έχουν μεγαλύτερο κόστος, ενώ οικονομικά μη αποδοτικές είναι οι λύσεις που για το ίδιο κόστος, εμφανίζουν μικρότερη αποτελεσματικότητα. Το τρίτο στάδιο υπολογίζει το μέσο κόστος των οικονομικά αποδοτικών και αποτελεσματικών λύσεων, με στόχο την απόρριψη των λύσεων που έχουν χαμηλότερο συνολικό κόστος αλλά είναι οικονομικά μη αποδοτικές.



Σχήμα 2: Αλγόριθμος υπολογιστικού εργαλείου αξιολόγησης εναλλακτικών δράσεων

Στο τέταρτο στάδιο, οι λύσεις που έχουν προκύψει συγκρίνονται με βάση το αυξητικό κόστος, ώστε να προσδιοριστεί αν το επόμενο επίπεδο αποδοτικότητας δικαιολογεί το επιπλέον οικονομικό κόστος. Ως αυξητικό κόστος ορίζεται το πηλίκο της διαφοράς στο κόστος δύο διαδοχικών λύσεων προς τη διαφορά τους σε αποδοτικότητα. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρουσιάζονται σε ένα ραβδόγραμμα, όπου κάθε στήλη στο γράφημα εκφράζει το αυξητικό κόστος και την αποτελεσματικότητα της αντίστοιχης λύσης. Η διαφορά ύψους μεταξύ δύο διαδοχικών στηλών υποδηλώνει το επιπλέον κόστος που απαιτείται ώστε να επιτευχθεί το επόμενο επίπεδο αποτελεσματικότητας. Το γράφημα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη αποφάσεων και τον καθορισμό του τελικού σχεδίου δράσης καθώς πιθανές ανωμαλίες ή απότομες κορυφές και κατά συνέπεια ανώμαλη μετάβαση από το ένα επίπεδο στο άλλο υποδεικνύουν τις οικονομικά ασύμφορες λύσεις.

Η διαδικασία αξιολόγησης υλοποιείται με τη βοήθεια ενός υπολογιστικού εργαλείου, το οποίο αναπτύχθηκε από τη Μονάδα Διαχείρισης Ενεργειακών και Περιβαλλοντικών Συστημάτων (ΜΔΕΠΣ) της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

Η μείωση στην κατανάλωση ενέργειας της τελικής ενεργειακής χρήσης X που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ενός μέτρου εξοικονόμησης δίνεται από μια σχέση της μορφής:

$$E = Ener \times Sav \quad (1)$$

όπου

- $Ener$: το δυναμικό εξοικονόμησης, το οποίο εκφράζεται ως η συνολική καταναλισκόμενη ενέργεια για τη χρήση X και
- Sav : το ποσοστό εξοικονόμησης ενέργειας που επιτυγχάνεται με την εφαρμογή του μέτρου.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας γίνεται η παραδοχή ότι η συμπεριφορά των δύο αβέβαιων αυτών μεταβλητών καθώς και του κόστους υλοποίησης των επεμβάσεων περιγράφεται από μια τριγωνική κατανομή.

Οι χρήσεις που παρουσιάζουν το μεγαλύτερο περιθώριο εξοικονόμησης στον οικιακό τομέα είναι η θέρμανση χώρων και η θέρμανση του νερού χρήσης. Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά μεγέθη της κατανομής που περιγράφει την ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά κατοικία για κάθε τελική χρήση (ΣΕΕΣ, 2008, ΥΠΑΝ, 2008).

Πίνακας 1: Τυπική κατανάλωση ενέργειας ανά κατοικία για τις σημαντικότερες τελικές χρήσεις

A/A	Χρήση	Ετήσια Κατανάλωση Ενέργειας ($Ener$) (kWh)	
		Εύρος	Κορυφή
X1	Φωτισμός	400-1200	600
X2	Θέρμανση Νερού	1200-1500	1300
X3	Θέρμανση Χώρου	10000-20000	12500
X4	Δροσισμός Χώρου	200-300	250
X5	Ψύξη	800-900	850
X6	Πλύση Πιάτων	100-130	110
X7	Πλύση Ρούχων	180-220	200

Οι προτεινόμενες εναλλακτικές επεμβάσεις που επιλέγονται στοχεύουν στη μείωση της καταναλισκόμενης ενέργειας σε όλες τις χρήσεις. Συγκεντρώθηκαν μετά από εκτενή

βιβλιογραφική έρευνα σε επίσημες εκθέσεις (ΥΠΙΑΝ, 2008, ΣΕΕΣ, 2009), μελέτες (ΕΑΑ, 2008), επιστημονικά άρθρα (Balaras et al, 2007, Gaglia et al., 2007, Γαγλία, 2008) και άρθρα του ημερήσιου τύπου (Φιντικιάκης, 2009, Καρανίκας, 2009, Τζαναβάρα 2010) για την περίοδο 2007-2010.

Για κάθε μια από αυτές καταγράφονται το ποσοστό εξοικονόμησης, το οποίο εκφράζεται ως η εκτιμώμενη εξοικονόμηση ενέργειας μετά την εφαρμογή του μέτρου σε σχέση με την αρχική κατανάλωση, και το κόστος υλοποίησής τους. Στον Πίνακα 2 συνοψίζονται όλες οι επεμβάσεις καθώς και οι τιμές για τα χαρακτηριστικά μεγέθη της κατανομής.

Πίνακας 2: Προτεινόμενες επεμβάσεις εξοικονόμησης ενέργειας στον οικιακό τομέα

Α/Α	Επέμβαση	Ποσοστό		Κόστος		Χρόνος Ζωής (Ετη)
		Εξοικονόμησης (<i>Sav</i>)		Εφαρμογής (<i>Cost</i>) (€)		
		Εύρος	Κορυφή	Εύρος	Κορυφή	
M1	Αντικατάσταση Λαμπτήρων	50%-80%	60%	60-120	100	10
M2	Θερμομόνωση Εξωτερικών Τοίχων	33%-60%	35%	3300-7000	5000	30
M3	Θερμομόνωση Οροφής	2%-15%	8%	3000-5000	4000	30
M4	Στεγάνωση Ανοιγμάτων	16%-21%	18%	20	20	2
M5	Σκίαστρα -Τέντες	10%-20%	15%	300-750	600	10
M6	Διπλά Τζάμια	15%-25%	20%	600-3000	2000	30
M7	Ανεμιστήρες Οροφής	40%-60%	50%	40-150	100	10
M8	Αντικατάσταση Ψυγείων	30%-60%	40%	600-2000	1000	15
M9	Αντικατάσταση Πλυντηρίων Ρούχων	25%-50%	35%	300-700	450	12
M10	Αντικατάσταση Πλυντηρίων Πιάτων	25%-40%	32%	300-600	400	12
M11	Αντικατάσταση Λέβητα με Νέο Ντιζέλ	15%-17%	16%	2000-6000	3500	25
M12	Αντικατάσταση Λέβητα με Νέο Φ.Α.	16%-30%	18%	2000-6000	4000	25
M13	Συστήματα Ηλιακής Θέρμανσης Νερού	40%-80%	60%	600-1000	750	10

ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΩΝ ΕΠΕΜΒΑΣΕΩΝ

Η αξιολόγηση των επεμβάσεων για το καθορισμό του πιο οικονομικά αποτελεσματικού συνδυασμού γίνεται σε επίπεδο κατοικίας. Για κάθε μια από τις επεμβάσεις υπολογίζονται 3 μεγέθη:

- Ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας ανά κατοικία.
- Ετήσια μείωση εκπομπών CO₂ ανά κατοικία (θεωρώντας το συντελεστή εκπομπής του πετρελαίου ίσο με 0.277 kgCO₂/kWh, του φυσικού αερίου ίσο με 0.201 kgCO₂/kWh και της ηλεκτρικής ενέργειας ίσο με 1.09 kgCO₂/kWh).
- Ισοδύναμο ετήσιο κόστος, το οποίο προκύπτει διαιρώντας το συνολικό κόστος υλοποίησης της επέμβασης με το χρόνο ζωής της.

Το συνολικό κόστος ενός συνδυασμού μέτρων προκύπτει αθροίζοντας το επιμέρους ετήσιο

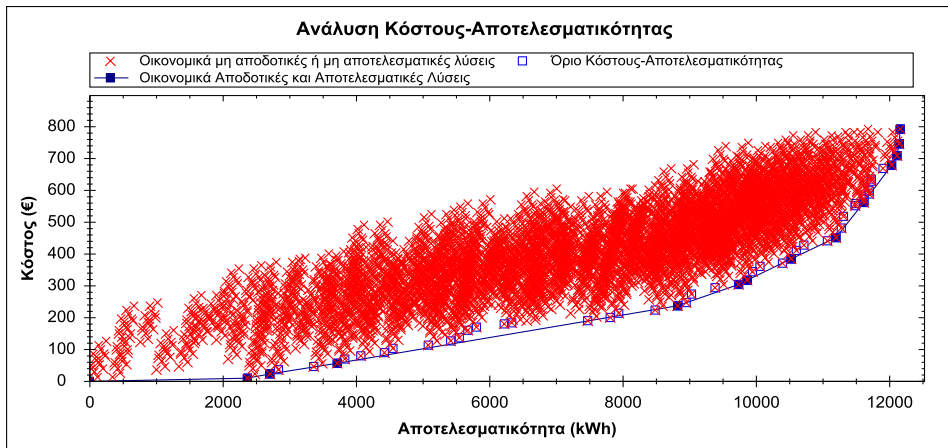
κόστος κάθε μέτρου ενώ η συνολική εξοικονόμηση ενέργειας (ΣE) από τη σχέση:

$$\Sigma E = \sum_{i=1}^N \left[Ener_i \times \left(1 - \prod_{j=1}^M (1 - Sav_j) \right) \right] \quad (2)$$

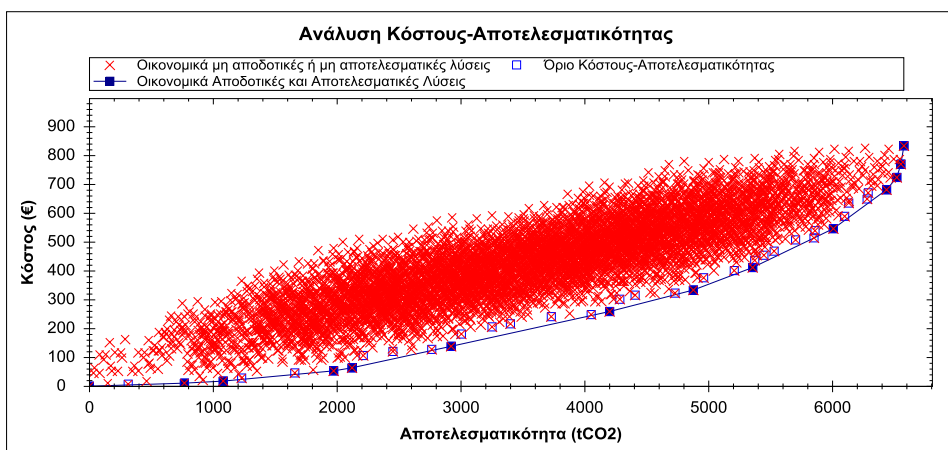
όπου

- N : το πλήθος των διαφορετικών τελικών χρήσεων
- M : το πλήθος των εναλλακτικών επεμβάσεων που αναφέρονται στη χρήση i .

Στη συνέχεια, οι επεμβάσεις αξιολογούνται δύο φορές με τη χρήση του αλγορίθμου που περιγράφηκε στο Σχήμα 2. Την πρώτη φορά, η αποτελεσματικότητα εκφράζεται σε όρους εξοικονόμησης ενέργειας και τη δεύτερη σε όρους μείωσης εκπομπών CO₂. Έτσι προκύπτει το σύνολο των προτεινόμενων επεμβάσεων, το οποίο διαφέρει κάθε φορά ανάλογα με το στόχο. Για την αντιμετώπιση της αβεβαιότητας στις τιμές των παραμέτρων, πραγματοποιούνται 1000 επαναλήψεις. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στα σχήματα που ακολουθούν, αφορούν το σύνολο των λύσεων με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης.

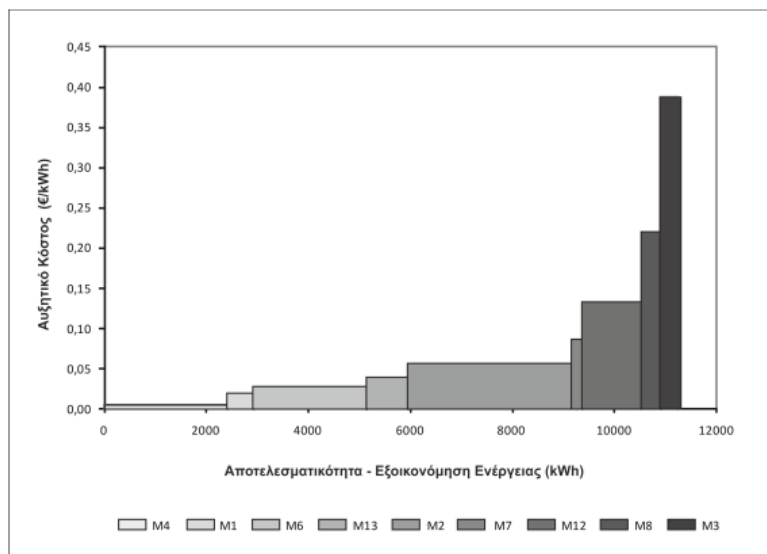


Σχήμα 3: Ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας στη βάση της εξοικονόμησης ενέργειας.

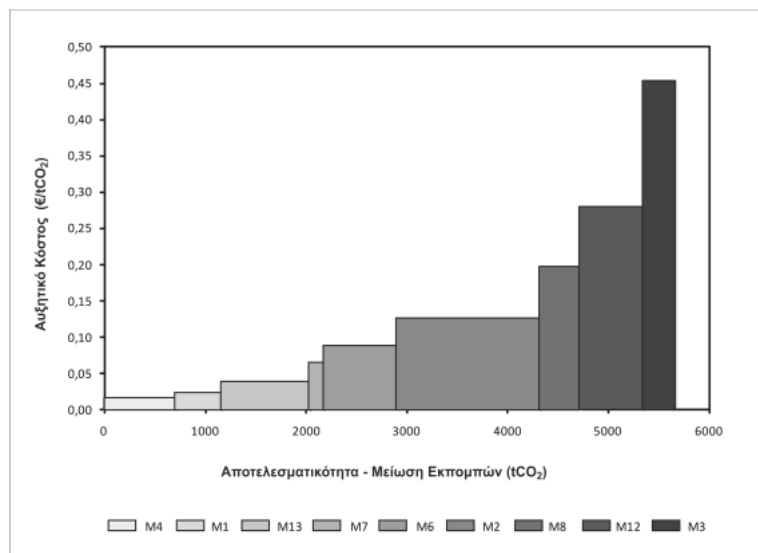


Σχήμα 4: Ανάλυση κόστους-αποτελεσματικότητας στη βάση της μείωσης εκπομπών.

Τα Σχήματα 3 και 4 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της ανάλυσης κόστους αποτελεσματικότητας. Από τις 6140 πιθανές και αποδεκτές λύσεις (συνδυασμούς επεμβάσεων), οι δώδεκα αναγνωρίζονται ως οικονομικά αποδοτικές και αποτελεσματικές. Με βάση την καμπύλη του αυξητικού κόστους (Σχήματα 5-6), εννέα από αυτές επιλέγονται ως οικονομικά συμφέρουσες και αποτελούν το τελικό σχέδιο δράσης. Επίσης από το σχήμα αυτό προσδιορίζεται το συνολικό κόστος που απαιτείται για να επιτευχθεί ένα συγκεκριμένο επίπεδο εξοικονόμησης ενέργειας ή μείωσης εκπομπών.



Σχήμα 5: Ανάλυση αυξητικού κόστους στη βάση της εξοικονόμησης ενέργειας.



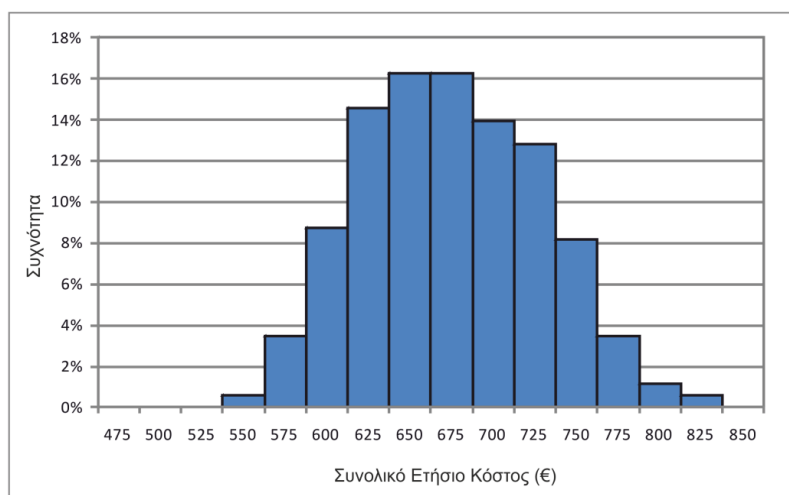
Σχήμα 6: Ανάλυση αυξητικού κόστους στη βάση της μείωσης εκπομπών.

Στον Πίνακα 3 συγκρίνεται η σειρά κατάταξης των επεμβάσεων στις δύο διαφορετικές προσεγγίσεις. Διαπιστώνεται πως η αντικατάσταση των λαμπτήρων και η στεγάνωση των ανοιγμάτων είναι κοινές και στις δύο λίστες ως οι πιο συμφέρουσες ενώ η αντικατάσταση των πλυντηρίων πιάτων και ρούχων και η τοποθέτηση σκίαστρων είναι οι πιο οικονομικά ασύμφορες.

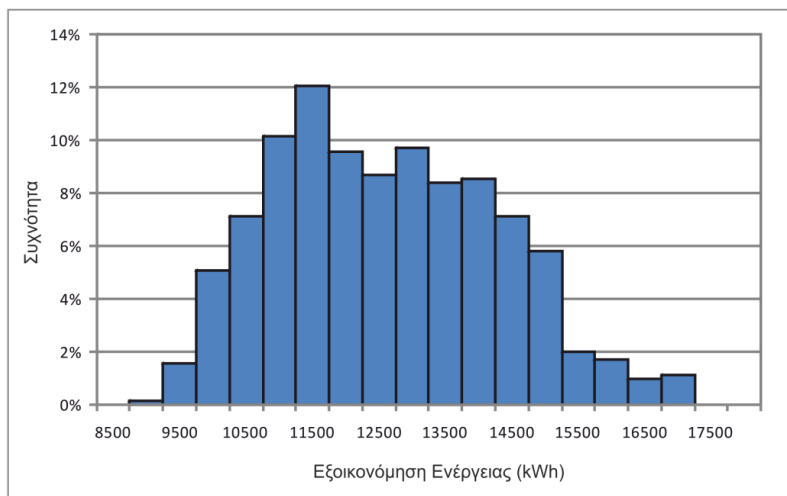
Πίνακας 3: Προτεινόμενο σύνολο επεμβάσεων

Με βάση την ενέργεια	Με βάση τις εκπομπές
M4 Στεγάνωση Ανοιγμάτων	M4 Στεγάνωση Ανοιγμάτων
M1 Αντικατάσταση Λαμπτήρων	M1 Αντικατάσταση Λαμπτήρων
M6 Διπλά Τζάμια	M13 Ηλιακοί Θερμοσίφωνες
M13 Ηλιακοί Θερμοσίφωνες	M7 Ανεμιστήρες Οροφής
M2 Θερμομόνωση Εξωτερικών Τοίχων	M6 Διπλά Τζάμια
M7 Ανεμιστήρες Οροφής	M2 Θερμομόνωση Εξωτερικών Τοίχων
M12 Αντικατάσταση Λέβητα με Νέο Φ.Α.	M12 Αντικατάσταση Λέβητα με Νέο Φ.Α.
M8 Αντικατάσταση Ψυγείων	M8 Αντικατάσταση Ψυγείων
M3 Θερμομόνωση Οροφής	M3 Θερμομόνωση Οροφής
Οικονομικά μη αποτελεσματικές και στις δύο περιπτώσεις	
M9 Πλυντήρια Ρούχων	M9 Πλυντήρια Ρούχων
M10 Πλυντήρια Πιάτων	M10 Πλυντήρια Πιάτων
M5 Σκίαστρα -Τέντες	M5 Σκίαστρα -Τέντες

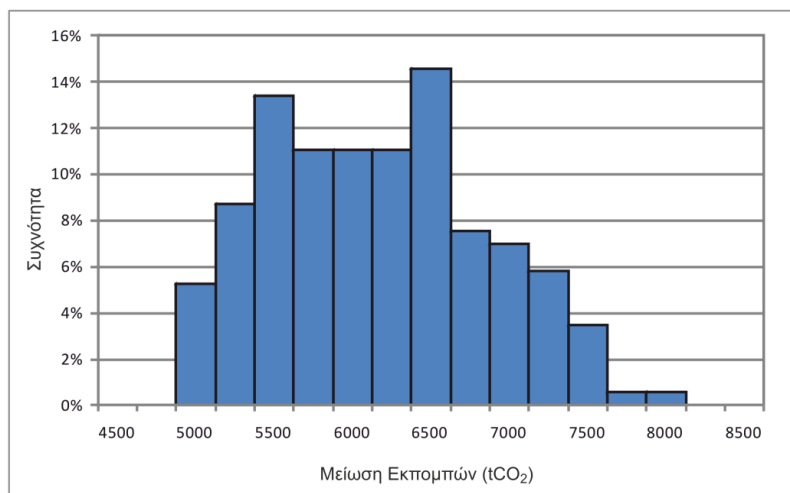
Τα Σχήματα 7-9 παρουσιάζουν την κατανομή του συνολικού ετήσιου κόστους και της συνολικής αποτελεσματικότητας (εξοικονόμηση ενέργειας ή μείωση εκπομπών) μετά την εφαρμογή του συνολικού σχεδίου δράσης για τις δύο προσεγγίσεις. Το ύψος κάθε στήλης εκφράζει το ποσοστό των τιμών οι οποίες βρίσκονται στο διάστημα που προσδιορίζεται από το πλάτος της στήλης. Η τιμή που αντιστοιχεί στο μέσο του εύρους κάθε στήλης εμφανίζεται στον οριζόντιο άξονα.



Σχήμα 7: Κατανομή του συνολικού ετήσιου κόστους.

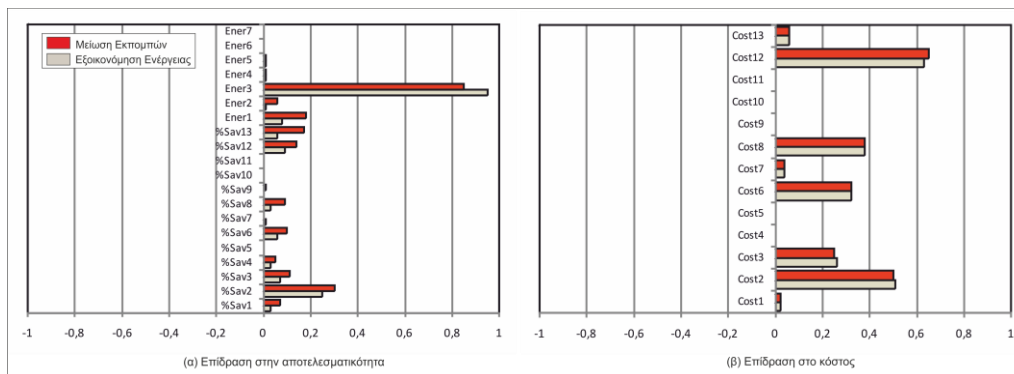


Σχήμα 8: Κατανομή της συνολικής εξοικονόμησης ενέργειας.



Σχήμα 9: Κατανομή της συνολικής μείωσης εκπομπών.

Η μορφή της κατανομής για την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση εκπομπών προσεγγίζει και στις δύο περιπτώσεις μια θετικά ασύμμετρη κατανομή. Η μέση ετήσια εξοικονόμηση ενέργειας είναι 12300 kWh και η τυπική απόκλιση είναι 1690 kWh ενώ το 50% των επαναλήψεων κυμαίνεται από 11000 μέχρι 13600 kWh. Αντίστοιχα, η μέση ετήσια μείωση εκπομπών είναι 5900 tCO₂ και η τυπική απόκλιση είναι 696 tCO₂ ενώ στο 50% των επαναλήψεων η μείωση κυμαίνεται μεταξύ 5500 tCO₂ και 6500 tCO₂. Αντίθετα, το μέσο ετήσιο κόστος προσεγγίζεται από μια τριγωνική κατανομή. Το μέσο ετήσιο κόστος είναι της τάξης των 660€ και η τυπική του απόκλιση είναι 53€, ενώ ξεπερνά τα 700€ στο 25% των επαναλήψεων.



Σχήμα 10: Επίδραση των αβέβαιων παραμέτρων στο συνολικό κόστος.

Η επίδραση των διαφόρων παραμέτρων στη διαμόρφωση του συνολικού κόστους και της αποτελεσματικότητας παρουσιάζεται στα διαγράμματα Tornado του Σχήματος 10. Τα διαγράμματα αυτά παρουσιάζουν τη σχετική συνεισφορά της αβεβαιότητας κάθε παραμέτρου στη μεταβλητότητα του κόστους και της αποτελεσματικότητας. Στον οριζόντιο άξονα δεν υπάρχουν μονάδες, καθώς ο άξονας αυτός εκφράζει μια σχετική ένδειξη της συμβολής κάθε παραμέτρου. Όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος της οριζόντιας στήλης, τόσο μεγαλύτερη είναι και η συμβολή της παραμέτρου, που αντιστοιχεί στη στήλη αυτή, στη μεταβλητότητα του συνολικού κόστους.

Από την ανάλυση προκύπτει πως η παράμετρος που επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό την αποτελεσματικότητα είναι το δυναμικό εξοικονόμησης για την περίπτωση της θέρμανσης χώρου. Αυτό είναι αναμενόμενο καθώς πρόκειται για την τελική χρήση με τη μεγαλύτερη κατανάλωση και με το μεγαλύτερο εύρος στην κατανομή. Σημαντική επίδραση έχει και το κόστος της θερμομόνωσης οροφής, γεγονός το οποίο επιβεβαιώνεται καθώς σε ένα σημαντικό αριθμός επαναλήψεων η επέμβαση αυτή ήταν σε υψηλότερη θέση στο τελικό σχέδιο δράσης. Όσον αφορά στο συνολικό ετήσιο κόστος οι σημαντικότεροι παράμετροι στη διαμόρφωση της τελικής τιμής είναι το κόστος της θερμομόνωσης και της αγοράς νέου λέβητα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε μια απλή και εύχρηστη μεθοδολογική προσέγγιση για την αξιολόγηση εναλλακτικών επεμβάσεων εξοικονόμησης υπό συνθήκες αβεβαιότητας. Η προσέγγιση αυτή εφαρμόστηκε για την αξιολόγηση επεμβάσεων με βάση την εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση εκπομπών στον οικιακό τομέα. Τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια και για τα δύο κριτήρια. Οι λύσεις που προτείνονται ως οι πιο αποτελεσματικές είναι απλές επεμβάσεις χαμηλού κόστους (στεγάνωση ανοιγμάτων, αντικατάσταση λαμπτήρων). Για περαιτέρω μείωση της κατανάλωσης και των εκπομπών απαιτούνται μέτρα μεγαλύτερης κλίμακας, τα οποία διαφέρουν ελαφρώς ανάλογα με το στόχο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Τίγκας Κ., Γιαννακίδης Γ., Δαμασιώτης Μ., Σιάκκης Φ., Βάσσοι Σ. και Κίλιας Β., “Ανάλυση του ελληνικού συστήματος ηλεκτροπαραγωγής εν όψει των στόχων του Κιότο”, *Διημερίδα ΤΕΕ “Αιγνίτης και φυσικό αέριο στην ηλεκτροπαραγωγή της χώρας”*. Αθήνα (2005).
- [2] Συμβούλιο Εθνικής Ενεργειακής Στρατηγικής, “Μέτρα και Μέσα για μια Βιώσιμη και Ανταγωνιστική Ενεργειακή Πολιτική”, Αθήνα, (2008).

- [3] Orth K., "Cost Effectiveness Analysis for Environmental Analysis for Environmental Studies: Nine Easy Steps", Army Engineer Institute for Water Resources, IWR Report 94-PS-2, Virginia (1994).
- [4] Carlson B. and Palesh G., "Bussey Lake: Demonstration Study of Incremental Analysis in Environmental Planning", Army Engineer Institute for Water Resources, Virginia (1993).
- [5] Yoe C., "Incremental Cost Analysis Primer for Environmental Resources Planning", U.S. Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Virginia, 1992.
- [6] RPA, "CEA and Developing a Methodology for Assessing Disproportionate Costs", Final Report for Defra, WAG, SE and DOENI, 2004.
- [7] Υπουργείο Ανάπτυξης, "Μελέτη Ανάλυσης του Ελληνικού Ενεργειακού Συστήματος εν όψει των Νέων Εθνικών Στόχων για τον Περιορισμό των Εκπομπών Αερίων του Θερμοκηπίου από τον Ενεργειακό Τομέα, τη Διείσδυση των ΑΠΕ και την Εξοικονόμηση Ενέργειας", Αθήνα (2008).
- [8] Συμβούλιο Εθνικής Ενεργειακής Στρατηγικής, "Μακροχρόνιος ενεργειακός σχεδιασμός - Έκθεση 2009", Αθήνα (2009).
- [9] Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, "Διαδικασία εξόρυξης και ανάλυσης στοιχείων για το κτιριακό απόθεμα και την ενεργειακή του απόδοση", Ομάδα Εξοικονόμησης Ενέργειας, Ινστιτούτο Μελετών Περιβάλλοντος και Βιώσιμης Ανάπτυξης, (2008).
- [10] Balaras C., Gaglia A., Georgopoulou E., Mirasgedis S., Sarafidis Y. and Lalas D., *Build. Environ.*, **42**(3):1298-1314 (2007).
- [11] Gaglia A., Balaras C., Mirasgedis S., Georgopoulou E., Sarafidis Y. and Lalas D., *Energy Convers. Manage.*, **48**(4):1160-1175 (2007).
- [12] Γαγλία Α., "Δυναμικό Εξοικονόμησης Ενέργειας-Υπολογιστικές Μεθοδοί Ενεργειακών Επιθεωρήσεων στα Κτίρια", *2η Εβδομάδα Ενέργειας IENE*, Αθήνα (2008).
- [13] Φιντικάκης Γ. "Ευρω-τσέκ για εξοικονόμηση ενέργειας στα σπίτια", Εφημερίδα ΤΑ ΝΕΑ, 14 Φεβρουαρίου 2009.
- [14] Καρανίκας Χ., "«Πράσινα» σπίτια που κάνουν οικονομία", Εφημερίδα ΤΑ ΝΕΑ, 13 Ιουνίου 2009.
- [15] Τζαναβάρα Χ., "Το πανόραμα των «πράσινων» παρεμβάσεων στις οικοδομές", Εφημερίδα Ελευθεροτυπία, 4 Ιουλίου 2010.