



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Διπλωματική Εργασία**

**Αξιολόγηση διαφορετικών υλικών τοιχοποιίας μονής στρώσης με  
μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης αποφάσεων**

**Συγγραφέας:**

**Παναγιώτης-Ελευθέριος**

**Παππάς**

**ΑΜ: 18394005**

**Επιβλέπων: Ισαάκ Βρυζίδης Επίκουρος Καθηγητής ΠΑΔΑ**

**Αθήνα, Σεπτέμβριος 2023**



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA  
SCHOOL  
DEPARTMENT**

**Diploma Thesis**

**Evaluation of alternative renovation solutions for a façade wall of  
an existing single-family house with Multi-criteria decision-  
making methods**

**Author:**

**Panagiotis – Eleftherios**

**Pappas**

**Registration Number: 18394005**

**Supervisor: Isaak Vrizidis**

**Assistant Professor University**

**of West Attica**

**Athens, September 2023**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ  
ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**Τίτλος εργασίας:**

**Αξιολόγηση διαφορετικών υλικών τοιχοποιίας  
μονής στρώσης με μεθόδους πολυκριτηριακής  
ανάλυσης αποφάσεων**

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

<b>A/a</b>	<b>ΟΝΟΜΑ/ΕΠΩΝΥΜΟ</b>	<b>ΒΑΘΜΙΑΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ</b>	<b>ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ</b>
1	ΙΣΑΑΚ ΒΡΥΖΙΔΗΣ	Επίκουρος Καθηγητής (Επιβλέπων)	
2	ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΡΕΠΑΠΗΣ	Αναπληρωτής Καθηγητής (Εξεταστής)	
3	ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΣ	Καθηγητής (Εξεταστής)	

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Παναγιώτης – Ελευθέριος Παππάς του Θωμά, με αριθμό μητρώου 18394005 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Πολιτικών Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

Δηλώνω πως είμαι ο συγγραφέας της παρούσας διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε είδους υποστήριξη που έλαβα για την προετοιμασία της, αναγνωρίζεται πλήρως και αναφέρεται μέσα στο κείμενο της εργασίας. Επιπλέον, όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για δεδομένα, ιδέες ή λέξεις, είτε αυτές αναπαράγονται αυτολεξεί είτε αναφέρονται με διαφορετικό τρόπο, περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία της εργασίας, με αναλυτική αναφορά στους συγγραφείς, τους εκδοτικούς οίκους ή τα περιοδικά, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως αναζητήθηκαν μέσω του διαδικτύου. Εξίσου, δηλώνω ότι η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική μου ιδιοκτησία, καθώς και του αντίστοιχου εκπαιδευτικού ιδρύματος. Οποιαδήποτε παραβίαση της ακαδημαϊκής ευθύνης όπως περιγράφεται εδώ αποτελεί θεμελιώδη λόγο για την αφαίρεση του ακαδημαϊκού τίτλου που κατέχω.

Ο Δηλών

**Παναγιώτης-Ελευθέριος Παππάς**



## Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν διάφορες μέθοδοι πολυκριτήριας ανάλυσης οι οποίες βρίσκουν καθημερινά εφαρμογή σε πολλούς τομείς όπου η λήψη σύνθετων αποφάσεων κρίνεται απαραίτητη. Ένας από τους πιο σημαντικούς κλάδους στον οποίο αξιοποιούνται οι MCDMs είναι αυτός του πολιτικού μηχανικού. Στο πρώτο μέρος της εργασίας αυτής ασχοληθήκαμε με την εύρεση ιστορικών στοιχείων για τις πολυκριτήριες μεθόδους, την ανάδειξη της σημαντικότητας του MCDA , αλλά και πώς μπορούμε να τις ταξινομήσουμε με βάση τα διαφορετικά χαρακτηριστικά τους. Στο δεύτερο κομμάτι παρουσιάστηκαν οι πιο γνωστές και συνήθεις MCDMs και επίσης αναλύθηκε η εφαρμογή των μεθόδων λήψης αποφάσεων στον ευρύτερο κατασκευαστικό κλάδο. Στο τρίτο μέρος της εργασίας μελετήθηκαν οι διαθέσιμες επιλογές για έναν τοίχο πρόσοψης υφιστάμενης μονοκατοικίας ο οποίος έχρηζε ανακαίνισης λόγω παλαιότητας και ελλιπούς μόνωσης. Δόθηκαν τρεις λύσεις για κατασκευή τοίχων μονής στρώσης : Κεραμικά με ορυκτοβάμβακα, Κυψελωτό σκυρόδεμα, Μπετόν Leca με ένθετο φελιζόλ οι οποίες αξιολογήθηκαν με μεθόδους πολυκριτηριακής ανάλυσης (εύρεση βάρους με τη μέθοδο WAP ,στατική επίλυση μέσω μαθηματικών τύπων , επίλυση με τη μεθοδο PROMETHEE II μέσω της διαθέσιμης εφαρμογής της μεθόδου και με τη μέθοδο PROMETHEE σε excel). Και οι τρεις μέθοδοι αξιολόγησης είχαν πολύ κοντινά αποτελέσματα όπου οι επικρατέστερη λύση φαίνεται να είναι το κυψελωτό σκυρόδεμα..

**Λέξεις Κλειδιά:** πολυκριτήρια ανάλυση, δομικά υλικά, εξωτερικοί τοίχοι, μέθοδος WAP, μέθοδος PROMETHEE

## **Abstract**

In this thesis, various methods of multi-criteria analysis were studied, which find daily application in many areas, where the making of complex decisions is deemed necessary. One of the most important branches in which MCDMs are used is that of civil engineering. In the first part of this essay, we dealt with finding historical evidence for multi-criteria methods, highlighting the importance of MCDA, but also, how we can classify them based on their different characteristics. In the second part, the most well-known and common MCDMs were presented and also the application of decision-making methods in the wider construction industry was analyzed. In the third part of this thesis, the available options were studied for a facade wall of an existing single-family house that needed renovation due to age and insufficient insulation. Three solutions were given for the construction of single-layer walls: Ceramics with mineral wool, Cellular concrete, Leca concrete with styrofoam insert, which were evaluated with multi-criteria analysis methods (finding weights with the WAP method, static solution through mathematical formulas, solution with the PROMETHEE II method through the available application of the method and with the PROMETHEE method in excel). All three evaluation methods had very close results, where the predominant solution seems to be cellular concrete.

**Keywords: multi-criteria analysis, building materials, external walls, WAP method PROMETHEE method**

## Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή στην πολυκριτηριακή ανάλυση λήψης αποφάσεων....	7
1.1. Εισαγωγικές παρατηρήσεις.....	7
1.2. Αξιοσημείωτα συνέδρια λήψης αποφάσεων.....	8
1.3. Πλεονεκτήματα χρήσης της πολυκριτηριακής ανάλυσης.....	8
1.4. Τρόποι ταξινόμησης των MCDM.....	11
Κεφάλαιο 2. Εφαρμογή μεθόδων πολυκριτηριακής ανάλυσης στον κατασκευαστικό κλάδο.....	13
2.1. Παρατηρήσεις.....	13
Κεφάλαιο 3. Μελέτη περίπτωσης.....	20
3.1. Εισαγωγικές παρατηρήσεις.....	20
3.2. Διαφορετικές κατηγορίες τοιχοποιίας και υλικών.....	21
3.3. Εναλλακτικές προτάσεις υλικών για τοίχους μονής στρώσης.....	22
3.4. Τεχνικά χαρακτηριστικά των προτεινόμενων δομικών υλικών.....	24
Κεφάλαιο 4. Μεθοδολογίες ανάλυσης πολλαπλών κριτηρίων για επιλεγμένες παραλλαγές τοίχων.....	25
4.1. Εισαγωγικές Παρατηρήσεις.....	25
4.2. Weights Assessment through Prioritizations (WAP).....	25
4.3. Αριθμητική μέθοδος ταξινόμησης με χρήση κανονικοποίησης NeumannMorgestern.....	28
4.4. Μέθοδος PROMETHEE.....	29
Κεφάλαιο 5. Αξιολόγηση των Εναλλακτικών.....	34
5.1 Προσδιορισμός του βάρους των κριτηρίων με τη μέθοδο WAP.....	34
5.2. Εκτίμηση ιεράρχησης των εναλλακτικών χρησιμοποιώντας αριθμητική μέθοδο.....	36
5.3. Ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων για επιλεγμένες παραλλαγές τοίχων με τη μέθοδο PROMETHEE II.....	38
Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα.....	45
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	47

# Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή στην πολυκριτηριακή ανάλυση λήψης αποφάσεων

## 1.1. Εισαγωγικές παρατηρήσεις

Από την αρχαιότητα οι άνθρωποι εφάρμοζαν την ανάλυση δεδομένων με πολλαπλά κριτήρια για τη λήψη αποφάσεων και την επίλυση προβλημάτων της καθημερινότητας τους. Η παραπάνω τεχνική έχει οριστεί στον επιστημονικό κλάδο ως πολυκριτήρια ανάλυσης απόφασης (multi-criteria decision making, MCDM).

Τον 18ο αιώνα ο πολιτικός και επιστήμονας B. Franklin εφάρμοσε σε πρώιμο στάδιο μια εφαρμογή πολυκριτήριας ανάλυσης. Συγκεκριμένα συνήθιζε να καταγράφει διαφορετικά επιχειρήματα για αντίθετες απόψεις και να τα συγκρίνει μεταξύ τους. Αυτός ο τρόπος είχε ως αποτέλεσμα να υπερτερεί πάντα μία άποψη. Η άποψη για την οποία είχε παραπάνω επιχειρήματα θεωρούταν από τον ίδιο η απόφαση του. (Zionts, 1979)

Στις αρχές τις δεκαετίας του 50, πρώτοι οι Harrold Kuhn και Alber Tucker προσπάθησαν να βελτιστοποιήσουν τα προβλήματα πολυκριτήριας ανάλυσης εφαρμόζοντας το μη γραμμικό προγραμματισμό για πολλά κριτήρια παράλληλα. (Charnes, A., 1961). Στα επόμενα χρόνια άλλοι επιστήμονες όπως ο W.W. Cooper και ο Abraham Charnes ασχολήθηκαν με ζητήματα επιχειρησιακής έρευνας και δημιούργησαν το 1961 μια επωνυμία που ονομάστηκε «Προγραμματισμός Στόχων». (Charnes et al., 1978) Η παραπάνω επωνυμία έκανε πολλούς ερευνητές της εποχής να ασχοληθούν με αυτή καθώς συνεισέφερε σημαντικά στην επιστήμη διαχείρισης δεδομένων. Ο άνθρωπος ο οποίος ενδιαφέρθηκε ιδιαίτερα για το έργο των Cooper και Charnes ήταν ο Stan Zionts ο οποίος σε συνεργασία με εκείνους δημοσίευσε στα τέλη του 60 το μοντέλο «πολυκριτηριακής διαπραγμάτευσης».

Στο τέλος του 20ου αιώνα ο Zionts σε συνεργασία με τον J. Wallenius δημιούργησε μια μέθοδο επίλυσης σφαλμάτων που αφορούσαν τον γραμμικό προγραμματισμό. Ύστερα στην ερευνητική τους ομάδα προστέθηκε ο P. Korhonen. Η συνεργασία τους είχε ως αποτέλεσμα την υλοποίηση μοντέλων λήψης αποφάσεων σχετικά με τα μαθηματικά προβλήματα προγραμματιστικού ενδιαφέροντος. Τα παραπάνω είχαν ως αποτέλεσμα την προσέλκυση αρκετών ερευνητών στο συγκεκριμένο επιστημονικό πεδίο όπως τους C. Romera, J. Ignizio και S. M. Lee.

Ως προς την εξέλιξη του τομέα της επιχειρησιακής έρευνας, μεγάλη κρίνεται και η προσφορά του καθηγητή Ronald A. Howard. Πιο αναλυτικά καταγραφεται οτι αυτός χρησιμοποίησε για πρώτη φορά τον όρο «Ανάλυση αποφάσεων» και θεωρείται ένας από τους ιδρυτές του κλάδου της ανάλυσης αποφάσεων. Αναφορά αξίζει επίσης να γίνει στους



Ralph Keeney και Raiffa Hoard, οι οποίοι συνέγραψαν ένα βιβλίο σχετικό με την λήψη αποφάσεων έχοντας πολλαπλούς στόχους. Το έργο τους αυτό θεωρείται ότι έχει αποτελέσει σημαντικό πυλώνα στην ανάπτυξη της Θεωρίας Πολλαπλών Χαρακτηριστικών Αξίας (Multi Attribute Value Theory, MAVT). Αυτή η θεωρία αποτελεί θεμελιώδη ιδέα στην MCDA. Τέλος μεγάλης σημασίας κρίνεται επίσης η συνεισφορά του Bernard Roy στην διεύρυνση της MCDA. Αυτός ο καθηγητής ανέπτυξε την ELECTRE, η οποία αποτελεί μια αντισταθμιστική μέθοδο υποστήριξης της πολυκριτήριας ανάλυσης και αποτελεί μια οικογένεια μεθόδων που υπάγεται στην MCDA.

## **1.2. Αξιοσημείωτα συνέδρια λήψης αποφάσεων**

Η ανάπτυξη που γνώρισε ο συγκεκριμένος γνωστικός κλάδος είχε ως αποτέλεσμα την οργάνωση μια συνάντησης διαφόρων ερευνητών από τον Zionts το 1975. Το 1977 ο Buffalo διοργάνωσε μια αντίστοιχη συνάντηση με άλλους ερευνητές του γνωστικού πεδίου όπως οι S. Zionts, F. Gunter, A. Wierzbicki, T. Gal και J.Spronks. Το 1979, οι ίδιοι ερευνητές έλαβαν μέρος σε μια συνάντηση στο Konigswinter. Η συνάντηση αυτή αποσκοπούσε στην δημιουργία μιας Ομάδας Ειδικού Ενδιαφέροντος για τις μεθόδους πολυκριτηριακών αποφάσεων (MCDM), με τον Zionts ηγέτη της. Το τέταρτο συνέδριο πραγματοποιήθηκε το 1980 στο Delaware και το πέμπτο το 1982 στο Mons. Τα συνέδρια αυτά γίνονταν σε διάφορες χώρες της υφηλίου ανά δύο έτη και οι διοργανωτές ήταν διαφορετικοί ερευνητές. Τα επόμενα συνέδρια έλαβαν τόπο στο Οχάιο των ΗΠΑ (1984), στην Ιαπωνία (1986), στο Η.Β (1988), στην Βιρτζίνια των ΗΠΑ (1990), στην Ταϊβάν (1992), στην Πορτογαλία (1994), στην Γερμανία (1996), στην Νότια Αφρική (1997), στις ΗΠΑ (1998), στην Τουρκία (2000), στην Αυστρία (2002), στον Καναδά (2004), στην Ελλάδα (2006), στην Νέα Ζηλανδία (2008) και στην Κίνα (2009).

## **1.3. Πλεονεκτήματα χρήσης της πολυκριτηριακής ανάλυσης**

Η μέθοδος πολυκριτήριας ανάλυσης για την λήψη αποφάσεων έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλες μεθόδους καθώς είναι σαφής, ορθολογική, άπτεται σε πολλές διαφορετικές υποθέσεις και μπορεί να εφαρμοστεί σε πλήθος επιστημών. Η αρχή της μεθόδου μπορεί να περιγραφεί ως ιεράρχηση των πιθανών αποτελεσμάτων βάση της καταλληλότητάς τους, λαμβάνοντας υπόψη αντικρουόμενες παραμέτρους και με συνάφεια στους ζητούμενους στόχους. Κρίνεται απαραίτητο να γίνει αναφορά στα τέσσερα βασικά χαρακτηριστικά μιας τεχνικής που εφαρμόζει την μέθοδο της πολυκριτήριας ανάλυσης. Συγκεκριμένα οι τεχνικές εμπεριέχουν και επεξεργάζονται τις πιθανές εναλλακτικές, τα κριτήρια στα οποία βασίζεται η αξιολόγηση των πιθανών εναλλακτικών,

τα βάρη που καθορίζουν την αξία κάθε κριτηρίου και τέλος την αριθμητική επίλυση του προβλήματος με στόχο με την εύρεση της βέλτιστης λύσης (Celik, E., n.d.). Λόγω των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζει η μέθοδος πολυκριτήριας ανάλυσης και των χαρακτηριστικών που συμπεριλαμβάνει, θεωρείται μοντέλο που διευκολύνει την λήψη ορθών αποφάσεων. Για αυτόν τον λόγο, έχουν αναπτυχθεί πολλές τεχνικές, οι οποίες την εφαρμόζουν, μερικές εκ των οποίων αναπτύσσονται παρακάτω.

Αρχικά αναφέρεται η Ανάλυση Περιβάλλοντος Δεδομένων (DEA), η οποία αποτελεί μη παραμετρική μεθοδολογία. Συγκεκριμένα εφαρμόζεται για την εύρεση και τον καθορισμό της αποτελεσματικότητας μονάδων λήψης αποφάσεων και με αυτόν τον τρόπο δίνει ακριβή αποτελέσματα και συμπεράσματα σε πλαίσια επίλυσης προβλημάτων. Βασικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής, θεωρείται η δυνατότητα που παρέχει για ανάλυση πλήθους εισροών και εκροών (Charnes et al., 1978). Λόγω της ακρίβειας και της ευελιξίας της λοιπόν, χρησιμοποιείται σε πολλούς τομείς. Πιο αναλυτικά έχουν γίνει καταγραφές της εφαρμογής της σε διάφορους επιχειρηματικούς κλάδους, όπως στην ιατρική, στην οικονομία και στην επιστήμη των υπολογιστών.

Η TOPSIS αποτελεί μια ακόμα δημοφιλή μέθοδο πολυκριτήριας ανάλυσης αποφάσεων. Συγκεκριμένα η μέθοδος αυτή συγκρίνει εναλλακτικές επιλογές διατηρώντας ένα κριτήριο σταθερό. Οι δυνατότητες που παρέχει σε συνδυασμό με την ευκολία στην εφαρμογή της, την καθιστούν ιδιαίτερα δημοφιλή (Yahya et al., 2020). Μερικοί από τους τομείς στους οποίους βρίσκει εφαρμογή είναι η οικονομία και η τεχνολογία (Behzadian et al., 2012). Ωστόσο, αξίζει να αναφερθεί ότι η μέθοδος TOPSIS φαίνεται να μειονεκτεί στον καθορισμό των επιπέδων σπουδαιότητας των κριτηρίων.

Η επόμενη μέθοδος που θα μελετήσουμε είναι η ELECTRE, κατά την οποία γίνονται συγκρίσεις εναλλακτικών κατά ζεύγη βάση μεμονωμένων κριτηρίων. Πιο αναλυτικά συγκρίνει τα δεδομένα και καθορίζει τις κυρίαρχες εναλλακτικές με στόχο την τελική ιεραρχική κατάταξη (Konidari and Mavrakīs, 2007). Αποτελεί μια οικογένεια μεθόδων, στην οποία συγκαταλέγονται μεταξύ άλλων η ELECTRE I, η ELECTRE II, η ELECTRE TRI οι οποίες εμφανίζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά μεταξύ τους και βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε συγκοινωνιακά έργα και έργα υδραυλικής.

Η Διαδικασία Αναλυτικής Ιεραρχίας (AHP) είναι μια μέθοδος λήψης αποφάσεων η οποία στηρίζεται επίσης σε συγκρίσεις ανά ζεύγη και έχει αποδειχθεί από τη βιβλιογραφία ότι είναι ευρέως διαδεδομένη σε όλα τα έργα του πολιτικού μηχανικού αλλά και στην πολιτική και στην αξιοποίηση των διαθέσιμων πόρων (Lai, 1995). Η AHP χρησιμοποιεί μαθηματικά μοντέλα για τη στάθμιση του κάθε κριτηρίου με στόχο την τελική μετατροπή

της αξιολόγησης των εναλλακτικών σε αριθμούς ώστε να μπορούν να συγκριθούν με όλα τα διαφορετικά κριτήρια.

Μια ακόμη μέθοδο αποτελεί η Simple Additive Weighting (SAW), η οποία είναι γνωστή και με τον όρο μέθοδος σταθμισμένης άθροισης. Βάση της μεθόδου αυτής αποτελεί ο προσδιορισμός σταθμισμένου αθροίσματος για την απόδοση κάθε εναλλακτικής και χαρακτηριστικού. Λόγω της δυνατότητας που παρέχει αναφορικά με την σύγκριση δεδομένων με πλήθος χαρακτηριστικών βρίσκει ευρεία χρήση σε κλάδους όπου οι λήψεις αποφάσεων έχουν αντίστοιχες απαιτήσεις. Κάποιο τέτοιοι κλάδοι είναι τα οικονομικά αλλά και επιχειρήσεις αξιοποίησης του νερού (Podvezko, 2011). Κρίνεται χρήσιμο όμως να αναφερθεί ότι λόγω του πλεονεκτήματος που παρουσιάζει, ως προς τα χαρακτηριστικά των δεδομένων που μπορεί να μελετήσει, η προετοιμασία που απαιτεί αποτελεί μια λεπτομερή και χρονοβόρα διαδικασία.

Η επόμενη MCDM ονομάζεται VIKOR. Πρόκειται για μια μέθοδο η οποία αναπτύχθηκε ώστε να διευκολύνει την επιλογή της κατάλληλης εναλλακτικής με βάση μια ομάδα κριτηρίων η οποία συχνά περιέχει αλληλοσυγκρουόμενα δεδομένα (Yu, 1973) Η μέθοδος αυτή συχνά παρομοιάζεται με τη TOPSIS αλλά υπάρχουν σημαντικές διαφορές. Δύο από τις σημαντικότερες διαφορές είναι η συνάρτηση εξάρτησης και η τρόπος κανονικοποίησης.

Η μέθοδος Fuzzy Set Theory, η οποία μπορεί να βρεθεί στην βιβλιογραφία και με τον όρο Fuzzy Logic αποτελεί μια ιδιαίτερα χρήσιμη μέθοδο. Συγκεκριμένα το χαρακτηριστικό, το οποίο της προσδίδει μεγάλη αξία, είναι η δυνατότητα αξιοποίησης αποφάσεων για τις οποίες τα δεδομένα μπορεί να είναι ασαφή και ανεπαρκή (Zadeh, 1965). Αυτό καθίσταται δυνατό αποδίδοντας ένα δεδομένο βαθμό βάση του οποίου τα δεδομένα ανήκουν σε ένα σύνολο. Πιο συγκεκριμένα παρέχει την δυνατότητα μερικής συμμετοχής κάποιων δεδομένων σε διάφορα συνολα. Λόγω αυτού του πλεονεκτήματος που παρουσιάζει εφαρμόζεται σε διάφορους τόμους που υπάγονται μεταξύ άλλων σε μηχανικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά πλαίσια. Ωστόσο η ανάπτυξη και υλοποίηση αυτής της μεθόδου απαιτεί την συμβολή ειδικά καταρτισμένου προσωπικού. Για αυτό τον λόγο, συχνή θεωρείται η εφαρμογή της σε συνδυασμό με άλλες μεθόδους που ενσωματώνουν την MCDA, καθώς έτσι διευκολύνεται η ανάπτυξη της.

Τέλος η μέθοδος PROMETHEE είναι μια τεχνική της οποίας τα κύρια χαρακτηριστικά είναι η απλότητα, η εμφάνιση ξεκάθαρα αποτελέσματος και η δυνατότητα διαχείρισης πολλών αλληλοσυγκρουόμενων κριτηρίων. Στηρίζεται στη χρήση έξι γενικευμένων κριτηρίων και στον υπολογισμό της καθαρής ροής των δεδομένων. Βρίσκει εφαρμογή σε εγχειρίσματα έργα, σε κατασκευή κτιρίων αλλά και προβλήματα

που αφορούν την οικονομία και το περιβάλλον (Behzadian et al., 2010). Περισσότερα όμως για τη μέθοδο PROMETHEE θα αναλυθούν στα επόμενα κεφάλαια καθώς με τη χρήση της θα πραγματοποιηθεί επίλυση για ένα πρόβλημα μηχανικού.

Σε αυτό το σημείο και αφού έχει ολοκληρωθεί η περιγραφή μερικών από τις πιο βασικές τεχνικές που εφαρμόζουν την μέθοδο πολυκριτήριας ανάλυσης, κρίνεται σημαντικό γίνει αναφορά στις αντιλήψεις που επικρατούν σχετικά με αυτές. Κάποιοι υποστηρίζουν ότι η καταλληλότητα των μεθόδων για κάθε απόφαση είναι ισότιμη και συνεπώς η αξία τους εξισώνεται (Azaragic and Perdan, 2005). Ωστόσο υπάρχει και η αντίθετη άποψη σύμφωνα με την οποία τα αποτελέσματα από την λήψη κάποιας απόφασης διαφέρουν εφόσον βασίστηκαν σε διαφορετικές τεχνικές. Οι υποστηρικτές αυτής της αντίληψης, θεωρούν ότι η αρχή στην οποία βασίζεται κάθε τεχνική και οι διαφορές στα χαρακτηριστικά τους, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή κάποια τεχνικής (Okudan and Tauhid, 2008). Συνολικά λοιπόν, το ζήτημα προκύπτει στις διαφορές που παρουσιάζει ο τρόπος δόμησης της εκάστοτε τεχνικής και στις τυχόν διαφοροποιήσεις που μπορεί αυτό να επιφέρει στο τελικό αποτέλεσμα. Βέβαια δεν μπορεί μέχρι σήμερα να θεωρηθεί ότι για την λήψη απόφασης που αφορά ένα ζήτημα, η εφαρμογή κάποιας μεθόδου είναι σωστή ή λάθος. Φαίνεται ότι όλα υπόκεινται στον τρόπο που θέλει ο μελετητής να διαχειριστεί το πρόβλημα απόφασης (Suhr, 1999). Η μελέτη της βιβλιογραφίας μέχρι σήμερα έχει δείξει ότι δεν υπάρχει μοντέλο εύρεσης και αντιστοίχισης της κατάλληλης MCDM σε κάθε είδους πρόβλημα λήψης απόφασης. Γίνεται βάση αυτού κατανοητό ότι, το πεδίο αυτό μπορεί και θα ήταν ιδιαίτερα ωφέλιμο να αποτελέσει προϊόν περαιτέρω έρευνας.

#### **1.4. Τρόποι ταξινόμησης των MCDM**

Η παραπάνω αναφορά και περιγραφή μερικών από τις σπουδαιότερες μεθόδους πολυκριτήριας ανάλυσης, φανερώνει την ποικιλομορφία που αυτές εμφανίζουν. Για αυτόν τον λόγο έχει δημιουργηθεί η ανάγκη ομαδοποίησης των μεθόδων, βάση των κοινών τους χαρακτηριστικών. Σε αυτό το πλαίσιο έχουν γίνει μέχρι σήμερα διάφορες ομαδοποιήσεις των τεχνικών της MCDM. Στη συνέχεια πραγματοποιείται ανάλυση τριών εξ αυτών και αναφορά των κύριων χαρακτηριστικών διαφοροποίησής τους.

Η πρώτη και ιδιαίτερα βασική ομαδοποίηση που θα αναφερθεί, βασίζει την κατηγοριοποίηση των τεχνικών στο μέγεθος του συνόλου των εναλλακτικών που αυτές μπορούν να εξετάζουν (Triantaphyllou, 2000). Βάση αυτού του κριτηρίου, έχουν προκύψει δύο διαφορετικές υποομάδες τεχνικών της MCDM. Συγκεκριμένα έχουν καθοριστεί οι δύο ακόλουθες κατηγορίες τεχνικών, η τεχνική λήψης αποφάσεων πολλαπλών

χαρακτηριστικών (Multiple Attribute Decision Making, MADM) και λήψης αποφάσεων πολλαπλών αντικειμένων (Multiple Objective Decision Making, MODM) (Hwang and Yoon, 1981; Kahraman, C., 2018). Πιο αναλυτικά η τεχνική MADM μπορεί να επεξεργαστεί προβλήματα, τα οποία διαθέτουν προκαθορισμένο και περιορισμένο σύνολο εναλλακτικών λύσεων (Hwang and Masud, 1979). Αξίζει να αναφερθεί ακόμα, ότι κατά την υλοποίηση τέτοιων τεχνικών πραγματοποιούνται συμβιβασμοί στην σύγκριση των χαρακτηριστικών. Στην περίπτωση της τεχνικής MODM αντίθετα, η τεχνική βρίσκει εφαρμογή σε προβλήματα, των οποίων οι εναλλακτικές θεωρούνται μη προκαθορισμένες. Βάση των παραπάνω, αξίζει να αναφερθεί η γενική θεώρηση που έχει προκύψει, βάση της οποίας οι τεχνικές MADM εφαρμόζονται σε διακριτούς χώρους αποφάσεων, ενώ οι τεχνικές MODM σε προβλήματα συνεχούς χώρου (Triantaphyllou, 2000).

Ένας διαφορετικός τρόπος ομαδοποίησης των μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης είναι η τεχνική που χρησιμοποίησαν οι Belton και Stewart. Εκείνοι κατηγοριοποίησαν της μεθόδους σε τρεις μεγάλες ομάδες (Belton and Stewart, 2002). Η πρώτη ομάδα είναι τα μοντέλα υψηλότερης ιεράρχησης. Στις μεθόδους αυτές συγκεντρώνονται όλα τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών για διάφορα κριτήρια και έπειτα ακολουθεί σύγκριση κατά ζεύγη για να καταλήξουμε σε κατάταξη των επιλογών βάση της υπεροχής της μιας εναλλακτικής έναντι της άλλης. Η δεύτερη κατηγορία είναι τα μοντέλα προτεινόμενου στόχου. Στο πρώτο στάδιο υλοποίησης αυτών των μεθόδων ορίζεται το βέλτιστο επίπεδο αναφοράς για όλα τα διαφορετικά κριτήρια. Στο επόμενο βήμα η MCDM εντοπίζει τις εναλλακτικές οι οποίες βρίσκονται πιο κοντά στην ικανοποίηση του στόχου. Η τελευταία ομάδα ονομάζεται μοντέλο ποσοτικοποίησης αξίας. Για να ποσοτικοποιηθεί το επίπεδο στο οποίο μια εναλλακτική επιλογή μπορεί να επιλεγεί έναντι μιας άλλης, υπολογίζονται αριθμητικές βαθμολογίες. Για να καταλήξουμε σε μοντέλα ταξινόμησης υψηλότερου επιπέδου, τέτοιοι αριθμοί δημιουργούνται πρώτα για κάθε ξεχωριστό κριτήριο και στη συνέχεια συντίθενται. Η προσέγγιση αυτή βοηθά στην εύρεση καλών εναλλακτικών που σε μία πρώτη ανάγνωση δεν είχαν αξιολογηθεί σωστά.

Η τρίτη και πιο πρόσφατη χρονολογικά ομαδοποίηση των τεχνικών MCDM που θα αναφερθεί, ορίστηκε από τον A. Mardani. Σε αυτή την περίπτωση οι τεχνικές κατηγοριοποιούνται βάση της πληρότητας της συνάθροισης τους, δηλαδή της ανάγκης τους για ολική ή μερική ενσωμάτωση των δεδομένων σε σύνολο. Μία από τις τεχνικές που κατατάσσεται στην ομάδα που εφαρμόζει πλήρη συνάθροιση, είναι η TOPSIS. Στην άλλη ομάδα, όπου εφαρμόζεται μερική συνάθροιση, συγκαταλέγεται η AHP. Αναφέρεται ακόμα ότι κατά την υλοποίηση των τεχνικών της τελευταίας ομάδας, πραγματοποιούνται συγκρίσεις σε ζεύγη (Mardani et al., 2015).

## **Κεφάλαιο 2. Εφαρμογή μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης στον κατασκευαστικό κλάδο**

### **2.1. Παρατηρήσεις**

Η αξία της εφαρμογής τεχνικών MCDM στον τομέα της επιχειρησιακής έρευνας έχει αναφερθεί. Για αυτόν τον λόγο μέθοδοι πολυκριτήριας ανάλυσης έχουν μελετηθεί ακαδημαϊκά σε πολλούς βιομηχανικούς τομείς (Zavadskas et al., 2014). Έτσι έχουν πλέον αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι πολυκριτήριας ανάλυσης, οι οποίες βοηθούν σε ποικιλία επιχειρησιακών πεδίων και σε σχέση με πολλές διαφορετικές συνθήκες και δεδομένα (Slowinski, 1986; Kiker et al., 2005; Lahdelma et al., 2000; Loken, 2007; Tonietto and Carbonneau, 2004). Μεγάλο όμως ενδιαφέρον παρουσιάζουν και οι δυνατότητες που παρέχει η αξιοποίηση τους στον κατασκευαστικό κλάδο. Αξίζει να αναφερθεί ότι ο τομέας των κατασκευών έχει επιρροή σε πολλούς κλάδους με δυνατό παγκόσμιο αντίκτυπο. Συγκεκριμένα αναφέρεται η μεγάλη επιρροή που ασκεί ο κατασκευαστικός τομέας στην ευρύτερη οικονομική ανάπτυξη. Το γεγονός αυτό έχει αναγνωριστεί ευρέως και κρίνεται βάσιμο καθώς η βέλτιστη διαχείριση του κόστους και των διαθέσιμων πόρων, αντανακλά πλήρως στο κέρδος κάθε κατασκευής που υλοποιείται (Giang and Sui Pheng, 2011; Zhao et al., 2012). Ακόμα ένας τέτοιου είδους κλάδος, ο οποίος διαχειρίζεται μεγάλες ποσότητες πρώτων υλών και φυσικών πόρων, παρουσιάζει σημαντικές συνέπειες σε περιβαλλοντικά ζητήματα. Ιδιαίτερα την σύγχρονη εποχή, όπου η περιβαλλοντική κρίση αποτελεί ζήτημα μεγάλου κοινωνικού και επιχειρησιακού ενδιαφέροντος, η ορθότερη λήψη σχετικών αποφάσεων κρίνεται μεγάλης σημασίας (Sitorus et al., 2019).

Οι αποφάσεις που χρειάζεται να παρθούν εντός των πλαισίων του έργου των Πολιτικών Μηχανικών είναι πολλές. Εκτός του όγκου τους όμως, μεγάλη πρόκληση αποτελεί και η φύση αυτών. Συγκεκριμένα χρειάζεται να ληφθούν υπόψιν πλήθος παραγόντων και απαιτήσεων (Jato-Espino et al., 2014). Τέτοια χαρακτηριστικά καθιστούν την διαδικασία λήψης αποφάσεων πολύπλοκη και σε ανάγκη εφαρμογής επιστημονικών μεθόδων, με απώτερο σκοπό ακριβείς και ορθολογικές επιλογές (Bakht and El-Diraby, 2015; De Azevedo et al., 2013). Σε αυτό το πλαίσιο έχουν ολοκληρωθεί ανά τα χρόνια διάφορες βιβλιογραφικές έρευνες, αναφορικά με την εφαρμογή μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης στον κατασκευαστικό κλάδο (Zavadskas et al., 2016a). Αξίζει να γίνει αναφορά στην μελέτη που πραγματοποίησε μαζί με τους συνεργάτες του ο D. Jato-Espino, στην οποία έλαβε χώρα η αξιολόγηση έξι μεθόδων MCDM αλλά και παραλλαγών τους στα

πλαίσια της κατασκευής (Jato-Espino et al., 2014). Ωστόσο στην πλειοψηφία από τις μελέτες που έχουν ολοκληρωθεί επί του θέματος, καταγράφονται κάποιες ελλείψεις και έτσι δυσχεραίνεται η πλήρης καθιέρωση και αξιοποίηση τους. Αρχικά αναφέρεται ότι πολλές μελέτες προσελκύουν το θέμα με μη αυστηρά συστηματικό τρόπο. Έτσι τα συμπεράσματα τους δεν μπορούν να θεωρηθούν ακλόνητα. Ακόμη έχει παρατηρηθεί ότι το ερευνητικό ενδιαφέρον επικεντρώνεται σε μέρος των διαθέσιμων μεθόδων της πολυκριτήριας ανάλυσης. Πιο συγκεκριμένα δεν καταγράφονται πολλές μελέτες στις οποίες συμπεριλαμβάνονται συνδυασμοί μεθόδων, πρακτική η οποία όμως εμφανίζει μεγάλη πρακτική αξία. Επίσης στις περισσότερες βιβλιογραφικές μελέτες παρατηρείται αναφορά στις μεθόδους αυτές καθ' αυτές και στις διαφορές που αυτές εμφανίζουν αλλά ελλείπεται ανάλυση σχετικά με τα προβλήματα στα οποία αυτές μπορούν να αξιοποιηθούν.

Βάση των παραπάνω γίνεται φανερή η ανάγκη για περαιτέρω μελέτες που αφορούν την εφαρμογή MCDM στον κλάδο των κατασκευών. Αναφέρεται ότι οι απαιτήσεις των επιχειρησιακών κλάδων έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη πλήθους μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης και κατά συνέπεια οι δυνατότητες έρευνας και μελέτης είναι πολλές (Zavadskas et al., 2016b). Όσον αφορά τον κατασκευαστικό τομέα, μεγάλη αξία φαίνεται να προσφέρει η περαιτέρω μελέτη και τελικά εφαρμογή συνδυασμών και εναλλακτικών μορφών των ήδη καθιερωμένων μεθόδων (Velasquez and Hester, 2013). Επισημαίνεται ότι έχουν χρησιμοποιηθεί οι όροι μεμονωμένοι και υβριδικοί τρόποι διαχείρισης, για να περιγράψουν τις περιπτώσεις στις οποίες εφαρμόζεται μια μέθοδος και αυτές στις οποίες λαμβάνουν χώρα συνδυαστικά δύο ή ακόμα και περισσότερες μέθοδοι, αντίστοιχα. Με σκοπό να γίνει αντιληπτή η σημαντικότητα που παρουσιάζει μια υβριδική προσέγγιση στον κατασκευαστικό κλάδο αναφέρεται, ότι μελέτη που κατέγραψε έρευνες που ολοκληρώθηκαν σε 21 έτη και μέχρι το 2013, κατέγραψε σε ποσοστό 43,18% υβριδικές προσεγγίσεις έναντι των μεμονωμένων. Για να αποτυπωθεί το εύρος του δείγματος, αναφέρεται ότι το συνολικό πλήθος των ερευνών ισούται με 88. Το ποσοστό στο οποίο εφαρμόστηκε συνδυασμός μεθόδων, μπορεί να θεωρηθεί μεγάλο και φανερώνει την αξία που βρίσκουν οι ερευνητές στην αξιοποίηση υβριδικής προσέγγισης. Αξίζει να αναφερθεί ότι μερικοί από τους συνδυασμούς τεχνικών που έχουν καταγραφεί στην εφαρμογή υβριδικής προσέγγισης είναι οι ANP/MCS/MIVES/VIKOR και οι COPRAS/GST/PROMETHEE/SAW. Λαμβάνοντας λοιπόν υπόψη το μεγάλο πλήθος των διαθέσιμων επιλογών, σε συνδυασμός με τις πολυπαραγοντικές απαιτήσεις του κατασκευαστικού κλάδου, αποτελούν μια πρόκληση. Επισημαίνοντας ταυτόχρονα τις ελλείψεις που εμφανίζει η βιβλιογραφία, συμπεραίνεται ότι η υλοποίηση, αλλά και η επιλογή κάθε φορά τεχνικών, αποτελεί πεδίο που επιδέχεται επιπλέον μελέτη. Σε αυτό το

πλαίσιο αναφέρεται ακόμα ότι για την επιλογή και την εφαρμογή τέτοιων τεχνικών απαιτείται η συμβολή ανθρώπων, οι οποίοι διαθέσουν σε βάθος κατανόηση του εύρους και των χαρακτηριστικών των διάφορων τεχνικών της MCDM.

Σε αυτό το σημείο, κρίνεται βάσιμο να πραγματοποιηθεί μια περιληπτική αναφορά μεθόδων που μπορούν να αξιοποιηθούν στην διαδικασία λήψης αποφάσεων. Επισημαίνεται ότι για αυτόν τον σκοπό όπως συμβαίνει στην πραγματικότητα έτσι και στην αναφορά των μεθόδων που ακολουθεί, δεν γίνεται αναφορά μόνο τεχνικών που εφαρμόζουν πολυκριτήρια ανάλυση. Πιο αναλυτικά σε τέτοιου είδους προβλήματα, συχνά βρίσκουν εφαρμογή συμπληρωματικά εργαλεία των μεθόδων. Τέτοιου είδους εργαλεία καταφέρνουν να δώσουν λύση σε ζητήματα, όπως αυτό της αβεβαιότητας, στα οποία οι κοινές τεχνικές που εφαρμόζουν την μέθοδο πολυκριτήριας ανάλυσης δεν έχουν καταφέρει να δώσουν λύση. Ως παραδείγματα των συμπληρωματικών εργαλείων που μπορούν να συμπεριληφθούν, αναφέρονται οι αριθμητικές προσομοιώσεις και τα ασαφή σύνολα. Λαμβάνοντας αυτά υπόψη, παραθέτετε ο ακόλουθος **Πίνακας 2.1.** στον οποίο διατυπώνεται περιληπτική αναφορά διαφόρων τεχνικών που βρίσκουν εφαρμογή σε προβλήματα λήψης αποφάσεων.

**Πίνακας 2.1.** Αναφορά και περιληπτική περιγραφή μεθόδων που εφαρμόζουν πολυκριτήρια ανάλυση

Ακρωνύμιο μεθόδου	Ονομασία μεθόδου ολογράφως	Περιγραφή μεθόδου
AHP	Διαδικασία αναλυτικής ιεραρχίας (Analytic Hierarchy Process)	Βασίζεται σε κλίμακα σύγκρισης εναλλακτικών σε ζεύγη.
ANP	Αναλυτική διεργασία δικτύου (Analytic Network Process)	Βασίζεται στην AHP και δίνει την επιπλέον δυνατότητα αλληλεξάρτησης των κριτηρίων.
COPRAS	Σύνθετη αναλογική αξιολόγηση (Complex Proportional Assessment)	Βασίζεται στον βαθμό χρησιμότητας και στην σημασία των εναλλακτικών.
DEA	Ανάλυση περιβλήματος δεδομένων (Data Envelopment Analysis)	Βασίζεται στον υπολογισμό της αποτελεσματικότητας του συνόλου πολλαπλών μονάδων απόφασης.
–	Delphi	Βασίζεται στην μελέτη απαντήσεων ειδικών σε ερωτηματολόγια, με σκοπό την αξιόπιστη συναίνεση.



DRSA	Προσέγγιση ακατέργαστων συνόλων με βάση την κυριαρχία (Dominance-based Rough Set Approach)	Βασίζεται στη θεώρηση κανόνων συμπερασμάτων της μορφής «αν... τότε»
ELECTRE	Εξάλειψη και επιλογή που αντανακλούν την πραγματικότητα (Élimination Et Choix Traduisant la Réalité)	Βασίζεται στον καθορισμό της ασυμφωνίας και συμφωνίας που εμφανίζουν οι δείκτες του συνόλου των εναλλακτικών.
FSs	Ασαφή σύνολα (Fuzzy Sets)	Βασίζεται στην ευρύτερη θεωρία των ευκρινών συνόλων.
GST	Grey System Theory	Βασίζεται στην διαχείριση δεδομένων απουσίας και όλο το εύρος μέχρι πλήρης διάθεσης σχετικών πληροφοριών.
GT	Θεωρία παιγνίων (Game Theory)	Βασίζεται στην αλληλεπίδραση καθιερωμένων δομών.
HOQ	House Of quality	Βασίζεται σε πίνακες σχέσεων και συσχέτισης για την μετατροπή των ζητούμενων σε κριτήρια σχεδιασμού ποιότητας.
IFSs	Διαισθητικά ασαφή σύνολα (Intuitionistic Fuzzy Sets)	Βασίζεται στην IFS και δίνει την επιπλέον δυνατότητα αξιοποίησης της παραμέτρου της διστακτικότητας.
MAUT	Θεωρία χρησιμότητας πολλαπλών χαρακτηριστικών (Multi-Attribute Utility Theory)	Βασίζεται στη σύγκριση της χρησιμότητας των χαρακτηριστικών μια εναλλακτικής σε συσχέτιση με την αβεβαιότητα και τον κίνδυνο.
MAVT	Θεωρία αξίας πολλαπλών χαρακτηριστικών (Multi-Attribute Value Theory)	Βασίζεται στην μετατροπή διαφόρων χαρακτηριστικών σε μια ενιαία τιμή.
MCS	Προσομοιώσεις Μόντε Κάρλο (Monte Carlo Simulations)	Βασίζεται στον πειραματισμό τυχαίων αριθμών.

MEW	Πολλαπλασιαστική εκθετική στάθμιση (Multiplicative Exponential Weighting)	Βασίζεται στο σταθμισμένο γινόμενο που παρουσιάζουν τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών.
MIVES	Ολοκληρωμένο μοντέλο αξίας για βιώσιμες αξιολογήσεις	Βασίζεται στην δημιουργία τύπων για τα κριτήρια κάποιου δείκτη.
PROME-THEE	Μέθοδος οργάνωσης κατάταξης προτιμήσεων για εμπλουτισμό των αξιολογήσεων	Βασίζεται στην επιλογή συνάρτησης προτίμησης σχετικά με τα κριτήρια.
SAW	Απλή στάθμιση πρόσθετου (Simple Additive Weighting)	Βασίζεται στη συσχέτιση του αθροίσματος της συνεισφοράς των χαρακτηριστικών επί των βαρών τους για την εύρεση σταθμισμένης βαθμολογίας.
SIR	Σειρά κατάταξης ανωτερότητας και κατωτερότητας (Superiority and Inferiority Raking)	Βασίζεται στον καθορισμό των ροών κατωτερότητας και υπεροχής με σκοπό την εύρεση των προτιμήσεων του ανθρώπου που θα κληθεί να πάρει απόφαση.
SMAA	Στοχαστική πολυσκοπική ανάλυση αποδοχής (Stochastic Multiobjective Acceptability Analysis)	Βασίζεται στο πλήθος των δεδομένων που καθορίζουν μια εναλλακτική ως προτιμώμενη για την εύρεση του δείκτη αποδοχής της.
TOPSIS	Τεχνική για σειρά προτίμησης κατά ομοιότητα με ιδανική λύση (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution)	Βασίζεται στην θεώρηση ότι η εναλλακτική που πλησιάζει περισσότερο την βέλτιστη λύση, είναι η καλύτερη.
UT	Θεωρία χρησιμότητας (Utility Theory)	Βασίζεται στις συναρτήσεις χρησιμότητας των κριτηρίων για τον προσδιορισμό του βαθμού επιθυμίας.

UTA	Χρήσιμα πρόσθετα (Utilités Additives)	Βασίζεται στην βελτίωση της διαχείρισης των συναρτήσεων χρησιμότητας για τον καλύτερο προσδιορισμό των προτιμήσεων του ανθρώπου που θα κληθεί να πάρει απόφαση.
VIKOR	Πολυκριτηριακή βελτιστοποίηση και συμβιβαστική λύση (Visekriterijumska Optimizacija I kompromisnoresenje)	Βασίζεται στο μέτρο εγγύτητας ως προς το βέλτιστο αποτέλεσμα για την εύρεση μιας συμβιβαστικής κατάταξης των εναλλακτικών.

Όπως ήδη αναφέρθηκε πολλές τεχνικές που αξιοποιούν την μέθοδο της πολυκριτηριακής ανάλυσης, βρίσκουν εφαρμογή στον κατασκευαστικό κλάδο. Έχοντας πλέον αναλύσει περιληπτικά μεγάλο ποσοστό των τεχνικών αυτών, κρίνεται βάσιμο να γίνει πιο λεπτομερής αναφορά στην αξία που αυτές προσφέρουν στο έργο του Πολιτικού Μηχανικού. Οι κύριοι τομείς στους οποίους έχουν καταγραφεί εφαρμογές, είναι αυτοί που αφορούν τον δομοστατικό και τον υδραυλικό σχεδιασμό και ενεργειακά έργα.

Συγκεκριμένα στον κλάδο του δομοστατικού σχεδιασμού και ειδικά στην διάρκεια της δεκαετίας του 2010, έχουν καταγραφεί σημαντικά έργα που αξιοποίησαν τεχνικές που εφαρμόζουν την MCDM. Ακολούθως γίνεται αναφορά μερικών από αυτές τις εφαρμογές. Οι (Pons and de la Fuente, 2013) με σκοπό τη μελέτη του σχεδιασμού υποστυλωμάτων υλοποίησαν την τεχνική AHP. Οι (Terracciano et al., 2015) εφάρμοσαν επίσης την AHP για την μελέτη των αποτελεσμάτων που προκύπτουν από την χρήση διαφορετικών δομικών υλικών. Η τεχνική της AHP έχει μελετηθεί σε αυτόν τον τομέα και με υβριδική προσέγγιση, σε συνδυασμό με την τεχνική COPRAS από τους (Zolfani et al., 2011) με στόχο την δημιουργία ευφώνων κτιρίων. Οι (Jalaei et al., 2015) εφάρμοσαν την τεχνική TOPSIS σε μελέτη σχετική με τις πιθανές λύσεις ανακαίνισης εγκαταλελειμμένων κτιρίων. Οι (Kamali et al., 2018) σχετικά με ιδιωτικές κατοικίες υλοποίησαν την τεχνική ELECTRE. Τέλος με στόχο την κατασκευή γεφυρών οι (Balali et al., 2014; Chen, 2014) εφάρμοσαν την τεχνική PROMETHEE.

Στον τομέα σχεδιασμού και υλοποίησης υδραυλικών έργων οι βιβλιογραφικές αναφορές καταγράφονται και σε προγενέστερο χρόνο της δεκαετίας του 2010. Μόλις στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα πραγματοποιήθηκε μελέτη των συστημάτων ύδρευσης και γενικής διαχείρισης του νερού με εφαρμογή της τεχνικής AHP, ενώ σχετική έρευνα έλαβε χώρα και

πρόσφατα (O. Jaber and S. Mohsen, 2001; Tahmasebi Birgani and Yazdandoost, 2018). Η τεχνική AHP αξιοποιήθηκε επίσης σε σχεδιασμό που αφορούσε φράγματα από τους (Sun et al., 2013). Στον τομέα των αστικών υδραυλικών έργων οι (Martin et al., 2007) εφάρμοσαν την τεχνική ELECTRE. Τέλος αναφέρεται η υλοποίηση της μεθόδου TOPSIS από τους (O. Jaber and S. Mohsen, 2001) σχετικά με την αξιολόγηση των υδάτων και των συστημάτων διαχείρισης.

Στον κλάδο των ενεργειακών έργων έχει παρατηρηθεί τα τελευταία χρόνια ερευνητικό ενδιαφέρον. Σε αυτό το πλαίσιο έχουν καταγραφεί αρκετές σύγχρονες αναφορές τεχνικών που εφαρμόζουν MCDM. Συγκεκριμένα οι (Cartelle Barros et al., 2015) εφάρμοσαν την τεχνική AHP προκειμένου να μελετήσουν τη βιωσιμότητα διαφόρων συστημάτων παραγωγής ενέργειας. Με στόχο τον καθορισμό κατάλληλου χώρου για την δημιουργία σταθμού φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων, οι (Ren et al., 2019) αξιοποίησαν την τεχνική WASP. Ακόμη για την δημιουργία φωτοβολταϊκών μελετήθηκε η υλοποίηση της VIKOR από τους (Rani et al., 2020). Προκειμένου να αξιολογηθεί ένα αιολικό πάρκο, οι (Gumus et al., 2016) και οι (Fetanat and Khorasaninejad, 2015) εφάρμοσαν την τεχνική TOPSIS και ELECTRE, αντίστοιχα. Στο ίδιο πλαίσιο έρευνας οι (Diakoulaki and Karangelis, 2007) με σκοπό τον βιώσιμο ενεργειακό σχεδιασμό υλοποίησαν την τεχνική PROMETHEE. Τέλος οι (Rikkonen et al., 2019) σχετικά με την μελέτη διαχείρισης ενέργειας, εφάρμοσαν DELPHI.

Στον ακόλουθο **Πίνακα 2.2.** παρουσιάζεται ομαδοποίηση μεθόδων πολυκριτήριας ανάλυσης σε συσχέτιση με τούς κλάδους του Πολιτικού Μηχανικού στις οποίες εφαρμόζονται.

**Πίνακας 2.2.** Εφαρμογές πολυκριτήριας ανάλυσης στο επάγγελμα του Πολιτικού Μηχανικού

Έργα	Μέθοδοι	Εφαρμογές
ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΑ	AHP, TOPSIS, ELECTRE, CORPAS, PROMETHEE	Σχεδιασμός υποστυλωμάτων, σύγκριση υλικών, αναστυλώσεις κτιρίων βιώσιμα κτίρια, γέφυρες
ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ	AHP, TOPSIS, ELECTRE	Διαχείριση νερού, αστικά υδραυλικά, φράγματα
ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΑ	AHP, TOPSIS, PROMETHEE, ELECTRE, DELPHI, VIKOR, WASP	Αιολικά πάρκα, ενεργειακός σχεδιασμός, σταθμοί ηλεκτρικής φόρτισης, ηλιακά πάρκα

## Κεφάλαιο 3. Μελέτη περίπτωσης

### 3.1. Εισαγωγικές παρατηρήσεις

Ένα από τα βασικότερα μέρη όλων των κατασκευών είναι η τοιχοποιία. Ο ρόλος του τοίχου είναι δυσπρόστατος. Καταρχάς ένας τοίχος αποτελεί το όριο διαχωρισμού είτε ενός εσωτερικού δωματίου είτε ενός κτίσματος από τον περιβάλλοντα χώρο. Αυτό προσφέρει στους ανθρώπους ιδιωτικότητα αλλά και προστασία από εξωγενείς παράγοντες. Από την άλλη μεγάλη είναι η σημασία του τοίχου και στην στατικότητα του κτιρίου, καθώς αποτελεί στοιχείο που παραλαμβάνει τα κατακόρυφα φορτία. (Markiewicz, 2011) Με βάση την στατικότητα η τοιχοποιία μπορεί να λάβει διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως η επιλογή του τρόπου δόμησης, το πάχος της αλλά και τα υλικά τα οποία θα χρησιμοποιηθούν. Βέβαια, τα υλικά κατασκευής δεν επηρεάζονται μόνο από τη στατικότητα. Άλλες αξιοσημείωτες συνιστάμενες που λαμβάνονται υπόψιν είναι το περιβάλλον στο οποίο βρισκόμαστε, το επιθυμητό κόστος κατασκευής αλλά και ο χρόνος αποπεράτωσης των εργασιών.

Στην παρούσα εργασία θα μελετηθεί το παρακάτω θέμα: Ο τοίχος πρόσοψης υφιστάμενης μονοκατοικίας στην περιοχή Αχαρνές (Μενίδι) χρήζει ανακαίνισης λόγω παλαιότητας και ελλιπούς μόνωσης. Αναλυτικά πληροφοριακά στοιχεία:

- Η μονοκατοικία βρίσκεται σε αστική περιοχή της Βορειοανατολικής Αττικής
- Περιβάλλεται περιμετρικά από πολυκατοικίες
- Βρίσκεται σε δρόμο μέτριας προς χαμηλής κυκλοφορίας
- Η περιοχή κατοικείται από πληθυσμό μεσαίων ή χαμηλών εισοδημάτων
- Το μικρόκλιμα της τοποθεσίας δεν παρουσιάζει έντονες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις
- Για την αποπεράτωση των εργασιών δεν υπάρχουν έντονοι χρονικοί περιορισμοί

Στόχος της εργασίας είναι να παρουσιάσει τρεις λύσεις για κατασκευή τοίχων μονής στρώσης στην παραπάνω μονοκατοικία. Οι προτεινόμενες παραλλαγές (κεραμικοί ογκόλιθοι με ένθετο ορυκτοβάμβακα, κυψελωτοί τσιμεντόλιθοι, τσιμεντόλιθοι Ieca με ένθετο μονωτικό διογκωμένης πολυστερίνης) θα συγκριθούν ως προς το κόστος κατασκευής τους και κάποιες τεχνικές παραμέτρους της αξιολόγησης της χρήσης της.

Με βάση τη φύση του προβλήματος που θα ασχοληθούμε το ενδιαφέρον μας επικεντρώνεται στους εξωτερικούς τοίχους και τους παράγοντες που διαμορφώνουν την επιλογή του κατάλληλου υλικού. Το κύριο ζήτημα το οποίο πρέπει μια εξωτερική τοιχοποιία να διαχειριστεί είναι η συντελεστής θερμοπερατότητας. Πρόκειται για έναν συντελεστή ο οποίος δείχνει της απώλειες θερμότητας που επιτρέπει ένα υλικό και πώς επηρεάζεται αυτό από τα καιρικά φαινόμενα. (Markiewicz, 2011) Ακόμη σημαντικό ρόλο κατέχει η ηχομόνωση που προσφέρει ένα υλικό. Στο σύγχρονο τρόπο ζωής τα επίπεδα θορύβου έχουν ανέβει αισθητά. Το κατάλληλο δομικό υλικό έχει το ρόλο της ασπίδας για την υπόλοιπη κατοικία απέναντι στους εξωγενείς ήχους. Έπειτα στο επίπεδο της ασφάλειας ένα σύγχρονο υλικό προσφέρει μεγάλο χρονικό διάστημα πυραντοχής και έχει διάρκεια μέσα στην πάροδο των ετών (Grzyl et al., 2017; Nowogońska, B., 2014; Plebankiewicz et al., 2016; Švajlenka and Kozlovská, 2017). Τέλος ανάλογα και το κτίσμα στο οποίο μια τοιχοποιία βρίσκεται, κυρίαρχο είναι το κόστος της υλοποίησης. Η παράμετρος αυτή δεν περιορίζεται μόνο στην αγορά των υλικών και την τοποθέτηση τους αλλά καλό είναι να λαμβάνεται υπόψιν και ο κύκλος ζωής του έργου (eryk moj and marek Śliwiński, n.d.).

Με βάση τη βιβλιογραφική ανασκόπηση προκύπτει ότι σε έργα όπου η ακρίβεια και η ταχύτητα των εργασιών αποτελούν ρυθμιστικούς παράγοντες, η κατάλληλη λύση είναι η τοιχοποιία με μονή στρώση. Αυτό εξασφαλίζεται καθώς εκείνος ο τρόπος δεν περιλαμβάνει επιπλέον μονωτικές στρώσεις και είναι πιο απλός στην κατασκευή με συνέπεια την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων.

### **3.2. Διαφορετικές κατηγορίες τοιχοποιίας και υλικών**

Οι τοιχοποιίες μπορούν να χωριστούν σε φέροντες όταν παραλαμβάνουν φορτία, αυτοφερόμενες όταν το μόνο φορτίο που μεταφέρουν στα θεμέλια είναι το ιδίον βάρος και μη φέροντες οι οποίες έχουν κυρίως διαχωριστική λειτουργία. Διαχωρισμός όμως γίνεται και στον τρόπο υλοποίησης της τοιχοποιίας. Κάποιοι από αυτούς του τρόπους υλοποίησης είναι η χρήση τούβλων και η προκατασκευή του τοίχου. (Markiewicz, 2011; Panas, J., 2008). Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως μια άλλη διαφοροποίηση που αφορά την κατασκευή του τοίχου είναι ο αριθμός των στρώσεων. Στη σημερινή εποχή υπάρχουν τρεις επιλογές αναφορικά με την κατασκευή, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

Η πρώτη κατηγορία αφορά τους τοίχους μονής στρώσης οι οποίοι είναι η πιο απλή κατηγορία τοιχοποιίας. Στην εσωτερική αλλά και στην εξωτερική πλευρά υπάρχει επίχρισμα και τα συνήθη υλικά κατασκευής του είναι κεραμικά με ορυκτοβάμβακα, κυψελοειδείς τσιμεντόλιθοι αλλά και διάφορα είδη τούβλων. Το χαμηλό κόστος τους αλλά

και η ταχύτητα κατασκευής ορίζουν τους μονούς τοίχους ως βέλτιστη εναλλακτική για ανακαινίσεις κτιρίων. Περισσότερα για τα υλικά που χρησιμοποιούνται σε αυτούς τους τοίχους θα αναλυθούν στη συνέχεια της εργασίας.

Οι τοίχοι με δύο στρώματα είναι μία ακόμη κατηγορία. Αποτελούνται από μία εξωτερική στρώση η οποία εξασφαλίζει την προστασία από καιρικά φαινόμενα και συνθήκες υγρασίας και από μία εσωτερική στρώση η οποία έχει αισθητικό κι θερμομονωτικό ρόλο. Σημαντικός παράγοντας για την καλή απόδοση αυτού του τοίχου τοιχοποιίας είναι το υλικό μόνωσης που χρησιμοποιείται. Οι θερμογέφυρες είναι δύσκολο να αναπτυχθούν αλλά το βασικό μειονέκτημα της εναλλακτικής είναι η χαμηλή αντοχή σε μηχανικά φορτία (Panas, J., 2008).

Η τελευταία εναλλακτική που θα εξετάσουμε είναι οι τοίχοι τριών στρώσεων. Πρόκειται για μια προηγμένη μέθοδο κατασκευής που στόχο έχει τη μέγιστη απόδοση θερμοπροστασίας και αντοχής. Η ενδιάμεση στρώση η οποία συνήθως είναι κατασκευασμένη από γυαλί ή διογκωμένη πολυστερίνη βοηθά στη διατήρηση της εσωτερικής θερμοκρασίας του κτιρίου. (Panas, J., 2008). Η εξωτερική στρώση επικαλύπτεται από επιχρίσματα τα οποία αποτρέπουν την εισχώρηση υδάτων και προφυλάσσουν από την υγρασία. Η εσωτερική στρώση έχει αισθητική αξία και το σπουδαιότερο προσφέρει προστασία από πυρκαγιές. Όλες οι στρώσεις ενώνονται μεταξύ τους με άγκυρες και είναι αρκετά σύνθετη κατασκευή. Τα παραπάνω πλεονεκτήματα αντισταθμίζονται από το υψηλό κόστος και τη μεγάλη ποσότητα απαιτούμενης εργασίας.

### **3.3. Εναλλακτικές προτάσεις υλικών για τοίχους μονής στρώσης**

Οι διαφορετικοί τρόποι υλοποίησης των εξωτερικών τοίχων μονής στρώσης καθορίζονται από την ανάγκη επιλογής λύσεων που ικανοποιούν τον τρέχοντα συντελεστή μεταφοράς θερμότητας, ο οποίος είναι καθορισμένος στα  $0.2\text{W/m}^2\text{K}$  από το 2021

#### **3.3.1. Εναλλακτική I – Porotherm 42.5T DRYFIX , κεραμικό γεμάτο με ορυκτοβάμβακα**

Η αξιοπιστία στη θλίψη είναι ένας τομέας όπου κυριαρχούν τα κεραμικά υλικά. Με βάση τη βιβλιογραφία προκύπτει ότι το τούβλο είναι ένα από τα διαχρονικότερα δομικά υλικά. Προσφέρουν καλή προστασία έναντι πυρκαγιάς και αποτελούν μια από τις καλύτερες εναλλακτικές για ηχομόνωση. Οι πόροι των κεραμικών είναι γεμισμένες με υδρόφοβο ορυκτοβάμβακα ώστε να αποφεύγεται η συσσώρευση υγρασίας στο εσωτερικό των τούβλων. Είναι ένα σύγχρονο υλικό το οποίο εξασφαλίζει την κατασκευή εξαιρετικά θερμομονωμένων μονοστρωματικών τοίχων και δημιουργεί ένα υγιεινό μικροκλίμα στο εσωτερικό του κτιρίου (Markiewicz, 2011). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αντίστοιχου

υλικού είναι το Porotherm 42.5T DRYFIX (PorothermDryfix, 2023). Το προϊόν αυτό συνοδεύεται από το εργοστάσιο με ένα κονίαμα λεπτής στρώσης που έχει ως βάση την πολυουρεθάνη χωρίς απαίτηση νερού για τη θεμελίωση.

### 3.3.2. Εναλλακτική II – YTONG ENERGO κυψελοειδής τσιμεντόλιθος

Ο Αεριομένος τσιμεντοασβέστης ή η τσιμεντοκονία χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία κυψελοειδούς σκυροδέματος, Ομοιόμορφες οπές, δημιουργούνται όταν προστίθεται αέριο στο μείγμα στην κατάλληλη πίεση (Panas, J., 2010). Με αυτό τον τρόπο δημιουργούνται πολλές κατηγορίες σκυροδέματος. Ενδεικτικά θα μπορούσαμε να αναφέρουμε το πορομπετόν και το αφρώδες σκυρόδεμα. Οι κυψελοειδείς τσιμεντόλιθοι είναι αρκετά ελαφριοί και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην είναι δύσκολοι στην μεταφορά και στην εγκατάσταση. Τα υλικά αυτά έχουν χαμηλό κόστος αγοράς και εξασφαλίζουν πυρασφάλεια στο κτίριο. Για την επίλυση του πρβλήματος χρησιμοποιήθηκε το υλικό YTONG ENERGO (PoradnikmurowaniaYtong, 2017), για το οποίο ο συντελεστής θερμοπερατότητας παίρνει την τιμή  $0.19 [W/m^2K]$ . Η ακρίβεια και η ταχύτητα κατασκευής του προϊόντος είναι εξαιρετικά ανταγωνιστική αλλά για τη διασφάλιση της καλής λειτουργίας του υλικού απαιτείται η εφαρμογή υψηλής ποιότητας και συγκεκριμένων προδιαγραφών κονιάματος (PoradnikmurowaniaYtong, 2017).

### 3.3.3. Εναλλακτική III – HOTBLOK ελαφρά διογκωμένος πηλός από αδρανή σκυροδέματος με μονωτικό ένθετο διογκωμένης πολυστερίνης

Μετά την πρόσμιξη διογκωμένης αργίλου στο σκυρόδεμα οδηγούμαστε στη δημιουργία ενός σκυροδέματος ελαφριάς διογκωμένης αργίλου Ieca. Βρίσκονται σε πληθώρα διαστάσεων ανάλογα με το είδος της κατασκευής που θα αξιοποιηθούν. Ως τρίτη εναλλακτική για την εφαρμογή αξιοποιήσαμε το υλικό HOTBLOK. Πρόκειται για ένα υλικό χωρίς μεγάλο πάχος και με την προσθήκη της διογκωμένης πολυστερίνης προσφέρει καλές θερμομονωτικές ιδιότητες  $0.17 [W/m^2K]$  (Hotblock, 2023).

Το **Σχήμα 3.1** απεικονίζει τα υλικά που επιλέχτηκαν για την κατασκευή του εξωτερικού τοίχου μονής στρώσης του προβλήματος μας.



**Σχήμα 3.1.** Δομικά υλικά κατασκευής μονοστρωματικού εξωτερικού τοίχου a) Porotherm 42.5T Dryfix (Porotherm Dryfix, 2023) b) YTONG ENERGO πάχους 48 cm (Plebankiewiczetal., 2016) c) Ieca HOTBLOK με ένθετο πολυστερίνη (Hotblock, 2023).



### 3.4. Τεχνικά χαρακτηριστικά των προτεινόμενων δομικών υλικών

Η τιμή της κάθε εναλλακτικής προσδιορίζεται για ένα τετραγωνικό της τοιχοποιίας. Δεν συμπεριλήφθηκε το κόστος των ανοιγμάτων, των ανοιγμάτων παραθύρων και του σοβατίσματος. Το κόστος των επιλεγμένων δομικών υλικών προσδιορίστηκε από τους πίνακες χαρακτηριστικών της εκάστοτε εναλλακτικής και περιλαμβάνει το κόστος αγοράς τόσο του υλικού όσο και του κονιάματος, τον εξοπλισμό τοποθέτησης και την εργασία. Το κόστος εργασίας θεωρήθηκε ίσο με 3.256 €/w-h.

Ο Πίνακας 3.1 απεικονίζει το σύνολο των χαρακτηριστικών των τριών παραλλαγών. Από αυτόν τον πίνακα προκύπτει ότι την καλύτερη τιμή μονάδας, τη μικρότερη ένταση εργασίας και τη μέγιστη πυροπροστασία την έχει η εναλλακτική II. Έπειτα η καλύτερη θερμομόνωση εξασφαλίζεται από την εναλλακτική III όπως και το λεπτότερο πάχος. Τέλος τη μεγαλύτερη αντοχή και την καλύτερη ηχομόνωση την παρέχει η εναλλακτική I. Από όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι τα δομικά υλικά που επιλέξαμε υπερτερούν σε διαφορετικές κατηγορίες το καθένα και η βέλτιστη επιλογή θα κριθεί από την ιεράρχηση των κριτηρίων.

**Πίνακας 3.1.** Χαρακτηριστικά των διαφορετικών εναλλακτικών

Χαρακτηριστικά	Εναλλακτική I	Εναλλακτική II	Εναλλακτική III
Τιμή μονάδας [€/m <sup>2</sup> ]	72.2546	40.1236	69.8016
Ένταση εργασίας [w-h/m <sup>2</sup> ]	1.32	1.02	1.97
Συντελεστής μεταφοράς θερμότητας U [W/m <sup>2</sup> K]	0.17	0.19	0.15
Αντοχή σε πυρκαγιά(min)	REI 90	REI 240	REI 120
Ηχομόνωση [dB]	48	42	46
Αντοχή σε συμπίεση [MPa]	7.5	2	1.5
Πάχος τοιχώματος [cm]	42.5	48	42

## **Κεφάλαιο 4. Μεθοδολογίες ανάλυσης πολλαπλών κριτηρίων για επιλεγμένες παραλλαγές τοίχων**

### **4.1. Εισαγωγικές Παρατηρήσεις**

Στο κεφάλαιο αυτό θα ασχοληθούμε με την αναλυτική παρουσίαση της μεθόδου WAP, της αριθμητικής επίλυσης διορθωμένου δείκτη άθροισης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο κανονικοποίησης NeumannMorgestern καθώς και με τη μέθοδο PROMETHEE. Τη μέθοδο WAP θα τη χρησιμοποιήσουμε στην αρχή για τον προσδιορισμό του βάρους του κάθε κριτηρίου. Με την αριθμητική επίλυση θα έχουμε μια αρχική εκτίμηση για την κατάταξη προτίμησης των διαφορετικών παραλλαγών και με τη μέθοδο PROMETHEE θα προκύψει η τελική ταξινόμηση.

### **4.2. Weights Assessment through Prioritizations (WAP)**

Μια ομάδα ερευνητών (Tsotsolas et al., 2019),έχοντας ως αφετηρία την μέθοδο Robust Simos, καταφέρανε να δημιουργήσουν τη μέθοδο WAP (Weights Assessment through Prioritizations). Όπως υποδηλώνει και το όνομα της, η μέθοδος προσπαθεί να υπολογίζει τα βάρη χωρίζοντας τα κριτήρια ανάλογα με την σημαντικότητα τους. Ένα πολύ βασικό χαρακτηριστικό της μεθόδου, όπως θα δούμε και στην συνέχεια, αφορά την ευστάθεια των υπολογιζόμενων βαρών. Παρακάτω θα παρουσιαστούν τα βήματα της WAP, όπως αναλύθηκαν από την έρευνα ομάδας επιστημόνων (Mela et al., 2023)

#### Διαδικασία 1.

Οι αποφασίζοντες κατατάσσουν τα κριτήρια του προβλήματος σε σειρά και ομαδοποιούν τα αντίστοιχα σύνολα τους, αξιολογώντας τη σημασία τους στο πρόβλημα. Τα κριτήρια διατάσσονται με φθίνουσα σειρά με βάση τη σημαντικότητά τους, δηλαδή ξεκινάνε από τα πλέον σημαντικά προς τα λιγότερο σημαντικά. Παράλληλα τα χαρακτηριστικά τοποθετούνται σε διάφορες κατηγορίες, όπου το πλήθος αυτών το συμβολίζουμε με  $m$ . Το πλήθος των κατηγοριών πρέπει να είναι το πολύ ίσο με το συνολικό πλήθος των κριτηρίων (δηλαδή να ισχύει  $m \leq n$ ). Επιπλέον, όπως είναι φυσιολογικό, η σπουδαιότητα κάποιων κριτηρίων μπορεί να είναι ισοδύναμη και επομένως να τοποθετηθούν στην ίδια κατηγορία. Απόρροια της παραπάνω παρατήρησης είναι ότι μία κατηγορία μπορεί να περιέχει πάνω από ένα κριτήριο.

## Διαδικασία 2.

Ένα κομβικό σημείο της μεθόδου WAP διαδραματίζουν οι δείκτες  $z$ , όπου το πλήθος τους θα είναι ένα μικρότερο από το αντίστοιχο πλήθος κατηγοριών που έχουμε δημιουργήσει ( $m$ ). Όπως βλέπουμε και στον μαθηματικό τύπο (4.1), ο δείκτης  $z_r$  εκφράζει τον λόγο μεταξύ του βάρους του κριτηρίου που ανήκει στην  $r$  κατηγορία προς το βάρος του κριτηρίου που ανήκει στην επόμενη κατηγορία ( $r + 1$ ).

$$\frac{P_r}{P_{r+1}} = z_r, \text{ για } r = 1, \dots, m - 1 \quad (4.1)$$

Όπου  $m$  είναι το πλήθος των κατηγοριών που χωρίσαμε τα κριτήρια και  $P_r, P_{r+1}$  είναι τα βάρη που έχουν τα κριτήρια στις κατηγορίες  $r$  και  $r + 1$  αντίστοιχα.

Η μέθοδος WAP δεν έχει ως στόχο τον υπολογισμό των δεικτών  $z$ , αλλά ένα εύρος  $[z_{minr}, z_{maxr}]$ , όπου η τιμή  $z_r$  έχει την δυνατότητα να διαφέρει. Για δύο διαδοχικά κριτήρια ή ομάδα κριτηρίων (π.χ.:  $f_r, f_{r+1}$ ), η περιοχή  $[z_{minr}, z_{maxr}]$  προσδιορίζεται έτσι ώστε  $z_{minr} \leq z_r \leq z_{maxr}$ .

Για την διευκόλυνση των ειδικών στην εύρεση αυτών των τιμών συστήματος, χρησιμοποιούν οπτικές τεχνικές. Μέσω αυτής της διαδικασίας, ζητείται από τον λήπτη να κατηγοριοποιήσει τα " $n$ " κριτήρια σε " $m$ " ομάδες (όπου  $m \leq n$ ) και να καθορίσει τιμές για τους δείκτες  $z_{minr}$  και  $z_{maxr}$  ( $r = 1, 2, \dots, m-1$ ). Χρησιμοποιούμε το εύρος κύλισης για την ανάδειξη της απόστασης ανάμεσα σε δύο διαδοχικές ομάδες κριτηρίων. Οι τιμές  $z_{minr}$  και  $z_{maxr}$  προκύπτουν αυτόματα και φαίνονται με ράβδους και μοναδικές ετικέτες.

Αφού λοιπόν βρεθούν τα  $m-1$  σε πλήθος  $z_{minr}$  και  $z_{maxr}$ , μέσω ενός γραμμικού προγράμματος, χρησιμοποιούνται μεθοδολογίες που μας επιτρέπουν τον υπολογισμό των ελάχιστων και μέγιστων τιμών που θα έχουν τα βάρη των κριτηρίων. Το πρόβλημα βελτιστοποίησης  $2n$  όρων, που διατυπώνεται παρακάτω, περιγράφει τον υπολογισμό των διανυσμάτων των βαρών

$$\text{Min } p_i \text{ και Max } p_i, \text{ για } i = 1, 2, \dots, n \quad (4.2)$$

όπου υπάρχουν οι εξής περιορισμοί:

$$\triangleright p_i - p_{i+1} = 0$$

Εάν το κριτήριο  $f_{i+1}$  βρίσκεται τοποθετημένο στην ίδια κατηγορία με το κριτήριο  $f_i$ .

$$\triangleright p_i - p_{i+1} - zmin_r \geq 0, p_i - p_{i+1} - zmax_r \leq 0$$

Εάν το κριτήριο  $f_i$  βρίσκεται σε διαφορετική κατηγορία από το κριτήριο  $f_{i+1}$ .

$$\triangleright p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1,$$

$$\triangleright p_1 \geq 0, p_2 \geq 0, p_n \geq 0$$

Τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν από τα παραπάνω γραμμικά προγράμματα θα μας οδηγήσουν στην εύρεση των ελάχιστων και μέγιστων τιμών των βαρών των κριτηρίων στις λύσεις υπερ-πολύεδρο. (άπειρες λύσεις)

### Διαδικασία 3.

Η ευρωστία του εκτιμώμενου υπερ-πολύεδρου υπολογίζεται μέσω της χρήσης δυο δεικτών. Ο πρώτος δείκτης αφορά την απόσταση ανάμεσα των μέγιστων και ελάχιστων τιμών των βαρών των κριτηρίων για κάθε κριτήριο, καθώς αυτές οι τιμές υπολογίζονται για κάθε κορυφή του υπερ-πολύεδρου.

$$\mu_i = (\max(p_{ij}) - \min(p_{ij})), \text{ για } i = 1, 2, \dots, n \text{ και } j = 1, 2, \dots, m \quad (4.3)$$

Όπου  $n$  είναι το πλήθος των κριτηρίων,  $m$  ο αριθμός των κορυφών του υπερ-πολύεδρου και  $p_{ij}$  είναι το βάρος του κριτηρίου  $i$  της κορυφής  $j$ .

Ο επόμενος δείκτης, για την ευρωστία των λύσεων, αφορά την κανονικοποιημένη τυπική απόκλιση των διαφορετικών λύσεων που αντιστοιχούν στις κορυφές υπερ-πολύεδρών, όπου η τιμή 1 αντιστοιχεί στη συνολική στιβαρότητα των προτιμώμενων μοντέλων. Αυτός ο κανονικοποιημένος δείκτης ονομάζεται μέσος όρος δείκτη σταθερότητας (AverageStabilityIndex). (Grigoroudis and Siskos, 2010, 2002; Hurson and Siskos, 2014)

$$ASI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{(m(\sum_{j=1}^m (p_i^j)^2) - (\sum_{j=1}^m p_i^j)^2)}}{m\sqrt{(n-1)}} \quad (4.4)$$

Όπου  $n$  είναι το πλήθος των κριτηρίων και  $m$  το πλήθος των κορυφών του υπερ-πολύεδρου.

Επιπλέον, για το σύνολο των διανυσμάτων βάρους  $2n$ , εκτιμάται το βαρύκεντρο. Εάν οι τιμές αυτές είναι αποδεκτές από τον ειδικό, τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάρη για τα αντίστοιχα κριτήρια. Σε αντίθετη περίπτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν δύο εναλλακτικές λύσεις του ζητήματος. Η πρώτη αφορά στην αλλαγή αρχικοποίησης κάποιων

παραμέτρων, όπως είναι οι τιμές του  $Z_{\min}$  και  $Z_{\max}$  ή σειρά σπουδαιότητας των κριτηρίων. Όσο αναφορά την δεύτερη προτεινόμενη λύση του ζητήματος, θα μπορούσαμε να κάνουμε χρήση και άλλων εργαλείων για την ανάλυση ευστάθειας του υπερπολυέδρου.

### **4.3.Αριθμητική μέθοδος ταξινόμησης με χρήση κανονικοποίησης NeumannMorgestern**

Παρουσιάστηκαν οι εφαρμογές πολυκριτηριακής ανάλυσης που υποστηρίζουν τη λήψη αποφάσεων στον κατασκευαστικό κλάδο, π.χ. στο (Kaftanowicz and Krzemiński, 2015; Lesniak and Balicki, 2016; Lesniak and Zima, 2015). Οι μέθοδοι μιας συγκριτικής ανάλυσης πολλαπλών κριτηρίων περιλαμβάνουν μια κατηγορία αλγορίθμων που δημιουργούν μια βαθμωτή του οποίου η αριθμητική τιμή γίνεται ένας συνθετικός δείκτης αξιολόγησης – οι λεγόμενες «μαθηματικές μέθοδοι» (Szwabowski and Deszcz, 2001). Η εφαρμογή των δεικτών συνθετικής αξιολόγησης απαιτεί κατηγοριοποίηση των κριτηρίων αξιολόγησης σε αύξουσα προτίμηση που συσχετίζονται θετικά με την εξαρτημένη μεταβλητή και σε αρνητικά συσχετισμένα φθίνουσας προτίμησης. Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη διακριτή μέθοδος πολλαπλών κριτηρίων είναι ο διορθωμένος δείκτης άθροισης (Nowak and Trzaskalik, 2014).

Για να παρέχεται η σύγκριση και η αξιολόγηση των παραλλαγών, στις επιλεγμένες αξιολογήσεις των κριτηρίων θα πρέπει να δίνονται αδιάστατες ποσότητες, λόγω των οποίων είναι δυνατή η σύγκριση όχι μόνο των ποσοτικών αλλά και των ποιοτικών χαρακτηριστικών. Η διαδικασία περιλαμβάνει δύο βήματα (Szwabowski and Deszcz, 2001):

#### **Βήμα 1.**

Ο προσδιορισμός των διορθωμένων τιμών των αξιολογήσεων κριτηρίων για μεμονωμένες παραλλαγές (αύξουσας προτίμησης, φθίνουσας προτίμησης), Για να συγκρίνει κανείς τις παραλλαγές, πρέπει να χρησιμοποιήσει μια μέθοδο κωδικοποίησης δεδομένων, επειδή είναι αδύνατο να εξισωθούν συγκεκριμένοι παράγοντες όπως η τιμή και ο χρόνος. Πολλές διαφορετικές μέθοδοι κωδικοποίησης δεδομένων μπορούν να βρεθούν στη βιβλιογραφία.

Για την κωδικοποίηση των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος NeumannMorgenstern για τη μεγιστοποίηση της αντικειμενικότητας του αποτελέσματος. Είναι μια από τις πιο διαδεδομένες μεθόδους κωδικοποίησης δεδομένων που

χρησιμοποιείται σε προβλήματα απόφασης κατασκευής (Szwabowski and Deszcz, 2001). Μια λεπτομερής περιγραφή της μεθόδου μπορεί να βρεθεί στο (Szwabowski and Deszcz, 2001).

Η κωδικοποίηση πραγματοποιήθηκε με βάση τους παρακάτω τύπους (Radziejowska and Zima, 2016):

- για αύξουσα προτίμηση:

$$z_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{jmin}}{x_{jmax} - x_{jmin}}, \quad (4.5)$$

- για μειούμενη προτίμηση:

$$z_{ij} = \frac{x_{jmax} - x_{ij}}{x_{jmax} - x_{jmin}}, \quad (4.6)$$

όπου:

$x_{jmin}$ : η ελάχιστη τιμή του μέτρου  $j$ -ου κριτηρίου,

$x_{jmax}$ : η μέγιστη τιμή του μέτρου κριτηρίου  $j$ ,

$x_{ij}$ : μερικό μέτρο σύμφωνα με το κριτήριο  $K_j$  για την παραλλαγή  $V_i$

## Βήμα 2.

Ο προσδιορισμός του διορθωμένου δείκτη αθροίσματος  $J_i$  σύμφωνα με τον τύπο (4.7):

$$J_i = \sum_{j=1}^m (z_{ij} \cdot v_j), \quad (4.7)$$

όπου:

$J_i$ : η συνθετική αξιολόγηση της  $i$ -ης παραλλαγής,

$m$  ο αριθμός των κριτηρίων,

$z_{ij}$ : το κωδικοποιημένο μέτρο της  $i$ -ης παραλλαγής σε σχέση με το κριτήριο  $j$ ,

$v_j$ : το βάρος του  $i$ -ου κριτηρίου.

## **4.4. Μέθοδος PROMETHEE**

Η πολυκριτηριακή μέθοδος PROMETHEE (Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluations) είναι ένα πολυκριτήριο μοντέλο αξιολόγησης και διατριβής αποφάσεων που χρησιμοποιείται για την επίλυση προβλημάτων που περιλαμβάνουν πολλές εναλλακτικές επιλογές και πολλά κριτήρια αξιολόγησης. Αναπτύχθηκε αρχικά από τους Βέλγους ερευνητές J.P. Brans και B. Mareschal και αποτελεί ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την κατάταξη εναλλακτικών λύσεων βάσει πολλαπλών κριτηρίων.

Ο πυρήνας της μεθόδου PROMETHEE αποτελείται από δύο κύρια βήματα:

1. **\*\*Συγκέντρωση Προτιμήσεων (Preference Aggregation)\*\***: Κατά αυτό το βήμα, συγκεντρώνονται οι προτιμήσεις των κριτών όσον αφορά τις εναλλακτικές. Κάθε κριτής καταχωρίζει τις προτιμήσεις του χρησιμοποιώντας κριτήρια που μπορεί να είναι κβαντικά ή κατατακτικά (π.χ., προτιμώ την εναλλακτική Α πάνω από την εναλλακτική Β).
2. **\*\*Διάταξη Εναλλακτικών (Alternative Ranking)\*\***: Στο δεύτερο βήμα, υπολογίζονται οι βαθμολογίες των εναλλακτικών βάσει των προτιμήσεων που συλλέχθηκαν από τους κριτές. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για τον υπολογισμό των βαθμολογιών και στη συνέχεια τοποθετούνται σε φθίνουσα σειρά, με βάση τις προτιμήσεις των κριτών.

Μια από τις ισχυρές πτυχές της μεθόδου PROMETHEE είναι η ικανότητά της να αντιμετωπίζει την αβεβαιότητα και την επηρεασιμότητα στις αξιολογήσεις, καθώς επίσης και την ευελιξία της να λαμβάνει υπόψη και να ενσωματώνει διάφορα είδη κριτηρίων.

Η μέθοδος PROMETHEE έχει εφαρμοστεί αποδοτικά σε διάφορους κλάδους, για παράδειγμα στην επιλογή ενεργειακών πηγών, στην επιλογή τοποθεσίας για νέες εγκαταστάσεις, στην αξιολόγηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων και σε πολλούς άλλους. Η μέθοδος αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων σε πολύπλοκα προβλήματα που απαιτούν συνδυασμό πολλών κριτηρίων και πολλών επιλογών.

Η μέθοδος PROMETHEE περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια (Brans et al., 2005):

### Βήμα 1.

Υπολογισμός βαρών κριτηρίων

Για τον υπολογισμό των βαρών υπάρχουν οι εξής περιπτώσεις:

- i) οι τιμές αποφασίζονται από τον άνθρωπο που χειρίζεται το ζητούμενο αυτό.
- ii) οι τιμές των βαρών είναι όλες ίσες μεταξύ τους.

iii) κάνουμε χρήση κάποιας μεθόδου, όπου θα μας υπολογίσει τα βάρη για τα αντίστοιχα κριτήρια.

Γνωρίζουμε ότι το άθροισμα των βαρών πρέπει να μας δίνει πάντα την μονάδα, δηλαδή:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (4.8)$$

όπου  $w_j$  το βάρος του  $j$ -οστού κριτηρίου.

### Βήμα 2.

Υπολογισμός συνάρτησης προτίμησης

Η PROMETHEE κάνει χρήση του γενικευμένου κριτηρίου με σκοπό να εκφράσει την αξία που αποδίδει ο χειριστής του προβλήματος στην διαφορά  $g_j(a)-g_j(b)$ , στο κριτήριο  $j$  για το ζεύγος δράσεων  $(a,b)$ . Αυτό γίνεται μέσω της συνάρτησης προτίμησης:

$$P_j(a,b)=F_j[d_j(a,b)] \quad \forall (a,b) \in A \quad (4.9)$$

Όπου:

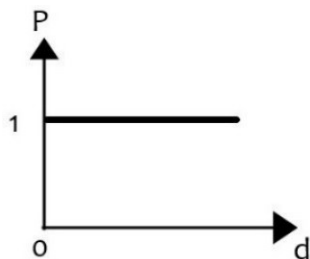
- $d_j(a,b)=g_j(a)-g_j(b)$
- $0 \leq P_j(a,b) \leq 1$
- $P_j(a,b)=0$ , όταν  $g_j(a)-g_j(b) \leq 0$

Στην περίπτωση όπου  $g_j(a)-g_j(b) > 0$  τότε γίνεται η επιλογή της συνάρτησης.

Για την ξεκάθαρη επιλογή της συνάρτησης προτίμησης, χρησιμοποιούνται έξι γενικευμένα κριτήρια, τα οποία στις περισσότερες περιπτώσεις μας δίνουν λύση στο να εκφραστούν οι προτιμήσεις.

Γενικευμένο Κριτήριο	Συνάρτηση Προτίμησης	Απαραίτητες παράμετροι
----------------------	----------------------	------------------------

1. Κοινό κριτήριο (Usual)

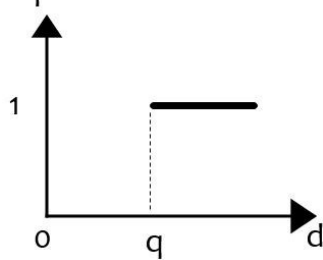


$$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ 1, & d > 0 \end{cases}$$

—

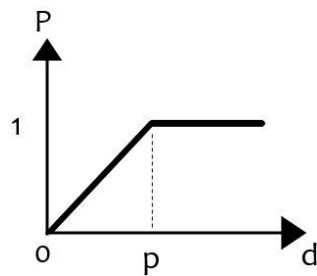


2. Κριτήριο U-καμπύλης



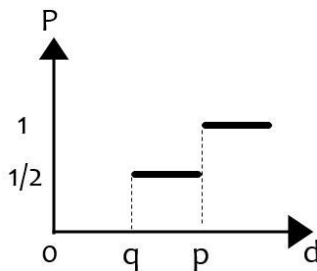
$$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ 1, & d > q \end{cases} \quad \mathbf{q}$$

3. Κριτήριο V-καμπύλης(V-shape)



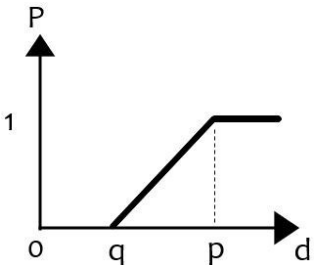
$$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ \frac{d}{p}, & 0 \leq d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases} \quad \mathbf{p}$$

4. Κριτήριο επιπέδων (level)



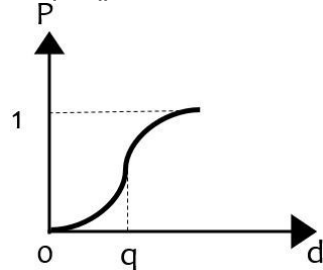
$$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ \frac{1}{2}, & q < d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases} \quad \mathbf{p, q}$$

5. Κριτήριο V-καμπύλης μεκατώφλι αδιαφορίας (Linear)



$$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq q \\ \frac{d-q}{p-q}, & q < d \leq p \\ 1, & d > p \end{cases} \quad \mathbf{p, q}$$

6. Κριτήριο Gauss



$$P(d) = \begin{cases} 0, & d \leq 0 \\ 1 - e^{-\frac{d^2}{2s^2}}, & d > 0 \end{cases} \quad \mathbf{s}$$

### Βήμα 3.

Υπολογισμός του πολυκριτηρίου δείκτη προτίμησης

Ο δείκτης αυτός εκφράζει το συνολικό βαθμό προτίμησης της μεθόδου a σε σχέση με την μέθοδο b. Για κάθε ζεύγος δράσεων (a,b) ισχύει το εξής:

$$(a, b) = \sum_{j=1} w_{jj} P_{jj}(a, b) \quad (4.10)$$

Όπου:  $w_j$ : βάρος j-οστού κριτηρίου και  $P_j(a,b)$ : Αποτέλεσμα συνάρτησης προτίμησης για το j-οστό κριτήριο μεταξύ των δράσεων a, b

### Βήμα 4.

Υπολογισμός ροών υπεροχής. Για n εναλλακτικές:

#### ❖ **Θετική ροή (positive outranking flow)**

Αφορά το πόσο καλύτερη είναι η δράση a σε σχέση με όλες τις άλλες δράσεις. Αυτό εκφράζεται από τον εξής τύπο:

$$\varphi(a)^+ = \frac{1}{n-1} \sum \pi(a, \chi) \quad \text{θετική ροή} \quad (4.11)$$

#### ❖ **Αρνητική ροή (negative outranking flow)**

2. Αφορά το πόσο καλύτερες είναι οι υπόλοιπες δράσεις σε σχέση με την a. Αυτό εκφράζεται από τον εξής τύπο:

$$\varphi(a)^- = \frac{1}{n-1} \sum \pi(\chi, a) \quad \text{αρνητική ροή} \quad (4.12)$$

#### ❖ **Καθαρή ροή (net outranking flow)**

Είναι μια ποσότητα που μας δίνει μία συνολική εικόνα για την δράση a σε σχέση με τις άλλες. Ουσιαστικά υπολογίζει την διαφορά της θετικής με την αρνητική ροή, δηλαδή ισχύει:

$$\varphi(a) = \varphi(a)^+ - \varphi(a)^- \quad (4.13)$$

### Βήμα 5.

Κατάταξη:

- Μερική κατάταξη των δράσεων μέσω PROMETHEE I
  - Πλήρης κατάταξη (Z1) ως προς τις θετικές ροές (όσο μεγαλύτερη τόσο πιο ψηλά στην κατάταξη)
  - Πλήρης κατάταξη (Z2) ως προς τις αρνητικές ροές (όσο μικρότερη τόσο πιο ψηλά στην κατάταξη)
- Πλήρης κατάταξη των δράσεων μέσω PROMETHEE II
  - Πλήρης κατάταξη (Z=Z1∩Z2) ως προς τις καθαρές ροές (όσο μεγαλύτερη τόσο πιο ψηλά στην κατάταξη)

## Κεφάλαιο 5. Αξιολόγηση των Εναλλακτικών

### 5.1 Προσδιορισμός του βάρους των κριτηρίων με τη μέθοδο WAP

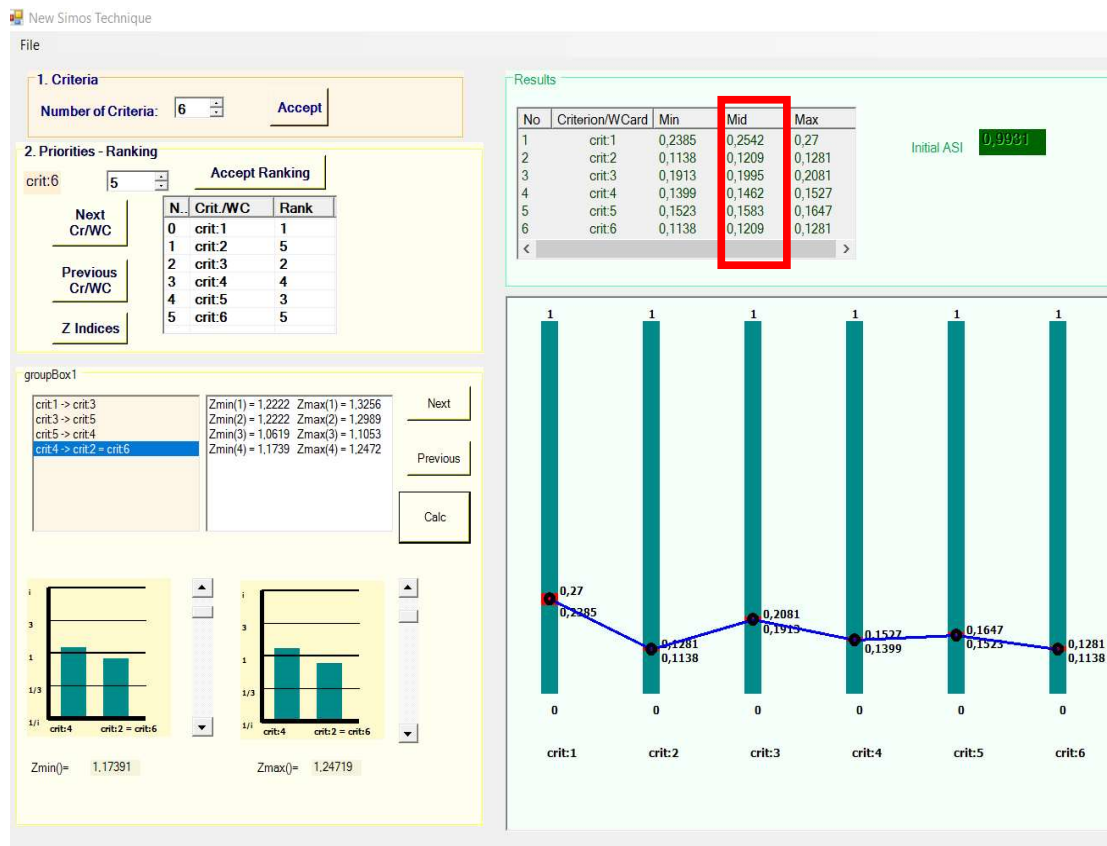
Αρχικά με βάση τα χαρακτηριστικά των εναλλακτικών μας από τους πίνακες 3.1 και 3.2 σχηματίσαμε τον πίνακα 5.1 ο οποίος αποτελεί τον πολυκριτηριακό πίνακα του προβλήματος που επιλύουμε.

Πίνακας 5.1. Δεδομένα προβλήματος - Πολυκριτηριακός πίνακας

Κριτήριο	Η φύση του κριτηρίου	Μέτρο του κριτηρίου για την παραλλαγή		
		V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>
		Κεραμικά με ορυκτοβάμβακα	Κυψελωτοί τσιμεντόλιθοι	Μπετόν Leca με ένθετο φελιζόλ
K <sub>1</sub> κόστος εκτέλεσης [€/m <sup>2</sup> ]	Φθίνουσας Προτίμησης	72.2546	40.1236	69.8016
K <sub>2</sub> ένταση εργασίας [w-h]	Φθίνουσας Προτίμησης	1.32	1.02	1.97
K <sub>3</sub> συντελεστής U [W/m <sup>2</sup> K]	Φθίνουσας Προτίμησης	0.17	0.19	0.15
K <sub>4</sub> αντοχή σε πυρκαγιά (min)	Αύξουσας Προτίμησης	90	240	120
K <sub>5</sub> ηχομόνωση [dB]	Αύξουσας Προτίμησης	48	42	46
K <sub>6</sub> αντοχή [MPa]	Αύξουσας Προτίμησης	7,5	2	1,5

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο WAP για τον υπολογισμό των βαρών των κριτηρίων, η ταξινόμηση των κριτηρίων πραγματοποιήθηκε με την χρήση αντίστοιχου λογισμικού. Στο πρώτο στάδιο, διατάξαμε τα κριτήρια από το πλέον

σημαντικό στο λιγότερο σημαντικό και στη συνέχεια οπτικά καθορίσαμε τις αποστάσεις μεταξύ των κριτηρίων για τα  $Z_{min}$  και  $Z_{max}$ . Στο Σχήμα 5.1 παρουσιάζονται οι προτιμήσεις του αποφασίζοντας ως προς τα βάρη. Το κριτήριο 1 (κόστος εκτέλεσης) εκτιμάται ως το πιο σημαντικό έναντι των υπολοίπων και ακολουθεί το κριτήριο 3 (συντελεστής θερμοπερατότητας) μετά το κριτήριο 5 (ηχομόνωση) έπειτα το κριτήριο 4 (αντοχή σε πυρκαγιά) και τέλος τα κριτήρια 2 (ένταση εργασίας) και 6 (αντοχή), τα οποία έχουν την ίδια σπουδαιότητα. Επομένως, προσδιορίζοντας οπτικά τις αποστάσεις μπορεί να υπολογιστεί πόσο σημαντικότερο είναι το κριτήριο 1 από το κριτήριο 3, πόσο πιο σημαντικό είναι το κριτήριο 3 έναντι του 5, πόσο πιο σημαντικό είναι το κριτήριο 5 έναντι του 4 και τέλος πόσο πιο σημαντικό είναι το κριτήριο 4 έναντι των κριτηρίων 2 και 6. Έτσι, έχοντας δημιουργήσει τέσσερα εύρη μέσα στο πρόγραμμα από  $Z_{min}$  και  $Z_{max}$ , κατατάξαμε τα 6 κριτήρια σε 5 κλάσεις. Εν κατακλείδι, εισάγαμε στο πρόγραμμα όλα τα δεδομένα που αναφέρθηκαν και προέκυψαν τα βάρη των κριτηρίων (η τιμή *Mid*) όπως φαίνονται και στο Σχήμα 5.1 που ακολουθεί



Σχήμα 5.1. Εύρεση βαρών με τη χρήση της μεθόδου WAP

## 5.2. Εκτίμηση ιεράρχησης των εναλλακτικών χρησιμοποιώντας αριθμητική μέθοδο

Αξιοποιώντας τα βάρη που προέκυψαν με τη μέθοδο WAP προέκυψε ο πίνακας 5.2

**Πίνακας 5.2.** Πολυκριτηριακός πίνακας με βάρη

Κριτήριο	Η φύση του κριτηρίου	Βάρος κριτηρίου	Μέτρο του κριτηρίου για την παραλλαγή		
			V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>
			Κεραμικά με ορυκτοβάμβακα	Κυψελωτοί τσιμεντόλιθοι	Μπετόν Leca με ένθετο φελιζόλ
K <sub>1</sub> κόστος εκτέλεσης [€/m <sup>2</sup> ]	Φθίνουσας Προτίμησης	0,2542	72.2546	40.1236	69.8016
K <sub>2</sub> ένταση εργασίας [w-h]	Φθίνουσας Προτίμησης	0,1209	1.32	1.02	1.97
K <sub>3</sub> συντελεστής U [W/m <sup>2</sup> K]	Φθίνουσας Προτίμησης	0,1995	0.17	0.19	0.15
K <sub>4</sub> αντοχή σε πυρκαγιά (min)	Αύξουσας Προτίμησης	0,1462	90	240	120
K <sub>5</sub> ηχομόνωση [dB]	Αύξουσας Προτίμησης	0,1583	48	42	46
K <sub>6</sub> αντοχή [MPa]	Αύξουσας Προτίμησης	0,1209	7,5	2	1,5

Έπειτα χρησιμοποιώντας τις εξισώσεις 4.5 4.6 και 4.7 κανονικοποιήσαμε τον πολυκριτηριακό πίνακα και έπειτα με βάση το βάρος του κάθε κριτηρίου βρήκαμε διορθωμένο δείκτη αθροίσματος σε κάθε εναλλακτική. Ο Πίνακας 5.3 απεικονίζει τα κωδικοποιημένα μέτρα των τιμών των κριτηρίων για τις προτεινόμενες παραλλαγές και ο δείκτης άθροισης  $J_i$  καθορίζεται σύμφωνα με τον τύπο 4.7.

**Πίνακας 5.3.** Κωδικοποιημένα μέτρα τιμών κριτηρίων για τις προτεινόμενες παραλλαγές.

Κριτήριο	Η φύση του κριτηρίου	Βάρος κριτηρίου	Μέτρο του κριτηρίου για την παραλλαγή		
			V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>
			Κεραμικά με ορυκτοβάμβακα	Κυψελωτοί τσιμεντόλιθοι	Μπετόν Leca με ένθετο φελιζόλ
K <sub>1</sub> κόστος εκτέλεσης [€/m <sup>2</sup> ]	Φθίνουσας Προτίμησης	0,2542	0,00	1,00	0,08
K <sub>2</sub> ένταση εργασίας [w-h]	Φθίνουσας Προτίμησης	0,1209	0,68	1,00	0,00
K <sub>3</sub> συντελεστής U [W/m <sup>2</sup> K]	Φθίνουσας Προτίμησης	0,1995	0,50	0,00	1,00
K <sub>4</sub> αντοχή σε πυρκαγιά (min)	Αύξουσας Προτίμησης	0,1462	0,00	1,00	0,2
K <sub>5</sub> ηχομόνωση [dB]	Αύξουσας Προτίμησης	0,1583	1,00	0,00	0,67
K <sub>6</sub> αντοχή [MPa]	Αύξουσας Προτίμησης	0,1209	1,00	0,08	0,00
Συνοπτικοί δείκτες $J_i$			0.461	0.531	0.355
Εκτίμηση			2	1	3

Η στατική ανάλυση, που πραγματοποιήθηκε, για τα υιοθετούμενα κριτήρια και τα βάρη που αποδίδονται σε αυτά αποκάλυψε ότι η πιο συμφέρουσα λύση είναι η παραλλαγή του τοίχου από κυψελωτές τσιμεντόλιθους. Η διαφορά μεταξύ των τιμών του δείκτη άθροισης για τις άλλες δύο παραλλαγές είναι πολύ μικρή. Η αριθμητική αυτή μέθοδος μας δείχνει μια πιθανή σειρά κατάταξης αλλά η τελική ταξινόμηση θα προκύψει από τη μέθοδο PROMETHEE.

### 5.3. Ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων για επιλεγμένες παραλλαγές τοίχων με τη μέθοδο PROMETHEE II

Όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο που κάναμε μια πρώτη εκτίμηση έτσι και στην τρέχουσα ανάλυση με τη μέθοδο PROMETHEE II με χρήση excel χρησιμοποιήσαμε τα βάρη από τη μέθοδο WAP και φτιάξαμε τον πολυκριτηριακό πίνακα με τα βάρη **πίνακας 5.2**. Έπειτα με τον τύπο **4.9** και με βάση αν το κριτήριο είναι αύξουσας ή φθίνουσας προτίμησης δημιουργήθηκε ο παρακάτω πίνακας προτίμησης για το κάθε κριτήριο σε όλες τις εναλλακτικές

**Πίνακας 5.4.** Πίνακας συνάρτησης προτίμησης

<b>Συνάρτηση προτίμησης</b>			
<b>K1</b>			
	Porotherm 42.5 T Dryfix	YTONG ENERGO	HOTBLOK
Porotherm 42.5 T Dryfix	0	-32,131	-2,453
YTONG ENERGO	32,131	0	29,678
HOTBLOK	2,453	-29,678	0
<b>K2</b>			
	Porotherm 42.5 T Dryfix	YTONG ENERGO	HOTBLOK
Porotherm 42.5 T Dryfix	0	-0,3	0,65
YTONG ENERGO	0,3	0	0,95
HOTBLOK	-0,65	-0,95	0
<b>K3</b>			
	Porotherm 42.5 T Dryfix	YTONG ENERGO	HOTBLOK
Porotherm 42.5 T Dryfix	0	0,02	-0,02
YTONG ENERGO	-0,02	0	-0,04
HOTBLOK	0,02	0,04	0

<b>K4</b>			
	Porotherm 42.5 T Dryfix	YTONG ENERGO	HOTBLOK
Porotherm 42.5 T Dryfix	0	-150	-30
YTONG ENERGO	150	0	120
HOTBLOK	30	-120	0
<b>K5</b>			
	Porotherm 42.5 T Dryfix	YTONG ENERGO	HOTBLOK
Porotherm 42.5 T Dryfix	0	6	2
YTONG ENERGO	-6	0	-4
HOTBLOK	-2	4	0
<b>K6</b>			
	Porotherm 42.5 T Dryfix	YTONG ENERGO	HOTBLOK
Porotherm 42.5 T Dryfix	0	5,5	6
YTONG ENERGO	-5,5	0	0,5
HOTBLOK	-6	-0,5	0

Έπειτα με τη χρήση της Usual συνάρτησης κανονικοποιήσαμε τον **πίνακα 5.4**, και δημιουργείται για κάθε κριτήριο πίνακας στον οποίο με 1 είναι ότι είναι προτιμότερο (μεγαλύτερο του μηδενός στον **πίνακα 5.4**) και 0 ότι δεν φαίνεται να επιλέγεται βάσει κριτηρίου. Έτσι προκύπτει ο παρακάτω κανονικοποιημένος πίνακας συνάρτησης προτίμησης **5.5**.



**Πίνακας 5.5.** Κανονικοποιημένος πίνακας συνάρτησης προτίμησης

<b>Συνάρτηση προτίμησης με κοινό κριτήριο</b>			
<b>Pairwise Comparison matrix 1ο κριτήριο</b>			
	Porotherm 42.5 T Dryfix	YTONG ENERGO	HOTBLOK
Porotherm 42.5 T Dryfix	0	0	0
YTONG ENERGO	1	0	1
HOTBLOK	1	0	0
<b>Pairwise Comparison matrix 2ο κριτήριο</b>			
	Porotherm 42.5 T Dryfix	YTONG ENERGO	HOTBLOK
Porotherm 42.5 T Dryfix	0	0	1
YTONG ENERGO	1	0	1
HOTBLOK	0	0	0
<b>Pairwise Comparison matrix 3ο κριτήριο</b>			
	Porotherm 42.5 T Dryfix	YTONG ENERGO	HOTBLOK
Porotherm 42.5 T Dryfix	0	1	0
YTONG ENERGO	0	0	0
HOTBLOK	1	1	0
<b>Pairwise Comparison matrix 4ο κριτήριο</b>			
	Porotherm 42.5 T Dryfix	YTONG ENERGO	HOTBLOK
Porotherm 42.5 T Dryfix	0	0	0
YTONG ENERGO	1	0	1
HOTBLOK	1	0	0

<b>Pairwise Comparison matrix 5ο κριτήριο</b>			
	Porotherm 42.5 T Dryfix	YTONG ENERGO	HOTBLOK
Porotherm 42.5 T Dryfix	0	1	1
YTONG ENERGO	0	0	0
HOTBLOK	0	1	0
<b>Pairwise Comparison matrix 6ο κριτήριο</b>			
	Porotherm 42.5 T Dryfix	YTONG ENERGO	HOTBLOK
Porotherm 42.5 T Dryfix	0	1	1
YTONG ENERGO	0	0	1
HOTBLOK	0	0	0

Στη συνέχεια πολλαπλασιάστηκε ο **πίνακας 5.5** με το αντίστοιχο βάρος του κάθε κριτηρίου και μετά έγινε άθροιση όλων των κριτηρίων ώστε να προκύψει ο **πίνακας 5.6**, τον οποίο θα χρησιμοποιήσουμε για να βρούμε την καθαρή ροή σε όλες τις εναλλακτικές επιλογές

**Πίνακας 5.6.** Πίνακας άθροισης των κριτηρίων σε συνάρτηση με τα βάρη

<b>Άθροιση πινάκων</b>			
	Porotherm 42.5 T Dryfix	YTONG ENERGO	HOTBLOK
Porotherm 42.5 T Dryfix	0	0,4787	0,4001
YTONG ENERGO	0,5213	0	0,6422
HOTBLOK	0,5999	0,3578	0

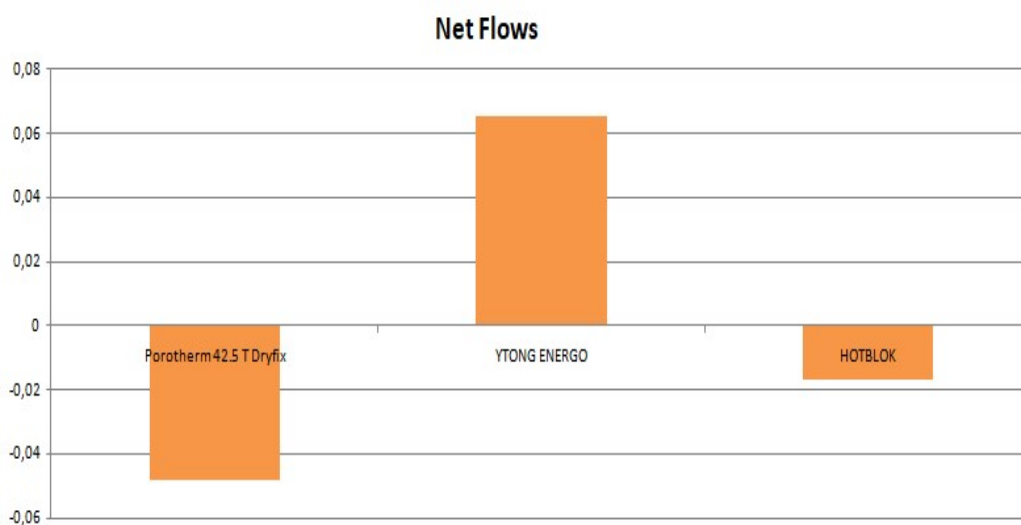
Ως τελευταίο βήμα θα υπολογίσουμε στα υλικά την καθαρή ροή αξιοποιώντας τους τύπους **4.11**, **4.12** και **4.13** και με αυτόν τον τρόπο θα βρούμε το τελικό αποτέλεσμα και θα γίνει η ιεράρχηση των επιλογών

**Πίνακας 5.7.** Καθαρή ροή Υλικών

Υπολογισμός ως προς καθαρή ροή	
Υλικά	Total Net Flows
Porotherm 42.5 T Dryfix	-0,04848
YTONG ENERGO	0,0654
HOTBLOK	-0,01692

**Πίνακας 5.8.** Τελική ταξινόμηση

Ταξινόμηση	
Υλικά	Total Net Flows
YTONG ENERGO	0,065
HOTBLOK	-0,017
Porotherm 42.5 T Dryfix	-0,048



**Σχήμα 5.2.** Net Flows

Με βάση τα παραπάνω δεδομένα, και τα βάρη που έχουν αποδοθεί σε κάθε κριτήριο, η μέθοδος PROMETHEE II αναδεικνύει ότι το υλικό YTONG ENERGO έχει το υψηλότερο netflow (0.065). Αντιθέτως, αρνητικό netflow έχει το υλικό το υλικό HOTBLOK και το Porotherm. Συμπερασματικά η πιο συμφέρουσα λύση είναι αυτή των κυψελωτών τσιμεντόλιθων

Για τον έλεγχο της ορθότητας των υπολογισμών εφαρμόσαμε και την ακόλουθη μέθοδο σε excel χρησιμοποίησαμε την **VISUAL PROMETHEE** που είναι διαθέσιμη στο Link <https://visual-promethee.software.informer.com/download/>

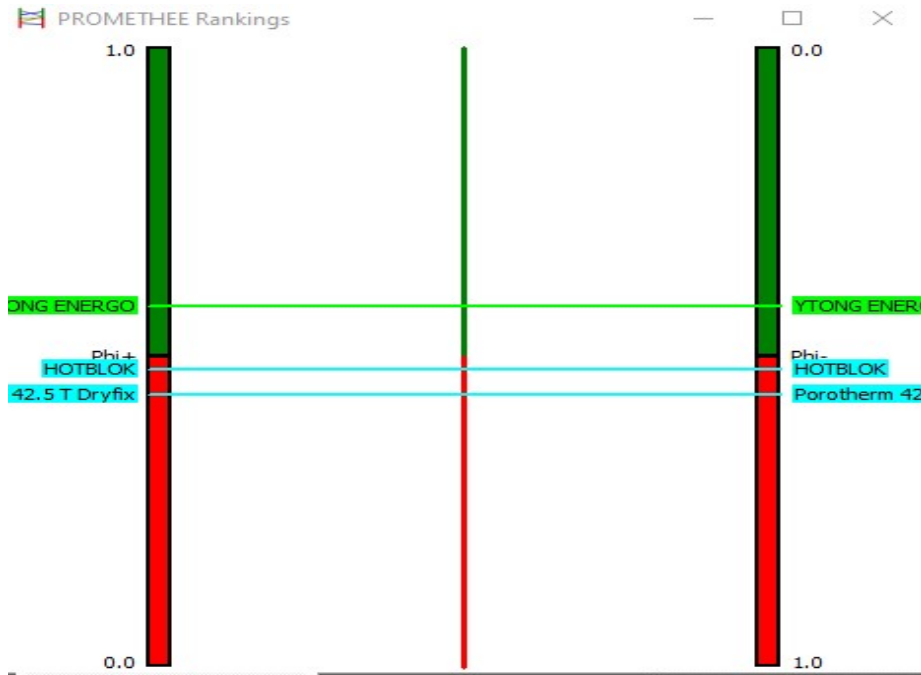
- **Παραμετροποίηση VISUAL PROMETHEE**

Η αρχική παραμετροποίηση φαίνεται στο κάτωθι **σχήμα 5.3**.

	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>PAPPAS</b>	Price	u	FIRE	VOICE_CAN...	PRESSING	WORK_FORCE
Unit	€	W/m2K	Min	dB	MPa	w-h
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆
<b>Preferences</b>						
Min/Max	min	min	max	max	max	min
Weight	25,42	19,95	14,62	15,83	12,09	12,09
Preference Fn.	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual	Usual
Thresholds	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute	absolute
- Q: Indifference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- P: Preference	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
<b>Statistics</b>						
Minimum	€ 40,124	0,15	90,0	42,0	1,5	1,02
Maximum	€ 72,255	0,19	240,0	48,0	7,5	1,97
Average	€ 60,727	0,17	150,0	45,3	3,7	1,44
Standard Dev.	€ 14,603	0,02	64,8	2,5	2,7	0,40
<b>Evaluations</b>						
<input checked="" type="checkbox"/> Porothem 42.5 ...	€ 72,255	0,17	90,0	48,0	7,5	1,32
<input checked="" type="checkbox"/> YTONG ENERGO	€ 40,124	0,19	240,0	42,0	2,0	1,02
<input checked="" type="checkbox"/> HOTBLOK	€ 69,802	0,15	120,0	46,0	1,5	1,97

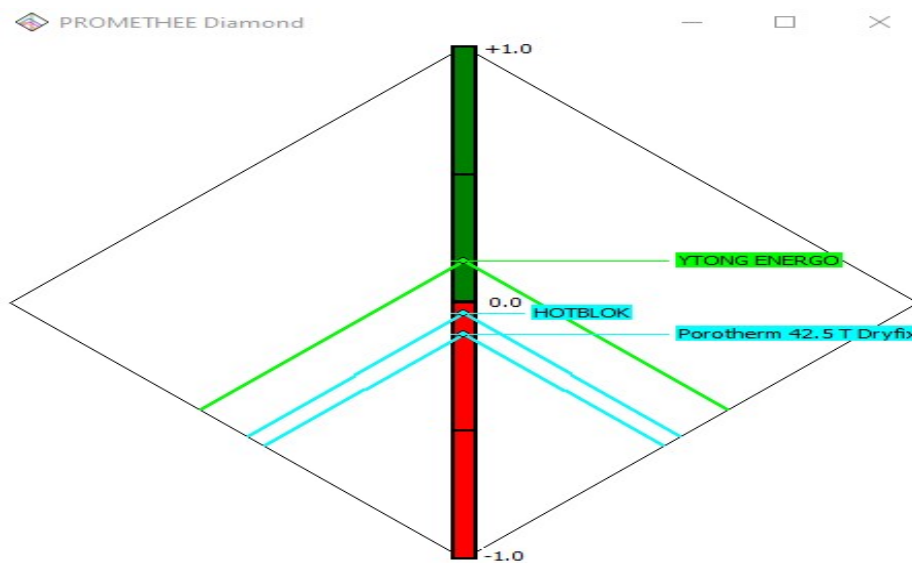
**Σχήμα 5.3.** Παραμετροποίηση το προβλήματος στο πρόγραμμα Visual PROMETHEE

- Και η επίλυση του μοντέλου είναι η ακόλουθη σήμα 5.4:



**Σχήμα 5.4.** Ιεράρχηση των εναλλακτικών με τη πρόγραμμα VISUAL PROMETHEE

Στην οποία είναι φανερό πως η καλύτερη επιλογή είναι παραλλαγή του τοίχου από κυψελωτούς τσιμεντόλιθους. Στο ίδιο συμπέρασμα καταλήγουμε αν εξετάσουμε και το σχήμα diamond στο οποίο με πράσινο χρώμα προκύπτει η βέλτιστη επιλογή (YTON ENERGO) **σχήμα 5.5.**



**Σχήμα 5.5.** Σχήμα Diamond από τη μέθοδο Visual PROMETHEE

## Κεφάλαιο 6. Συμπεράσματα

Η πολυκριτήρια ανάλυση αποτελεί ένα σημαντικό πεδίο στην επιστήμη της αποφάσεων και της διαχείρισης. Αντιμετωπίζει πολύπλοκα προβλήματα όπου οι αποφάσεις πρέπει να ληφθούν βάσει πολλαπλών κριτηρίων και στόχων. Η πολυκριτήρια ανάλυση είναι απαραίτητη όταν έχουμε να κάνουμε με προβλήματα που δεν μπορούν να αξιολογηθούν με βάση ένα μόνο κριτήριο. Αντιθέτως, πρέπει να λάβουμε υπόψη πολλά διαφορετικά κριτήρια και να βρούμε τον καλύτερο συνδυασμό που ικανοποιεί τις αντιφατικές απαιτήσεις. Αυτό έχει εφαρμογές σε πολλούς τομείς, όπως η επιχειρηματική λήψη αποφάσεων, η μηχανική και σε πολλούς άλλους κλάδους

Οι βασικές μέθοδοι πολυκριτήριας ανάλυσης μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες. Κάθε μέθοδος έχει τα πλεονεκτήματά της και τα αρνητικά της, και η επιλογή μεθόδου εξαρτάται από το είδος του προβλήματος και τις διαθέσιμες πληροφορίες.

Ωστόσο, η πολυκριτήρια ανάλυση δεν είναι απαλλαγμένη από προκλήσεις. Ένα από τα βασικά προβλήματα είναι η αντιμετώπιση της αντίφασης μεταξύ των κριτηρίων, όπου η βελτιστοποίηση ενός κριτηρίου μπορεί να επηρεάσει αρνητικά άλλα. Επίσης, η αντικειμενικότητα των κριτηρίων και η συλλογή δεδομένων είναι σημαντικά ζητήματα. Τέλος, η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου και η εκτέλεσή της μπορεί να είναι χρονοβόρες και πολύπλοκες.

Η βιβλιογραφία έδειξε ότι δεν υπάρχει εμπεριστατομένη ανάλυση για την επιλογή μίας μεθόδου έναντι κάποιας άλλης. Παρόλα αυτά τα τελευταία χρόνια γίνονται προσπάθειες εύρεσης ενός μοντέλου βέλτιστης επιλογής πολυκριτήριας μεθόδου και το παραπάνω θα μπορούσε σίγουρα να αποτελέσει αντικείμενο μελλοντικής έρευνας.

Συνοψίζοντας, η πολυκριτήρια ανάλυση αποτελεί ισχυρό εργαλείο για τη λήψη αποφάσεων σε πολύπλοκα προβλήματα. Προσφέρει τη δυνατότητα εξερεύνησης πολλών πιθανών λύσεων και την αξιολόγηση τους βάσει πολλαπλών κριτηρίων.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η εύρεση του κατάλληλου υλικού για την επισκευή και ανακαίνιση τοίχου πρόσοψης υφιστάμενης μονοκατοικίας στην περιοχή Αχαρνές (Μενίδι) με τοίχο μονής στρώσης.

Τα αποτελέσματα στη αριθμητική ανάλυση με τα αποτελέσματα στην πολυκριτήρια ανάλυση με τη μέθοδο PROMETHEE (είτε με τη χρήση του προγράμματος είτε με τη χρήση του excel) δέφεραν οριακά. Η επικρατέστερη επιλογή ήταν η λύση με κυψελωτές τσιμεντόλιθους. Όμως η ταξινόμηση των άλλων δύο εναλλακτικών δέφερε από την αρχική μας εκτίμηση. Η διαφορά μεταξύ της τελικής καθαρής ροής για τις άλλες δύο παραλλαγές είναι πολύ μικρή, και για αυτό στην πιο λεπτομερή ανάλυση με την μέθοδο PROMETHEE και με τους δύο τρόπους σύγκλινε ότι το πιο συμφέρον υλικό ανάμεσα στα δύο τελευταία είναι το μπετόν με ένθετο φελιζόλ.

Πρέπει να αναφερθεί ότι η παραλλαγή με κυψελωτές τσιμεντόλιθους, ήταν και η φθηνότερη, παρόλο που το βάρος του κριτηρίου: κόστος ανά  $1 \text{ m}^2$ , ήταν το υψηλότερο. Αυτό το αποτέλεσμα πιθανότατα επηρεάστηκε από την απόφαση να γίνει αποδεκτό το κριτήριο της τιμής ως το κριτήριο με τη μεγαλύτερη βαρύτητα. Η κατασκευή του χωρίσματος από αυτό το υλικό απαιτεί την ελάχιστη ένταση εργασίας. Χρησιμοποιώντας μπλοκ από ελαφρύ υλικό μπορεί να επιταχυνθεί σημαντικά η διαδικασία κατασκευής. Όταν συγκρίνουμε τον συντελεστή  $U$  αυτού του υλικού με τα άλλα δύο (βλ. Πίνακας 3.1), θα διαπιστώσουμε ότι είναι υψηλότερος. Παρ' όλα αυτά, παραμένει συμβατό με τα πρότυπα που ισχύουν μετά το 2021 ( $0.2 \text{ [W/m}^2\text{K]}$ )

Εν κατακλείδι, πρόκειται για ένα υλικό με εξαιρετικά αντιπυρικά χαρακτηριστικά το οποίο είναι το λιγότερο απαιτητικό στο χρόνο κατασκευής και δεν υστερεί σημαντικά σε ηχομόνωση και θερμοπερατότητα.

Τέλος θα πρέπει να τονιστεί ότι η μέθοδος κωδικοποίησης δεδομένων (η μέθοδος Neumann-Morgenstern) έγινε αποδεκτή εκ των προτέρων. Ακόμα η μέθοδος PROMETHEE επιλέχθηκε υποκειμενικά από το συγγραφέα λόγω της συχνότητας χρησιμοποίησής της στα έργα του πολιτικού μηχανικού. Σε περίπτωση αλλαγής του βάρους, της μεθόδου κωδικοποίησης δεδομένων ή της μεθόδου πολυκριτήριας ανάλυσης, η αξιολόγηση μεμονωμένων παραλλαγών μπορεί να είναι διαφορετική.

## Βιβλιογραφικές αναφορές

- Azapagic, A., Perdan, S., 2005. An integrated sustainability decision-support framework Part I: Problem structuring. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* 12, 98–111. <https://doi.org/10.1080/13504500509469622>
- Bajorek, G., Lichotał, L. (Eds.), 2008. *Budownictwo ogólne: pracazbiorowa. T. 3: Elementybudynków - podstawyprojektowania*, Wydanie I. ed. Wydawnictwo “Arkady,” Warszawa.
- Bakht, M.N., El-Diraby, T.E., 2015. Synthesis of Decision-Making Research in Construction. *J. Constr. Eng. Manage.* 141, 04015027. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000984](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000984)
- Balali, V., Mottaghi, A., Shoghli, O., Golabchi, M., 2014. Selection of Appropriate Material, Construction Technique, and Structural System of Bridges by Use of Multi-Criteria Decision-Making Method. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board* 2431, 78–87. <https://doi.org/10.3141/2431-11>
- Basińska, M., Buczkowski, W. (Eds.), 2009. *Budownictwo ogólne: pracazbiorowa. T. 4: Konstrukcjebudynków*. Wydawnictwo “Arkady,” Warszawa.
- Baumol, W.J., 1962. *Management models and industrial applications of linear programming, Volume I*, by Abraham Charnes and William W. Cooper. John Wiley and Sons, New York, 1961. xxiii + 467 pp. \$11.75. *Naval Research Logistics* 9, 63–64. <https://doi.org/10.1002/nav.3800090109>
- Behzadian, M., Kazemzadeh, R.B., Albadvi, A., Aghdasi, M., 2010. PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications. *European Journal of Operational Research* 200, 198–215. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.01.021>
- Behzadian, M., KhanmohammadiOtaghsara, S., Yazdani, M., Ignatius, J., 2012. A state-of-the-art survey of TOPSIS applications. *Expert Systems with Applications* 39, 13051–13069. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.05.056>
- Belton, V., Stewart, T.J., 2002. *Multiple Criteria Decision Analysis*. Springer US, Boston, MA. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1495-4>
- Brans, J.-P., Mareschal, B., Figueira, J., Greco, S., Ehrogott, M., 2005. *Promethee Methods*. pp. 163–186. [https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5\\_5](https://doi.org/10.1007/0-387-23081-5_5)
- Cartelle Barros, J.J., Lara, M., López, M., del CañoGochi, A., 2015. Assessing the global sustainability of different electricity generation systems. *Energy* 89. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.05.110>
- Celik, E., G., A., n.d. A Fuzzy TOPSIS approach based on trapezoidal numbers to material selection problem. *Journal of Information Technology Applications and Management* 19, 19–30.



- Charnes, A., C., W.W., 1961. Management Models and Industrial Applications of Linear Programming (v. 1). Wiley, New York.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., 1978. Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research* 2, 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Chen, T.-Y., 2014. The extended linear assignment method for multiple criteria decision analysis based on interval-valued intuitionistic fuzzy sets. *Applied Mathematical Modelling* 38, 2101–2117. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2013.10.017>
- De Azevedo, R.C., De Oliveira Lacerda, R.T., Ensslin, L., Jungles, A.E., Ensslin, S.R., 2013. Performance Measurement to Aid Decision Making in the Budgeting Process for Apartment-Building Construction: Case Study Using MCDA-C. *J. Constr. Eng. Manage.* 139, 225–235. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000587](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000587)
- Diakoulaki, D., Karangelis, F., 2007. Multi-criteria decision analysis and cost-benefit analysis of alternative scenarios for the power generation sector in Greece. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11, 716–727. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.06.007>
- erykmoj, marekŚliwiński, n.d. PodstawyBudownictwacz 1 i 2.
- Fetanat, A., Khorasaninejad, E., 2015. A novel hybrid MCDM approach for offshore wind farm site selection: A case study of Iran. *Ocean&CoastalManagement* 109. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.02.005>
- Giang, D.T.H., Sui Pheng, L., 2011. Role of construction in economic development: Review of key concepts in the past 40 years. *Habitat International* 35, 118–125. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2010.06.003>
- Grigoroudis, Evangelos, και Yannis Siskos. Customer Satisfaction Evaluation: Methods for Measuring and Implementing Service Quality. τ. 139, 2010. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1640-2>.
- Grigoroudis, E., και Y. Siskos. ‘Preference disaggregation for measuring and analysing customer satisfaction: The MUSA method’. *European Journal of Operational Research* 143, τχ. 1 (16 Νοέμβριος 2002): 148–70. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00332-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00332-0).
- Grzyl, B., Miszewska-Urbańska, E., Apollo, M., 2017. The life cycle cost of a building from the point of view of environmental criteria of selecting the most beneficial offer in the area of competitive tendering. *E3S Web Conf.* 17, 00028. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20171700028>
- Gumus, S., Kucukvar, M., Tatari, O., 2016. Intuitionistic fuzzy multi-criteria decision making framework based on life cycle environmental, economic and social impacts: The case of U.S. wind energy. *Sustainable Production and Consumption* 8. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2016.06.006>
- Hassan, A., 2015. DEVELOPING A DECISION-MAKING MODEL FOR REINFORCED CONCRETE COLUMNS STRENGTHENING. *geomate*. <https://doi.org/10.21660/2015.17.77814>

Hotblock<http://www.hotblok.pl/index.php/pl/oferta/system-budowy-scian/>

Hurson, Christian, και Yannis Siskos. 'A synergy of multicriteria techniques to assess additive value models'. *European Journal of Operational Research* 238, τχ. 2 (16 Οκτώβριος 2014): 540–51. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.03.047>.

Hwang, C.-L., Masud, A.S.Md., 1979. *Multiple Objective Decision Making — Methods and Applications*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-45511-7>

Hwang, C.-L., Yoon, K., 1981. *Methods for Multiple Attribute Decision Making*, in: *Multiple Attribute Decision Making*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, pp. 58–191.

Jaber, J., Mohsen, M., 2001. Evaluation of Non-Conventional Water Resources Supply in Jordan. *Desalination* 136, 83–92. [https://doi.org/10.1016/S0011-9164\(01\)00168-0](https://doi.org/10.1016/S0011-9164(01)00168-0)

Jalaei, F., Jade, A., Nassiri, M., 2015. Integrating decision support system (DSS) and building information modeling (BIM) to optimize the selection of sustainable building components 20, 399–420.

Jato-Espino, D., Castillo-Lopez, E., Rodriguez-Hernandez, J., Canteras-Jordana, J.C., 2014. A review of application of multi-criteria decision making methods in construction. *Automation in Construction* 45, 151–162. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.05.013>

Kaftanowicz, M., Krzemiński, M., 2015. Multiple-criteria Analysis of Plasterboard Systems. *Procedia Engineering* 111, 364–370. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.102>

Kahraman, C., O., İ., 2018. *Fuzzy multicriteria decision making using neutrosophic sets*. Springer Berlin Heidelberg, New York, NY.

Kamali, M., Hewage, K., Milani, A., 2018. Life cycle sustainability performance assessment framework for residential modular buildings: Aggregated sustainability indices. *Building and Environment* 138. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.04.019>

Kiker, G.A., Bridges, T.S., Varghese, A., Seager, T.P., Linkov, I., 2005. Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making. *Integr Environ Assess Manag* 1, 95. [https://doi.org/10.1897/IEAM\\_2004a-015.1](https://doi.org/10.1897/IEAM_2004a-015.1)

Konidari, P., Mavrakakis, D., 2007. A multi-criteria evaluation method for climate change mitigation policy instruments. *Energy Policy* 35, 6235–6257. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2007.07.007>

Lahdelma, R., Salminen, P., Hokkanen, J., 2000. Using Multicriteria Methods in Environmental Planning and Management. *Environmental Management* 26, 595–605. <https://doi.org/10.1007/s002670010118>

Lai, S.-K., 1995. A preference-based interpretation of AHP. *Omega* 23, 453–462. [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(95\)00025-J](https://doi.org/10.1016/0305-0483(95)00025-J)

- Lesniak, A., Balicki, J., 2016. Selection of Façades Finishing Technology for Commercial Building Using Multi-Criteria Analysis. *Entrepreneurial Business and Economics Review* 4, 67–79. <https://doi.org/10.15678/EBER.2016.040206>
- Lesniak, A., Zima, K., 2015. Comparison of traditional and ecological wall systems using the AHP method, in: 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015. pp. 157–164.
- Loken, E., 2007. Use of multicriteria decision analysis methods for energy planning problems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 11, 1584–1595. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.11.005>
- Mardani, A., Jusoh, A., Zavadskas, E.K., 2015. Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications – Two decades review from 1994 to 2014. *Expert Systems with Applications* 42, 4126–4148. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2015.01.003>
- Markiewicz, P., 2011. *Budownictwo ogólnedlaarchitektów*, Wyd. 4. ed. ARCHI-PLUS, Kraków.
- Martin, C., Ruperd, Y., Legret, M., 2007. Urban Stormwater Drainage Management: The Development of a Multicriteria Decision Aid Approach for Best Management Practices. *European Journal of Operational Research* 181, 338–349. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.06.019>
- Mela, A., Vryzidis, I., Varelidis, G., Tsotsolas, N., 2023. Urban Space Quality Evaluation Using Multi-Criteria Decision Analysis-Based Framework. pp. 59–84. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-34892-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-34892-1_4)
- Mrowiec, T., Rawicki, Z., 1996. *Technologiabetonuzwykłego: ćwiczenialaboratoryjne*, Wyd. 3. ed. PK, Kraków.
- Nowak, M., Trzaskalik, T., 2014. Interactive Approach Application to Stochastic Multiobjective Allocation Problem - A Two-Phase Approach. *Multiple Criteria Decision Making* 9, 84–100.
- Nowogońska, B., 2014. Model of the reliability prediction of masonry walls *Engineering Mechanics* 2014-20th International Conference Svratka, 456–459.
- Nowogońska, B., 2014. Prognosis of the technical condition of masonry walls in residential buildings.
- Okudan, G.E., Tauhid, S., 2008. Concept selection methods &ndash; a literature review from 1980 to 2008. *IJDE* 1, 243. <https://doi.org/10.1504/IJDE.2008.023764>
- Ozsahin, I., Uzun, B., Isa, N.A., Mok, G.S.P., Ozsahin, D.U., 2018. Comparative Analysis of the Common Scintillation Crystals Used in Nuclear Medicine Imaging Devices, in: 2018 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference Proceedings (NSS/MIC). Presented at the 2018 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC), IEEE, Sydney, Australia, pp. 1–4. <https://doi.org/10.1109/NSSMIC.2018.8824485>
- Panas, J., 2010. *Budownictwo ogólne. Konstrukcjbudynków*, Tom 4.

- Panas, J., 2008. Budownictwo ogólne. Elementy budynków, podstawy projektowania. Tom 3.
- Plebankiewicz, E., Kubek, D., 2016. Multicriteria Selection of the Building Material Supplier Using AHP and Fuzzy AHP. *J. Constr. Eng. Manage.* 142, 04015057. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001033](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001033)
- Plebankiewicz, E., Zima, K., Skibniewski, M., 2015. Analysis of the First Polish BIM-Based Cost Estimation Application. *Procedia Engineering* 123, 405–414. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.064>
- Plebankiewicz, E., Zima, K., Wieczorek, D., 2016. Life Cycle Cost Modelling of Buildings with Consideration of the Risk. *Archives of Civil Engineering* 62, 149–166. <https://doi.org/10.1515/ace-2015-0071>
- Plebankiewicz, P., Leśniak, A., 2018. Multicriteria assessment of selected types of the single-layer exterior walls. *MATEC Web Conf.* 219, 04005. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821904005>
- Podvezko, V., 2011. The Comparative Analysis of MCDA Methods SAW and COPRAS. *EE* 22, 134–146. <https://doi.org/10.5755/j01.ee.22.2.310>
- Pons, O., De la Fuente, A., 2013. Integrated sustainability assessment method applied to structural concrete columns. *Construction and Building Materials* 49, 882–893. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.09.009>
- PoradnikmurowaniaYtong, (Xella Polska, Warszawa, 2017)
- PorothermDryfix <http://wienerberger.pl/informacje/porotherm-dryfix-innowacja-w-murowaniu>
- Radziejowska, A., Zima, K., 2016. Multicriteria analysis in selecting the optimal variant of solar system. *E3S Web Conf.* 10, 00078. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20161000078>
- Rani, P., Mishra, A., Mardani, A., Cavallaro, F., Streimikiene, D., Khan, S., 2020. Pythagorean fuzzy SWARA-VIKOR framework for performance evaluation of solar panel selection. *Sustainability* 12. <https://doi.org/10.3390/su12104278>
- Ren, R., Al-Barakati, A., Cavallaro, F., 2019. Electric Vehicle Charging Station Site Selection by An Integrated Hesitant FUZZY SWARA-WASPAS Method. *Transformations in Business and Economics* 18, 2019.
- Rikkonen, P., Tapio, P., Rintamäki, H., 2019. Visions for small-scale renewable energy production on Finnish farms – A Delphi study on the opportunities for new business. *Energy Policy* 129, 939–948. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.03.004>
- Saaty, T.L., 1980. *The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation.* McGraw-Hill International Book Co, New York ; London.
- Sitorus, F., Cilliers, J.J., Brito-Parada, P.R., 2019. Multi-criteria decision making for the choice problem in mining and mineral processing: Applications and trends. *Expert Systems with Applications* 121, 393–417. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.12.001>

- Słowiński, R., 1986. A multicriteria fuzzy linear programming method for water supply system development planning. *Fuzzy Sets and Systems* 19, 217–237. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(86\)90052-7](https://doi.org/10.1016/0165-0114(86)90052-7)
- Suhr, J., 1999. *The choosing by advantages decisionmaking system*. Quorum, Westport, Conn.
- Sun, X., Ning, P., Tang, X., Yi, H., Li, K., Zhou, L., Xu, X., 2013. Environmental Risk Assessment System for Phosphogypsum Tailing Dams. *TheScientificWorldJournal* 2013, 680798. <https://doi.org/10.1155/2013/680798>
- Švajlenka, J., Kozlovská, M., 2017. Modern method of construction based on wood in the context of sustainability. *Civil Engineering and Environmental Systems* 34, 1–17. <https://doi.org/10.1080/10286608.2017.1340458>
- Szwabowski, J., Deszcz, J., 2001. *Metody wielokryterialnej analizy porównawczej : podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań w budownictwie*. ISBN 83-88000-89-6.
- Tahmasebi Birgani, Y., Yazdandoost, F., 2018. An Integrated Framework to Evaluate Resilient-Sustainable Urban Drainage Management Plans Using a Combined-adaptive MCDM Technique. *Water Resources Management* 32. <https://doi.org/10.1007/s11269-018-1960-2>
- Terracciano, G., Di Lorenzo, G., Formisano, A., Landolfo, R., 2015. Cold-formed thin-walled steel structures as vertical addition and energetic retrofitting systems of existing masonry buildings. *European Journal of Environmental and Civil Engineering* 19, 850–866.
- Tonietto, J., Carbonneau, A., 2004. A multicriteria climatic classification system for grape-growing regions worldwide. *Agricultural and Forest Meteorology* 124, 81–97. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2003.06.001>
- Triantaphyllou, E., 2010. *Multi-criteria decision making methods: a comparative study*, Nachdr. ed, Applied optimization. Kluwer, Dordrecht.
- Triantaphyllou, E., 2000. Multi-Criteria Decision Making Methods, in: *Multi-Criteria Decision Making Methods: A Comparative Study*. Springer US, Boston, MA, pp. 5–21.
- Tsotsolas, N., Spyridakos, A., Siskos, E., Salmon, I., 2019. Criteria weights assessment through prioritizations (WAP) using linear programming techniques and visualizations. *Operational Research* 19. <https://doi.org/10.1007/s12351-016-0280-7>
- Usama Hamed Issa, 2012. Developing an Assessment Model for Factors Affecting the Quality in the Construction Industry. *JCEA* 6. <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2012.03.010>
- Velasquez, M., Hester, P., 2013. An analysis of multi-criteria decision making methods. *International Journal of Operations Research* 10, 56–66.
- Yahya, M.N., Gökçekuş, H., Ozsahin, D.U., Uzun, B., 2020. Evaluation of wastewater treatment technologies using TOPSIS. *DWT* 177, 416–422. <https://doi.org/10.5004/dwt.2020.25172>
- Yu, P.L., 1973. A Class of Solutions for Group Decision Problems. *Management Science* 19, 936–946. <https://doi.org/10.1287/mnsc.19.8.936>

- Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets. *Information and Control* 8, 338–353.  
[https://doi.org/10.1016/S0019-9958\(65\)90241-X](https://doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X)
- Zavadskas, E.K., Antuchevičienė, J., Kapliński, O., 2016a. MULTI-CRITERIA DECISION MAKING IN CIVIL ENGINEERING: PART I – A STATE-OF-THE-ART SURVEY. *Engineering Structures and Technologies* 7, 103–113. <https://doi.org/10.3846/2029882X.2015.1143204>
- Zavadskas, E.K., Antuchevičienė, J., Kapliński, O., 2016b. MULTI-CRITERIA DECISION MAKING IN CIVIL ENGINEERING. PART II – APPLICATIONS. *Engineering Structures and Technologies* 7, 151–167. <https://doi.org/10.3846/2029882X.2016.1139664>
- Zavadskas, E.K., Turskis, Z., Kildienė, S., 2014. STATE OF ART SURVEYS OF OVERVIEWS ON MCDM/MADM METHODS. *Technological and Economic Development of Economy* 20, 165–179. <https://doi.org/10.3846/20294913.2014.892037>
- Zhao, Z.-Y., Zhao, X.-J., Davidson, K., Zuo, J., 2012. A corporate social responsibility indicator system for construction enterprises. *Journal of Cleaner Production* 29–30, 277–289.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.12.036>
- Zionts, S., 1979. MCDM—If Not a Roman Numeral, Then What? *Interfaces* 9, 94–101.  
<https://doi.org/10.1287/inte.9.4.94>
- Zolfani, S., Rezaeiniya, N., Zavadskas, E., Turskis, Z., 2011. Forest roads locating based on AHP and COPRAS-G methods: An empirical study based on Iran. *E a M: Ekonomika a Management* 14, 6–21.