

# Έκθεση προόδου 4<sup>ου</sup> έτους «Μέθοδοι βέλτιστης δυναμικής τιμολόγησης και πρόβλεψης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε κτήρια»

Υποψήφιος διδάκτορας: Δημήτριος Κ. Παναγιώτου<sup>1</sup>

Τριμελής επιτροπή: Α. Ντούνης<sup>1</sup>, Γ. Παπαδάκης<sup>2</sup>, Δ. Μανωλάκης<sup>3</sup>

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο υποψήφιος διδάκτορας Δημήτριος Παναγιώτου έγινε δεκτός από το τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής τον Οκτώβριο του 2020 (υπ' αριθμ.14/08-10-2020 απόφαση συνέλευσης του τμήματος), ύστερα από τη σχετική έγκριση της γενικής συνέλευσης του τμήματος. Η έρευνα του εστιάζει στις ευφυείς μεθόδους δυναμικής τιμολόγησης και πρόβλεψης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε κτήρια-με έμφαση στις κρίσιμες υποδομές, όπως είναι τα νοσοκομεία και οι μονάδες υγείας εν γένει. Τελεί υπό την επίβλεψη του καθηγητή του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής κ. Αναστάσιου Ντούνη.

### Ερευνητική εργασία

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εστιάζει στην μελέτη και τον σχεδιασμό ευφυών συστημάτων για την πρόβλεψη και την δυναμική τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας. Για την ανάπτυξη των συστημάτων αυτών μελετώνται θεωρίες και μεθοδολογίες από το χώρο της υπολογιστικής νοημοσύνης, όπως τα νευροασαφή συστήματα και τα νευρωνικά δίκτυα, έχοντας ως στόχο τη διερεύνηση τεχνικών ακριβούς δυναμικής τιμολόγησης σε συνδυασμό με την πρόβλεψη ζήτησης καταναλωτών.

Πιο συγκεκριμένα, μελετώνται βιβλιογραφικά τόσο οι διάφορες τεχνικές πρόβλεψης και τιμολόγησης που προτείνονται από την επιστημονική κοινότητα, όσο και διερευνώνται προσομοιωτικά νέες βελτιωμένες μέθοδοι, η απόδοση και οι δυνατότητες των οποίων στην επίλυση τεχνικών και επιστημονικών προβλημάτων τις καθιστά βασικό εργαλείο της επιστήμης του μηχανικού.

Η συνεισφορά της προτεινόμενης διατριβής είναι η μελέτη της δυνατότητας των νευροασαφών συστημάτων να προβλέψουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και να αναπροσαρμόσουν άμεσα την τιμολογιακή πολιτική του παρόχου.

### Πεπραγμένα 4<sup>ου</sup> έτους

Κατά την διάρκεια του 4<sup>ου</sup> έτους εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής, ο υποψήφιος διδάκτορας ασχολήθηκε με τα εξής:

<sup>1</sup> Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής

<sup>2</sup> Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής

<sup>3</sup> Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

## Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου  
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό  
στο [docs.gov.gr/validate](https://docs.gov.gr/validate)



- Βιβλιογραφική μελέτη και ανάπτυξη μεθοδολογίας επιλογής προμηθευτή ηλεκτρικής ενέργειας με τη χρήση πολυκριτηριακών μεθόδων διαπραγμάτευσης.
- Συγγραφή μιας εργασίας που δημοσιεύθηκε σε επιστημονικό περιοδικό.

#### Πιο αναλυτικά:

Στο τέταρτο μέρος της διατριβής, πραγματοποιήθηκε μια εκτενής βιβλιογραφική ανασκόπηση στην οποία μελετήθηκαν οι ευφυείς μέθοδοι που υποστηρίζουν την λήψη αποφάσεων και διερευνήθηκε η δυνατότητα εφαρμογής αυτών σε αγοραπωλησίες ηλεκτρικής ενέργειας στο πλαίσιο των ευφών δικτύων (Smart Grids-SG). Τέτοιες μέθοδοι βρίσκουν εφαρμογή σε πλείστες περιπτώσεις διαπραγμάτευσης, όπως το ηλεκτρονικό εμπόριο [1, 2, 3, 4, 5, 6], οι νεφούπολογιστικές υπηρεσίες [7] η αγορά ακινήτων [8], αλλά και οι αγοραπωλησίες ενέργειας και η κατανομή πόρων σε ηλεκτρικά δίκτυα και κτήρια [9, 10, 11, 8, 12, 13, 14] καθώς και σε εφαρμογές διαχείρισης της απόκρισης ζήτησης (Demand Side Management-DSM) [15, 16]. Βέβαια, οι ευφυείς μέθοδοι βρίσκουν εφαρμογή και σε περιπτώσεις που δεν άπτονται της τεχνολογίας, όπως οι διμερείς διαπραγματεύσεις σε θέματα πολιτικών [17] ή η αγορά αυτοκινήτων [18]. Η πλειοψηφία των περιπτώσεων εφάρμοζε ασαφή λογική ενώ σε άλλες περιπτώσεις εφαρμόζονταν μεθυσρετικοί αλγόριθμοι, όπως οι γενετικοί αλγόριθμοι, τα σμήνη σωματιδίων και ο αλγόριθμος νυχτερίδας. Από την μελέτη αυτή της βιβλιογραφίας, προέκυψαν χρήσιμες και ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις, όπως:

- ❖ Η προσομοίωση της «ανυπομονησίας» των συμμετεχόντων σε μια διαπραγμάτευση για να επιτύχουν συμφωνία, καθώς και άλλων ανθρωπίνων συμπεριφορών, όπως ο δισταγμός, η επιθυμία τους για ανάληψη ρίσκου κλπ, με τη χρήση ασαφών συνόλων [9, 4].
- ❖ Η κυριαρχία μεθόδων ασαφούς λογικής στη δημιουργία εργαλείων ικανών να μάθουν τακτικές, και να υλοποιούν συμφωνίες με ανταλλαγές [1, 18, 2, 3, 8].
- ❖ Η σταθερότητα και η εφαρμογή διαισθητικών ασαφών συνόλων σε ασθενώς δομημένα προβλήματα όπως οι διαπραγματεύσεις [19, 20, 21].
- ❖ Η μεθοδολογία των Bayesian Unscented Particle Filters για τις προσφορές μίας διαπραγμάτευσης, η οποία προσφέρει ευελιξία στη διαμόρφωση τους [8].
- ❖ Η συσταδοποίηση με K-means των πελατών και η χρήση γεννήτριας ασαφούς συμπερασμού για την ικανοποίηση των προτιμήσεων πελατών αποκρινόμενων σε ανταμοιβές που προσφέρονται από τους πράκτορες σε ευφυή δίκτυα [15].
- ❖ Η γενική περιγραφή ενός συστήματος για αγοραπωλησίες ενέργειας και η χρήση πρωτότυπων μεθυσρετικών αλγορίθμων όπως ο αλγόριθμος νυχτερίδας [13].
- ❖ Η υπεροχή των q-ROFPA τελεστών συνάθροισης σε σχέση με τους τελεστές συνάθροισης άλλων q-ROF [14].
- ❖ Οι δυνατότητες του συνδυασμού της ασαφούς λογικής, των Μπεϋζιανών μεθόδων, των UPF αλλά και τεχνικών μη γραμμικού προγραμματισμού σε προβλήματα διαπραγμάτευσης, στα οποία οι πράκτορες μπορούν να βελτιώσουν την ανθεκτικότητα και την αξιοπιστία τους, αντιμετωπίζοντας την αβεβαιότητα και τις διακυμάνσεις των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

#### Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου  
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό  
στο docs.gov.gr/validate



Η πλειονότητα των μεθόδων που μελετήθηκαν χρησιμοποιούσαν ασαφή λογική ως εργαλείο για την προσαρμογή του παίκτη στην συμπεριφορά του αντιπάλου μέρους ή την προσέγγιση σε ένα συμπέρασμα για τη λήψη απόφασης. Ένας αριθμός από τις μεθόδους που μελετήθηκε συνιστούσε τη χρήση μεθυστικών μεθόδων για την βελτίωση των ασαφών κανόνων, επιτρέποντας στους πράκτορες να προσαρμοστούν δυναμικά στη στρατηγική του αντιπάλου.

Οι ασαφείς αριθμοί q-επίπεδων ορθοζευγών (q-ROFN) της μορφής  $\alpha_{ij} = (\mu_{ij}, \nu_{ij})$ , με το  $\mu$  να συμβολίζει το βαθμό συμμετοχής και  $\nu$  το βαθμό μη-συμμετοχής του  $\alpha$  και τη χρήση κατάλληλων τελεστών συνάθροισης (Aggregator Operators-AO) [22] αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο για την αρχική πολυκριτηριακή κατάταξη των προσφορών που υποβάλλουν οι ενδιαφερόμενοι. Στη συνέχεια, και αφού οι προσφορές καταταγούν, μια διαδικασία διαπραγμάτευσης με τη χρήση q-ROFS και τη χρήση κατάλληλης συνάρτησης χρησιμότητας και αποδίδονται τιμές σε κάθε κριτήριο. Η δημιουργία αντιπροσφοράς πραγματοποιείται με τη χρήση μεθυστικών αλγορίθμων, οι οποίοι «μαντεύουν» τη βαρύτητα που έχει για τον αντίπαλο κάθε κριτήριο αποδίδοντας του βάρος. Κάθε κριτήριο αξιολογείται με τη βοήθεια ενός συστήματος ασαφούς συμπερασμού, ως σημαντικό, ασήμαντο ή αδιάφορο, και έτσι η αντιπροσφορά αναπροσαρμόζεται για κάθε κριτήριο αναλόγως. Σε κάθε γύρο διαπραγμάτευσης, ένας συντελεστής «ανυπομονησίας» αυξάνει την επιθυμία των συμμετεχόντων για την επίτευξη συμφωνίας, προσομοιώνοντας την ανθρώπινη συμπεριφορά [9] [10].

Η βιβλιογραφική ανασκόπηση και οι προτεινόμενες μεθοδολογίες αποτέλεσαν το αντικείμενο της δημοσίευσης στο περιοδικό “Applied Sciences” με τίτλο “Review of Intelligent Methods and Their Potential Use towards a Smart Grid Negotiation Framework” (<https://doi.org/10.3390/app14125196>).

Στο τρέχον ακαδημαϊκό έτος, προγραμματίζονται τα εξής:

- Προσομοίωση του μοντέλου με την προσθήκη της πολυκριτηριακής διαπραγμάτευσης ως δυνατότητα από την πλευρά του αγοραστή.
- Συγγραφή ενός ακόμα άρθρου.
- Συγγραφή της Διδακτορικής διατριβής

#### **Ενδεικτική βιβλιογραφία:**

- [1] S. P. Choi, J. Liu και S.-P. Chan, «A genetic agent-based negotiation system,» *Computer Networks*, τόμ. 37, pp. 195-204, 2001.
- [2] C.-B. Cheng, C.-C. H. Chan και C.-C. Lin, «Buyer-Supplier Negotiation by Fuzzy Logic Based Agents,» σε *Proceedings of the Third International Conference on Information Technology and Applications (ICITA'05)*, Sydney, NSW, Australia, 2005.
- [3] C.-B. Cheng, C.-C. H. Chan και K.-C. Lin, «Intelligent agents for e-marketplace: Negotiation with issue trade-offs by fuzzy inference systems,» *Decision Support Systems*, τόμ. 42, pp. 626-638, 2006.
- [4] M. Z. Fenghui Ren, «A single issue negotiation model for agents bargaining in dynamic electronic markets,» *Decision Support Systems*, τόμ. 60, pp. 55-67, 2014.



- [5] K. Kolomvatsos, C. Anagnostopoulos και S. Hadjiefthymiades, «Sellers in e-marketplaces: A Fuzzy Logic based decision support system,» *Information Sciences*, τόμ. 278, pp. 267-284, 2014.
- [6] K. Kolomvatsos, D. Trivizakis και S. Hadjiefthymiades, «An adaptive fuzzy logic system for automated negotiations,» *FUZZY sets and systems*, τόμ. 269, pp. 135-152, 2015.
- [7] B. Shojaiemehr, A. M. Rahmani και N. N. Qader, «Automated negotiation for ensuring composite service requirements in cloud computing,» *Journal of Systems Architecture*, τόμ. 99, 2019.
- [8] F. Eshragh, M. Shahbazi και B. Far, «Real-time opponent learning in automated negotiation using recursive Bayesian filtering,» *Expert Systems With Applications*, τόμ. 128, pp. 28-53, 14 March 2019.
- [9] Z. Wang και L. Wang, «Negotiation agent with adaptive attitude bidding strategy for facilitating energy exchanges between smart building and utility grid,» σε *PES T&D 2012*, Orlando, FL, USA, 2012.
- [10] Z. Wang και L. Wang, «Adaptive Negotiation Agent for Facilitating Bi-Directional Energy Trading Between Smart Building and Utility Grid,» *IEEE TRANSACTIONS ON SMART GRID*, τόμ. 4, αρ. 2, pp. 702-710, 2013.
- [11] S. Adabi, A. Movaghar, A. M. Rahmani, H. Beigy και H. Dastmalchy-Tabrizi, «A new fuzzy negotiation protocol for grid resource allocation,» *Journal of Network and Computer Applications*, τόμ. 37, pp. 89-126, 2014.
- [12] C. Etukudor, B. Couraud, V. Robu, W.-G. Früh, D. Flynn και C. Okereke, «Automated Negotiation for Peer-to-Peer Electricity Trading in Local Energy Markets,» *Energies*, τόμ. 13, 2020.
- [13] L. A. Soriano, M. Avila, P. Ponce, J. d. J. Rubio και A. Molina, «Peer-to-peer energy trades based on multi-objective optimization,» *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, τόμ. 131, 10 April 2021.
- [14] M. Akram, K. Ullah, G. Čirović και D. Pamucar, «Algorithm for Energy Resource Selection Using Priority Degree-Based Aggregation Operators with Generalized Orthopair Fuzzy Information and Aczel–Alsina Aggregation Operators,» *Energies*, τόμ. 16, αρ. 6, 17 March 2023.
- [15] J. Fattahi, M. Samadi, M. Erol-Kantarci και H. Schriemer, «Transactive Demand Response Operation at the Grid Edge using the IEEE 2030.5 Standard,» *Engineering*, pp. 801-811, 2020.
- [16] F. A. B. Zaini, M. F. Sulaima, I. A. W. A. Razak, N. I. Zulkafli και H. Mokhlis, «A review of PSO-based algorithm application in Demand Side Management: Challenges & Opportunities,» *IEEE Access*, pp. 53373-53400, 2023.
- [17] J. Zhan, X. Luo, C. Feng και M. He, «A multi-demand negotiation model based on fuzzy rules elicited via psychological experiments,» *Applied Soft Computing*, τόμ. 67, pp. 840-864, 2018.
- [18] P. Faratin, C. Sierra και N. Jennings, «Using similarity criteria to make issue trade-offs in automated negotiations,» *Artificial Intelligence*, τόμ. 142, pp. 205-237, 2002.


#### Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου



Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου  
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό  
στο docs.gov.gr/validate

- [19] E. Roszkowska, «The Intuitionistic Fuzzy Framework for Evaluation and Rank Ordering the Negotiation Offers,» σε *Proceedings of the INFUS 2021 Conference*, 2022.
- [20] E. Roszkowska και T. Wachowicz, «Application of fuzzy TOPSIS to scoring the negotiation offers in ill-structured negotiation problems,» *European Journal of Operational Research*, pp. 920-932, 2014.
- [21] E. Roszkowska, J. Brzostowski και T. Wachowicz, «Supporting Ill-Structured Negotiation Problems,» σε *Human-Centric Decision-Making Models for Social Sciences*, P. Guo και W. Pedrycz, Επιμ., Berlin Heidelberg, Springer Verlag, 2013, pp. 339-367.
- [22] R. R. Yager, «Generalized Orthopair Fuzzy Sets,» *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, τόμ. 25, αρ. 5, pp. 1222-1230, October 2017.

Η τριμελής συμβουλευτική επιτροπή:

Αναστάσιος Ντούνης	Γεώργιος Παπαδάκης	Δημήτριος Μανωλάκης
<b>ANASTASIO S NTOUNIS</b> Digitally signed by ANASTASIOS NTOUNIS Date: 2024.12.08 15:00:30 +02'00'	<b>GEORGIOS PAPADAKIS</b> 09/12/2024 01:38	 Digitally signed by efe7b67e-8482-4552- a103-78699437a108 Date: 2024.12.10 08:35:45 +02'00'
Καθηγητής Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής (Επιβλέπων)	Καθηγητής Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών	Καθηγητής Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδας

Ο Υποψήφιος Διδάκτορας

Δημήτριος Παναγιώτου

#### Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

Μπορείτε να ελέγξετε την ισχύ του εγγράφου  
σκανάροντας το QR code ή εισάγοντας τον κωδικό  
στο [docs.gov.gr/validate](https://docs.gov.gr/validate)



Κωδικός εγγράφου: HSxuE1G1Vy0DshR-CxEfPw

: 5/5

Υπογραφή:  
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ  
Πατρώνυμο: ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ  
ΑΦΜ: 132559272  
Ημ. Υπογραφής: 10/12/2024 14:09:50