

Έκθεση προόδου 3^{ου} έτους: Μέθοδοι βέλτιστης δυναμικής τιμολόγησης και πρόβλεψης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε κτήρια

Υποψήφιος διδάκτορας: Δημήτριος Κ. Παναγιώτου¹

Τριμελής επιτροπή: Α. Ντούνης¹, Γ. Παπαδάκης², Δ. Μανωλάκης³

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 ευφών συστημάτων για την πρόβλεψη και την δυναμική τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας. Για την ανάπτυξη των συστημάτων αυτών μελετώνται θεωρίες και μεθοδολογίες από τον 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 διερευνούνται 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.

Η πρωτοτυπία της διατριβής έγκειται στη χρήση και την αξιολόγηση των ανάλογων τελεστών που επηρεάζουν τις αποφάσεις αυτές και θα εξεταστεί το βέλτιστο σχήμα διατεταγμένων σταθμισμένων μέσων όρων (Ordered Weighted Averages-OWA) (Ballini, September 2014; Tesfamariam S., 2008), καθώς και αρχιτεκτονικών ευφών συστημάτων, όπως οι committee machines (Sideratos, 2015).

¹ Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής

² Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Αξιοποίησης Φυσιικών Πόρων και Γεωργικής Μηχανικής

³ 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



Κωδικός εγγράφου: iDwIZYkazsm_afKAnI0Gsw

: 1/4

Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

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



Κωδικός εγγράφου: W7-T7RmaknhCRxW7H0KojQ

: 1/4

Πεπραγμένα 3^{ου} έτους

Κατά την διάρκεια του 3^{ου} έτους εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής, ο υποψήφιος διδάκτορας ασχολήθηκε με τα εξής:

- Σχεδίαση και υλοποίηση μοντέλων πρόβλεψης και λήψης απόφασης με την εφαρμογή σύγχρονων μεθόδων προσομοίωσης και ανάλυσης.
- Συγγραφή μιας εργασίας που δημοσιεύθηκε σε επιστημονικό περιοδικό.
- Μέλος ομάδας συγγραφής ερευνητικής πρότασης για χρηματοδότηση από το ΕΛΙΔΕΚ.

Πιο αναλυτικά:

Στο πρώτο μέρος της ως τώρα έρευνας, τέθηκαν οι προκείμενες και ο βασικός της στόχος:

Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, τόσο στην Ελλάδα όσο και παγκοσμίως, βρίσκεται σε πλήρη εξέλιξη τα τελευταία χρόνια. Ανεξάρτητα από το στάδιο στο οποίο βρίσκεται αυτή η διαδικασία σε κάθε χώρα, κοινά προβλήματα αναδεικνύονται, όπως η ακριβής πρόβλεψη ηλεκτρικού φορτίου, η απόκριση ζήτησης (Demand Response-DM) (Παναγιώτου, 2018), η ενσωμάτωση των μικροπαραγωγών ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο, η ακριβής τιμολόγηση σε πραγματικό χρόνο (Hussain, 2015; Eid, 2016).

Ειδικά το ζήτημα της απόκρισης ζήτησης, η οποία ανάγει τον τελικό χρήστη σε «παίκτη» της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας συνδέοντας τον άμεσα με τους παραγωγούς ενέργειας, αποτελεί κομβικό σημείο μεταξύ της βραχυπρόθεσμης πρόβλεψης ζήτησης (Short Term Load Forecast-STLF) και των τεχνικών δυναμικής τιμολόγησης (Widergren, 2012).

Το αντικείμενο της διατριβής είναι η μελέτη και ο σχεδιασμός ευφυών συστημάτων για την πρόβλεψη και δυναμική τιμολόγηση ηλεκτρικής ενέργειας με έμφαση σε νοσοκομειακά κτήρια και υγειονομικές μονάδες (κλινικές, Κέντρα Υγείας κλπ).

Τα νοσοκομειακά κτήρια και οι υγειονομικές μονάδες χρήζουν πάντοτε ιδιαίτερης προσοχής και έρευνας διότι, λόγω του κοινωνικού ρόλου τους, ανήκουν στην κατηγορία των *κρίσιμων υποδομών (critical infrastructures)*⁴.

Για την ανάπτυξη των συστημάτων αυτών μελετήθηκαν θεωρίες και μεθοδολογίες από τον χώρο της υπολογιστικής νοημοσύνης (Νευροασαφή συστήματα-ANFIS) (Senthilkumar, 2010; Bazmi, 2012), Νευρωνικών Δικτύων (Holtschneider, 2013), Αριθμητικών μεθόδων (Fallah, 2018), Μηχανικής μάθησης (Karpetanakis, 2017), Δένδρων απόφασης (Wagy, 2017)).

Στόχος της Διδακτορικής εργασίας, είναι η διερεύνηση τεχνικών ακριβούς δυναμικής τιμολόγησης, σε συνδυασμό με την πρόβλεψη ζήτησης ενός νοσοκομείου ή μιας υγειονομικής μονάδας (κλινικής, Κέντρου Υγείας κλπ).

Πιο συγκεκριμένα, διερευνήθηκαν βιβλιογραφικά τόσο οι διάφορες τεχνικές πρόβλεψης και τιμολόγησης που προτείνονται από την επιστημονική κοινότητα, όσο και προτάθηκαν και διερευνήθηκαν προσομοιωτικά νέες, βελτιωμένες μέθοδοι.

Στο δεύτερο μέρος της ως τώρα έρευνας, ερευνήθηκε η ακρίβεια διαφόρων ευφυών μοντέλων στην πρόβλεψη δεδομένων τα οποία προέκυψαν από την προσομοίωση νοσοκομειακής μονάδας με τη χρήση του λογισμικού Energy Plus. Τα ευφυή μοντέλα που ερευνήθηκαν ήταν

⁴ Ως κρίσιμη υποδομή ορίζεται το σύνολο εκείνων των αγαθών, των συστημάτων και των δικτύων, είτε φυσικών είτε εικονικών, τα οποία είναι τόσο απαραίτητα για μια χώρα ώστε πιθανή μη-διαθεσιμότητά ή καταστροφή τους θα είχε τεράστιες και εξουθενωτικές επιπτώσεις στην εθνική ασφάλεια, οικονομία, την δημόσια υγεία ή οποιονδήποτε συνδυασμό αυτών (DHS, 2013). (Στεργιόπουλος, Γ.Χ., Διδακτορική Διατριβή, Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Αθήνα, 2015).

Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

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



Κωδικός εγγράφου: iDwIZYkazsm_afKAnI0Gsw

: 2/4

Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

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



Κωδικός εγγράφου: W7-T7RmaknhCRxW7H0KojQ

: 2/4

ένα νευρωνικό δίκτυο εμπρόσθιας τροφοδότησης, το οποίο βελτιστοποιήθηκε με διάφορους αλγορίθμους:

- Το πρώτο μοντέλο βελτιστοποιήθηκε με την default επιλογή του MATLAB, τον αλγόριθμο Levenberg-Marquardt.
- Το δεύτερο μοντέλο βελτιστοποιήθηκε με τη χρήση του αλγορίθμου SCG (Scaled Conjugate Gradient).
- Το τρίτο μοντέλο βελτιστοποιήθηκε με τη χρήση του αλγορίθμου Adaptive Learning Rate with Momentum (GDX).
- Το τέταρτο μοντέλο βελτιστοποιήθηκε με την χρήση γενετικών αλγορίθμων.
- Το πέμπτο μοντέλο βελτιστοποιήθηκε με τη χρήση του αλγορίθμου Particle Swarm Optimization (PSO).
- Το έκτο μοντέλο βελτιστοποιήθηκε με την χρήση του αλγορίθμου Big Bang-Big Crunch.

Συμπληρωματικά σε αυτά τα νευρωνικά δίκτυα, δύο ακόμη ευφυή συστήματα αναπτύχθηκαν:

- Ένα Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System και
- Ένα Long-Short Term Memory Network.

Από την πειραματική μελέτη των παραπάνω μοντέλων, ενδιαφέροντα συμπεράσματα έχουν ήδη προκύψει. Στην φάση των ελέγχων, τα παραπάνω μοντέλα επιδεικνύουν χαμηλό σφάλμα το οποίο κυμαίνεται από 1.23% (για το μοντέλο ANFIS) έως 5.53% (για το μοντέλο το οποίο εκπαιδεύτηκε με τη χρήση γενετικών αλγορίθμων). Τα πορίσματα της έρευνας δημοσιεύτηκαν στην μελέτη με τίτλο “*Comparison of Hospital Building’s Energy Consumption Prediction Using Artificial Neural Networks, ANFIS, and LSTM Network*” στο περιοδικό “Energies” (<https://doi.org/10.3390/en15176453>).

Παράλληλα, ερευνήθηκε η δυνατότητα ανάπτυξης ενός μοντέλου λήψης απόφασης για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας με το ελάχιστο δυνατό κόστος μέσω μεθόδων μετατόπισης φορτίων (load shifting) και εξομάλυνσης των αιχμών (peak shaving) με τη χρήση συστημάτων πρόβλεψης κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας (την οριακή τιμή-Locational Marginal Price) και λήψης απόφασης για τον αριθμό των kWh που θα πρέπει να αγοραστούν από ένα νοσοκομειακό κτήριο για τις επόμενες 2 ώρες. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας ανακοινώθηκαν στο συνέδριο “International Conference on Energy&Environment-ICEE2022” στο Πόρτο της Πορτογαλίας υπό τον τίτλο “*Electricity Price Prediction for Hospitals Using a Hybrid ANFIS-FIS Model*” (Δημοσιευμένη στο: “Proceedings of the 5th International Conference on Energy & Environment: bringing together Economics and Engineering”, ISBN: 987-989-54471-2-1). Το μοντέλο που προτάθηκε έδειξε πως με το κατάλληλο σύνολο κανόνων, είναι δυνατή η εξοικονόμηση χρημάτων τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν καταλλήλως σε άλλες ανάγκες.

Στο 3^ο μέρος της εκπόνησης της διδακτορικής διατριβής αναπτύχθηκε ένα μοντέλο λήψης απόφασης για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας με το ελάχιστο δυνατό κόστος μέσω μεθόδων μετατόπισης φορτίων (load shifting) και εξομάλυνσης των αιχμών (peak shaving) με τη χρήση συστημάτων πρόβλεψης κόστους της ηλεκτρικής ενέργειας (την οριακή τιμή-Locational Marginal Price) και λήψης απόφασης για το ποσό των kWh που θα πρέπει να αγοραστούν από ένα νοσοκομειακό κτήριο για την επόμενη ώρα. Στην παραπάνω προσέγγιση, ο χρήστης καθόριζε το χρηματικό αντίτιμο που επιθυμούσε να καταβάλλει για την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και το σύστημα καθόριζε το ποσό της ενέργειας ανά ώρα, με βάση τις ανάγκες της εγκατάστασης που θα μπορούσε να αγοραστεί, έτσι ώστε ο ημερήσιος προϋπολογισμός να μην ξεπερνούσε το ορισμένο από τον χρήστη ποσό. Τα φορτία του κτηρίου είχαν χωριστεί σε τρεις

Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

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



Κωδικός εγγράφου: iDwIZYkazsm_afKAnI0Gsw

: 3/4

Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

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



Κωδικός εγγράφου: W7-T7RmaknhCRxW7H0KojQ

: 3/4

κατηγορίες: Στα υποχρεωτικά τα οποία έπρεπε να αγοραστούν σε δεδομένη χρονική στιγμή, σε αυτά τα οποία έπρεπε να καλυφθούν, αλλά μπορούσαν να μετατοπιστούν χρονικά μέσα στην ημέρα και σε αυτά τα οποία θα μπορούσαν να απορριφθούν τελείως. Χρησιμοποιήθηκαν για τον σκοπό αυτό δύο ANFIS για την πρόβλεψη φορτίου και τιμής αντίστοιχα, ένα FIS για την λήψη της απόφασης όσον αφορά το ποσό των kWh που θα έπρεπε να αγοραστούν και η διαμόρφωση της τελικής ημερήσιας-οικονομικά επιθυμητής-καμπύλης κατανάλωσης λάμβανε χώρα με την χρήση Γενετικών Αλγορίθμων. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας δημοσιεύθηκαν στο περιοδικό "Sustainability" με τίτλο άρθρου "An ANFIS-Fuzzy Tree-GA Model for a Hospital's Electricity Purchasing Decision-Making Process Integrated with Virtual Cost Concept" (<https://doi.org/10.3390/su15108419>). Το μοντέλο που προτάθηκε έδειξε πως είναι δυνατή η προσαρμογή της καμπύλης φορτίου με βάση τις επιθυμίες του χρήστη, χωρίς να διακινδυνεύσουν κρίσιμα φορτία.

Στο τρέχον ακαδημαϊκό έτος, προγραμματίζονται τα εξής:

- Μία δημοσίευση ανασκόπησης (review) σε περιοδικό με κριτές σχετικά με την διαπραγμάτευση (negotiation) ηλεκτρικής ενέργειας.
- Ολοκλήρωση του μοντέλου με την προσθήκη της δυνατότητας από την πλευρά του αγοραστή να διαπραγματεύεται και να συμφωνεί την αγορά ποσοτήτων ενέργειας στις επιθυμητές τιμές σε ολιγοπώλιο.
- Συγγραφή της Διδακτορικής διατριβής

Η τριμελής συμβουλευτική επιτροπή:

Αναστάσιος Ντούνης

Γεώργιος Παπαδάκης

Δημήτριος Μανωλάκης

Anastasios
Ntounis

Digitally signed by
Anastasios Ntounis
Date: 2023.11.30 22:25:12
+02'00'

GEORGIOS PAPADAKIS
01/12/2023 13:35

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



Επιβεβαιώνεται το γνήσιο. Υπουργείο
Ψηφιακής Διακυβέρνησης / Verified by the Ministry
of Digital Governance, Hellenic Republic
20231130214205+02'00'

Υπογραφή:
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΟΥ
Πατρώνυμο: ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ
ΑΦΜ: 132559272
Ημ. Υπογραφής: 30/11/2023 21:42:00

Κωδικός εγγράφου: 1DwIZYkazsm_afKAnI0Gsw

: 4/4

Ψηφιακή Βεβαίωση Εγγράφου

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



Επιβεβαιώνεται το γνήσιο. Υπουργείο
Ψηφιακής Διακυβέρνησης / Verified by the Ministry
of Digital Governance, Hellenic Republic
202311202202024+02'00'

Υπογραφή:
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΜΑΝΩΛΑΚΗΣ
Πατρώνυμο: ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ
ΑΦΜ: 025308613
Ημ. Υπογραφής: 02/12/2023 20:20:20

Κωδικός εγγράφου: W7-T7RmaknhCRxW7H0KojQ

: 4/4