

# Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

## Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

### Διπλωματικές Εργασίες 2019 – 2020

Καθηγητής Εμμανουήλ Βαρβαρίγος (vmanos@central.ntua.gr)

#### **Θέμα 1: Αλγόριθμοι εκτίμησης μετρικών απόδοσης IP δικτύων**

**Keywords:** Networks, Performance estimation.

Η κίνηση στο διαδίκτυο αναμένεται να αυξάνεται συνεχώς ως αποτέλεσμα των απαιτήσεων των νέων εφαρμογών όπως το υπολογιστικό «νέφος», το διαδίκτυο των αντικειμένων (Internet of Things – IoT) αλλά και της έλευσης των δικτύων κινητής τηλεφωνίας πέμπτης γενιάς (5G). Οι δικτυακές υποδομές εξελίσσονται συνεχώς προκειμένου να ανταποκριθούν στις διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις κυκλοφορίας. Γίνονται όλο και πιο περίπλοκες με συνέπεια να δυσκολεύει η αποτελεσματική τους παρακολούθηση και διαχείριση. Μία από τις πιο σημαντικές λύσεις για την εξασφάλιση αποτελεσματικής διαχείρισης μιας δικτυακής υποδομής είναι η Τηλεμετρία Δικτύου (ΤΔ). Η ΤΔ βασίζεται στη χρήση συγκεκριμένων μετρικών απόδοσης, όπως π.χ. η καθυστέρηση και η απώλεια πακέτων, για την ανίχνευση προβλημάτων απόδοσης και τη βελτιστοποίηση του δικτύου εάν χρειάζεται.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας θα γίνει ανάπτυξη αποδοτικών αλγορίθμων που: i) θα στηρίζονται σε ορισμένες μετρήσεις για να ορίσουν την απόδοση του δικτύου, ii) θα εκτιμούν αυτές τις μετρήσεις για διάφορα τμήματα του δικτύου, συσχετίζοντας τις διαθέσιμες μετρήσεις του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, θα αναπτυχθούν αλγόριθμοι βασισμένοι σε τεχνικές όπως Network Kriging, οι οποίοι θα υπολογίζουν ορισμένες μετρήσεις ανά ροή (π.χ., latency, jitter). Οι αλγόριθμοι θα παρακολουθούν τις μετρήσεις ενός υποσυνόλου των flows και θα είναι σε θέση να αντλούν τις μετρήσεις άλλων flows στο δίκτυο καθώς και εκείνων των μη καθορισμένων μελλοντικών υποψηφίων flows.

**Επιθυμητές Γνώσεις:** δίκτυα επικοινωνιών, αλγόριθμοι, Matlab ή και Python

## **Θέμα 2: Λειτουργία ασύρματων και οπτικών (FiWi) δικτύων για την παροχή από άκρο σε άκρο υπηρεσιών σε 5G δίκτυα.**

**Keywords:** Cell planning, Fiber Wireless Networks, Network management, 5G Networks

Τα δίκτυα πέμπτης γενιάς (5G), στοχεύουν στην παροχή υπερ-υψηλής ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων με παράλληλη μείωση έως και 90% της ενέργειας που καταναλώνεται εξασφαλίζοντας παράλληλα μικρή καθυστέρηση στη μεταφορά των δεδομένων. Για το λόγο αυτό, απαιτείται η σχεδίαση υποδομών υψηλής χωρητικότητας, που συνδυάζουν τις υπάρχουσες οπτικές και ασύρματες υποδομές. Βασικός στόχος είναι η παροχή διαφοροποιημένων υπηρεσιών, με παράλληλη αύξηση (έως 1000 φορές) της χωρητικότητας σε σύγκριση με τα 4G δίκτυα.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας θα αναπτυχθούν αλγόριθμοι σχεδίασης ετερογενών δικτύων που θα επιτρέπουν την πλήρη αξιοποίηση των υποδομών ασύρματων και οπτικών δικτύων, στοχεύοντας στη μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται. Η ανάπτυξη των αλγορίθμων θα γίνει με τη χρήση του προγραμματιστικού περιβάλλοντος MATLAB και τα εργαλεία που αυτό προσφέρει.

### **Σχετική βιβλιογραφία**

- S. Sarkar, et. al. "A Mixed Integer Programming Model for Optimum Placement of Base Stations and Optical Network Units in a Hybrid Wireless-Optical Broadband Access Network (WOBAN)," 2007 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Kowloon, 2007, pp. 3907-3911.

## **Θέμα 3: Αλγόριθμοι παροχής από άκρο-σε-άκρο υπηρεσιών σε 5G δίκτυα**

**Keywords:** 5G networks, Network slice

5G network slicing καλείται η δικτυακή αρχιτεκτονική που επιτρέπει την πολυπλεξία εικονικοποιημένων και ανεξάρτητων δικτύων στην ίδια φυσική δικτυακή τοπολογία. Κάθε slice του δικτύου είναι ένα απομονωμένο από άκρο-σε-άκρο δίκτυο το οποίο είναι σε θέση να ικανοποιήσει τις ανάγκες διαφορετικών εφαρμογών. Μέσω των διαθέσιμων τεχνολογιών προγραμματιζόμενων δικτύων μέσω λογισμικού (Software Defined Networks) και της εικονικοποίησης των δικτυακών συναρτήσεων (Network Function Virtualization), τα slices μπορούν να εγκατασταθούν γρήγορα ενώ η διαχείρισή τους μπορεί να γίνει από ένα κεντρικό σημείο, οδηγώντας σε υψηλότερη και αποδοτική αξιοποίηση των δικτυακών πόρων.

Στα πλαίσια της διπλωματικής θα αναπτυχθούν αλγόριθμοι αποδοτικής διαχείρισης και δέσμευσης των δικτυακών πόρων, που θα εξασφαλίζουν την αποδοτική λειτουργία του δικτύου σε πραγματικό χρόνο. Η ανάπτυξη των αλγορίθμων θα γίνει με τη χρήση του προγραμματιστικού περιβάλλοντος MATLAB και τα εργαλεία που αυτό προσφέρει.

### **Σχετική βιβλιογραφία**

- S. Vassilaras et al., "The Algorithmic Aspects of Network Slicing," in IEEE Communications Magazine, vol. 55, no. 8, pp. 112-119, Aug. 2017.
- R. Su et al., "Resource Allocation for Network Slicing in 5G Telecommunication Networks: A Survey of Principles and Models," in IEEE Network.

#### **Θέμα 4: Αλγόριθμοι αποτελεσματικής ανάθεσης υπηρεσιών σε υποδομές edge computing**

**Keywords:** edge computing, efficient resource allocation, 5G applications

Το Διαδίκτυο των Πραγμάτων (Internet of Things - IoT), τα έξυπνα σπίτια, οι έξυπνες πόλεις σε συνδυασμό με τα νέας γενιάς αυτοκίνητα καθώς και τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη (drones) εξοπλισμένα με κάμερες και άλλους αισθητήρες, αναμένεται την επόμενη περίοδο να αποτελούν βασικές πηγές δημιουργίας ενός τεραστίου όγκου δεδομένων, με αντίστοιχα σημαντικές υπολογιστικές απαιτήσεις. Σε αυτό το πλαίσιο, το edge computing έχει αναδειχθεί ως ένα νέο παράδειγμα που μπορεί να φέρει τις εφαρμογές νέφους πιο κοντά στους τελικούς χρήστες με τελικό στόχο την παροχή καλύτερων υπηρεσιών. Παράλληλα, αρκετοί τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι αρχίζουν να δημιουργούν ιδιωτικές υποδομές edge computing με στόχο την υποστήριξη εφαρμογών που απαιτούν εξαιρετικά χαμηλές καθυστερήσεις. Τα επόμενα χρόνια αναμένεται σημαντική αύξηση στον αριθμό τέτοιων εφαρμογών μέσω της επέκτασης των εφαρμογών εικονικής/επαυξημένης πραγματικότητας (VR/AR), διαδικτυακών παιχνιδιών και της αυτόνομης οδήγησης.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας θα εξεταστούν αλγόριθμοι που θα εξασφαλίζουν την αποτελεσματική ανάθεση των διαθέσιμων ετερογενών πόρων σε διαφορετικές κατηγορίες υπηρεσιών που θα χαρακτηρίζονται από σημαντικές υπολογιστικές απαιτήσεις ενώ παράλληλα απαιτούν εξαιρετικά χαμηλές καθυστερήσεις.

#### **Σχετική βιβλιογραφία**

- Shanhe Yi, et al., "A Survey of Fog Computing: Concepts, Applications and Issues", Mobidata, 2015.
- O. Ascigil, T. K. Phan, A. G. Tasiopoulos, V. Sourlas, I. Psaras, G. Pavlou "On Uncoordinated Service Placement in Edge-Clouds," CloudCom 2017: 41-48

#### **Θέμα 5: Ανάλυση ρίσκου και μηχανισμοί εντοπισμού χρηστών που «συμπεριφέρονται άσχημα» σε συνεργατικό περιβάλλον έξυπνων αυτοκινήτων**

**Keywords** Δίκτυα Έξυπνων Οχημάτων, Συνεργατικά Συστήματα Μεταφορών, Εκτίμηση Ρίσκου

Η συνεργασία μεταξύ κόμβων έχει αναγνωριστεί ως ιδιαίτερα αποτελεσματική σε πολλά δικτυακά περιβάλλοντα καθώς επιτρέπει το διαμοιρασμό δεδομένων που τυπικά συλλέγονται (από απομακρυσμένους κόμβους) εκτός της περιοχής για την οποία ένας τοπικός κόμβος διαθέτει πληροφορία. Η βασική «έκφραση» τέτοιας συνεργατικής συμπεριφοράς αφορά στην εκπομπή (broadcasting) μηνυμάτων που κρατάνε ενημέρους όλους τους κόμβους που τα λαμβάνουν σχετικά με την «κατάσταση» του αποστολέα. Ένα τυπικό δείγμα συναντάται σε δίκτυα συνδεδεμένων οχημάτων [1] όπου εξαιρετικά χρήσιμη κινηματική πληροφορία [2] βοηθάει στην καλύτερη αντίληψη της κατάστασης γειτονικών οχημάτων, απαραίτητη σε σενάρια αυξημένης αυτοματοποίησης.

Σ' αυτό το περιβάλλον οι χρήστες (οχήματα) του συνεργατικού δικτύου (Cooperative Intelligent Transport System [3]) λαμβάνουν ψηφιακά πιστοποιητικά από μια 'έμπιστη' αρχή [4] και στη συνέχεια μπορούν ως αξιόπιστοι χρήστες να ανταλλάσσουν πληροφορία (πχ για ένα συμβάν στο δρόμο). Η προϋπόθεση είναι πως αφού έχουν πιστοποιηθεί (απ'

το σύστημα), οι υπόλοιποι χρήστες μπορούν να τους εμπιστευτούν. Αυτό που πρόσφατα έχει αναγνωριστεί ως πρόβλημα είναι η δυνατότητα αυτών των χρηστών να στέλνουν μη-αληθή πληροφορία (παρότι πιστοποιημένοι) είτε λειτουργώντας κακόβουλα είτε λόγω βλάβης υλικού (αισθητήρες).

Οι ως τώρα μελέτες για standards [5] και η σχετική έρευνα [6] αναγνωρίζουν δύο βασικούς τρόπους προκειμένου να γίνεται έλεγχος για τέτοια «άσχημη συμπεριφορά» : A) Τεστ σχετικά με τη συνέπεια και την αληθοφάνεια (Consistency and plausibility checks). Ένα όχημα μπορεί να εντοπίσει την άσχημη συμπεριφορά ενός άλλου κοιτώντας ένα μόνο μήνυμα (η αναφερόμενη πορεία σε αμέσως προηγούμενα μηνύματα δεν ταιριάζει με την τώρα-αναφερόμενη διεύθυνση/ταχύτητα ή το όχημα αναφέρει στα μηνύματα πως βρίσκεται σε «αδύνατη τοποθεσία» π.χ. θάλασσα). B) Χρήση σύντηξης δεδομένων από αισθητήρες: ένα όχημα διαβάζει το μήνυμα από άλλο όχημα που δηλώνει πως βρίσκεται μπροστά απ' το πρώτο ενώ οι αισθητήρες του τελευταίου καταγράφουν το δεύτερο όχημα σε διαφορετική θέση (απ' αυτή που δηλώνει). Έτσι, οι παρακάτω κυβερνοαπειλές που σχετίζονται με το συνεργατικό περιβάλλον δεν έχουν έως τώρα αντιμετωπιστεί:

- Ένα (κακόβουλο) όχημα που μεταδίδει μη-αληθή δεδομένα (πχ δεδομένα θέσης) δεν βρίσκεται σε ευθεία επαφή (Line of Sight) με άλλο συνεργάσιμο όχημα
- Διάδοση πληροφορίας για συμβάντα (π.χ. ειδοποίηση για χιονισμένο οδόστρωμα ή προσωρινή αλλαγή στη σηματοδότηση) που δεν μπορεί να επιβεβαιωθεί (απομακρυσμένα) από αισθητήρες ή άλλο μέσο
- Πολλαπλές επιβεβαιώσεις από οχήματα ή/και την υποδομή σχετικά με κάποια πληροφορία η οποία παρόλα αυτά είναι λάθος (π.χ. η υπηρεσία εντοπισμού GNSS σε μια περιοχή έχει δεχθεί κυβερνοεπίθεση)

Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής ο/η φοιτητής/τρια θα κληθεί να :

- Μελετήσει τη βιβλιογραφία, να κατανοήσει το πρόβλημα και να εξοικειωθεί με τις τεχνολογίες επικοινωνιών (πρωτόκολλα, μηνύματα) οχημάτων.
- Αναλύσει τα σχετικά ρίσκα και να προτείνει μηχανισμούς εντοπισμού «άσχημης συμπεριφοράς».
- Εκτιμήσει πειραματικά (μέσω προσομοίωσης [7]) την αποδοτικότητα των προτεινόμενων μηχανισμών.

Η διπλωματική εργασία θα πραγματοποιηθεί σε συνεργασία με το ***i-Sense Group***:  
<https://i-sense.iccs.gr/>

### **Σχετική βιβλιογραφία**

[1] N. Lu *et al.*, "Connected Vehicles: Solutions and Challenges," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 1, no. 4, pp. 289-299, Aug. 2014.

[2] J. Santa, *et al.*, "Vehicle-to-infrastructure messaging proposal based on CAM/DENM specifications," *2013 IFIP Wireless Days (WD)*, Valencia, 2013

[3] E.B Hamida *et al.*, Security of Cooperative Intelligent Transport Systems: Standards, Threats Analysis and Cryptographic Countermeasures. *Electronics* 2015, 4, 380-423.

[4] B. Lonc and P. Cincilla, "Cooperative ITS security framework: Standards and implementations progress in Europe," *IEEE WoWMoM 2016*, Coimbra.

[5] ETSI TR103 460 Pre-standardisation study on misbehavior detection  
[https://portal.etsi.org/webapp/WorkProgram/Report\\_WorkItem.asp?WKI\\_ID=50249](https://portal.etsi.org/webapp/WorkProgram/Report_WorkItem.asp?WKI_ID=50249)

[6] J. Kamel, *et al.*, "CaTch: A Confidence Range Tolerant Misbehavior Detection Approach," 2019 *IEEE WCNC*, Marrakesh, Morocco, 2019, pp. 1-8.

[7] OPENC2X Open Source Prototyping Platform Supporting ETSI ITS-G5 <https://www.ccs-labs.org/software/openc2x/>

**Προαπαιτούμενα:** βασικές γνώσεις δικτύων και κυβερνοασφάλειας. Γνώσεις προγραμματισμού (C/C++ ή scripting)

**Επικοινωνία:** Παναγιώτης Πανταζόπουλος [ppantaz@iccs.gr](mailto:ppantaz@iccs.gr), καθ. Μάνος Βαρβαρίγος [vmanos@central.ntua.gr](mailto:vmanos@central.ntua.gr)

## **Θέμα 6: Σχεδιασμός και ανάπτυξη Αγοράς Ευελιξίας για Δίκτυα Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας**

**Keywords:** Flexible energy market, active network management

Τα σύγχρονα συστήματα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας αντιμετωπίζουν μια σειρά από προκλήσεις, όπως είναι η υψηλή διείσδυση Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ), η οποία συνεπάγεται δυναμική και απρόβλεπτη καταναεμημένη παραγωγή, με συνέπεια την αυξανόμενη δυσκολία στην εξισορρόπηση παραγωγής και φορτίου. Οι Διαχειριστές των Δικτύων Διανομής θα χρειαστεί επίσης να αντιμετωπίσουν στο μέλλον συχνότερα και εντονότερα φαινόμενα όπως η ανύψωση των μέτρων των τάσεων των ζυγών και η συμφόρηση του δικτύου. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα σχεδιαστεί και θα μοντελοποιηθεί μία Αγορά Ευελιξίας στο επίπεδο του Δικτύου Διανομής, η οποία θα αξιοποιεί Καταναεμημένες Πηγές Ενέργειας (μονάδες αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας, διεσπαρμένη ελεγχόμενη παραγωγή, ευέλικτα ηλεκτρικά φορτία) με σκοπό την ευσταθή και αξιόπιστη λειτουργία του δικτύου με το ελάχιστο δυνατό κόστος.

Παρέχεται επαρκής και ποιοτική επίβλεψη. Γνώσεις που θα χρειαστούν/θα αποκτηθούν είναι προγραμματισμός σε περιβάλλον MATLAB και θεωρητικές γνώσεις βελτιστοποίησης.

## **Θέμα 7: Ανάλυση αγορών ηλεκτρικής ενέργειας με ατελή ανταγωνισμό**

**Keywords:** Μοντελοποίηση αγορών ενέργειας, market power mitigation

Οι σύγχρονες απελευθερωμένες αγορές ηλεκτρικής ενέργειας χαρακτηρίζονται από ατελή ανταγωνισμό (imperfect competition). Στο πλαίσιο αυτό, παραγωγοί ηλεκτρικής ενέργειας, σχεδιάζοντας στρατηγικά την υποβολή προσφορών τους στην ημερήσια αγορά ηλεκτρικής ενέργειας, αυξάνουν το κέρδος τους, αυξάνοντας την οριακή τιμή συστήματος. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα αναπτυχθούν αλγόριθμοι ανάλυσης του σημείου ισορροπίας της αγοράς σε συνθήκες ατελούς ανταγωνισμού και αποφυγής κατάχρησης ισχύος (market power mitigation) εκ μέρους συμμετεχόντων που έχουν μεγάλο μερίδιο στην αγορά.

Παρέχεται επαρκής και ποιοτική επίβλεψη. Γνώσεις που θα χρειαστούν/θα αποκτηθούν είναι προγραμματισμός σε περιβάλλον MATLAB και θεωρητικές γνώσεις βελτιστοποίησης και θεωρίας παιγνίων.

### **Θέμα 8: Θεωρία βελτιστοποίησης και σύγχρονα ενεργειακά δίκτυα**

**Keywords:** distribution network optimization

Στα σύγχρονα ενεργειακά συστήματα η προσφορά ενέργειας είναι αρκετά δυναμική και απρόβλεπτη λόγω του υψηλού βαθμού χρήσης των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας. Απαιτούνται λοιπόν αλγόριθμοι για τη δυναμική και βέλτιστη χρήση του δικτύου. Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία θα υποθέσουμε γραμμικά και μη γραμμικά προβλήματα βελτιστοποίησης δικτύων διανομής ενέργειας και θα υλοποιηθούν αλγόριθμοι βέλτιστης χρήσης του δικτύου διανομής ενέργειας με σκοπό την ευσταθή και χαμηλού κόστους διανομή.

Επαρκής και ποιοτική επίβλεψη. Γνώσεις που θα χρειαστούν/ θα αποκτηθούν είναι προγραμματισμός σε περιβάλλον Matlab και προχωρημένες γνώσεις μη γραμμικής βελτιστοποίησης και ανάλυσης ενεργειακών δικτύων.

Σχετικός σύνδεσμος:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Power\\_system\\_simulation#Optimal\\_power\\_flow](https://en.wikipedia.org/wiki/Power_system_simulation#Optimal_power_flow)

### **Θέμα 9: Τεχνητή Νοημοσύνη για έξυπνα δίκτυα ενέργειας - reinforcement learning**

**Keywords:** Markov Decision Processes, Artificial Intelligence, Electricity Markets

Στο πλαίσιο μιας απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας με μεγάλη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών, η ανάγκη για συνεχή και δυναμική εξισορρόπηση παραγωγής και κατανάλωσης αποτελεί σημαντική πρόκληση. Υπηρεσίες εξισορρόπησης που μέχρι τώρα παρέχονταν αποκλειστικά από μονάδες παραγωγής, πλέον ζητούνται και προσφέρονται και από άλλους πόρους, όπως μικρές μπαταρίες, έξυπνες συσκευές, ηλεκτρικά αυτοκίνητα κ.α.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα υλοποιηθεί ένας αλγόριθμος ενισχυτικής μάθησης (reinforcement learning) με βάση τον οποίο θα ελέγχεται η συμπεριφορά μιας συσκευής, προκειμένου αυτή να παρέχει υπηρεσίες εξισορρόπησης χωρίς να επηρεάζει την άνεση του τελικού χρήστη.

Εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν: προγραμματισμός (κατά προτίμηση σε Python, εναλλακτικά Matlab)

### **Θέμα 10: Μηχανική Μάθηση για έξυπνα δίκτυα ενέργειας - Νευρωνικά Δίκτυα**

**Keywords:** Neural Networks, Machine Learning, Deep Reinforcement Learning

Στο πλαίσιο μιας απελευθερωμένης αγοράς ενέργειας με μεγάλη διείσδυση ανανεώσιμων πηγών, ένα μεγάλο μέρος των υπηρεσιών εξισορρόπησης παραγωγής-κατανάλωσης ενέργειας δύναται να αντληθεί από αποκεντρωμένους πόρους (έξυπνες οικιακές

συσκευές, οικιακές μπαταρίες, ηλεκτρικά αυτοκίνητα κ.α.). Σημαντική πρόκληση αποτελεί ο συντονισμός πολλών μικρών παικτών, ώστε αυτοί να μπορούν να συμμετέχουν στην χονδρική αγορά ενέργειας και στην αγορά εξισορρόπησης.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, ο φοιτητής θα υλοποιήσει ένα νευρωνικό δίκτυο το οποίο θα μαθαίνει τη στατιστική συμπεριφορά ενός συνόλου έξυπνων συσκευών, απέναντι σε δυναμικά σήματα τιμολόγησης. Το νευρωνικό δίκτυο προτείνεται να υλοποιηθεί σε περιβάλλον tensorflow.

Εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν: προγραμματισμός (Python, tensorflow)

### **Θέμα 11: Προσομοίωση μιας ολοκληρωμένης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας**

**Keywords:** electricity markets, optimization, modelling, MILP

Οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας υφίστανται σημαντικές αλλαγές στο σχεδιασμό τους προκειμένου να ανταποκριθούν στις εξελίξεις που θέλουν μεγαλύτερη ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών καθώς και απελευθέρωση της αγοράς. Συγκεκριμένα στην Ευρωπαϊκή Ένωση, προωθείται η ενοποίηση των αγορών ισχύος εξισορρόπησης. Ο σκοπός του διαχειριστή της αγοράς είναι να ικανοποιήσει τις ανάγκες της κοινωνίας σε ηλεκτρική ενέργεια με το μικρότερο δυνατό κόστος, ενώ παράλληλα εξασφαλίζει την ευστάθεια και την αξιοπιστία του δικτύου.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής, ο φοιτητής θα μελετήσει διαφορετικά μοντέλα αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας (πχ αγορές “central-dispatch” και αγορές “self-dispatch”) και θα υλοποιήσει ένα ολοκληρωμένο μοντέλο αγοράς συμπεριλαμβανομένου του αλγόριθμου εκκαθάρισης. Ο αλγόριθμος θα είναι ένα πρόγραμμα μεικτού ακέραιου γραμμικού προγραμματισμού (MILP) που θα λαμβάνει σαν είσοδο τις προσφορές των παικτών της αγοράς και τις ανάγκες εφεδρειών, και σαν έξοδο θα ρυθμίζει το πρόγραμμα αγοράς (πχ παραγωγή ενέργειας) κάθε παίκτη.

Εργαλεία που θα χρησιμοποιηθούν: Matlab, εναλλακτικά Python, MILP solvers (π.χ. CPLEX / Gurobi)