

ΠΡΟΤΑΣΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ

Τίτλος: Νοήμονα Συστήματα Διαχείρισης Ενεργειακών Κόμβων σε Έξυπνα Νοσοκομεία

Περίληψη

Το πρόβλημα της εξοικονόμησης ενέργειας στα κτήρια τις δεκαετίες 70 και 80 δημιούργησε κτήρια στα οποία η ποιότητα της ζωής ήταν υποβαθμισμένη. Η ρύθμιση του μικροκλίματος σε ένα κτήριο και η εξοικονόμηση ενέργειας είναι ένα πολύ-μεταβλητό πρόβλημα το οποίο δεν έχει μια μοναδική λύση. Τα παραδοσιακά BEMS χρησιμοποιούν στο χαμηλό επίπεδο κλασικές μεθόδους ελέγχου όπως on/off, PID (proportional, integral and derivative control) και βέλτιστο start/stop των μηχανημάτων. Η ενσωμάτωση της υπολογιστικής νοημοσύνης στα BEMS σε συνεργασία με την ανάπτυξη των ενεργειακών κόμβων έχει βελτιώσει σημαντικά τον τρόπο λήψης αποφάσεων στο BEMS. Η περιοχή της προτεινόμενης έρευνας στηρίζεται σε τρεις κύριους άξονες: α) Υπολογιστική Νοημοσύνη (Computational Intelligence - CI) β) Ενεργειακοί κόμβοι (Energy Hubs - EH) και γ) Νοήμονα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας. Η CI είναι ο επιστημονικός τομέας που συμπεριλαμβάνει μεταξύ άλλων τον Νοήμονα Έλεγχο (Intelligent Control - IC) και τον Εξελικτικό Υπολογισμό (Evolutionary Computation - EC). Ένας EH θεωρείται ως μια μονάδα όπου μπορούν να μετασχηματιστούν πολλαπλοί φορείς ενέργειας και να αποθηκευτούν. Το προτεινόμενο αντικείμενο της διατριβής είναι η μελέτη, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση νοημών συστημάτων για την αξιοποίηση καταναλωμένων ενεργειακών πόρων με απώτερο στόχο τη βέλτιστη διαχείριση της ενέργειας (ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση). Για την εκπόνηση της έρευνας θα πραγματοποιηθεί εκτενής βιβλιογραφική μελέτη έντυπου και ηλεκτρονικού υλικού, ώστε να προσδιοριστεί το τρέχον επίπεδο της επιστημονικής γνώσης (state-of-art) στο προτεινόμενο ερευνητικό αντικείμενο. Οι στόχοι της προτεινόμενης διδακτορικής διατριβής είναι η ενσωμάτωση EH με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε νοσοκομεία, καθώς επίσης και η ανάπτυξη νοημών συστημάτων ενέργειας έτσι ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας με την μικρότερη κατασπατάληση των ενεργειακών πόρων.

1. Εισαγωγή - Ανασκόπηση Ερευνητικής Περιοχής

1.1. Ενέργεια, κτήρια και ενεργειακοί κόμβοι

Η παγκόσμια ζήτηση ενέργειας αυξάνεται με ρυθμό 5% ετησίως. [9]. Για να αντιμετωπισθεί αυτή η ζήτηση και να κρατηθεί σε λογικά επίπεδα η τιμή της ενέργειας πολλές προσεγγίσεις έχουν προταθεί και ερευνώνται, όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (αιολική, ηλιακή και υδραυλική ενέργεια). Η εμφάνιση των ενεργειακών κόμβων έχει ανοίξει νέους ορίζοντες στο σχεδιασμό και τη διαχείριση της ενέργειας σε τοπικό επίπεδο αλλά και σε περιφερειακή εμβέλεια [3,4,14,15,18,19,23,29,33].

Τα κτήρια στην Ευρώπη χρησιμοποιούν περίπου το 40% της συνολικής καταναλωσόμενης ενέργειας [9]. Η ανάγκη εξοικονόμησης ενέργειας οδηγεί στον ορθολογικότερο σχεδιασμό των κτιρίων. Ένα επιπλέον σημαντικό στοιχείο προς την

κατεύθυνση αυτή αποτελεί η κατευθυντήρια οδηγία της Ε.Ε. που αφορά την ενέργεια στα κτήρια και δίνεται η ώθηση ώστε τα κράτη μέλη της Ε.Ε. να θέσουν αυστηρότερες προδιαγραφές στους κανονισμούς όσον αφορά την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων, τη διαχείριση και τους αυτοματισμούς στα κτήρια (European standard EN 15232, Energy Performance of Buildings – Impact of Building Automation, Control and building Management’ EPBD [2]). Οι λόγοι αυτοί οδήγησαν τους ερευνητές στην ανάπτυξη νοημόνων συστημάτων διαχείρισης της ενέργειας. Ο στόχος αυτών των συστημάτων είναι η ελαχιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης και του κόστους [4].

1.2. Συστήματα διαχείρισης της ενέργειας - βελτιστοποίηση

Τα παραδοσιακά BEMS χρησιμοποιούν στο χαμηλό επίπεδο κλασικές μεθόδους ελέγχου όπως on/off, PID (proportional, integral and derivative control) και βέλτιστο start/stop των μηχανημάτων. Το ανώτερο επίπεδο του BEMS εφοδιάζεται με ένα διαισθητικό εποπτικό σύστημα ελέγχου. Η τεχνητή νοημοσύνη αντιμετωπίζει το πρόβλημα της διαχείρισης της ενέργειας με μια άλλη επιστημονική προσέγγιση που είναι πλήρως διαφορετική από την παραδοσιακή. Η ενσωμάτωση της υπολογιστικής νοημοσύνης στα BEMS σε συνεργασία με την ανάπτυξη των ενεργειακών κόμβων έχει βελτιώσει σημαντικά τον τρόπο λήψης αποφάσεων στα BEMS [7,8,14,16,17].

1.3. Η περιοχή της προτεινόμενης έρευνας

Η περιοχή της προτεινόμενης έρευνας στηρίζεται σε τρεις κύριους άξονες

- A) Υπολογιστική Νοημοσύνη (Computational Intelligence - CI)
- B) Ενεργειακοί Κόμβοι (Energy Hub - EH)
- Γ) Νοήμονα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας

2. Αντικείμενο Έρευνας

2.3. Υπολογιστική Νοημοσύνη

Η CI είναι ο επιστημονικός τομέας που συμπεριλαμβάνει μεταξύ άλλων τον Νοήμονα Έλεγχο (Intelligent Control - IC) και τον Εξελικτικό Υπολογισμό (Evolutionary Computation - EC). Ο IC αποτελείται από τρία βασικά δομικά επιστημονικά πεδία: Συστήματα Ασαφούς Λογικής (Fuzzy Logic Systems), Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks). Στον EC εμπεριέχονται βασικές τεχνικές μηχανικής μάθησης όπως Γενετικοί Αλγόριθμοι (Genetic Algorithms), Βελτιστοποίηση Σμηνών Μονάδων (Particle Swarm Optimization), Αλγόριθμοι Βελτιστοποίησης των Αποικιών των Μυρμηγκιών (Ant Colony Optimization), κ.α.

2.4. Ενεργειακοί Κόμβοι

Ένας ενεργειακός κόμβος θεωρείται ως μονάδα όπου μπορούν να μετασχηματιστούν πολλαπλοί φορείς ενέργειας και να αποθηκευτούν. Αντιπροσωπεύει μια διεπαφή μεταξύ διαφορετικών ενεργειακών υποδομών ή/και φορτίων. Οι EH περιλαμβάνουν:

- ✓ Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ - Φωτοβολταϊκά Συστήματα - Ανεμογεννήτριες)
- ✓ Συστήματα αποθήκευσης ενέργειας (Μπαταρίες, υπερπυκνωτές)
- ✓ Υβριδικά ηλεκτρικά αυτοκίνητα (Hybrid Electric Vehicles - Vehicle to Grid). Συμμετέχουν ως καταναλωτές ενέργειας αλλά και ως καταναλωτές στο EH.

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό των ΕΗ είναι ότι έχουν τη δυνατότητα να είναι συνδεδεμένα με το δημόσιο δίκτυο αλλά και αυτομάτως να λειτουργούν αυτόνομα σε περιπτώσεις πτώσης του δημόσιου δικτύου.

Υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον στην ερευνητική κοινότητα όσον αφορά στον σχεδιασμό και στην υλοποίηση έξυπνων ενεργειακών κόμβων τοπικής παραγωγής και διανομής της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας στους καταναλωτές του κτιρίου και τη διασύνδεσή τους με το δημόσιο δίκτυο. Η αποθήκευση της ενέργειας από ΑΠΕ είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για τη σωστή λειτουργία των ενεργειακών κόμβων. Τα τελευταία χρόνια, η έννοια του ενεργειακού κόμβου, ως μεγάλης αξίας λύση για την παροχή ενέργειας με οικονομικό, αξιόπιστο και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο, έχουν εξεταστεί ευρέως τόσο σε επίπεδο σχεδιασμού όσο και σε επίπεδο προγραμματισμού.

2.5. Νοήμονα Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας

Επομένως, μια αποτελεσματική διαχείριση είναι ζωτικής σημασίας για τον αποτελεσματικό προγραμματισμό των συστημάτων πολλαπλών ενεργειακών φορέων. Η έννοια του ενεργειακού κόμβου είναι ένα αποτελεσματικό μοντέλο για τον βέλτιστο προγραμματισμό των πολλαπλών ενεργειακών φορέων και μια πολλά υποσχόμενη επιλογή για την επίτευξη ενός ρεαλιστικού μοντέλου μελλοντικής βιώσιμων ενεργειακών συστημάτων. Η διαχείριση της ενέργειας επιτυγχάνεται κύρια σε δύο φάσεις. Στην πρώτη φάση η διαχείριση της παραγόμενης ενέργειας στον ενεργειακό κόμβο στηρίζεται στην εκτίμηση/πρόβλεψη του επιπέδου ζήτησης της ενέργειας από τους καταναλωτές (Demand Side Management). Στον δεύτερο επίπεδο γίνεται η διαχείριση της κατανομής της παρεχόμενης ενέργειας στο ΕΗ με στόχο να ικανοποιηθούν οι καταναλώσεις όπως φορτία θέρμανσης/ψύξης και ηλεκτρισμού. [22,26,27,31,32,34,35]

Ειδικότερα, η μοντελοποίηση των εσωτερικών περιπλοκών και αλληλεπιδράσεων του ενεργειακού κόμβου, καθώς και η αντιμετώπιση των διαφόρων πτυχών της αλληλεπίδρασης με τον εξωτερικό κόσμο μπορεί να είναι ο κύριος λόγος για τη δημιουργία αβεβαιότητας στη βέλτιστη διαχείριση των ενεργειακών κόμβων [5]. Ένα ουσιαστικό πρόβλημα για τον βέλτιστο προγραμματισμό είναι η εξέταση της επίδρασης των πολλαπλών αβεβαιοτήτων που σχετίζονται με την ενσωμάτωση των ΑΠΕ, τις τιμές ενέργειας και τις ενεργειακές απαιτήσεις έτσι ώστε οι ενεργειακές απαιτήσεις των καταναλωτών να ικανοποιούνται με αξιόπιστο τρόπο, εκτός από την ελαχιστοποίηση του κόστους παροχής ενέργειας [20,21,24,25,28,30].

2.6. Προτεινόμενο αντικείμενο της διατριβής

Το προτεινόμενο αντικείμενο της διατριβής είναι η μελέτη, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση νοημόνων συστημάτων για την αξιοποίηση κατανεμημένων ενεργειακών πόρων με απώτερο στόχο τη βέλτιστη διαχείριση της ενέργειας (ορθολογική χρήση και εξοικονόμηση).

Πιο συγκεκριμένα ο υποψήφιος διδάκτορας θα ασχοληθεί με:

- Νοήμονα συστήματα με δυνατότητες μάθησης που ενσωματώνονται σε υβριδικά συστήματα χωρίς να χρειάζεται ο σχεδιαστής να αναδιαμορφώνει τη συμπεριφορά τους. Τα συστήματα αυτά επιλύουν αντικρουόμενα προβλήματα κατά τη διαχείριση της ενέργειας.
- Βελτιστοποίηση των συλλειτουργούντων υποσυστημάτων.
- Ενεργειακός κόμβος με ΑΠΕ.

3. Στόχοι

Οι στόχοι της προτεινόμενης διδακτορικής διατριβής είναι η ενσωμάτωση ενεργειακών κόμβων με χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε κτήρια, καθώς επίσης η μελέτη και ανάπτυξη νοημών συστημάτων διαχείρισης ενέργειας με απώτερο στόχο να υπάρχει όσο το δυνατόν μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας και ταυτόχρονα την ελαχιστοποίηση του αποτυπώματος του CO₂.

4. Μεθοδολογία Έρευνας

Για την εκπόνηση της έρευνας θα πραγματοποιηθεί εκτενής βιβλιογραφική μελέτη έντυπου και ηλεκτρονικού υλικού, ώστε να προσδιοριστεί το τρέχον επίπεδο της επιστημονικής γνώσης (state-of-art) στο προτεινόμενο ερευνητικό αντικείμενο.

Στην συνέχεια θα τεθούν και θα αιτιολογηθούν τα κύρια ερευνητικά ερωτήματα καθώς και θα τεκμηριωθεί πλήρως η μεθοδολογία αντιμετώπισής τους στα πλαίσια της συγκεκριμένης έρευνας.

Για την διεξαγωγή της έρευνας θα σχεδιαστούν και θα υλοποιηθούν τα απαιτούμενα συστήματα εφαρμόζοντας σύγχρονες μεθόδους ανάπτυξης και υλοποίησης. Σχετικά με τα εργαλεία ανάπτυξης, θα χρησιμοποιηθούν τα κατάλληλα εργαλεία σχεδιασμού, εξομοίωσης, ανάπτυξης και ανάλυσης.

Τα κυριότερα εργαλεία λογισμικού είναι:

- MATLAB
- TRNSYS (TRaNsient SYstem Simulation)
- Energy Plus
- GenOpt - TRNSYS - TRNOPT

Με την προτεινόμενη μεθοδολογία θα είναι εφικτά:

- ❖ Νοήμονας διαχείριση της παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας.
- ❖ Ανάπτυξη και εφαρμογή νοημών συστημάτων με δυνατότητες μάθησης.
- ❖ Η πλήρης τεκμηρίωση των ερευνητικών αποτελεσμάτων.

5. Χρονοδιάγραμμα

- ❖ Βιβλιογραφική έρευνα και μελέτη (1 έτος)
 - Υπολογιστική Νοημοσύνη
 - Ενεργειακοί κόμβοι
 - Συστήματα Διαχείρισης Ενέργειας
- ❖ Καθορισμός των ερευνητικών ερωτημάτων-στόχων που θα πρέπει να προσεγγιστούν και να αντιμετωπιστούν (1 έτος).
- ❖ Σχεδίαση και προσομοίωση των υποσυστημάτων για την ομαλή συνεργασία τους σε μια γενικότερη πλατφόρμα που θα είναι ανοικτή και ευέλικτη και προσαρμόσιμη στην προσθήκη νέων στοιχείων. Ερευνητική προσέγγιση και ανάπτυξη μεθοδολογιών κατάλληλων για την αντιμετώπιση των ερευνητικών προβλημάτων της διδακτορικής διατριβής. Δημοσίευση αποτελεσμάτων (2 & 3 έτος).
- ❖ Πειραματικός έλεγχος του προτεινόμενου συστήματος σε διάφορες συνθήκες και συγκριτική μελέτη με άλλες προσεγγίσεις της βιβλιογραφίας (2 & 3 έτος).
- ❖ Δημοσίευση αποτελεσμάτων (2 & 3 έτος).
- ❖ Συγγραφή διατριβής (4 έτος).

6. Ενδεικτική Βιβλιογραφία

1. M. Castilla, J.D. Álvarez, M. Berenguel, F. Rodríguez, J.L. Guzmán, M. Pérez, "A comparison of thermal comfort predictive control strategies", *Energy and Buildings* 43 (2011) 2737-2746.
2. CSN, EN Standard. EN 15232 - energy performance of buildings - impact of building automation, controls and building, management; 2007.
3. A. Dimeas and N. Hatziargyriou, "A MAS architecture for microgrids control," in *Intelligent Systems Application to Power Systems*, 2005. Proceedings of the 13th International Conference on, p. 5 pp., nov. 2005.
4. Y. Ding, C. Decker, I. Vassileva, F. Wallin, and M. Beigl, "A Smart Energy System: Distributed Resource Management, Control and Optimization", *Innovative Smart Grid Technologies (ISGT Europe)*, 2011 2nd IEEE PES International Conference and Exhibition on Date of Conference: 5-7 Dec. 2011.
5. Anastasios I. Dounis, C. Caraiscos, "Advanced control systems engineering for energy and comfort management in a building environment—A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 1246-1261.
6. Anastasios I. Dounis, P. Tiropanis, A. Argiriou, A. Diamantis, "Intelligent control system for reconciliation of the energy savings with comfort in buildings using soft computing techniques", *Energy and Buildings* 43 (2011) 66-74.
7. Anastasios I. Dounis, "Artificial intelligence for energy conservation in buildings", *Advances in Building Energy Research 2010 Vol. 4*, pp. 267-299.
8. Anastasios I. Dounis, D. Piromalis, M. Santamouris, "Fuzzy Decision-Making System and Wireless Sensor Network for Renewable Energy Resources Management in Buildings - A Design", In: *Focus on Energy Management*, 2011 NOVA Science Publishers, pp. 39-70.
9. Enerdata, *World Energy Use in 2010: Over 5% Growth*, *World Energy Statistics: Enerdata Yearbook*, 2011.
10. P.M. Ferreira, A.E. Ruanoa, S. Silva, E.Z.E. Conceição, "Neural networks based predictive control for thermal comfort and energy savings in public buildings", *Energy and Buildings* Vol. 55, Dec. 2012, pp. 238-251.
11. D. Kolokotsa, D. Rovas, E. Kosmatopoulos, K. Kalaitzakis, "A roadmap towards intelligent net zero- and positive-energy buildings", *Solar Energy* 85 (2011) 3067-3084.
12. C. D. Korkas, S. Baldi, I. Michailidis, E. B. Kosmatopoulos, "Occupancy-based demand response and thermal comfort optimization in microgrids with renewable energy sources and energy storage", *Applied Energy* 163 (2016) 93-104.
13. P. Kofinas, George Vouros, Anastasios I. Dounis, "Energy Management in Solar Microgrid via Reinforcement Learning", *proceedings of 9th Hellenic Conference on Artificial Intelligence*, 2016.
14. G. Kyriakarakos, D. Piromalis, Anastasios I. Dounis, K. Arvanitis, G. Papadakis, "Intelligent demand side energy management system for autonomous polygeneration microgrids", *Applied Energy*, Vol. 103, March 2013, pp. 39-51.
15. T. Logenthiran, D. Srinivasan, and D. Wong, "Multi-agent coordination for der in microgrid," in *IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET'08)*, pp. 77 -82, nov. 2008.
16. V. Marinakis, H. Doukas, C. Karakosta, J. Psarras, "An integrated system for buildings' energy-efficient automation: Application in the tertiary sector" *Applied Energy* 101 (2013) 6-14.

17. M. Mokhtar, M. Stables, X. Liu, J. Howe, "Intelligent multi-agent system for building heat distribution control with combined gas boilers and ground source heat pump", *Energy and Buildings* 62 (2013) 615–626.
18. W. Su and J. Wang, "Energy Management Systems in Microgrid Operations", *The Electricity Journal* Vol. 25, Issue 8, October 2012, pp. 45–60.
19. Z. Wang, R. Yang, L. Wang, "Intelligent multi-agent control for integrated building and micro-grid system. In IEEE PES innovative smart grid technologies Anaheim, CA, 2011 (pp. 1–7).
20. Mohammadi M, Noorollahi Y, Mohammadi-Ivatloo B, Yousefi H, Jalilinasrabady S. Optimal scheduling of energy hubs in the presence of uncertainty-a review. *J Energy Manag Technol* 2017;1(1):1–17.
21. Mohammad Mohammadi, Younes Noorollahi, Behnam Mohammadi-ivatloo, Fuzzy-based scheduling of wind integrated multi-energy systems under multiple uncertainties, *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 37 (2020) 100602.
22. Pallonetto, Fabiano & De Rosa, Mattia & D'Ettorre, Francesco & Finn, Donal "On the assessment and control optimisation of demand response programs in residential buildings". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* Volume 127 (2020).
23. Domínguez-Garabitos, M.A.; Ocaña-Guevara, V.S.; Santos-García, F.; Arango-Manrique, A.; Aybar-Mejía, M. "A Methodological Proposal for Implementing Demand-Shifting Strategies in the Wholesale Electricity Market". *Energies* 2022, 15, 1307.
24. Alexis Lagrange, Miguel de Simón-Martín, Alberto González-Martínez, Stefano Bracco, Enrique Rosales-Asensio, "Sustainable microgrids with energy storage as a means to increase power resilience in critical facilities: An application to a hospital", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 119,2020, 105865.
25. Mohammad Hosein Dadashi-Rad, Ali Ghasemi-Marzbali, Roya Ahmadi Ahangar, "Modeling and planning of smart buildings energy in power system considering demand response", *Energy*, Volume 213, 2020, 118770
26. Chen, Y.; Chen, Z.; Yuan, X.; Su, L.; Li, K. "Optimal Control Strategies for Demand Response in Buildings under Penetration of Renewable Energy". *Buildings* 2022, 12, 371
27. Asif Khan, Nadeem Javaid, Majid Iqbal Khan, "Time and device based priority induced comfort management in smart home within the consumer budget limitation", *Sustainable Cities and Society*, Volume 41, 2018, Pages 538-555
28. Sayyad Nojavan, Majid Majidi, Kazem Zare, "Optimal scheduling of heating and power hubs under economic and environment issues in the presence of peak load management", *Energy Conversion and Management*, Volume 156, 2018, Pages 34-44
29. M. Bastani, H. Damgacioglu, N. Celik, "A δ -constraint multi-objective optimization framework for operation planning of smart grids", *Sustainable Cities and Society*, Volume 38, 2018, Pages 21-30
30. Samaneh Pazouki, Mahmoud-Reza Haghifam, Albert Moser, "Uncertainty modeling in optimal operation of energy hub in presence of wind, storage and demand response", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 61, 2014, Pages 335-345
31. Fiorella Lauro, Fabio Moretti, Alfonso Capozzoli, Stefano Panzieri, "Model Predictive Control for Building Active Demand Response Systems", *Energy Procedia*, Volume 83, 2015, Pages 494-503
32. Mohsen Khorasany, Afshin Najafi-Ghalelou, Reza Razzaghi, Behnam Mohammadi-Ivatloo, "Transactive energy framework for optimal energy management of multi-

- carrier energy hubs under local electrical, thermal, and cooling market constraints", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 129, 2021, 106803
33. Ralph Evins, Kristina Orehounig, Viktor Dorer, Jan Carmeliet, "New formulations of the 'energy hub' model to address operational constraints", *Energy*, Volume 73, 2014, Pages 387-398
 34. Alessandra Parisio, Carmen Del Vecchio, Alfredo Vaccaro, "A robust optimization approach to energy hub management", *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, Volume 42, Issue 1, 2012, Pages 98-104,
 35. A. Rezaee Jordehi, "Optimisation of demand response in electric power systems, a review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 103, 2019, Pages 308-319