

Smart Grids

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Κωνσταντίνος Μυλωνάς | 10027 | Μάιος 2023
ΤΗΜΜΥ - ΑΠΘ

Word Count: 3,220

Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος.....	3
Εισαγωγή – Ορισμός Smart Grids.....	4
Πρότυπα, Πολιτικές και Στόχοι	6
Πλεονεκτήματα των SG.....	8
Δομή και Τεχνικές Προδιαγραφές των SG	9
Τεχνητή Νοημοσύνη στα SG	11
Προκλήσεις και προβλήματα.....	13
Συμπεράσματα.....	14
Βιβλιογραφία	15

Πρόλογος

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του μαθήματος «Διανεμημένη Παραγωγή» του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Πρόκειται για μια προσπάθεια εμβάθυνσης στα Smart Grids (στο εξής: SG), ή αλλιώς τα «έξυπνα δίκτυα», τα οποία πρόκειται να αντικαταστήσουν τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας στη σημερινή τους μορφή. Στο πρώτο κομμάτι γίνεται μια εισαγωγή και δίνεται ο ορισμός του όρου «έξυπνα δίκτυα», ενώ αντιπαρατίθενται με τα παραδοσιακά δίκτυα παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Στη συνέχεια παρουσιάζονται λεπτομερώς οι στόχοι που έχουν τεθεί σχετικά με τα έξυπνα δίκτυα. Γίνεται μία αναφορά στα πλεονεκτήματα των έξυπνων δικτύων και παρουσιάζεται το τεχνικό κομμάτι τους. Ακολουθεί μία αναφορά στη τεχνητή νοημοσύνη και στους τρόπους με τους οποίους μπορεί να συμβάλει στην εφαρμογή των έξυπνων δικτύων στη πράξη. Τελικά αναλύονται προκλήσεις και προβλήματα σχετικά με την εφαρμογή των έξυπνων δικτύων και παρουσιάζονται μερικά συμπεράσματα.

Εισαγωγή – Ορισμός Smart Grids

Τα σημερινά δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ικανά να καλύψουν απλές ανάγκες παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Τα θεμέλια των δικτύων αυτών εντοπίζονται πριν από περισσότερα από 100 χρόνια, όταν οι ανάγκες σε ηλεκτρική ενέργεια ήταν λιγοστές και τα δίκτυα ήταν μικρά σε έκταση, με μονόδρομη αλληλεπίδραση με τους τελικούς καταναλωτές, δηλαδή την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας. Η αρχική ιδέα των έξυπνων δικτύων ήταν μια προηγμένη μετρητική υποδομή (Advanced Metering Infrastructure - AMI), η οποία στόχευε στη βελτίωση της διαχείρισης ενέργειας από τη πλευρά των καταναλωτών και τη βελτίωση της απόδοσης του δικτύου, και παράλληλα στην κατασκευή ενός ασφαλούς και αξιόπιστου δικτύου, προστατευμένου από φυσικές καταστροφές και κακόβουλες ενέργειες. Ωστόσο, η γήρανση του ηλεκτρικού δικτύου και οι ανησυχίες για την ενεργειακή απόδοση και βιωσιμότητα ώθησαν τις βιομηχανίες, τα κυβερνητικά σχήματα και τις ερευνητικές ομάδες να επεκτείνουν το πεδίο εφαρμογής των έξυπνων δικτύων ώστε να καλύπτει ένα πιο ευρύ φάσμα προκλήσεων - λύσεων.

Σήμερα, με την ενεργειακή κρίση που διανύουμε διεθνώς, είναι περισσότερο απαραίτητη από ποτέ η αποτελεσματικότερη διαχείριση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Στον εκσυγχρονισμό του δικτύου καθοριστικό ρόλο διαδραματίζει η τεχνολογία και οι δυνατότητες που μας προσφέρει. Στη σημερινή τους μορφή, τα Smart Grids, ή αλλιώς «έξυπνα δίκτυα», είναι ένα καινοτόμο σύστημα διαχείρισης της ενέργειας, το οποίο επιτρέπει στους καταναλωτές και τους παραγωγούς να συνεισφέρουν στη διαχείριση της ενέργειας με πιο αποτελεσματικό τρόπο. Με τη χρήση τεχνολογιών όπως οι αισθητήρες, οι μετρητές και οι συσκευές ελέγχου, τα έξυπνα δίκτυα επιτρέπουν την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ενέργειας σε πραγματικό χρόνο. Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι η αμφίδρομη ροή της πληροφορίας μεταξύ καταναλωτών και παραγωγών με στόχο της πιο αποτελεσματική παραγωγή και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας.

Ο Διεθνής Οργανισμός Ενέργειας (IEA)¹ ορίζει το Smart Grid ως ένα δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί ψηφιακές και άλλες προηγμένες τεχνολογίες για την παρακολούθηση και τη διαχείριση της μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας από όλες τις πηγές παραγωγής για την κάλυψη των ποικίλων απαιτήσεων ηλεκτρικής ενέργειας των τελικών χρηστών. Τα έξυπνα δίκτυα συντονίζουν τις ανάγκες και τις δυνατότητες όλων των παραγωγών, των διαχειριστών δικτύου, των τελικών χρηστών και των ενδιαφερομένων στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας για να λειτουργούν όλα τα μέρη του συστήματος όσο το δυνατόν πιο αποτελεσματικά, ελαχιστοποιώντας το κόστος και τις περιβαλλοντικές

¹ IEA: <https://www.iea.org/>

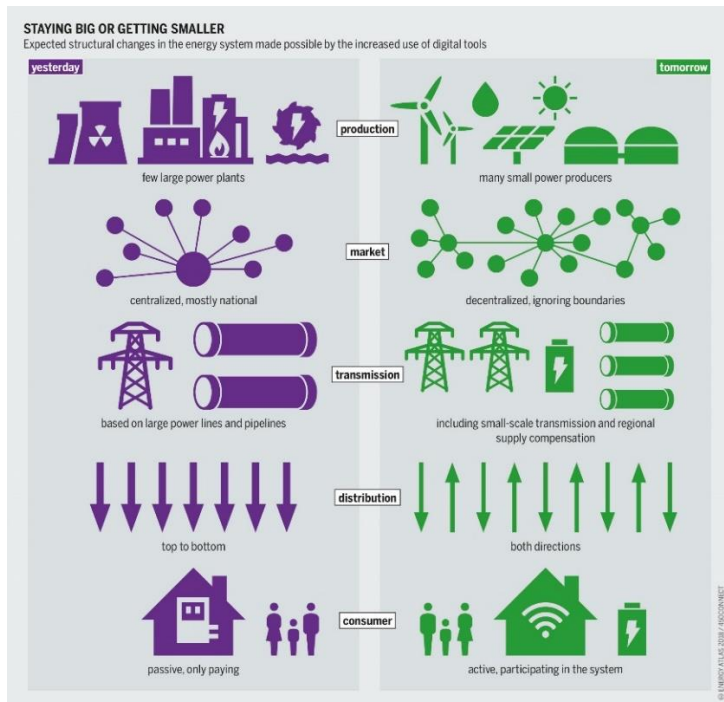
επιπτώσεις ενώ μεγιστοποιούν την αξιοπιστία, την ανθεκτικότητα, την ευελιξία και τη σταθερότητα του συστήματος.

Συνοπτικά, μπορούμε να αποτυπώσουμε τις διαφορές των έξυπνων δικτύων έναντι των παραδοσιακών στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 1: Πίνακας διαφορών μεταξύ παραδοσιακού και έξυπνου δικτύου

Παραδοσιακό Δίκτυο	Έξυπνο Δίκτυο
Ηλεκτρομηχανολογικό	Ψηφιακό
Μονόδρομη ροή πληροφορίας	Αμφίδρομη ροή πληροφορίας
Συγκεντρωτική παραγωγή	Αποκεντρωμένη παραγωγή
Μερικοί αισθητήρες	Πληθώρα αισθητήρων σε όλο το δίκτυο
Χειροκίνητη παρακολούθηση	Αυτόματη αυτό-παρακολούθηση
Χειροκίνητος έλεγχος και επισκευή	Δυνατότητα «self-healing»
Αποτυχίες και διακοπές ηλεκτροδότησης	Προσαρμοστικότητα και αξιοπιστία
Περιορισμένος έλεγχος	Εκτενής και καθολικός έλεγχος
Περιορισμένες επιλογές καταναλωτών	Πληθώρα επιλογών και δυνατοτήτων

Στη συνέχεια παρουσιάζονται μερικές διαφορές μεταξύ παραδοσιακού και έξυπνου δικτύου σε μορφή διαγράμματος:



Εικόνα 1: Διαφορές μεταξύ παραδοσιακού και έξυπνου δικτύου

Πρότυπα, Πολιτικές και Στόχοι

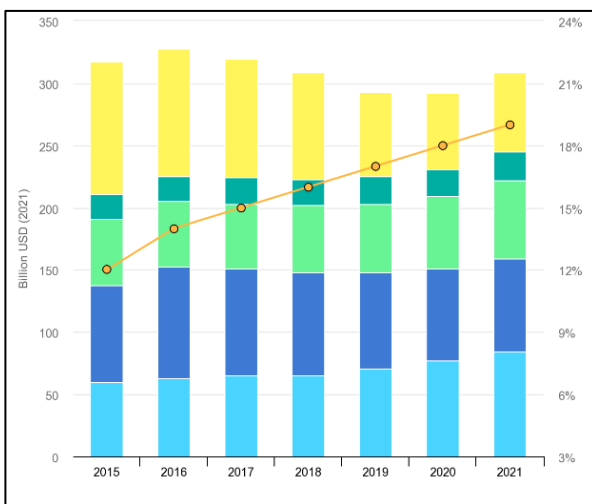
Η προσπάθεια για υλοποίηση έξυπνων δικτύων επισημοποιήθηκε αρχικά το 2001 στις Ηνωμένες Πολιτείες, όταν το Υπουργείο Ενέργειας ξεκίνησε μια σειρά εργαστηρίων με στόχο την ενοποίηση των κατανεμημένων ενεργειακών πόρων σε ένα κοινό σύστημα. Παράλληλα, μέσα στα επόμενα χρόνια όρισε το θεσμικό πλαίσιο σχετικά με την ασφάλεια και την ανεξαρτησία ερευνών στα έξυπνα δίκτυα και παρείχε σημαντική χρηματοδότηση σε σχετικά ερευνητικά προγράμματα. Το 2003, το Υπουργείο Ενέργειας ξεκίνησε το πρόγραμμα Grid 2030² για την αναβάθμιση της υποδομής του δικτύου, παρέχοντας ταυτόχρονα σημαντική χρηματοδότηση σε έρευνα και ανάπτυξη έξυπνων δικτύων. Αντίστοιχα, στην Ευρωπαϊκή Ένωση, με το Ενεργειακό Πακέτο του 2006 αποφασίστηκε η εφαρμογή των έξυπνων δικτύων σε όλη την ήπειρο. Από τότε διάφορες χώρες σε όλο τον κόσμο έχουν επενδύσει σε τεχνολογίες και υποδομές έξυπνων δικτύων για να βελτιώσουν την απόδοση και την αξιοπιστία των συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας. Η δεκαετία που ακολούθησε χαρακτηρίστηκε από μια πληθώρα σχεδίων δράσης από διάφορες χώρες. Το 2009 η Ευρωπαϊκή Ένωση θέσπισε το Mandate CEN/CENELEC M/441³, με το οποίο αποφάσισε τη κοινή προσπάθεια των χωρών-μελών της για εφαρμογή μετρητικών συστημάτων σε δίκτυα ενέργειας με στόχο τη βελτίωση της ενεργειακής τους απόδοσης και τη καταναλωτικής συνείδησης των πολιτών. Ακολούθησαν οι Κίνα, Ιαπωνία και Νότια Κορέα. Η τελευταία έθεσε παράλληλα ως κύριο στόχο του χρονοδιαγράμματος την υλοποίηση ενός εθνικού έξυπνου δικτύου μέχρι το 2030. Η Korean Smart Grid Association (KSGA) δημιούργησε το 2012 το έξυπνο δίκτυο μεγάλης κλίμακας με την ονομασία “Test City”. Τη δεκαετία 2010-2020 ακολούθησαν δημοσιεύσεις από διάφορες έρευνες, δοκιμές και πιλοτικά έργα. Σύμφωνα με τον Διεθνή Οργανισμό Ενέργειας (IEA), από το 2015 και μετά, η χρηματοδότηση τόσο στις ΗΠΑ όσο και στην Ευρώπη ξεπερνά τα 50 δισεκατομμύρια ετησίως. Μάλιστα η συνολική επένδυση σε παγκόσμιο επίπεδο ξεπερνά τα 300 δισεκατομμύρια ετησίως.

Συγκεκριμένα, 50 δισεκατομμύρια ετησίως σε παγκόσμιο επίπεδο επενδύονται για να ενσωματωθεί η τεχνολογία στα υφιστάμενα και στα υπό κατασκευή κομμάτια δικτύων. Εκτιμάται ότι για να πετύχουμε τους στόχους περί μηδενικού αποτυπώματος, τα παραπάνω ποσά θα πρέπει να υπερδιπλασιαστούν. Οι περισσότερες χώρες έχουν σημείο αναφοράς το 2030 και στη συνέχεια το 2050, ανάλογα και με τις ανάγκες και τους διαθέσιμους πόρους. Η Ευρωπαϊκή Ένωση στοχεύει στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου κατά 80-95% έως το 2050 και της ενσωμάτωσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο 32% έως το 2030. Αντίστοιχα, οι Ηνωμένες Πολιτείες, σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο Δράσης για την Ενέργεια του 2008, στοχεύουν στη δημιουργία ενός πλήρως λειτουργικού και αποδοτικού δικτύου

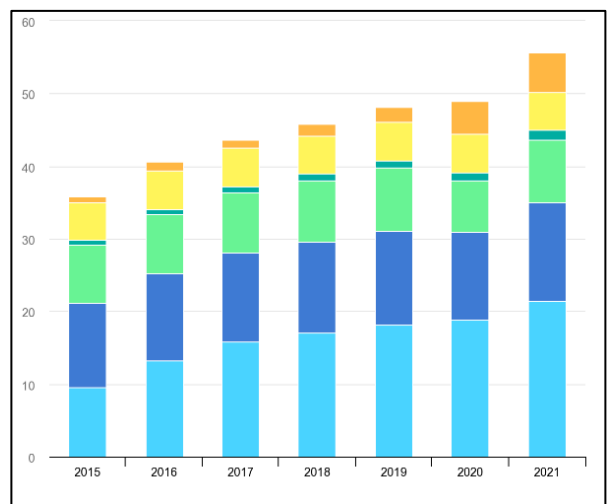
² Grid 2030: <https://www.energy.gov/oe/articles/grid-2030-national-vision-electricitys-second-100-years>

³ European Commission Mandate: https://www.cencenelec.eu/media/CEN-CENELEC/AreasOfWork/CEN-CENELEC_Topics/Smart%20Grids%20and%20Meters/Smart%20Meters/m441_en.pdf

μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι το 2030. Τα πιο πρόσφατα σχέδια σχετικά με τα έξυπνα δίκτυα, τόσο στην Ευρωπαϊκή Ένωση, όσο και στις Ηνωμένες Πολιτείες, στη Κίνα και το Ηνωμένο Βασίλειο εγκρίθηκαν το 2021 και βρίσκονται υπό καθεστώς υλοποίησης. Η Ελλάδα εναρμονίζεται πλήρως με τη πολιτική της Ευρωπαϊκής Ένωσης σε θέματα σχετικά με την ενέργεια, θέτοντας παράλληλα δικούς της στόχους αναβάθμισης του υπάρχοντος δικτύου και μείωσης του ενεργειακού αποτυπώματος σε εθνικό επίπεδο. Το πιο πρόσφατο σχέδιο μάλιστα κατατέθηκε και εγκρίθηκε το 2021 και αφορά στην εθνική ανάκαμψη, βιωσιμότητα και πράσινη ανάπτυξη με συνολικό ποσό 2,348 δις. €, εκ των οποίων τα 450 εκ. προορίζονται για την ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο υπάρχον δίκτυο.



Εικόνα 2: Συνολική επένδυση σε δισεκατομμύρια USD ανά χρόνο σε δίκτυα ενέργειας



Εικόνα 3: Συνολική χρηματοδότηση σε δισεκατομμύρια USD ανά χρόνο για δημιουργία τεχνολογικών υποδομών σε δίκτυα παραγωγής και διανομής ενέργειας

Πλεονεκτήματα των SG

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση των έξυπνων δικτύων είναι πολύ σημαντικά τόσο σε ατομικό όσο και σε εθνικό αλλά και διεθνές επίπεδο. Η αύξηση της ανανεώσιμης ενέργειας και της χρήσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας παραμένει ένας από τους βασικούς πυλώνες αυτής της προσπάθειας. Τα έξυπνα δίκτυα δε βασίζονται μόνο σε παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όπως τη καύση ορυκτών, αλλά αξιοποιούν σε μεγάλο βαθμό ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέσω αιολικών πάρκων, φωτοβολταϊκών συστημάτων και άλλων. Στόχος είναι αφενός η εξασφάλιση ανεξάντλητων επιπέδων ενέργειας, και αφετέρου η μείωση των εκπομπών CO₂ και άλλων αερίων θερμοκηπίου που προκύπτουν από τις παραδοσιακές μεθόδους. Το γεγονός αυτό καθιστά τα έξυπνα δίκτυα πολύ φιλικότερα απέναντι στο περιβάλλον. Παράλληλα, τα έξυπνα δίκτυα στοχεύουν στη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης, δηλαδή η ελαχιστοποίηση των απωλειών σε όλα τα στάδια της αλυσίδας παραγωγής και διανομής ενέργειας, κυρίως μέσω των έξυπνων μετρητών και της δυνατότητας διαχείρισης φορτίου. Δίνεται η δυνατότητα στο δίκτυο να αξιοποιεί κατάλληλα τους διαθέσιμους πόρους του με τέτοιο τρόπο ώστε να μην είναι απαραίτητες οι πρόσθετες υποδομές και η προσφορά να καλύπτει τη ζήτηση κάθε χρονική στιγμή. Μέσω των έξυπνων δικτύων αυξάνεται σημαντικά και η αξιοπιστία του δικτύου, καθώς υπάρχει η δυνατότητα πρόβλεψης αλλά και ακριβή εντοπισμού βλαβών στο δίκτυο. Μέσω κατάλληλων υποδομών, το δίκτυο θα μπορεί να εντοπίζει προβλήματα, να ανακατευθύνει αυτόματα τη ροή της ηλεκτρικής ενέργειας και να απομονώνει περιοχές όπου το δίκτυο βρίσκεται υπό επισκευή, ελαχιστοποιώντας παράλληλα τις ενεργειακές απώλειες και προσδίδοντας στο δίκτυο μεγαλύτερη αξιοπιστία. Πρόκειται για την ιδιότητα των έξυπνων δικτύων που στη βιβλιογραφία περιγράφεται ως «self-healing». Τέλος, σε πιο ατομικό επίπεδο, παρέχεται η δυνατότητα στους τελικούς καταναλωτές να παρακολουθούν την κατανάλωσή τους, και επομένως να την ελέγχουν με αποδοτικότερο τρόπο, μειώνοντας αφενός τις ατομικές δαπάνες σε ηλεκτρική ενέργεια, και αφετέρου οδηγώντας τη τιμή της αγοράς σε ύφεση λόγω της μειωμένης ζήτησης υψηλών επιπέδων ενέργειας σε ώρες αιχμής. Μέσω της αποκεντρωμένης παραγωγής και της δυνατότητας παροχής ενεργειακών πόρων και από τους τελικούς καταναλωτές προς το δίκτυο, το ενεργειακό κόστος μειώνεται περαιτέρω, προωθείται ο υγιής ανταγωνισμός και δίνονται κίνητρα και σε μικρότερα οικοσυστήματα να υιοθετήσουν πρακτικές και υποδομές έξυπνων δικτύων.

Δομή και Τεχνικές Προδιαγραφές των SG

Τα έξυπνα δίκτυα είναι ένας συνδυασμός διαφορετικών τεχνολογιών και στοιχείων που λειτουργούν από κοινού για τη διαχείριση της ενέργειας στο δίκτυο. Αυτά τα στοιχεία μπορούν να χωριστούν σε δύο βασικές κατηγορίες: την υποδομή δικτύου και τις τεχνολογίες λογισμικού. Η υποδομή του δικτύου μπορεί να αναλυθεί σε 3 επιμέρους συστήματα: τις έξυπνες υποδομές, τα έξυπνα συστήματα διαχείρισης και τα έξυπνα συστήματα προστασίας.

- Έξυπνο σύστημα υποδομής: Το σύστημα έξυπνης υποδομής είναι η υποδομή ενέργειας, πληροφοριών και επικοινωνιών που βρίσκεται στη βάση του SG που υποστηρίζει:
 - προηγμένη παραγωγή, παράδοση και κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας
 - προηγμένη μέτρηση, παρακολούθηση και διαχείριση πληροφοριών, και
 - προηγμένες τεχνολογίες επικοινωνίας.
- Έξυπνο σύστημα διαχείρισης: Το σύστημα έξυπνης διαχείρισης είναι το υποσύστημα στο SG που παρέχει προηγμένες υπηρεσίες διαχείρισης και ελέγχου.
- Έξυπνο σύστημα προστασίας: Το σύστημα έξυπνης προστασίας είναι το υποσύστημα στο SG που παρέχει προηγμένη ανάλυση αξιοπιστίας δικτύου, προστασία αστοχιών και υπηρεσίες ασφάλειας και προστασίας της ιδιωτικής ζωής.

Το πρώτο κομμάτι του συστήματος υποδομής αφορά στη παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας στα έξυπνα δίκτυα στηρίζεται σε μεγάλο βαθμό στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Δεδομένου ότι τα ορυκτά καύσιμα εξαντλούνται και η αυξημένη ζήτηση σε συνδυασμό με τη περιορισμένη προσφορά προκαλούν σημαντική αύξηση του κόστους, οι παραδοσιακές μέθοδοι παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα αντικατασταθούν από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας. Βασικό χαρακτηριστικό των έξυπνων δικτύων είναι και η διανεμημένη παραγωγή. Εκμεταλλεύονται δηλαδή γεννήτριες μικρής κλίμακας όπως ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά συστήματα για να βελτιώσουν την απόδοση και την αξιοπιστία του συστήματος. Ακόμη σημαντική είναι και η έννοια του μικροδικτύου (microgrid), το οποίο είναι μια τοπική ομαδοποίηση γεννητριών και φορτίων ηλεκτρικής ενέργειας, που μπορεί να αποσυνδεθεί από το μακροδίκτυο έτσι ώστε οι καταναεμημένες γεννήτριες να συνεχίσουν να τροφοδοτούν τους χρήστες σε αυτό το μικροδίκτυο χωρίς να λαμβάνουν ισχύ από έξω. Για την εξέλιξη του παρόντος δικτύου, διακρίνουμε 3 στάδια: αρχική ενσωμάτωση διανεμημένης παραγωγής στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, εισαγωγή ενός αποκεντρωμένου συστήματος διανεμημένης παραγωγής το οποίο θα λειτουργεί από κοινού με το κεντρικό σύστημα παραγωγής ενέργειας και τέλος η παροχή σημαντικού ποσοστού ενέργειας από το δίκτυο διανεμημένης παραγωγής και η χρήση του κεντρικού δικτύου για τη κάλυψη των πρόσθετων αναγκών.

Το δεύτερο κομμάτι του συστήματος υποδομής αφορά στη μεταφορά και διανομή της ενέργειας. Αυτό παραδοσιακά αποτελείται από κέντρα ελέγχου, υποσταθμούς και δίκτυα μεταφοράς. Πλέον, η ενσωμάτωση της τεχνολογίας παρέχει δυνατότητες ανάλυσης παρακολούθησης και οπτικοποίησης των δεδομένων που συλλέγονται από το δίκτυο. Βασικά χαρακτηριστικά των έξυπνων δικτύων αποτελούν ο αυτοματισμός λειτουργίας των υποσταθμών, η ψηφιοποίηση και αυτονομία λειτουργιών και η άμεση και σωστή απόκριση του συστήματος στις ενεργειακές ανάγκες που προκύπτουν.

Η μετατροπή ενός κοινού δικτύου σε έξυπνο προϋποθέτει αλλαγές τόσο στη μεριά των συσκευών και του φυσικού δικτύου, όσο και στις τεχνολογίες λογισμικού που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και τη παρακολούθηση όλων των διεργασιών του δικτύου.

Σχετικά με το φυσικό δίκτυο, προκειμένου να μετατραπεί ένα δίκτυο σε «έξυπνο» είναι απαραίτητη η εγκατάσταση έξυπνων συσκευών και συστημάτων αυτομάτου ελέγχου με στόχο τον αυτοματισμό της απορρόφησης ενέργειας από το δίκτυο. Οι έξυπνες μετρητικές συσκευές, αντικαθιστώντας τους παραδοσιακούς μετρητές, μπορούν να μετρούν τη κατανάλωση ενέργειας σε πραγματικό χρόνο και να παρέχουν χρήσιμα δεδομένα για την ανάλυση του τρόπου κατανάλωσης ενέργειας από τους τελικούς καταναλωτές. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να γνωρίζουν οι πάροχοι τα ζητούμενα ποσά ενέργειας ανάλογα με την ώρα της ημέρας ή την εποχή του χρόνου και να είναι σε θέση να τα παρέχουν στο δίκτυο. Τα έξυπνα συστήματα φωτισμού μπορούν να προσαρμόζουν τον φωτισμό ανάλογα με τη παρουσία και τη δραστηριότητα ανθρώπων σε ένα χώρο, ή να τον καθορίζουν μέσω χρονοπρογραμματισμού, καθιστώντας τον πιο αποδοτικό και εξοικονομώντας σημαντικά ποσά ενέργειας. Αντίστοιχα, οι έξυπνοι θερμοστάτες μπορούν να ρυθμίζουν τη θερμοκρασία σε ένα χώρο, αξιοποιώντας δεδομένα από προβλεπόμενες καιρικές συνθήκες. Ακόμη, τα ηλεκτρικά οχήματα μπορούν να λειτουργήσουν ως μπαταρίες αποθήκευσης ενέργειας και να συμβάλουν στη διαχείριση της ζήτησης σε περιόδους αιχμής. Επίσης, σημαντικό ρόλο στην αρχιτεκτονική ενός έξυπνου δικτύου έχει ο δικτυακός εξοπλισμός. Αυτός περιλαμβάνει στοιχεία όπως δρομολογητές, μεταγωγείς και μετατροπείς που είναι υπεύθυνοι για τη μεταφορά δεδομένων από τους αισθητήρες και τους μετρητές στους διακομιστές και τους υπολογιστές επεξεργασίας. Εκεί θα ακολουθήσει η επεξεργασία των δεδομένων και θα προκύψουν χρήσιμα συμπεράσματα που θα συμβάλλουν στην αποδοτικότερη διαχείριση της ενέργειας του δικτύου.

Εξίσου σημαντικές είναι και οι τεχνολογίες λογισμικού στην υλοποίηση ενός έξυπνου δικτύου. Πρόκειται για εφαρμογές που σχετίζονται άμεσα με το φυσικό μέρος του δικτύου. Το λογισμικό μπορεί να κατανεμηθεί και αυτό σε 3 βασικούς άξονες, ανάλογα με το σύστημα το οποίο αφορά. Αρχικά, σχετικά με το σύστημα υποδομών, υπάρχει η ανάγκη ενός λογισμικού που θα επιτρέπει στους παρόχους ηλεκτρικής ενέργειας να διαχειρίζονται το

δίκτυο απομακρυσμένα, να παρακολουθούν και να ελέγχουν τη κατάσταση του δικτύου, να διαχειρίζονται το φορτίο και τη κατανάλωση ενέργειας, διοχετεύοντάς την κατάλληλα, καθώς και να εντοπίζουν και να επιλύουν προβλήματα. Ακόμη, είναι απαραίτητο ένα λογισμικό το οποίο θα χρησιμοποιείται για τη βελτιστοποίηση της ροής ενέργειας στο δίκτυο, υλοποιώντας παράλληλα αναλύσεις και οπτικοποιώντας τα δεδομένα που συλλέγει από τους έξυπνους μετρητές. Ιδανικά θα πρέπει να υπάρξει ένα σύστημα δυναμικής τιμολόγησης από τη πλευρά των παρόχων, το οποίο θα υπολογίζει τη συνεισφορά των τελικών καταναλωτών στο δίκτυο και θα τους κοστολογεί ανάλογα, συνυπολογίζοντας αφενός τη προσφορά ενέργειας από τους ίδιους προς το δίκτυο και αφετέρου εάν και κατά πόσο η χρήση της ενέργειας έγινε με τρόπο που δεν επιβαρύνει το δίκτυο (π.χ. χρήση ενέργειας εκτός των ωρών αιχμής). Σχετικά με το έξυπνο σύστημα προστασίας, υπάρχει η ανάγκη ενός ασφαλούς λογισμικού, απροσπέλαστου από τρίτους, το οποίο θα συλλέγει και θα αποθηκεύει με ασφαλή τρόπο τα δεδομένα των καταναλωτών, ώστε να μη τίθεται θέμα παραβίασης προσωπικών δεδομένων. Τέλος, ιδιαίτερης σημασίας είναι ένα πληροφοριακό σύστημα που θα δίνει αξία στους τελικούς καταναλωτές και θα τους επιτρέπει να παρακολουθούν και να ελέγχουν τη κατανάλωσή τους, δίνοντάς τους χρήσιμες πληροφορίες και συμβουλές ώστε να τη βελτιστοποιήσουν και να συνεισφέρουν στο δίκτυο το μέγιστο, μειώνοντας παράλληλα και τα δικά τους κόστη. Το λογισμικό αυτό θα πρέπει να έχει δυνατότητες απομακρυσμένου ελέγχου, χρονοπρογραμματισμού χρήσης των συσκευών καθώς και αναλυτική παρουσίαση των δεδομένων που συλλέγονται από τους διάφορους

έξυπνους μετρητές και τις συσκευές του τελικού καταναλωτή. Τέλος, αξίζει να αναφερθεί πως όλες οι παραπάνω τεχνολογίες λογισμικού θα πρέπει να συμβαδίζουν με τις τρέχουσες εξελίξεις, επομένως είναι σημαντικό το λογισμικό να υλοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να προσαρμόζεται κατάλληλα κάθε φορά.



Εικόνα 4: Δομή έξυπνου δικτύου

Τεχνητή Νοημοσύνη στα SG

Η τεχνητή νοημοσύνη (Artificial Intelligence) μπορεί να χρησιμοποιηθεί εκτενώς στα έξυπνα δίκτυα. Οι εφαρμογές αυτές περιλαμβάνουν την παρακολούθηση, τον έλεγχο, την ανάλυση δεδομένων, την πρόβλεψη και την αυτόματη διαχείριση του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα, η χρήση αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης στην ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται από τα μετρητικά συστήματα και τους αισθητήρες που υπάρχουν στο δίκτυο θα κάνει τα αποτελέσματα ταχύτερα και πιο αξιόπιστα. Η μηχανική μάθηση θα επιτρέψει στο σύστημα να γίνεται ολοένα και πιο αξιόπιστο, καθώς αυτό θα μαθαίνει και θα προσαρμόζεται στα δεδομένα που του δίνονται. Παράλληλα, η ευρεία χρήση τέτοιων αλγορίθμων θα παρέχει στο σύστημα ολοένα και περισσότερα δεδομένα, παρέχοντας του τη δυνατότητα να καλύψει ένα πολύ ευρύ φάσμα πληροφοριών. Βασική αρχή της μηχανικής μάθησης είναι πως, προοδευτικά με το χρόνο και με την ποσότητα των δεδομένων που συλλέγει, βελτιώνεται και παράγει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Ακόμη, στα πλαίσια του αυτοματισμού λειτουργίας του δικτύου, είναι απαραίτητοι οι αλγόριθμοι πρόβλεψης ζήτησης και προσφοράς ενεργειακών πόρων. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί με ακριβή τρόπο να προβλέψει τις ανάγκες του δικτύου και επομένως να μην υπάρξουν ελλείψεις. Παράλληλα, τα έξυπνα δίκτυα βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας για τη λειτουργία τους. Επομένως κρίνεται απαραίτητη η πρόβλεψη καιρικών συνθηκών, όπως ο άνεμος στα αιολικά πάρκα ή η ηλιοφάνεια στα φωτοβολταϊκά συστήματα, προκειμένου να υπάρχει η δυνατότητα εξαρχής να υπολογίζεται η ενέργεια που θα διοχετευτεί στο δίκτυο, και επομένως να προβλεφθούν και οι ανάγκες που θα προκύψουν επιπλέον.

Προκλήσεις και προβλήματα

Όσο θεμιτή είναι η υλοποίηση έξυπνων δικτύων για τη διαχείριση ηλεκτρικής ενέργειας, τόσα προβλήματα κρύβει τα οποία δεν έχουν αντιμετωπισθεί ακόμα. Πρόκειται για μια καινούργια πρακτική που δεν έχει ελεγχθεί σε μεγάλης κλίμακας δίκτυα, και επομένως δεν έχουν γίνει εμφανή τα προβλήματα που μπορεί να προκαλέσει.

Βασικότερο πρόβλημα των SG είναι οι ενστάσεις που προκύπτουν σχετικά με τη διαχείριση των ευαίσθητων προσωπικών δεδομένων. Οι διάφοροι μετρητές, οι τεχνολογίες λογισμικού και οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης και μηχανικής μάθησης, προκειμένου να λειτουργήσουν με ακρίβεια απαιτούν έναν μεγάλο όγκο δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά αφορούν στη διαχείριση της ενέργειας από πλευράς καταναλωτή και επομένως περιλαμβάνουν στοιχεία σχετικά με το είδος των συσκευών, τη διάρκεια αλλά και τις χρονικές στιγμές της ημέρας ή τις περιόδους του μήνα/έτους που γίνεται χρήση αυτών. Προκύπτει επομένως το πρόβλημα της ασφαλούς αποθήκευσης των δεδομένων αυτών, αλλά και της προσβασιμότητας και διαχείρισής τους. Καθώς πρόκειται για καινούργιες τεχνολογίες, δεν υπάρχει ακόμα το κατάλληλο θεσμικό πλαίσιο λειτουργίας τους και επομένως υπάρχουν ενστάσεις σχετικά με την εφαρμογή τους σε δίκτυα μεγάλης κλίμακας.

Παράλληλα, υπάρχει η ανάγκη αντιμετώπισης της εφαρμογής του δικτύου σε μεγάλη κλίμακα. Καθώς οι τεχνολογίες που αναφέρθηκαν απαιτούν μεγάλο όγκο πληροφοριών για να λειτουργήσουν με ακρίβεια, είναι απαραίτητη η χρήση πολλών αισθητήρων και μετρητών σε όλη την έκταση του δικτύου. Το γεγονός αυτό αποτελεί μια σημαντική πρόκληση καθώς η εγκατάσταση έξυπνων συσκευών σε ένα μεγάλο πλήθος τελικών χρηστών απαιτεί χρόνο και σημαντικά κόστη. Παράλληλα η συντήρηση των συσκευών αυτών θα πρέπει να γίνεται τακτικά και συντονισμένα. Ο εκσυγχρονισμός των υποδομών του δικτύου και η εγκατάσταση τέτοιων συσκευών γενικότερα αποτελεί ένα σύνθετο, πολυπαραγοντικό πρόβλημα με πολλές παραμέτρους.

Τέλος, οι τεχνολογικές εξελίξεις στη σημερινή εποχή είναι ραγδαίες και συνεχείς. Οι συσκευές που χρησιμοποιούνται θα πρέπει να συμβαδίζουν με τις τεχνολογίες αιχμής, ώστε να εξασφαλίζεται η πλήρης συμβατότητα μεταξύ λογισμικού και υλισμικού. Έτσι θα εξασφαλιστεί η σωστή και ακριβής λειτουργία του δικτύου.

Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι τα έξυπνα δίκτυα υπερτερούν των σημερινών παραδοσιακών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορα σημεία. Πρόκειται για πιο αξιόπιστα, ασφαλή δίκτυα, με μεγαλύτερη ενεργειακή απόδοση και περισσότερες δυνατότητες ελέγχου και διαχείρισης. Έχουν σημαντικά πλεονεκτήματα τόσο σε επίπεδο διαχείρισης, όσο και σε ατομικό. Δίνουν αξία στον τελικό καταναλωτή και του δίνουν τη δυνατότητα να προσφέρει και ο ίδιος στο δίκτυο, συμβάλλοντας στη πράσινη μετάβαση και τον περιορισμό του ενεργειακού αποτυπώματος, μειώνοντας παράλληλα και τα δικά του προσωπικά κόστη σε ενέργεια. Τα σημαντικά τους πλεονεκτήματα έναντι των παραδοσιακών δικτύων έχουν οδηγήσει στην υιοθέτηση πρακτικών υλοποίησής τους σε διάφορες χώρες στον κόσμο, και αποτελούν προτεραιότητα στη προσπάθεια υλοποίησης βιώσιμων, αξιόπιστων δικτύων παραγωγής, μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Πρόκειται για πολύπλοκα δίκτυα με ιδιαίτερα σύνθετη δομή, τα οποία απαιτούν διασύνδεση διάφορων συσκευών και τεχνολογιών λογισμικού προκειμένου να συστήσουν ένα πλήρως λειτουργικό σύστημα που θα μπορέσει να ανταποκριθεί στις ανάγκες της εποχής.

Σημαντικός είναι και ο ρόλος της τεχνητής νοημοσύνης στα έξυπνα δίκτυα, καθώς αυτή μπορεί να συμβάλλει σημαντικά στην αυτοματοποίηση διαδικασιών, τη πρόβλεψη διαφόρων παραγόντων και την δυνατότητα των δικτύων να επισκευάζουν βλάβες χωρίς την παρέμβαση του ανθρώπου.

Παράλληλα, οι ραγδαίες τεχνολογικές εξελίξεις σε συνδυασμό με τους κανονισμούς περί προστασίας προσωπικών δεδομένων, τη μη-παραβίαση της ιδιωτικότητας και τα υψηλά κόστη αποτελούν μία πρόκληση στη διαδικασία υλοποίησης των έξυπνων δικτύων. Πρόκειται για προβλήματα που χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης προκειμένου να μην αποτελέσουν τροχοπέδη στην υλοποίηση και λειτουργία των έξυπνων δικτύων.

Βιβλιογραφία

1. Ahmad, Sadiq, et al. "A Compendium of Performance Metrics, Pricing Schemes, Optimization Objectives, and Solution Methodologies of Demand Side Management for the Smart Grid." MDPI, 17 Oct. 2018, www.mdpi.com/1996-1073/11/10/2801.
2. Fang, Xi. The New and Improved Power Grid: A Survey, ieeexplore.ieee.org/document/6099519. Accessed 16 May 2023.
3. Iea. "National Recovery and Sustainability Plan / Green Transition / Power up – Policies." IEA, www.iea.org/policies/12875-national-recovery-and-sustainability-plan-green-transition-power-up?s=1. Accessed 17 May 2023.
4. Iea. "Smart Grids – Analysis." IEA, www.iea.org/reports/smart-grids. Accessed 17 May 2023.
5. The Role of Communication Systems in Smart Grids: Architectures, technical solutions and research challenges, www.researchgate.net/publication/259096806_The_role_of_communication_systems_in_smart_grids_Architectures_technical_solutions_and_research_challenges. Accessed 17 May 2023.
6. Algorithms for Optimal Energy Management in the Smart Grid, etd.auburn.edu/bitstream/handle/10415/4674/YuWangPhdDisserAUETD.pdf. Accessed 17 May 2023.
7. L. Zhang, J. Hao, G. Zhao, M. Wen, T. Hai and K. Cao, "Research and Application of AI Services Based on 5G MEC in Smart Grid," 2020 IEEE Computing, Communications and IoT Applications (ComComAp), Beijing, China, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/ComComAp51192.2020.9398885.
8. Author links open overlay panelJoey Li a, et al. "Methods and Applications for Artificial Intelligence, Big Data, Internet of Things, and Blockchain in Smart Energy Management." Energy and AI, 4 Oct. 2022, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666546822000544.
9. Author links open overlay panelRohit Trivedi, and AbstractMicrogrids are gaining popularity by facilitating distributed energy resources (DERs) and forming essential consumer/prosumer centric integrated energy systems. Integration. "Implementation of Artificial Intelligence Techniques in Microgrid Control Environment: Current Progress and Future Scopes." Energy and AI, 2 Mar. 2022, www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266654682200009X.