

# Εφαρμογές Τεχνητής Νοημοσύνης στα Smart Grids

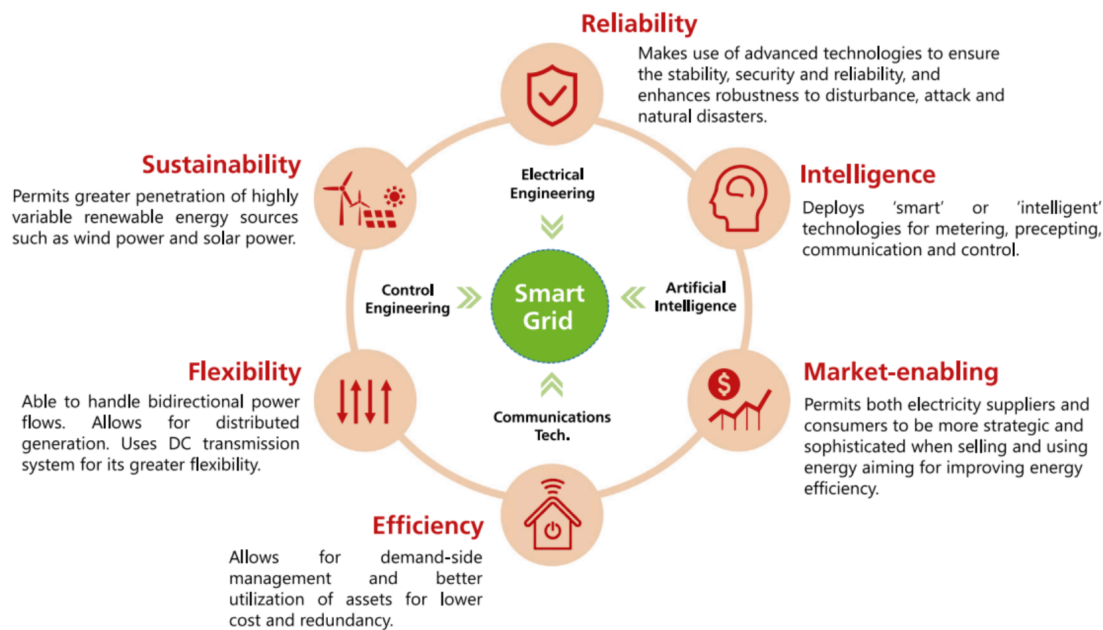
Διανεμημένη Παραγωγή  
Θωμάς Κυριάκος Πραβινός - 9937

## 1. Εισαγωγή

Από τον 19ο αιώνα, ο ηλεκτρισμός αποτελεί μια από τις σημαντικότερες και πιο συχνά χρησιμοποιούμενες πηγές ενέργειας. Επιπλέον, το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας -το οποίο μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τις γεννήτριες στις συσκευές των καταναλωτών- αναγνωρίστηκε ως το αποκορύφωμα των επιτευγμάτων της μηχανικής τον 20ό αιώνα και έπαιξε καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη της σύγχρονης κοινωνίας. Παρόλα αυτά, όμως, το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας εξελίσσεται συνεχώς. Τα τελευταία χρόνια έχει αυξηθεί η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας λόγω των ανησυχιών για την εξάντληση των ορυκτών καυσίμων, την κλιματική αλλαγή και την υπερθέρμανση του πλανήτη, αλλά και της σταδιακής μείωσης του κόστους. Ωστόσο, επειδή η ανανεώσιμη ενέργεια δεν είναι "κατανεμητέα" (η ισχύς εξόδου της δεν μπορεί να ελεγχθεί), η απρόβλεπτη και ακανόνιστη φύση της έχει δημιουργήσει σημαντικά προβλήματα στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας.

Για το λόγο αυτό, δημιουργήθηκαν τα Smart Grids. Πρόκειται για μια πρωτοποριακή υποδομή ηλεκτρικής ενέργειας που επιτρέπει τη σημαντική ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και λειτουργεί πιο αποτελεσματικά, αποδοτικά, οικονομικά και βιώσιμα. Το Smart Grid ορίζεται ως ένα σταθερό, ασφαλές, αξιόπιστο, ανθεκτικό, βιώσιμο και αποδοτικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιεί πληροφορίες, αμφίδρομες, ασφαλείς τεχνολογίες επικοινωνίας στον κυβερνοχώρο και υπολογιστική νοημοσύνη με ενσωματωμένο τρόπο στην παραγωγή, τη μεταφορά, τους υποσταθμούς, τη διανομή και την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Το έξυπνο δίκτυο επιτρέπει υψηλή διείσδυση στοχαστικής και διαλείπουσας ανανεώσιμης ενέργειας για μειωμένη ρύπανση, μεταξύ άλλων πλεονεκτημάτων.

Οι αμφίδρομες ροές ενέργειας είναι δυνατές στα smart grids, καθώς οι άνθρωποι μπορούν όχι μόνο να καταναλώνουν αλλά και να πωλούν ενέργεια. Επιπλέον, τα smart grids μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την τροφοδοσία μικροδικτύων, ηλεκτρικών οχημάτων και εξοπλισμού αποθήκευσης ενέργειας. Συνοπτικά, τα κύρια χαρακτηριστικά των smart grids είναι η αξιοπιστία, η ευελιξία, η βιωσιμότητα, η αποτελεσματικότητα και η "νοημοσύνη". Ένα άλλο κρίσιμο χαρακτηριστικό τους για την αποτελεσματική κατανάλωση ενέργειας και την αύξηση της οικονομικής ευημερίας, είναι η ενεργοποίηση της αγοράς.



Major features of smart grids.

Ωστόσο, τα νέα χαρακτηριστικά έχουν αλλάξει και έχουν αυξήσει σημαντικά την πολυπλοκότητα των χαρακτηριστικών ευστάθειας του έξυπνου δικτύου σε σύγκριση με εκείνα των παραδοσιακών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας. Υπό αυτές τις συνθήκες, οι παραδοσιακές τεχνικές ανάλυσης και ελέγχου ευστάθειας έχασαν την αποτελεσματικότητά τους. Ως εναλλακτική λύση, η τεχνητή νοημοσύνη (AI), με τις πρόσφατες προόδους της, έχει την ικανότητα να προσαρμόζεται σε αυτές τις αλλαγές και προσφέρει πολλά υποσχόμενα εργαλεία για την επίτευξη των υψηλών απαιτήσεων ασφάλειας και ευστάθειας του έξυπνου δικτύου.

Οι κύριες τεχνικές τεχνητής νοημοσύνης που έχουν εφαρμογές στην λειτουργία των smart grids είναι η Μηχανική Μάθηση (Machine Learning), η οποία πρόκειται για ένα είδος τεχνητής νοημοσύνης που επιτρέπει στους υπολογιστές να μαθαίνουν από δεδομένα χωρίς να προγραμματίζονται ρητά. Η μηχανική μάθηση χρησιμοποιείται στα έξυπνα δίκτυα για εργασίες όπως η πρόβλεψη φορτίου, η απόκριση στη ζήτηση και η ανίχνευση και διάγνωση βλαβών. Επίσης, τα Νευρωνικά δίκτυα (Neural Networks) είναι ένας τύπος αλγορίθμου μηχανικής μάθησης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση σύνθετων δεδομένων και την πραγματοποίηση προβλέψεων με βάση αυτά τα δεδομένα. Η Βαθιά Μάθηση (Deep Learning) είναι μια ισχυρή τεχνική τεχνητής νοημοσύνης που χρησιμοποιείται στα έξυπνα δίκτυα για εφαρμογές που απαιτούν σύνθετη ανάλυση δεδομένων, όπως η αναγνώριση εικόνων, η επεξεργασία φυσικής γλώσσας και το predictive maintenance. Εφαρμογές στα προαναφερόμενα έχει και η Ενισχυτική Μάθηση (Reinforcement Learning)

Γενικά, οι βασικοί τομείς που η τεχνητή νοημοσύνη έχει τις περισσότερες εφαρμογές είναι η απόκριση ζήτησης (Demand Response), η ανίχνευση και διάγνωση σφαλμάτων (Fault Detection and Diagnosis) και η διαχείριση και βελτιστοποίηση ενέργειας (Energy Management and Optimization). Γίνεται, λοιπόν, αντιληπτό ότι η τεχνητή νοημοσύνη είναι ένα εργαλείο που μπορεί να μεταμορφώσει τον τρόπο με τον οποίο διαχειριζόμαστε και λειτουργούμε τα έξυπνα δίκτυα. Παρακάτω θα γίνει διεξοδική ανάλυση των εφαρμογών που προαναφέρθηκαν.

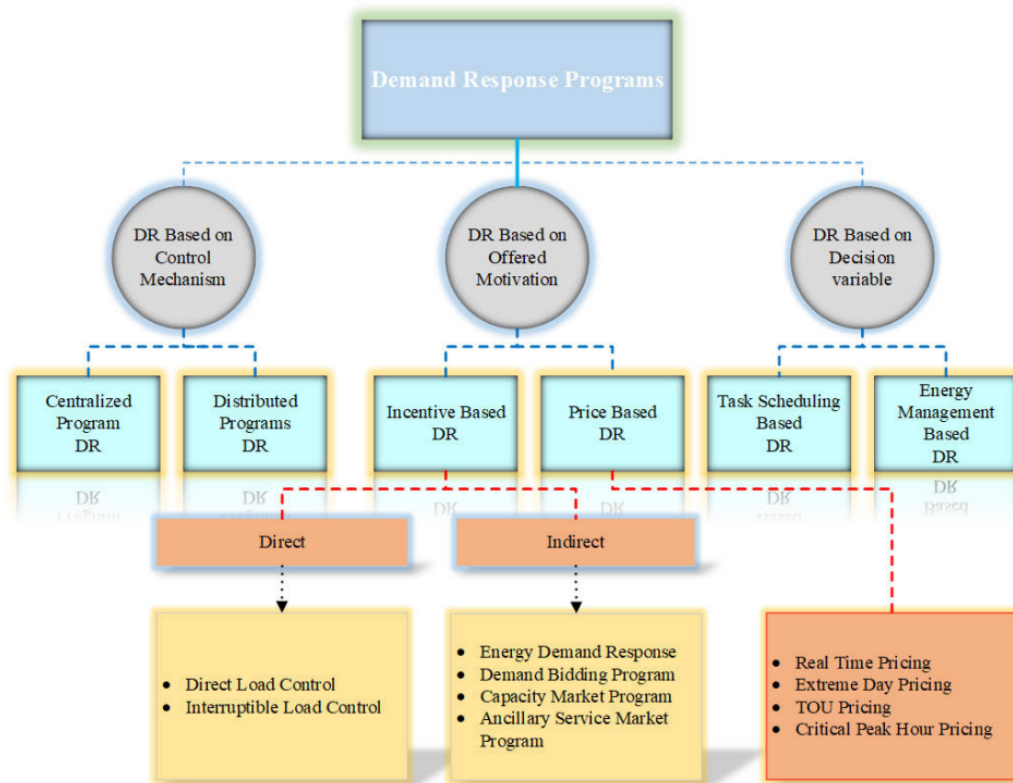
## **2. AI-Based Demand Response**

### **2.1 Απόκριση Ζήτησης**

Η απόκριση ζήτησης είναι μια έννοια των smart grids που δίνει κίνητρα στους πελάτες να μειώσουν την κατανάλωσή τους κατά τις ώρες αιχμής. Αποτελεί κρίσιμο μέσο για τη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης ενέργειας στο δίκτυο, ιδίως κατά τις περιόδους υψηλής ζήτησης, όταν το ενεργειακό σύστημα βρίσκεται υπό πίεση.

Η βασική ιδέα που διέπει την απόκριση ζήτησης είναι να δοθούν κίνητρα στους πελάτες να μειώσουν την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής της ζήτησης, παρέχοντας οικονομικά κίνητρα ή άλλα οφέλη. Οι πελάτες που μειώνουν την κατανάλωσή τους κατά τη διάρκεια αυτών των περιόδων συμβάλλουν στην εξισορρόπηση του φορτίου στο δίκτυο, αποτρέποντας τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας από το να πρέπει να θέσουν σε λειτουργία επιπλέον σταθμούς παραγωγής ενέργειας ή να εισάγουν ηλεκτρική ενέργεια από άλλες περιοχές. Ως αποτέλεσμα, μειώνεται το συνολικό κόστος παραγωγής και διανομής ενέργειας, καθώς και η πιθανότητα διακοπών ρεύματος ή βραχυκυκλωμάτων.

Στα έξυπνα δίκτυα, υπάρχουν δύο τύποι προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση: τα προγράμματα που βασίζονται σε κίνητρα (incentive-based) και η τιμολόγηση του χρόνου χρήσης (time-of-use pricing). Η τιμολόγηση κατά χρόνο χρήσης χρεώνει τους καταναλωτές με διάφορες τιμές ανάλογα με την ώρα της ημέρας, με υψηλότερες τιμές κατά τις ώρες αιχμής για να ενθαρρύνει την εξοικονόμηση, ενώ τα προγράμματα που βασίζονται σε κίνητρα προσφέρουν στους πελάτες οικονομικά κίνητρα για τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά τις ώρες αιχμής. Η απόκριση ζήτησης είναι ιδιαίτερα σημαντική στα έξυπνα δίκτυα, καθώς αυξάνει την ευελιξία και την αποδοτικότητα του ενεργειακού συστήματος.



Classification of DR resources, operation and structure.

## 2.2 Εφαρμογές AI στο Demand Response

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της ενεργειακής ζήτησης και τη διαχείριση της κατανάλωσης ενέργειας με διάφορους τρόπους. Αρχικά, οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης είναι ικανοί να αναλύουν στατιστικά στοιχεία κατανάλωσης ενέργειας του παρελθόντος, τάσεις του καιρού και άλλες σχετικές μεταβλητές για την πρόβλεψη φορτίων για διάφορες γεωγραφικές τοποθεσίες και χρονικά πλαίσια. Προκειμένου να μεγιστοποιήσουν τη χρήση των πόρων και να μειώσουν τη σπατάλη, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας είναι σε θέση να σχεδιάζουν εκ των προτέρων τα σχέδια παραγωγής και διανομής ενέργειας. Επίσης, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αυτοματοποίηση προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση, τα οποία δίνουν κίνητρα στους πελάτες να μειώσουν την κατανάλωση ενέργειας σε περιόδους υψηλής ζήτησης. Αναλύοντας δεδομένα από αισθητήρες, έξυπνους μετρητές και άλλες IoT συσκευές, η ΤΝ μπορεί να προβλέπει τη ζήτηση ενέργειας και να ενεργοποιεί προγράμματα απόκρισης στη ζήτηση όταν χρειάζεται, μειώνοντας το φορτίο στο δίκτυο και αποτρέποντας τις διακοπές ρεύματος ή τα βραχυκυκλώματα. Ακολουθεί ένα παράδειγμα για το πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί η Αυτοματοποιημένη απόκριση ζήτησης στην πράξη:

Σκεφτείτε μια μεγάλη εμπορική δομή ως μέρος ενός προγράμματος απόκρισης ζήτησης. Το κτίριο διαθέτει ένα προηγμένο σύστημα HVAC που περιλαμβάνει έξυπνους θερμοστάτες, αισθητήρες και άλλες συσκευές Internet of Things (IoT) που είναι συνδεδεμένες στο δίκτυο. Η ζήτηση ενέργειας προβλέπεται να είναι υψηλή κατά τη διάρκεια ενός καύσωνα, οπότε η εταιρεία κοινής ωφέλειας στέλνει ένα σήμα στο σύστημα HVAC του κτιρίου ζητώντας μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Το σύστημα HVAC αλλάζει αυτόματα τη θερμοκρασία στο κτίριο με βάση δεδομένα από αισθητήρες και έξυπνους μετρητές, απενεργοποιώντας τις μονάδες κλιματισμού σε μη κατειλημμένα τμήματα ή μειώνοντας την απόδοση των μονάδων σε περιοχές που είναι κατειλημμένες αλλά όχι σε πλήρη δυναμικότητα.

\*HVAC σημαίνει Heating, Ventilation, and Air Conditioning.

Η ατομική συμπεριφορά των πελατών, οι προτιμήσεις και άλλες σχετικές μεταβλητές χρησιμοποιούνται για την εξατομίκευση των κινήτρων απόκρισης στη ζήτηση με τη χρήση αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να αποφασίσει ποια κίνητρα είναι πιο πιθανό να πείσουν διαφορετικούς χρήστες να μειώσουν τη χρήση ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής, αξιολογώντας δεδομένα από αισθητήρες, έξυπνους μετρητές και άλλες πηγές, βελτιστοποιώντας έτσι την αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση.

Ομοίως, η TN μπορεί να αναλύσει δεδομένα από έξυπνες συσκευές ή άλλες συνδεδεμένες συσκευές στο σπίτι ενός πελάτη για να καθορίσει ποιες συσκευές καταναλώνουν την περισσότερη ενέργεια κατά τις περιόδους αιχμής. Ο αλγόριθμος μπορεί στη συνέχεια να προτείνει κίνητρα που ενθαρρύνουν τον πελάτη να χρησιμοποιεί λιγότερο αυτές τις συσκευές κατά τις περιόδους αιχμής, όπως εκπτώσεις για την αγορά ενεργειακά αποδοτικών συσκευών. Με την εξατομίκευση των κινήτρων με αυτόν τον τρόπο, οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας μπορούν να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα των προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση και να αυξήσουν τη δραστηριοποίηση των πελατών. Τα εξατομικευμένα κίνητρα μπορούν επίσης να βοηθήσουν τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να επιτύχουν συγκεκριμένους στόχους μείωσης της ενέργειας, όπως η μείωση της κατανάλωσης ενέργειας κατά τις περιόδους αιχμής ή η προώθηση της υιοθέτησης ενεργειακά αποδοτικών τεχνολογιών.

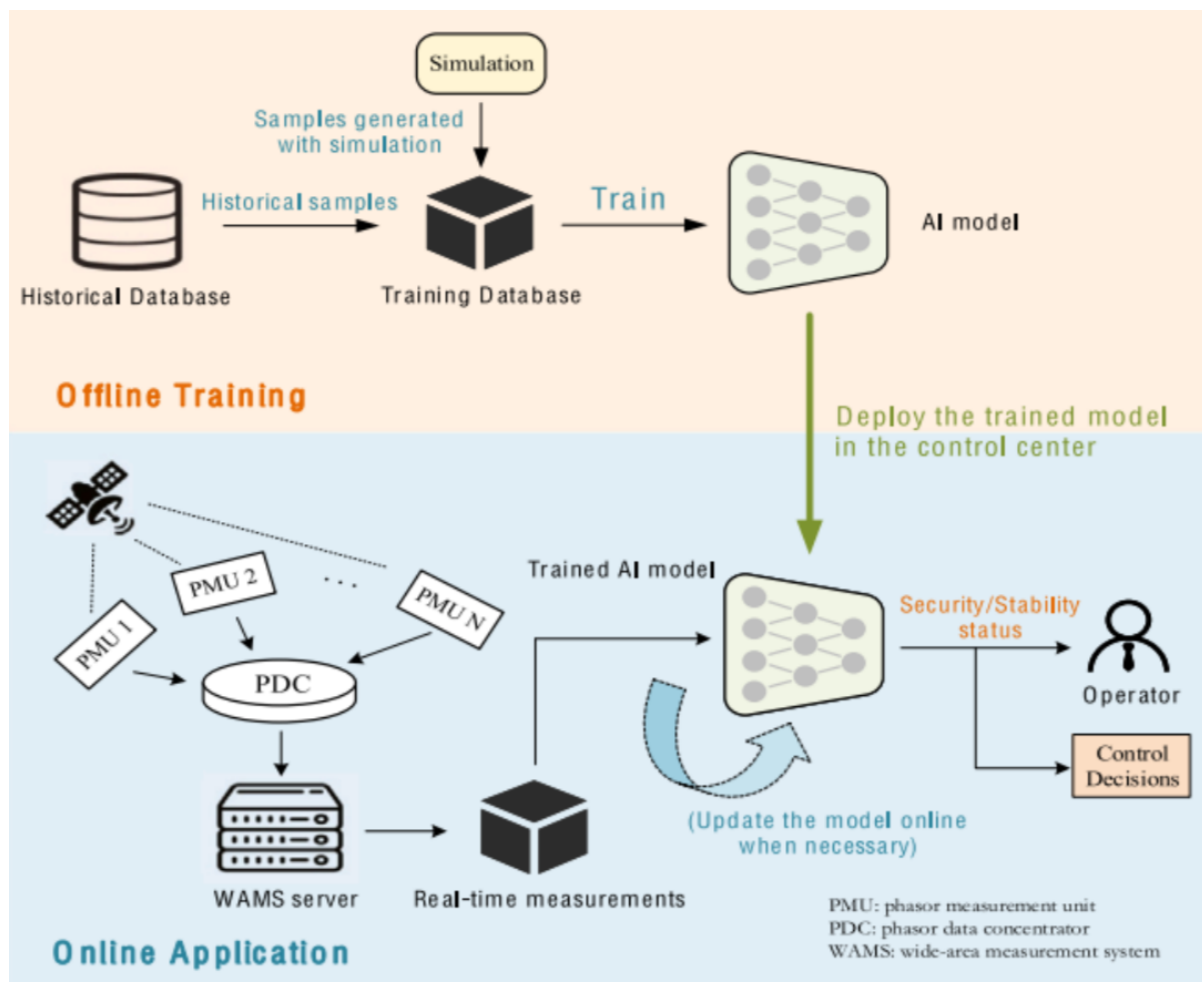
Τέλος, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνδεση προγραμμάτων απόκρισης στη ζήτηση με ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική. Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να εκτιμήσει την παραγωγή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και να ενεργοποιήσει προγράμματα απόκρισης ζήτησης όταν η παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας είναι χαμηλή, μειώνοντας την απαίτηση για παραγωγή ενέργειας με βάση τα ορυκτά καύσιμα κατά τις περιόδους αιχμής, αναλύοντας δεδομένα από αισθητήρες και άλλες πηγές. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση της διανομής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές με τη διαχείριση της ροής της ηλεκτρικής ενέργειας από διάφορες πηγές σε διάφορα τμήματα του δικτύου. Αυτό συμβάλλει στην αποδοτική και αποτελεσματική διανομή της ανανεώσιμης ενέργειας, ελαχιστοποιώντας τη σπατάλη και ενισχύοντας την αξιοπιστία του δικτύου. Επιπλέον, η ΤΝ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μεγιστοποίηση της χρήσης τεχνολογιών αποθήκευσης ενέργειας, όπως οι μπαταρίες και η αντλησιοταμίευση. Οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να καθορίσουν τους καλύτερους χρόνους φόρτισης και εκφόρτισης αυτών των συστημάτων αποθήκευσης αξιολογώντας δεδομένα σχετικά με τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας και την παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές. Αυτό συμβάλλει στην εξισορρόπηση της προσφοράς και της ζήτησης και στην αύξηση της αποδοτικότητας του δικτύου.

### **3. Ανίχνευση και Διάγνωση σφαλμάτων**

#### **3.1 Γενικές Εφαρμογές**

Αναλύοντας τεράστιες ποσότητες δεδομένων από αισθητήρες, έξυπνους μετρητές και άλλες πηγές σε πραγματικό χρόνο, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον εντοπισμό και τη διάγνωση των ελαττωμάτων στα έξυπνα δίκτυα. Η ΤΝ μπορεί να ανιχνεύσει μοτίβα στα δεδομένα που υποδηλώνουν την παρουσία σφαλμάτων ή παρατυπιών στο δίκτυο, χρησιμοποιώντας μεθόδους μηχανικής μάθησης. Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση των επιπέδων τάσης και ρεύματος του δικτύου και την ανίχνευση αποκλίσεων από τις τυπικές τιμές. Αυτές οι αποκλίσεις θα μπορούσαν να υποδεικνύουν κάποιο ελάττωμα, όπως βραχυκύκλωμα ή σπασμένο αγωγό. Η ΤΝ μπορεί επίσης να εντοπίσει το σημείο του προβλήματος αξιολογώντας δεδομένα από πολλούς αισθητήρες στο δίκτυο, επιτρέποντας στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να εντοπίσουν και να διορθώσουν γρήγορα το πρόβλημα.

Ομοίως, η TN μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση και τον εντοπισμό τυχόν παρατυπιών στη συμπεριφορά συγκεκριμένων στοιχείων του δικτύου, όπως μετασχηματιστές ή πυκνωτές. Δηλαδή μπορεί να ανιχνεύσει εάν ένα εξάρτημα λειτουργεί εκτός του τυπικού του εύρους, αξιολογώντας δεδομένα σχετικά με χαρακτηριστικά όπως η θερμοκρασία, οι δονήσεις και τα επίπεδα ρεύματος. Αυτό ειδοποιεί το προσωπικό συντήρησης για το πιθανό πρόβλημα. Επιπλέον, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάγνωση προβλημάτων συγκρίνοντας δεδομένα από προηγούμενα αρχεία συντήρησης με δεδομένα πραγματικού χρόνου από το δίκτυο. Η TN μπορεί να βοηθήσει τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να διαγνώσουν τα προβλήματα πιο γρήγορα και σωστά, εντοπίζοντας μοτίβα στα δεδομένα που συνδέονται με συγκεκριμένες βλάβες, μειώνοντας τον χρόνο διακοπής λειτουργίας και ενισχύοντας την αξιοπιστία του δικτύου.



## 3.2 Τεχνικές AI

Υπάρχουν διάφοροι τύποι τεχνικών ανίχνευσης και διάγνωσης σφαλμάτων με βάση την ΤΝ, ο καθένας με τα δικά του πλεονεκτήματα και αδυναμίες. Ορισμένες από τις πιο συνηθισμένες τεχνικές είναι τα συστήματα που βασίζονται σε κανόνες (Rule-based systems) και οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης.

Τα Rule-based systems είναι ένας τύπος συστήματος ειδικών που χρησιμοποιεί ένα σύνολο κανόνων "if-then" για τον εντοπισμό σφαλμάτων στο δίκτυο. Αυτοί οι κανόνες αναπτύσσονται συνήθως από ειδικούς στον τομέα και βασίζονται στις γνώσεις και την εμπειρία τους σχετικά με το σύστημα. Τα συστήματα που βασίζονται σε κανόνες μπορεί να είναι πολύ αποτελεσματικά στον εντοπισμό σφαλμάτων που ακολουθούν ένα καλά καθορισμένο μοτίβο ή σύνολο κανόνων, αλλά μπορεί να είναι λιγότερο αποτελεσματικά στον εντοπισμό πιο σύνθετων ή ασυνήθιστων σφαλμάτων.

Μια άλλη κοινή τεχνολογία για την ανίχνευση και διάγνωση ελαττωμάτων είναι οι τεχνικές μηχανικής μάθησης. Αυτοί οι αλγόριθμοι χρησιμοποιούν στατιστικές προσεγγίσεις για την εύρεση μοτίβων δεδομένων που συνδέονται με συγκεκριμένα ελαττώματα. Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, σε αντίθεση με τα συστήματα που βασίζονται σε κανόνες, μπορούν να μαθαίνουν από τα δεδομένα και να προσαρμόζονται σε νέα σενάρια, καθιστώντας τους πιο αποτελεσματικούς στην ανίχνευση περίπλοκων ή απροσδόκητων σφαλμάτων.

Τα νευρωνικά δίκτυα, που ανήκουν στην οικογένεια των machine learning αλγορίθμων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διάγνωση βλαβών στο έξυπνο δίκτυο αναλύοντας τα μοτίβα των δεδομένων που σχετίζονται με διαφορετικούς τύπους βλαβών. Για παράδειγμα, ένα νευρωνικό δίκτυο μπορεί να εκπαιδευτεί για να εντοπίζει τα μοναδικά μοτίβα δεδομένων που σχετίζονται με μια συγκεκριμένη βλάβη, όπως μια βλάβη σε έναν μετασχηματιστή ή έναν διακόπτη κυκλώματος. Αφού εκπαιδευτεί, το νευρωνικό δίκτυο μπορεί να αναλύσει δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και να προσδιορίσει τον τύπο σφάλματος που συμβαίνει, επιτρέποντας την άμεση επισκευή και τη μείωση του χρόνου διακοπής λειτουργίας.



Summary of AI's applications to fault diagnosis.

Paper	Year	Task	Method	Performance	Descriptions/Remarks
[128]	2019	Fault location in distribution networks	GCN	Fault diagnosis accuracy: 99.26%	<ul style="list-style-type: none"> <li>Preserved spatial information</li> </ul>
[129]	2017	Fault detection in distribution networks	CWT, CNN	Fault detection accuracy: 99%	<ul style="list-style-type: none"> <li>Data augmentation to improve the robustness to noise</li> <li>Voltage and current of three phases are needed.</li> <li>Avoided the problems of selecting reasonable features and classifiers</li> <li>Considered faults in resonant grounding distribution systems</li> <li>Only the single-phase-to-ground faults were considered.</li> <li>Improved the neural network structure</li> </ul>
[131]	2019	Fault diagnosis	SSAE, PCA, SVM	Fault diagnosis accuracy: 92.5%	<ul style="list-style-type: none"> <li>Solved the problems of local minimum, gradient diffusion and state space explosion</li> <li>PCA is not effective for feature compression to improve accuracy.</li> </ul>
[132]	2013	Fault location in multi-terminal lines	S-Transform	Location average error: 0.24 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>Considered the influences of fault inception angle, fault on tap points, fault on different line sections</li> </ul>
[133]	2019	Fault diagnosis for Energy Internet	SR-CNN	Fault diagnosis accuracy: 98.67%	<ul style="list-style-type: none"> <li>High sampling frequency is needed.</li> <li>Implemented fault diagnosis in Energy Internet</li> </ul>
[134]	2019	Fault location in HVDC	CNN, HHT	Fault location error: 0.2 km	<ul style="list-style-type: none"> <li>Accurate fault diagnosis eliminates the impact of distributed generations, direction of power flow and fault impedance.</li> <li>Accurate location of high-resistance grounding faults</li> </ul>
[135]	2019	Fault classification and location in AC transmission lines with MMC-HVDC	CNN	Fault location error: 1.044%; Fault Classification accuracy: 99.90%.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Does not require double-end time synchronization</li> <li>Considered fault diagnosis in MMC-HVDC</li> </ul>
[137]	2014	Fault diagnosis	MPD, HMM, kNN, k-means	Fault detection accuracy: 100%; Fault identification: 97.5%	<ul style="list-style-type: none"> <li>No dependence on prior knowledge and human efforts in feature design</li> <li>Effective feature extraction using MPD takes advantage of frequency and voltage signal.</li> <li>Fault contour map locates the fault and indicates fault impact levels.</li> </ul>

## 4. Διαχείριση και Βελτιστοποίηση ενέργειας

### 4.1 Γενικές Εφαρμογές

Η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτιστοποίηση της διαχείρισης της ενέργειας στα έξυπνα δίκτυα, αξιολογώντας τεράστιους όγκους δεδομένων, όπως πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας, μετεωρολογικά δεδομένα και τιμές ενέργειας, για την πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης και τη βελτιστοποίηση της παραγωγής, αποθήκευσης και διανομής ενέργειας.

Η προγνωστική μοντελοποίηση (predictive modeling) είναι μια μέθοδος που θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει η ΤΝ για να βελτιώσει τη διαχείριση της ενέργειας. Τα συστήματα τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να κατανοήσουν πώς ο καιρός, η ώρα της ημέρας και η ημέρα της εβδομάδας επηρεάζουν τη χρήση ενέργειας εξετάζοντας προηγούμενα δεδομένα. Τα δεδομένα αυτά μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της μελλοντικής ενεργειακής ζήτησης και τη βελτιστοποίηση της παραγωγής και της παροχής ενέργειας ώστε να ικανοποιηθεί η ανάγκη αυτή, μειώνοντας παράλληλα το κόστος και τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μεγιστοποίηση της αποθήκευσης ενέργειας, προβλέποντας πότε η ζήτηση ενέργειας θα είναι υψηλή και αποθηκεύοντας πλεονάζουσα ενέργεια σε περιόδους χαμηλής ζήτησης. Αυτή η αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την κάλυψη της ζήτησης σε περιόδους αιχμής, μειώνοντας την ανάγκη για επιπλέον παραγωγή ενέργειας και μειώνοντας τις ενεργειακές δαπάνες.

Γενικά, η τεχνητή νοημοσύνη μπορεί να συμβάλει στη βελτιστοποίηση της διαχείρισης της ενέργειας στα έξυπνα δίκτυα, προσφέροντας γνώσεις σχετικά με τα πρότυπα κατανάλωσης ενέργειας και την πρόβλεψη της μελλοντικής ζήτησης, επιτρέποντας τον αποτελεσματικότερο και οικονομικά αποδοτικότερο έλεγχο της παραγωγής, αποθήκευσης και διανομής ενέργειας.

## **4.2 Τεχνικές ΑΙ**

Η επιλογή της τεχνικής ΤΝ εξαρτάται από τη συγκεκριμένη εφαρμογή και τα χαρακτηριστικά των δεδομένων που αναλύονται. Σε γενικές γραμμές, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι για την πρόβλεψη της ζήτησης ενέργειας και τη βελτιστοποίηση της παραγωγής και της διανομής ενέργειας, ενώ οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων από συστήματα έξυπνων δικτύων για τον εντοπισμό μοτίβων και την πραγματοποίηση προβλέψεων σχετικά με τη χρήση ενέργειας.

Οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να εκπαιδευτούν σε ιστορικά δεδομένα από συστήματα έξυπνων δικτύων για να κάνουν προβλέψεις σχετικά με τη ζήτηση και την παραγωγή ενέργειας. Αυτοί οι αλγόριθμοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής και της διανομής ενέργειας, προβλέποντας τη ζήτηση ενέργειας και προσαρμόζοντας ανάλογα την παραγωγή ενέργειας. Για παράδειγμα, οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη της ενεργειακής ζήτησης ενός συγκεκριμένου κτιρίου με βάση τα ιστορικά πρότυπα χρήσης ενέργειας και την ώρα της ημέρας, και στη συνέχεια να προσαρμόσουν την ενεργειακή παραγωγή ώστε να διασφαλιστεί η κάλυψη των ενεργειακών αναγκών του κτιρίου.

Τα Support Vector Machines είναι ένας τύπος αλγορίθμου μηχανικής μάθησης που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση δεδομένων σε διάφορες κατηγορίες. Τα SVMs μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα έξυπνα δίκτυα για την ταξινόμηση διαφορετικών τύπων προτύπων χρήσης ενέργειας, όπως η ζήτηση αιχμής έναντι της χαμηλής ζήτησης, και για την πρόβλεψη μελλοντικών προτύπων χρήσης ενέργειας με βάση ιστορικά δεδομένα. Τα SVMs μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της παραγωγής και της διανομής ενέργειας με την πρόβλεψη της ενεργειακής ζήτησης και την ανάλογη προσαρμογή της ενεργειακής παραγωγής.

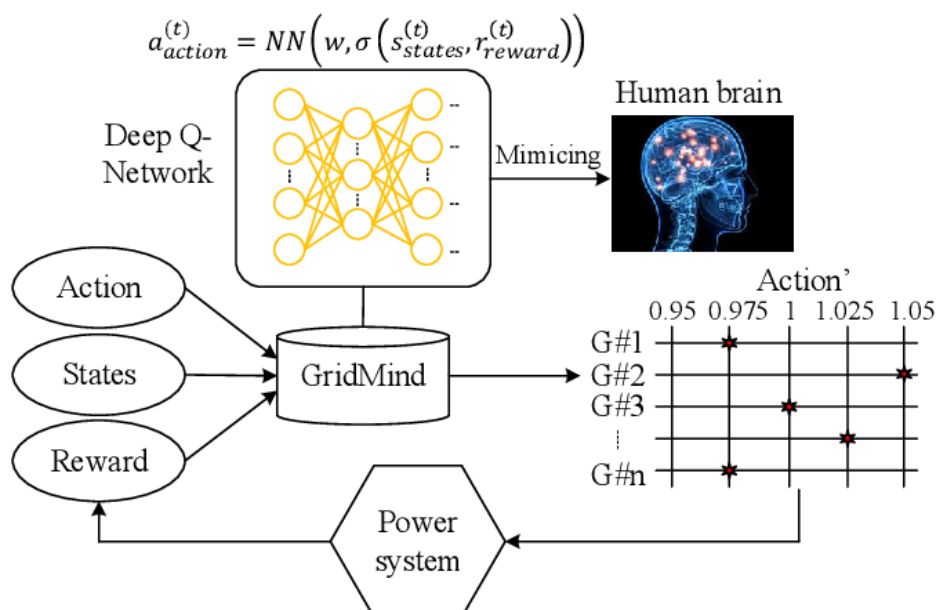
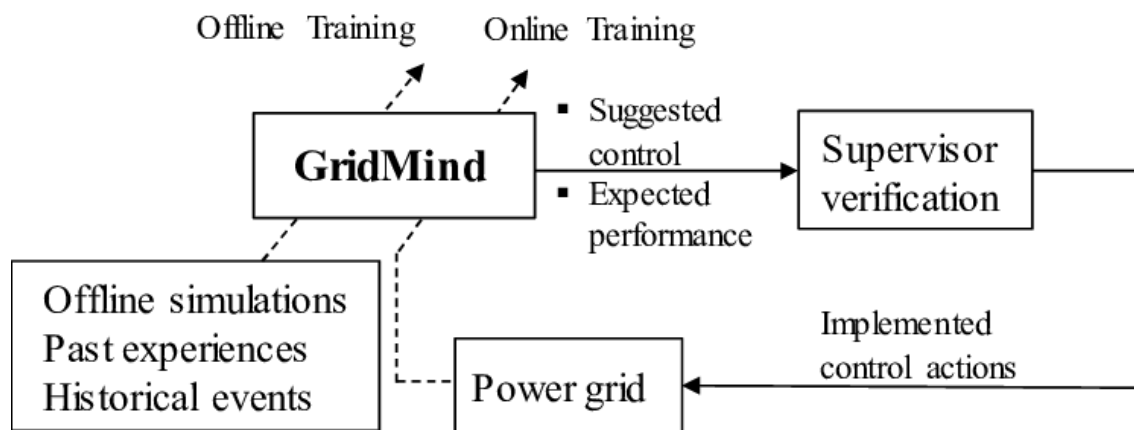
Οι αλγόριθμοι βαθιάς μάθησης (Deep Learning), οι οποίοι είναι ένας τύπος αλγορίθμου μηχανικής μάθησης που χρησιμοποιούν τεχνητά νευρωνικά δίκτυα για τη μοντελοποίηση σύνθετων μοτίβων δεδομένων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανάλυση μεγάλου όγκου δεδομένων από συστήματα παραγωγής και διανομής ενέργειας για τον εντοπισμό μοτίβων και την πραγματοποίηση προβλέψεων σχετικά με τη χρήση ενέργειας. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση σε πραγματικό χρόνο και την απόκριση στη ζήτηση για τη βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης και της αξιοπιστίας.

Τέλος, οι γενετικοί αλγόριθμοι είναι τεχνικές βελτιστοποίησης που βασίζονται στις αρχές της φυσικής επιλογής και της γενετικής παραλλαγής. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των συστημάτων έξυπνων δικτύων με την εύρεση των πιο αποδοτικών στρατηγικών παραγωγής και διανομής ενέργειας.

## 4.3 Παραδείγματα

Ακολουθούν ορισμένα παραδείγματα συστημάτων διαχείρισης και βελτιστοποίησης ενέργειας με βάση την ΤΝ και ο αντίκτυπός τους στην απόδοση του έξυπνου δικτύου:

Το GridMind είναι ένα σύστημα διαχείρισης ενέργειας με βάση την τεχνητή νοημοσύνη που χρησιμοποιεί αλγορίθμους μηχανικής μάθησης για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των ενεργειακών περιουσιακών στοιχείων σε πραγματικό χρόνο. Το GridMind έχει εφαρμοστεί σε διάφορα έξυπνα δίκτυα και έχει αποδειχθεί ότι μειώνει την κατανάλωση ενέργειας έως και 15%, μειώνει τη ζήτηση στην αιχμή έως και 20% και αυξάνει τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έως και 30%.



Το AI4Green είναι ένα σύστημα βασισμένο στη μηχανική μάθηση που βελτιστοποιεί τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας σε έξυπνα δίκτυα. Το AI4Green έχει αναπτυχθεί σε αρκετά έξυπνα δίκτυα και έχει αποδειχθεί ότι αυξάνει τη διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας έως και 50%, μειώνει τις εκπομπές CO<sub>2</sub> έως και 25% και μειώνει το ενεργειακό κόστος έως και 20%.

Το SmartDS είναι ένα σύστημα απόκρισης ζήτησης βασισμένο σε τεχνητή νοημοσύνη που χρησιμοποιεί αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για την πρόβλεψη της ζήτησης ενέργειας και τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας των ενεργειακών περιουσιακών στοιχείων σε πραγματικό χρόνο. Το SmartDS έχει εφαρμοστεί σε διάφορα έξυπνα δίκτυα και έχει αποδειχθεί ότι μειώνει τη ζήτηση αιχμής έως και 25%, μειώνει την κατανάλωση ενέργειας έως και 20% και αυξάνει την αξιοπιστία του δικτύου.

Τα παραδείγματα αυτά καταδεικνύουν τον σημαντικό αντίκτυπο που μπορούν να έχουν τα συστήματα διαχείρισης και βελτιστοποίησης ενέργειας που βασίζονται σε τεχνητή νοημοσύνη στην απόδοση των έξυπνων δικτύων. Αξιοποιώντας τη δύναμη της ΤΝ, τα έξυπνα δίκτυα μπορούν να γίνουν πιο αποδοτικά, αξιόπιστα και βιώσιμα, μειώνοντας παράλληλα το κόστος και βελτιώνοντας τη συνολική απόδοση του δικτύου.

## 5. Συμπεράσματα

Εν κατακλείδι, η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης στα smart grids έχει πολλά οφέλη που μπορούν να βελτιώσουν σημαντικά την αποδοτικότητα, την αξιοπιστία και τη βιωσιμότητα των ενεργειακών μας συστημάτων. Με την αξιοποίηση τεχνικών ΤΝ, όπως η μηχανική μάθηση, τα SVMs, η βαθιά μάθηση και άλλων, τα έξυπνα δίκτυα μπορούν να προβλέπουν τη ζήτηση ενέργειας, να βελτιστοποιούν την παραγωγή και τη διανομή ενέργειας, να ανιχνεύουν και να διαγιγνώσκουν βλάβες και να επιτρέπουν την απόκριση στη ζήτηση. Αυτές οι τεχνικές που βασίζονται στην ΤΝ μπορούν να μειώσουν τη σπατάλη ενέργειας, να μειώσουν το κόστος, να αυξήσουν την ανθεκτικότητα του δικτύου και να προωθήσουν την ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Κοιτάζοντας προς το μέλλον, υπάρχουν τεράστιες δυνατότητες για την τεχνητή νοημοσύνη στα έξυπνα δίκτυα. Καθώς αυτά γίνονται πιο διαδεδομένα και εξελιγμένα, η τεχνητή νοημοσύνη θα διαδραματίζει ολοένα και σημαντικότερο ρόλο στο να μπορούν οι φορείς εκμετάλλευσης δικτύων να διαχειρίζονται τους ενεργειακούς πόρους πιο αποτελεσματικά και αποδοτικά. Με την έλευση προηγμένων αλγορίθμων και τεχνολογιών ΤΝ, μπορούμε να περιμένουμε να δούμε ακόμη πιο καινοτόμες εφαρμογές ΤΝ στα έξυπνα δίκτυα τα επόμενα χρόνια.

Εντούτοις, υπάρχουν επίσης προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν, όπως το απόρρητο και η ασφάλεια των δεδομένων, τα ρυθμιστικά εμπόδια και η ανάγκη διεπιστημονικής συνεργασίας μεταξύ εμπειρογνομόνων στα ενεργειακά συστήματα, την τεχνητή νοημοσύνη και άλλους συναφείς τομείς. Παρ' όλα αυτά, με συνεχείς επενδύσεις και καινοτομία, η τεχνητή νοημοσύνη έχει τη δυνατότητα να μεταμορφώσει τα ενεργειακά μας συστήματα και να ανοίξει το δρόμο για ένα πιο βιώσιμο, αποτελεσματικό και ανθεκτικό ενεργειακό μέλλον.

## 6. Βιβλιογραφία

1. [Artificial Intelligence Enabled Demand Response: Prospects and Challenges in Smart Grid Environment | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore](#)
2. [Artificial intelligence techniques for stability analysis and control in smart grids: Methodologies, applications, challenges and future directions - ScienceDirect](#)
3. [Smart Cities | Free Full-Text | Artificial Intelligence Techniques in Smart Grid: A Survey \(mdpi.com\)Artificial Intelligence Techniques in Smart Grid: A Survey](#)
4. [Review on the research and practice of deep learning and reinforcement learning in smart grids | CSEE Journals & Magazine | IEEE Xplore](#)
5. [Artificial Intelligence Techniques in Smart Grid and Renewable Energy Systems—Some Example Applications | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore](#)