



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

**Σχεδιασμός, ανάπτυξη και πειραματική αξιολόγηση  
κατανεμημένων αλγορίθμων διαχείρισης έξυπνων  
δικτύων ενέργειας**

Ελευθέριος Τσαμπάσης  
Υποψήφιος Διδάκτορας

# Διάρθρωση Παρουσίασης

- ▶ Ενεργειακό πρόβλημα – ΑΠΕ
- ▶ Έξυπνα Δίκτυα Ενέργειας
- ▶ Χρήση Τεχνολογιών 5G σε έξυπνα δίκτυα
- ▶ Από τα Ευφυή Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Έξυπνο Σπίτι/Κτίριο
- ▶ Από τα Ευφυή Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο
- ▶ Προσομοίωση Smart Grids
- ▶ Πειραματική αξιολόγηση Smart Grids

# Ενεργειακό Πρόβλημα - ΑΠΕ

# Ενεργειακό πρόβλημα – ΑΠΕ

- ▶ Η διαφαινόμενη εξάντληση των ενεργειακών αποθεμάτων (άνθρακας, φυσικό αέριο, πετρέλαιο), σε συνδυασμό με την διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση ενέργειας, αλλά και την βαθμιαία επιδείνωση των περιβαλλοντικών προβλημάτων, οδήγησε τις σύγχρονες κοινωνίες να στραφούν αφενός σε τεχνικές εξοικονόμησης ενέργειας αφετέρου στην αξιοποίηση των ήπιων ή Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (ΑΠΕ)
- ▶ **ΑΠΕ:** Είναι οι μη ορυκτές ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, δηλαδή η Ηλιακή, η Υδροηλεκτρική ενέργεια, η Αιολική, η Γεωθερμική ενέργεια, η ενέργεια από Βιομάζα, η ενέργεια Κυμάτων και η Παλιρροϊκή ενέργεια.

# Ενεργειακό πρόβλημα – ΑΠΕ

- **Ηλιακή Ενέργεια** - Αξιοποιείται μέσω τεχνολογιών που εκμεταλλεύονται τη θερμότητα και τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα του ήλιου
- **Υδροηλεκτρική ενέργεια** - Αξιοποιεί τις υδατοπτώσεις, με στόχο την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ή και το μετασχηματισμό της σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια
- **Αιολική ενέργεια** - Η κινητική ενέργεια που παράγεται από τη δύναμη του ανέμου και μετατρέπεται σε απολήψιμη μηχανική ενέργεια ή και σε ηλεκτρική ενέργεια



# Ενεργειακό πρόβλημα – ΑΠΕ

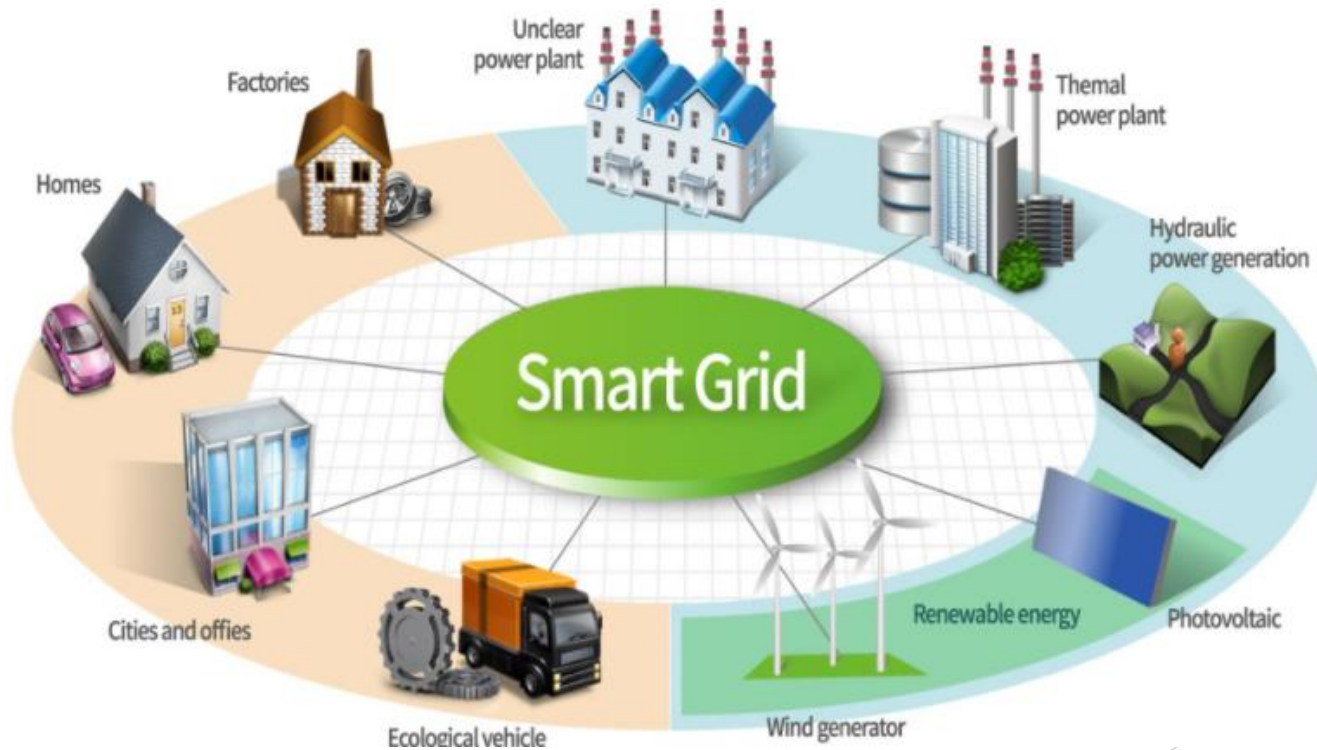
- **Γεωθερμική ενέργεια** - Η θερμική ενέργεια που προέρχεται από το εσωτερικό της γης και εμπεριέχεται σε φυσικούς ατμούς, σε επιφανειακά ή υπόγεια θερμά νερά και σε θερμά ξηρά πετρώματα
- **Βιομάζα** - Είναι αποτέλεσμα της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας, που μετασχηματίζει την ηλιακή ενέργεια με μία σειρά διεργασιών των φυτικών οργανισμών χερσαίας ή υδρόβιας προέλευσης



# Έξυπνα Δίκτυα Ενέργειας

# Έξυπνα Δίκτυα Ενέργειας

- **Ευφυή Δίκτυα** Κατά βάση είναι ηλεκτρικά δίκτυα τα οποία ενσωματώνουν μια πληθώρα διαφορετικών στοιχείων, όπως ΑΠΕ, έξυπνους μετρητές, έξυπνες εφαρμογές, κτλ

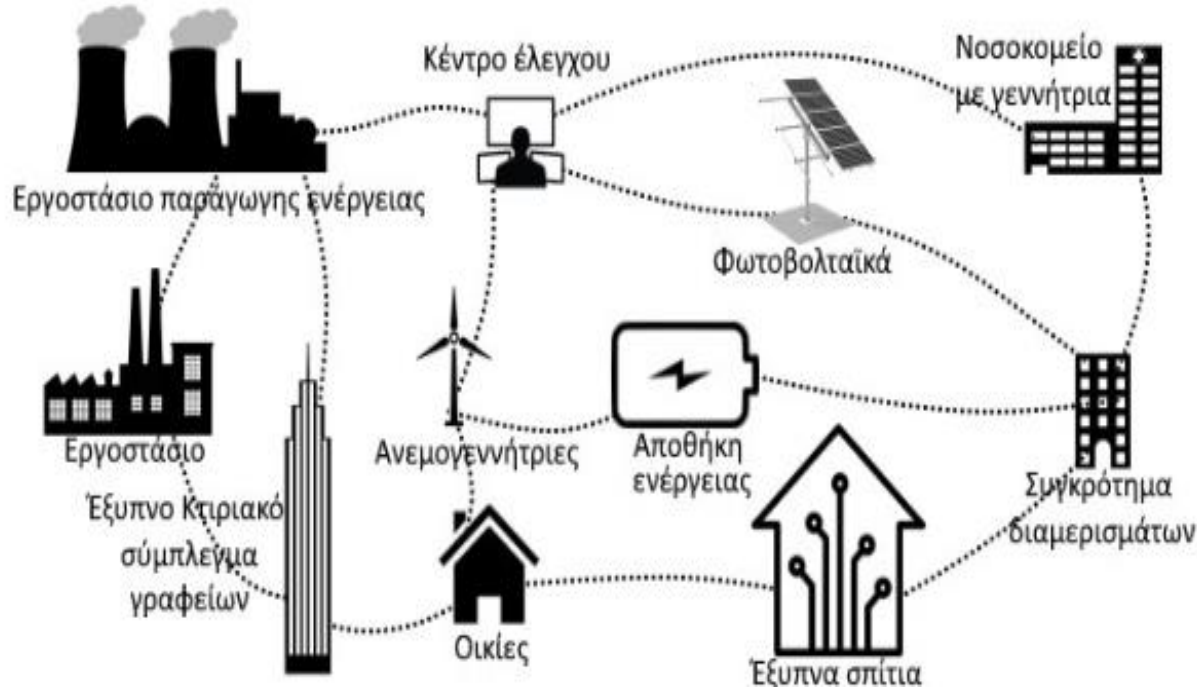




# Έξυπνα Δίκτυα Ενέργειας

- ▶ Η αυξανόμενη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας κατά τις προηγούμενες δεκαετίες (70's, 80's, 90's) οδήγησε σε παροχή ενέργειας περιορισμένης ποιότητας, με συχνές διακοπές ρεύματος
- ▶ Προς το τέλος του 20<sup>ου</sup> αιώνα, το προφίλ ηλεκτρικής κατανάλωσης είχε σταθεροποιηθεί: οικιακή θέρμανση και κλιματισμός οδηγούσαν σε υψηλή ημερήσια ζήτηση
- ▶ Η ζήτηση αυτή καλυπτόταν εν μέρει με την χρήση εφεδρικών γεννητριών που τίθονταν σε λειτουργία για πολύ μικρές περιόδους κάθε ημέρα
- ▶ Η χαμηλή χρησιμοποίηση αυτών των γεννητριών μαζί με τις αναγκαίες τεχνικές επεμβάσεις για ενσωμάτωση τους στο δίκτυο, συνετέλεσαν στην αύξηση του κόστους στις εταιρείες παροχής ρεύματος, τα οποία με την σειρά τους οδήγησαν σε αυξήσεις στην τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος

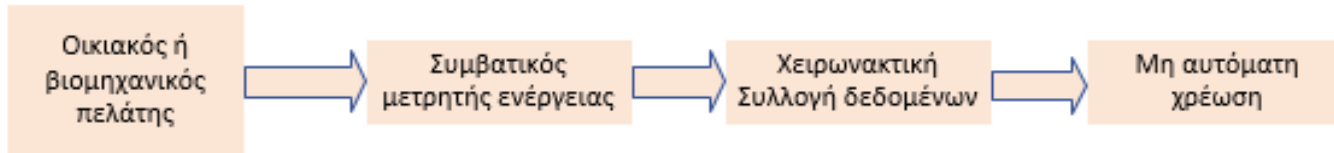
# Έξυπνα Δίκτυα Ενέργειας



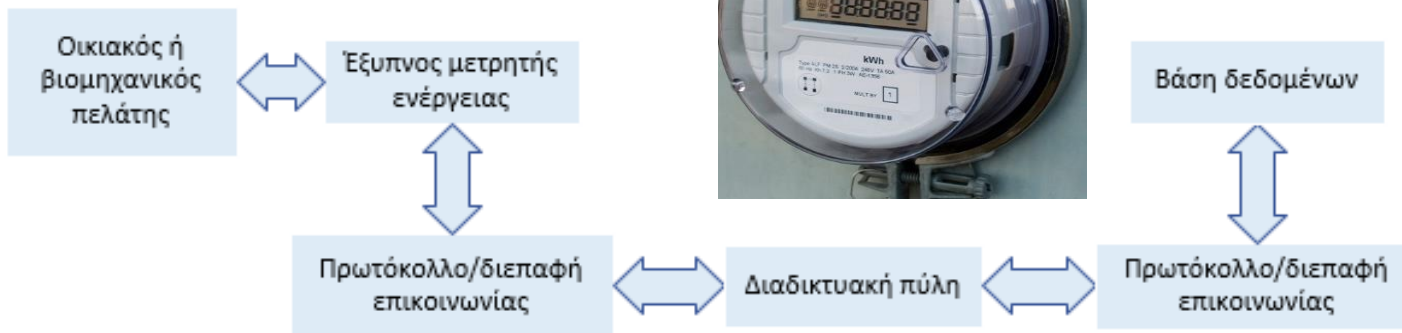
**Χρήση έξυπνων δικτύων** Διασύνδεση επιμέρους παραγωγικών μονάδων σε ένα ενιαίο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, με δυνατότητα πρόβλεψης φορτίου και ζήτησης σε μεγάλη κλίμακα έτσι ώστε να είναι εφικτή η αδιάλειπτη παροχή ενέργειας και η ευέλικτη τιμολόγηση

# Έξυπνα Δίκτυα Ενέργειας

## Συμβατικός μετρητής ενέργειας

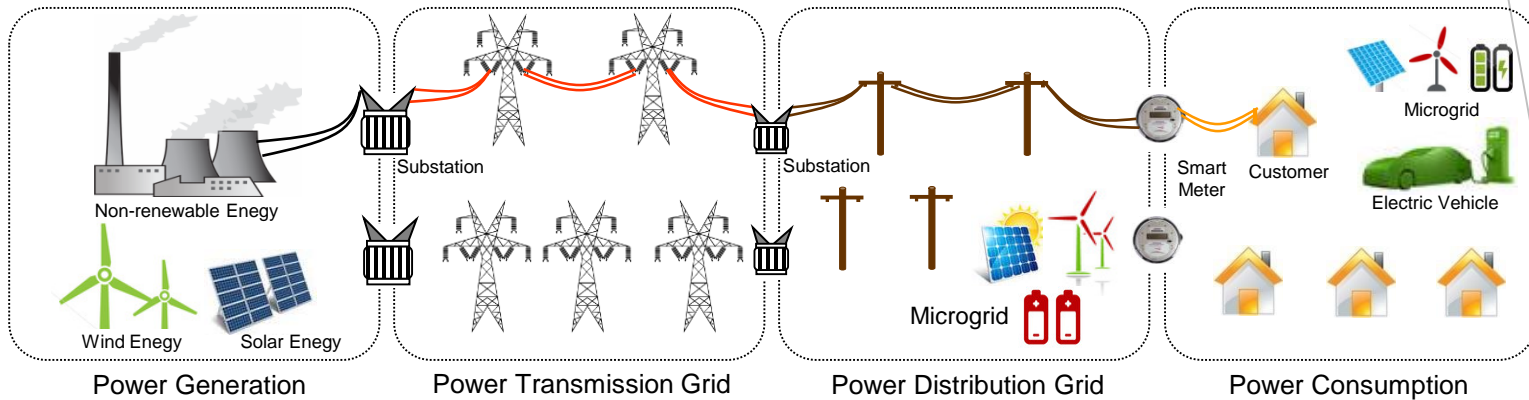


## Έξυπνος μετρητής ενέργειας

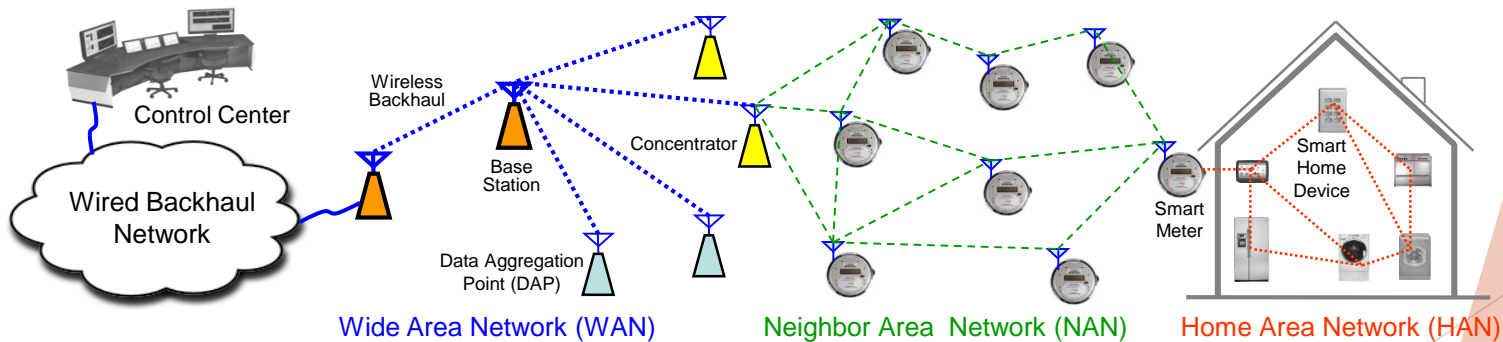


Ένας έξυπνος μετρητής αποτελείται από δύο μονάδες. Μία συσκευή μέτρησης υπό την επίβλεψη της εταιρείας διανομής και μια μονάδα απεικόνισης που βρίσκεται στο χώρο του καταναλωτή

# Έξυπνα Δίκτυα Ενέργειας



(a) Power System Layer



(b) Communications Layer

# Έξυπνα Δίκτυα Ενέργειας

- ▶ Τηλεπικοινωνιακή διασύνδεση επιμέρους λειτουργικών μονάδων (χρήση ασύρματης τεχνολογίας)
- ▶ Παρακολούθηση της παραγόμενης και καταναλισκόμενης ενέργειας μέσω έξυπνων μετρητών
- ▶ Δυναμική παρακολούθηση της ζήτησης
- ▶ Ευελιξία στην προσθήκη καινούργιων ενεργειακών μονάδων

# Χρήση τεχνολογιών 5G στα έξυπνα δίκτυα

# Χρήση τεχνολογιών 5G στα έξυπνα δίκτυα

Ο τομέας της ενέργειας αντιπροσωπεύει αναμφισβήτητα ένα από τα σημαντικότερα «πεδία δοκιμών» για τις τεχνολογίες που καθιστούν απαραίτητο το 5G, λόγω της ανάγκης να αντιμετωπιστεί ένα ευρύ φάσμα από προαπαιτούμενα για την αντιμετώπιση ποικίλων εφαρμογών.

Ωστόσο, για την αποτελεσματική υποστήριξη των ενεργειακών υπηρεσιών κατά τη μετάβασή τους σε πιο αποκεντρωμένα συστήματα με προσανατολισμό στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, υπάρχουν αρκετά ανοικτά ζητήματα όσον αφορά την αυτοματοποίηση διαχείρισης δικτύων, την ασφάλεια, την ανθεκτικότητα, και την επεκτασιμότητα.

# Χρήση τεχνολογιών 5G στα έξυπνα δίκτυα

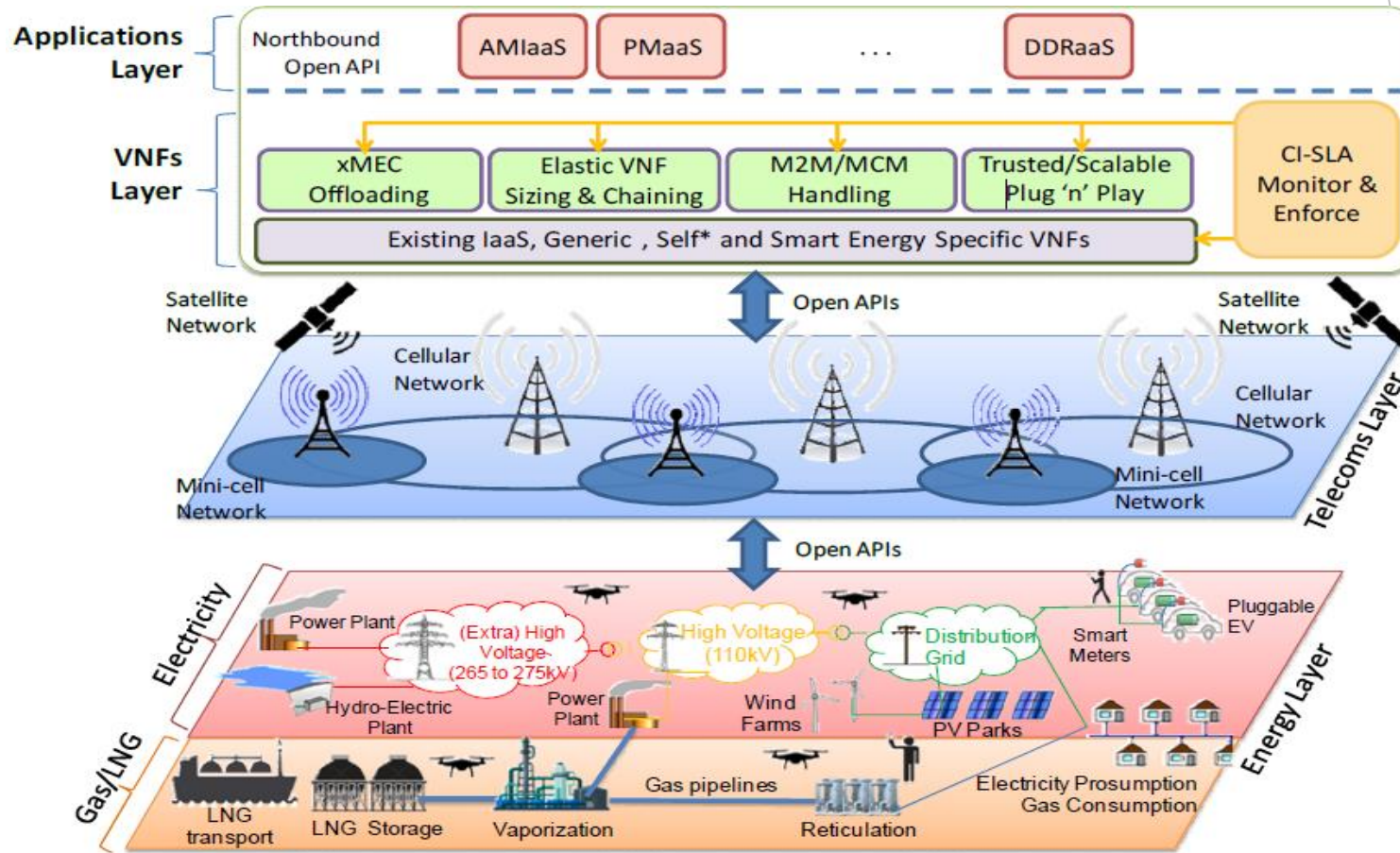
- ▶ Ενοποίηση υπηρεσιών ανάμεσα στο ηλεκτρικό δίκτυο και το ασύρματο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας
- ▶ Παρακολούθηση κρίσιμων παραμέτρων του συστήματος
- ▶ Δημιουργία εικονικών δικτύων ανάλογα με την συνολική κίνηση



# Χρήση τεχνολογιών 5G στα έξυπνα δίκτυα

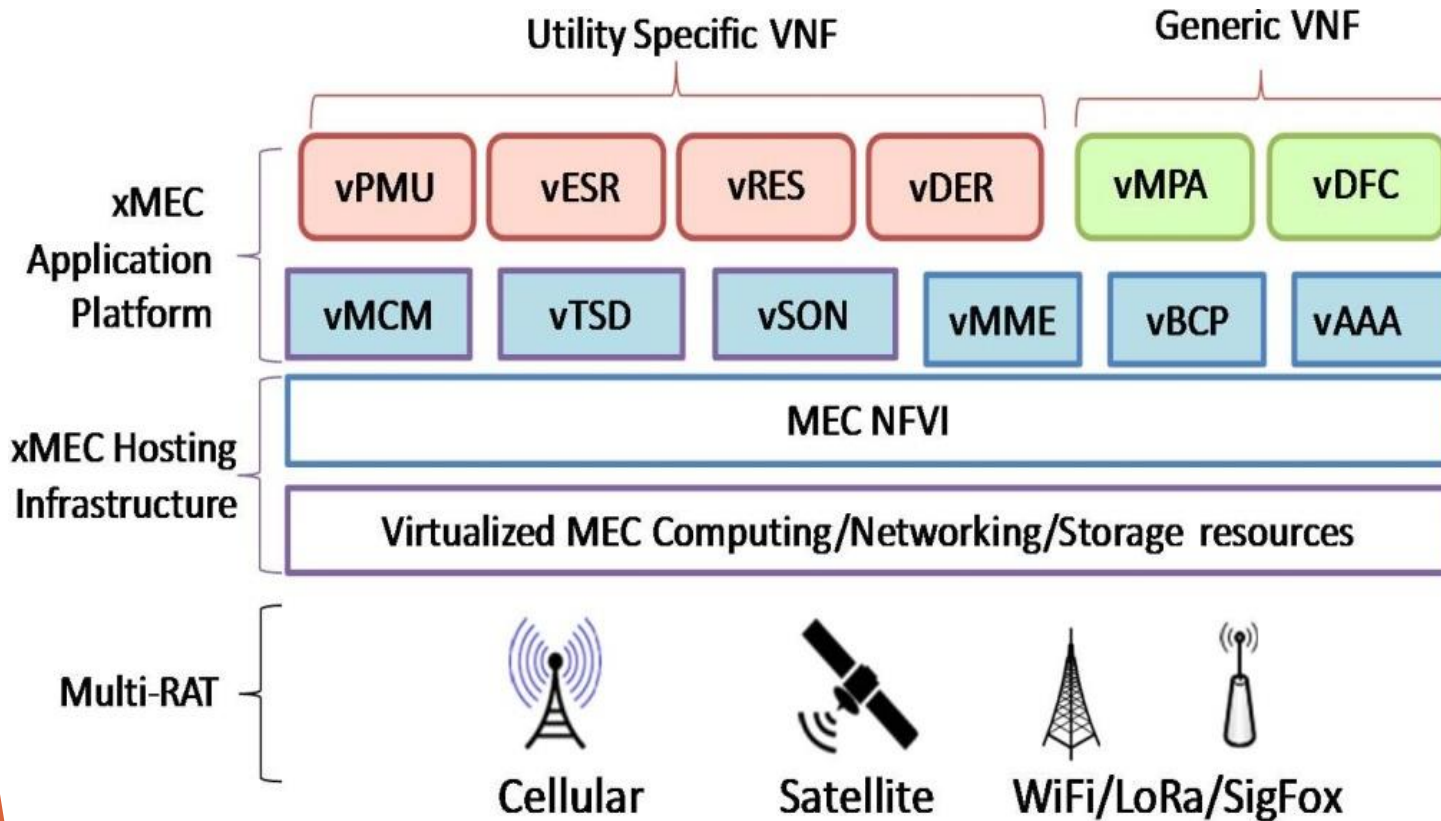
- ▶ Δημιουργία ανοιχτών διεπαφών χρήστη (APIs Automatic Programming Interfaces) για την διασύνδεση ηλεκτρικών και τηλεπικοινωνιακών δικτύων
- ▶ Χρήση υπάρχουσας υποδομής 5G για την συλλογή δεδομένων δικτύου, την κεντρική επεξεργασία και την βελτιστοποίηση κρίσιμων παραμέτρων τους συστήματος
- ▶ Η χρήση πρωτυποποιημένων επαφών επιτρέπει την διασύνδεση μεγάλου αριθμού ενεργειακών μονάδων και αξιοποίηση δεδομένων σε ευρεία κλίμακα

# Χρήση τεχνολογιών 5G στα έξυπνα δίκτυα



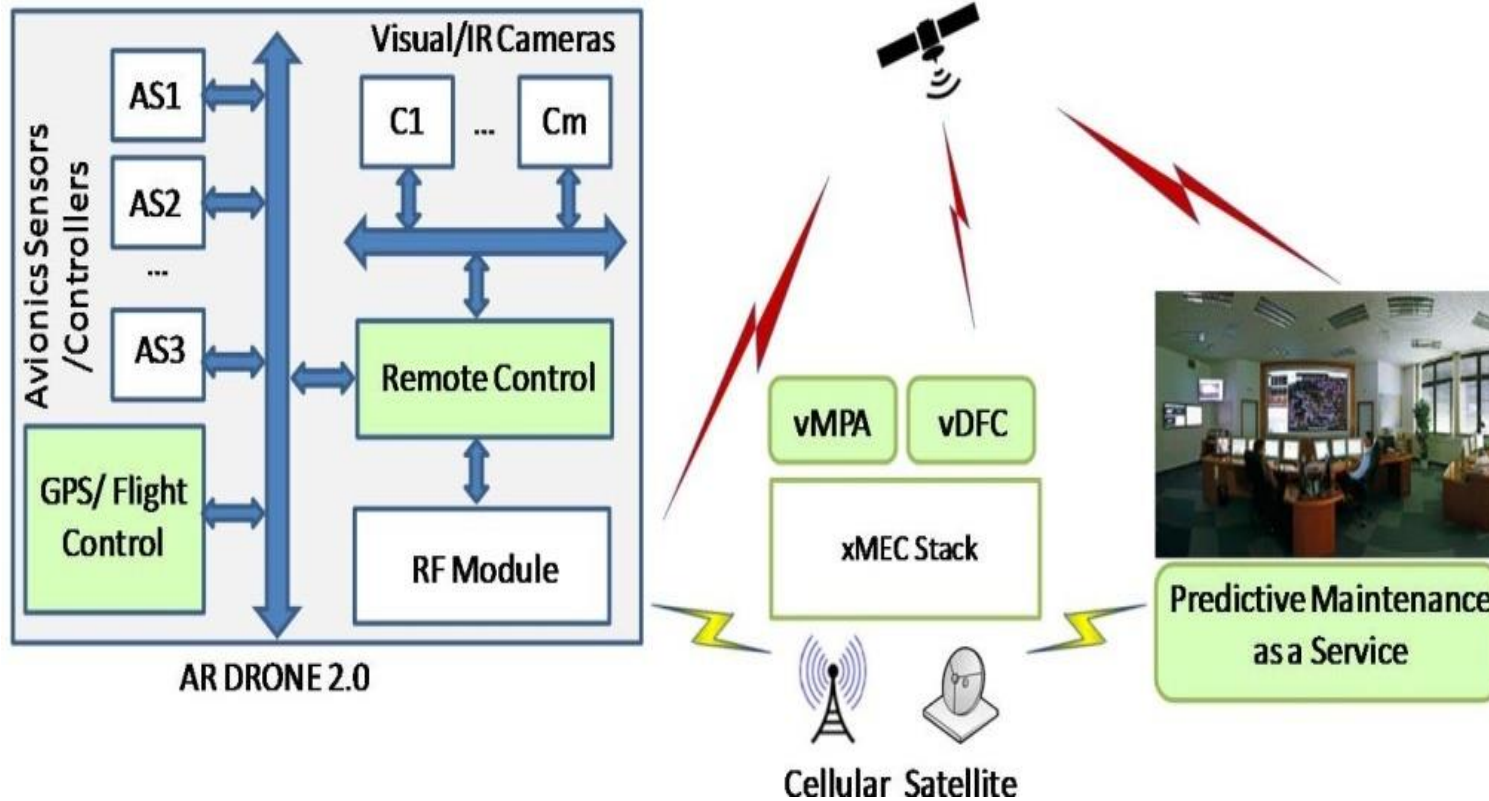
Το προτεινόμενο πλαίσιο που χρησιμοποιεί 5G

# Χρήση τεχνολογιών 5G στα έξυπνα δίκτυα



Η προτεινόμενη δέσμη πρωτοκόλλων xMEC

# Χρήση τεχνολογιών 5G στα έξυπνα δίκτυα



Αρχιτεκτονική υλοποίηση υπηρεσίας προληπτικής συντήρησης (PMaaS)

# Από τα Ευφυή Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Έξυπνο Σπίτι/Κτίριο

# Από τα Ευφυή Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Έξυπνο Σπίτι/Κτίριο

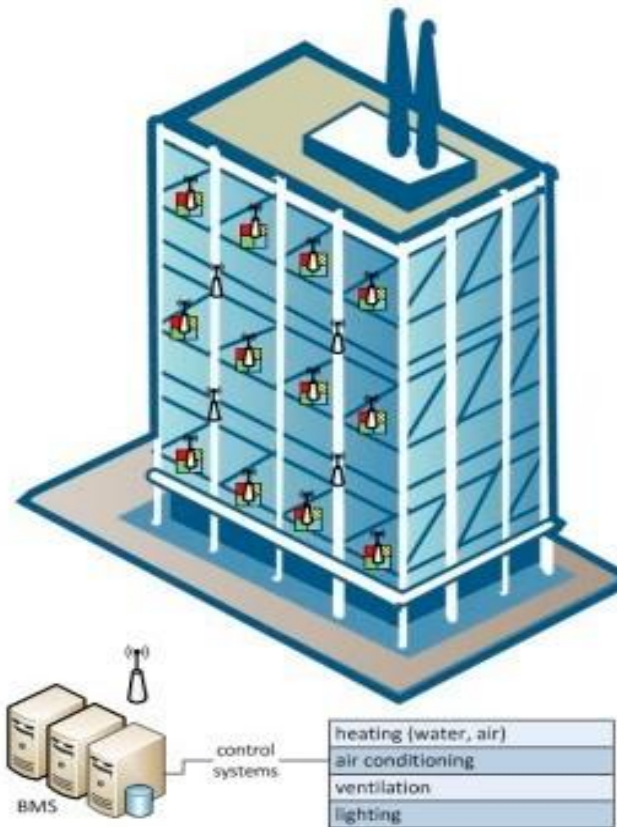
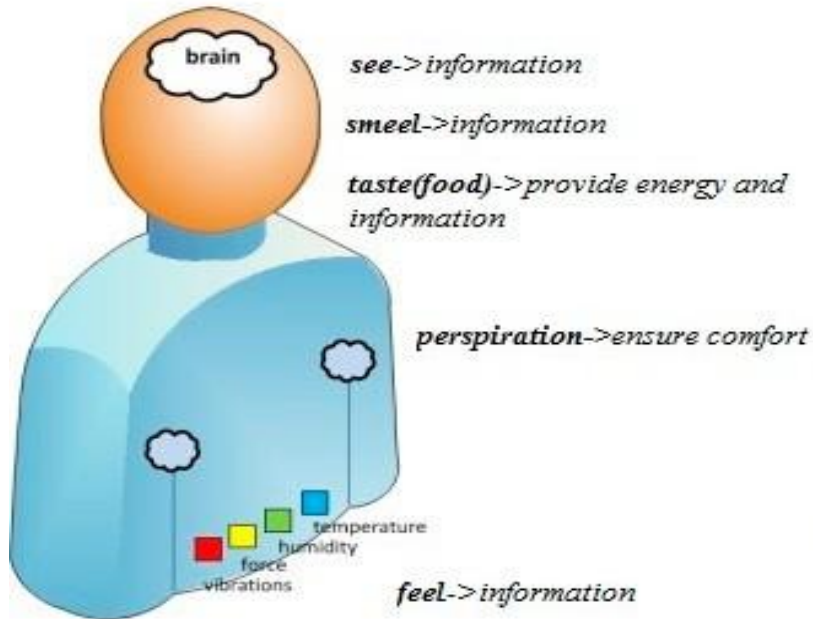


Δυναμική παρακολούθηση επιμέρους ενεργειακών λειτουργιών (θέρμανση, ψύξη, φωτισμός) μέσω ενοποιημένου δικτύου αισθητήρων

# Από τα Ευφυή Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Έξυπνο Σπίτι/Κτίριο

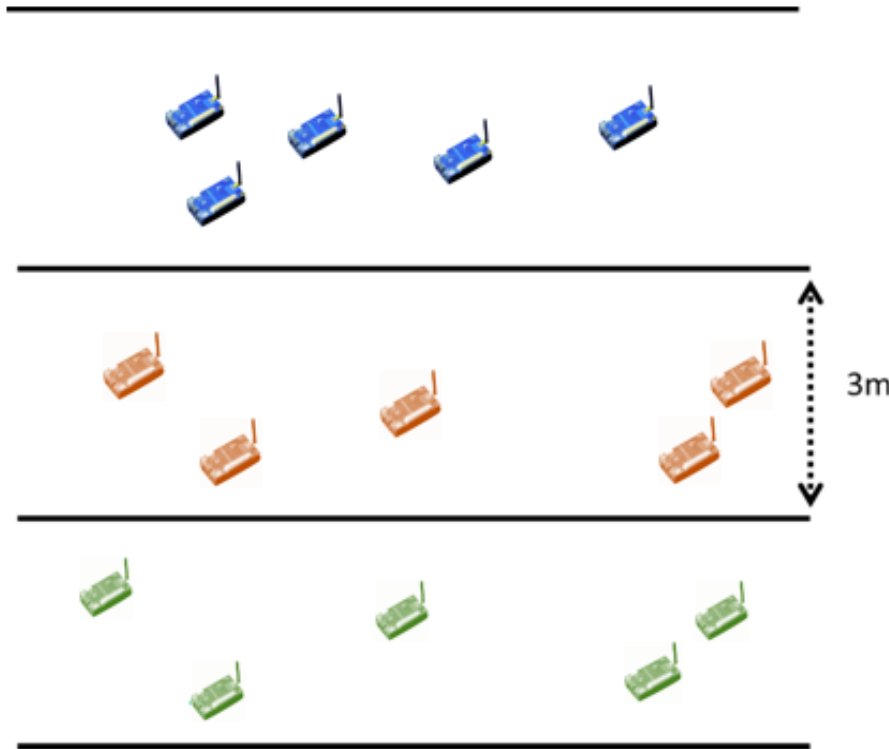
- ▶ Διασύνδεση έξυπνου κτιρίου με το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, έτσι ώστε να διευκολύνεται τόσο η παροχή ενέργειας όσο και η επιστροφή αποθηκευμένης ενέργειας πίσω στο δίκτυο
- ▶ Δυνατότητες παρόχων κινητής τηλεφωνίας για παροχή εφαρμογών παρακολούθησης και διαχείρισης ενέργειας

# Από τα Ευφυή Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Έξυπνο Σπίτι/Κτίριο



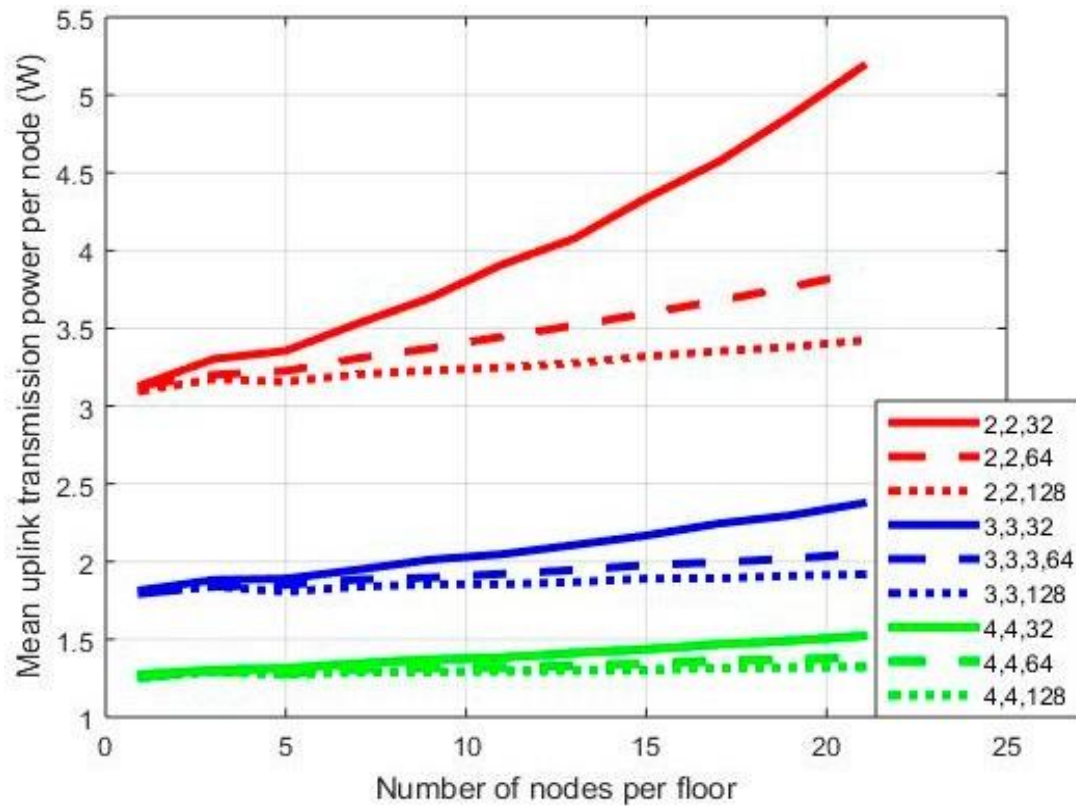


# Από τα Ευφυή Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Έξυπνο Σπίτι/Κτίριο



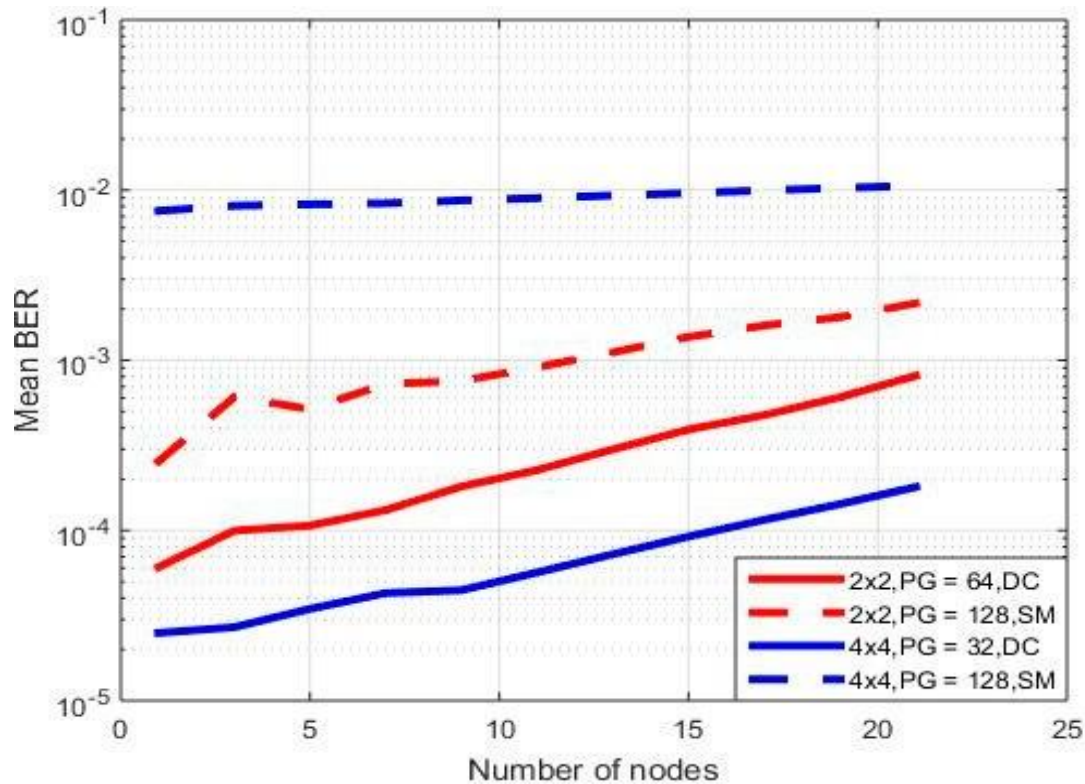
- ▶ Προσομοίωση μετάδοσης δεδομένων σε κτίριο τριών ορόφων
- ▶ Μετάδοση διαφορισιμότητας και χωρικής πολυπλεξίας

# Από τα Ευφυή Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Έξυπνο Σπίτι/Κτίριο



Μέση ισχύς ανά κόμβο

# Από τα Ευφυή Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Έξυπνο Σπίτι/Κτίριο



- Σημαντική υπεροχή της μετάδοσης διαφορισιμότητας έναντι της χωρικής πολυπλεξίας

# Από τα Ευφυή Δίκτυα Ηλεκτρικής Ενέργειας στο Έξυπνο Σπίτι/Κτίριο

- ▶ Στην περίπτωση διασύνδεσης πολύ μεγάλου αριθμού κόμβου αισθητήρων σε ένα έξυπνο κτίριο, είναι απαραίτητη η χρήση τεχνολογιών 5G
- ▶ Απαραίτητη η υποστήριξη μετάδοσης πολύ μεγάλου ρυθμού δεδομένων (high transmission rate) καθώς και μηδενικής καθυστέρησης (zero latency) στην περίπτωση που απαιτείται η αποστολή σημάτων ελέγχου

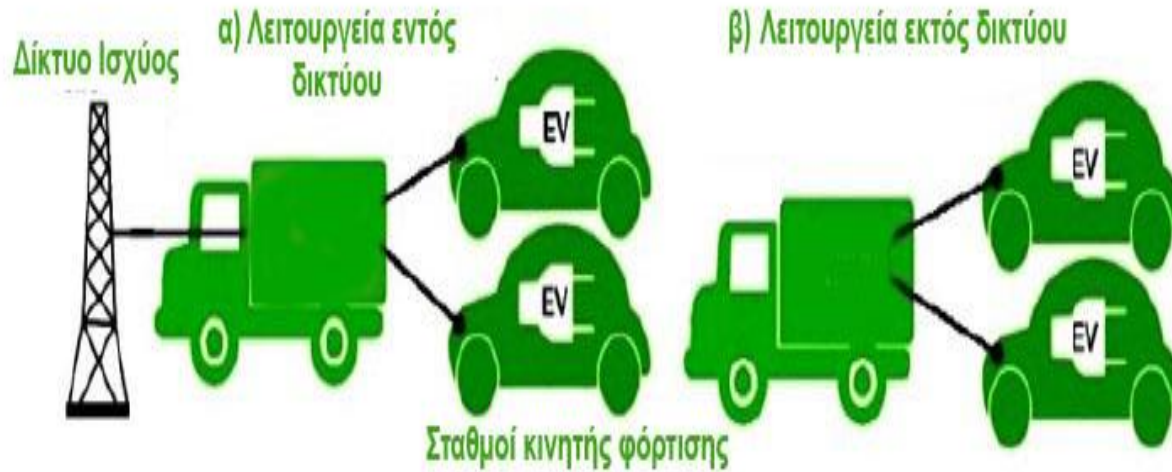
# Από τα Ευφυή Δίκτυα στο Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο

# Από τα Ευφυή Δίκτυα στο Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο

- ▶ Δυνατότητα δυναμικής φόρτισης ηλεκτρικών οχημάτων ανάλογα με τις δυνατότητες του δικτύου
- ▶ Αμφίδρομη ροή ενέργειας τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα μπορούν να δώσουν ενέργεια πίσω στο δίκτυο με ευέλικτη τιμολόγηση



# Από τα Ευφυή Δίκτυα στο Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο



# Από τα Ευφυή Δίκτυα στο Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο

- ▶ Για την κατάλληλη χρήση της τεχνολογίας αυτόνομων αυτοκινήτων αρκετοί ειδικοί συμφωνούν ότι απαιτείται η 5G - ασύρματη τεχνολογία επόμενης γενιάς- σε μεγάλη κλίμακα
- ▶ Τα αυτό-οδηγούμενα αυτοκίνητα χρησιμοποιούν εκατοντάδες αισθητήρες για να κάνουν τα οχήματα γρηγορότερα και εξυπνότερα
- ▶ Ο χειρισμός, η επεξεργασία και η ανάλυση αυτού του όγκου δεδομένων απαιτεί πολύ ταχύτερο δίκτυο από το υπάρχον δίκτυο 4G
- ▶ Σύμφωνα με επιστημονικές μελέτες, η τεχνολογία 5G μπορεί επίσης να προσφέρει εξελιγμένες δυνατότητες πρόληψης



# Από τα Ευφυή Δίκτυα στο Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο

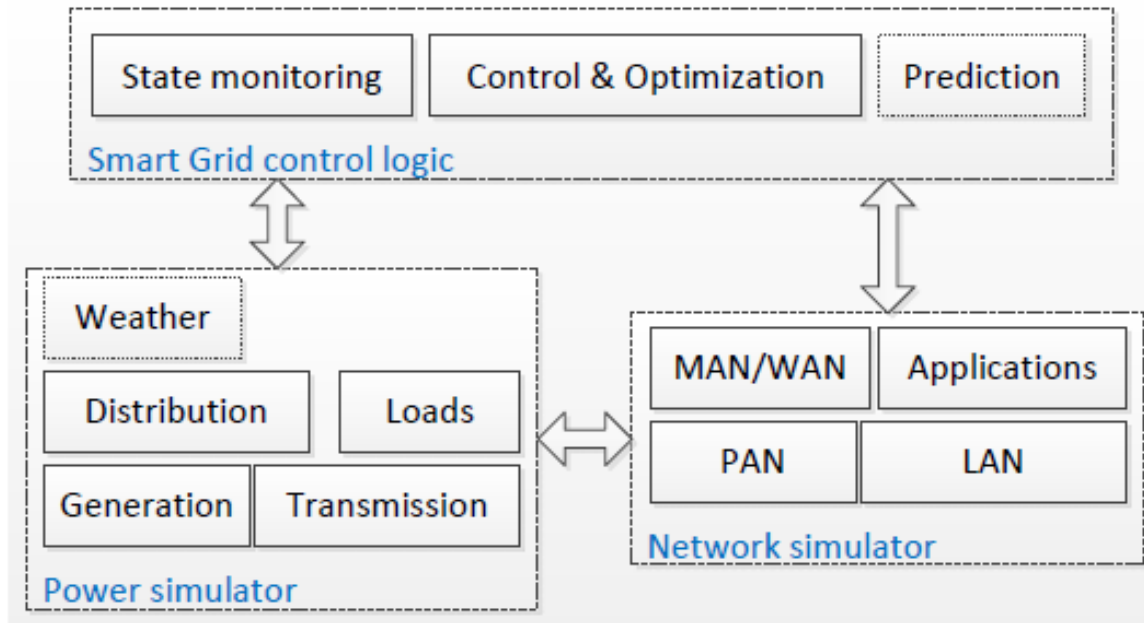
- ▶ Στην τρέχουσα κατάσταση, το διαθέσιμο LTE (4G) υποστηρίζει τη μετάδοση δεδομένων μέγιστο στα 100 Mbps
- ▶ Από την άλλη πλευρά, η ταχύτητα στα δίκτυα 5G μπορεί να φθάσει μέχρι και τα 5Gbps
- ▶ Υπό αυτή την έννοια, η ανάπτυξη του 5G δικτύου στην επόμενη δεκαετία πρόκειται να κορυφώσει την παραγωγή των AV και να αυξήσει την ασφάλεια.

# Από τα Ευφυή Δίκτυα στο Ηλεκτρικό Αυτοκίνητο



# Προσομοίωση Smart Grids

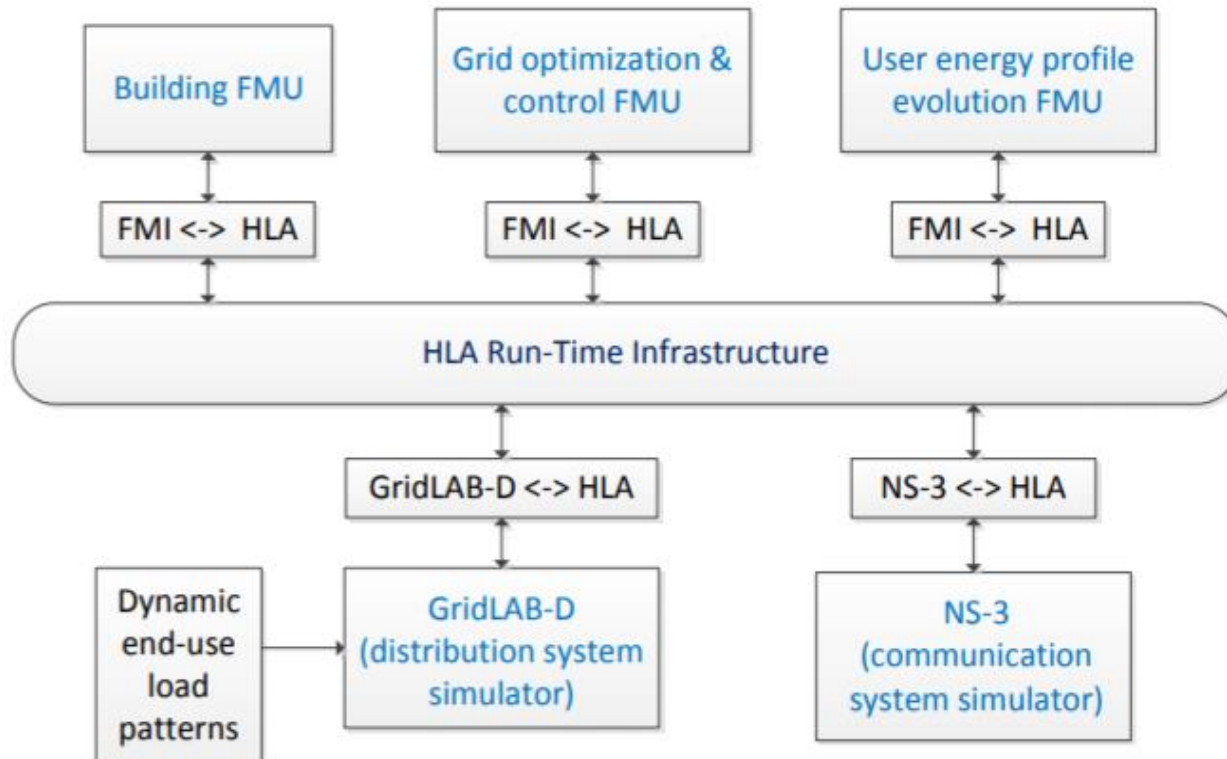
# Προσομοίωση Smart Grids



Προβολή ενός τυπικού συν-προσομοιωτή Smart Grid

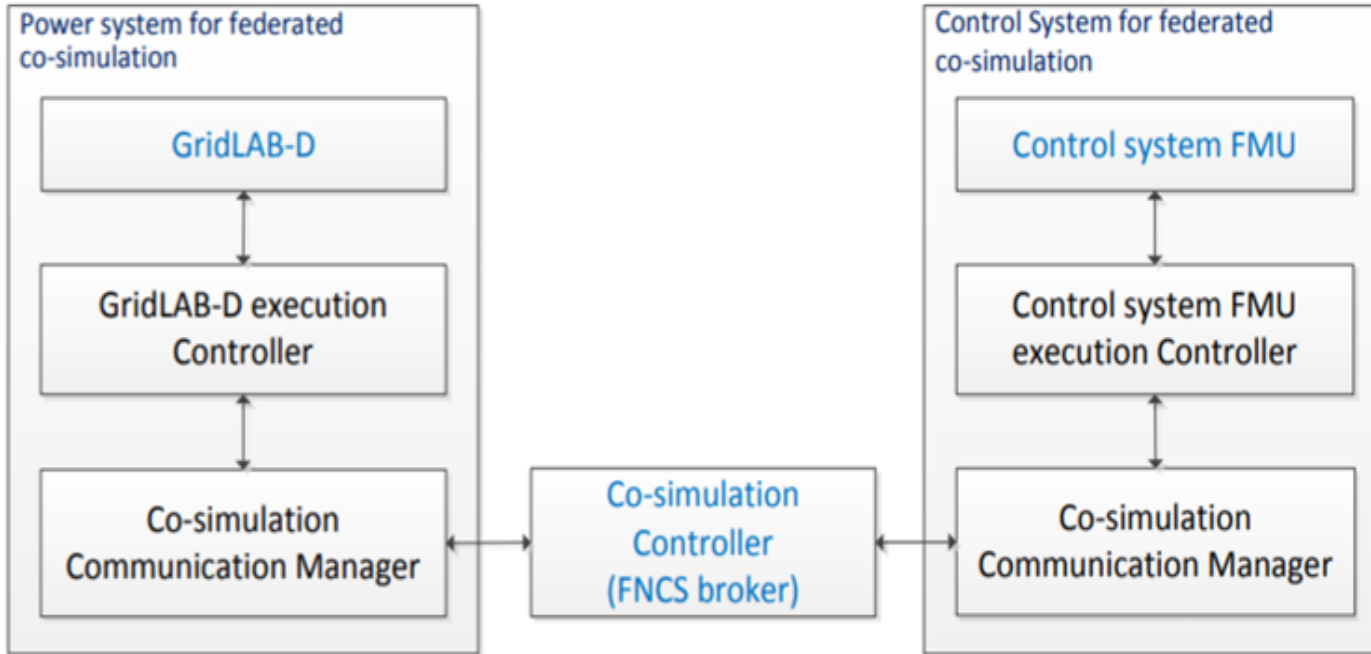
- ▶ Προσομοίωση τόσο του ηλεκτρικού δικτύου, όσο και της τηλεπικοινωνιακής κίνησης
- ▶ Υβριδικοί προσομοιωτές, με δυνατότητες πρόβλεψης και βελτίωσης

# Προσομοίωση Smart Grids



Αρχιτεκτονική πλαισίου συν-προσομοίωσης

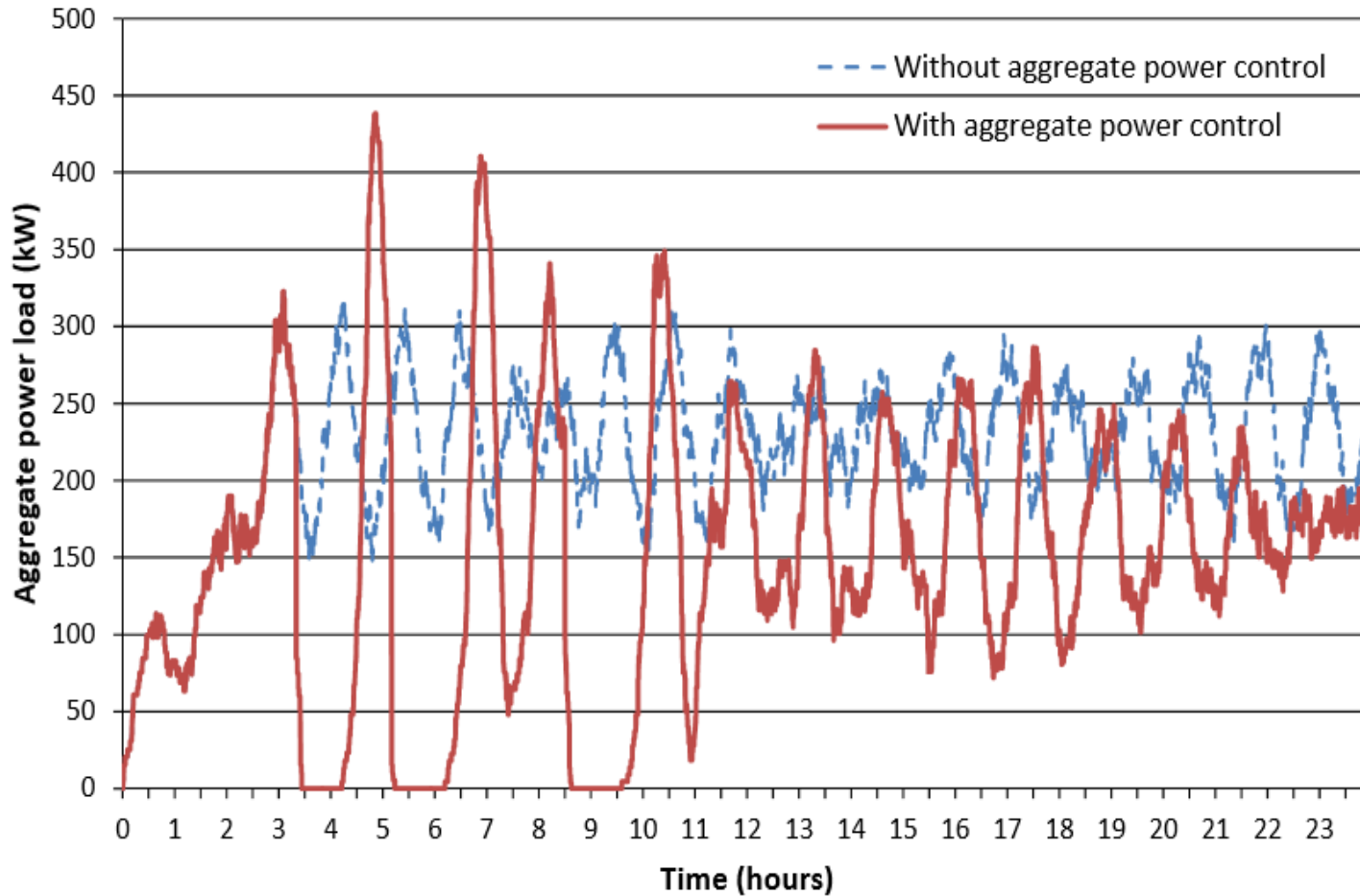
# Προσομοίωση Smart Grids



Πλαίσιο δοκιμών προσομοίωσης για την επικύρωση της λειτουργικότητας του βασικού συστήματος



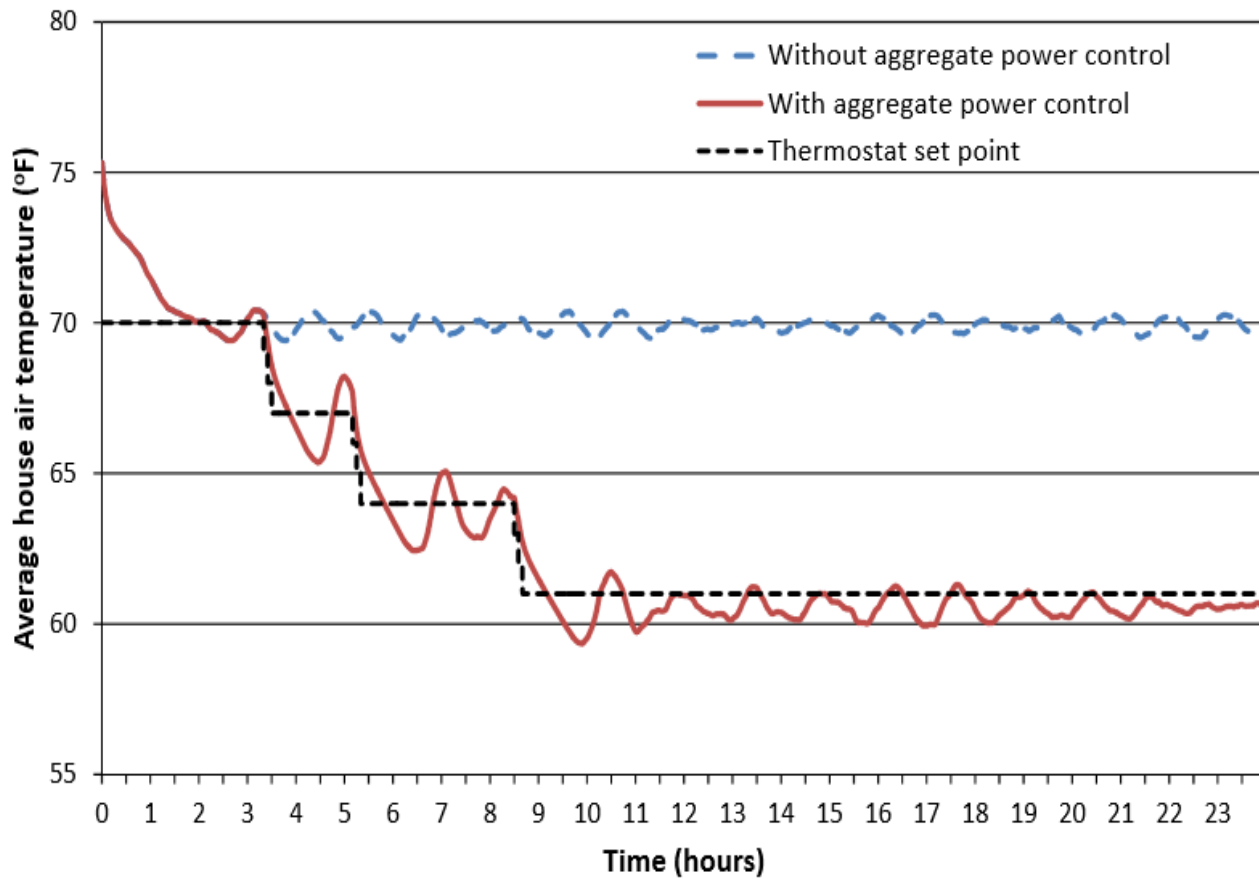
# Προσομοίωση Smart Grids



Επίδραση του μέσου ελέγχου ισχύος στο συνολικό φορτίο



# Προσομοίωση Smart Grids



Επίδραση του μέσου ελέγχου ισχύος στη θερμοκρασία του σπιτιού

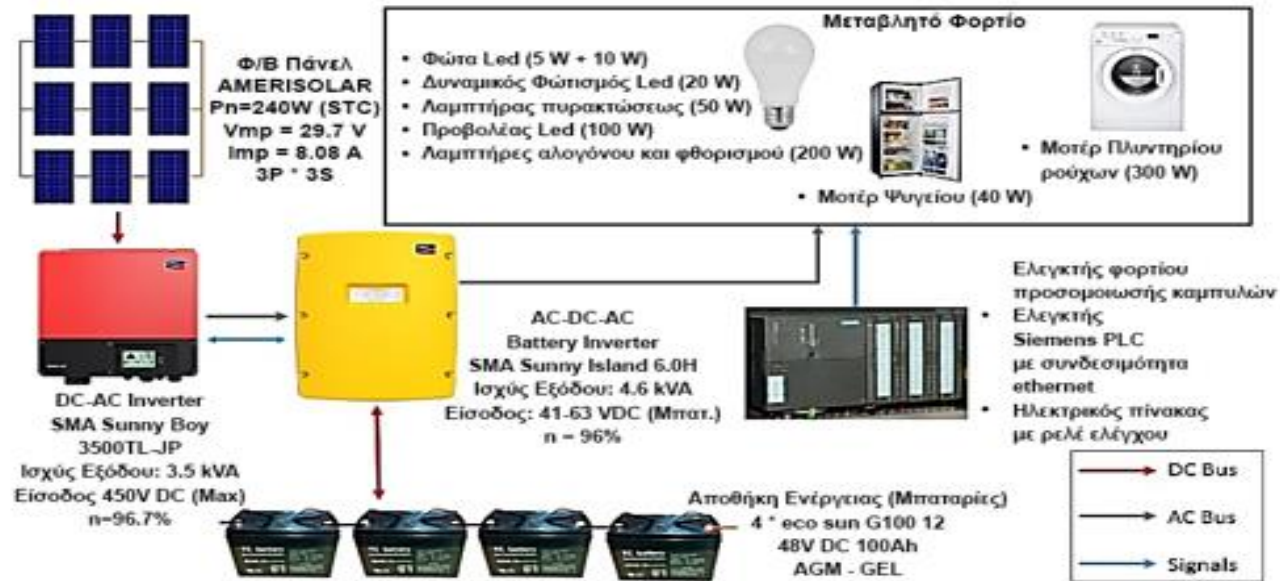
# Συμπεράσματα

Έχει προταθεί ένα πλαίσιο συν προσομοίωσης για το Smart Grid το οποίο βασίζεται σε 3 πράγματα

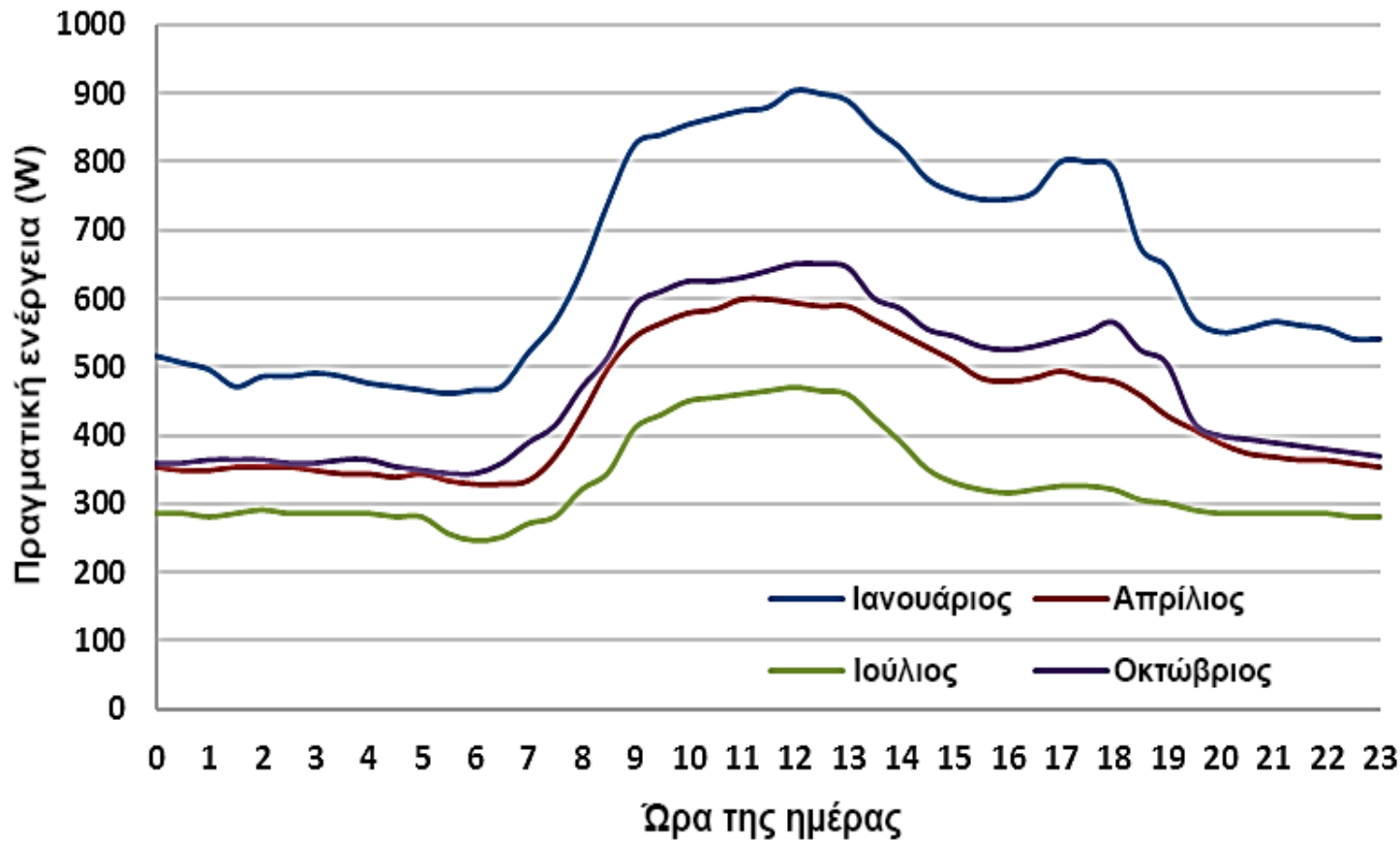
- Απεξάρτηση των επιμέρους προσομοιωτών από την λογική ελέγχου
- Διασύνδεση προσομοιωτών μέσω HLA (High-Level Architecture) (Αρχιτεκτονική Υψηλού Επιπέδου)
- Η λογική ελέγχου να φτιαχτεί σαν ένα FMU το οποίο επικοινωνεί και ελέγχεται μέσω επαφής FMI και επικοινωνεί με το HLA με κάποιο μετατροπέα μηνυμάτων ανάμεσα στα δυο διαφορετικά πρωτόκολλα

# Πειραματική αξιολόγηση Smart Grids

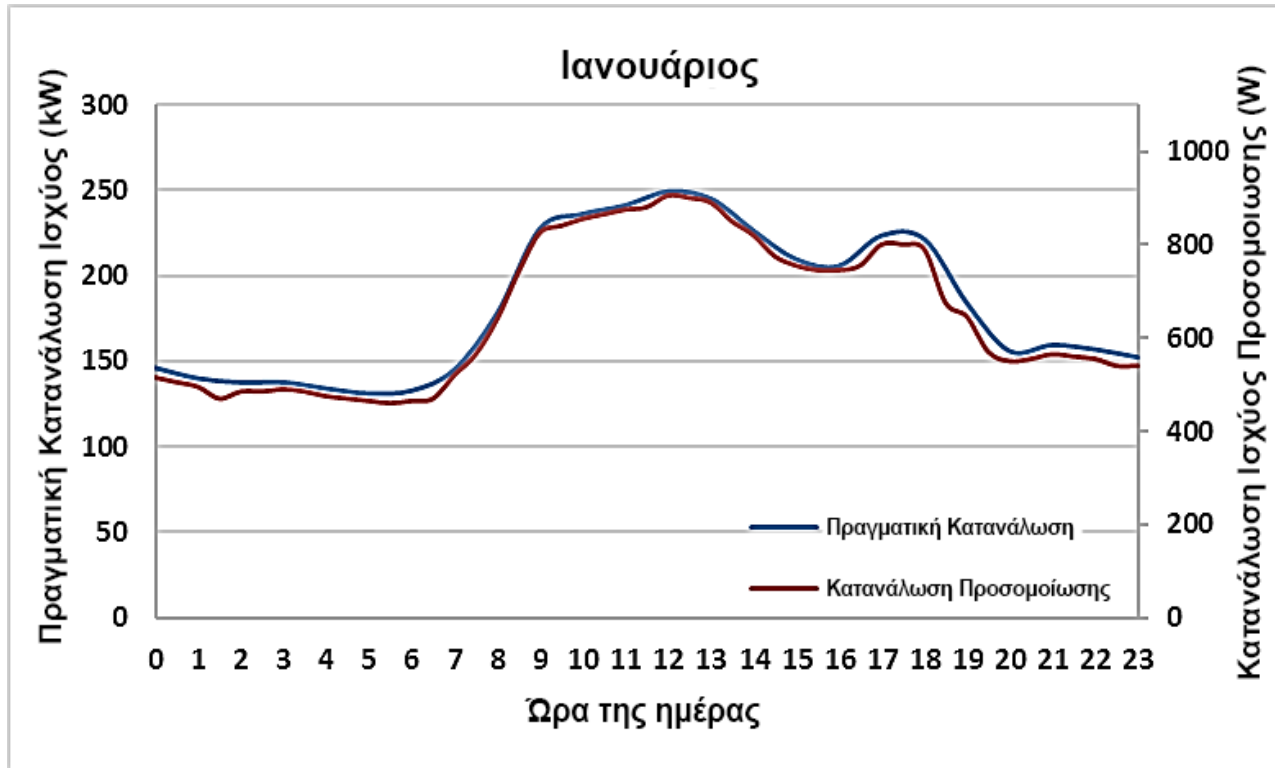
# Πειραματική αξιολόγηση Smart Grids



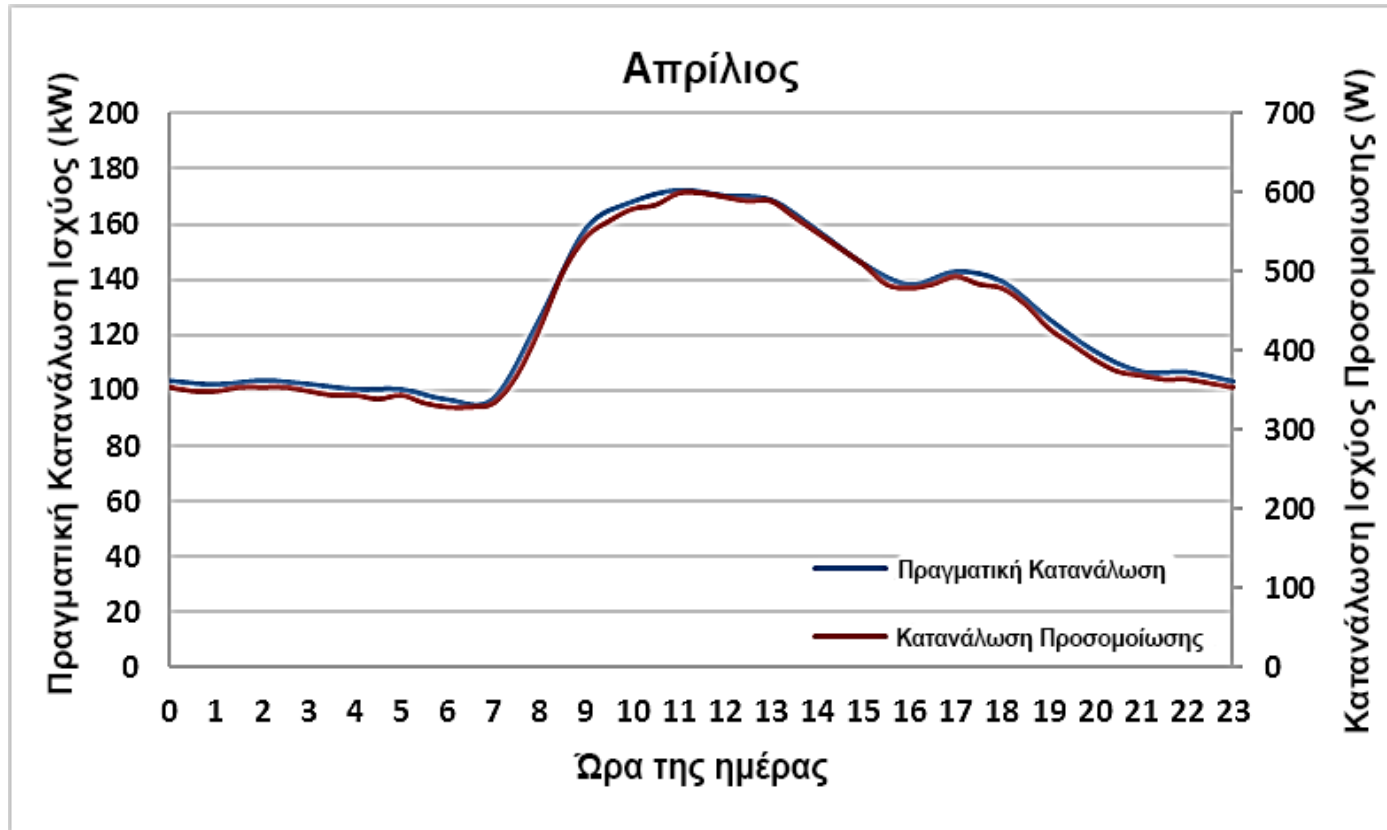
# Πειραματική αξιολόγηση Smart Grids



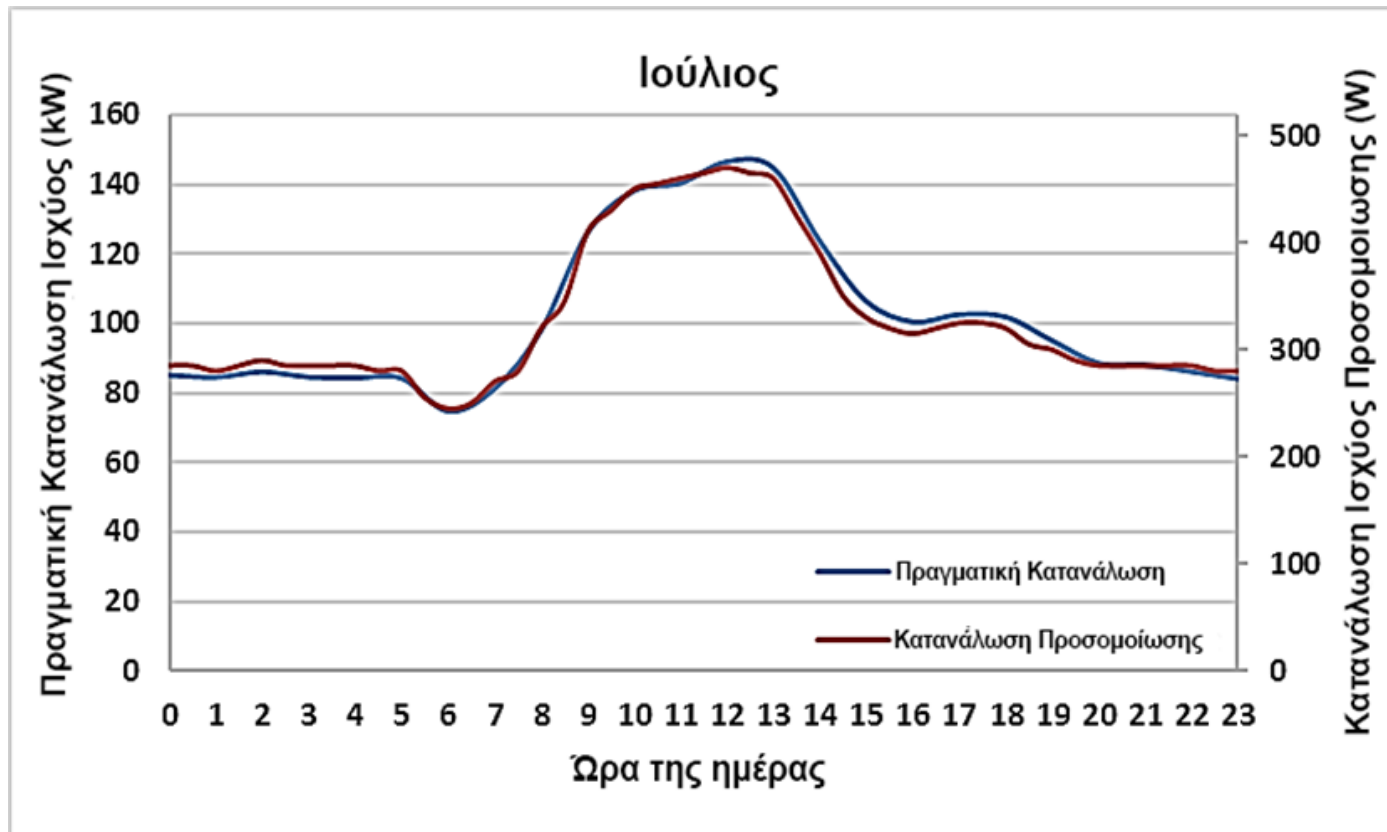
# Πειραματική αξιολόγηση Smart Grids<sup>(2/2)</sup>



# Πειραματική αξιολόγηση Smart Grids<sup>(2/2)</sup>

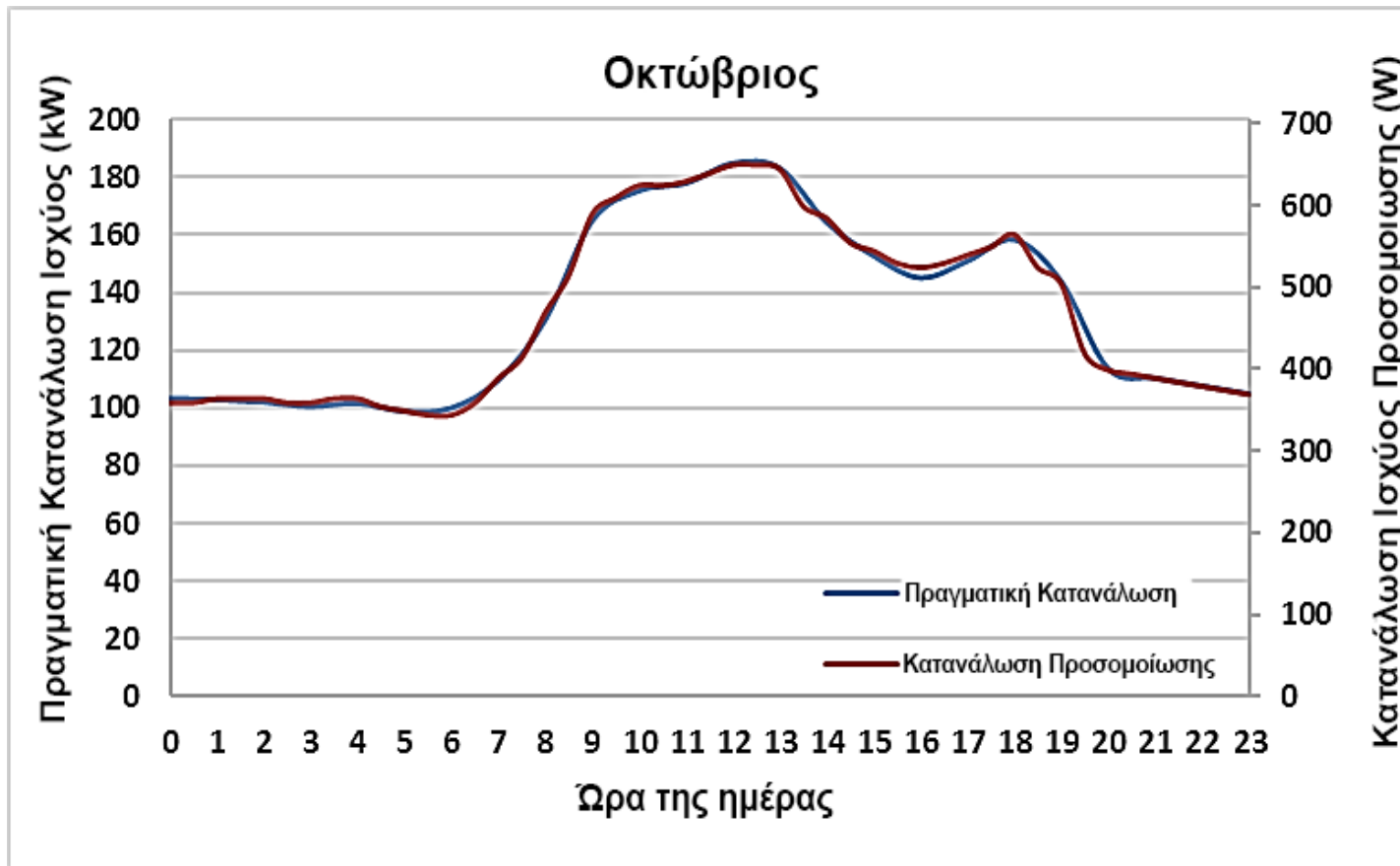


# Πειραματική αξιολόγηση Smart Grids<sup>(2/2)</sup>





# Πειραματική αξιολόγηση Smart Grids<sup>(2/2)</sup>



# Συμπεράσματα

- ▶ Σημαντική η ανάγκη για αποδοτικές μεθόδους προσομοίωσης ευφών ενεργειακών δικτύων
- ▶ Ενοποίηση υπηρεσιών, τόσο σε ενεργειακό όσο και στο τηλεπικοινωνιακό κομμάτι
- ▶ Χρήσιμη εξαγωγή συμπερασμάτων τόσο για την πρόβλεψη φορτίου όσο και εν γένει για την βελτιστοποίηση του δικτύου

# Σχετικές δημοσιεύσεις

- ▶ **Eleftherios Tsampasis** a, Dimitrios Bargiotas, Charalambos Elias, Lambros Sarakis  
*Communication challenges in Smart Grid MATEC Web of Conferences 41 EDP Sciences, (2016)*
- ▶ *Στα πλαίσια της δημοσίευσης παρουσιάστηκαν οι κυριότερες τεχνολογικές προκλήσεις για την ενσωμάτωση τηλεπικοινωνιών στα ευφυή ενεργειακά δίκτυα*

# Σχετικές δημοσιεύσεις

- ▶ Helen C. Leligou, Theodore Zahariadis, Lambros Sarakis, **Eleftherios Tsampasis** Artemis Voulkidis, Terpsichori E. Velivassaki, Smart Grid: a demanding use case for 5G technologies DOI: 10.1109/PERCOMW.2018.8480296 Conference: 2018 IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom Workshops)
- ▶ *Στα πλαίσια της δημοσίευσης υπήρξε ανασκόπηση των κυριότερων προκλήσεων ενσωμάτωσης τεχνολογιών 5G σε ευφυή δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας*

# Σχετικές δημοσιεύσεις

- ▶ T Zahariadis, L Sarakis, **E Tsampasis**, A Voulkidis, P Karkazis, P Trakadas. “Preventive maintenance of critical infrastructures using 5G networks & drones”. Advanced Video and Signal Based Surveillance (AVSS), 2017 14th IEEE
- ▶ Στο άρθρο αναφέρεται στην προληπτική συντήρηση και την ανάγκη αντιμετώπισης μιας τεράστιας ποικιλίας διαφορετικών σημάτων που χρειάζονται για τη σωστή λειτουργία των έξυπνων δικτύων προτείνοντας μια νέα αρχιτεκτονική 5G

# Σχετικές δημοσιεύσεις

- ▶ **Eleftherios Tsampasis, Panagiotis K. Gkonis, Trakadas Panagiotis and Theodore Zahariadis.** *On the Performance Evaluation of a MIMO–WCDMA Transmission Architecture for Building Management Systems* (January 2018, Sensors)
- ▶ Στα πλαίσια της δημοσίευσης αξιολογήθηκαν τεχνικές μετάδοσης είτε διαφορισιμότητας είτε χωρικής πολυπλεξίας σε ασύρματα δίκτυα αισθητήρων εντός χώρων έξυπνων κτιρίων

# Σχετικές δημοσιεύσεις

- ▶ Theodoros A. Skouras, Panagiotis K. Gkonis, Charalampos N. Ilias, Panagiotis T. Trakadas, **Eleftherios G. Tsampasis** and Theodore Zahariadis, "Electrical Vehicles: Current State of the Art, Future Challenges and Perspectives", Clean Technologies (MDPI).
- ▶ *Στα πλαίσια της δημοσίευσης πραγματοποιείται ανασκόπηση σε όλες τις σύγχρονες τεχνολογίες ηλεκτρικών οχημάτων και κυρίως στις τεχνικές απαιτήσεις διασύνδεσης τους με ευφυή δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας*

# Σχετικές δημοσιεύσεις

- ▶ **Eleftherios Tsampasis, Lambros Sarakis, Helen Catherine Leligou, Theodore Zahariadis and John Garofalakis.** *Novel Simulation Approaches for Smart Grids (Journal of Sensor and Actuator Networks, 2016)*
- ▶ *Στα πλαίσια της δημοσίευσης αξιολογήθηκαν τεχνικές προσομοίωσης έξυπνων δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας*



# Σχετικές δημοσιεύσεις

- ▶ Ilias Billas, John Konstantaras, **Eleftherios Tsambasis** *Controllable load for a microgrid testbed*

DOI: 10.15308/Sinteza-2019-277-282, Conference: Sinteza 2019

- ▶ Στα πλαίσια της δημοσίευσης υπήρξε η υλοποίηση ενός μικροδικτύου με απώτερο σκοπό την προσαρμογή καμπυλών φορτίου σε πραγματικές συνθήκες

# Σχετικές δημοσιεύσεις

- ▶ Ilias Billas, John Konstantaras, **Eleftherios Tsambasis**, Charalambos Elias, Aphrodite Ktena, Christos Manasis **Smart Load for a Hybrid Microgrid Testbed** 2019 8th Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO)

*DOI: 10.1109/MECO.2019.8760143*

# Σχετικές δημοσιεύσεις

- ▶ Ilias Billas, John Konstantaras, **Eleftherios Tsambasis** **Controllable load for a microgrid testbed** Sinteza 2019-International Scientific Conference on Information Technology and Data Related Research

*DOI: 10.15308/Sinteza-2019-277-282, Conference: Sinteza 2019*

- ▶ *Στα πλαίσια της δημοσίευσης υπήρξε η υλοποίηση ενός μικροδικτύου με απώτερο σκοπό την προσαρμογή καμπυλών φορτίου σε πραγματικές συνθήκες*

*Ευχαριστώ πολύ*