

# Ενότητα 7\_α

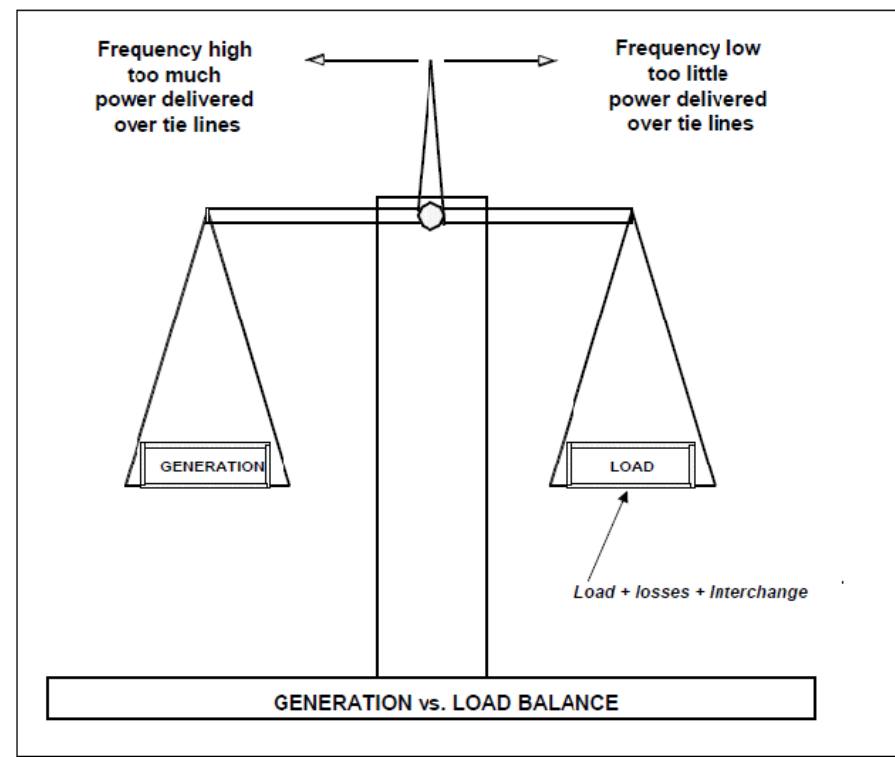
Σημασία της αποθήκευσης ενέργειας και  
παραδείγματα



# Σημασία της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

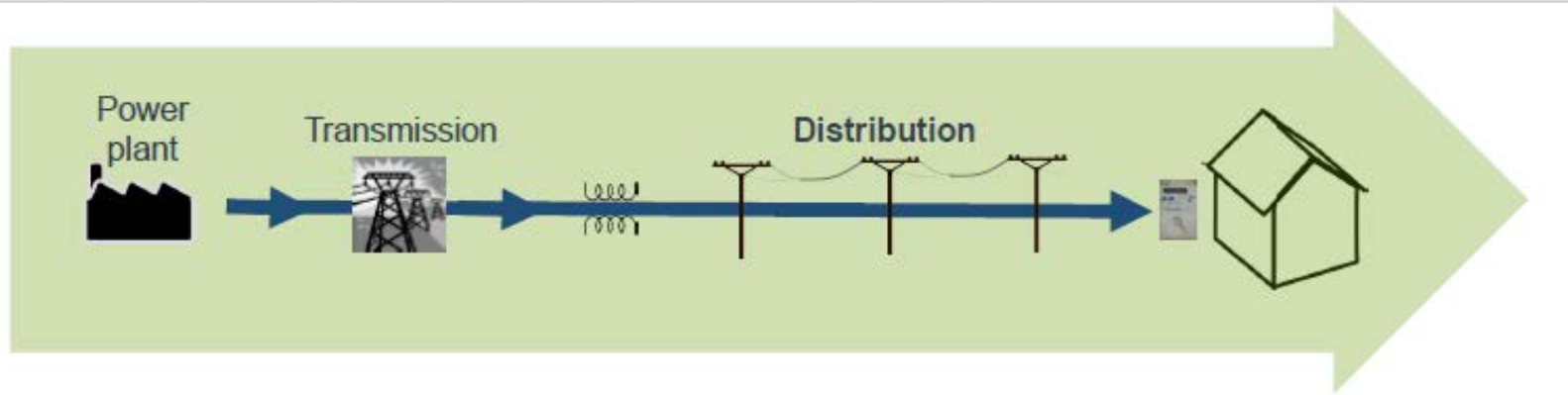
- Σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χρονική στιγμή η παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια πρέπει να είναι ακριβώς ίση με τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας.
- Αυτό σημαίνει ότι κάθε αυξομείωση στη ζήτηση ενέργειας πρέπει να αντιμετωπίζεται με **ισόποση και ταυτόχρονη** αυξομείωση της παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας.

■ Αυτό όμως είναι εφικτό στην πράξη?



# Σημασία της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Το συμβατικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

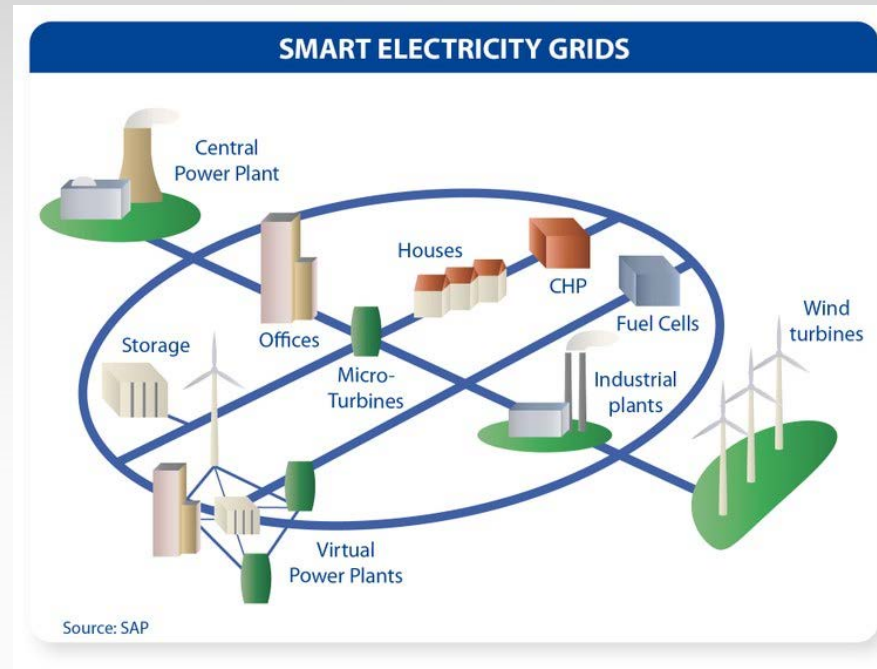


- Κάθε αλλαγής της ζήτησης πρέπει να αντιμετωπιστεί από τους σταθμούς παραγωγής (πόσο γρήγορα??)
- Και από τις διασυνδέσεις του συστήματος μεταφοράς ΗΕ
- Μήπως όμως και το συμβατικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας έχει τη δική του αποθηκευμένη ενέργεια??



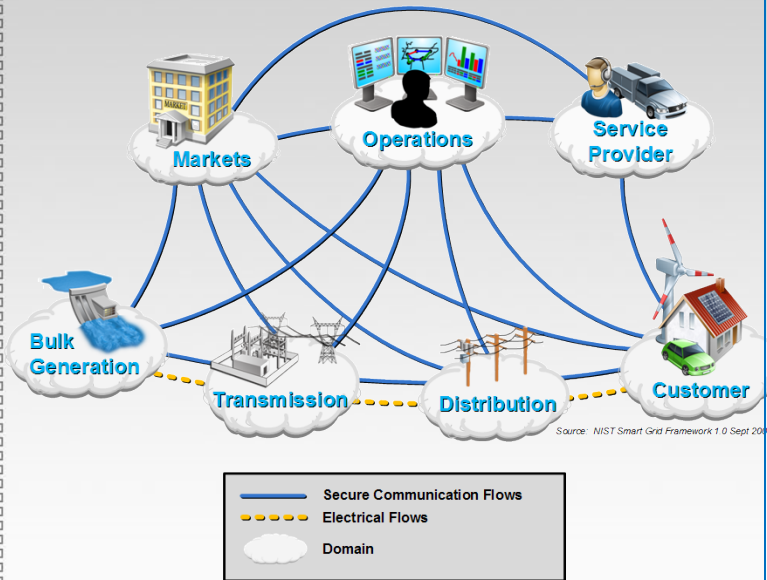
# Το μελλοντικό δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας

- Με κεντρική και με διανεμημένη παραγωγή
- Με αυξημένη διείσδυση ΑΠΕ
- Με τους καταναλωτές να γίνονται και παραγωγοί (prosumers)
- Με αμφίδρομη (πολύδρομη) ροή ισχύος
- Με φορτία που μπορεί να μεταβάλλονται σύμφωνα με την παραγωγή
- Με λειτουργία που να στηρίζεται σε μετρήσεις σε πραγματικό χρόνο



# Αυτό το δίκτυο πρέπει να είναι έξυπνο (smart)

## Conceptual Model



A SmartGrid is an electricity network that can **intelligently integrate** the actions of all users connected to it – generators, consumers and *those that do both* – in order to efficiently deliver sustainable, economic and secure electricity supplies.

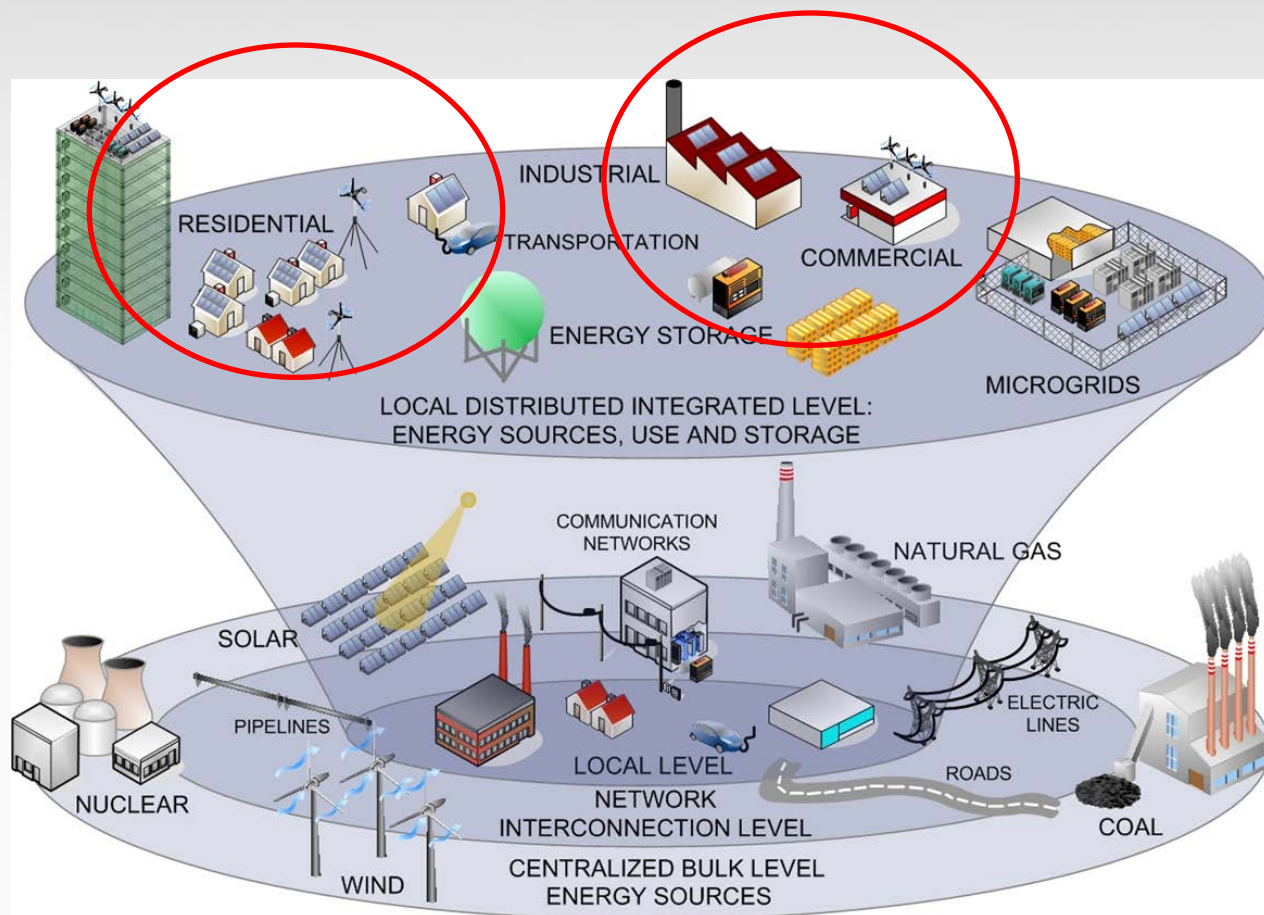
Source: European Technology Platform SmartGrids

A Smart Grid is self-healing, enables **active participation** of consumers, operate resiliently against attack and natural disasters, accommodate all generation and storage options, enable introduction of new products, services and markets, optimize asset utilization and operate efficiently, provide power quality for the digital economy.

Source: US Department of Energy

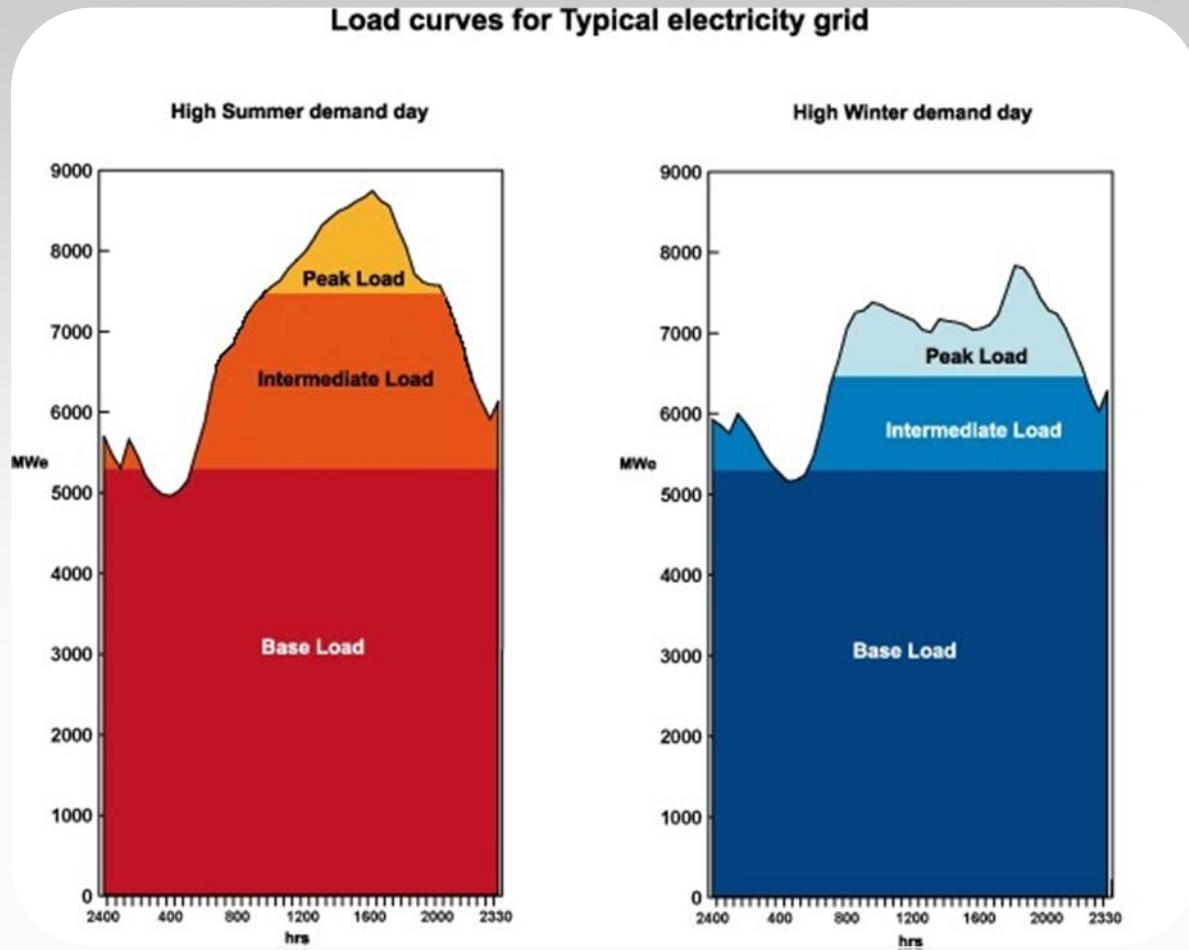
# Έξυπνα Δίκτυα και Συστήματα

Όπου πια το ενδιαφέρον επικεντρώνεται στα συστήματα διανομής, τους καταναλωτές-παραγωγούς και τη **συμμετοχή** τους στη διαχείριση του δικτύου, τις νέες μορφές φορτίων (πχ ηλεκτρικά οχήματα) και την ευέλικτη διαχείρισή τους.





# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας



Πώς είναι τα συνήθη φορτία του συστήματος ΗΕ

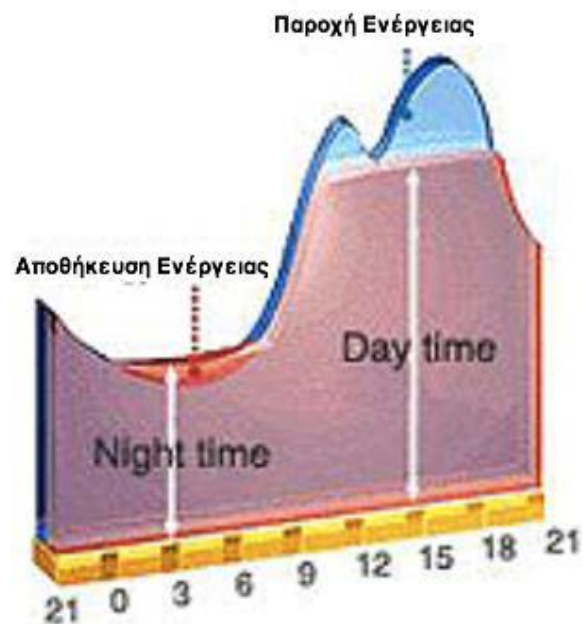
# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας

Διαχείριση της ζήτησης στο επίπεδο του καταναλωτή

## ● Ισοστάθμιση Φορτίου (Load Leveling)



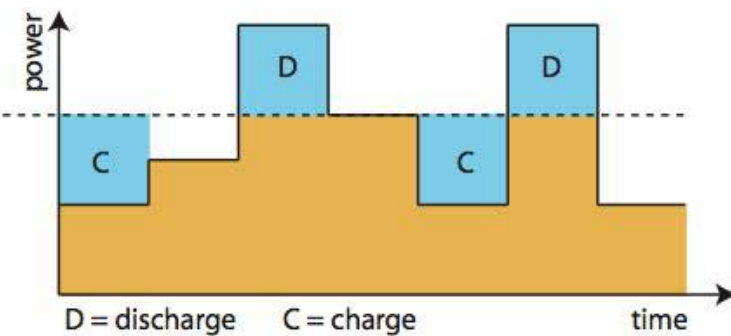
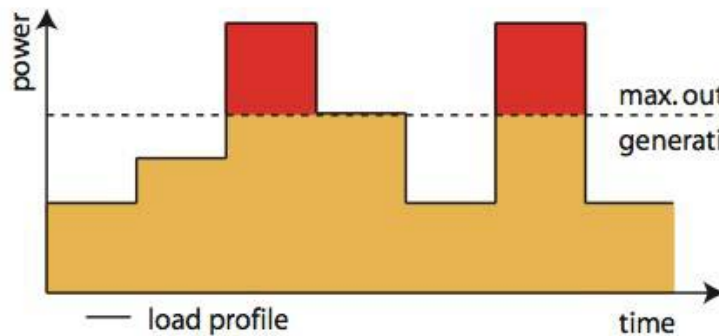
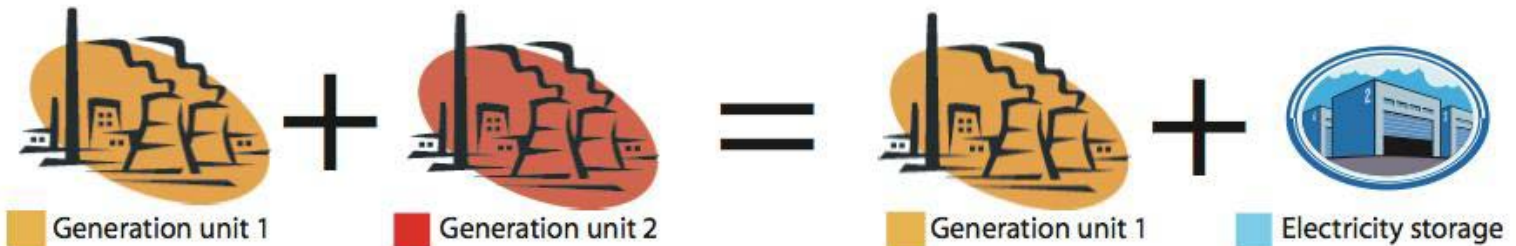
## ● Εξομάλυνση Αιχμών (Peak Shaving)





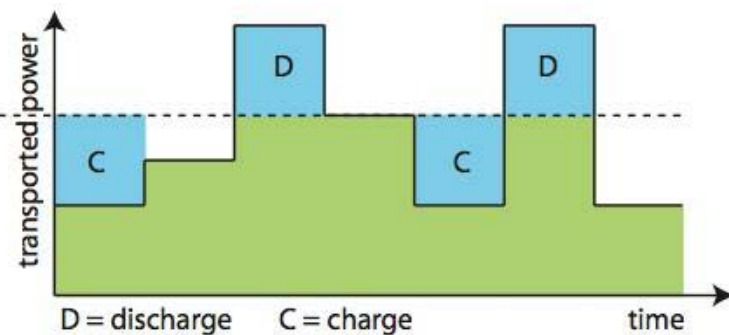
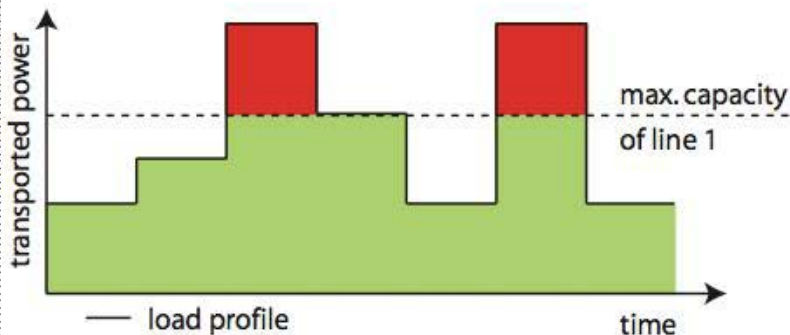
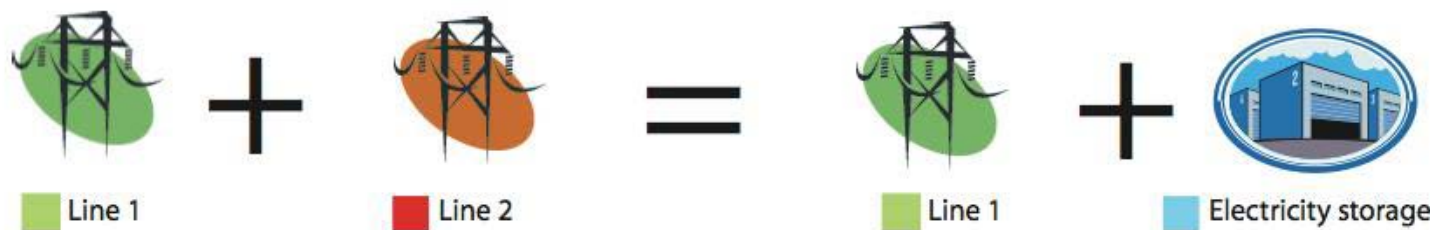
# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας

Και τι σημαίνει αυτό για το σύστημα??



Αναβολή αναβάθμισης μονάδων παραγωγής και ένταξης νέων στο σύστημα

# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας



Υποστήριξη του συστήματος μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, βελτιστοποίηση της αξιοποίησης των πόρων του συστήματος (assets)

# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας

## Βελτίωση της αξιοπιστίας του συστήματος

- Αποθηκευμένη ενέργεια μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε περιπτώσεις διακοπών (blackouts)
- ώστε συστήματα και εξοπλισμός να συνεχίσουν να λειτουργούν ή/και παράλληλα να εκκινήσουν και να ολοκληρωθούν σωστά οι διαδικασίες διακοπής (shutdown) - Λειτουργία UPS

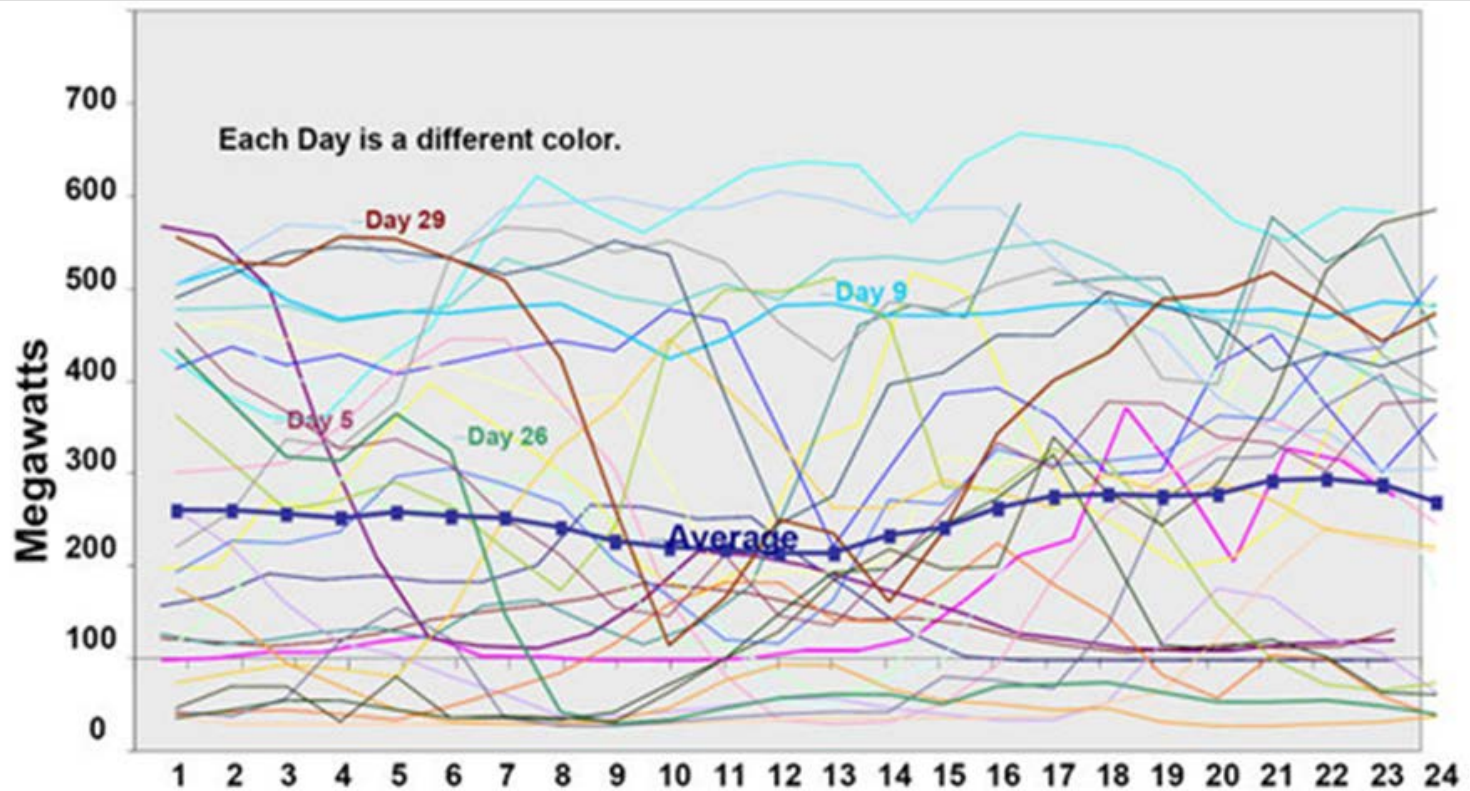
## Εξασφάλιση παραγωγής από ΑΠΕ και χρονική μετατόπιση της παραγωγής

- Οι ΑΠΕ δεν έχουν 'εγγυημένη' και σταθερή παραγωγή
- Ανάλογα με την πηγή μπορεί να εμφανίσουν σημαντικές και απρόβλεπτες διακυμάνσεις
- Οι χρόνοι παραγωγής από ΑΠΕ δεν συμπίπτουν υποχρεωτικά με τους χρόνους κατανάλωσης της ενέργειας



# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας

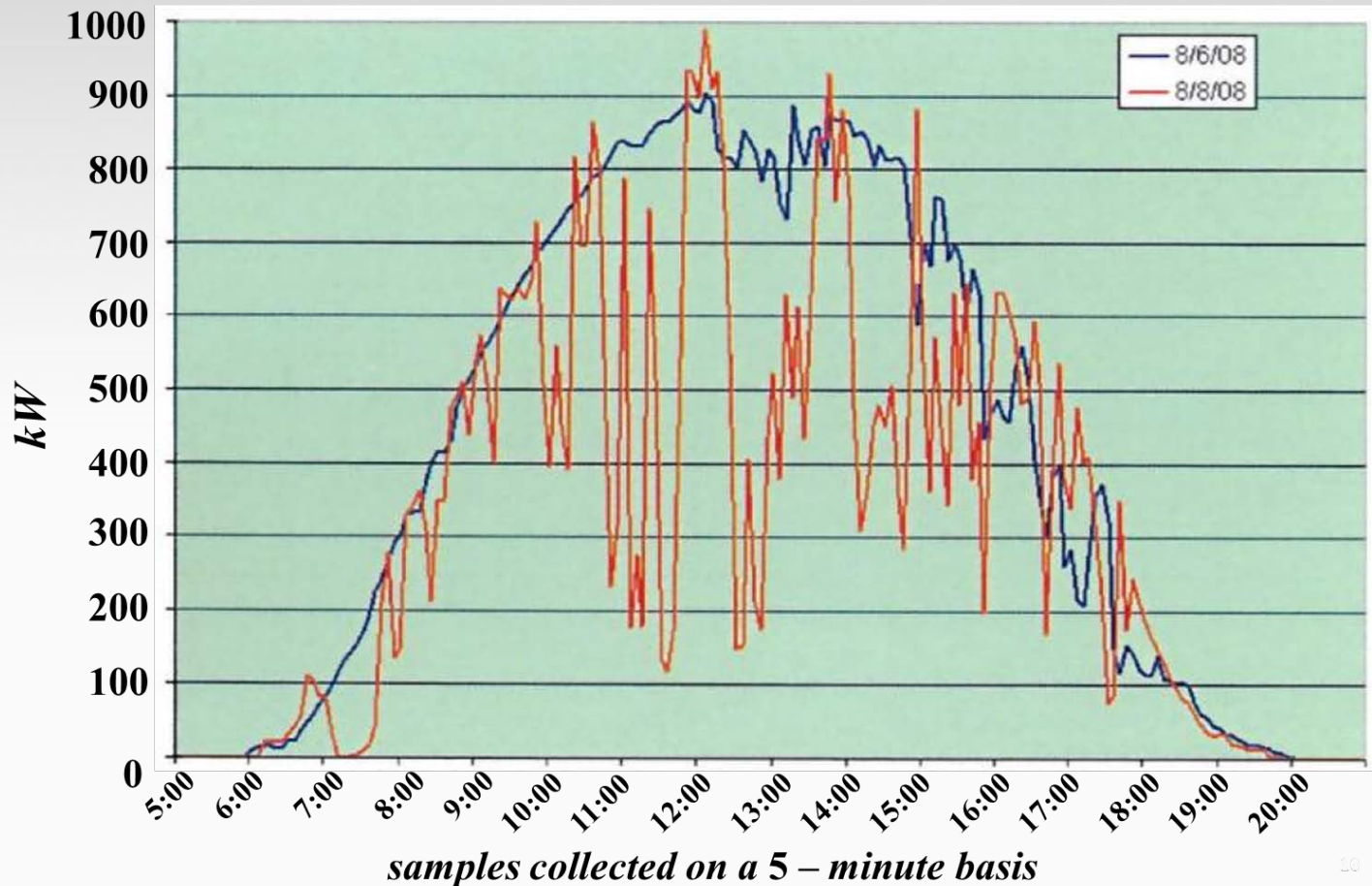
Παραγωγή από αιολική ενέργεια κατά τη διάρκεια ενός μήνα (ημερήσιες καμπύλες)



Πηγή: California ISO

# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας

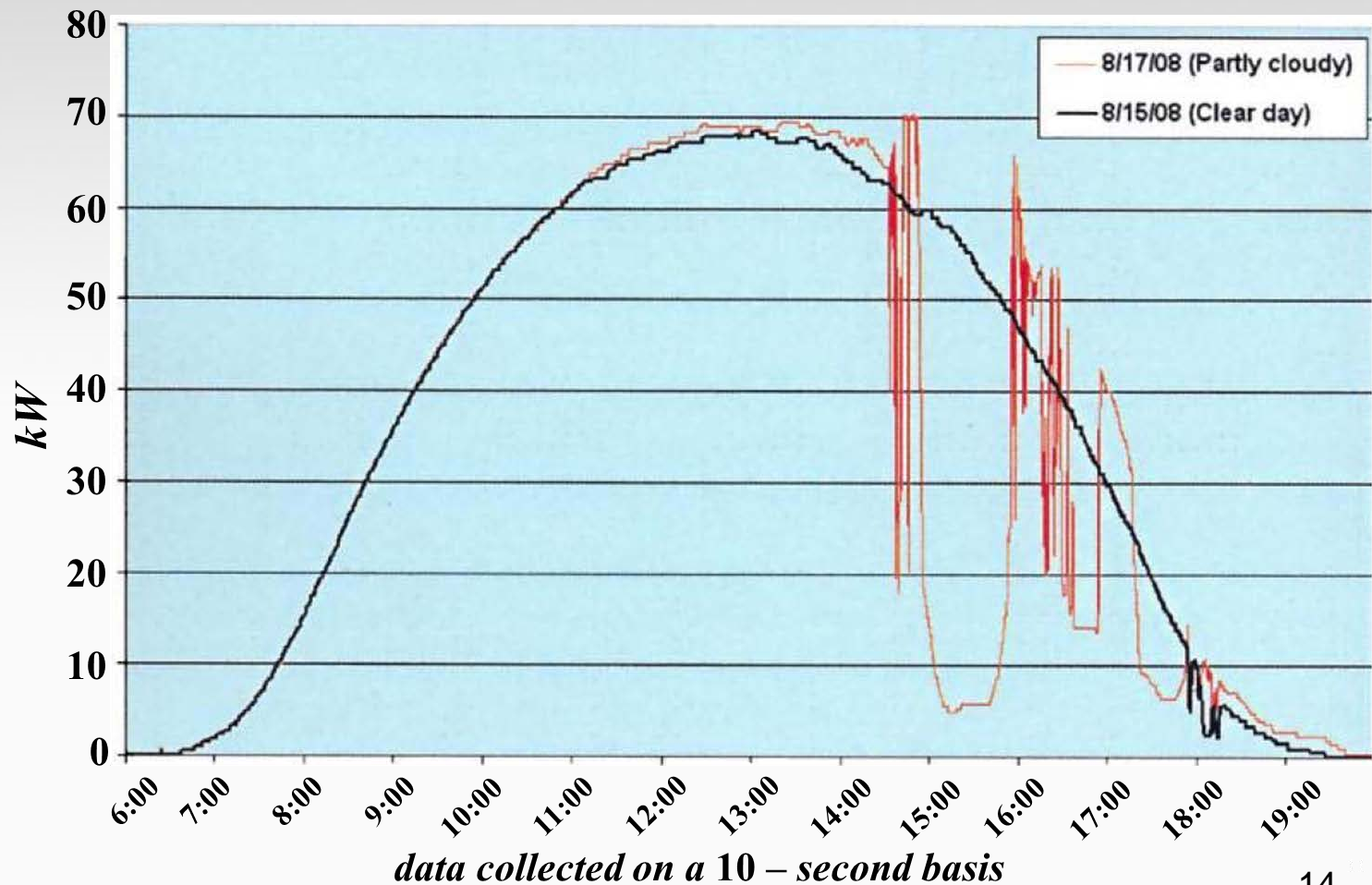
Καμπύλες παραγόμενης ισχύος ενός ΦΒ πάρκου στη Γερμανία





# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας

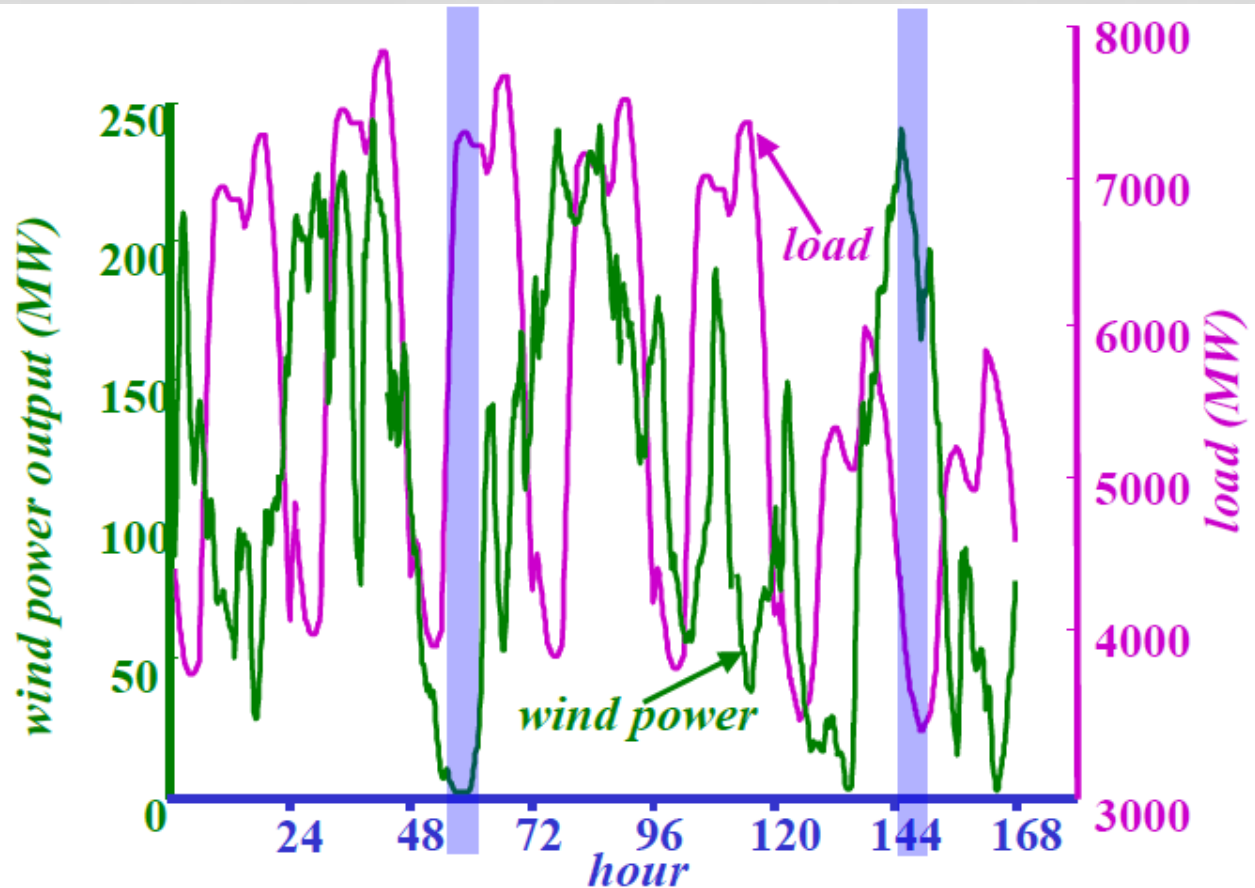
Καμπύλες παραγόμενης ισχύος ενός ΦΒ πάρκου στη Nevada USA





# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας

Κακός συγχρονισμός ανάμεσα σε παραγωγή από ΑΠΕ και ζήτηση (περίπτωση αιολικών)



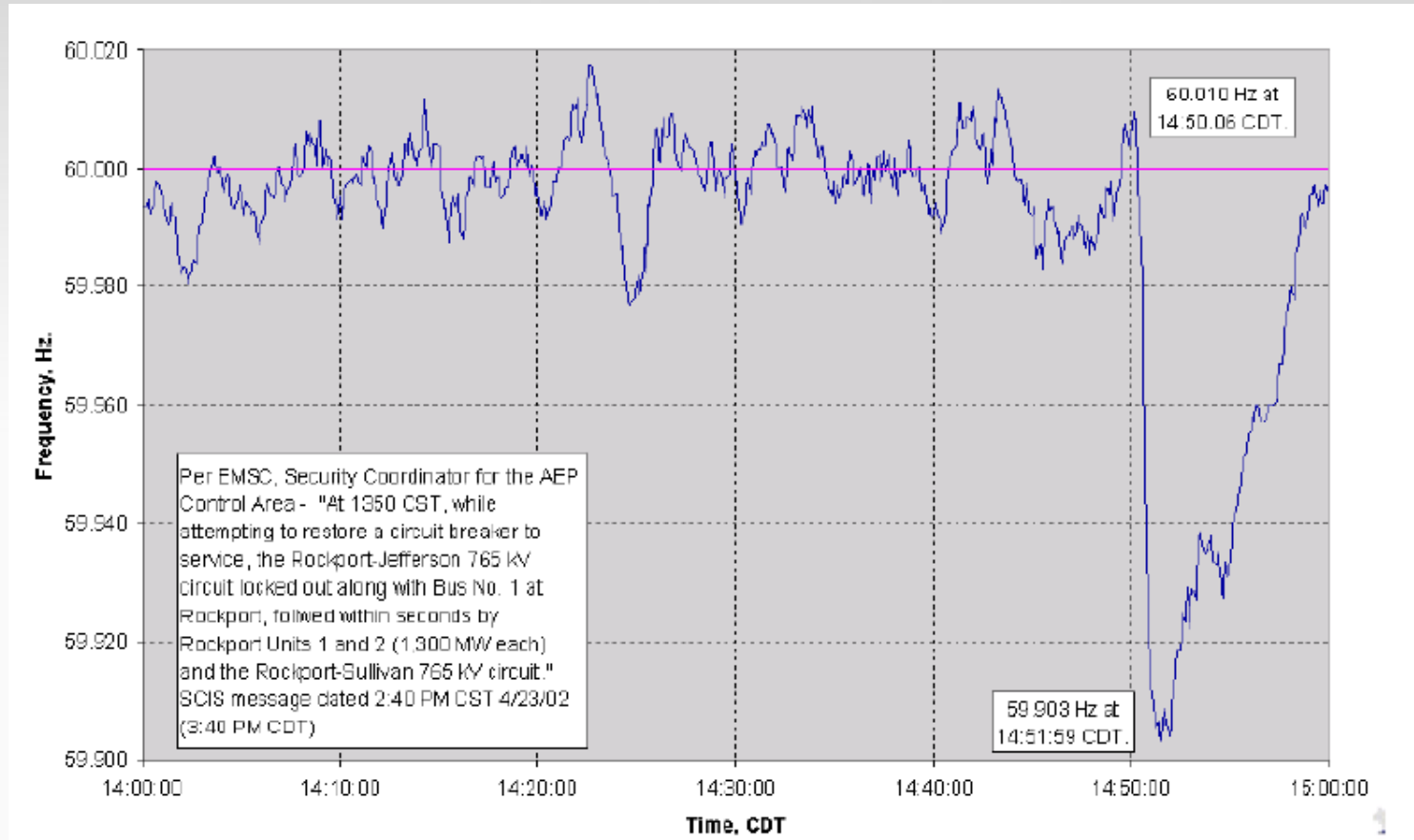
# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας



- Συνεπώς η αυξανόμενη διεύρυνση των ΑΠΕ δεν συνεπάγεται τον αντίστοιχο ‘παροπλισμό’ συμβατικών σταθμών παραγωγής.
- Πιθανόν ακριβώς το αντίθετο
- Το ποσοστό των ΑΠΕ σε σχέση με την εγκατεστημένη συμβατική παραγωγή δεν είναι γενικά γνωστό, ούτε και μπορεί να προσδιοριστεί με γενικούς κανόνες.
- Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της παραγωγής και της περιοχής μπορεί να κυμαίνεται από 30% - 50%
- Υπάρχουν και περιπτώσεις όπου για κάθε νέο MW από ΑΠΕ πρέπει να εγκαθίσταται και ένα νέο MW συμβατικής παραγωγής
- Για να χρησιμοποιηθεί μόνο στις περιπτώσεις που θα διακοπεί ξαφνικά η λειτουργία των ΑΠΕ
- Αλλά και τότε ίσως να μην μπορέσει να στηρίξει το σύστημα

# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας

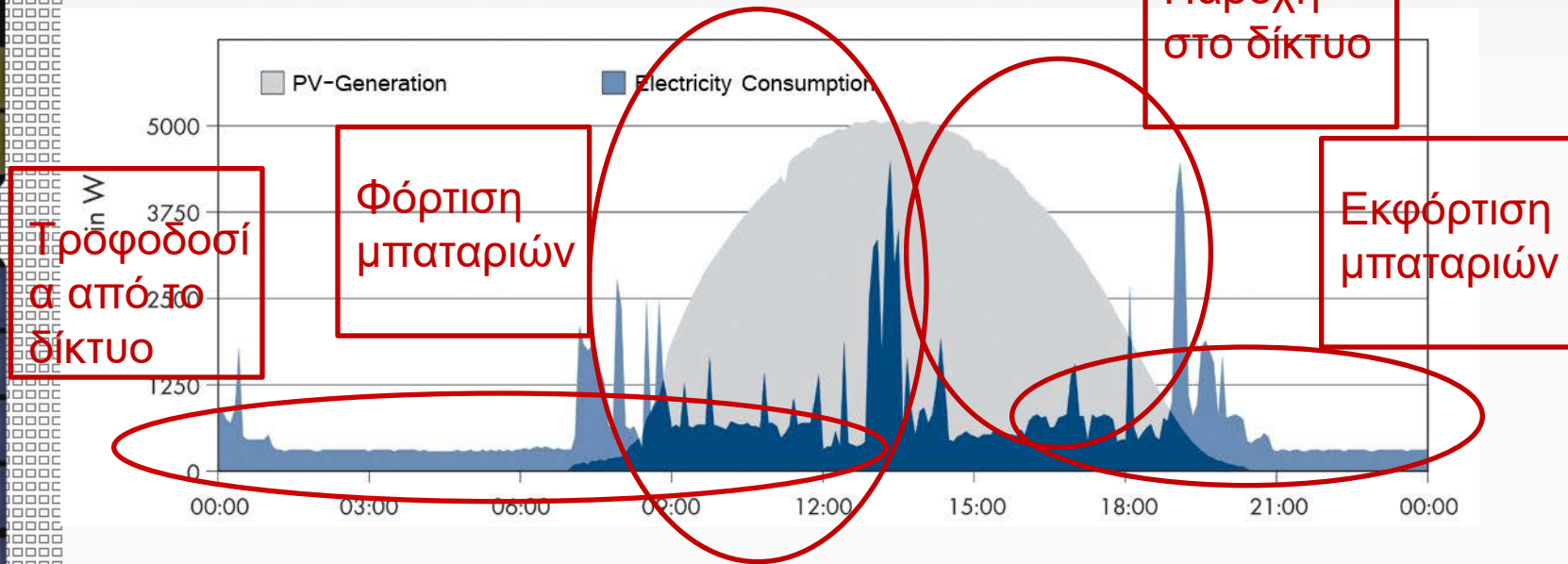
Και αυτό μπορεί να σημάνει την κατάρρευση του συστήματος!!



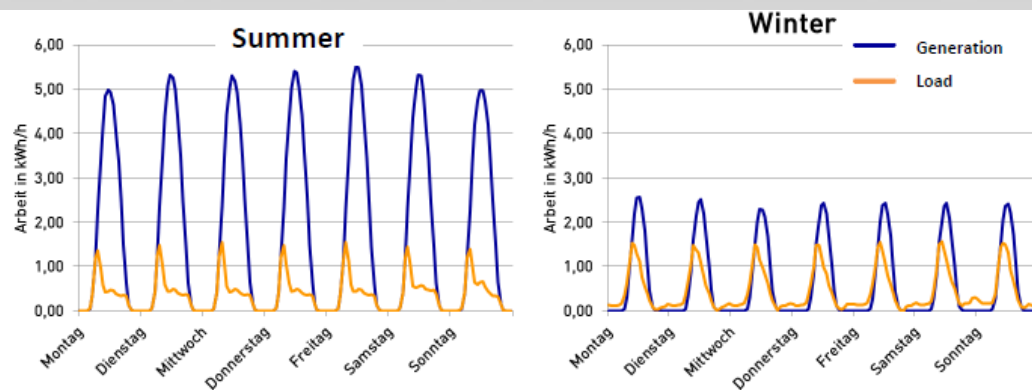


# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας

- Ιδιοπαραγωγή: Αν και ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα για τον καταναλωτή δεν λύνει το πρόβλημα της εξάρτησης από τον πάροχο ενέργειας
- Επιπλέον δεν είναι ούτε δεδομένο ότι ελαττώνει τις απαιτήσεις από το δίκτυο διανομής
- Αντίθετα, σε περίπτωση περίσσειας παραγωγής, μπορεί ακόμη και να οδηγήσει σε καταστάσεις που θα απαιτούν την ενίσχυση του δικτύου



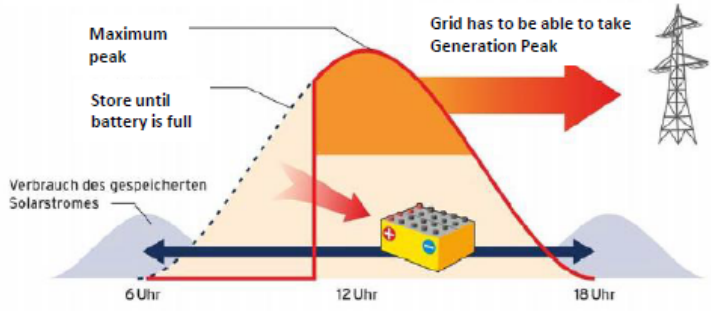
# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας



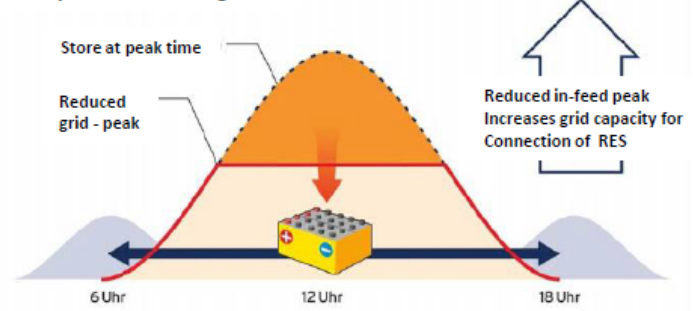
## Battery in a German household

- › Battery-capacity 5,4 kWh, dept of discharge 80 % (1,08 kWh)
  - › Increase of self-consumption 35% (from 1.911 to 3.194 kWh)
- Reduction of grid utilisation?

## Un-managed Storage

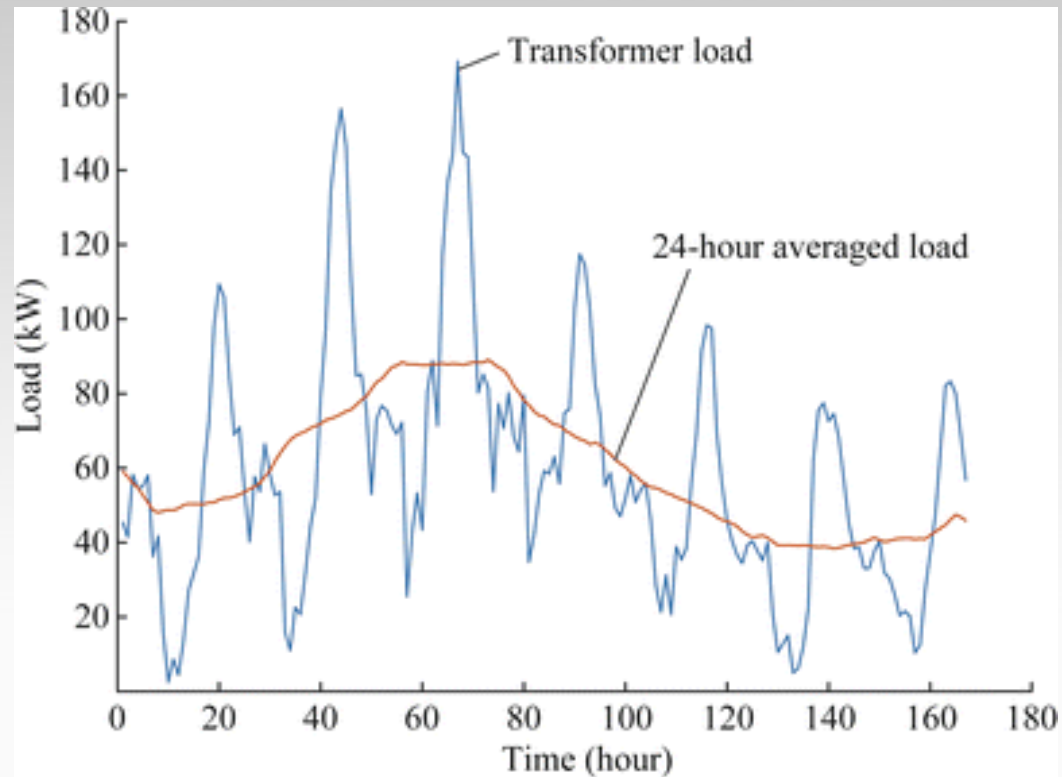


## Grid-optimised Storage



Quelle: BSW-Solar [www.solarwirtschaft.de](http://www.solarwirtschaft.de)

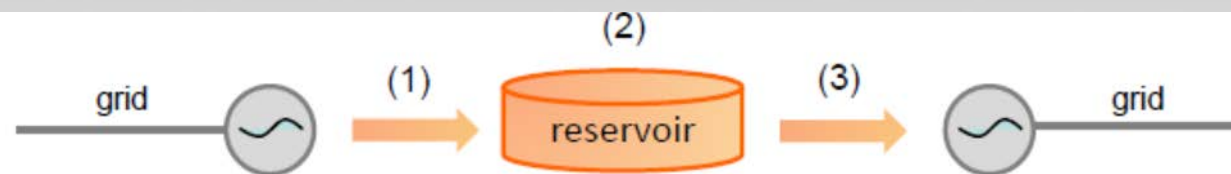
# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας



Με χρήση κεντρικής αποθήκευσης μπορούν να μειωθούν οι κορυφές, να εκλείψουν οι αντίστροφες ροές ισχύος, και έτσι αυξάνεται η διάρκεια ζωής του Μ/Σ



# Βασικά χαρακτηριστικά αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας



Τα 3 πράγματα που πρέπει να κάνει ένα σύστημα αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας:

- (1) Να καταναλώνει ενέργεια
- (2) Να αποθηκεύει ενέργεια
- (3) Να παράγει ενέργεια

# Βασικά χαρακτηριστικά αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

## Στάδια Λειτουργίας

- Φόρτιση

Μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε άλλη μορφή ενέργειας

- Αποθήκευση

Απώλειες ενέργειας! Αιτίες εξάτμιση, αυτοεκφόρτιση, άλλες

- Εκφόρτιση

Μετατροπή αποθηκευμένης ενέργειας σε ηλεκτρική

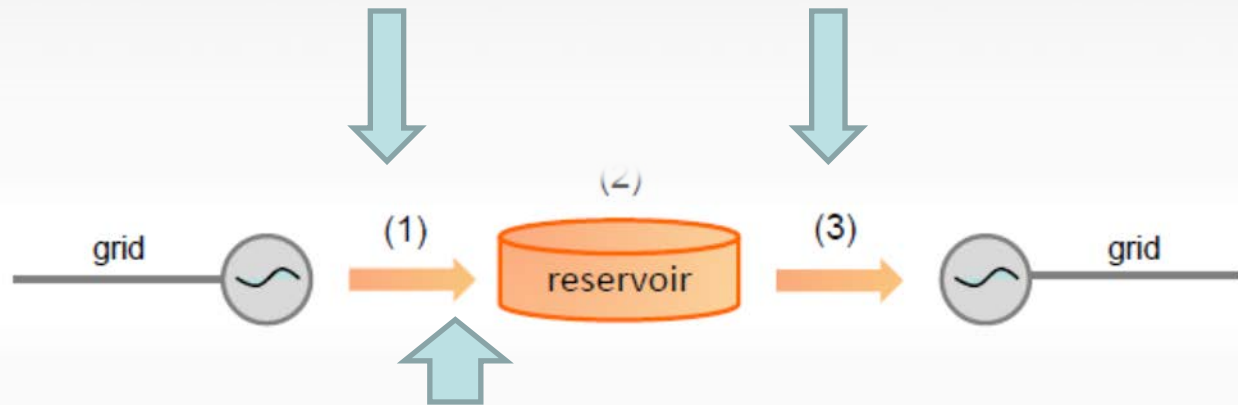
## Λειτουργικά τμήματα

- Χώρος αποθήκευσης (κοιλότητες, δεξαμενές κλπ)
- Χαρακτηριστικά ισχύος διασύνδεσης με το δίκτυο (φόρτισης και εκφόρτισης)
- Σύστημα ελέγχου φόρτισης εκφόρτισης

# Βασικά χαρακτηριστικά αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας

Η αξία του συστήματος ΑΗΕ προσδιορίζεται από τα χαρακτηριστικά του σε σχέση με μια σειρά από ιδιότητες όπως:

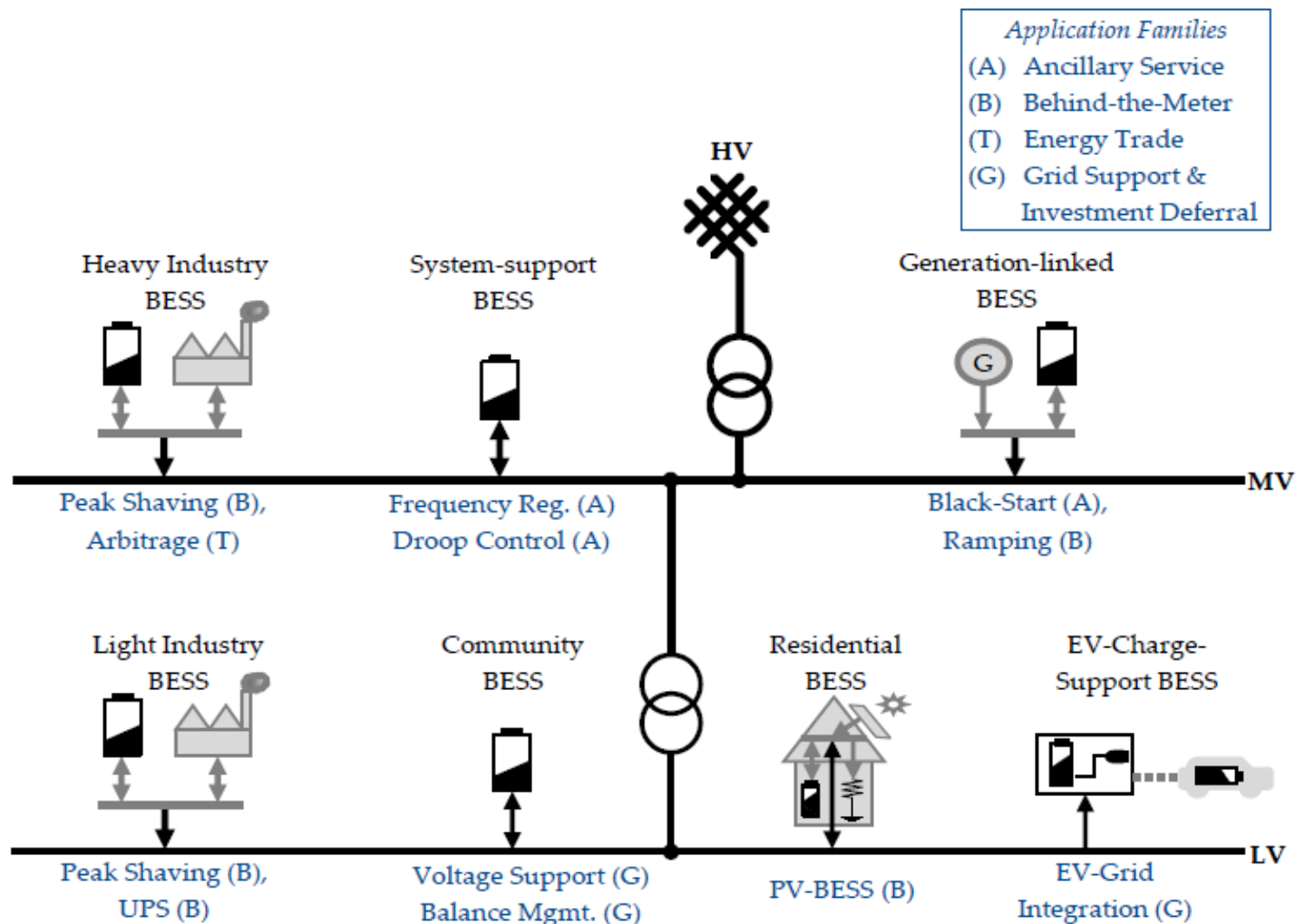
- Πόσο γρήγορα αντιδρά [ms-s-min]
- Τι δυνατότητες παρέμβασης προσφέρει [kW-MW]
- Για πόσο χρόνο [s, min, h]



Ενώ η χωρητικότητα 'παίζει' και στην αγορά της ενέργειας



# Τυπικές χρήσεις ΣΑΕ στη ΧΤ και ΜΤ



# Κατηγορίες εφαρμογών και έσοδα

**Table 5.** Application tasks of storage systems classified to application families. Source of revenue is listed for an exemplary (ex.) stakeholder via respective storage application.

Application Family	Application	Revenue Stream— $\mathbb{P}_{APL}$	Stakeholder (ex.)
Ancillary Service (A)	Frequency Regulation Black-Start Droop control	Auction Profit ISO Contract DSO/ISO Contract	Enterprise Electric Utility All Feeders
Behind-the-Meter (B)	PV-BESS Peak-Shaving UPS Ramping	Retail Tariff Savings Peak Tariff Reduction Reliability Value Enhancement DSO/ISO Regulation Compliance	Private Sector Industry Industry RES Feeders
Energy Trade (T)	Arbitrage	Energy Exchange Markets	Enterprise
Grid Support and Investment Deferral (G)	Voltage Support EV-Grid Integration Balance Management	Red. Utility Cost Red. Power Link Cost ISO contract	DSO/Enterprise Enterprise DSO
Combined Applications	Multiple Appl. Island-/Micro-Grid V2G	Value Stacking Reduced Fuel Cost Value Stacking	Various Grid Operator Various

# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας

Μπορεί να προσφέρει επικουρικές υπηρεσίες στο δίκτυο (ancillary services – AS). Αυτές περιλαμβάνουν

- **Ρύθμιση ισχύος συχνότητας:** Όταν συμβεί σε ένα ΣΗΕ απώλεια κάποιας μονάδας παραγωγής ή μιας γραμμής μεταφοράς, η συχνότητα του δικτύου θα παρουσιάσει πτώση και θα συνεχίσει να μειώνεται μέχρι να αποκατασταθεί η ισορροπία μεταξύ παραγωγής και φορτίου. Επειδή τα ΣΑΕ μπορούν να προσφέρουν ενεργή ισχύ πολύ γρήγορα, είναι μια αποτελεσματική μέθοδος για την αντιστάθμιση της απώλειας ισχύος
- **Ρύθμιση τάσης:** Μεταβολές της τάσης που ακολουθούν διαταραχές στο δίκτυο και που μπορούν να διαρκέσουν για 10 – 20 κύκλους προϋποθέτουν δράσεις στήριξης της τάσης μέσω ρύθμισης της άεργης ισχύος. Ένα ΣΑΕ με τους αντίστοιχους μετατροπείς μπορούν να προσφέρουν στήριξη της τάσης σε ένα δίκτυο



# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας

Μπορεί να προσφέρει επικουρικές υπηρεσίες στο δίκτυο (ancillary services – AS). Αυτές περιλαμβάνουν:

- **Εξισορρόπηση φορτίου (εφεδρεία)**– Η αποθηκευμένη ενέργεια ενός ΣΑΕ μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εφεδρική παροχή ισχύος για φορτία σε περιπτώσεις διακύμανσης της παρεχόμενης ισχύος από το δίκτυο
- **Αυτοδύναμη εκκίνηση (blackstart)** – Ένα ΣΑΕ μπορεί να παρέχει την ισχύ για εκκίνηση μονάδας παραγωγής έτσι ώστε να μη χρειάζεται να απορροφήσει ισχύ από το δίκτυο σε περίπτωση blackout
- **Διαχείριση συμφορήσεων (congestion management)** – Πολλά σημεία του δικτύου (ΓΜ, ΜΣ κλπ) μπορεί να υπερφορτίζονται κάποιες στιγμές της ημέρας. Ένα ΣΑΕ μπορεί να ανακουφίσει δραστικά αυτές τις συμφορήσεις

# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας

- Οι επικουρικές υπηρεσίες αναφέρονται όμως στο δίκτυο μεταφοράς και στο διαχειριστή του (TSO). Τα ΣΑΕ είναι συνήθως στο δίκτυο διανομής!!
- Και εκεί δεν υπάρχουν (ακόμη) επικουρικές υπηρεσίες
- Αλλά έχουμε την ποιότητα της ισχύος!!
- Το πρότυπο EN 50160 προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά εκείνα που πρέπει να διαθέτει το δίκτυο διανομής
- Και κάποιες ενδιαφέρουσες περιπτώσεις, όπου ένα ΣΑΕ μπορεί να συμβάλλει είναι και οι παρακάτω:



# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας

Η ποιότητα της ισχύος (power quality) αφορά σε:

- **Ποιότητα τάσης**– Η τάση του συστήματος δεν επιτρέπεται να μεταβάλλεται έξω από συγκεκριμένα ποσοστά (συνήθως +/- 10%) για συγκεκριμένες χρονικές περιόδους. Η υψηλή διείσδυση διανεμημένης παραγωγής δημιουργεί συνήθως υπερτάσεις στις γραμμές ΜΤ και ΧΤ.
- **Αρμονική παραμόρφωση (total harmonic distortion)**
- **Κυμάτωση τάσης (voltage flicker)**
- **Βυθίσεις και ανυψώσεις τάσης** – Που έχουν σαν αποτέλεσμα την αποσύνδεση καταναλωτών ή παραγωγών από το δίκτυο.
- Ένα ΣΑΕ μπορεί να συμβάλλει καθοριστικά στις περιπτώσεις 1 & 4



# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας

## Αύξηση της εκμετάλλευσης των ΑΠΕ

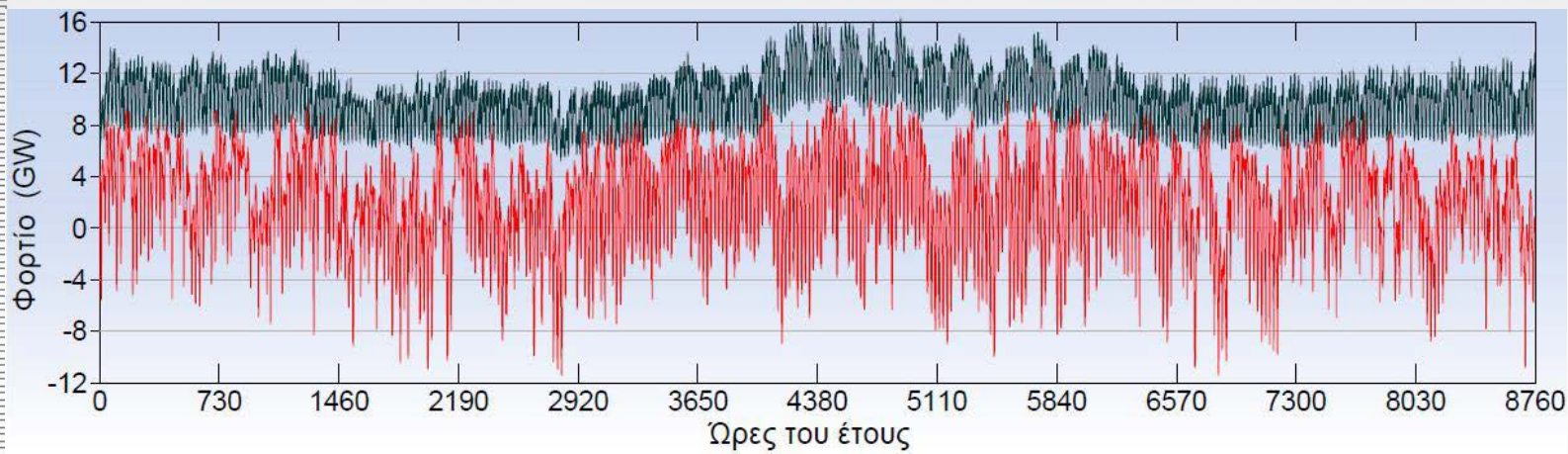
- Στοχαστικότητα στην παραγωγή
- Ετεροχρονισμός παραγωγής και ζήτησης
- Προβλήματα στο δίκτυο (υπερτάσεις, συμφόρηση κλπ)
- Η παραγόμενη ενέργεια από τις ΑΠΕ πολλές φορές δεν μπορεί να εισαχθεί στο δίκτυο.
- Και σε αντίθεση με τις συμβατικές πηγές οι ΑΠΕ δεν είναι προγραμματιζόμενες (dispatchable)
- Έτσι πολλές φορές η παραγωγή τους είτε πρέπει να μηδενιστεί είτε να περικοπεί!!



# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας

Ένα σενάριο.

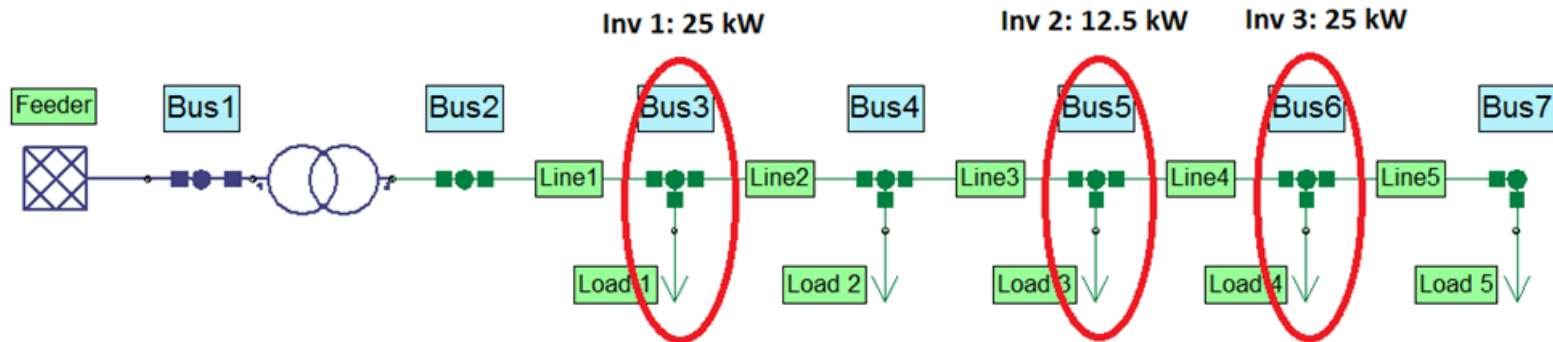
Πρόβλεψη πραγματικού και υπολοιπόμενου φορτίου για το 2050 στην Ελλάδα με θεώρηση 80% ΑΠΕ



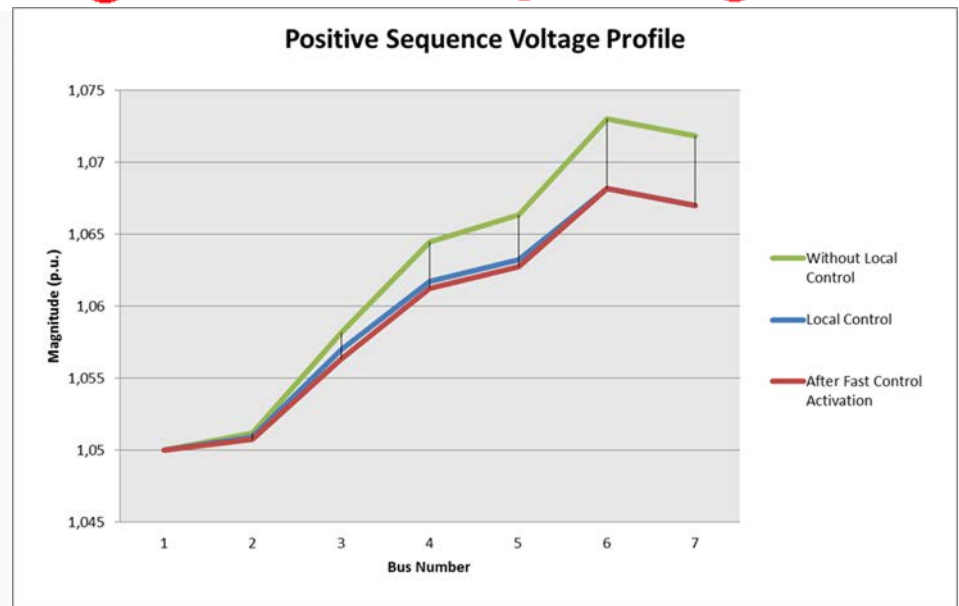
Πηγή: Store Project

# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας

Και ακόμη ένα σενάριο. Σήμερα, ΦΒ σε ένα δίκτυο ΧΤ



Πηγή: INCREASE Project



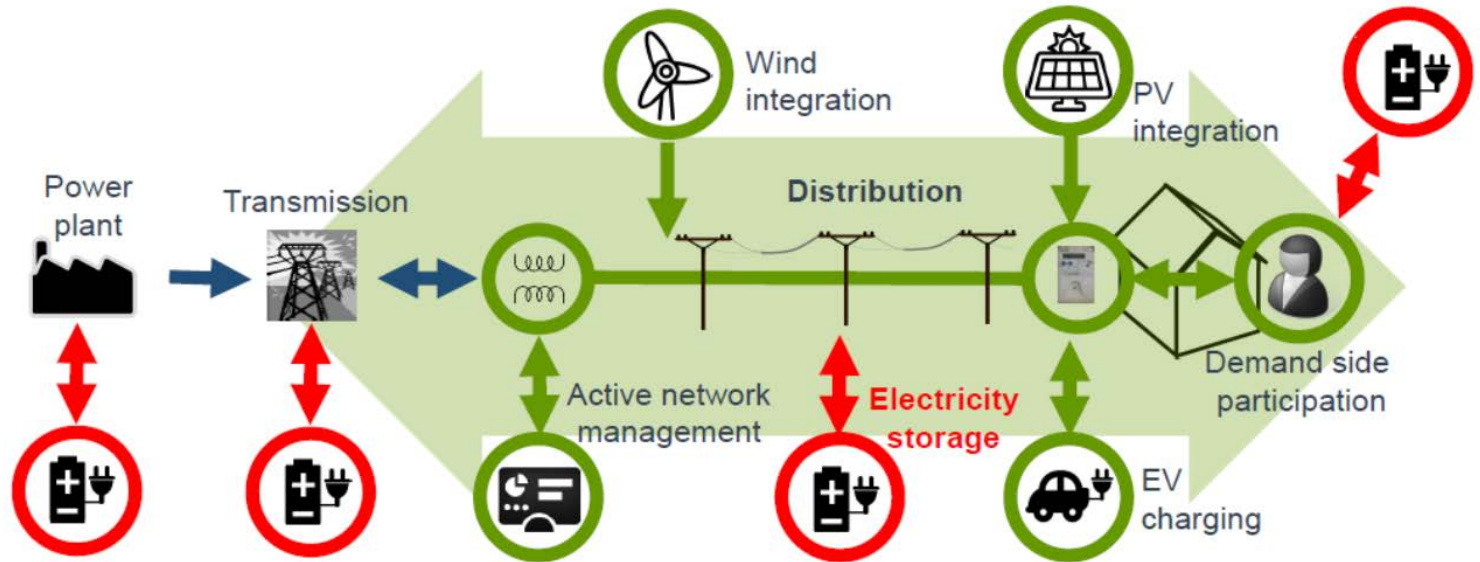


# Που συμβάλλει η αποθήκευση ενέργειας

Και μερικά ακόμη.....:

- Αγοραπωλησία ηλεκτρικής ενέργειας (bulk electricity price arbitrage)  
‘Ψωνίζοντας’ φθηνά και πουλώντας ακριβά!!  
(αποθηκεύοντας ΗΕ στο ενδιάμεσο)
- Αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στο ... δίκτυο!!  
Ναι και αυτό γίνεται .. Σε συστήματα κεντρικής αποθήκευσης ή σε διαχειριστές ΣΑΕ!!

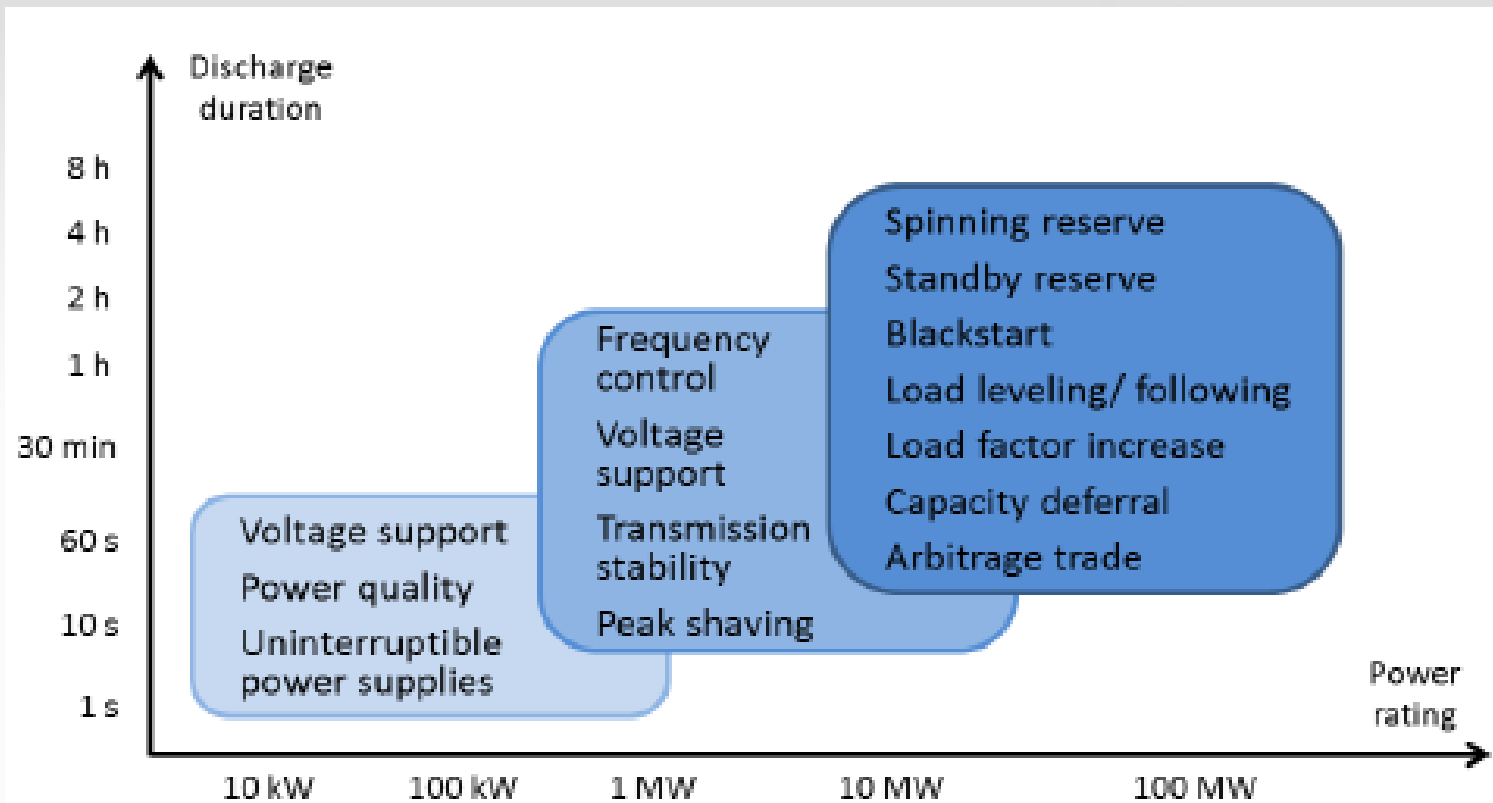
# Τα επόμενα βήματα



Αποθήκευση ενέργειας σε όλα τα επίπεδα του δικτύου, από τον καταναλωτή μέχρι το δίκτυο μεταφοράς και την μαζική παραγωγή

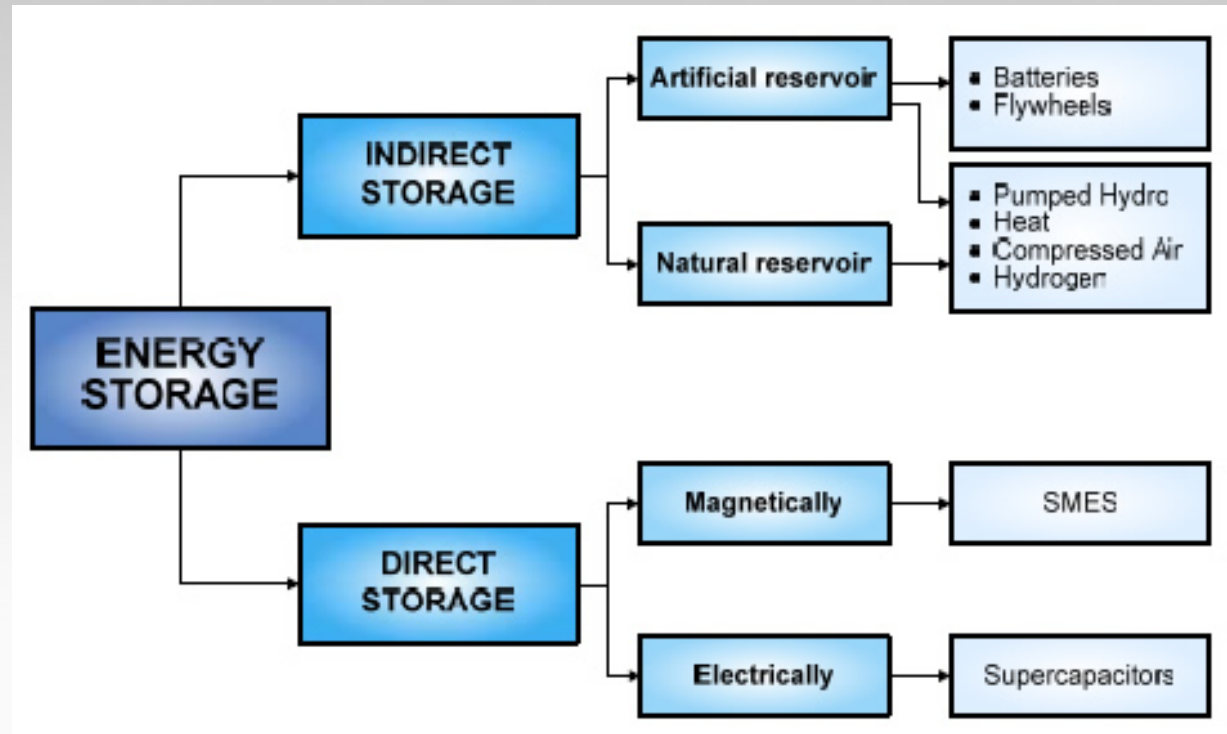
# Τα επόμενα βήματα

Οδηγός υπηρεσιών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας





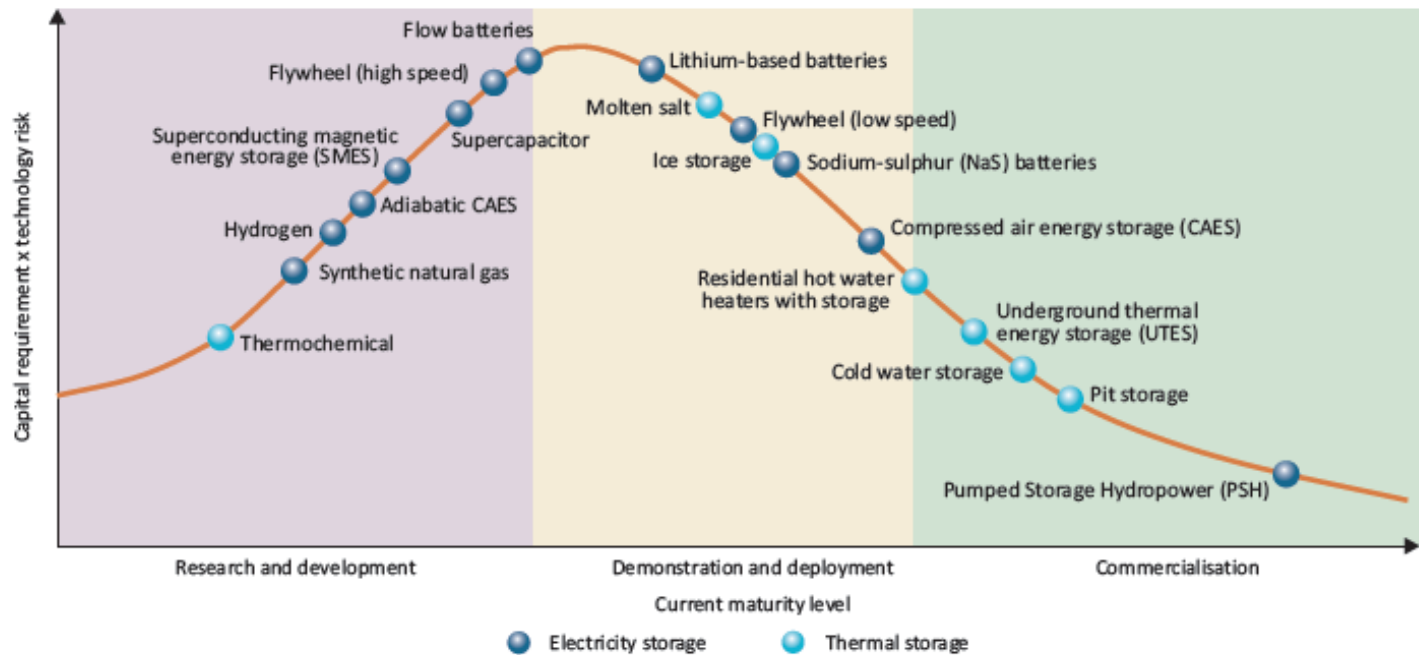
# Τα επόμενα βήματα



J. I. San Martín et al. Energy Storage Technologies for Electric Applications

Οι βασικές μορφές της αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας (ΑΗΕ) κατά τρόπο αποθήκευσης

# Γενική επισκόπηση



Πηγή: IEA Technology Roadmap Energy Storage, 2014