

# Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας

Αντώνης Παπαβασιλείου, ΕΜΠ

# Περιεχόμενα

- Διαδικαστικά
- Περιγραφή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ)
  - Παραγωγή
  - Μεταφορά και διανομή
  - Κατανάλωση
- Λειτουργία ΣΗΕ
- Ιστορική εξέλιξη ΣΗΕ
- Επιχειρησιακή έρευνα και ΣΗΕ

# Περιεχόμενο και διαδικαστικά

# Περιεχόμενα

- Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή (Παπαβασιλείου)
- Κεφάλαιο 2: Τριφασικά Συστήματα (Παπαβασιλείου)
- Κεφάλαιο 3: Μαγνητικά Πεδία και Κυκλώματα (Κλαδάς)
- Κεφάλαιο 4: Μετασχηματιστές (Κλαδάς)
- Κεφάλαιο 5: Παράσταση Συστήματος Ηλεκτρικής Ενέργειας (Παπαβασιλείου)
- Κεφάλαιο 6: Ηλεκτρομηχανική Μετατροπή Ενέργειας (Κλαδάς)
- Κεφάλαιο 7: Εισαγωγή στις Μηχανές Εναλλασσομένου Ρεύματος (Κλαδάς)
- Κεφάλαιο 8 : Σύγχρονες Μηχανές (Κλαδάς)
- Κεφάλαιο 9 : Τριφασικές Μηχανές Επαγωγής (Κλαδάς)
- Κεφάλαιο 10 : Μελέτη Ροών Φορτίου (Παπαβασιλείου)

# Ασκήσεις

- Προαιρετικές ασκήσεις προς επίλυση
- Παράδοση σε δύο βήματα μετά την ολοκλήρωση παραδόσεων αντίστοιχων ενοτήτων του μαθήματος
- Οι ασκήσεις διαφέρουν ανά τμήμα και υποβάλλονται σε πρωτότυπη χειρόγραφη μορφή

# Εργαστήρια

- Δύο εργαστήρια:
  - Εργαστηριακή άσκηση χειρισμών
  - Ψηφιακή εργαστηριακή άσκηση ανάλυσης ροής φορτίου στο Powerworld
- Ο βαθμός εργαστηρίου των 2 προηγούμενων ετών ισχύει, αλλά οι Ασκήσεις πρέπει να επαναληφθούν.

# Βαθμολόγηση

- Γραπτή εξέταση: 80%
- Ασκήσεις: 10%
- Εργαστήριο: 10%
  
- Ασκήσεις και εργαστήριο είναι προαιρετικά
- Σε περίπτωση που ο μέσος όρος είναι μικρότερος από το βαθμό του διαγωνίσματος, ο τελικός βαθμός προκύπτει μόνο από το διαγώνισμα (με άριστα το 10)
- Τα θέματα των εξετάσεων θα είναι κοινά για όλα τα τμήματα

# Βιβλιογραφία

- **Βιβλιογραφία μαθήματος**

Κ. Βουρνά, Εισαγωγή στα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας, Εκδόσεις Συμμετρία, 2010

- **Άλλη σχετική βιβλιογραφία**

Glover, J. Duncan, Mulukutla S. Sarma, and Thomas Overbye. Power system analysis & design, SI version. Cengage Learning, 2012

El-Hawary, Mohamed E. Introduction to electrical power systems. John Wiley & Sons, 2008



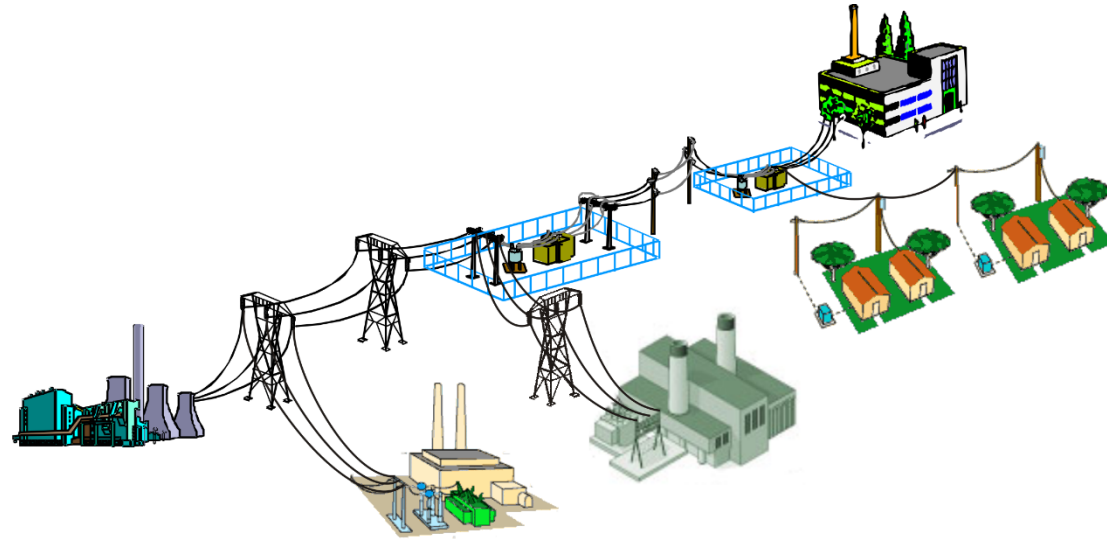
# Περιγραφή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Παραγωγή

Μεταφορά και διανομή

Κατανάλωση

# Δομή συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας



Επιμέρους στοιχεία συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας:

- Παραγωγή
- Μεταφορά και διανομή
- Κατανάλωση

# Ορισμοί και σύμβολα: ισχύς

- Ισχύς: στιγμιαία κατανάλωση ενέργειας
- Μονάδες:
  - Watt (W): τάση  $\times$  ένταση συνεχούς ρεύματος
  - kW:  $1 \times 10^3$  Watt
  - MW:  $1 \times 10^6$  Watt
  - GW:  $1 \times 10^9$  Watt
- Εγκατεστημένη ισχύς παραγωγής στην Ελλάδα: 18.5 GW (2019)
- Αιχμή φορτίου στην Ελλάδα: 8.5 GW (2018)

# Ορισμοί και σύμβολα: ενέργεια

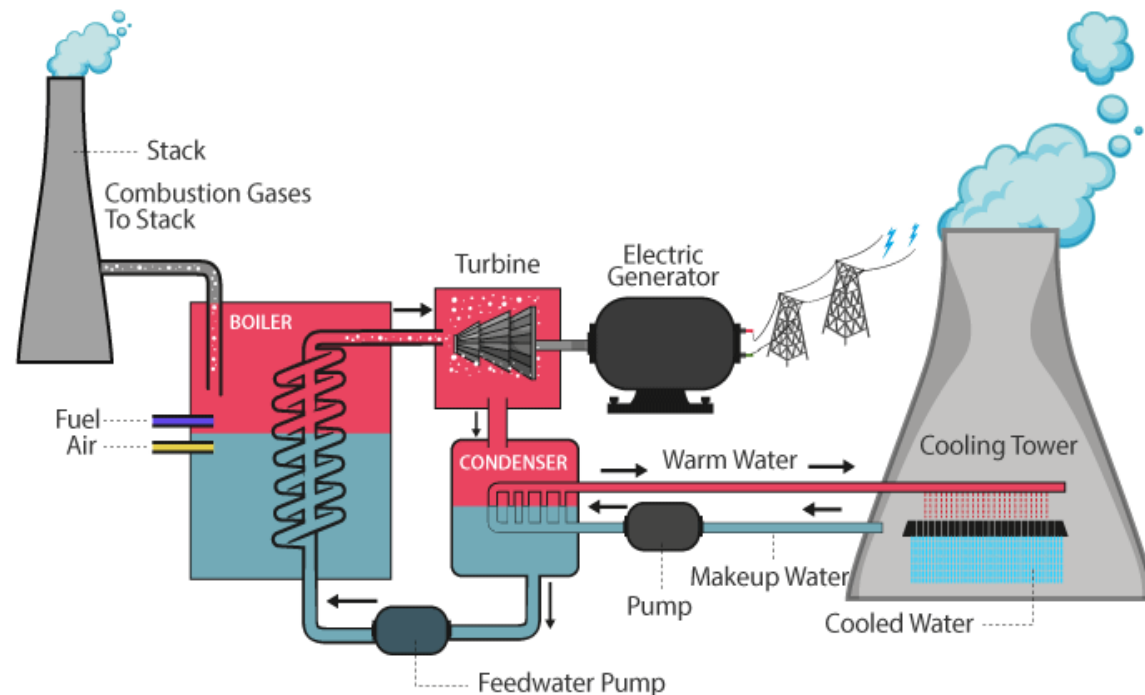
- Ενέργεια: ισχύς σε διάρκεια χρόνου (ολοκλήρωμα) – το ζητούμενο από ένα ΣΗΕ
- Μονάδες:
  - Joule = 1 Watt-second (J)
  - kWh = Kilowatthour ( $3.6 \times 10^6$  J)
  - Btu = 1055 J
  - 1 Mbtu = 0.292 MWh
- Ετήσια κατανάλωση ενέργειας στην Ελλάδα: 46.7 GWh

# Παραγωγή

- Μη-ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:
  - Ορυκτά καύσιμα (άνθρακας, πετρέλαιο, φυσικό αέριο)
  - Πυρηνικά
- Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:
  - Υδροηλεκτρική (ροή ποταμού, φράγματα, αντλιοστάσια)
  - Γεωθερμική
  - Αιολική
  - Ηλιακή
  - Βιομάζα
  - Άλλες πηγές (κυματική, παλιρροιακή)

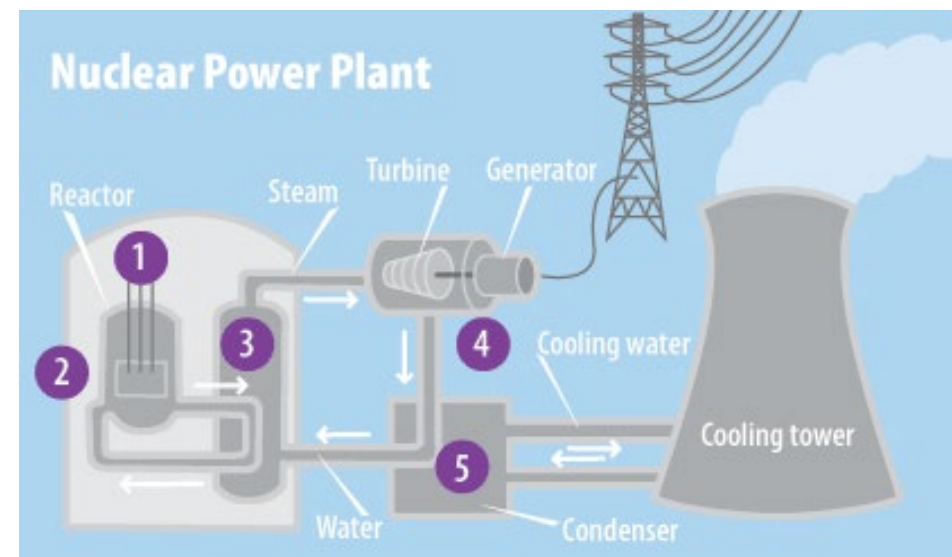
# Τεχνολογίες ορυκτών καυσίμων

- Μετατροπή χημικής ενέργειας (από άνθρακα, πετρέλαιο, φυσικό αέριο) σε ηλεκτρισμό
- Παραδοσιακά φθηνή ενέργεια (αλλά όχι πρόσφατα, βλέπε ενεργειακή κρίση φυσικού αερίου 2021-2022)
- Εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα



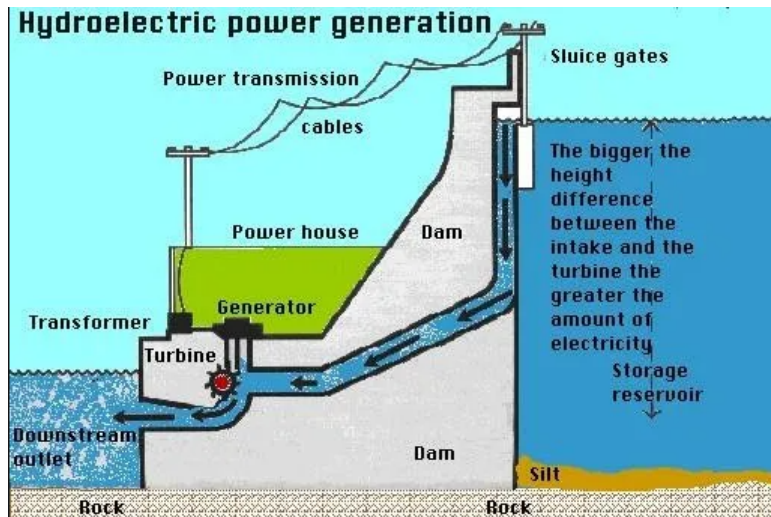
# Πυρηνική ενέργεια

- Πυρηνική σχάση θερμαίνει νερό, η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό
- Φθηνή
- Μηδενικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα
- Καταστροφική σε περίπτωση ατυχήματος

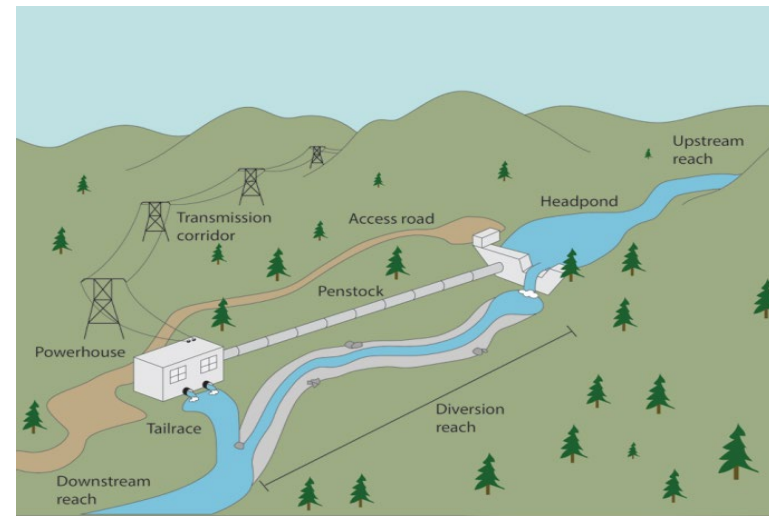


# Ανενεώσιμες πηγές ενέργειας: υδροηλεκτρική

- Υδροηλεκτρικά με αποταμιευτήρες



- Χωρίς αποταμιευτήρες (run of river)



- Μηδενικές εκπομπές CO2
- Το φυσικό περιβάλλον επηρεάζεται σημαντικά
- Περιορισμένη διαθεσιμότητα



# Ανενεώσιμες πηγές ενέργειας: αιολική

- Χερσαίες και υπεράκτιες
- Κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρισμό
- Μηδενική εκπομπή CO<sub>2</sub>
- Διακοπτόμενη
- Χαμηλή πυκνότητα ενέργειας
- Επηρρεάζει το τοπικό περιβάλλον



# Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: ηλιακή

- Φωτοβολταϊκά



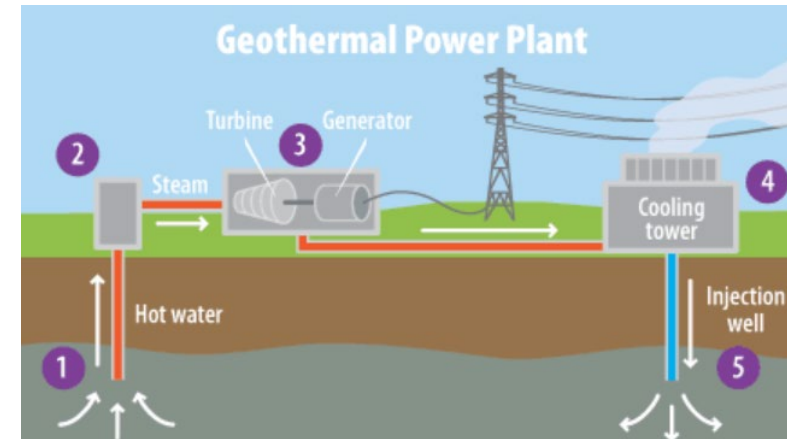
- Ηλιοθερμία



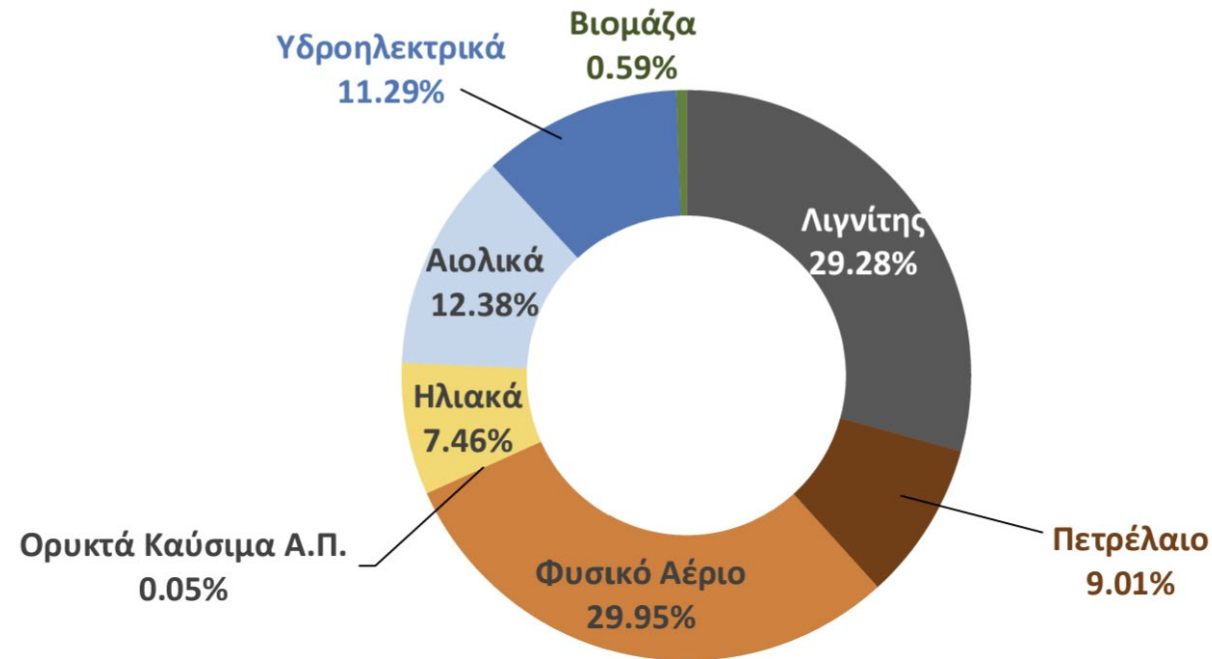
- Ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρισμό
- Μεταβλητή και διακοπτόμενη
- Μηδενικές εκπομπές CO<sub>2</sub>
- Εντατική χρήση γης

# Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας: άλλες

- Βιοκαύσιμα
- Γεωθερμία
- Παλιρροιακή/κυματική



# Μίγμα παραγωγής στην Ελλάδα το 2018 (πηγή: ΔΑΠΕΕΠ)



Πηγή: [https://www.dapeep.gr/wp-content/uploads/GO/20190715\\_RESIDUAL\\_ENERGY\\_MIX\\_YEAR2018.pdf](https://www.dapeep.gr/wp-content/uploads/GO/20190715_RESIDUAL_ENERGY_MIX_YEAR2018.pdf)

# Σύγκριση παραγωγής από ΑΠΕ

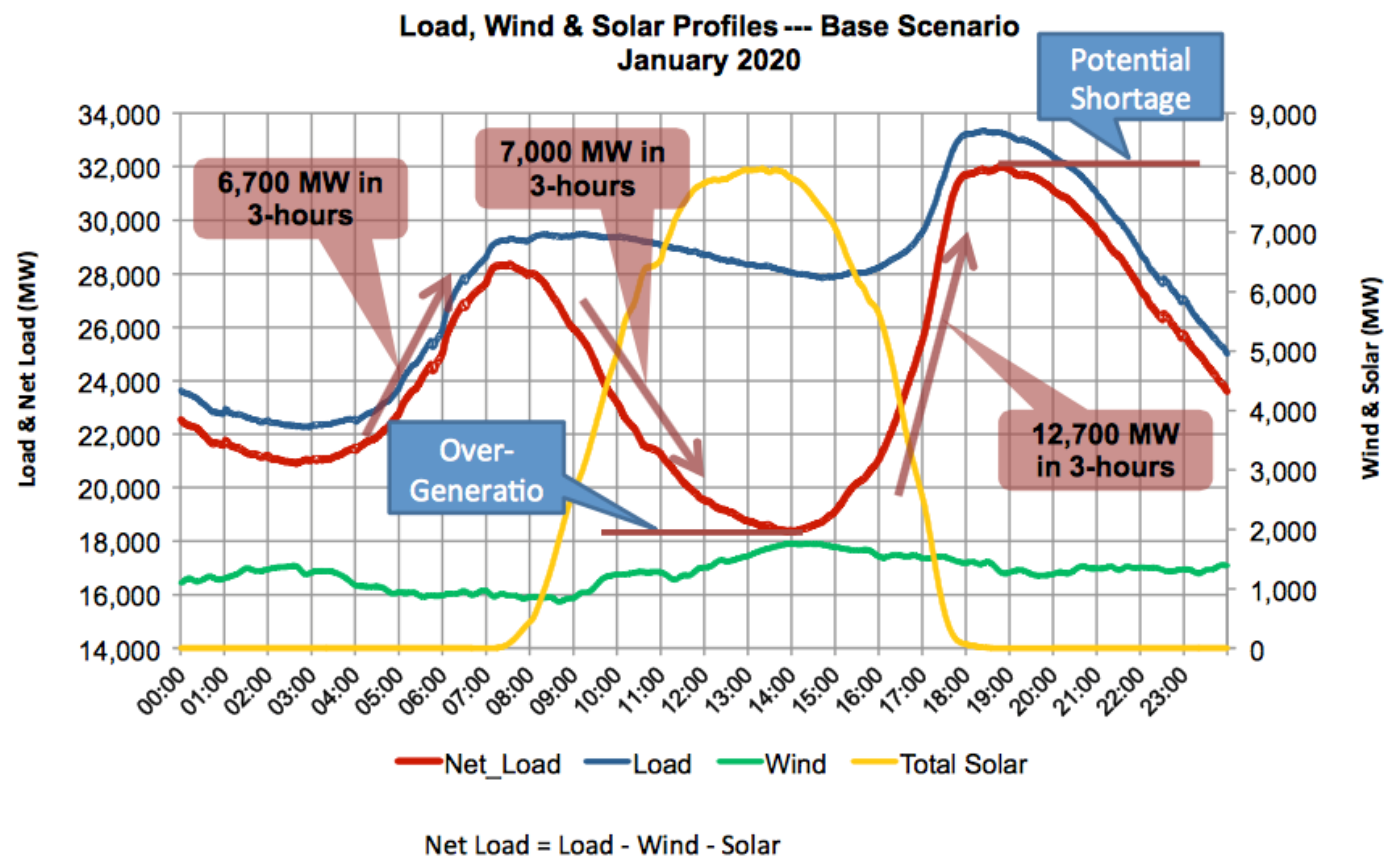
Ελλάδα	Generation in 2018		
	GWh	%	
Non-renewable	37 114	70	
Renewable	16 148	30	
Hydro and marine	5 743	11	
Solar	3 791	7	
Wind	6 300	12	
Bioenergy	314	1	
Geothermal	0	0	
<b>Total</b>	<b>53 263</b>	<b>100</b>	

Ισπανία	Generation in 2018		
	GWh	%	
Non-renewable	170 567	62	
Renewable	103 885	38	
Hydro and marine	34 334	13	
Solar	12 744	5	
Wind	50 896	19	
Bioenergy	5 911	2	
Geothermal	0	0	
<b>Total</b>	<b>274 452</b>	<b>100</b>	

Δανία	Generation in 2018		
	GWh	%	
Non-renewable	9 611	32	
Renewable	20 766	68	
Hydro and marine	15	0	
Solar	953	3	
Wind	13 899	46	
Bioenergy	5 899	19	
Geothermal	0	0	
<b>Total</b>	<b>30 377</b>	<b>100</b>	

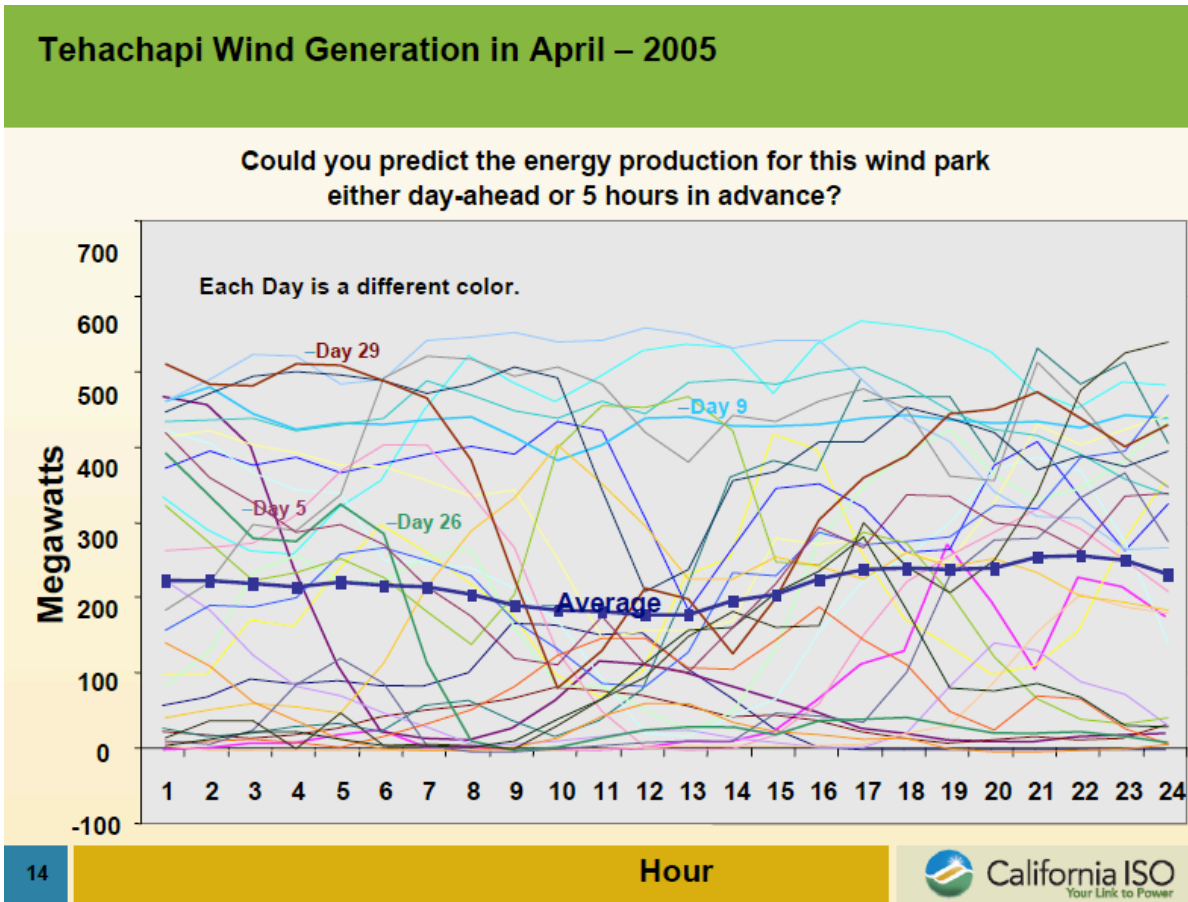
Γερμανία	Generation in 2018		
	GWh	%	
Non-renewable	418 391	65	
Renewable	224 768	35	
Hydro and marine	17 975	3	
Solar	45 784	7	
Wind	109 951	17	
Bioenergy	50 880	8	
Geothermal	178	0	
<b>Total</b>	<b>643 159</b>	<b>100</b>	

# Το «διάγραμμα της πάπιας»





# Αβεβαιότητα



# Τεχνολογίες αποθήκευσης

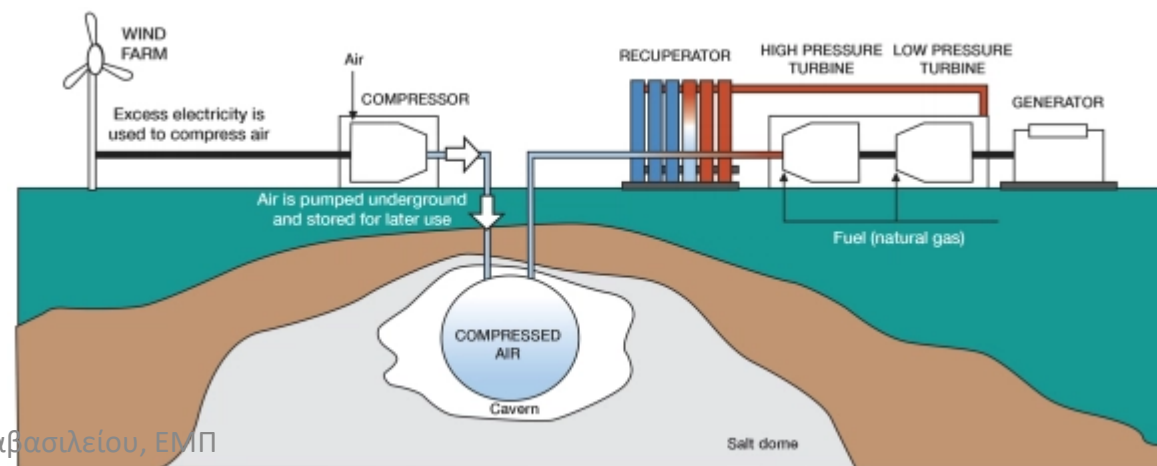
- Υβριδικά αιολικά/υδροηλεκτρικά
- Μπαταρίες
- Συμπιεσμένος αέρας
- Σφόνδυλοι (flywheels)



Pumped Storage Powerplant (Guaranteed capacity 50 MW)



Wind Farms (total capacity 89.1 MW)

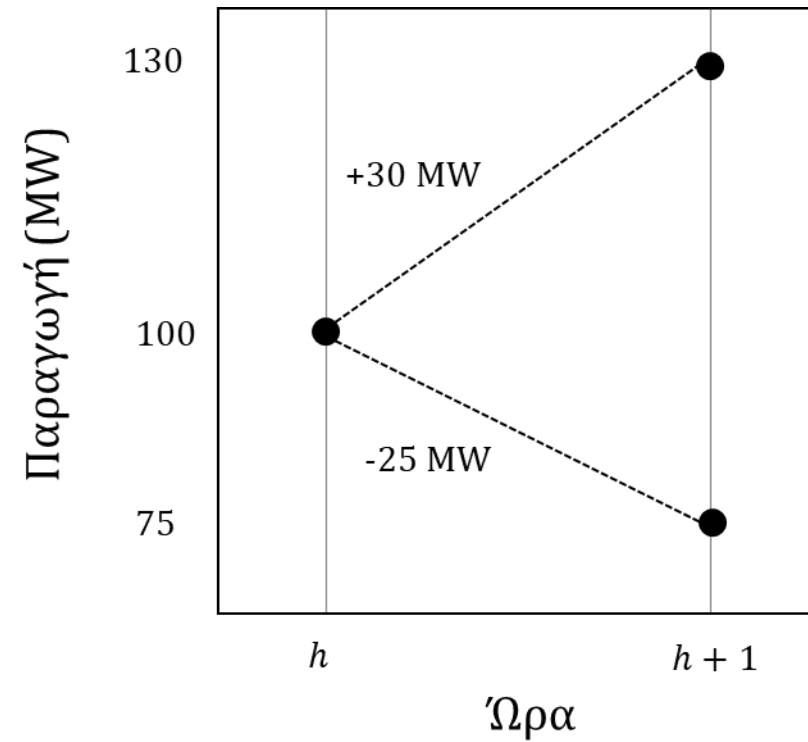




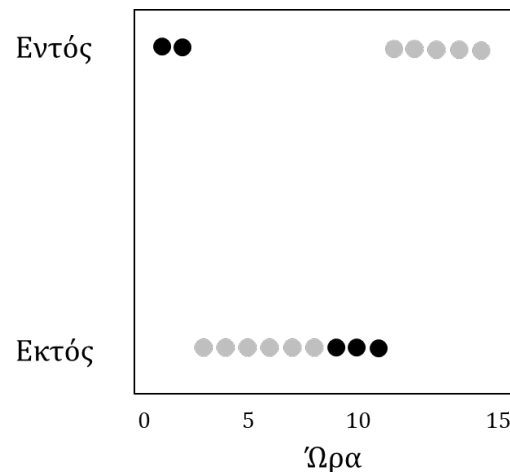
# Περιορισμοί παραγωγής

- Περιορισμοί μονάδων με ορυκτά καύσιμα:
  - Μέγιστη/ελάχιστη παραγωγή
  - Ράμπες ανόδου/καθόδου
  - Ελάχιστος χρόνος κράτησης εντός/εκτός λειτουργίας
- Περιορισμοί υδροηλεκτρικών μονάδων:
  - Μέγιστη παραγωγή
  - Μέγιστη αποθήκευση

# Ράμπες ανόδου και καθόδου



# Ελάχιστος χρόνος κράτησης μονάδων



- Ελάχιστος χρόνος κράτησης εντός λειτουργίας: **5 ώρες**
- Ελάχιστος χρόνος κράτησης εκτός λειτουργίας: **6 ώρες**
- **Γκρι** κύκλοι: αποφάσεις υπό περιορισμούς
- **Μαύροι** κύκλοι: ελεύθερες αποφάσεις

# Περιγραφή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Παραγωγή

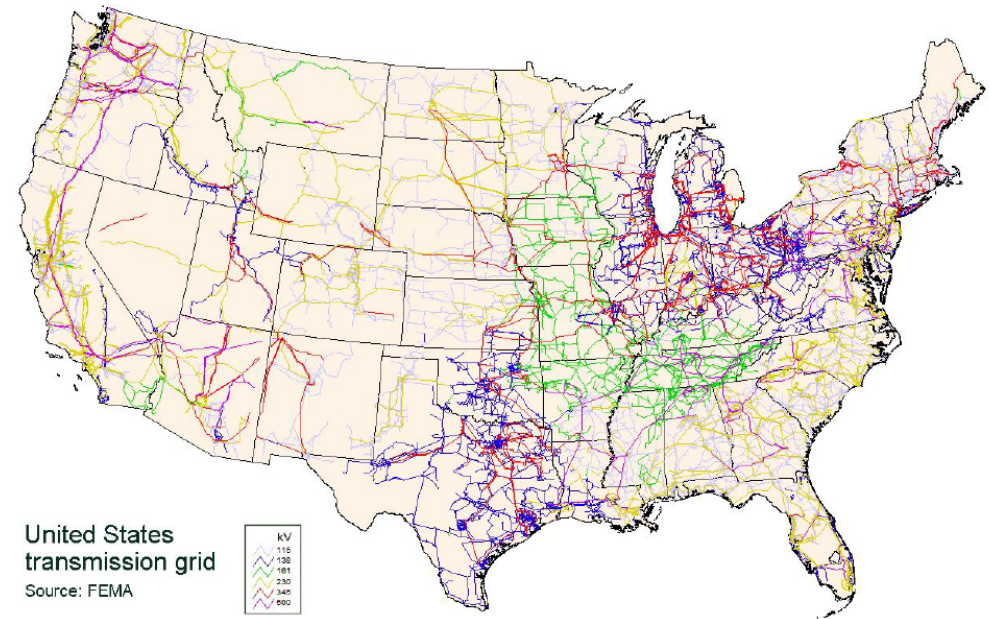
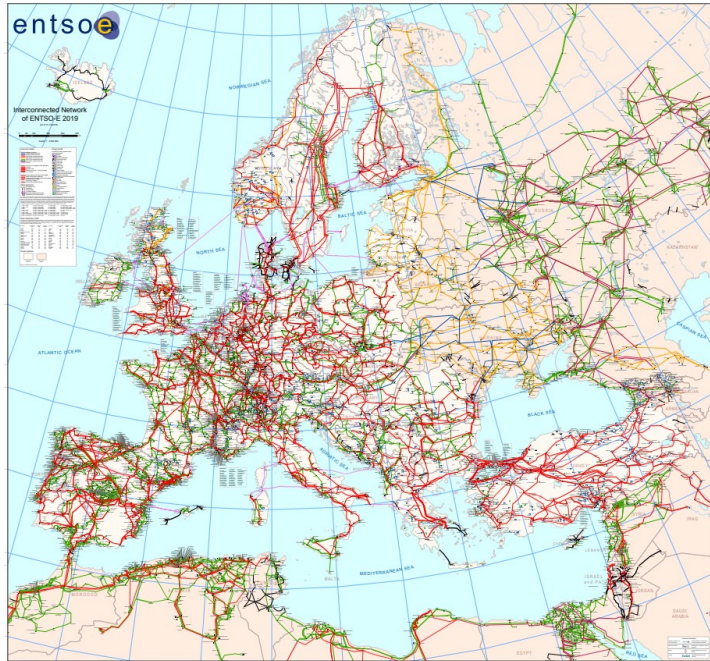
**Μεταφορά και διανομή**

Κατανάλωση

# Παραδείγματα ΣΗΕ

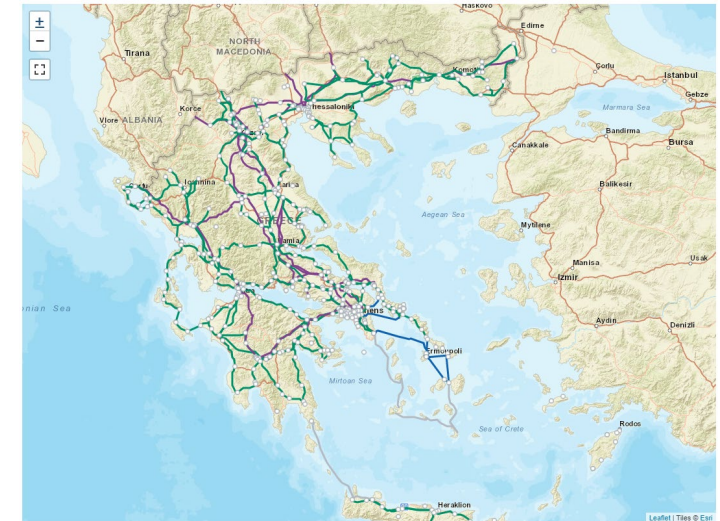
Δίκτυο ηλεκτρισμού: καλύπτει απο μια ολόκληρη ήπειρο έως ένα νησί

- Συχνότητα 50 Hz στην Ευρώπη
- Συχνότητα 60 Hz στην Αμερική



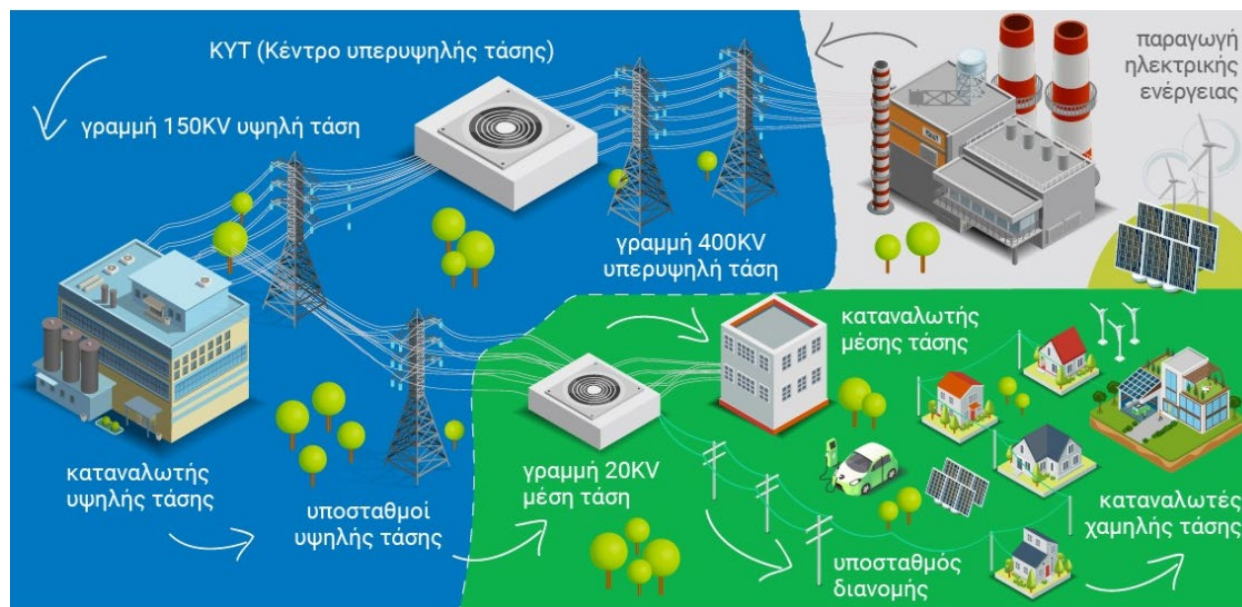
# Το εθνικό διασυνδεδεμένο σύστημα μεταφοράς

ΤΥΠΟΣ ΓΡΑΜΜΩΝ	ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ (km)				ΣΥΝΟΛΟ
	400 kV	Σ.Ρ. 400 kV	150 kV	66 kV	
ΕΝΑΕΡΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ	2.761,53	106,95	8.834,49	37,54	11.740,51
ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ ΚΑΛ. ΓΡΑΜΜΕΣ			941,82	72,2	1.014,02
ΥΠΟΒΡΥΧΙΕΣ ΚΑΛ. ΓΡΑΜΜΕΣ (Υ/Γ τμήμα)			28,1	2,8	30,90
ΥΠΟΓΕΙΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ	31,45		373,27		404,71
<b>ΣΥΝΟΛΟ</b>	<b>2.792,98</b>	<b>106,95</b>	<b>10.177,68</b>	<b>112,54</b>	<b>13.190,15</b>



- Σύγχρονες (AC) διασυνδέσεις με Αλβανία, Βουλγαρία, Σκόπια και Τουρκία
- Ασύγχρονη (DC) διασύνδεση με Ιταλία

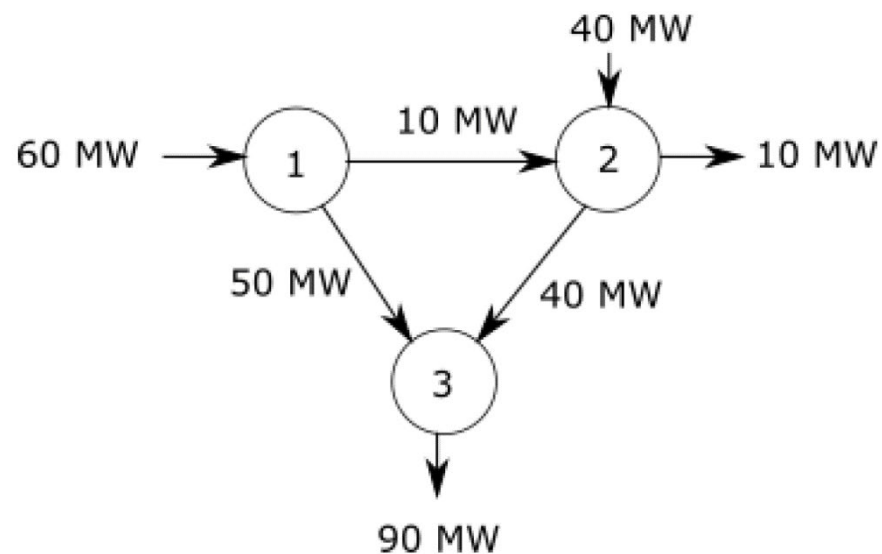
# Μεταφορά και διανομή



- **Δίκτυο μεταφοράς:** υψηλότερη τάση, λιγότερες απώλειες
- **Δίκτυο διανομής:** χαμηλότερη τάση, υψηλότερες απώλειες
- Οι μετασχηματιστές ελαττώνουν την τάση στη διεπαφή



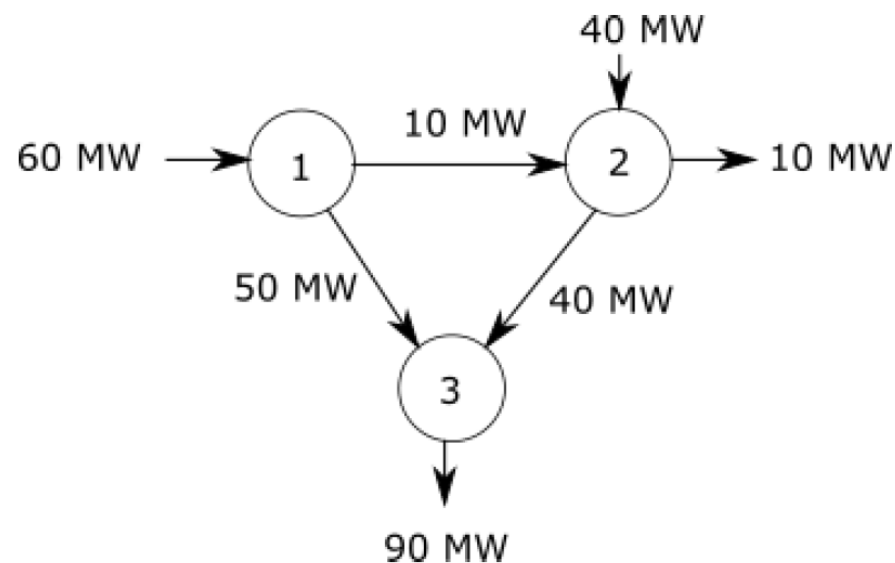
# Η αναλογία της «πισίνας»



Ποιος προμηθεύει το φορτίο στο ζυγό 3?



# Ισοζύγιο ισχύος

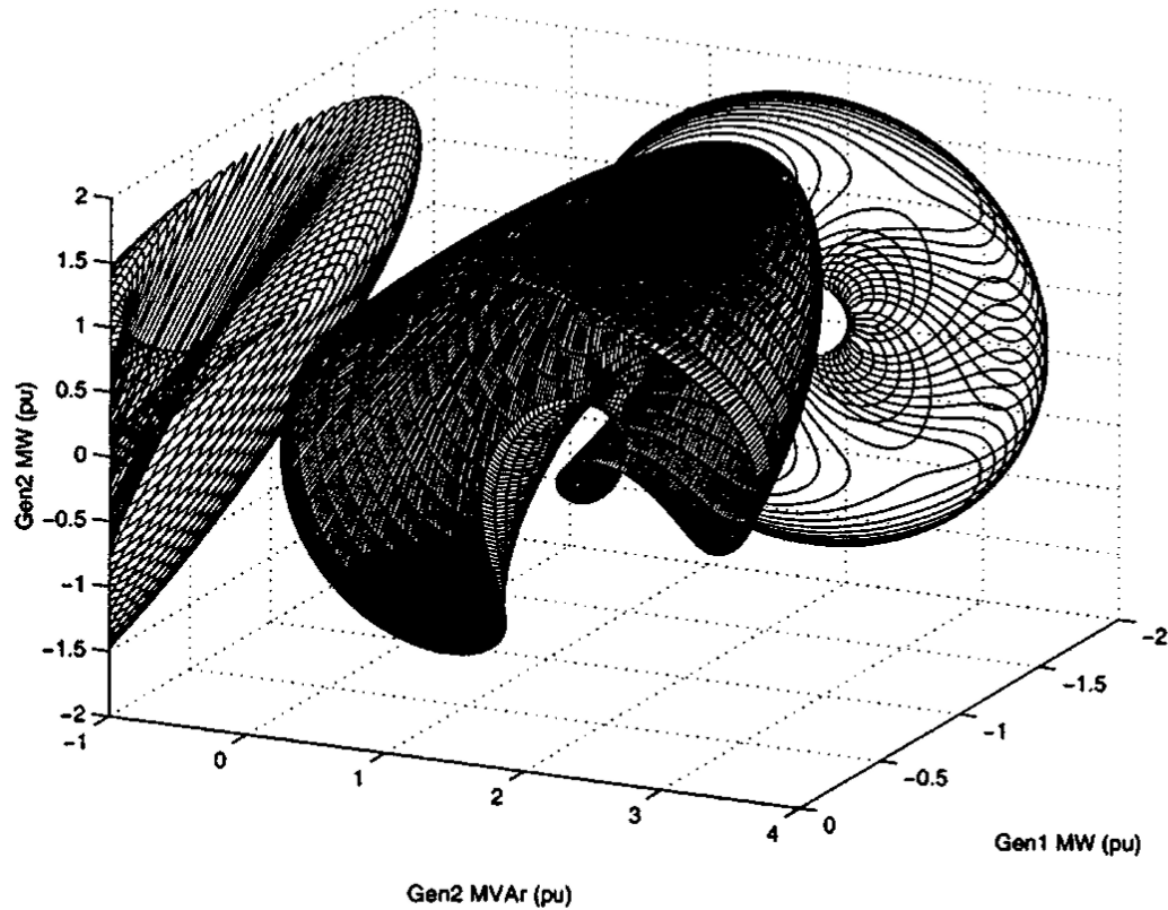


- **Ζυγοί:** κόμβοι του δικτύου μεταφοράς
- **Γραμμές μεταφοράς:** ακμές του δικτύου μεταφοράς
- Ισοζύγιο ισχύος σε κάθε ζυγό
- Φυσική διαίσθηση: ο ηλεκτρισμός είναι «τεμπέλης»

# Εξισώσεις ροής ισχύος

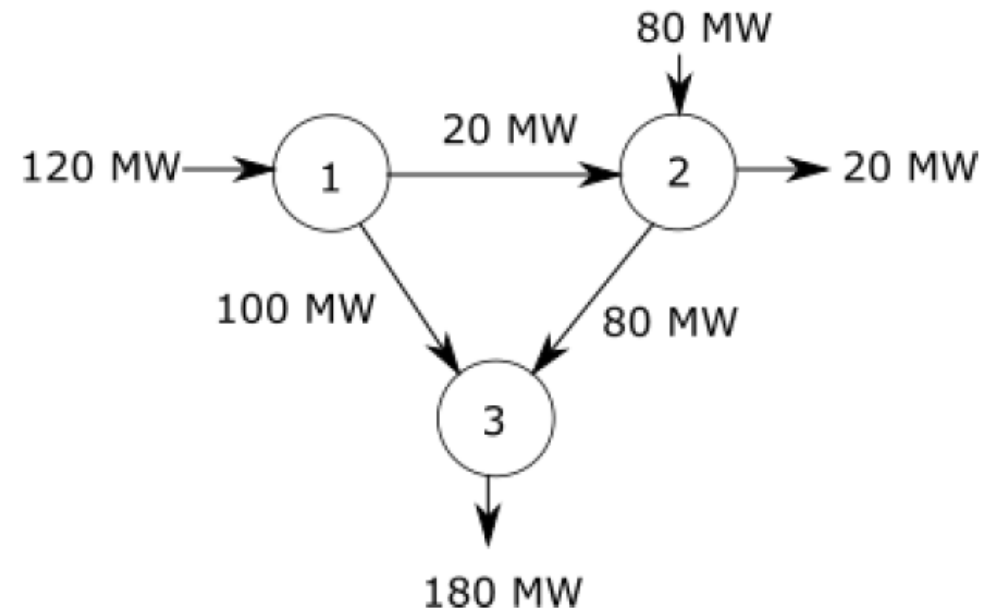
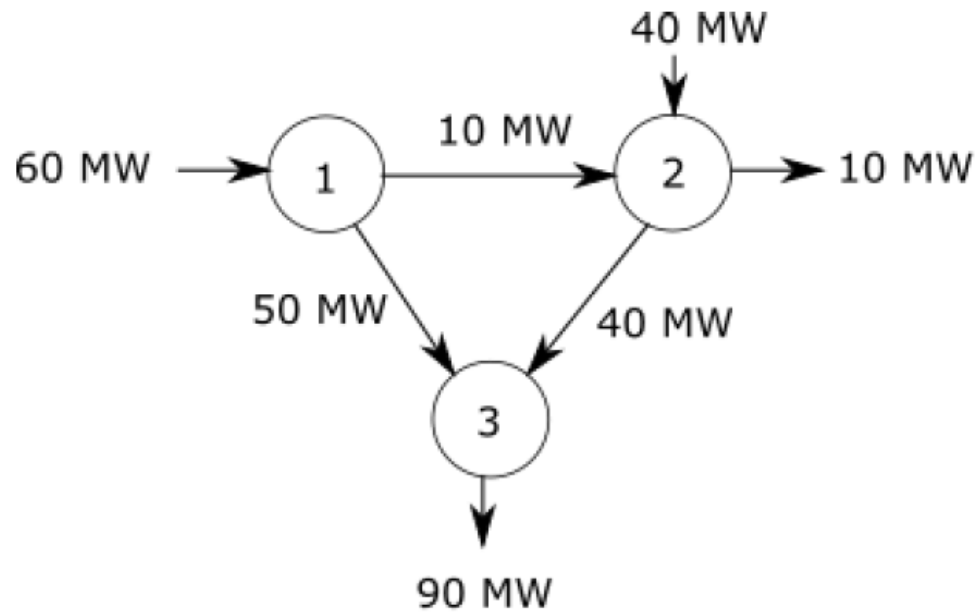
- Τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας είναι πιο πολύπλοκα από τα κλασσικά δίκτυα μεταφορών
- **Νόμοι του Kirchhoff**: νόμοι της φύσης που κυβερνούν τη ροή ηλεκτρικής ενέργειας στα κυκλώματα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή των εξισώσεων ροής ισχύος
- Οι **εξισώσεις ροής ισχύος** καθορίζουν τη σχέση  $f = P(r)$  μεταξύ της έγχυσης ισχύος  $r$  στους ζυγούς και των ρών ισχύος  $f$  στις γραμμές
- **Εξισώσεις ροής ισχύος συνεχούς ρεύματος** (direct current (DC) power flow equations): γραμμική προσέγγιση των εξισώσεων ροής ισχύος

# Εξισώσεις ροής ισχύος

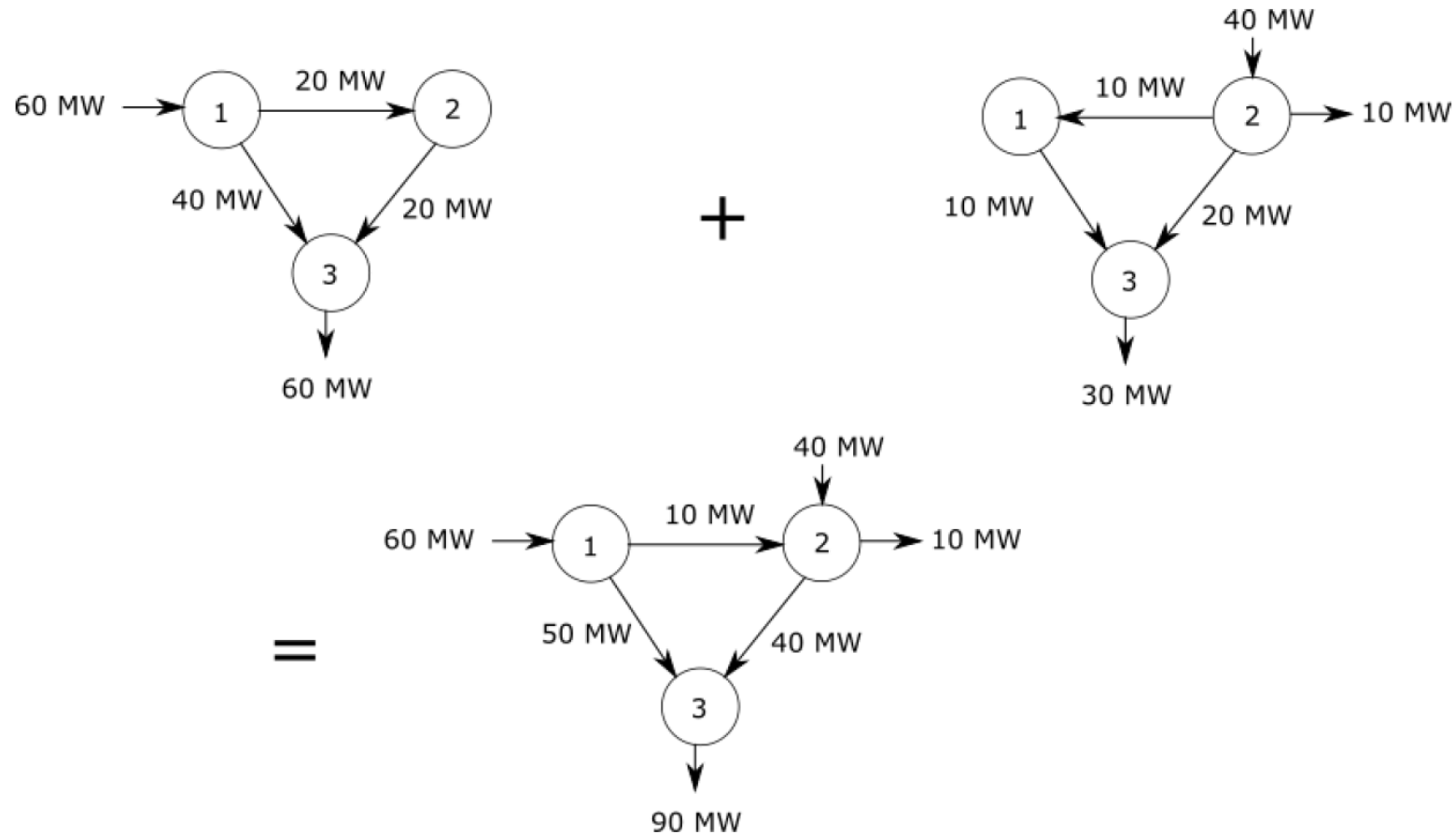


Πηγή: Hiskens, I. A., & Davy, R. J. (2001). Exploring the power flow solution space boundary. IEEE transactions on power systems, 16(3), 389-395.

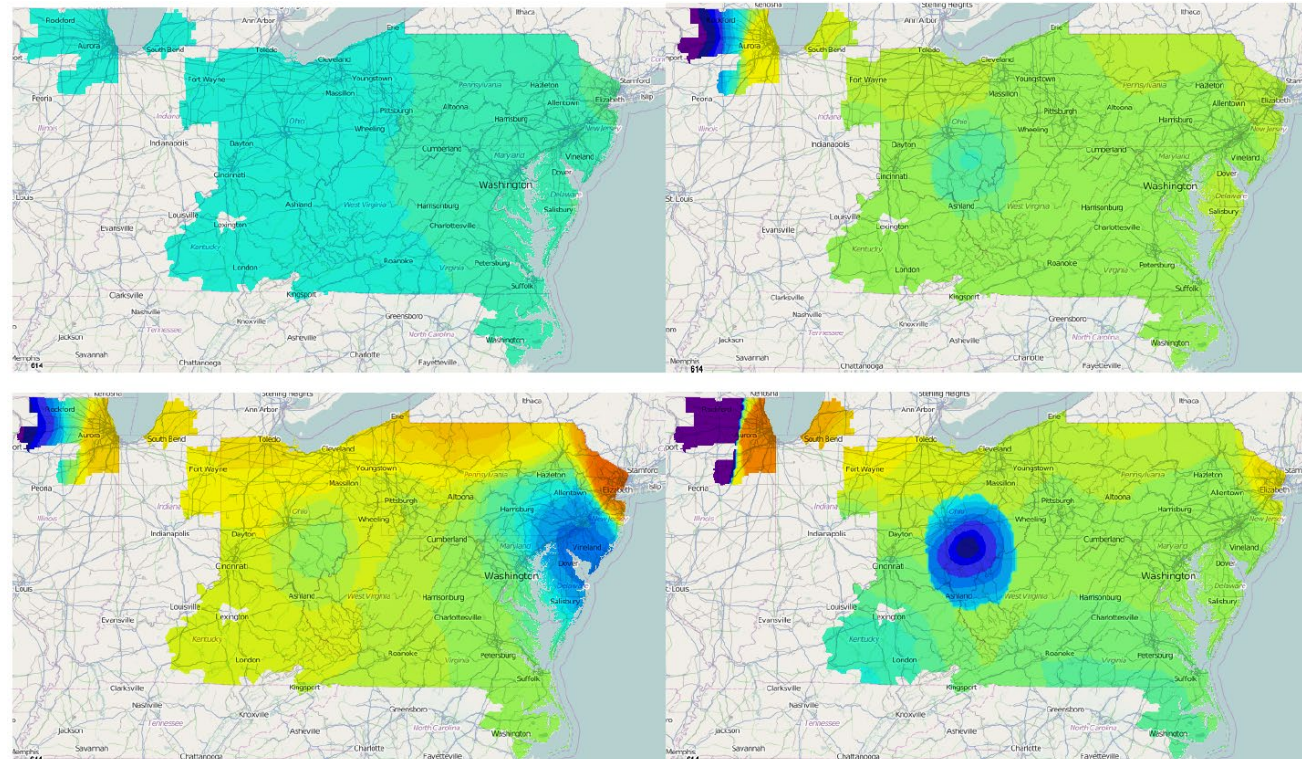
# Αναλογικότητα των ροών ισχύος



# Προσθετικότητα των ροών ισχύος



# Κομβική τιμολόγηση στην PJM (15 Φεβρουαρίου, 2014)



Σχήμα: 05:40 (πάνω αριστερά), 08:40 (πάνω δεξιά), 09:20 (κάτω αριστερά), 09:55 (κάτω δεξιά)

# Ζωνική τιμολόγηση



# Περιγραφή συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

Παραγωγή

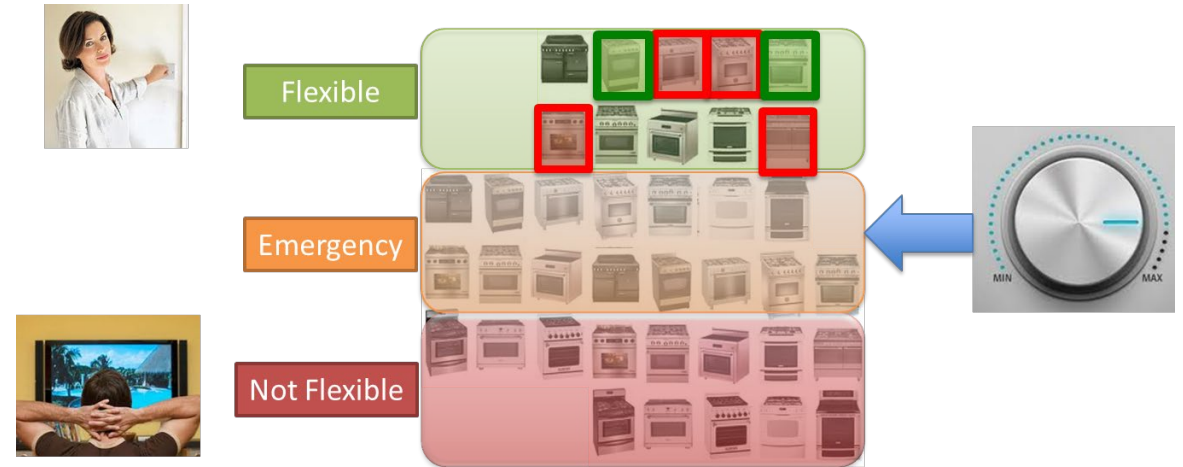
Μεταφορά και διανομή

**Κατανάλωση**



# Κατανάλωση

- Τρεις κατηγορίες καταναλωτών:
  - Βιομηχανικοί
  - Εμπορικοί
  - Οικιακοί
- Σημαντικά πεδία ευκαιριών για μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου:
  - Διαχείριση ζήτησης
  - Αλληλεπίδραση ζήτησης με άλλους τομείς (ιδίως μεταφορές και θέρμανση)



# Κατανάλωση

- Διαφορετικοί πάροχοι δίνουν πρόσβαση σε ηλεκτρισμό
- Ας δούμε ένα τιμολόγιο

ΧΡΕΩΣΗ ΠΡΟΜΗΘΕΙΑΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (Α)		
Πάγιο Ημέρας		3,00
Ενέργεια Ημέρας	409 kWh X 0,11000 €/kWh=	44,99
Ενέργεια Νύχτας	186 kWh X 0,07850 €/kWh=	14,60
Δώρο Εγγραφής		-50,00
Έκπτωση ΕΝΑ		-4,42
Πίστωση Ταμείου Εν. Μετάβασης		-107,40
<b>Συνολική Αξία</b>		<b>-99,23 €</b>



ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΟΓΑΡΙΑΣΜΟΥ	
Χρέωση Προμήθειας Ρεύματος (Α)	-99,23
Ρυθμιζόμενες Χρεώσεις (Β)	26,64
Συμπληρωματικές Χρεώσεις/Πιστώσεις (Γ)	731,44
<b>Για το Ηλεκτρικό Ρεύμα πληρώνετε</b>	<b>658,85</b>
ΦΠΑ (6%) 658,85 x 6 % =	39,53
Χρεώσεις Δήμου (Ε)	24,61
<b>Σύνολο Τρέχοντος Λογαριασμού</b>	<b>722,99</b>
Πληρωμές Έναντι κατανάλωσης ΕΝΑ	-500,00
<b>Συνολικό Ποσό Πληρωμής (€)</b>	<b>222,99</b>
ΛΗΞΗ ΠΡΟΘΕΣΜΙΑΣ ΠΛΗΡΩΜΗΣ	05/09/2022
ΚΩΔΙΚΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΠΛΗΡΩΜΗΣ	RF49906688000300000450472
	ΙΔΙΩΤΗΣ

ΕΝΔΕΙΞΕΙΣ ΜΕΤΡΗΤΗ						
ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΕΤΡΗΤΗ	ΚΩΔΙΚΟΣ ΤΙΜΟΛΟΓΙΟΥ	ΤΕΛΕΥΤΑΙΑ	ΚΑΤΑΜΕΤΡΗΣΗ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΗ	ΔΙΑΦΟΡΑ	Πρόσθ. kWh	ΣΥΝΟΛΟ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ
ΣΥΜΦ. ΙΣΧΥΣ (kVA)		25	ΣΥΝΤ. ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ	1	ΣΥΝΦ	1,0000
						ΧΡΕΩΣΤΕΑ ΖΗΤΗΣΗ (kW)
Μ.Ο. ΚΑΤ'ΣΗΣ ΤΕΛΕΥΤΑΙΟΥ 12-ΜΗΝΟΥ (kWh)			ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΠΟ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΗ ΠΕΡΙΣΣΗ ΠΕΡΙΟΔΟ (kWh)			

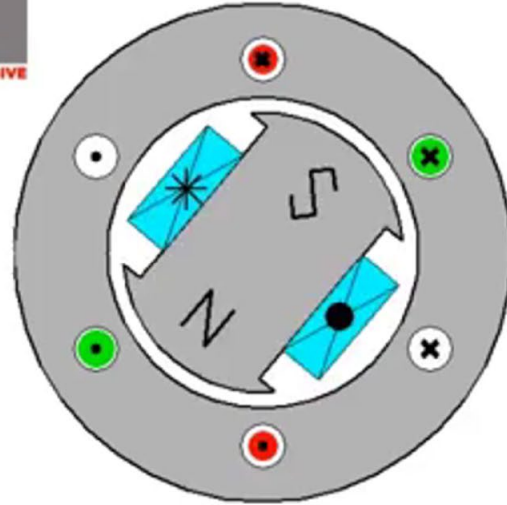
ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΕΣ ΧΡΕΩΣΕΙΣ* (Β)		26,64 €
Ελληνικό Σύστημα Μεταφοράς Η/Ε	25kVA x 0,13000 €/kVA X 31 /365 = 409kWhX0,00580€/kWh =	0,28 2,29
Λοιπές Χρεώσεις	595kWhX0,00007€/kWh =	0,04
Ελληνικό Δίκτυο Δανομής Η/Ε	25kVA x 0,52000 €/kVA X 31 /365 = (409kWh/ 1,00000)X0,02130€/kWh =	1,10 8,71
ΕΤΜΕΑΡ	595 kWh X 0,01700 €/kWh =	10,12
Υπηρεσίες Κοινής Ωφέλειας (ΥΚΩ)	(409kWhX0,00690€/kWh) +(186kWhX0,00690€/kWh)	4,10
ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΧΡΕΩΣΕΙΣ / ΠΙΣΤΩΣΕΙΣ (Γ)		731,44 €
Αναπροσαρμογή Εκκαθάρισης Αγοράς	595kWhX0,388972€/kWh=	231,44

Αγορά Έναντι κατανάλωσης ΕΝΑ	500,00			
ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΕΔΔΗΕ (Δ)				
ΧΡΕΩΣΕΙΣ ΔΗΜΟΥ (Ε)				
<b>ΔΗΜΟΤΙΚΑ ΤΕΛΗ (ΔΤ) - ΔΗΜΟΤΙΚΟΣ ΦΟΡΟΣ (ΔΦ)</b>	<b>24,61 €</b>			
ΔΤ	Τ.Μ.Ακινήτου	Συντελεστής (€/τ.μ.)	Συντελεστής Ημερών	
ΔΦ	161	x 1,20	x 31/365	= 16,41
	161	x 0,60	x 31/365	= 8,20
<b>Αναδρομική Χρέωση Δήμου</b>				
<b>ΤΕΛΟΣ ΑΚΙΝΗΤΗΣ ΠΕΡΙΟΥΣΙΑΣ</b>				
Τ.Μ.Ακινήτου	Τιμή Ζώνης(€)	Παλακότητα	Συντελεστής ΤΑΠ (€/τ.μ.)	Συντελεστής Ημ.
0	x 2000,00	x 0,60	x 0,00035	x 31/365
				= 0,00
ΤΕΛΟΣ ΥΠΕΡ Ε.Ρ.Τ.Α.Ε. (ΣΤ)				

Αρμόδια Εποπτεύουσα Αρχή ΡΑΕ

# Λειτουργία ΣΗΕ

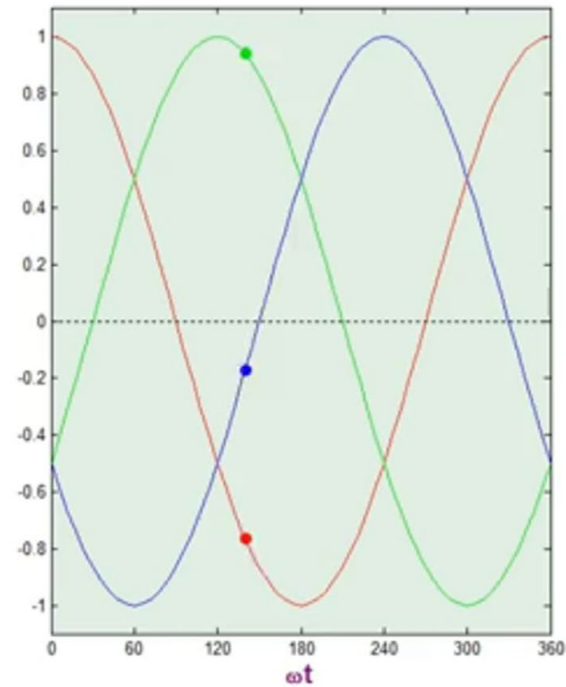
# Συχνότητα: τι σημαίνει;



Phase A

Phase B

Phase C



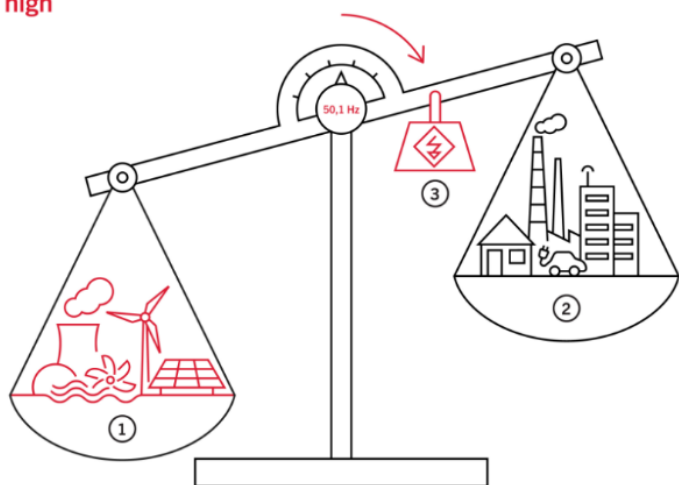
# Σταθερή συχνότητα

Έλλειψη αποθήκευσης: ανά πάσα στιγμή, παραγωγή ηλεκτρισμού = κατανάλωση

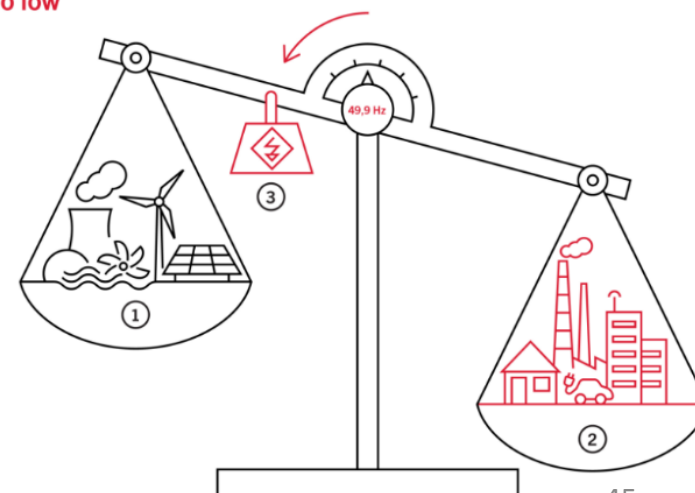
Nominal frequency of 50 Hz



Frequency too high

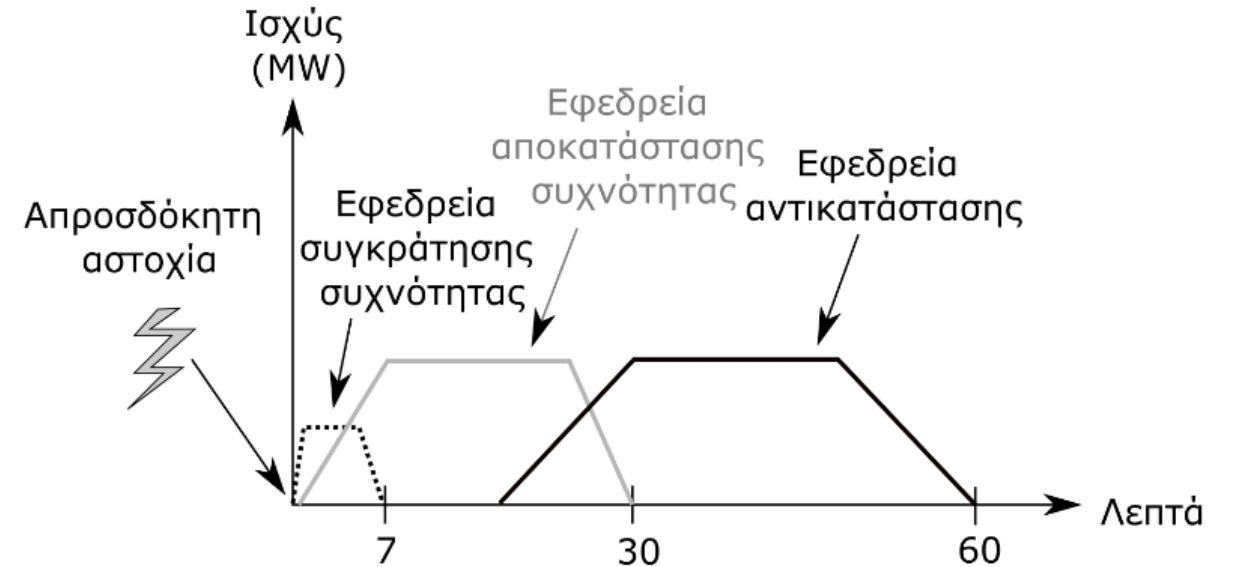
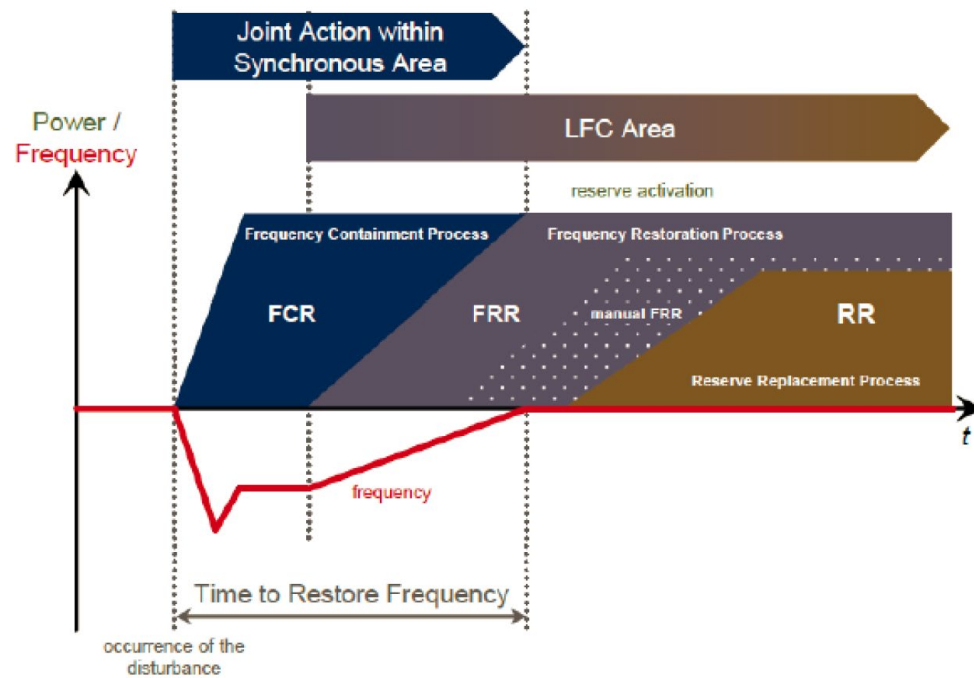


Frequency too low

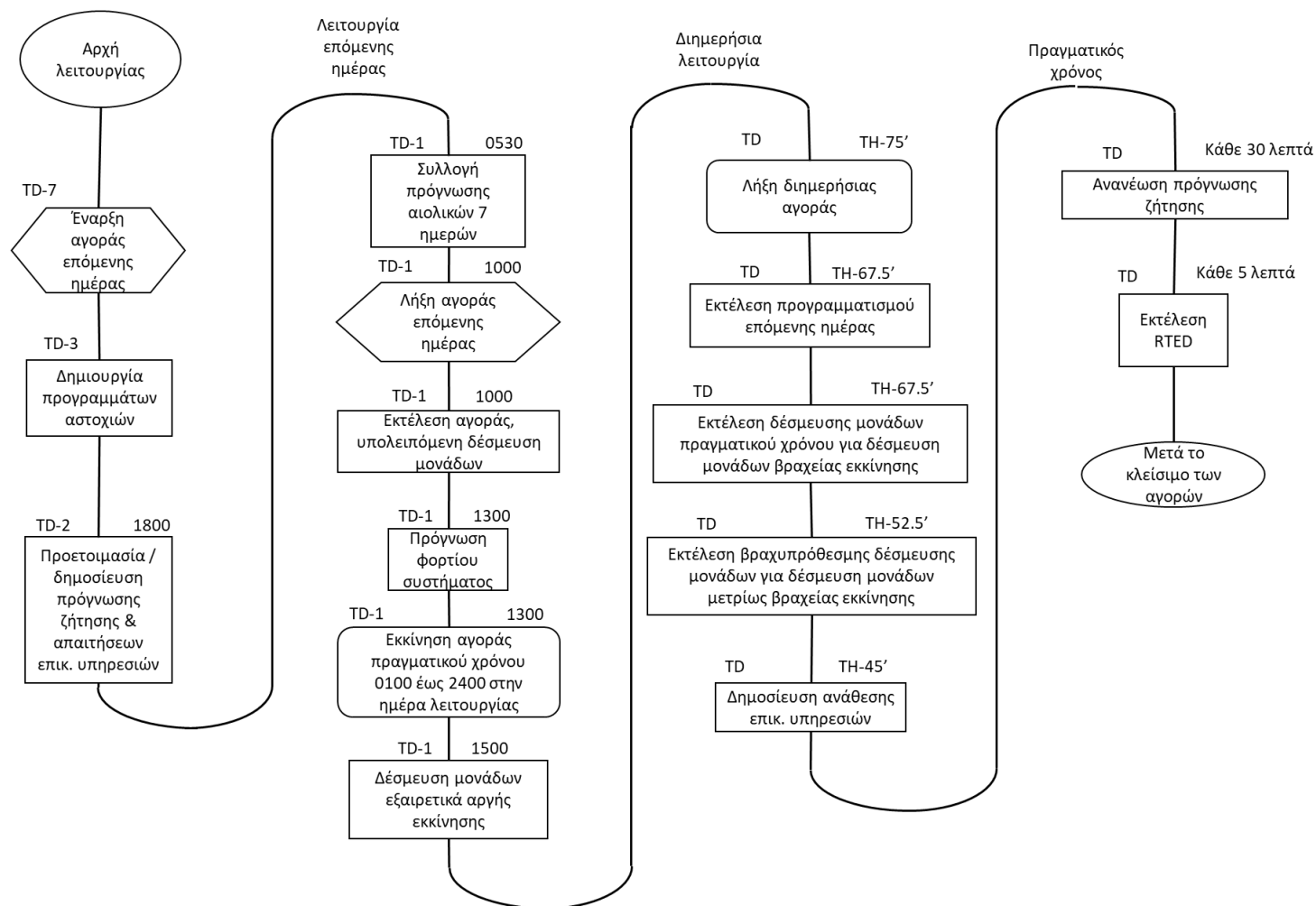


# Επικουρικές υπηρεσίες

Τι συμβαίνει σε περίπτωση αστοχίας ενός σταθμού παραγωγής;



# Διάγραμμα ροής της λειτουργίας συστήματος



# Ιστορική εξέλιξη ΣΗΕ



# Σύντομη ιστορία ΣΗΕ

- Αρχή δεκαετίας 1880: ο Edison εισάγει το σύστημα συνεχούς ρεύματος στην Pearl Street στο Manhattan, εξυπηρετώντας 59 πελάτες
- 1884: ο Sprague εφευρίσκει πρακτική μηχανή DC
- 1885: εφευρίσκεται ο μετασχηματιστής
- Μέσα 1880: οι Westinghouse/Tesla εισάγουν το αντίπαλο σύστημα εναλασσόμενου ρεύματος
- Τέλος δεκαετίας 1880: ο Tesla εφευρίσκει μηχανή επαγωγής εναλασσόμενου ρεύματος
- 1893: πρώτη τριφασική γραμμή μεταφοράς λειτουργεί στα 2.3 kV

# Ιστορία ΣΗΕ (συνέχεια)

- 1896: Γραμμές εναλλασόμενου ρεύματος φέρνουν ηλεκτρισμό από υδροηλεκτρική παραγωγή από τους καταρράκτες του Νιαγάρα στο Buffalo, 20 μίλια μακριά
- Αρχές 1900
  - Ιδιωτικοί πάροχοι παρέχουν ηλεκτρισμό σε περιοχή (πόλη)
  - Αναγνωρίζεται ως «φυσικό μονοπώλιο» (φθηνότερο για μία επιχείρηση να παράγει όλον τον ηλεκτρισμό λόγω οικονομιών κλίμακας)
  - Ορισμένες πολιτείες των ΗΠΑ παρεμβαίνουν για ρύθμιση του τομέα
- Δεκαετία 1920: Μεγάλες επιχειρήσεις που λειτουργούν μεταξύ πολλών πολιτειών ελέγχουν τα περισσότερα συστήματα

# Επιχειρησιακή έρευνα και ΣΗΕ

# Τι είναι η επιχειρησιακή έρευνα;

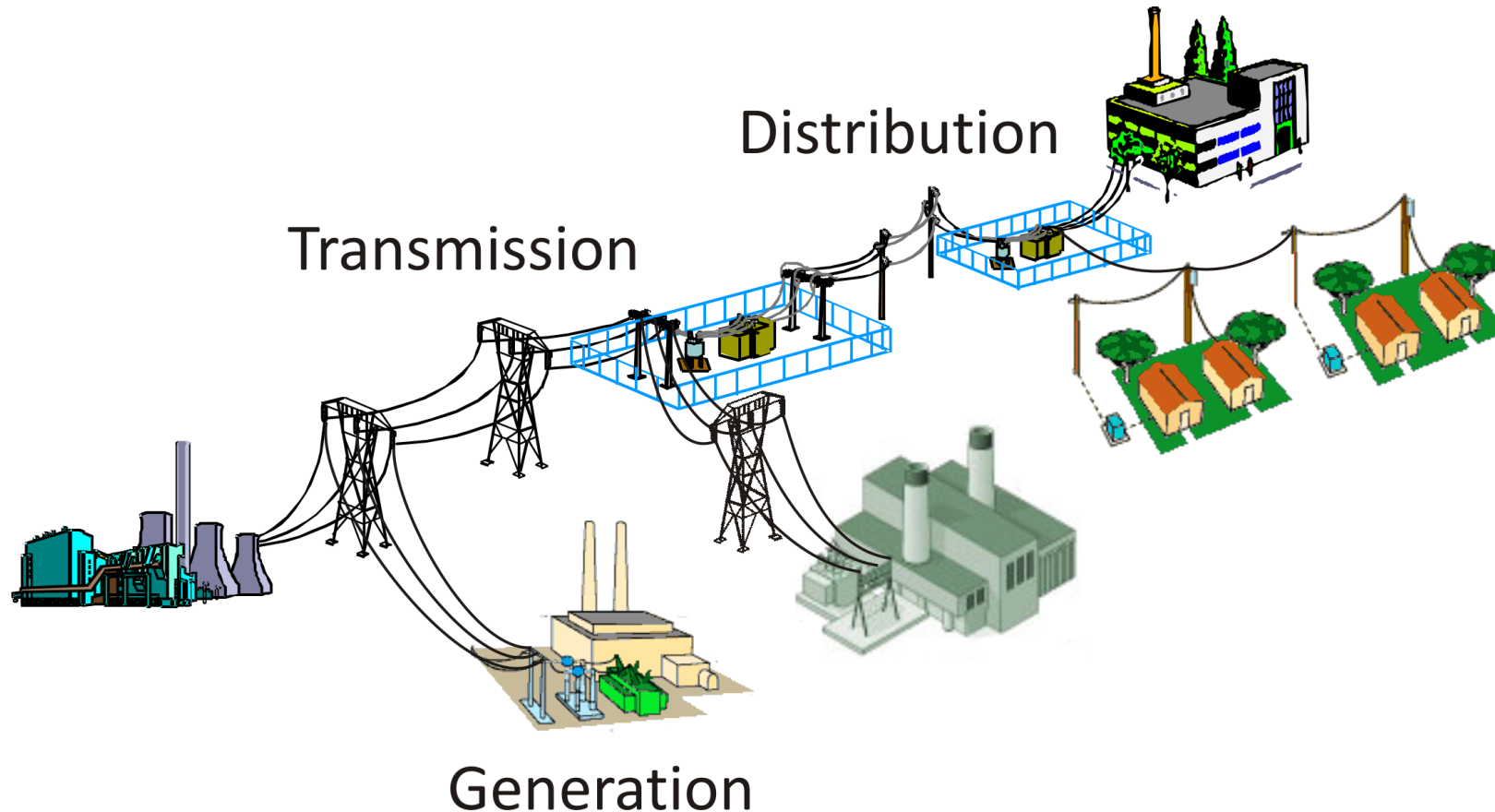
- **Επιχειρησιακή έρευνα/Operations Research (OR):** κλάδος των εφαρμοσμένων μαθηματικών με ευρύτετες βιομηχανικές εφαρμογές
- **Μαθηματικός προγραμματισμός:** μαθηματική θεωρία ανάπτυξης αλγορίθμων για την επίλυση προβλημάτων επιχειρησιακής έρευνας
- **Αγγλία, Β παγκόσμιος πόλεμος:** Βρετανοί επιστήμονες που στόχευαν να βελτιστοποιήσουν τη διαχείριση στρατιωτικού υλικού στη διάρκεια του πολέμου



# Επιχειρησιακή έρευνα και συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας

- Η **επιχειρησιακή έρευνα** είναι σημαντικότερη απο ποτέ στον τομέα της ενέργειας
- Αλλαγές πολιτικής/ρυθμιστικού πλαισίου
  - Απελευθερωμένες αγορές
  - Ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
- Πρόοδος τεχνολογίας υπολογισμού
  - Εξέλιξη των επιλυτών
  - Παράλληλοι και κατανεμημένοι υπολογισμοί

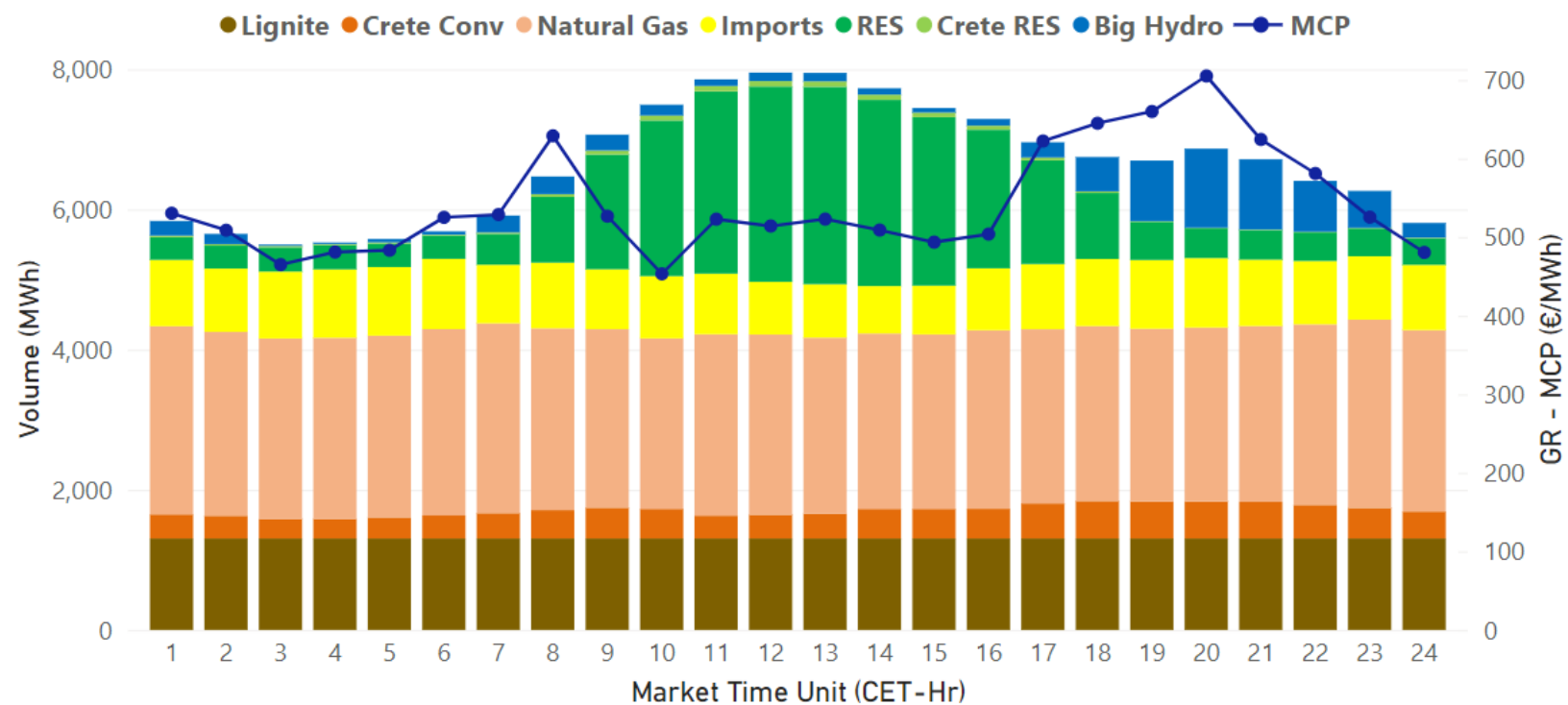
# Η εφοδιαστική αλυσίδα του ηλεκτρισμού



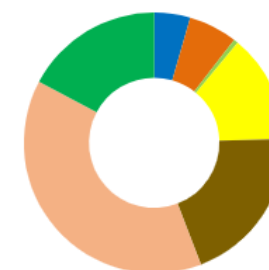
Η καθετοποιημένη αλυσίδα παραγωγής-μεταφοράς-διανομής ...

# Απελευθέρωση

Delivery Date: 02/09/2022



Energy Mix	Volume (MWh)	% Total
Natural Gas	61,520.93	38.59%
Lignite	31,344.00	19.66%
RES	27,485.38	17.24%
Imports	21,462.29	13.46%
Crete Conv	9,647.15	6.05%
Big Hydro	7,101.17	4.45%
Crete RES	859.00	0.54%



... αντικαθίσταται από τις αγορές

# Απελευθέρωση αγορών

- Διαφορές σε μίγματα παραγωγής και διαφορετική διαθεσιμότητα φυσικών πόρων συνεπάγονται συνέργειες στην πιο οικονομική λειτουργία του ευρωπαϊκού συστήματος
- Ο στόχος του ανταγωνισμού είναι να αυξήσει την αποδοτικότητα
  - Βραχυπρόθεσμα: μέσω της βέλτιστης λειτουργίας υπάρχουσών υποδομών
  - Μακροπρόθεσμα: μέσω καινοτομίας και επένδυσης σε ένα βέλτιστο μίγμα τεχνολογιών
- Επιλογή στους καταναλωτές να διαλέξουν τον πάροχο που τους προσφέρει ηλεκτρισμό



# Οι ΑΠΕ στα πρωτοσέλιδα



30 May 2011 Last updated at 12:25 GMT

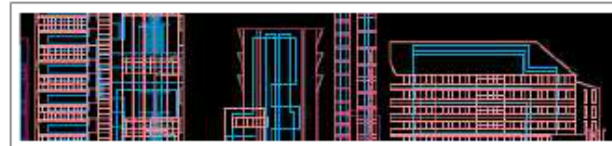
16K Share

## Germany: Nuclear power plants to close by 2022

COMMENTS (542)



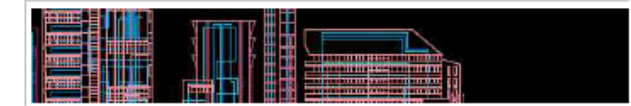
Germany saw mass anti-nuclear protests in the wake of the Fukushima disaster



## Denmark aims for 100 percent renewable energy in 2050

BY **METTE FRAENDE**

COPENHAGEN | Fri Nov 25, 2011 11:49am EST



## California to nearly double wind, solar energy output by 2020 -regulator

Thu Nov 14, 2013 1:30pm EST

# Η εξέλιξη των επιλυτών



FIG. 16. The optimal tour of 49 cities.

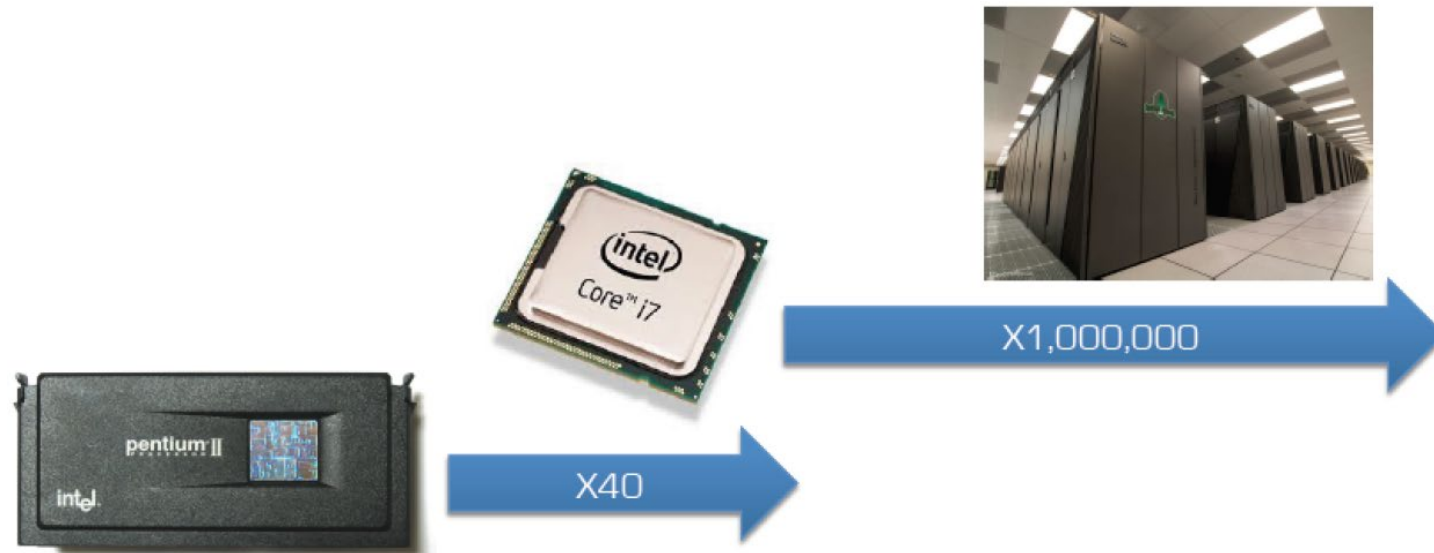
In 1952, Dantzig et al. solve an instance of the Traveling Salesman Problem with 49 cities **by hand**



In 2006 Cook et al. solve a problem with 85,900 'cities' (the one above has 37,000 cities)

Χρειάζοταν	Χρειάζεται
> 4 μήνες (αρχές 90)	1 δευτερόλεπτο (2007)
>7 χρόνια (αρχές 90)	1 δευτερόλεπτο (τώρα)

# Παράλληλος υπολογισμός



Intel Pentium II (97-99)	Intel Core i7 975 (14)	Sequoia Cluster (12)
233-450 MHz	3.33 GHz	PowerPC A2 2.3 GHz
1 πυρήνας	4 πυρήνες	1.6 εκατ. πυρήνες

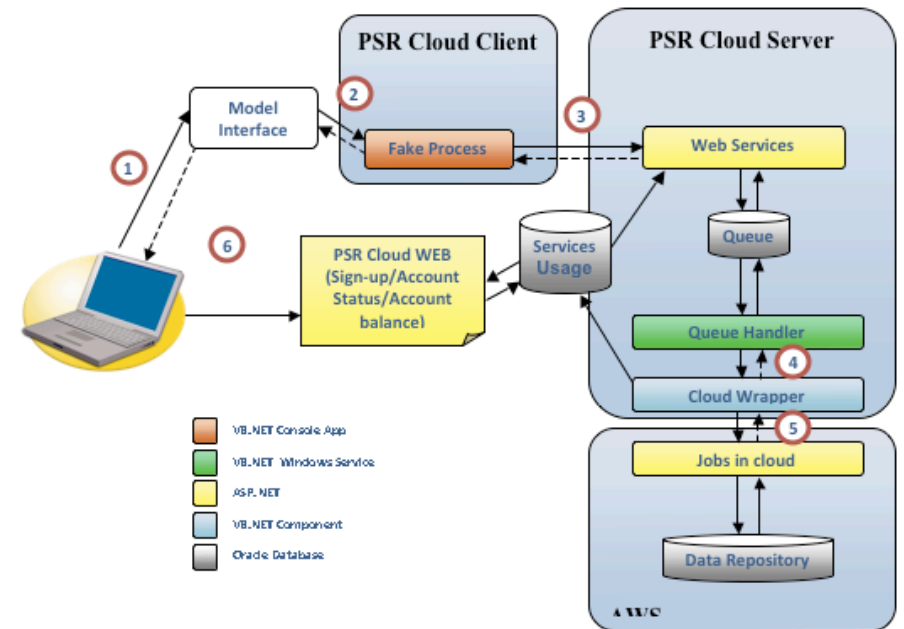
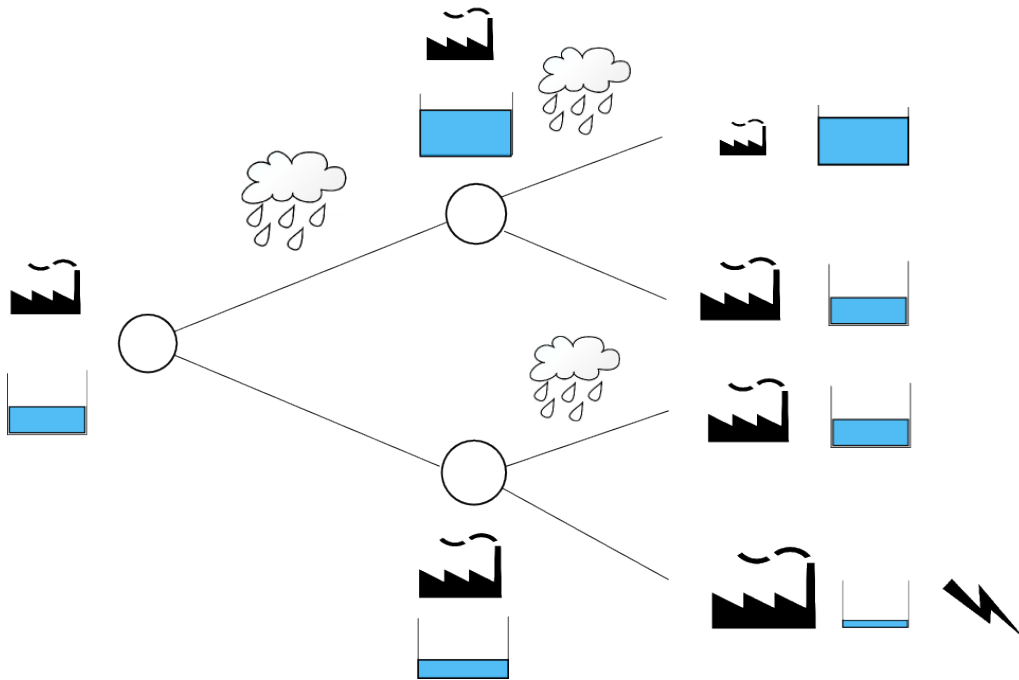
# Επιχειρησιακή έρευνα στην ενεργειακή βιομηχανία

- Η ενεργειακή βιομηχανία είναι πολύ ενεργός χρήστης της επιχειρησιακής έρευνας
  - Τέλη 1980: Χαλάρωση Lagrange για την ένταξη μονάδων παραγωγής
  - Αρχές 2000: Μέθοδος διακλάδωσης και φραγής (branch and bound) για την ένταξη μονάδων παραγωγής: αναφερόμενο όφελος μεταξύ \$2.1-\$3 δις απο την MISO για το διάστημα 2007 – 2010!
  - Τέλη 1980: Στοχαστικός δυϊκός δυναμικός προγραμματισμός για την επίλυση προβλημάτων υδροθερμικού προγραμματισμού μεσοπρόθεσμου ορίζοντα, χρήση έως και σήμερα στα περισσότερα συστήματα για τον καθορισμό επιπέδων νερού και τιμών (Βραζιλία, Σκανδιναβία, Τουρκία, Ελβετία)

# Παράδειγμα: μοντέλο αγοράς επόμενης ημέρας PJM

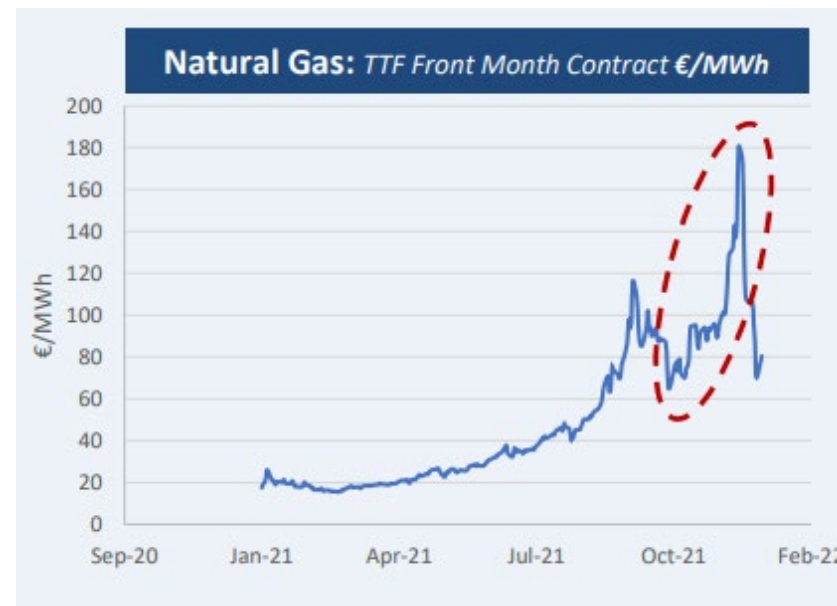
- 1210 γεννήτριες, προσφορές 3 μερών (κόστος έναρξης, κόστος χωρίς φορτίο, 10 βήματα στην καμπύλη προσφοράς ενέργειας)
- 10000 προσφορές ζήτησης – σταθερές ή με ευαισθησία στην τιμή
- 50000 εικονικές προσφορές
- 8700 επιλέξιμοι κόμβοι προσφορών (κόμβοι τιμών)
- 6125 στοιχεία συστήματος μεταφοράς υπο παρακολούθηση
- 10000 συμπεριλαμβανόμενες ενδεχόμενες βλάβες συστήματος μεταφοράς
  
- Επιλύεται με μικτό ακέραιο γραμμικό προγραμματισμό
- Οι συναλλαγές στην PJM ανέρχονταν στα \$50.03 δις το 2014

# Διαχείριση αβεβαιότητας στην υδροθερμική παραγωγή



# Οι δύσκολοι χειμώνες που πέρασαν

- Ο πόλεμος στην Ουκρανία έχει αναδείξει την πρόκληση της ενεργειακής ασφάλειας
- Και υπάρχει ένας καταγισμός από προτάσεις
- Οι αποφάσεις που λήφθηκαν από την Ευρωπαϊκή Ένωση και τα Κράτη Μέλη στη διάρκεια της ενεργειακής κρίσης ήταν κρίσιμες, και θα καθορίσουν το κατά πόσο μπορούμε να κινηθούμε με ταχύτητα σε μια απαλλαγή των συστημάτων μας από την εξάρτηση στα ορυκτά καύσιμα



Οκταπλασιασμός της τιμής φυσικού αερίου (TTF) από την αρχή του 2021

# Καταιγισμός προτάσεων



**Α. Παπαλεξόπουλος: Η πρόταση του ΥΠΕΝ για διχοτόμηση της DAM είναι κοντόφθαλμη, λανθασμένη, αντιπαραγωγική και χωρίς οικονομικό νόημα**

22 08 2022 | 07:37

## UK energy crisis - time to split the power market?

Published on August 18, 2022

### Why Spanish-Portuguese proposal to intervene in wholesale energy markets is problematic

DISCLAIMER: All opinions in this column reflect the views of the author(s), not of EURACTIV Media network.

By Christoph Maurer and Lion Hirth | Apr 13, 2022

Α. Παπαβασιλείου, ΕΜΠ

#### INFORMATION NOTE

From:	General Secretariat of the Council
To:	Council
Subject:	Any other business Proposal for a power market design in order to decouple electricity prices from soaring gas prices - Information from the Greek delegation

Delegations will find in the Annex an information note from the Greek delegation in view of the Extraordinary Transport, Telecommunications and Energy Council on 26 July 2022.

## The Greek market design proposal would be the end of electricity markets as we know them

DISCLAIMER: All opinions in this column reflect the views of the author(s), not of EURACTIV Media network.

By Christoph Maurer, Ingmar Schlecht and Lion Hirth | Jul 28, 2022

Opinion  
Kyriakos  
Mitsotakis

## Europe Can Fight Putin By Capping Gas Prices

Russia has weaponized energy. Here is how the EU can strike back.

Όρα να ανατινάξουμε τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειας

