



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

ΕΞΟΙΚΟΝΟΜΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

ΕΥΑΓΓΕΛΟΣ ΔΙΑΛΥΝΑΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΦΡΑΓΚΙΣΚΟΣ ΤΟΠΑΛΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ

ΣΤΑΥΡΟΥΛΑ ΚΑΒΑΤΖΑ
ΛΕΚΤΟΡΑΣ ΕΜΠ



Εξοικονόμηση Ενέργειας στα Δίκτυα Υψηλής Τάσης (ΥΤ)

Κύρια Μείωση Απωλειών

Απώλειες ενέργειας είναι η διαφορά μεταξύ της ποσότητας που εγχέεται στο Σύστημα Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΗΕ) και της καταμετρημένης κατανάλωσης στους τελικούς χρήστες

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ

- Ωμικές απώλειες ή απώλειες Joule σε Γραμμές Μεταφοράς (ΓΜ)
- Απώλειες στρεμματοειδών εκκενώσεων (Corona) σε ΓΜ
- Απώλειες σιδήρου σε Μετασχηματιστές Ισχύος (εν κενώ)
- Απώλειες χαλκού σε Μετασχηματιστές Ισχύος (υπό φορτίο)
- Άεργος Ισχύς

ΜΗ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ

- Κλοπές ενέργειας
- Λάθη καταμέτρησης



Εξοικονόμηση Ενέργειας στο Δίκτυο ΥΤ

Δράσεις

- Αναβάθμιση των ΓΜ σε υψηλότερα επίπεδα τάσης
- Εξάλειψη της συμφόρησης του Δικτύου Μεταφοράς ΥΤ
- Χρησιμοποίηση συστημάτων ελέγχου της μεταφοράς με ηλεκτρονικά ισχύος για τη βέλτιστη κατανομή ροής ισχύος
- Βελτιστοποίηση της κατανομής τάσεων των ζυγών, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια συνθηκών μεγάλης φόρτισης, με τη χρησιμοποίηση διατάξεων αντιστάθμισης
- Διαχείριση της άεργου ισχύος τοποθετώντας Στατικούς Αντισταθμιστές Αέργου Ισχύος (Static VAr Compensators), Στατικούς Σύγχρονους Αντισταθμιστές (Static Synchronous Compensators) στα μεγάλα κέντρα κατανάλωσης φορτίων, μακριά από την παραγωγή
- Χρησιμοποίηση τεχνικών ανάλυσης βέλτιστης ροής ισχύος προκειμένου να βελτιστοποιηθούν οι τάσεις των ζυγών, οι μεταγωγές των μετασχηματιστών στους υποσταθμούς μεταφοράς και οι μεταγωγές στους μετασχηματιστές μετατόπισης φάσης
- Αξιολόγηση της δυνατότητας αντικατάστασης υπάρχοντων αγωγών φάσης με αγωγούς HTLS (High Temperature-Low Sag)
- Ανάπτυξη τεχνικά αποδεκτών μεθόδων εκτίμησης απωλειών μεταφοράς
- Τοποθέτηση μονάδων παραγωγής αιχμής και διανεμημένης παραγωγής σε θέσεις του συστήματος πλησιέστερα στα σημεία κατανάλωσης



Εξοικονόμηση Ενέργειας στο Δίκτυο Διανομής

Δίκτυα Μέσης Τάσης (ΜΤ) και Χαμηλής Τάσης (ΧΤ)
Κύρια μείωση απωλειών ισχύος

Αντιστάθμιση

Μετασχηματιστές Διανομής
Διατάξεις Αντιστάθμισης Ισχύος



Μετασχηματιστές Διανομής

- Μετασχηματίζουν την ηλεκτρική ισχύ από τη Μέση Τάση (συνήθως 10 kV έως 36 kV) στη Χαμηλή Τάση (κυρίως 400 V αλλά γενικά έως 1 kV)
- Ονομαστική ισχύς: 50 kVA - 2500 kVA





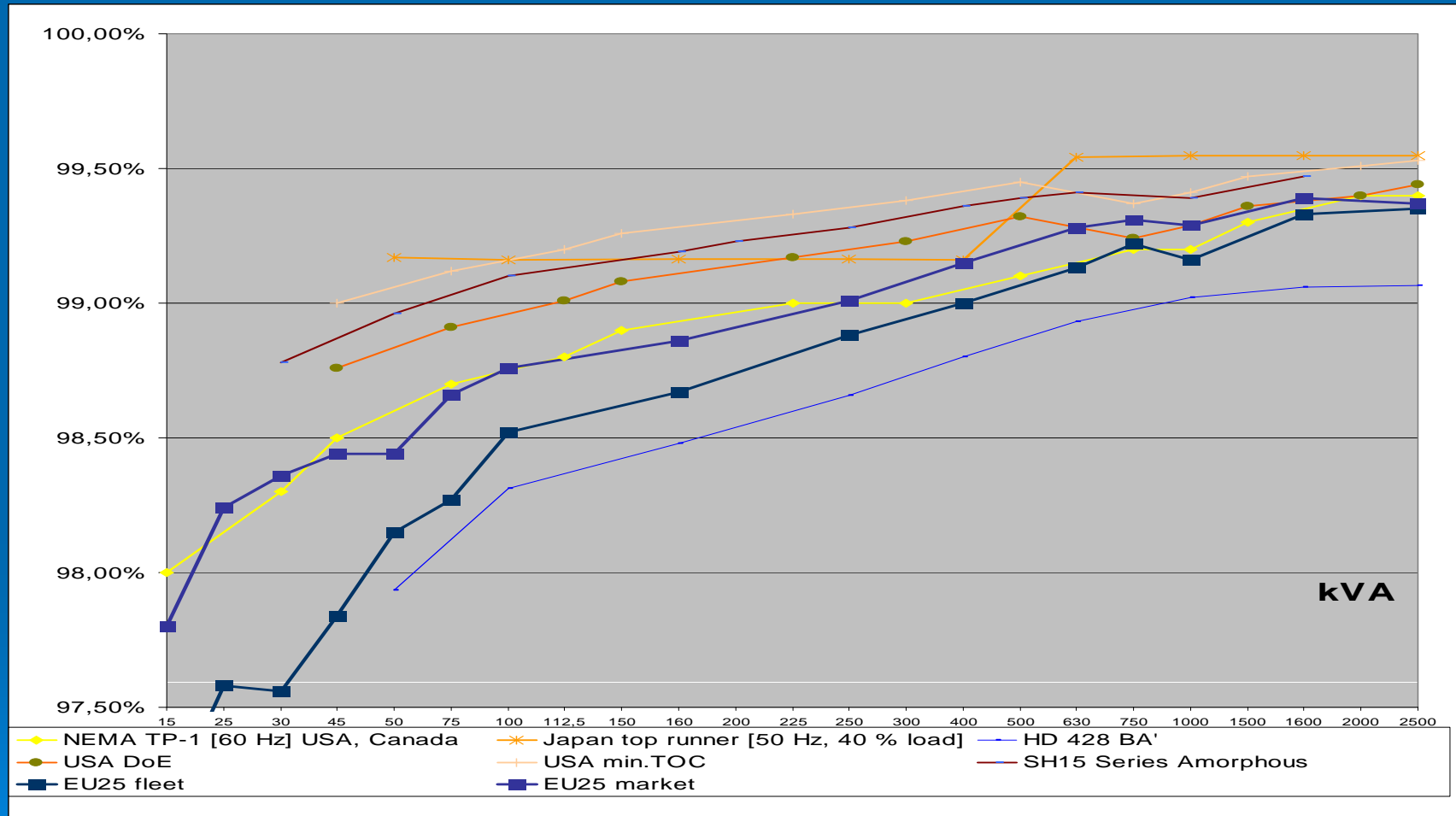
Πληθυσμός μετασχηματιστών διανομής το 2004 στην Ε.Ε.-27, πωλήσεις ανά έτος και απώλειες

Ιδιοκτησία	Εγκατεστημένοι	Πωλήσεις ανά έτος	Απώλειες κενού φορτίου εγκατεστημένων Μ/Σ (TWh/έτος)	Απώλειες φορτίου εγκατεστημένων Μ/Σ (TWh/έτος)
Εταιρείες διανομής	3.700.000	85.000	16,0	6,0
Βιομηχανία & τριτογενής τομ. Μ/Σ ελαίου	800.000	38.000	5,5	2,2
Βιομηχανία & τριτογενής τομ. Μ/Σ ξηρού τύπου	200.000	16.000	2,6	1,1
Σύνολο	4.700.000	140.000	24,1	9,3

33,3 TWh/έτος οι απώλειες των Μ/Σ διανομής στην Ευρώπη των 27!



Πρότυπα ελάχιστης απόδοσης - Η Ευρώπη κυριαρχείται από Μ/Σ υψηλών απωλειών





Προτάσεις του Ευρωπαϊκού έργου SEEDT για τη μείωση των απωλειών των Μ/Σ Διανομής

➤ Μέτρα οικονομικού χαρακτήρα

- ❖ Αλλαγές στο ρυθμιστικό πλαίσιο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας
- ❖ Αύξηση του χρόνου απόσβεσης επενδύσεων σε εξοπλισμό υψηλής ενεργειακής απόδοσης
- ❖ Κατάργηση αντικινήτρων
- ❖ Επιδοτήσεις στο μεταβατικό στάδιο

➤ Μέτρα τεχνικού χαρακτήρα

- ❖ Ενεργειακή κατηγοριοποίηση (Labelling) των Μ/Σ διανομής
- ❖ Υποχρεωτικό πρότυπο ελάχιστης ενεργειακής απόδοσης

Strategies for development and diffusion of
Energy Efficient Distribution Transformers





Επιπτώσεις των Προτεινόμενων Μέτρων

- Το τεχνικό (στατικό) δυναμικό είναι περίπου 18,5 TWh/έτος
- Τι μέρος αυτού του δυναμικού μπορεί να πραγματοποιηθεί μέχρι το έτος 2025;
- 4 σενάρια ενεργειακής απόδοσης
 - Εργαλεία: PRIMES Trends, PRIMES EE/RES
 - Παράμετροι:
 - Αντικατάσταση στο τέλος της διάρκειας ζωής
 - Αλλαγές λόγω αύξησης/μείωσης του ζήτησης φορτίου
 - Αλλαγές λόγω αναδιάρθρωσης δικτύων διανομής
 - Αλλαγές λόγω αύξησης της διανεμημένης παραγωγής
 - Τιμές παραμέτρων από πραγματικά στοιχεία για κάθε χώρα



Δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας (GWh/έτος) στην Ε.Ε.-27 το έτος 2025

Γενική ανάπτυξη του ηλεκτρικού συστήματος	Σενάριο 1 Ελαίου: $A_o B_k$ Ξηρού τύπου: HD 538	Σενάριο 2 Ελαίου: $A_o A_k$ Ξηρού τύπου: HD538 LL - 10% NLL - 10%	Σενάριο 3 Ελαίου: $A_o - 49%$ $B_k + 8%$ Ξηρού τύπου: HD538 LL - 20%, NLL - 20%	Σενάριο 4 Ελαίου: $A_o - 49%$ B_k Ξηρού τύπου: HD538 LL - 10% NLL - 40%
Μοντέλο PRIMES Trends	6,167	7,438	10,569	11,631
Μοντέλο PRIMES EE/RES	5,015	5,761	7,915	8,163

A_o : Κλάση M/Σ ελαίου με τις χαμηλότερες απώλειες κενού φορτίου (NLL) κατά EN 50464

A_k, B_k : Κλάσεις M/Σ ελαίου με τις χαμηλότερες απώλειες φορτίου (LL) κατά EN 50464

$A_o - 49%$: Απώλειες κενού φορτίου M/Σ ελαίου με πυρήνα αμόρφου σιδήρου

HD538: Απώλειες M/Σ ξηρού τύπου κατά HD538

HD538 LL -10% NLL-40%: Απώλειες M/Σ ξηρού τύπου με πυρήνα αμόρφου σιδήρου 10



Περιβαλλοντικές επιπτώσεις (εκατομ. t CO₂/έτος) των σεναρίων στην Ε.Ε.-27 το έτος 2025

Γενική ανάπτυξη του ηλεκτρικού συστήματος	Σενάριο 1 Ελαίου: A ₀ B _k Ξηρού τύπου: HD 538	Σενάριο 2 Ελαίου: A ₀ A _k Ξηρού τύπου: HD538 LL - 10% NLL - 10%	Σενάριο 3 Ελαίου: A ₀ - 49% B _k + 8% Ξηρού τύπου: HD538 LL - 20%, NLL - 20%	Σενάριο 4 Ελαίου: A ₀ - 49% B _k Ξηρού τύπου: HD538 LL - 10% NLL - 40%
PRIMES Trends	1,7	2,2	3,2	3,5
PRIMES EE/RES	1,5	1,7	2,4	2,7

A₀: Κλάση M/Σ ελαίου με τις χαμηλότερες απώλειες κενού φορτίου (NLL) κατά EN 50464

A_k, B_k: Κλάσεις M/Σ ελαίου με τις χαμηλότερες απώλειες φορτίου (LL) κατά EN 50464

A₀ -49%: Απώλειες κενού φορτίου M/Σ ελαίου με πυρήνα άμορφου σιδήρου

HD538: Απώλειες M/Σ ξηρού τύπου κατά HD538

HD538 LL -10% NLL-40%: Απώλειες M/Σ ξηρού τύπου με πυρήνα άμορφου σιδήρου 11



Διαπιστώσεις

- ✓ Εξοικονόμηση ενέργειας έως 11,6 TWh/έτος το έτος 2025
- ✓ Μείωση των εκπομπών CO₂ έως 3,5 εκατομ. τόνοι/έτος
- ✓ Η ενεργειακή κατηγοριοποίηση (Labelling) χρήσιμη για ενεργειακούς διαχειριστές που δεν γνωρίζουν τα πλεονεκτήματα των Μ/Σ χαμηλών απωλειών
- ✓ Το υποχρεωτικό πρότυπο θα αποκλείσει τους Μ/Σ υψηλών απωλειών από την αγορά
- ✓ Το οικονομικό όφελος των εταιρειών διανομής εξαρτάται από το ρυθμιστικό πλαίσιο
- ✓ Πιθανώς να χρειασθούν οικονομικά ή φορολογικά κίνητρα
- ✓ Θα απαιτηθεί δέσμη μέτρων σε Ευρωπαϊκό και εθνικό επίπεδο



ΑΕΡΓΟΣ ΙΣΧΥΣ

Τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας καταναλώνουν ενεργό αλλά και άεργο ισχύ που προκαλείται από:

- τα μαγνητικά πεδία των κινητήρων και των μετασχηματιστών ισχύος
- την επαγωγική αντίδραση των γραμμών μεταφοράς και διανομής
- τα πηνία
- τους λαμπτήρες φθορισμού
- όλα τα επαγωγικά κυκλώματα

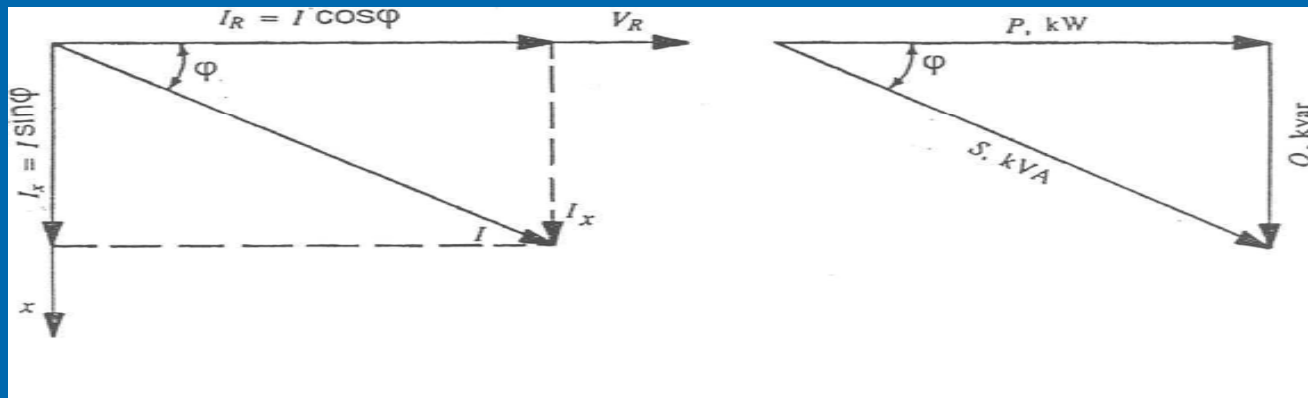
Ενδεικτικές απαιτήσεις αέργου ισχύος διαφόρων ηλεκτρικών φορτίων και εγκαταστάσεων:

Είδος φορτίου	Απαίτηση αέργου ισχύος
Γραμμές Μεταφοράς	20 ÷ 60 kVAr/km
Μετασχηματιστές	~ 0.05 kVAr/km
Κινητήρες επαγωγής	0.5 ÷ 0.9 kVAr/km
Λαμπτήρες φθορισμού	~ 2 kVAr/km



ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΙΣΧΥΟΣ

Σε ένα τυπικό φορτίο διανομής, το διάνυσμα του ρεύματος I υστερεί του διανύσματος της τάσης V κατά μια γωνία φ , και το τρίγωνο ισχύος είναι



Συντελεστής ισχύος ($\cos\varphi$) ενός ηλεκτρικού φορτίου ορίζεται το συνημίτονο της γωνίας φ μεταξύ των διανυσμάτων της τάσης V και του ρεύματος I του φορτίου ή ο λόγος της ενεργού ισχύος P προς την φαινόμενη ισχύ S του φορτίου

Επαγωγικά φορτία στα δίκτυα διανομής με συντελεστή ισχύος περίπου ίσο με 0,80



ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗ ΑΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ

Βασικοί λόγοι λήψης απόφασης για την εγκατάσταση συστοιχιών πυκνωτών που αποσκοπούν στη βελτίωση του συντελεστή ισχύος ενός φορτίου:

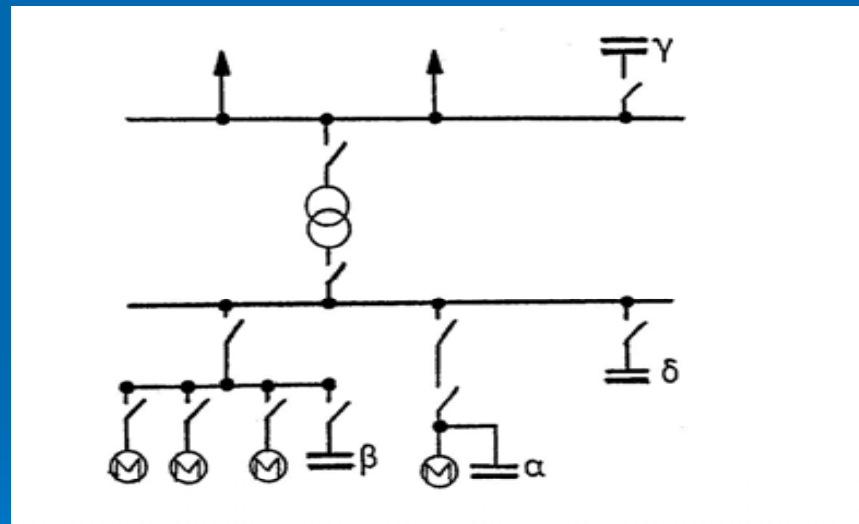
- Χρέωση υπερβολικής κατανάλωσης αέργου ισχύος
- Μείωση απωλειών ισχύος και ενέργειας
- Αύξηση διαθέσιμης ισχύος του υποσταθμού τροφοδότησης
- Σωστότερος προγραμματισμός νέων υποσταθμών του δικτύου
- Ανύψωση ή ρύθμιση της τάσης των ζυγών
- Διευκόλυνση εκκίνησης μεγάλων κινητήρων στην άκρη πολύ φορτισμένων γραμμών διανομής



ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ

Παραγωγή χωρητικής άεργου ισχύος στο δίκτυο, έτσι ώστε η άεργος ισχύς του φορτίου και μπορεί να μειωθεί ή και να εξαλειφθεί

Βασικές μέθοδοι αντιστάθμισης είναι:





ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ (συνέχεια)

- α. Ατομική: Χρησιμοποιείται σε μεγάλα επαγωγικά φορτία με σημαντικό συντελεστή χρησιμοποίησης, ο πυκνωτής συνδέεται και αποσυνδέεται ταυτόχρονα με το φορτίο και έτσι γίνεται χρήση του ίδιου εξοπλισμού ζεύξης και προστασίας
- β. Ομαδική: Χρησιμοποιείται κοινός πυκνωτής και αντιστάθμιση ομάδας ομοειδών επαγωγικών φορτίων με ίδια χαρακτηριστικά λειτουργίας
- γ. Κεντρική: Η επαγωγική άεργος ισχύος ενός πλήθους φορτίων διαφορετικής ισχύος και διάρκειας λειτουργίας αντισταθμίζεται από μια συστοιχία πυκνωτών συνδεδεμένη στην πλευρά υψηλής ή χαμηλής τάσης του υποσταθμού
- δ. Μικτή αντιστάθμιση



ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΗΣ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΑΕΡΓΟΥ ΙΣΧΥΟΣ

Κεντρική αντιστάθμιση χρησιμοποιεί συσκευές αυτόματης ρύθμισης άεργου ισχύος με θέση σε αυτόματη λειτουργία διαφορετικών βαθμίδων ανάλογα με τις ανάγκες ώστε να συνεισφέρουν σε ένα ομαλώς μεταβαλλόμενο και υψηλό συντελεστή ισχύος ανάλογα με τη διακύμανση του φορτίου

Αποτελούνται από:

- ΠΥΚΝΩΤΕΣ
- ηλεκτρονόμο συντελεστή ισχύος για τη διαπίστωση των αναγκών σε άεργο ισχύ και την εντολή ζεύξης ή απόζευξης των βαθμίδων ΤΩΝ ΠΥΚΝΩΤΩΝ
- διακόπτες ζεύξης
- μηχανισμό εκφόρτισης των πυκνωτών μετά τη διακοπή της τροφοδοσίας από το δίκτυο



ΘΕΣΕΙΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ ΠΥΚΝΩΤΩΝ

- Τοποθέτηση των πυκνωτών όσο το δυνατόν πλησιέστερα προς το φορτίο προς αντιστάθμιση, ώστε να υπάρξει ελαχιστοποίηση των απωλειών και μέγιστη αύξηση της τάσης
- Εγκατάσταση των πυκνωτών με τέτοιο τρόπο ώστε να μετατεθεί ο χρονικός ορίζων επέκτασης του υποσταθμού
- Αντιστάθμιση της ελάχιστης αέργου ισχύος με μόνιμα συνδεδεμένους πυκνωτές, ώστε να αποφευχθούν κόστη ζεύξης-απόζευξης
- Κατανομή των πυκνωτών σε βαθμίδες ώστε να ελέγχεται η διακύμανση της τάσης (Διακύμανση 2% είναι αποδεκτή για μια ζεύξη-απόζευξη ανά ώρα, 3% για μια ζεύξη-απόζευξη ανά ημέρα και 5% για μια εποχιακή ζεύξη-απόζευξη)



Εξοικονόμηση ενέργειας στο Δίκτυο Χαμηλής Τάσης (ΧΤ) Κύρια μείωση απωλειών στον καταναλωτή

- Διατήρηση της συμμετρίας των φάσεων
- Διατήρηση της κυματομορφής της τάσης
- Μείωση της «περιττής» ποσότητας ηλεκτρικής ενέργειας:
 - Φωτισμός (εσωτερικός / εξωτερικός)
 - Αυτοματισμοί για ορθολογική χρήση καταναλωτών
 - Ρύθμιση στροφών κινητήρων
 - Χρήση κινητήρων μεταβλητών στροφών
 - Κατάργηση της λειτουργίας των συσκευών σε κατάσταση αναμονής
- Αντικατάσταση ηλεκτρικής ενέργειας με πρωτογενή ενέργεια (π.χ. φυσικό αέριο) για
 - Παρασκευή τροφής
 - Παρασκευή θερμού νερού χρήσης
 - Κλιματισμό
- Χρήση συστημάτων που ενσωματώνουν Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας για
 - Παρασκευή θερμού νερού χρήσης
 - Παρασκευή θερμού νερού για θέρμανση και ψύξη



Σημαντικότερες Μέθοδοι για την Εξοικονόμηση Ενέργειας στον Φωτισμό

- Ηλεκτρονικά ballast
- Λαμπτήρες T5 αντί T8
- BMS
- Τοπικοί αυτοματισμοί
- Επιλογή λαμπτήρων και φωτιστικών
- Διόρθωση συντελεστή ισχύος
- Πρόγραμμα συντήρησης
- Αρχιτεκτονικές λύσεις



Γενικές Κατευθύνσεις για Φωτισμό

- Λαμπτήρες υψηλής απόδοσης
- Warmwhite αντί Daylight
- Ballast υψηλής απόδοσης
- Ηλεκτρονικό ballast αντί συμβατικού
- Λαμπτήρες T5 αντί T8
- Λαμπτήρες μεγάλης ονομαστικής ισχύος
- Οπτικό σύστημα υψηλής απόδοσης



Συντήρηση Εγκαταστάσεων Φωτισμού

Η απόδοση της εγκατάστασης μειώνεται

- κατά 40% με πλημμελή συντήρηση
- κατά 25% με τακτική συντήρηση

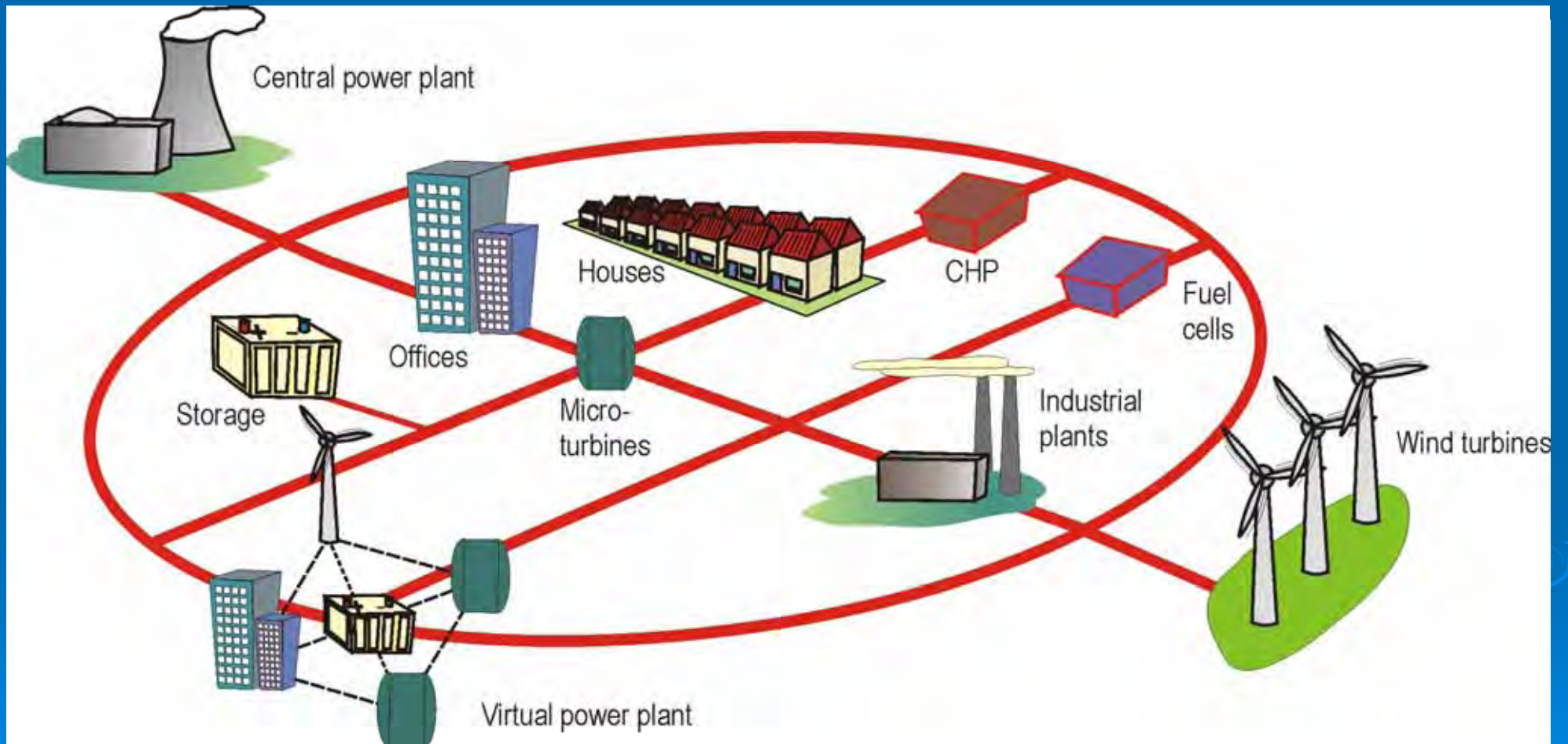
Μετρήσεις σε τυπικούς χώρους έδειξαν:

Εξοικονόμηση 15%

- με καθαρισμό φωτιστικών ανά έτος και
- αντικατάσταση του 1/3 των λαμπτήρων



ΔΙΑΝΕΜΗΜΕΝΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ





ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΟ ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ «ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ»

Σκοπός: Εκπαίδευση Μηχανικών (κυρίως) σε θέματα ενέργειας σε διεπιστημονικό επίπεδο

Συνεργαζόμενες Σχολές: Ηλεκτρολόγων, Μηχανολόγων, Χημικών, Ναυπηγών και Πολιτικών Μηχανικών

40 φοιτητές

Φοίτηση 12 - 24 μήνες με υποχρεωτική παρακολούθηση

1ο εξάμηνο: 10 μαθήματα από Καθηγητές διαφόρων Σχολών

2ο εξάμηνο: 8 μαθήματα από Καθηγητές διαφόρων Σχολών σε δύο Ροές

Ροή I: Παραγωγή με ΑΠΕ (Διεισπαρμένη/Βιομάζα, κλπ.)

Ροή II: Εξοικονόμηση Ενέργειας με ειδικά μαθήματα:

- Εξοικονόμηση Ενέργειας στα Κτήρια – Παθητικά Συστήματα
- Εξοικονόμηση Ενέργειας στα Κτήρια – Ενεργητικά Συστήματα
- Χρήσεις και Εξοικονόμηση Ενέργειας στη Βιομηχανία
- Διαχείριση Ενέργειας και Διοίκηση Έργων

3ο εξάμηνο: Μεταπτυχιακή εργασία