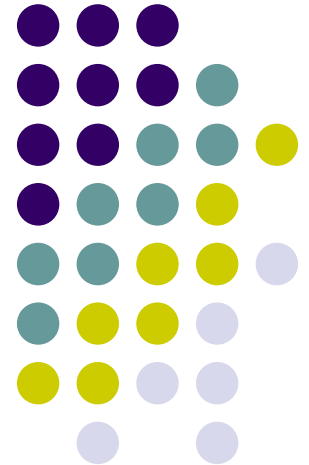


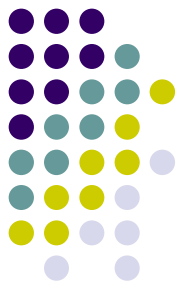
Εξοικονόμηση ενέργειας στους μετασχηματιστές διανομής



Φραγκίσκος Β. Τοπαλής
Κωνσταντίνος Μπουρούσης
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο



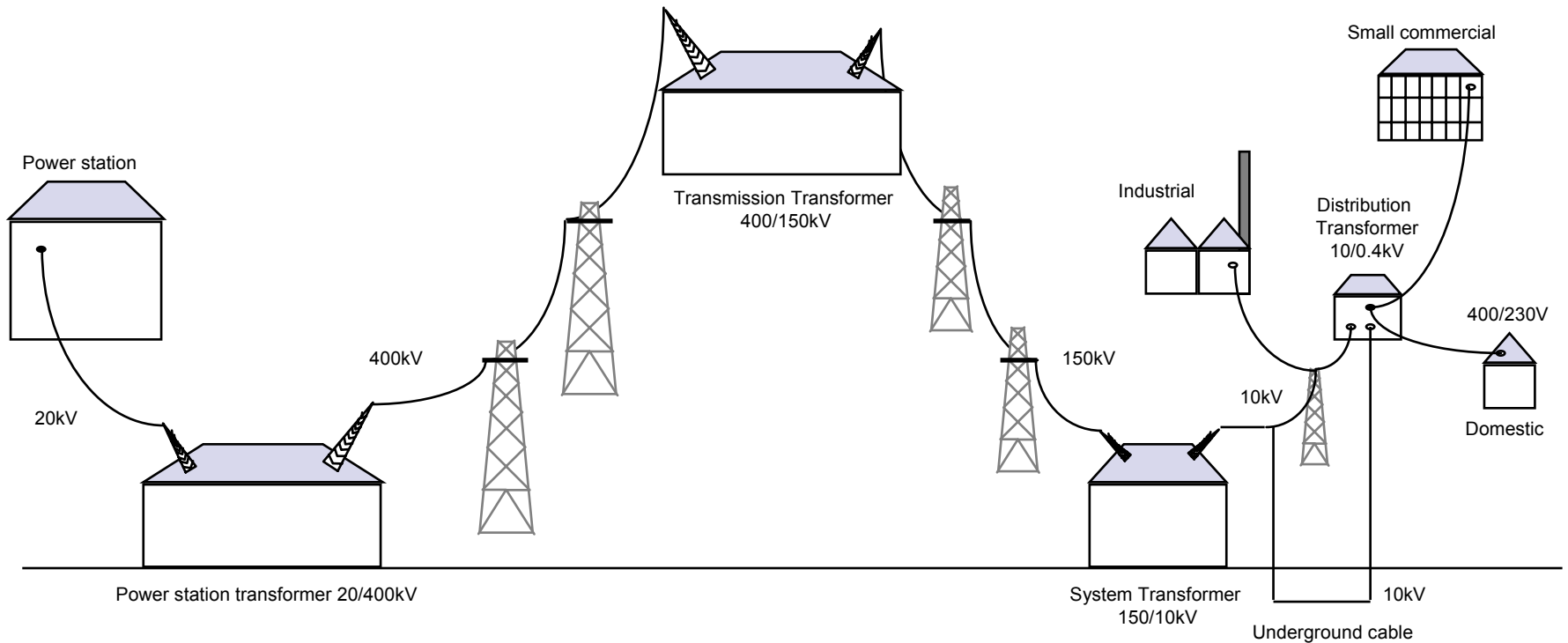
Γενικά για τους μετασχηματιστές διανομής



- Μετασχηματιστές 20kV/410 V
- Ισχύς 50-2500 kVA
- Το μεγαλύτερο πληθυσμιακά είδος μετασχηματιστών
- Πολλοί κατασκευαστές ανά τον κόσμο
- Στην Ελλάδα μόνο ένας κατασκευαστής



Typical European Power Systems Network



Τύποι μετασχηματιστών διανομής



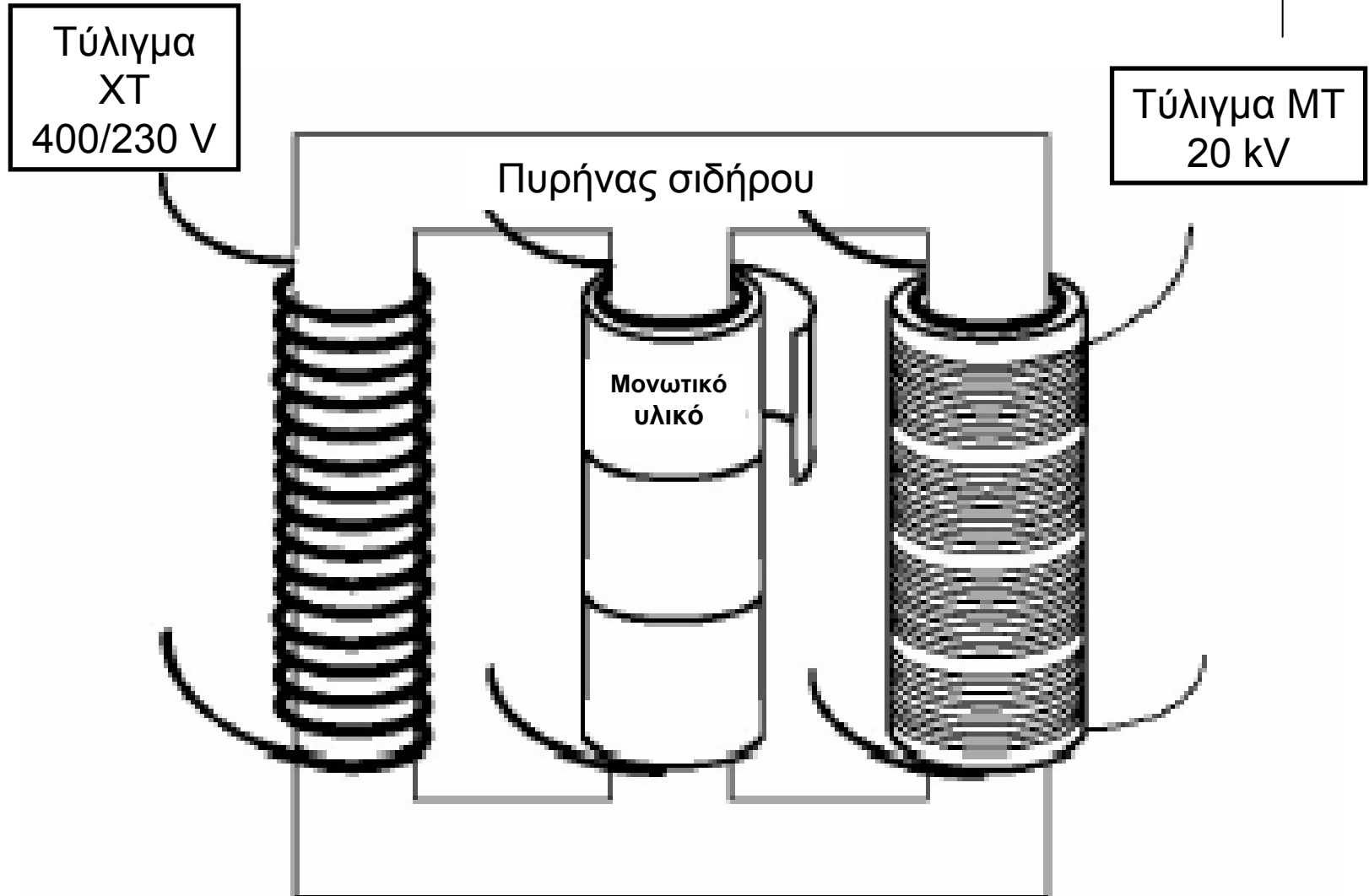
Ελαίου



Ξηρού τύπου



Ανατομία ενός μετασχηματιστή



Απώλειες μετασχηματιστών



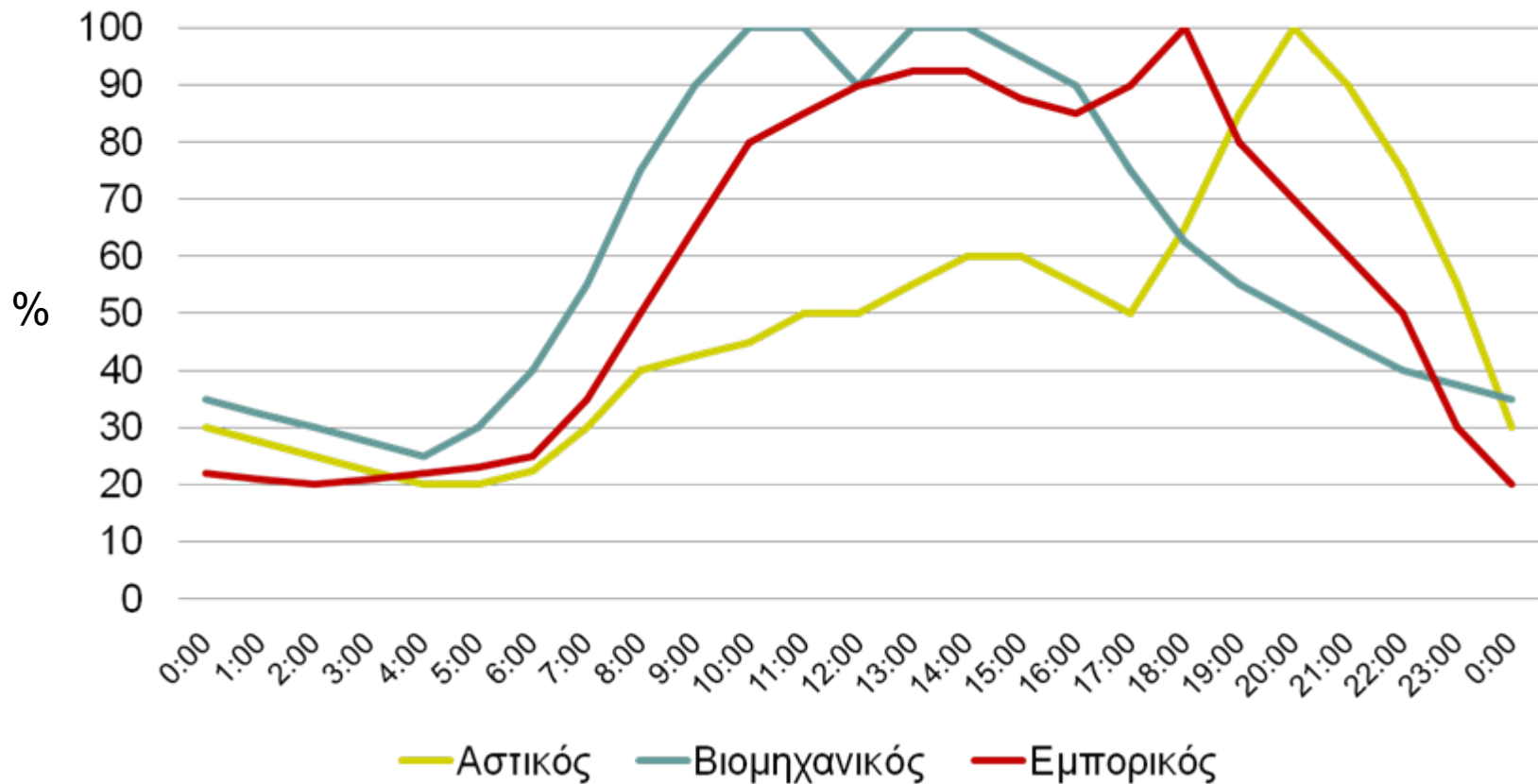
- Οι μετασχηματιστές είναι αρκετά αποδοτικοί συγκρινόμενοι με άλλες ηλεκτρικές συσκευές
- Απώλειες:
 - P_o : **κενού φορτίου** (σιδήρου ή πυρήνα)
 - P_c : **φορτίου** (χαλκού ή τυλιγμάτων)
 - επιπρόσθετες (στο σύστημα ψύξης κ.λπ.)
- Οι συνολικές ετήσιες απώλειες ενός MT υπολογίζονται συνοπτικά ως:

$$W=(P_o+P_c \cdot L^2) \cdot 8760$$

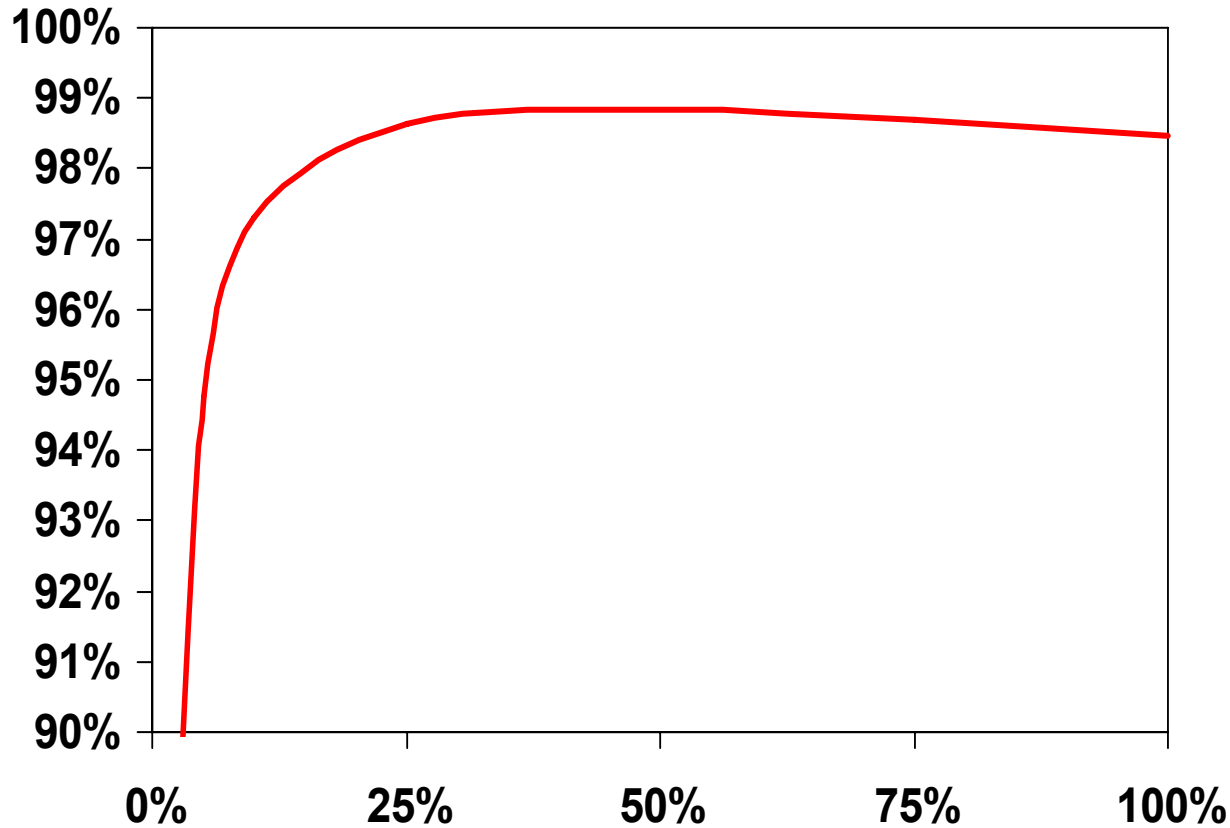
Φορτίο ΜΤΔ στην Ελλάδα



Ημερήσιες καμπύλες ζήτησης φορτίου ανά τομέα

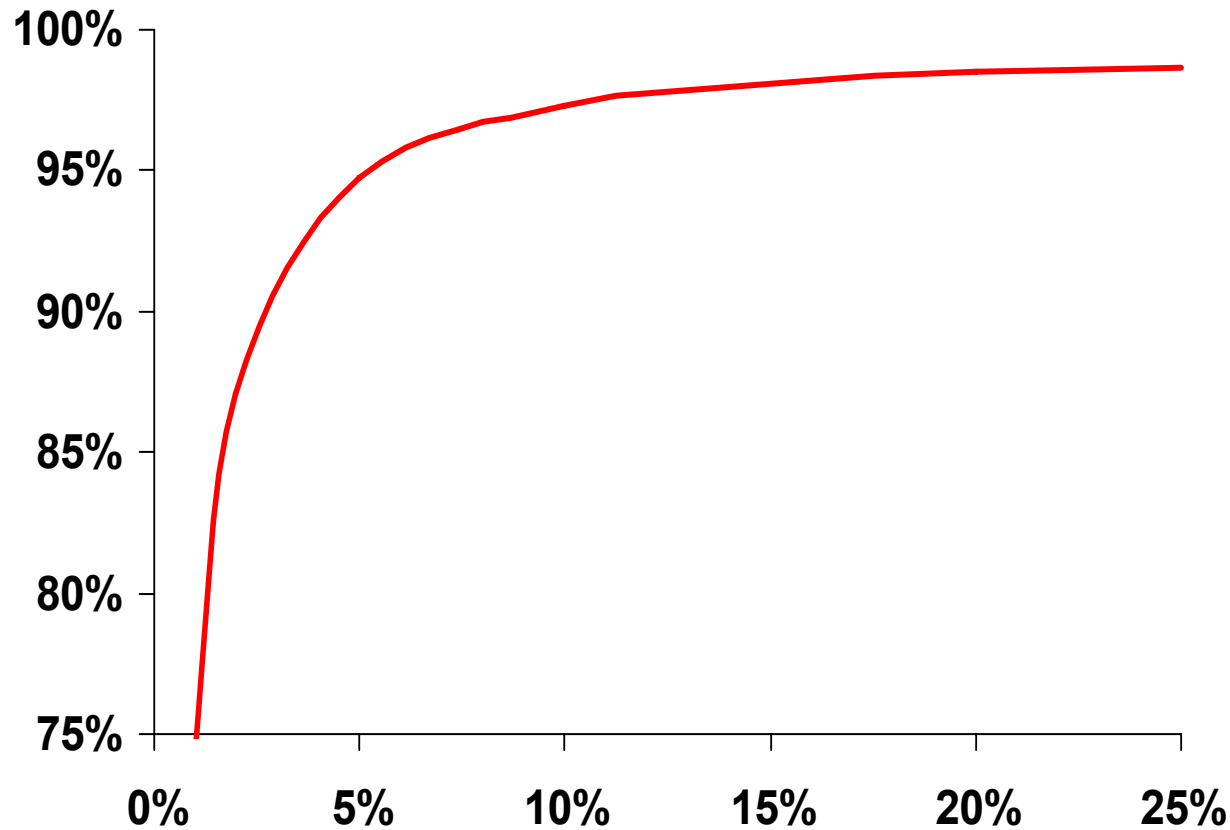


Απόδοση μετασχηματιστή



400 kVA,
κλάση
απωλειών
A-A'
(HD428)

Απόδοση σε χαμηλό συντελεστή φόρτισης



400 kVA,
κλάση
απωλειών
A-A'
(HD428)

Απώλειες κενού φορτίου (πυρήνα)



- Οφείλονται στο ρεύμα μαγνήτισης στον πυρήνα
- Είναι ανεξάρτητες από το φορτίο (επίπεδο φόρτισης)
- Εξαρτώνται από το τετράγωνο της τάσης
- Είναι σταθερές και συνεισφέρουν αρκετά στις συνολικές απώλειες του μετασχηματιστή

Μείωση των απωλειών κενού φορτίου

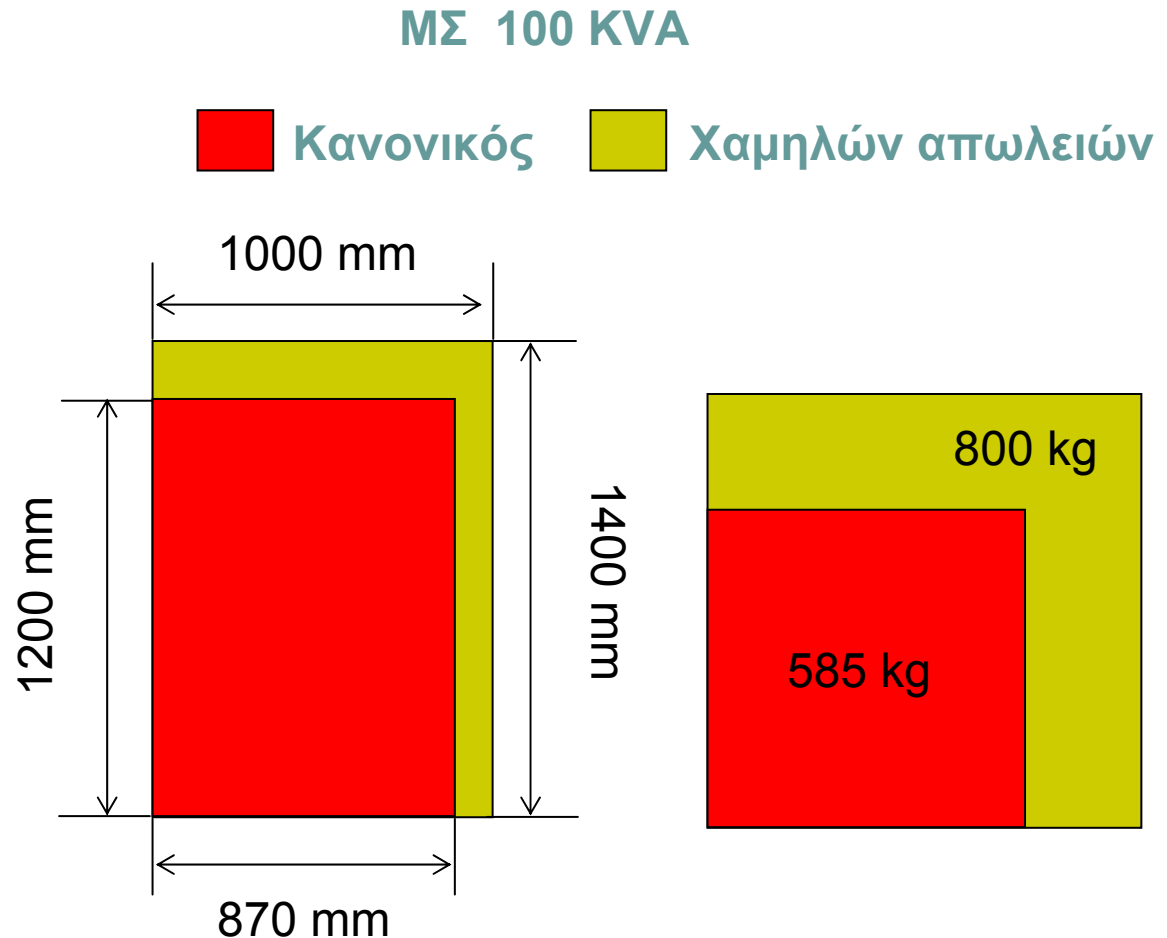


- Τρόποι μείωσης:
 - Αύξηση του μεγέθους του πυρήνα
 - Επιλογή σιδήρου υψηλής απόδοσης για τον πυρήνα (π.χ. άμορφος σίδηρος)
 - Βελτιστοποίηση σχεδίασης, τεχνικών κοπής κατασκευής και σύνδεσης πυρήνα
 - παραγωγή ελασμάτων με εξέλαση εν ψυχρώ

Μείωση των απωλειών κενού φορτίου



- Αύξηση του μεγέθους του πυρήνα: Με την αύξηση του μεγέθους του πυρήνα μειώνεται το μαγνητικό πεδίο με αποτέλεσμα να μειώνονται και οι απώλειες κενού φορτίου
- Μειονεκτήματα
 - αύξηση βάρους
 - αύξηση κόστους



Μείωση των απωλειών κενού φορτίου

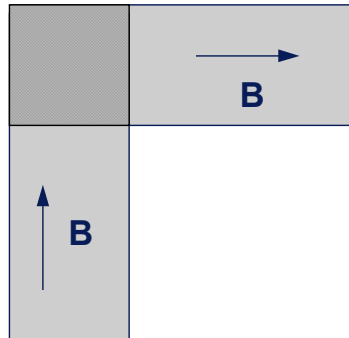
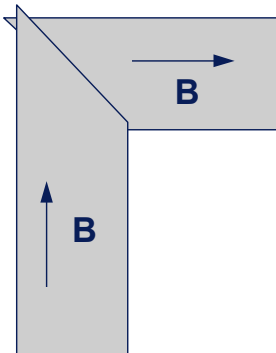


- Επιλογή σιδήρου υψηλής απόδοσης
 - Θερμής εξέλασης (1900)
 - Ψυχρής εξέλασης
 - Ψυχρής εξέλασης με περιεκτικότητα πυριτίου (1950)
 - Ψυχρής εξέλασης με μείωση της περιεκτικότητας σε πυρίτιο
 - Νέες τεχνικές παρέμβασης στο κρυσταλλικό πλέγμα του σιδήρου (1980)
 - Άμορφος σίδηρος (σήμερα)

Μείωση των απωλειών κενού φορτίου



- Βελτιστοποίηση σχεδίασης, τεχνικών κοπής κατασκευής και σύνδεσης πυρήνα



Κοπή ελασμάτων πυρήνα:

- σε γωνία 90°

- Μικρότερο κόστος κατασκευής
- Αυξημένες απώλειες (μπορούν να ελαττωθούν με την αύξηση της διατομής του πυρήνα)

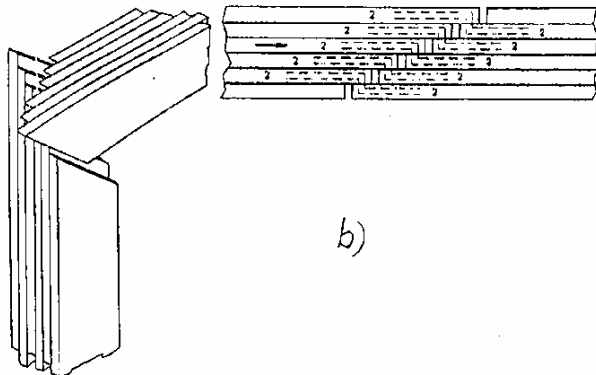
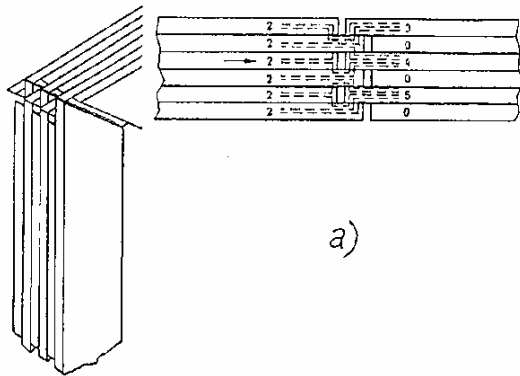
- σε γωνία 45°

- Ευνοούν την ροή της μαγνητικής ροής (το κρυσταλλικό πλέγμα του σιδήρου είναι προσανατολισμένο με την μαγνητική ροή)

Μείωση των απωλειών κενού φορτίου



- Βελτιστοποίηση σχεδίασης, τεχνικών κοπής κατασκευής και σύνδεσης πυρήνα



Ένωση ελασμάτων πυρήνα (45°):

- **απλή**

- οι διαδρομές της μαγνητικής ροής είναι ακανόνιστες στο διάκενο του αέρα

- **κλιμακωτή**

- κανονική μαγνητική ροή στο διάκενο

Απώλειες φορτίου



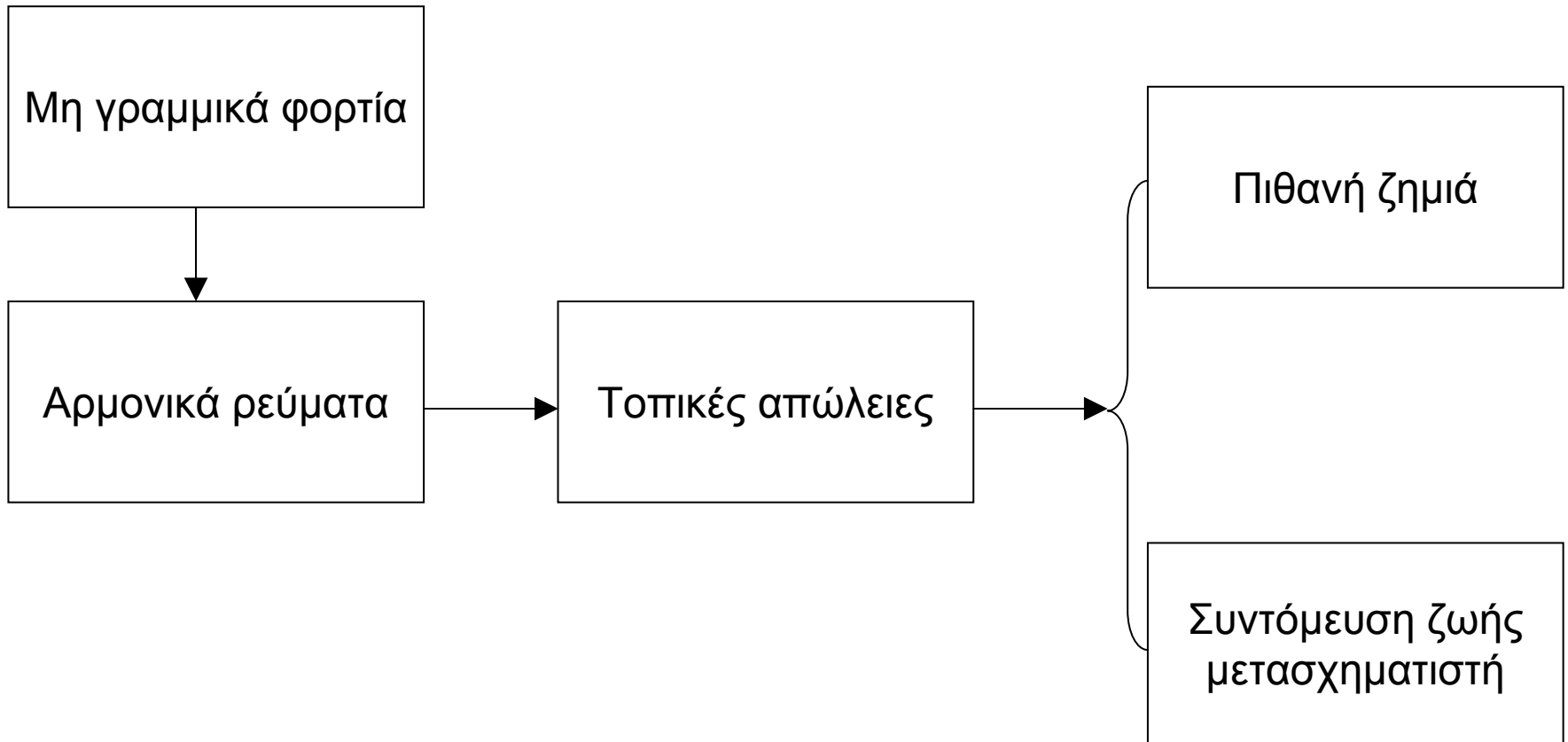
- Προέλευση
 - Ωμικές απώλειες στα τυλίγματα υψηλής και χαμηλής τάσης
- Εξαρτώνται από το τετράγωνο του ρεύματος φόρτισης του μετασχηματιστή

Μείωση των απωλειών φορτίου



- Τρόποι μείωσης:
 - Μείωση αριθμού των περιελίξεων των τυλιγμάτων
 - Αύξηση της διατομής της κάθε περιέλιξης
 - Συνδυασμός των ανωτέρω
 - Βελτιστοποίηση περιέλιξης των πηνίων (μηχανική περιέλιξη κ.λπ.)
 - Χρήση υπεραγώγιμων υλικών

Επιρροή των αρμονικών στις απώλειες



Επιρροή των αρμονικών στις απώλειες (παράδειγμα ΜΤΔ-250 kVA)



A. Harmonic Content (THD~25%)

Harmonics	1	3	5	7	9	11	13	15	17
Content (%)	100	1	20	10	1	9	6	1	5

B. Transformer Losses without Harmonic Distortion

Loss (W)	Amorphous Metal	Silicon Steel
Hysteresis	99	155
Eddy Current	33	311
Total Core Loss	132	466
Coil Loss	966	1,084
Loading Level (%)	55	58
Total Transformer Loss	1,098	1,550

C. Transformer Losses with Harmonic Distortion of Table A

Loss (W)	Amorphous Metal	Silicon Steel
Hysteresis	99	155
Eddy Current	74	698
Total Core Loss	173	853
Coil Loss	1,553	1,671
Loading Level (%)	55	58
Total Transformer Loss	1,726	2,524

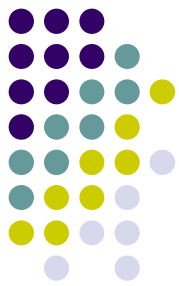
Προδιαγραφές κατασκευής ΜΤΔ



- **CENELEC-HD 428**: Τριφασικοί ΜΤΔ ελαίου 50 Hz, 50 – 2500 kVA.
- **CENELEC-HD 538**: Τριφασικοί ΜΤΔ ξηρού τύπου 50 Hz.
- Τα παραπάνω πρότυπα έχουν υιοθετηθεί από τον **ΕΛΟΤ**

CENELEC-HD428

Πρότυπο για ΜΤΔ ελαίου



Ονομαστική ισχύς (kVA)	Κατηγορία Α	Κατηγορία Β	Κατηγορία C	Τάση βραχυκύκλωσης (%)
	Απώλειες φορτίου P_k (W)	Απώλειες φορτίου P_k (W)	Απώλειες φορτίου P_k (W)	
50	1100	1350	875	4
100	1750	2150	1475	4
160	2350	3100	2000	4
250	3250	4200	2750	4
400	4600	6000	3850	4
630	6500	8400	5400	4
630	6750	8700	5600	6
1000	10500	13000	9500	6
1600	17000	20000	14000	6
2500	26500	32000	22000	6

Ονομαστική ισχύς (kVA)	Κατηγορία Α'		Κατηγορία Β'		Κατηγορία C'		Τάση βραχυκύκλωσης (%)
	Απώλειες κενού P_0 (W)	Θόρυβος L_w (dB)	Απώλειες κενού P_0 (W)	Θόρυβος L_w (dB)	Απώλειες κενού P_0 (W)	Θόρυβος L_w (dB)	
50	190	55	145	50	125	47	4
100	320	59	260	54	210	49	4
160	460	62	375	57	300	52	4
250	650	65	530	60	425	55	4
400	930	68	750	63	610	58	4
630	1300	70	1030	65	860	60	4
630	1200	70	940	65	800	60	6
1000	1700	73	1400	68	1100	63	6
1600	2600	76	2200	71	1700	66	6
2500	3800	81	3200	76	2500	71	6

CENELEC-HD538

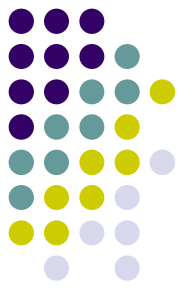
Πρότυπο για ΜΤΔ ξηρού τύπου



Ισχύς (KVA)	Κλάση kV	Απώλειες κενού Po (W)	Απώλειες φορτίου Pcc(W) 120C°	Τάση βραχ/κλώσης Vcc (%)	Ρεύμα κενής λειτουργίας Io(%)	Βάρος (kg)	Μήκος (mm)	Πλάτος (mm)	Ύψος (mm)	Απόστ. τροχών (mm)	Επίπ. θορύβου db (1m)
160	24	660	3000	6	1,9	780	1260	600	1130	520	51
250	24	880	3800	6	1.5	1050	1300	600	1250	520	54
315	24	1000	4500	6	1.4	1200	1400	750	1330	670	55
400	24	1100	5200	6	1.3	1400	1400	750	1410	670	56
500	24	1350	6700	6	1.2	1600	1450	750	1490	670	56
630	24	1650	7800	6	1.2	1950	1550	850	1580	670	57
800	24	1900	9400	6	1.1	2250	1550	850	1750	670	58
1000	24	2200	10800	6	1	2700	1630	1000	1820	820	59
1250	24	2700	13000	6	1	3200	1750	1000	1970	820	60
1600	24	3100	15000	6	0.9	3900	1850	1000	2040	820	62
2000	24	3600	19000	6	0.9	4600	2000	1310	2120	1070	64
2500	24	4800	22000	6	0.8	5800	2100	1310	2280	1070	65

prEN-50464

Πρότυπο για ΜΤΔ ελαίου (απώλειες κενού)



Rated power	E_0		D_0		C_0		B_0		A_0		Short circuit impedance
	P_0 W	L_{WA} dB(A)	P_0 W	L_{WA} dB(A)	P_0 W	L_{WA} dB(A)	P_0 W	L_{WA} dB(A)	P_0 W	L_{WA} dB(A)	
kVA											%
50	190	55	145	50	125	47	110	42	90	39	4
100	320	59	260	54	210	49	180	44	145	41	
160	460	62	375	57	300	52	260	47	210	44	
250	650	65	530	60	425	55	360	50	300	47	
315	770	67	630	61	520	57	440	52	360	49	
400	930	68	750	63	610	58	520	53	430	50	
500	1 100	69	880	64	720	59	610	54	510	51	
630	1 300	70	1 030	65	860	60	730	55	600	52	
630	1 200	70	940	65	800	60	680	55	560	52	6
800	1 400	71	1 150	66	930	61	800	56	650	53	
1 000	1 700	73	1 400	68	1 100	63	940	58	770	55	
1 250	2 100	74	1 750	69	1 350	64	1 150	59	950	56	
1 600	2 600	76	2 200	71	1 700	66	1 450	61	1 200	58	
2 000	3 100	78	2 700	73	2 100	68	1 800	63	1 450	60	
2 500	3 500	81	3 200	76	2 500	71	2 150	66	1 750	63	

prEN-50464

Πρότυπο για ΜΤΔ ελαίου (απώλειες φορτίου)



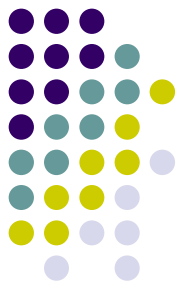
Rated power KVA	D_k W	C_k W	B_k W	A_k W	Short circuit impedance %
50	1 350	1 100	875	750	4
100	2 150	1 750	1 475	1 250	
160	3 100	2 350	2 000	1 700	
250	4 200	3 250	2 750	2 350	
315	5 000	3 900	3 250	2 800	
400	6 000	4 600	3 850	3 250	
500	7 200	5 500	4 600	3 900	
630	8 400	6 500	5 400	4 600	
630	8 700	6 750	5 600	4 800	6
800	10 500	8 400	7 000	6 000	
1 000	13 000	10 500	9 000	7 600	
1 250	16 000	13 500	11 000	9 500	
1 600	20 000	17 000	14 000	12 000	
2 000	26 000	21 000	18 000	15 000	
2 500	32 000	26 500	22 000	18 500	

Εγκατεστημένοι ΜΤΔ στη Δυτική Ευρώπη

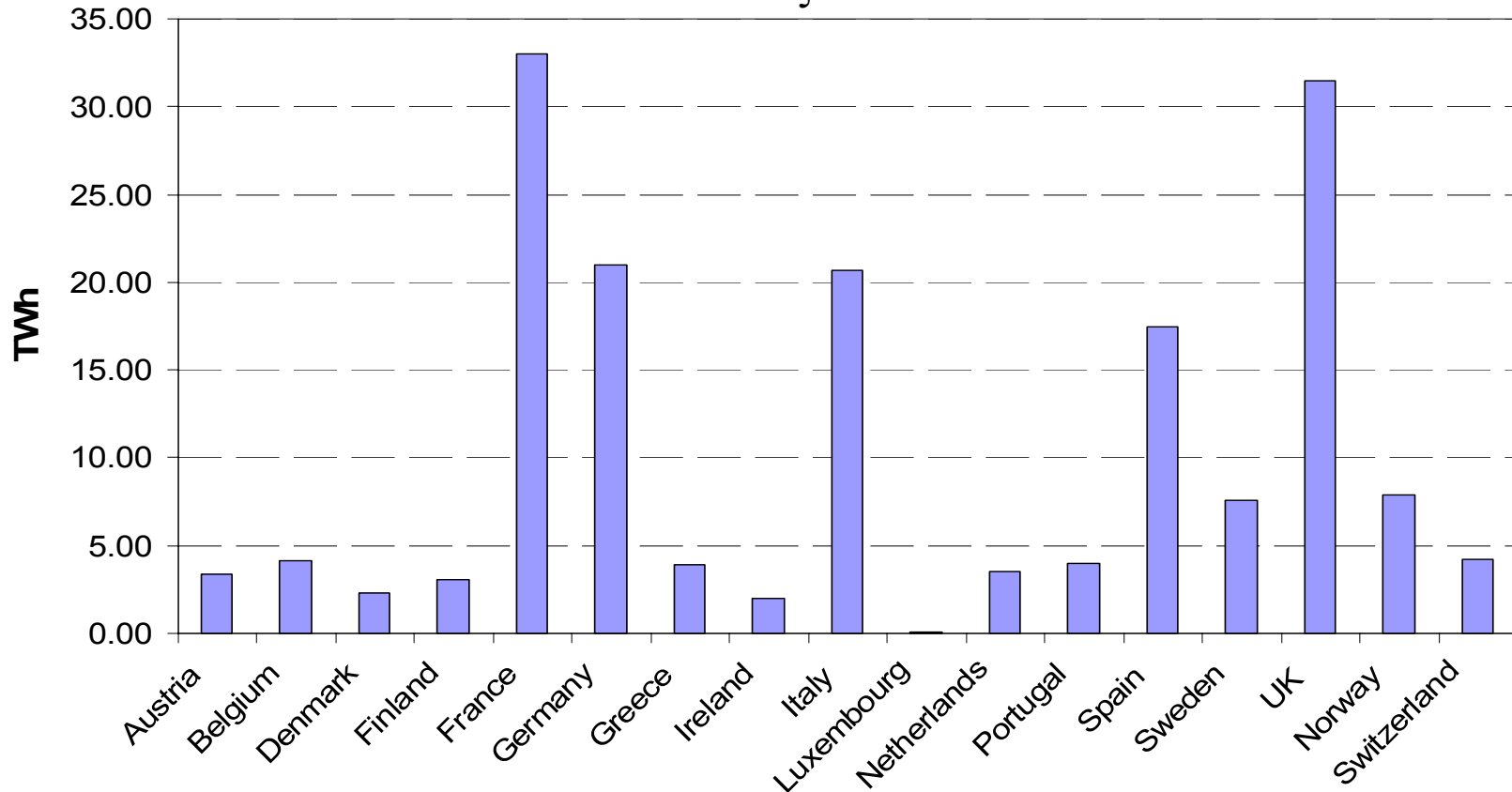


Ιδιοκτήτης	Ελαίου <250kVA	Ελαίου >250kVA	Ξηρού τύπου	Σύνολο
Εταιρείες ηλεκτρισμού	1,900,000	1,100,000	---	3,000,000
Εμπορικός τομέας	50,000	150,000	300,000	500,000
Βιομηχανικός τομέας	50,000	350,000	100,000	500,000
Σύνολο	2,000,000	1,600,000	400,000	4,000,000

Απώλειες δικτύων στην Ε.Ε. των 15 + Νορβηγία & Ελβετία Δεδομένα έτους 2000 (TWh/έτος)

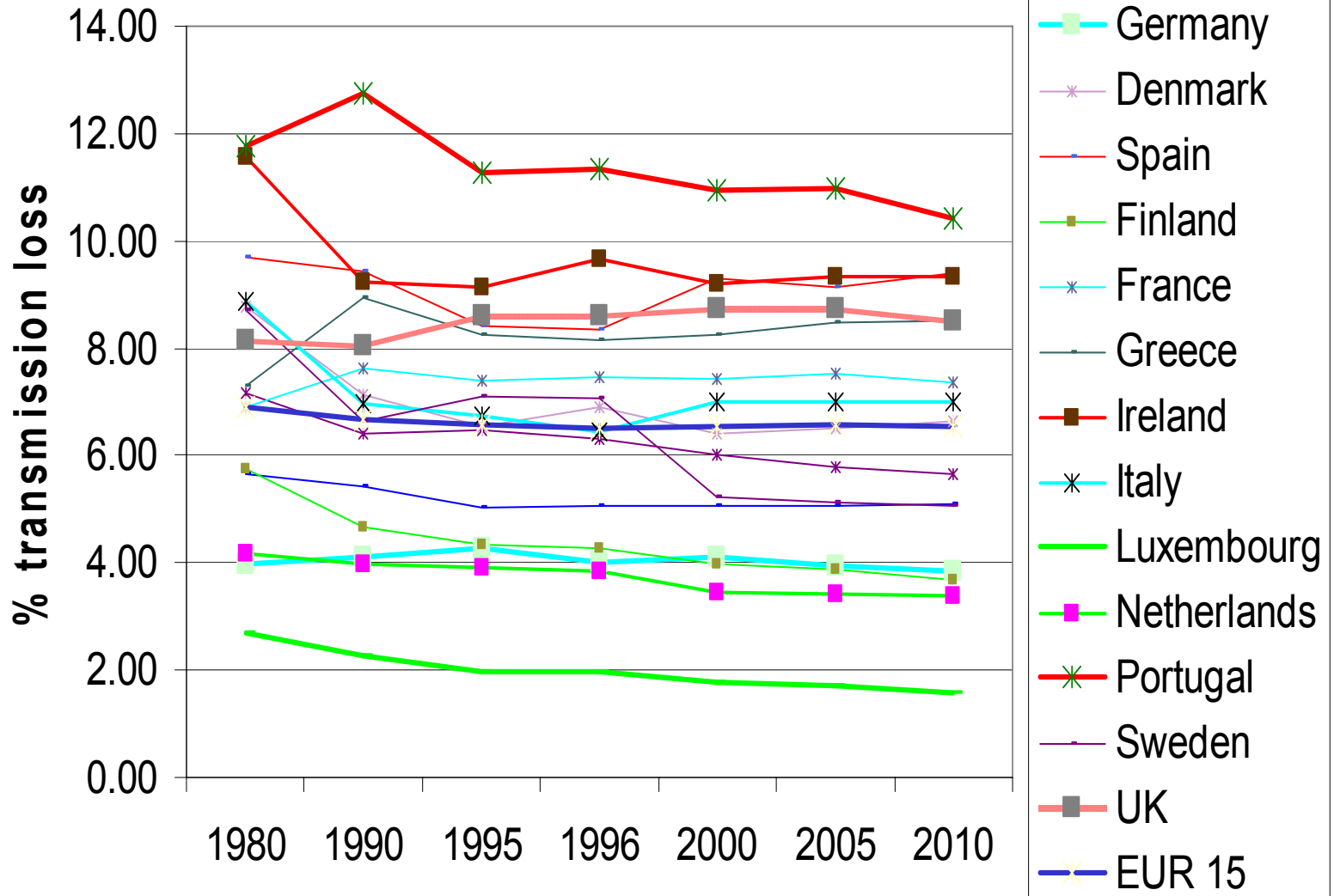


Έτος: 2000



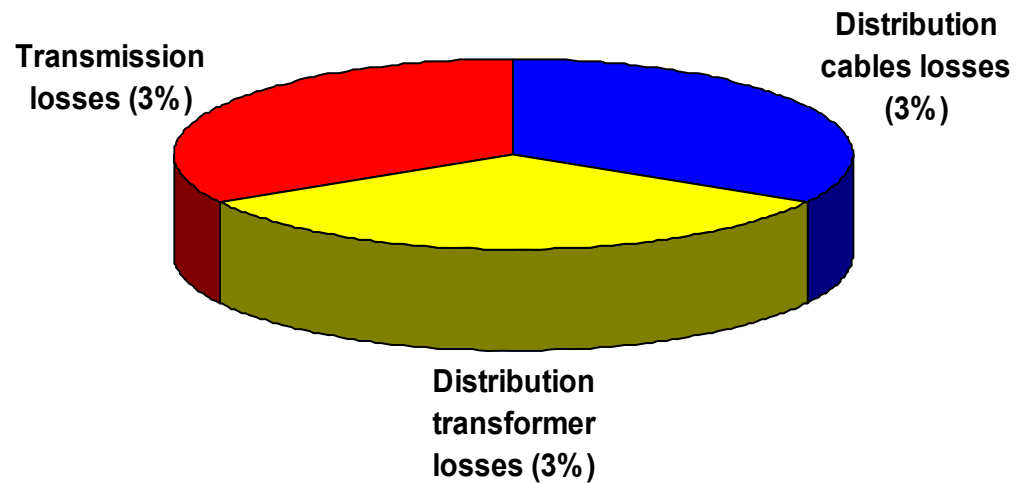


Network transmission losses - Europe





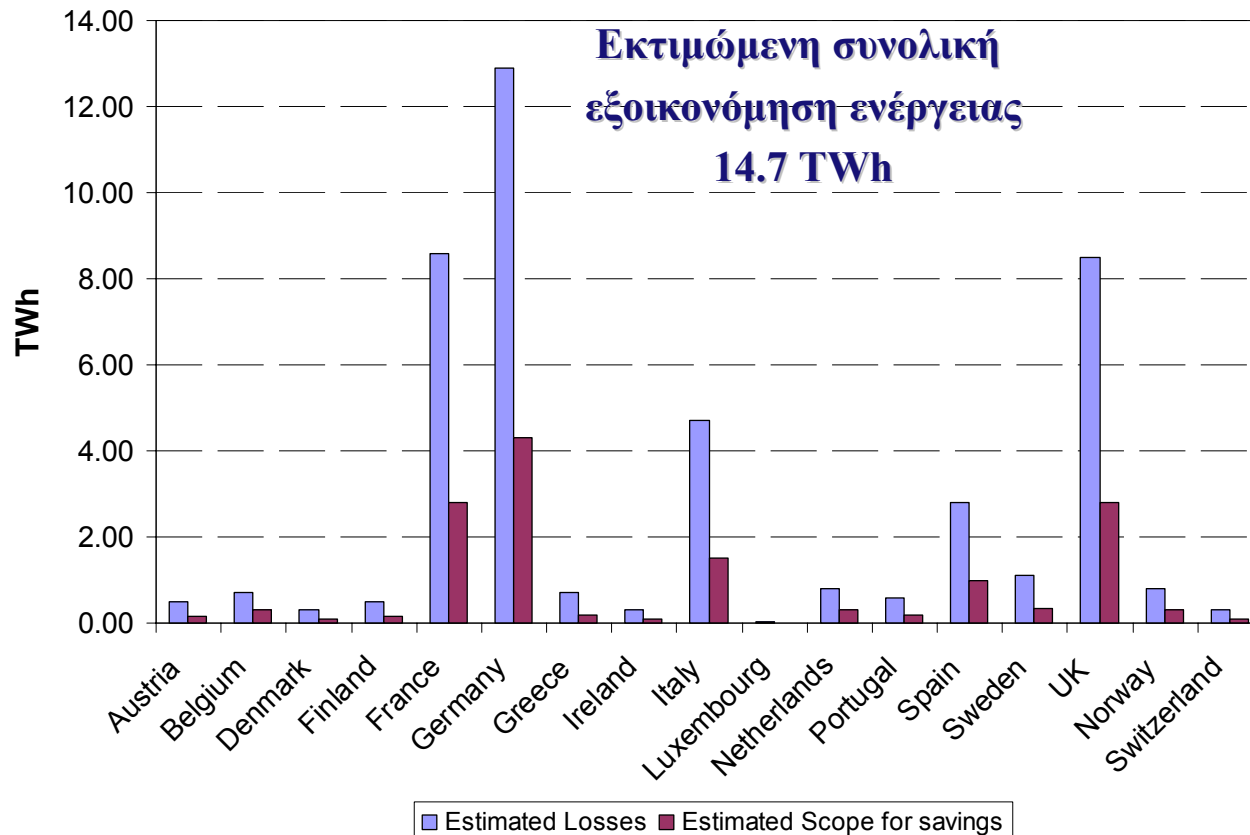
Απώλειες ηλεκτρικών δικτύων (%)



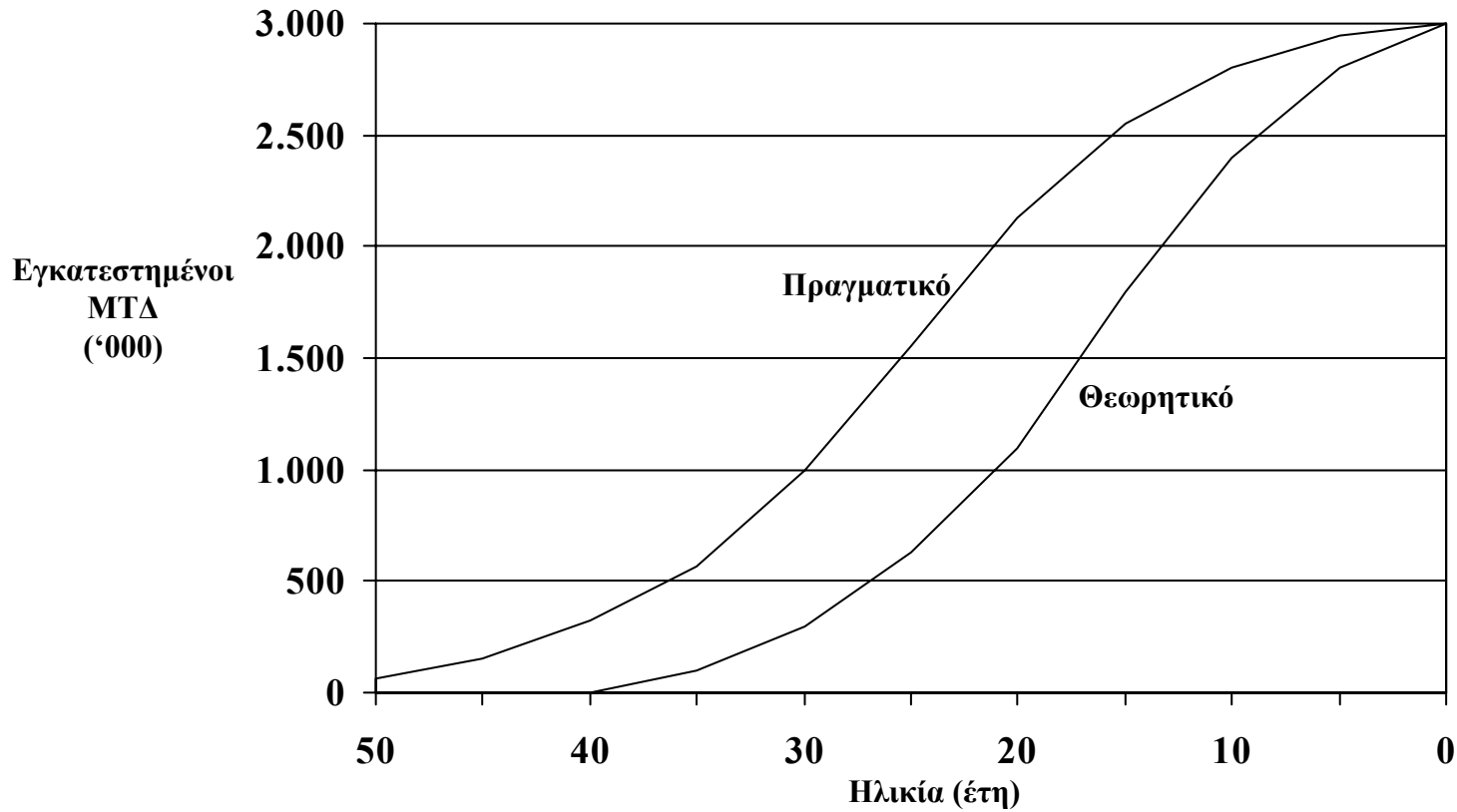
Εκτίμηση (έτος 2000) της εξοικονόμησης ενέργειας σε ΜΤΔ στην Ε.Ε. των 15 + Νορβηγία & Ελβετία



Απώλειες ΜΤ διανομής



Ηλικία ΜΤΔ των εταιρειών ηλεκτρισμού στη Δυτική Ευρώπη



Οι ΜΤΔ στην Ελλάδα



Ονομαστική ισχύς (kVA)	ΔΕΗ	Ιδιώτες
50	29%	1%
100	26%	1%
160	20%	5%
250	14%	20%
400	5%	39%
630	4%	28%
1000	1%	6%
1600	1%	1%
Συνολικός Αριθμός :	≈140.000	≈15.000
Ετήσιες προσθήκες:	≈7.300	≈650

Οι ΜΤΔ στην Ελλάδα



- ΔΕΗ:
 - αποκλειστικά τύπου ελαίου
 - κυρίως 100-250 kVA
 - κατηγορίες απωλειών
 - AC' για ΜΤΔ ≤ 400 kVA
 - CC' για ΜΤΔ > 630 kVA
- Ιδιωτών:
 - κυρίως τύπου ελαίου, 10% ξηρού τύπου
 - συνήθως 250-1000 kVA
 - κατηγορίες απωλειών:
 - Συνήθως BB και BA' (Οι ιδιώτες αγοράζουν με γνώμονα το χαμηλό κόστος)

Δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας



- Εκτίμηση για:
 - ΜΤΔ ΔΕΗ
 - ΜΤΔ ιδιωτών
 - το σύνολο της χώρας
- Υπόθεση ότι κάθε νέος ΜΤΔ θα είναι:
 - χαμηλών απωλειών τύπου CC'
 - ή με πυρήνα αμόρφου σιδήρου (υψηλό κόστος)

Δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας σε ΜΤΔ ΔΕΗ



Οι νέοι ΜΤΔ να είναι τύπου CC'

Ετήσια εκτίμηση

Ονομαστική ισχύς	Μείωση απωλειών ανά έτος (MWh)	Μείωση εκπομπών CO2 ανά έτος (τόνοι)
50	1275	1275
100	1930	1520
160	2200	1885
250	1905	1640
400	1000	836
630	1435	1216
1000	225	194
Σύνολο	9970	8566

Δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας σε ΜΤΔ ιδιοκτησίας ΔΕΗ



Οι νέοι ΜΤΔ να έχουν πυρήνα αμόρφου σιδήρου

Ετήσια εκτίμηση

Ονομαστική ισχύς	Μείωση απωλειών ανά έτος (MWh)	Μείωση εκπομπών CO2 ανά έτος (τόνοι)
50	2920	2550
100	4495	3800
160	5000	4205
250	4785	4100
400	2580	2204
630	3730	3192
1000	480	408
Σύνολο	23990	20459

Δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας σε ΜΤΔ ιδιωτών



Οι νέοι ΜΤΔ να είναι τύπου CC'

Ετήσια εκτίμηση

Ονομαστική ισχύς	Μείωση απωλειών ανά έτος (MWh)	Μείωση εκπομπών CO2 ανά έτος (τόνοι)
250	221,5	189
400	1815	1551
630	4272	3640
1000	2960	2520
1600	775,5	660
Σύνολο	10044	8560

Δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας σε ΜΤΔ ιδιωτών



Οι νέοι ΜΤΔ να έχουν πυρήνα άμορφου σιδήρου

Ετήσια εκτίμηση

Ονομαστική ισχύς	Μείωση απωλειών ανά έτος (MWh)	Μείωση εκπομπών CO2 ανά έτος (τόνοι)
250	293,5	249
400	2407,5	2046
630	5395	4576
1000	3680	3122
1600	1343	1142
Σύνολο	13119	11135

Δυναμικό εξοικονόμησης ενέργειας στην Ελλάδα



Με επιλογή του τύπου CC' για τους νέους
μετασχηματιστές διανομής:

- Μείωση απωλειών ανά έτος : **20 GWh**
- Μείωση εκπομπών CO₂ ανά έτος : **17.000 tn**

Δυναμικό εξοικονόμησης στην Ελλάδα



Με επιλογή τεχνολογίας αμόρφου σιδήρου
για τους νέους μετασχηματιστές
διανομής:

- Μείωση απωλειών ανά έτος : **37 GWh**
- Μείωση εκπομπών CO₂ ανά έτος : **31.500 tn**



**Thermie project – Groningen Netherlands, 1982-1999:
21 transformers of 400 kVA – comparison.**

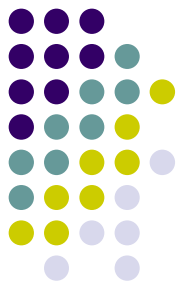
Calculated pay back periods referred to A-A’:

Power kVA HD 428	1600 C-C’	400 C-C’	100 C-C’	1600 C-Amdt	400 C-Amdt	100 C-Amdt
Pay back [years]	1,4	2,8	5,0	5,5	6,6	8,6
IRR [%]	71	36	20	18	15	11

EU energy saving potential = 22TWh

SEEDT

Σύντομη παρουσίαση



Strategies for development and diffusion
of **E**nergy **E**fficient **D**istribution **T**ransformers

Intelligent Energy  Europe

Τι είναι το πρόγραμμα SEEDT?



Το SEEDT είναι ένα Ευρωπαϊκό έργο που έχει ως στόχους:



- να προωθήσει την χρήση ενεργειακά αποδοτικών Μετασχηματιστών Διανομής
- να προτείνει και να εφαρμόσει στρατηγικές για την μείωση των απωλειών στους ΜΤΔ

Ποίοι συμμετέχουν στο SEEDT



Εταίροι:

1. **ΕΜΠ** – Ελλάδα
2. **WUPPERTAL INSTITUTE** – Γερμανία
3. **ADEME** – Γαλλία
4. **AERE** – Γαλλία
5. **AREVA T&D** – Πολωνία
6. **ENDESA** – Ισπανία
7. **FAST** – Ιταλία
8. **LZE S.A.** – Πολωνία
9. **PCPC** – Πολωνία



Υπεργολάβοι:

1. **THELCON** - Ελλάδα

SEEDT



<http://seedt.ntua.gr>

Οι στόχοι του SEEDT (1)



- Προώθηση ενεργειακά αποδοτικών ΜΤΔ.
- Πρόταση μεθόδων για σταδιακή μετατόπιση των πωλήσεων ΜΤΔ από την κλάση $D_k E_0$ (πρώην ΒΑ') προς την κλάση $B_k C_0$ (πρώην CC')
- Ανάπτυξη τεχνολογικής επικοινωνίας & υπολογιστικών εργαλείων που θα υποβοηθούν τους αγοραστές στην προδιαγραφή και επιλογή του ΜΤΔ με οικονομοτεχνικά κριτήρια
- Προώθηση της χρήσης νέων υλικών π.χ. αμόρφου σιδήρου, για βελτίωση της απόδοσης των ΜΤΔ



SEEDT



<http://seedt.ntua.gr>

Οι στόχοι του SEEDT (2)



- Διερεύνηση της σκοπιμότητας:
 - ενεργειακής ταυτότητας (labelling) στους ΜΤΔ
 - εθελοντικής συμφωνίας κατασκευαστών
 - καθιέρωσης υποχρεωτικού ευρωπαϊκού προτύπου
 - καθιέρωσης ελάχιστων απαιτήσεων στην κατασκευή ΜΤΔ
- Διερεύνηση της πρόθεσης των κατασκευαστών, αγοραστών και χρηστών των ΜΤΔ να αποδεχτούν τις παραπάνω προτάσεις
- Προώθηση των πρακτικών που είναι αποδεκτές από τους κατασκευαστές και μπορούν να εφαρμοστούν



Αναμενόμενα αποτελέσματα του SEEDT



- Συνειδητοποίηση της δυνατότητας εξοικονόμησης ενέργειας από κατασκευαστές, αγοραστές και χρήστες
- Εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων από τις συζητήσεις ώστε να επαναπροσδιοριστούν οι στρατηγικές.
- Εφαρμογή της εκστρατείας για την προώθηση ΜΤΔ υψηλής απόδοσης
- Ενθάρρυνση του ανταγωνισμού μεταξύ των κατασκευαστών για την παραγωγή ΜΤΔ υψηλής απόδοσης



SEEDT



<http://seedt.ntua.gr>

Μέχρι σήμερα... (12 μήνες δράσης)



- Στα πλαίσια του SEEDT μέχρι σήμερα έχουν επιτευχθεί τα εξής:
 - Καταγραφή του πλήθους των ΜΤΔ ανά κατηγορία και τύπο σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.
 - Συγκέντρωση τεχνικών στοιχείων, ανάλυση και επεξεργασία.
 - Διεξαγωγή συμποσίων και ανοιχτών συζητήσεων για τη διερεύνηση της θέλησης των κατασκευαστών και χρηστών ΜΤΔ να στραφούν προς μετασχηματιστές χαμηλών απωλειών
 - Ανάλυση της σκοπιμότητας εφαρμογής ενός νέου πλαισίου θεσμών προς την κατεύθυνση αυτή.

SEEDT



<http://seedt.ntua.gr>

Μέχρι σήμερα... (12 μήνες δράσης)



- Newsletter με τους στόχους του SEEDT, τις δραστηριότητες των εταιρών καθώς και με υλικό τεχνολογικής πληροφόρησης για τους ΜΤΔ χαμηλών απωλειών.
- Συμμετοχή των εταιρών του έργου σε συνέδρια, συμπόσια, ημερίδες και σεμινάρια με στόχο την ενημέρωση των χρηστών ΜΤΔ για τους στόχους του SEEDT.
- Διερεύνηση των προθέσεων των χρηστών για τις σχεδιαζόμενες δράσεις (πρότυπα, εθελοντικές συμφωνίες, labelling κ.λπ.), αξιολόγηση των απόψεών τους και συγκερασμός τους σε ένα πλαίσιο κοινώς αποδεκτών ενεργειών.
- Δημιουργία ιστοσελίδας του SEEDT στο διαδίκτυο:
<http://seedt.ntua.gr/>
- Δημιουργία εργαλείου υπολογισμού απωλειών και σύγκρισης ΜΤΔ στην ιστοσελίδα του SEEDT

SEEDT



<http://seedt.ntua.gr>

**Ευχαριστώ για την
προσοχή σας**

