

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ, ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ, ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΕΩΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ
ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ: ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Δ. ΤΣΑΝΑΚΑΣ

ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΑΙ ΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ
ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΩΝ Υ/Σ 150 kV / ΜΤ ΥΠΑΙΘΡΙΟΥ ΤΥΠΟΥ
ΩΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Δ. ΤΣΑΝΑΚΑΣ

Ε. ΜΙΜΟΣ

ΠΑΤΡΑ, ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2003

ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΚΑΙ ΤΟ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ
ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΤΩΝ Υ/Σ 150 kV / ΜΤ ΥΠΛΑΘΡΙΟΥ ΤΥΠΟΥ
ΩΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Δ. ΤΣΑΝΑΚΑΣ

Ε. ΜΙΜΟΣ

Περιεχόμενα

	Σελ.
1 Εισαγωγή	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Περιγραφή των μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων	2
2 Κανονισμοί προστασίας των ανθρώπων έναντι των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων	3
3 Καθορισμός πεδιακών εντάσεων υποσταθμών	5
3.1 Διάταξη εξοπλισμού τυπικών Υ/Σ	5
3.2 Μετρηθείσες τιμές των πεδιακών εντάσεων σε Υ/Σ 150 kV / 20 kV	9
3.3 Υπολογισθείσες τιμές των πεδιακών εντάσεων στην περιοχή εισόδου των γραμμών 150 kV στους Υ/Σ	18
3.4 Βιβλιογραφική διερεύνηση	21
4 Περίληψη - Συμπεράσματα	24
5 Βιβλιογραφία	26
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Μαγνητικά πεδία συσκευών οικιακής και επαγγελματικής χρήσης	31

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Γενικά

Στην εργασία αυτή εξετάζονται η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και η μαγνητική επαγωγή (πεδιακές εντάσεις) τυπικών υπαιθρίων υποσταθμών 150kV / MT)¹, τόσο στο περιβάλλον του εξοπλισμού (θέσεις προσιτές στους εργαζομένους) όσο και κατά μήκος της περιφραξής (θέσεις προσιτές στο κοινό). Οι μέγιστες τιμές των πεδιακών εντάσεων συγκρίνονται με τα επιτρεπόμενα όρια:

α) Για τη συνεχή έκθεση του κοινού: κοινά όρια της Διεθνούς Επιτροπής Προστασίας έναντι μη Ιονίζουσας Ακτινολογίας (ICNIRP) του 1998 [1β], της Σύστασης του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης του 1999 [4] και της Κοινής Υπουργικής Απόφασης ΦΕΚ 512/Β/25.04.02 [5].

β) Για την επαγγελματική απασχόληση: όρια της ICNIRP [1β].

Οι πεδιακές εντάσεις στους υποσταθμούς προκύπτουν κυρίως από μετρήσεις, επειδή ο υπολογισμός τους είναι πρακτικά αδύνατος, λόγω των σύνθετων διατάξεων των υπό τάση στοιχείων. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα συστηματικών μετρήσεων που έγιναν:

α) Στο άμεσο περιβάλλον του βασικού εξοπλισμού (μετασχηματιστές 150kV/20kV, ζυγοί 150kV, αναχωρήσεις 20kV) και σε πυκνές διαδρομές εντός του υποσταθμού, ώστε να καθοριστεί η χωρική κατανομή των πεδιακών εντάσεων με τη βοήθεια τρισδιάστατων παραστάσεων. Μπορεί έτσι να εκτιμηθεί η έκθεση του προσωπικού σε ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία.

β) Σε σημαντικές αποστάσεις από τον βασικό εξοπλισμό και στις περιοχές των γραμμών τροφοδοτήσεως 150kV και των αναχωρήσεων 20kV, ώστε να μπορούν να καθορισθούν οι πεδιακές εντάσεις στα όρια περιφραξής του υποσταθμού (θέσεις προσιτές στο κοινό) και να εκτιμηθεί η μέγιστη έκθεση του κοινού από πεδία που οφείλονται στον υποσταθμό. Οι μέγιστες δυνατές τιμές των πεδιακών εντάσεων στην περιοχή εισόδου των γραμμών 150 kV προέκυψαν από υπολογισμούς με την μέγιστη ένταση λειτουργίας των γραμμών αυτών και την ελάχιστη απόσταση των αγωγών τους από το έδαφος.

¹ Υ/Σ: υποσταθμός
MT: μέση τάση, 20 kV ή 15 kV

Στην κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται συνοπτικά οι κανονισμοί προστασίας των ανθρώπων έναντι των ηλεκτρικών και των μαγνητικών πεδίων και δίδονται οι επιτρεπόμενες οριακές τιμές για πεδία συχνότητας 50Hz.

Στην κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται οι τιμές των πεδιακών εντάσεων που προέκυψαν από συστηματικές μετρήσεις στον Υ/Σ 150kV/20kV Βέλου Κορινθίας και σε άλλους υποσταθμούς, τα αποτελέσματα των υπολογισμών των πεδίων στις περιοχές εισόδου των γραμμών 150 kV, καθώς και τα αποτελέσματα μετρήσεων μαγνητικών πεδίων σε υποσταθμούς άλλων χωρών, κατόπιν βιβλιογραφικής διερεύνησης.

Στην κεφάλαιο 4 συνοψίζονται τα σχετικά συμπεράσματα και γίνονται συγκρίσεις με τα επιτρεπόμενα όρια των κανονισμών για την προστασία των ανθρώπων από ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία συχνότητας 50Hz.

Σχετική βιβλιογραφία παρατίθεται στην κεφάλαιο 5. Οι εργασίες [1] έως [5] αναφέρονται σε κανονισμούς προστασίας έναντι των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων. Οι εργασίες [6] έως [10] αφορούν ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία Υ/Σ. Οι εργασίες [11] έως [36] αναφέρονται κυρίως σε υπολογισμούς και μετρήσεις πεδίων. Στις εργασίες [37] έως [50] παρουσιάζονται συνοπτικά τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την κριτική θεώρηση των σχετικών εργαστηριακών και επιδημιολογικών μελετών.

1.2 Περιγραφή των μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων

Αναφέρονται στη συνέχεια βασικά στοιχεία για τη φυσική σημασία των πεδιακών εντάσεων των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων και τις μονάδες μετρήσεώς τους.

Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία ανεξαρτήτως συχνότητας περιγράφονται από τις εξισώσεις του Maxwell. Στις εξισώσεις αυτές η μαγνητική επαγωγή B και η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E εμφανίζονται ως αλληλένδετα μεγέθη. Στις χαμηλές όμως συχνότητες, όπως είναι η συχνότητα των 50Hz, δεν υπάρχει πρακτικά ζεύξη μεταξύ των πεδιακών μεγεθών B και E . Στις συχνότητες αυτές με το πολύ μεγάλο μήκος κύματος (6000km για συχνότητα 50Hz) δεν υπάρχει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, αλλά δύο ανεξάρτητα πεδία, το μαγνητικό και το ηλεκτρικό πεδίο.

Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος προκαλεί το μαγνητικό πεδίο, χαρακτηριστικό μέγεθος του οποίου είναι η μαγνητική επαγωγή B , με μονάδα μετρήσεως το μT (μίκρο-Tesla) ή το mG (μίλι-Gauss, $1\mu T=10mG$). Η τάση προκαλεί το ηλεκτρικό πεδίο, χαρακτηριστικό

μέγεθος του οποίου είναι η έντασή του E , με μονάδα μετρήσεως το V/m (Volt ανά μέτρο) ή το πολλαπλάσιό του kV/m ($1kV/m=1000V/m$).

Από τα μονοφασικά συστήματα δημιουργούνται εναλλασσόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία. Ένα ή περισσότερα τριφασικά συστήματα δημιουργούν ένα στρεφόμενο ελλειπτικό μαγνητικό πεδίο και ένα στρεφόμενο ελλειπτικό ηλεκτρικό πεδίο. Τα στρεφόμενα ανύσματα των πεδιακών εντάσεων μεταξύ κέντρων και περιφερειών των ελλείψεων διαγράφουν πλήρεις τροχιές σε χρονικό διάστημα μιας περιόδου ($20ms$ για τη συχνότητα των $50Hz$).

Από τους μεγάλους ημιάξονες B_x και E_x και τους μικρούς ημιάξονες B_y και E_y προκύπτουν τα χαρακτηριστικά μεγέθη των πεδίων:

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \quad \text{και} \quad E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$$

Τα μεγέθη αυτά προκύπτουν από υπολογισμούς ή μετρήσεις και χρησιμοποιούνται για την σύγκριση με τα επιτρεπόμενα όρια των κανονισμών.

2 ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΝΘΡΩΠΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΤΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ

Το μαγνητικό και το ηλεκτρικό πεδίο των γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας, των υποσταθμών, των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων, των συσκευών και των μηχανών θεωρούνται ως περιβαλλοντικοί παράγοντες. Στους σχετικούς κανονισμούς καθορίζονται οι επιτρεπόμενες οριακές τιμές της μαγνητικής επαγωγής και της εντάσεως του ηλεκτρικού πεδίου, ώστε να παρέχεται η προστασία των ανθρώπων έναντι των πεδίων αυτών.

Το 1977 η Διεθνής Εταιρεία Προστασίας έναντι Ακτινοβολίας (IRPA) σχημάτισε τη Διεθνή Επιτροπή Προστασίας έναντι μη Ιονίζουσας Ακτινοβολίας (INIRC). Η Επιτροπή αυτή, σε συνεργασία με το Περιβαλλοντικό Τμήμα Υγείας της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας (WHO), δημοσίευσε το 1990 την εργασία «Προσωρινή οδηγία ορίων για την έκθεση σε ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο 50/60Hz» [1α]. Στην εργασία αυτή, με διάρκεια εισπόνησης άνω των 10 ετών, από φορείς επιφορτισμένους με την προστασία της ανθρώπινης υγείας, είχαν σταθμισθεί και ληφθεί υπόψη όλες οι σχετικές επιστημονικές δημοσιεύσεις. Πρέπει να τονισθεί ότι μεμονωμένες μελέτες είναι ανεπαρκείς για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Απαιτείται η στάθμιση όλων των επιδημιολογικών και εργαστηριακών μελετών σχετικά με την ενδεχόμενη επίπτωση των πεδίων συχνότητας 50/60Hz στην υγεία από ειδικούς επιστημονικούς φορείς. Η Επιτροπή αυτή ανέλαβε το εξαιρετικά δυσχερές έργο της στάθμισης σε τακτά χρονικά διαστήματα και των νεώτερων εργασιών.

Το 1997 ολοκληρώθηκε η οδηγία της ICNIRP «Οδηγία για όρια εκθέσεως σε χρονικά μεταβαλλόμενα ηλεκτρικά, μαγνητικά και ηλεκτρομαγνητικά πεδία» [1β], η οποία δημοσιεύθηκε τον Απρίλιο 1998. Για την εκπόνηση της οδηγίας αυτής εξετάσθηκαν σταθμίστηκαν επιπρόσθετα και όλες οι νεότερες σχετικές ερευνητικές εργασίες. Στην οδηγία αυτή, χωρίς τον περιορισμό «προσωρινή οδηγία», παραμένουν αμετάβλητα τα όρια της προσωρινής οδηγίας του 1990 [1α] (5kV/m και 100μT για συνεχή έκθεση κοινού και 10kV/m και 500μT για την επαγγελματική απασχόληση).

Το 1993 δημοσιεύθηκε ο βρετανικός κανονισμός [2] με σημαντικά υψηλότερα όρια έναντι των ορίων της ICNIRP.

Το 1996 δημοσιεύθηκε το γερμανικό ομοσπονδιακό διάταγμα [3], στο οποίο θεσμοθετούνται τα επιτρεπόμενα όρια για το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο για συνεχή έκθεση του κοινού. Τα όρια αυτά συμπίπτουν με τα όρια της οδηγίας [1β].

Το 1999 δημοσιεύτηκε η Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης περί του περιορισμού της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία [4]. Στη Σύσταση αυτή το Συμβούλιο υιοθέτησε τα όρια της οδηγίας της ICNIRP μετά την επακόρωσή τους από την Επιστημονική Συντονιστική Επιτροπή της Ευρωπαϊκής Επιτροπής.

Το 2002 δημοσιεύθηκε η Κοινή Υπουργική Απόφαση των Υπουργών Ανάπτυξης / Περιβάλλοντος, Χωροταξίας & Δημοσίων Έργων / Υγείας & Πρόνοιας: «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία διατάξεων εμπορικής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων» [5]. Στο κείμενο αυτό υιοθετούνται τα όρια της σύστασης του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Επιτροπής [4].

Στον πίνακα 1 δίνονται τα επιτρεπόμενα όρια των πεδειακών εντάσεων στους κανονισμούς που προαναφέρθηκαν. Οι επιτροπές που εικονούν τους κανονισμούς έχουν διεπιστημονική σύνθεση με ιδιαίτερη εκπροσώπηση των επιστημών υγείας και καθορίζουν τα επιτρεπόμενα όρια μετά την στάθμιση όλων των σχετικών επιστημονικών εργασιών. Πολλές φορές όμως γίνεται επιλεκτική και απλουστευμένη αναφορά σε μεμονωμένες εργασίες με αποτέλεσμα τη μη έγκυρη ενημέρωση. Αγνοούνται η σχετική Οδηγία της ICNIRP, η Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης και η ελληνική νομοθεσία!

Τα όρια εντάσεων των ηλεκτρικών και των μαγνητικών πεδίων στους κανονισμούς δεν είναι και όρια επικινδυνότητας, αλλά εμπεριέχουν πολύ μεγάλους συντελεστές ασφαλείας, ώστε να καλύπτονται οι ασάφειες από την περιορισμένη γνώση σχετικά με την επίδραση των

πεδίων και να πληρούνται η απαίτηση για την πρόληψη δυσμενών επιδράσεων [4]. Εμφανίζονται έτσι αποκλίσεις μεταξύ των οριακών τιμών των κανονισμών, επειδή οι συντελεστές ασφαλείας δεν είναι κοινοί για όλους τους κανονισμούς.

Στα πλαίσια των περιβαλλοντικών μελετών γίνεται σύγκριση των επιτρεπομένων οριακών τιμών των κανονισμών με τις μέγιστες τιμές που εμφανίζονται ή που είναι δυνατό να εμφανιστούν. Από τη σύγκριση αυτή προκύπτει η ικανοποίηση ή όχι της απαίτησης για την προστασία των ανθρώπων.

Κανονισμοί προστασίας	Όρια πεδιακών εντάσεων		Περιοχή	
			μη ελεγχόμενη, παραμονή κοινού	ελεγχόμενη, επαγγ. απασχόληση
	Ε kV/m	Β μΤ	Ε kV/m	Β μΤ
Προσωρινή οδηγία IRPA/INIRC, 1990, [1α]				
Οδηγία ICNIRP, 1998, [1β]	5	100	10	500
Βρετανικός κανονισμός NRPB, 1993, [2]	12	1600	12	1600
Γερμανικό διάταγμα 26.BfMSchV 1996, [3]	5	100	-	-
Σύσταση του Συμβ. της Ευρωπαϊκής Ένωσης, 1999, [4]	5	100	-	-
ΚΥΑ 3060 (ΦΟΡ) 238, ΦΕΚ 512/Β/25.04.02 «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων», [5]	5	100	-	-

Πίνακας 1: Όρια πεδιακών εντάσεων για την προστασία των ανθρώπων έναντι ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων συχνότητας 50Hz κατά τη συνεχή έκθεση του κοινού και κατά την επαγγελματική απασχόληση.

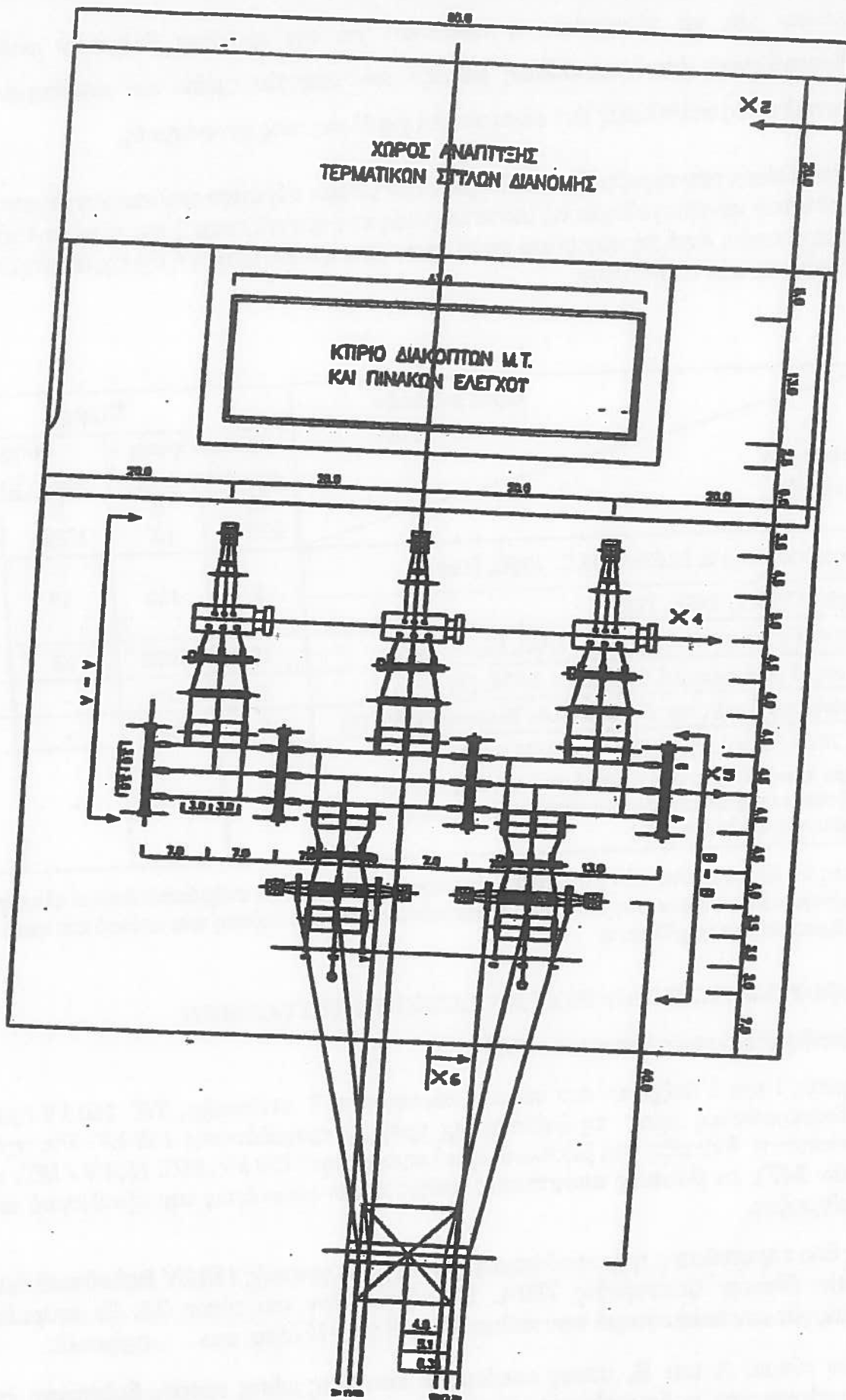
3 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΠΕΔΙΑΚΩΝ ΕΝΤΑΣΕΩΝ ΥΠΟΣΤΑΘΜΩΝ

3.1 Διάταξη εξοπλισμού τυπικών Υ/Σ

Τα σχήματα 1 και 2 δείχνουν τον τύπο Α και τον τύπο Β αντίστοιχα, Υ/Σ 150 kV / ΜΤ, οι οποίοι διαφέρουν ως προς τη διάταξη της γραμμής τροφοδότησης 150 kV. Στα σχήματα αυτά φαίνεται η διάταξη του βασικού εξοπλισμού (ζυγοί 150 kV, Μ/Σ 150kV / ΜΤ, κτίριο διακοπών ΜΤ), οι βασικές αποστάσεις καθώς και οι αποστάσεις του εξοπλισμού από τα όρια περιφραξής.

Και στις δύο περιπτώσεις η τροφοδότηση γίνεται μέσω γραμμής 150 kV διπλού κυκλώματος με μέγιστη ένταση λειτουργίας 780Α. Οι πύργοι είναι του τύπου ΖΑ. Οι απαραίτητες αποστάσεις για τον υπολογισμό των πεδιακών εντάσεων δίνονται στο σχήμα 12.

Εκτός των τύπων Α και Β, στους οποίους οι διακόπτες μέσης τάσεως βρίσκονται εντός κτίριου, υπάρχει και η δυνατότητα αναπτύξεως υπαθρίων ζυγών ΜΤ με διακόπτες ΜΤ εξωτερικού χώρου, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.

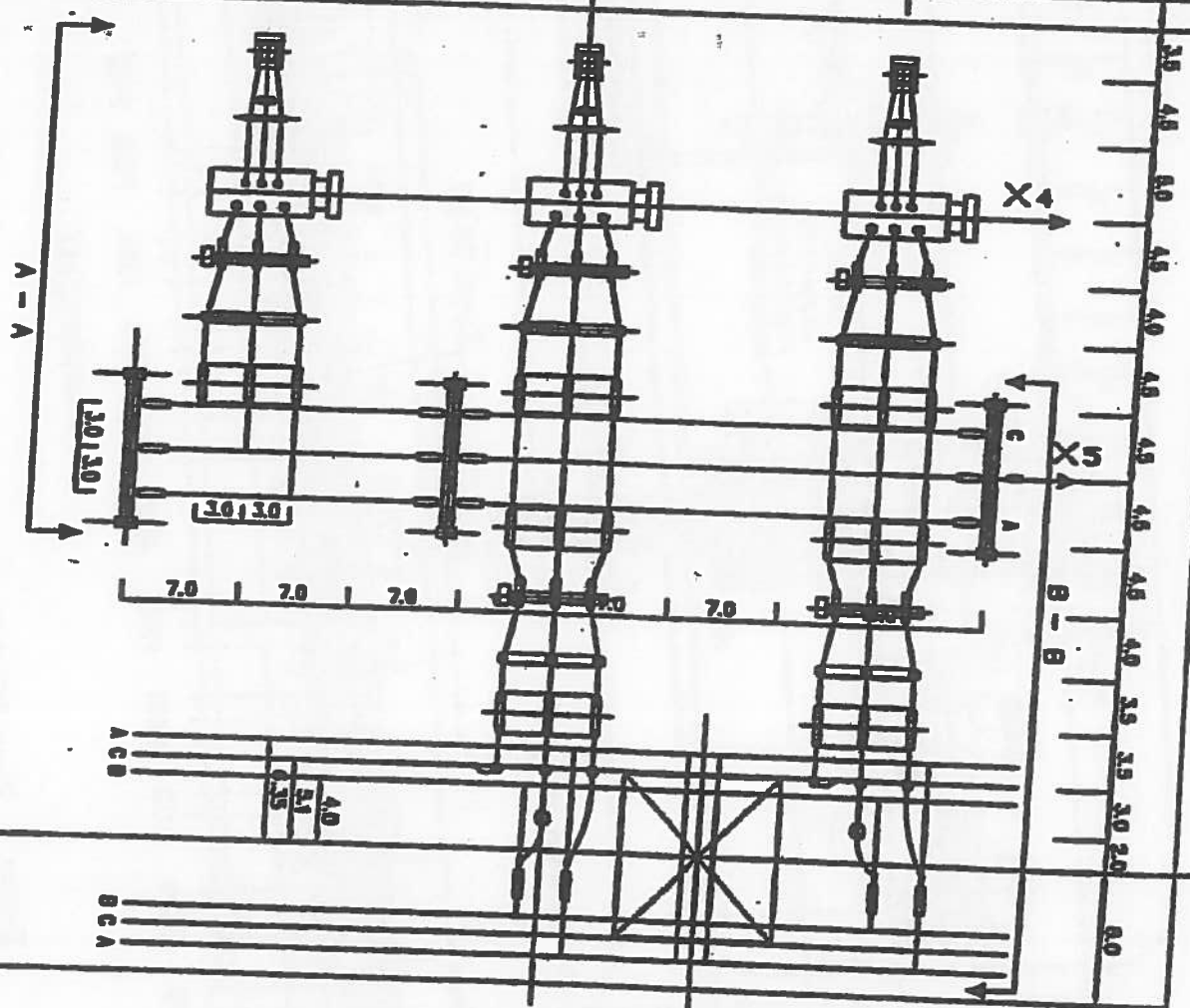


Ε. ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΗΣ	Α. ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΗΣ	Κ. ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΗΣ	Δ. ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΗΣ	Ε. ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΗΣ		ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΝΕΩΝ ΕΡΓΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΟΜΕΑΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΕΩΝ ΥΕ-ΕΤΕ	
ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΗΣ	ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΗΣ	ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΗΣ	ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΗΣ	ΚΑΡΑΓΙΩΡΓΗΣ			
ΤΥΠΟΣ Α Τ/Σ 150KV/MT ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΑΝΑΠΤΗ						ΚΩΔΙΚΑ 1:650	ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ ΣΚ-1
						ΦΥΛΟ 1 ΑΠΟ 1	

Σχήμα 1.

ΧΩΡΟΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΤΕΡΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΙΣΛΩΝ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

ΚΤΙΡΙΟ ΔΙΑΚΟΠΤΩΝ Μ.Τ.
ΚΑΙ ΠΙΝΑΚΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

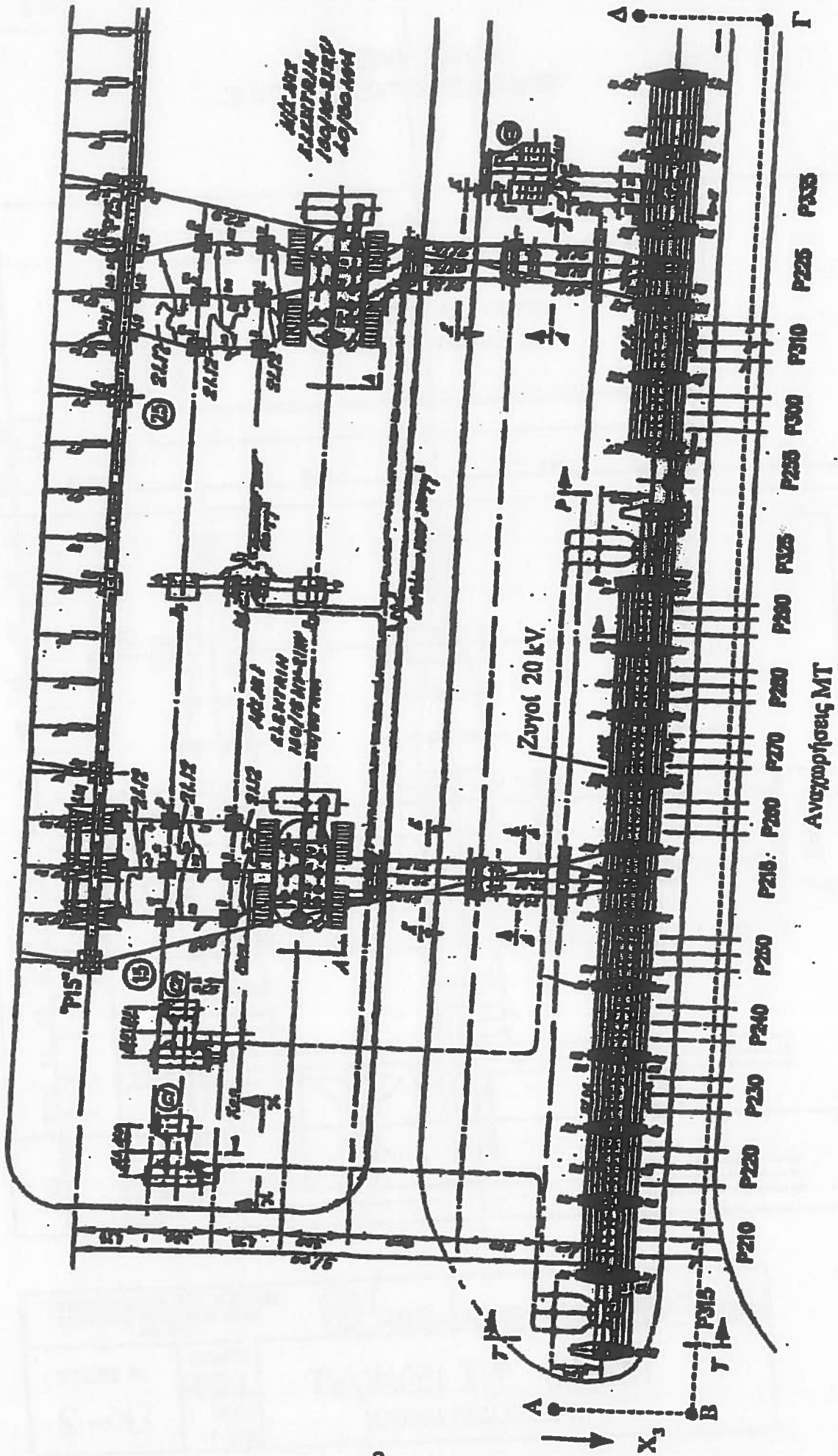


ΤΥΠΟΣ Β Τ/Σ 150KV/MT
ΠΡΟΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΑΝΑΠΤΥΞΗ

ΚΑΜΑΚΑ
1:500
ΦΥΛΟ 1
ΛΙΘ 1

ΑΡ. ΣΧΕΔΙΟΥ
ΣΚ-2

Σχήμο 2.



Κλίμακα 1:350

Σχήμα 3. Ζυγοί 20kV Υ/Σ 150 kV / 20 kV Πάτρα II
 Διαδρομή μετρήσεων πεδιακών εντάσεων ΑΒΓΔ, μέρος σχεδ. ΔΕΗ/ΔΜΚΜ, αριθ. 33307

Αναχωρήσεις ΜΤ

3.2 Μετρηθείσες τιμές των πεδιακών εντάσεων σε υποσταθμούς Υ/Σ 150kV / 20kV

Συστηματικές μετρήσεις της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και της μαγνητικής επαγωγής έγιναν στον υποσταθμό 150kV/20kV Βέλου Κορινθίας στις 30.09.03. Αντίστοιχες προγενέστερες μετρήσεις έγιναν στους Υ/Σ Πάτρα II και Πάτρα III καθώς και στον Υ/Σ 150kV/20kV του ΚΥΤ Αχαρνών.

Για τη μέτρηση του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου χρησιμοποιήθηκαν τα όργανα EMDEX II της εταιρίας EPRI, USA, Serial No 2714 και Serial No 2954. Οι μετρήσεις έγιναν σε ύψος 1m από το έδαφος.

Ο Υ/Σ Βέλου Κορινθίας έχει δύο Μ/Σ 150kV/20kV ισχύος 40/50 MVA ο καθένας και τροφοδοτείται από το ένα κύκλωμα γραμμής 150kV δικλού κυκλώματος. Το συνολικό φορτίο του Υ/Σ κατά την διάρκεια των μετρήσεων παρέμεινε πρακτικά αμετάβλητο και ανέρχεται σε 24 MVA, όσο ήταν και το φορτίο του Μ/Σ I.

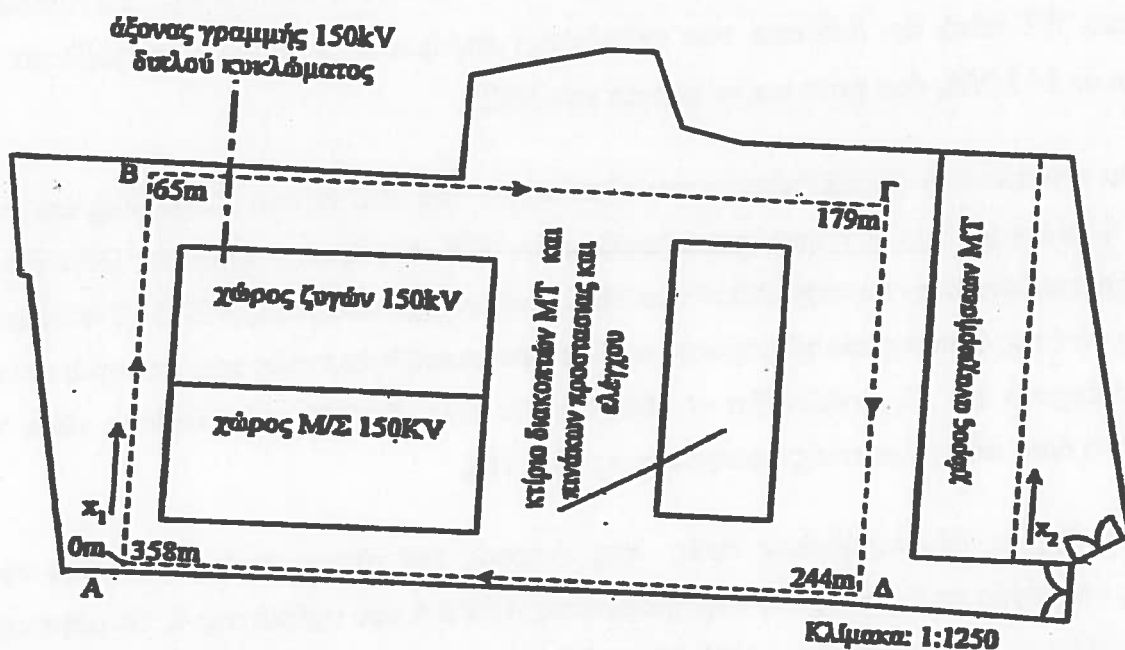
Στο σχήμα 4 φαίνεται η γενική διάταξη του εξοπλισμού του Υ/Σ Βέλου Κορινθίας και στο σχήμα 5 η κατανομή της μαγνητικής επαγωγής στον Υ/Σ. Η μέγιστη τιμή της μαγνητικής επαγωγής μετρήθηκε στην περιοχή 20kV του Μ/Σ I και ανέρχεται σε $B_{max}=32,1\mu T < 500\mu T$. Η μέγιστη τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που μετρήθηκε εντός του περιγράμματος ΑΒΓΔΑ ανέρχεται σε $E_{max}=4,2kV/m < 10kV/m$. Οι τιμές 500 μT και 10kV/m είναι τα επιτρεπόμενα όρια επαγγελματικής απασχόλησης [1α, 1β].

Το σχήμα 6 δείχνει τις μετρηθείσες τιμές της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και της μαγνητικής επαγωγής κατά μήκος του περιγράμματος ΑΒΓΔΑ του σχήματος 4. Οι μέγιστες $E_{max}=1,62 kV/m < 5kV/m$ και $B_{max}=3,05\mu T < 100\mu T$ εμφανίζονται στην περιοχή εισόδου της γραμμής 150kV. Οι τιμές 100 μT και 5kV/m είναι τα επιτρεπόμενα όρια για την συνεχή έκθεση του κοινού [1α, 1β, 3, 4, 5].

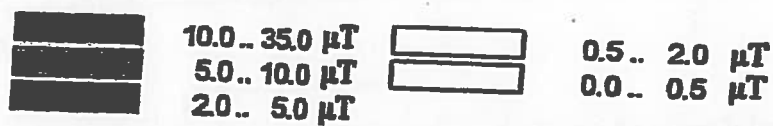
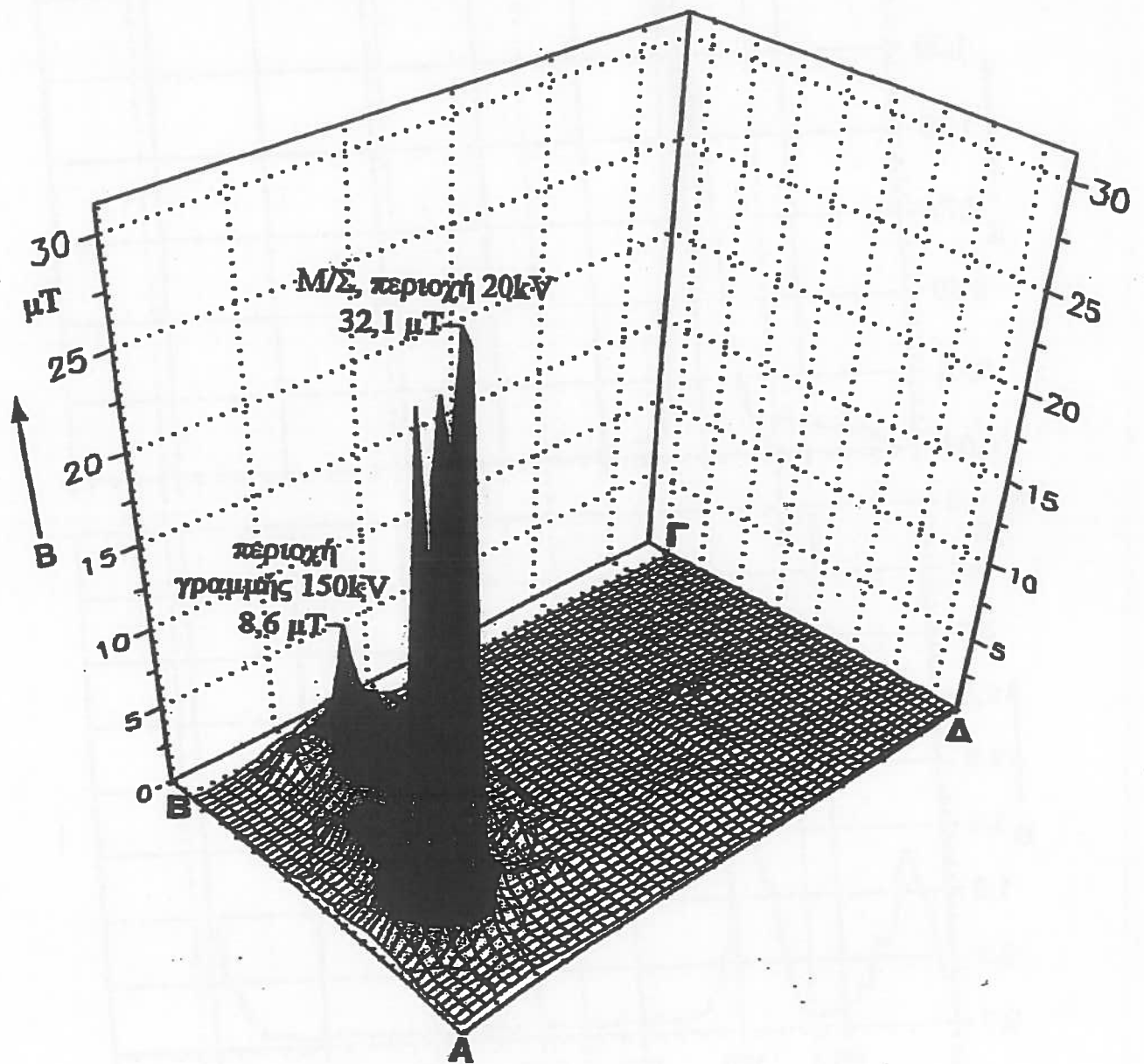
Το σχήμα 7 δείχνει τις πεδιακές εντάσεις στην πλευρά των αναχωρήσεων 20kV. Στο σχήμα 8 φαίνονται οι μετρηθείσες τιμές των πεδιακών εντάσεων στο περιβάλλον των υπαίθριων ζυγών ΜΤ, προς την πλευρά των αναχωρήσεων ΜΤ, του Υ/Σ Πάτρα II. Από τα σχήματα αυτά προκύπτει ότι οι μέγιστες τιμές των πεδιακών εντάσεων είναι $E_{max}=0,145 kV/m < 5kV/m$ και $B_{max}=1,99 \mu T < 100\mu T$.

Στο σχήμα 9 φαίνεται ο χώρος του εξοπλισμού 150kV (γραμμή τροφοδότησης, ζυγοί και Μ/Σ).

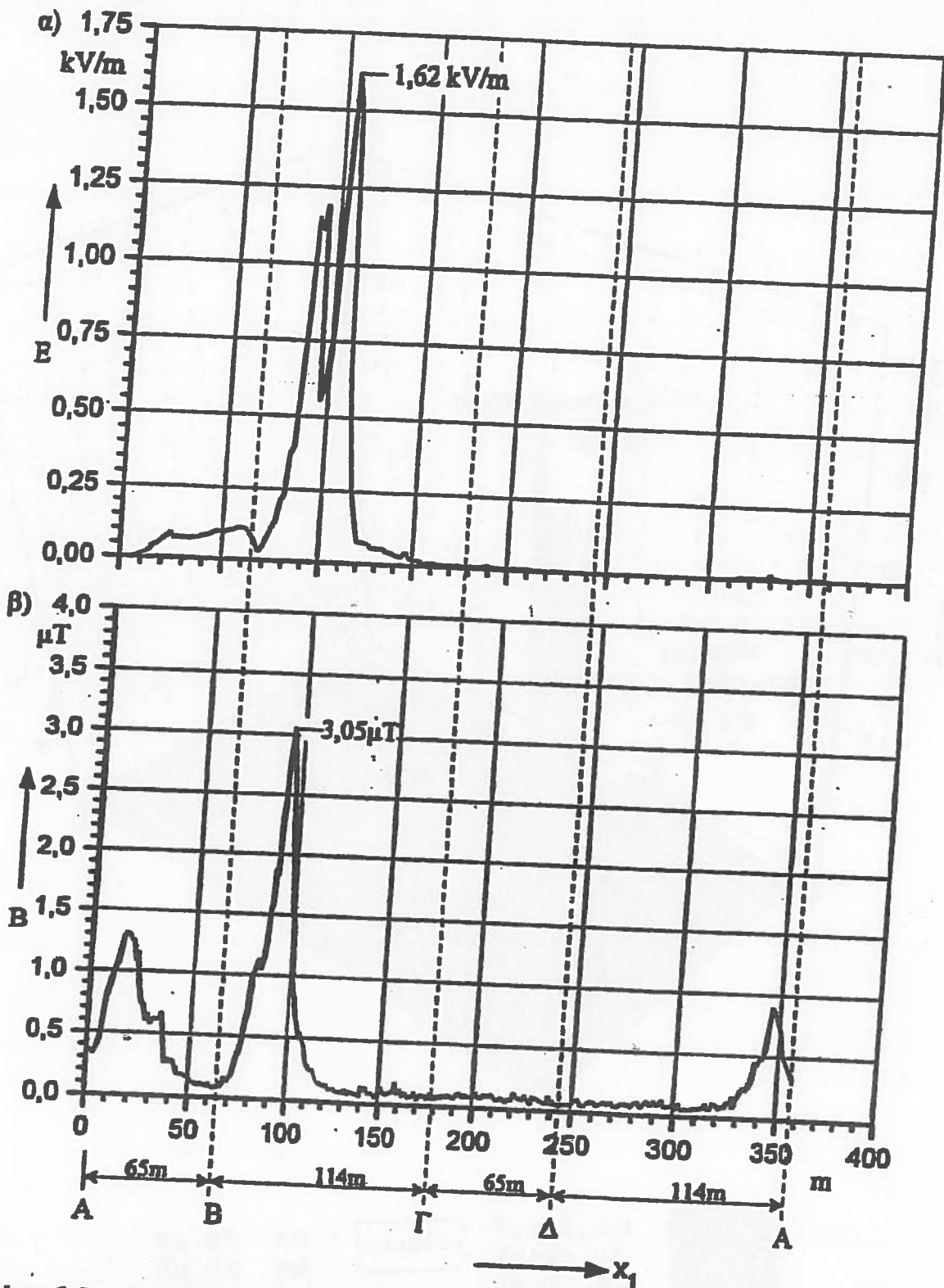
Το σχήμα 10 δείχνει την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και τη μαγνητική επαγωγή κατά μήκος του άξονα x_1 στο περιβάλλον του Μ/Σ I και στο σχήμα 11 τις πεδιακές εντάσεις κατά μήκος του άξονα x_2 στο περιβάλλον των ζυγών 150kV. Από τα σχήματα αυτά φαίνεται ότι στα όρια περιφραξής του Υ/Σ, το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο, που οφείλονται στους Μ/Σ 150 kV/ 20 kV και στους ζυγούς 150 kV, έχουν εξαιρετικά χαμηλές τιμές ($0,018\text{kV/m}$ και $0,063\text{kV/m} \ll 5\text{kV/m}$, $0,36\mu\text{T}$ και $0,16\mu\text{T} \ll 100\mu\text{T}$).



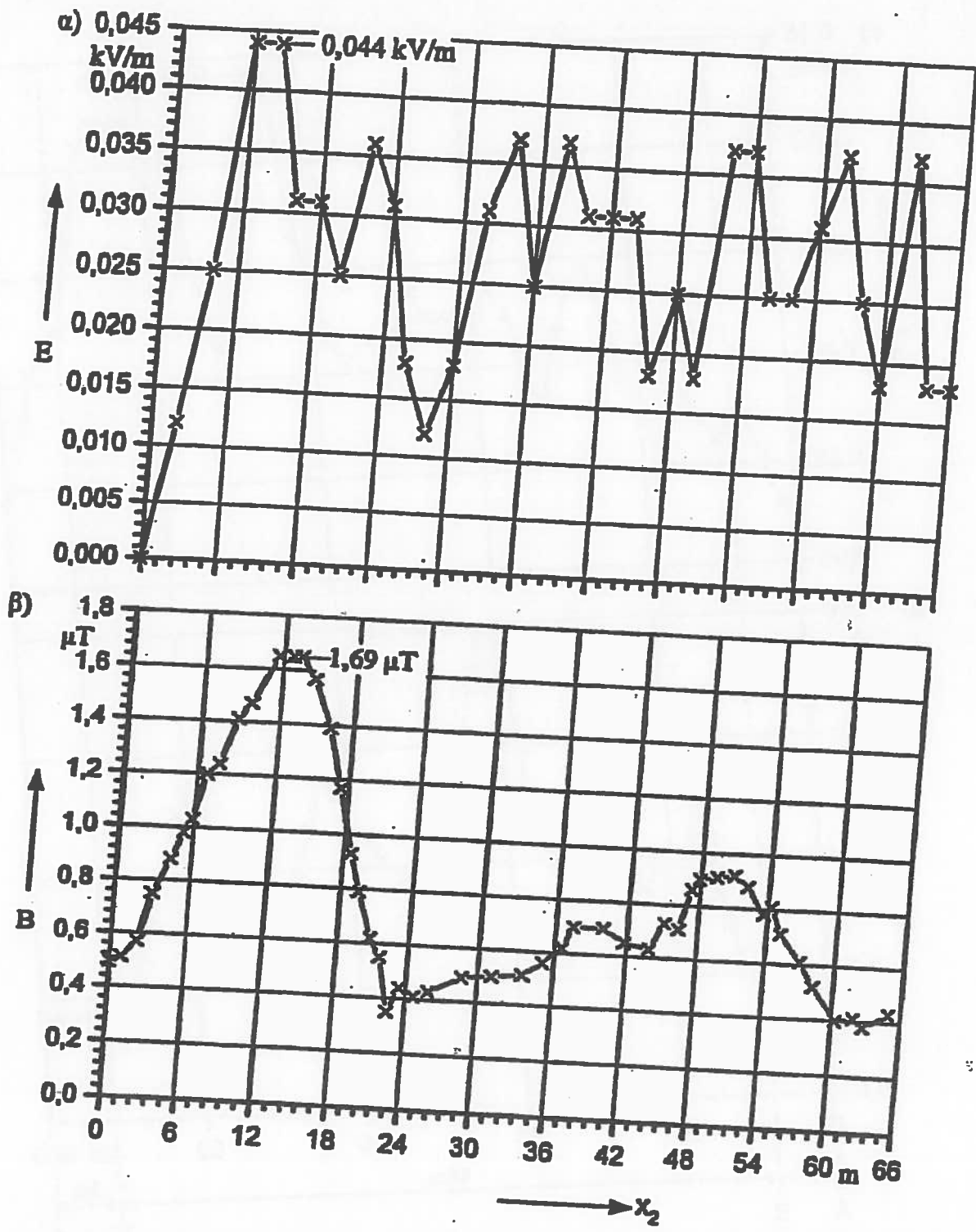
Σχήμα 4. Γενική διάταξη εξοπλισμού Υ/Σ 150kV/20kV Βέλου Κορινθίας
ΑΒΓΔΑ: όρια επιφάνειας, εντός της οποίας έγιναν οι μετρήσεις των σχημάτων 5 και 6.



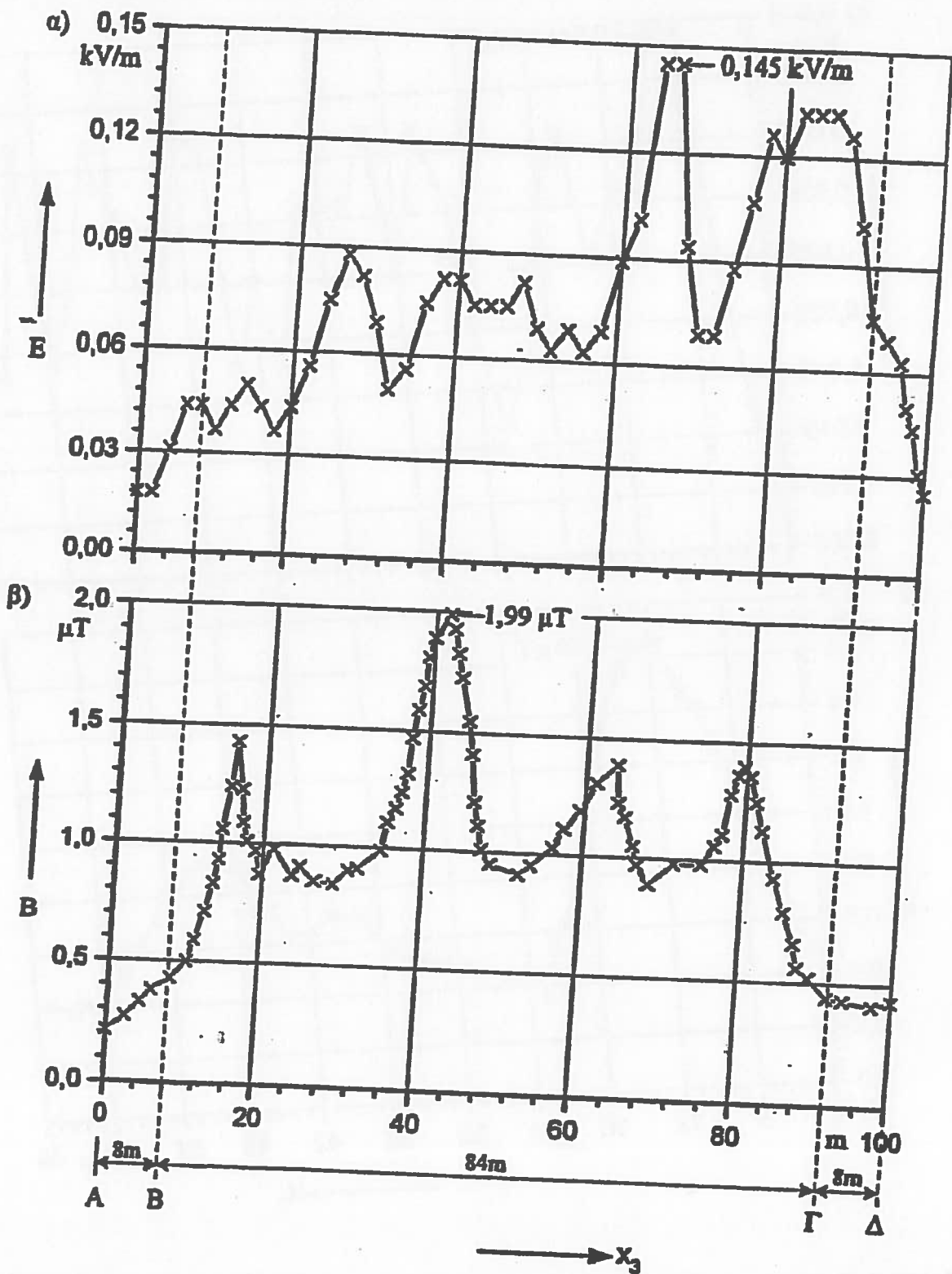
Σχήμα 5. Κατανομή της μαγνητικής επαγωγής στον Υ/Σ Βέλου Κορινθίας
Επιφάνεια ΑΒΓΔΑ όπως στο σχήμα 4.



Σχήμα 6. Μετρηθείσες τιμές των πεδιακών εντάσεων κατά μήκος του περιγράμματος ΑΒΓΔΑ του σχήματος 4.
 α) Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E
 β) Μαγνητική επαγωγή B



Σχήμα 7. Πεδιακές εντάσεις στην πλευρά των αναχωρήσεων 20kV του Υ/Σ Βέλου Κορινθίας κατά μήκος του άξονα x_2 , που ορίζεται στο σχήμα 4.
 α) Ενταση ηλεκτρικού πεδίου E
 β) Μαγνητική επαγωγή B

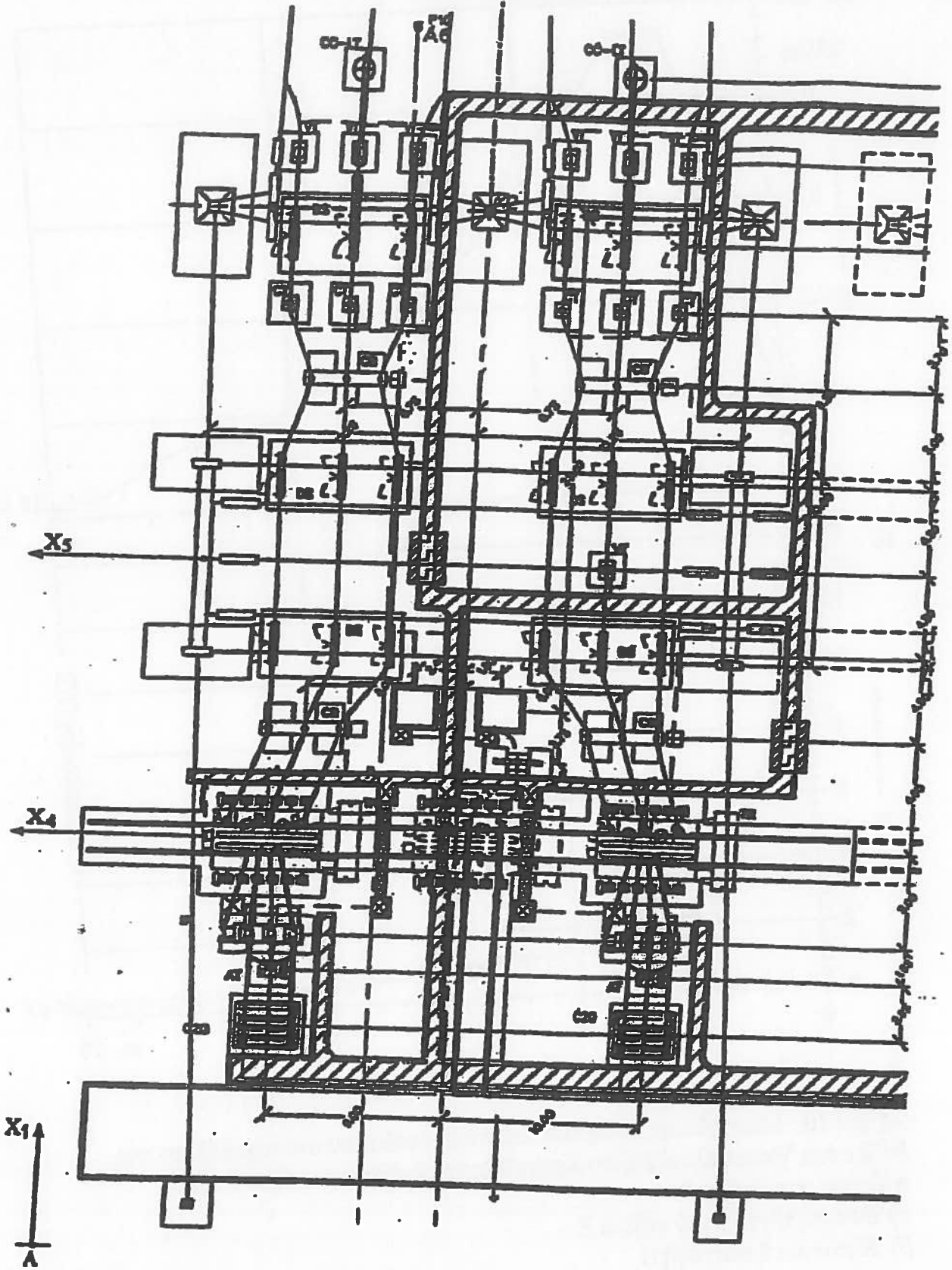


Σχήμα 8. Μετρηθείσες πεδιακές εντάσεις στο περιβάλλον των υπαίθριων ζυγών ΜΤ του Υ/Σ Πάτρα ΙΙ κατά μήκος του άξονα x_3 , (διαδρομή ΑΒΓΔ), που ορίζεται στο σχήμα 3.

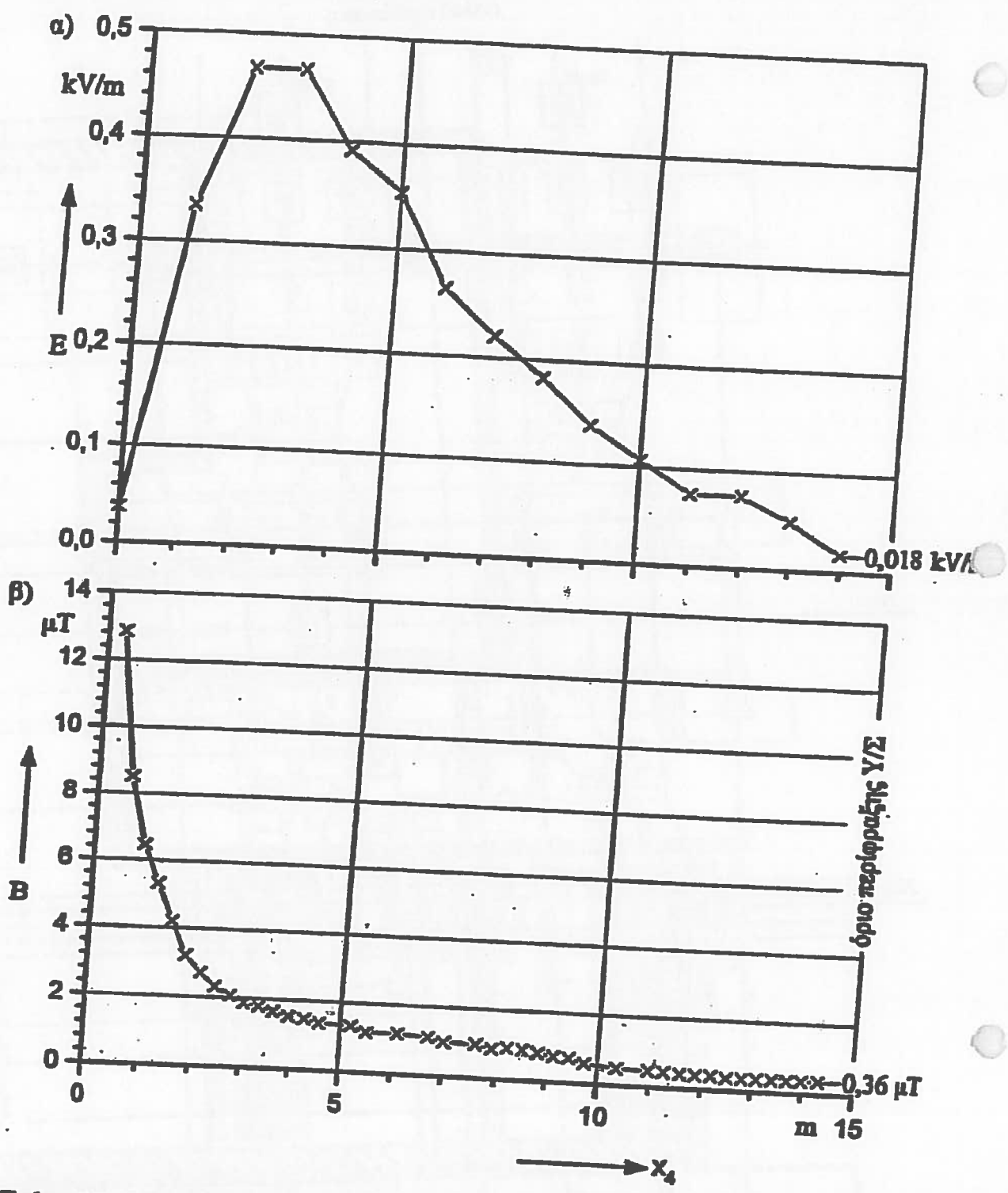
α) Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E

β) Μαγνητική επαγωγή B

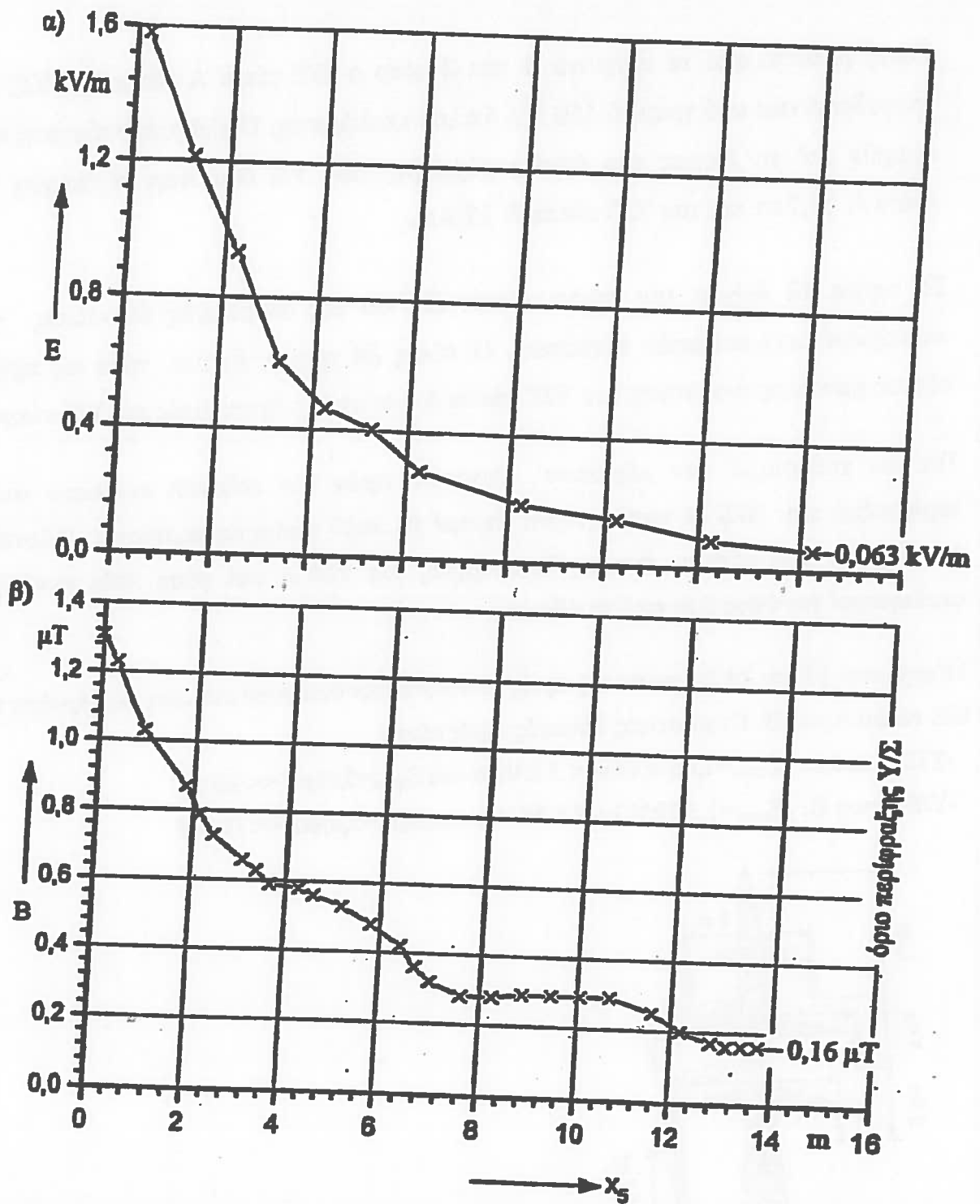
άξονας γραμμής 150kV
δικλού κυκλώματος



Σχήμα 9. Χώρος εξοπλισμού 150kV (γραμμή τροφοδοσίας, ζυγοί και Μ/Σ) Υ/Σ Βέλου Κορινθίας. Κλίμακα 1:300, μέρος σχεδίου ABB VL-P720089-EPWP-ARD-001-B



Σχήμα 10. Μετρηθείσες τιμές των πεδιακών εντάσεων στο περιβάλλον του Μ/Σ Ι του Υποσταθμού Βέλου Κορινθίας κατά μήκος του άξονα x_4 που φαίνεται στο σχήμα 9.
 α) Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E
 β) Μαγνητική επαγωγή B



Σχήμα 11. Μετρηθείσες τιμές των πεδιακών εντάσεων στο περιβάλλον των ζυγών 150kV του Υποσταθμού Βέλου Κορινθίας κατά μήκος του άξονα x_5 που φαίνεται στο σχήμα 9.

- α) Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E
β) Μαγνητική επαγωγή B

3.3 Υπολογισθείσες τιμές των πεδιακών εντάσεων στην περιοχή εισόδου των γραμμών 150 kV στους Υ/Σ

Όπως φαίνεται από τα σχήματα 1 και 2 τόσο ο Υ/Σ τύπου Α όσο και ο Υ/Σ τύπου Β τροφοδοτούνται από γραμμή 150 kV διπλού κυκλώματος. Οι ελάχιστη απόσταση των κάτω αγωγών από το έδαφος στο όριο περιφραξής του Υ/Σ είναι στην περίπτωση του Υ/Σ τύπου Α 14,7 m και του Υ/Σ τύπου Β 13,9 m.

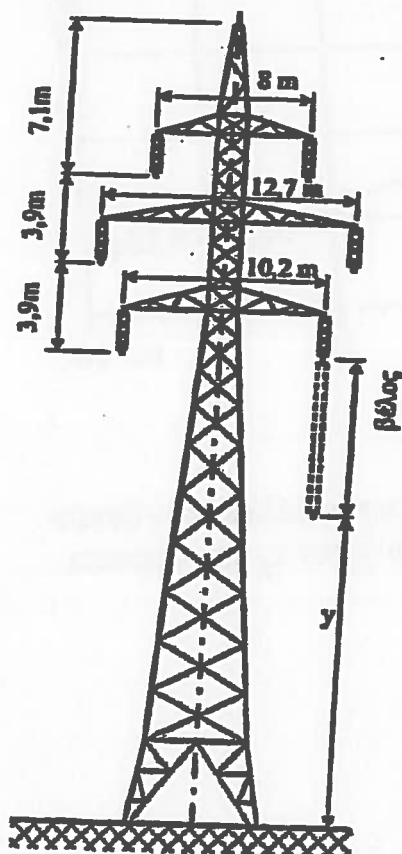
Το σχήμα 12 δείχνει τον πύργο τύπου Ζ4 και της απαραίτητες διαστάσεις για τον υπολογισμό των πεδιακών εντάσεων. Ο τύπος Ζ4 χρησιμοποιείται τόσο ως τερματικός πύργος για την τροφοδότηση του Υ/Σ τύπου Α όσο και ως πύργος εντός του Υ/Σ τύπου Β.

Για τον καθορισμό των μέγιστων δυνατών τιμών των πεδιακών εντάσεων στο όριο περιφραξής των Υ/Σ οι υπολογισμοί έγιναν με πολύ αυστηρές παραδοχές: Φόρτιση της γραμμής με την μέγιστη ένταση λειτουργίας των 780 Α ανά φάση κάθε κυκλώματος, υπολογισμοί για ύψος 2 m από το έδαφος.

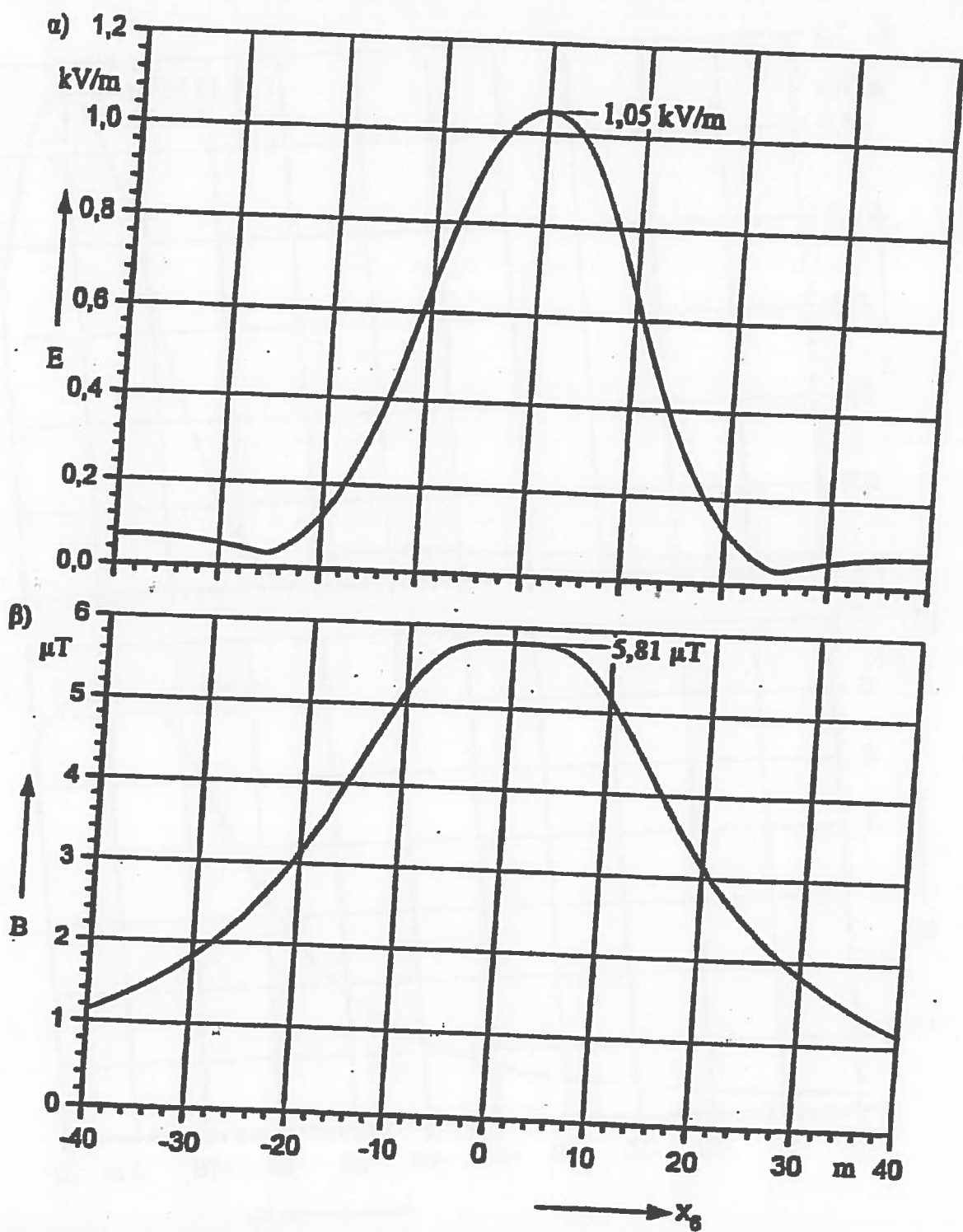
Τα σχήματα 13 και 14 δείχνουν τις τιμές των πεδιακών εντάσεων στα όρια περιφραξής των Υ/Σ τύπου Α και Β. Οι μέγιστες δυνατές τιμές είναι:

-Υ/Σ τύπου Α: $E_{\max}=1,05 \text{ kV/m} < 5 \text{ kV/m}$ και $B_{\max}=5,81 \mu\text{T} \ll 100 \mu\text{T}$

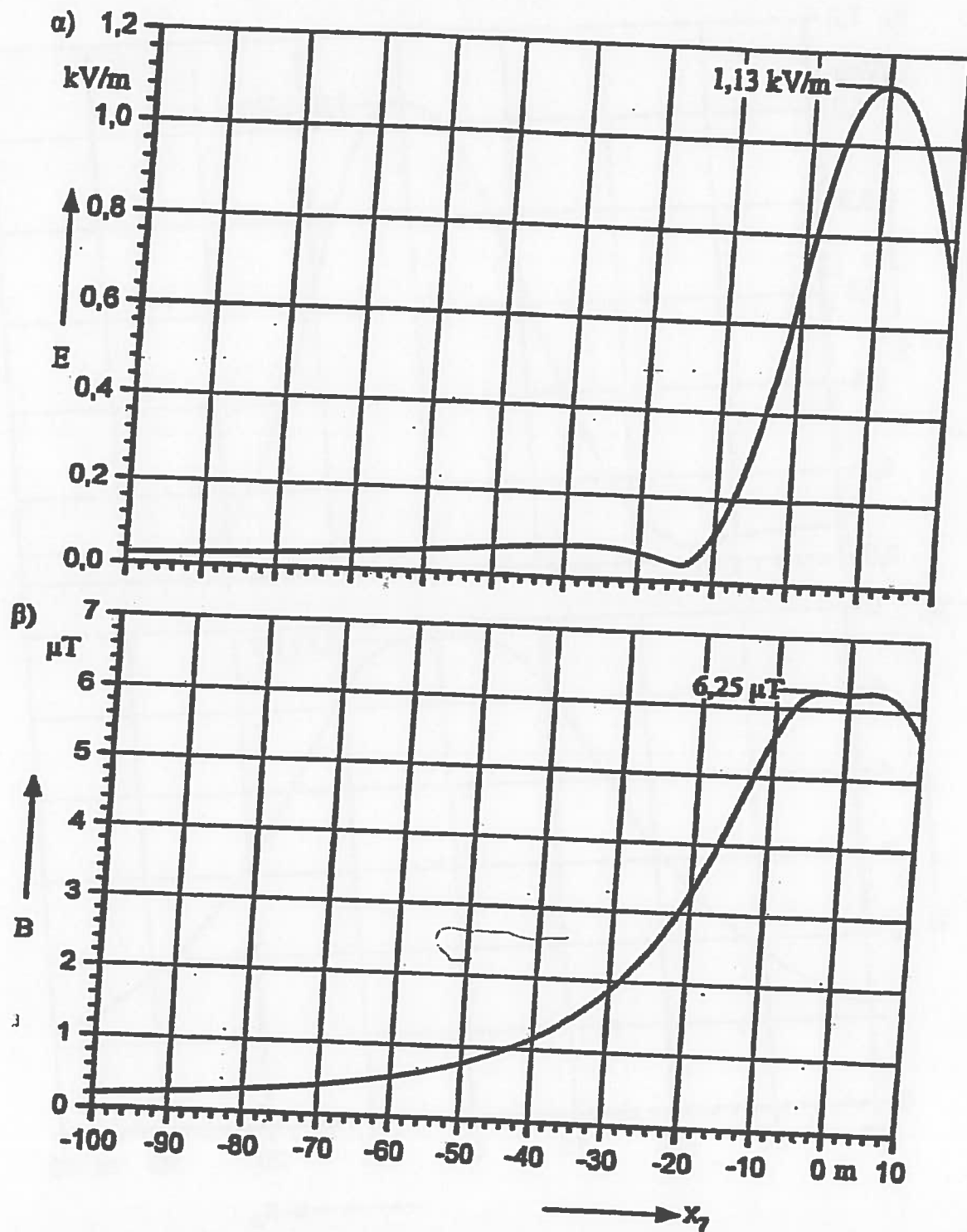
-Υ/Σ τύπου Β: $E_{\max}=1,13 \text{ kV/m} < 5 \text{ kV/m}$ και $B_{\max}=6,25 \mu\text{T} \ll 100 \mu\text{T}$



Σχήμα 12. Πύργος Ζ4 γραμμής 150 kV, διπλού κυκλώματος. Διαστάσεις μεταξύ των αγωγών.



Σχήμα 13. Υπολογισθείσες τιμές των πεδιακών εντάσεων στην περιοχή εισόδου της γραμμής 150 kV σε Υ/Σ τύπου A κατά μήκος του άξονα x_6 που ορίζεται στο σχήμα 1.
 α) Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E
 β) Μαγνητική επαγωγή B για ένταση 780 A ανά φάση κάθε κυκλώματος



Σχήμα 14. Υπολογισθείσες τιμές των πεδιακών εντάσεων στην περιοχή εισόδου της γραμμής 150 kV σε Υ/Σ τύπου Β κατά μήκος του άξονα x_1 που ορίζεται στο σχήμα 2.

α) Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E

β) Μαγνητική επαγωγή B για ένταση 780 Α ανά φάση κάθε κυκλώματος

3.4 Βιβλιογραφική διερεύνηση

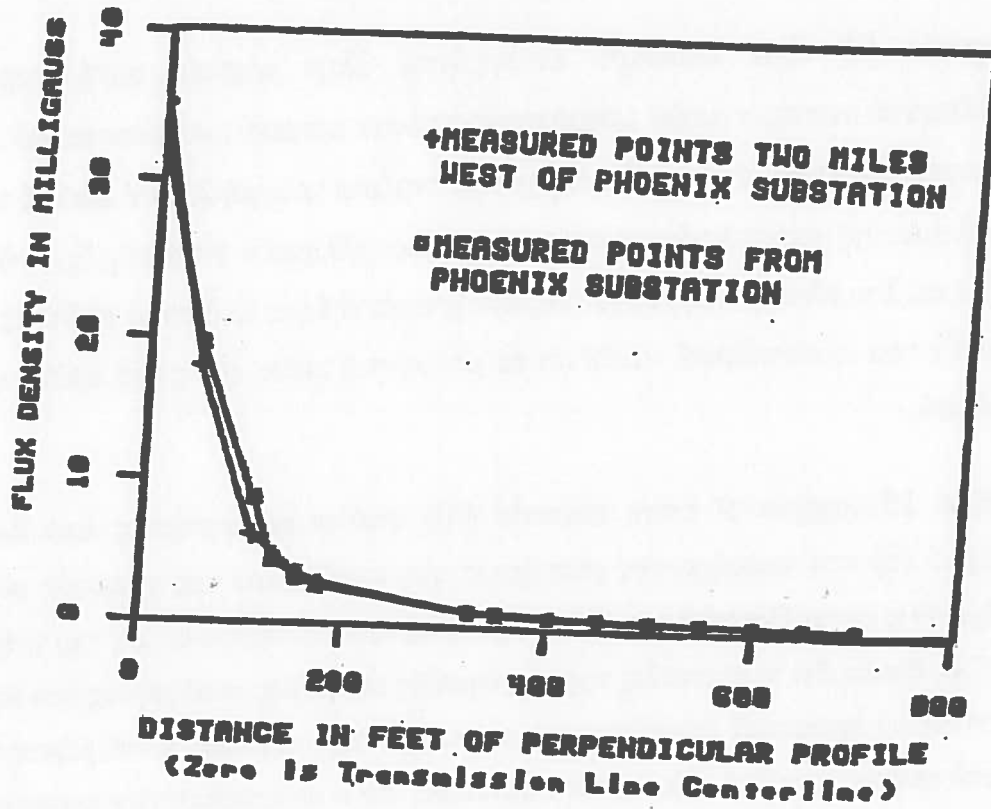
Οι εργασίες [6] έως [10] αναφέρονται στον καθορισμό των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων υποσταθμών υψηλής και υπερυψηλής τάσης.

Η εργασία [6] έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Στην εργασία αυτή παρουσιάζονται τα αποτελέσματα συστηματικών μετρήσεων σε έναν αμερικανικό υποσταθμό 230kV/23kV. Ο Υ/Σ κατασκευάστηκε κάτω από υπάρχουσα εναέρια γραμμή 230kV διπλού κυκλώματος. Το ένα κύκλωμα της γραμμής διακόπηκε για να παρεμβληθεί ο υποσταθμός, ενώ το άλλο έμεινε αμετάβλητο. Στα πλαίσια της εργασίας αυτής απαντήθηκε το βασικό ερώτημα, κατά πόσον ο εξοπλισμός του υποσταθμού αυξάνει το μαγνητικό πεδίο εκτός του ορίου περιφραξής του υποσταθμού.

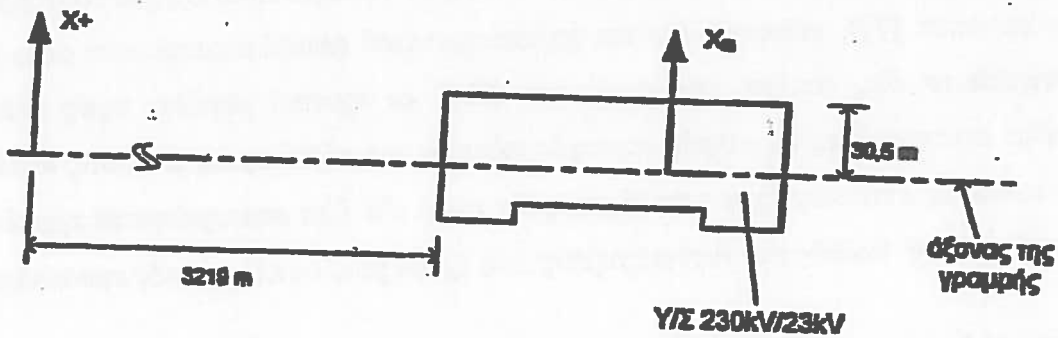
Στο σχήμα 15 (σχήμα 9 στην εργασία [6]) φαίνονται μετρήσεις στο περιβάλλον του υποσταθμού (-) και ταυτόχρονες μετρήσεις στο περιβάλλον της γραμμής μακριά από τον υποσταθμό (+), όπου δεν υπήρχε άλλη πηγή μαγνητικού πεδίου εκτός της γραμμής. Από το σχήμα 15 φαίνεται ότι η καμπύλη της μαγνητικής επαγωγής κατά μήκος του άξονα x_0 εκτός του υποσταθμού πρακτικά συμπίπτει με την αντίστοιχη καμπύλη κατά μήκος του άξονα x_+ μακριά από τον υποσταθμό. Προκύπτει, συνεπώς, ότι ο υποσταθμός δεν προκαλεί αύξηση της μαγνητικής επαγωγής έναντι των τιμών της γραμμής τροφοδότησής του!

Στην εργασία [7] δίνονται τα αποτελέσματα μετρήσεων της εντάσεως του ηλεκτρικού πεδίου και της μαγνητικής επαγωγής σε ένα ιταλικό KYT 380kV/130KV. Στο σχήμα 16 (σχήματα 3 και 4 στην εργασία [7]), παρουσιάζονται χαρακτηριστικά αποτελέσματα των μετρήσεων. Είναι αξιοσημείωτο ότι, ακόμα και εντός του KYT, οι σχετικά μεγάλες τιμές πεδιακών εντάσεων είναι εντοπισμένες σε μικρές περιοχές πλησίον του εξοπλισμού, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές οι πεδιακές εντάσεις έχουν πολύ χαμηλές τιμές. Τα ίδια συμπεράσματα προκύπτουν από τις εργασίες [8, 9], καθώς και από μετρήσεις που έχουν γίνει σε ελληνικούς υποσταθμούς.

Από τα αποτελέσματα των μετρήσεων της παραγράφου 3.2 και από αντίστοιχα αποτελέσματα μετρήσεων στους Υ/Σ Πάτρα II, Πάτρα III και στον Υ/Σ 150 kV/20 kV του KYT Αχαρνών, από τους υπολογισμούς της παραγράφου 3.3, καθώς και από τη βιβλιογραφική διερεύνηση της παραγράφου 3.4, προκύπτουν τα συμπεράσματα του κεφαλαίου 4.



Σχήμα 15 (σχήμα 9 στην εργασία [6]). Τιμές της μαγνητικής επαγωγής μετρηθείσες ταυτόχρονα κατά μήκος των αξόνων x_+ και x_0 σε mG ($1\text{mG} = 0,1\mu\text{T}$). Αποστάσεις σε πόδια ($1\text{ foot} = 0,305\text{m}$)



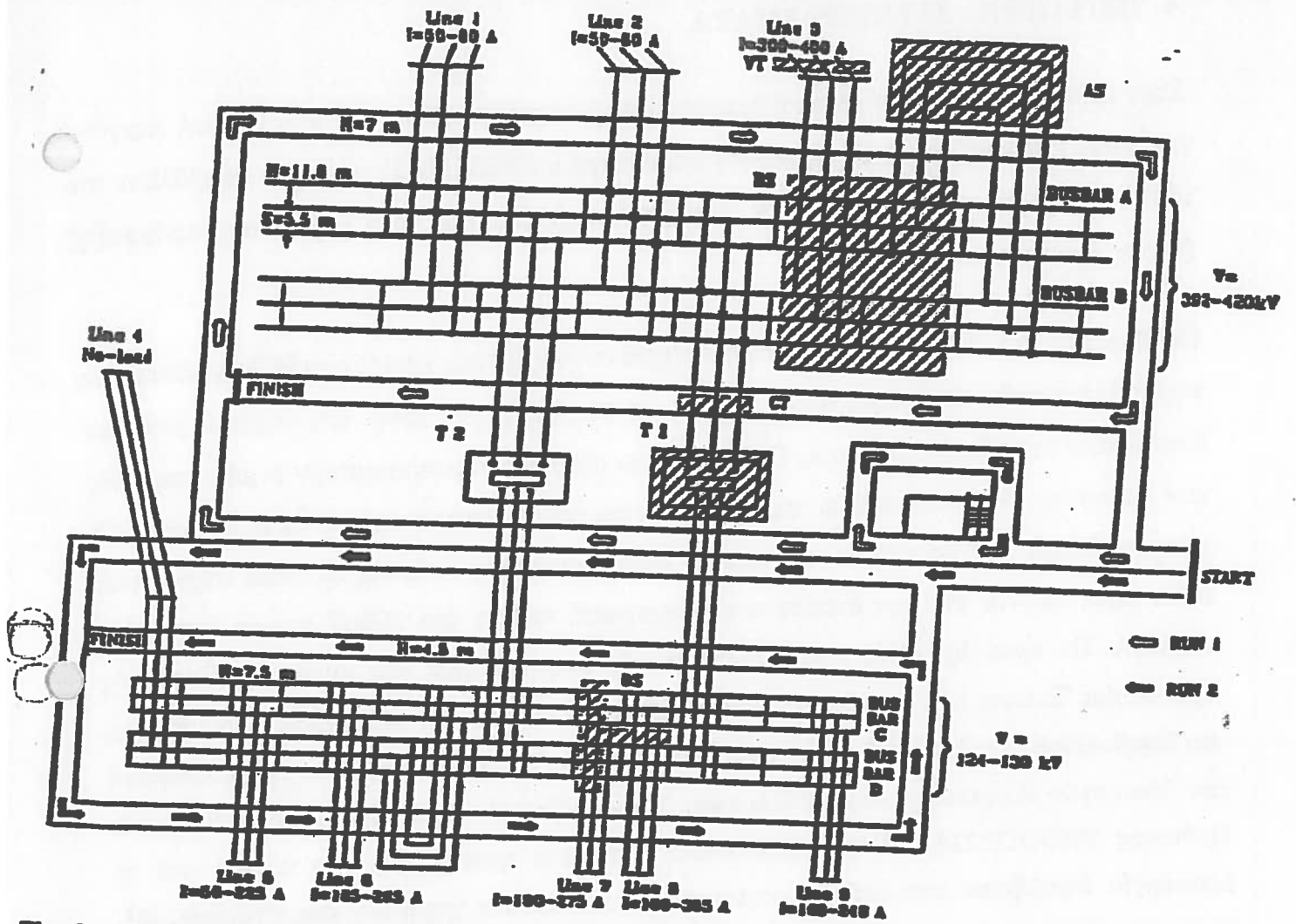


Fig. 3 - Lay-out of a typical 130/300 kV open air substation with indication of the main phase-to-phase (S) and phase-to-ground (H) clearances and of the variations of voltages and currents during electric and magnetic field measurements.

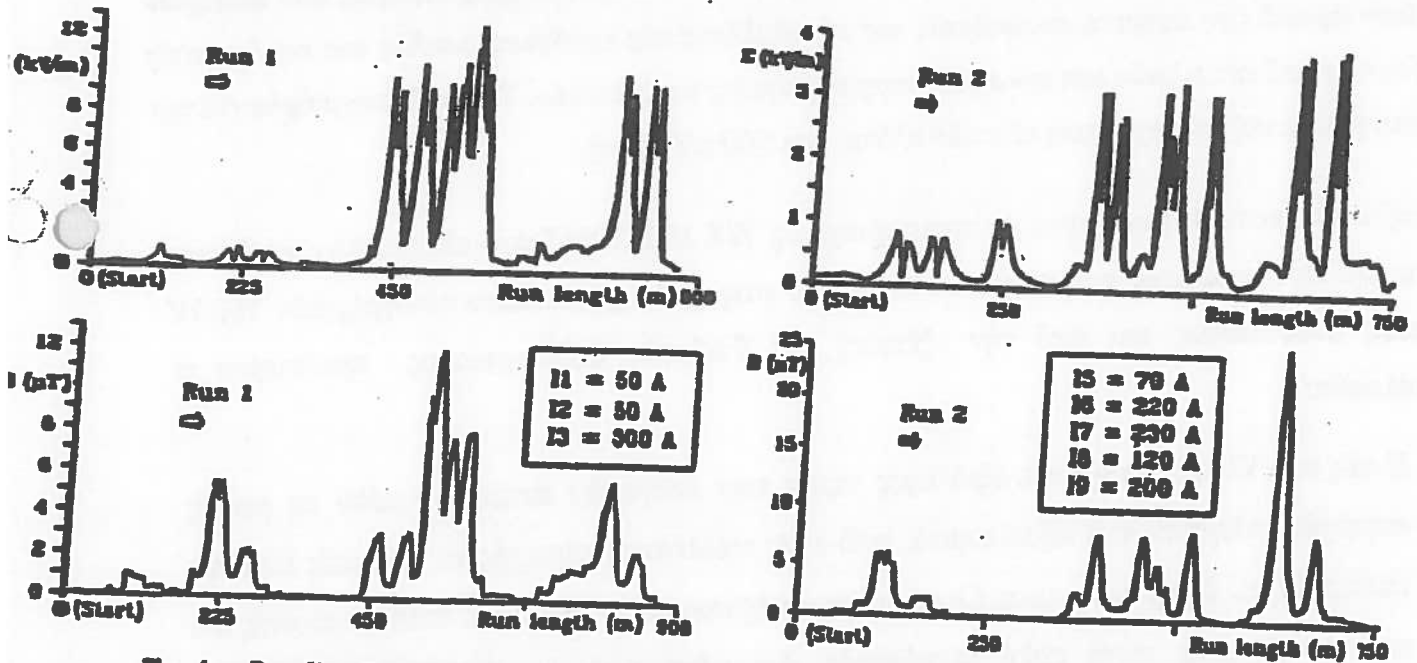


Fig. 4 - Results of measurements of electric and magnetic fields along the internal roads of the 130/300 kV open-air substation of Fig. 3.

Σχήμα 16. Ένταση ηλεκτρικού πεδίου E και μαγνητική επαγωγή B σε KYT 400 kV / 130 kV
Απόσπασμα από την εργασία [7].

4 ΠΕΡΙΛΗΨΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή εξετάζονται η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και η μαγνητική επαγωγή (πεδιακές εντάσεις) τυπικών υπαίθριων υποσταθμών 150kV / MT, τόσο στο περιβάλλον του εξοπλισμού (θέσεις προσιτές στους εργαζομένους) όσο και κατά μήκος της περιφραξής (θέσεις προσιτές στο κοινό).

Οι υπαίθριοι Υ/Σ 150 kV/MT προκαλούν συχνά ανησυχίες στο κοινό, επειδή θεωρούνται ως πηγές ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων με υψηλές τιμές, λόγω των σχετικά μεγάλων διαστάσεων του εξοπλισμού τους. Όμως, για την εξαγωγή συμπερασμάτων οι μέγιστες τιμές των πεδιακών εντάσεων πρέπει να συγκρίνονται με τις επιτρεπόμενες οριακές τιμές. Οι τιμές αυτές για την προστασία του κοινού έναντι συνεχούς έκθεσης σε πεδία συχνότητας 50Hz είναι 5kV/m για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και 100μT για τη μαγνητική επαγωγή. Οι οριακές αυτές τιμές είναι κοινές στην Οδηγία της Διεθνούς Επιτροπής Προστασίας Έναντι Μη Ιονίζουσας Ακτινοβολίας (ICNIRP) του 1998 [1β], στη Σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης του 1999 [4] και στην Κοινή Υπουργική Απόφαση των Υπουργών Ανάπτυξης / Περιβάλλοντος, Χωροταξίας & Δημοσίων Έργων / Υγείας & Πρόνοιας 3060ΦΟΡ238, ΦΕΚ512/Β/25.04.02 «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία διατάξεων εικονικής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων», [5]. Όπως αναφέρεται στη σύσταση του Συμβουλίου της Ευρωπαϊκής Ένωσης [4], οι οριακές αυτές τιμές « έχουν οριστεί έτσι, ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι αβεβαιότητες που υπάρχουν όσον αφορά την ατομική ευαισθησία, τις περιβαλλοντικές συνθήκες, καθώς και τις διαφορές όσον αφορά την ηλικία και την κατάσταση της υγείας του κοινού». Τα αντίστοιχα όρια για την επαγγελματική απασχόληση είναι 10 kV/m και 500 μT [1α].

Από συστηματικές μετρήσεις σε περισσότερους Υ/Σ 150kV/MT του ελληνικού συστήματος και από υπολογισμούς των πεδιακών εντάσεων στην περιοχή εισόδου των γραμμών 150 kV στους Υ/Σ, καθώς και από την εξέταση της διεθνούς βιβλιογραφίας προέκυψαν τα ακόλουθα:

- α) Εντός του Υ/Σ εμφανίζονται αξιόλογες τιμές των πεδιακών εντάσεων μόνο σε μικρές περιοχές πλησίον του εξοπλισμού, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές οι πεδιακές εντάσεις αποκτούν πολύ χαμηλές τιμές. Οι μέγιστες τιμές που μετρήθηκαν σε θέσεις προσιτές στο προσωπικό είναι κατά πολύ μικρότερες, όχι μόνο από τα επιτρεπόμενα όρια της επαγγελματικής έκθεσης, αλλά και από τα επιτρεπόμενα όρια συνεχούς έκθεσης του κοινού.
- β) Οι μέγιστες τιμές των πεδιακών εντάσεων, στο όριο περιφραξής των Υ/Σ, εκτός των

περιοχών των γραμμών τροφοδοτήσεως 150kV και των εναερίων αναχωρήσεων 20kV, που οφείλονται στους Μ/Σ 150kV/ΜΤ και στους ζυγούς 150 kV αποκτούν εξαιρετικά χαμηλές, πρακτικά αμελητέες τιμές! Π.χ οι τιμές που μετρήθηκαν στο όριο περιφραξης του Υ/Σ Βέλου Κορινθίας έχουν ως εξής:

- Στην πλευρά των Μ/Σ 150 kV/ 20 kV

$E_{max}=0,018$ kV/m (τιμή 277 φορές μικρότερη του επιτρεπομένου ορίου των 5 kV/m)

$B_{max}=0,36$ μ T (τιμή 277 φορές μικρότερη του επιτρεπομένου ορίου των 100 μ T)

- Στην πλευρά των ζυγών 150 kV

$E_{max}=0,063$ kV/m (τιμή 79 φορές μικρότερη του επιτρεπομένου ορίου των 5 kV/m)

$B_{max}=0,16$ μ T (τιμή 625 φορές μικρότερη του επιτρεπομένου ορίου των 100 μ T)

Η παραπάνω τιμές της μαγνητικής επαγωγής είναι δεκάδες φορές μικρότερες και από τις τιμές που εμφανίζονται στις κατοικίες και οφείλονται στις οικιακές ηλεκτρικές συσκευές, όπως φαίνεται από το παράρτημα, σελίδα 31.

γ) Οι μέγιστες τιμές των πεδιακών εντάσεων στην περιοχή των εναερίων αναχωρήσεων 20 kV είναι μικρότερες των αντιστοίχων τιμών στην περιοχή εισόδου των γραμμών 150 kV. Οι μέγιστες όμως αυτές τιμές κάτω από τις γραμμές 150 kV παραμένουν κατά πολύ μικρότερες από τα επιτρεπόμενα όρια συνεχούς έκθεσης του κοινού. Ειδικότερα:

- Στην περιοχή των αναχωρήσεων 20 kV μετρήθηκαν

$E_{max}=0,145$ kV/m \ll 5 kV/m και $B_{max}=1,99$ μ T \ll 100 μ T

- Στην περιοχή εισόδου των γραμμών 150 kV υπολογίσθηκαν με πολύ αυστηρές παραδοχές (φόρτιση της γραμμής με τη μέγιστη ένταση λειτουργίας των 780 Α ανά φάση κάθε κυκλώματος, υπολογισμοί για ύψος 2 m από το έδαφος) οι μέγιστες δυνατές τιμές

$E_{max}=1,13$ kV/m \ll 5 kV/m και $B_{max}=6,25$ μ T \ll 100 μ T

Οι μετρηθήσες τιμές είναι μικρότερες από τις παραπάνω μέγιστες δυνατές τιμές.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι πληρούνται οι απαιτήσεις των κανονισμών για την προστασία των ανθρώπων έναντι των ηλεκτρικών και των μαγνητικών πεδίων των Υ/Σ 150kV/ΜΤ υπαιθρίου τύπου, αφού οι μέγιστες δυνατές τιμές των πεδιακών εντάσεων εντός του Υ/Σ (θέσεις προσιτές στο προσωπικό) και οι μέγιστες δυνατές τιμές των πεδιακών εντάσεων στο όριο περιφραξης των Υ/Σ (θέσεις προσιτές στο κοινό) είναι κατά πολλές φορές μικρότερες από τα επιτρεπόμενα όρια για την συνεχή έκθεση του κοινού. Καθίσταται συνεπώς, απολύτως σαφές, ότι δεν υπάρχει κανείς λόγος ανησυχίας για ενδεχόμενες επιδράσεις των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων στο περιβάλλον των Υ/Σ 150 kV/ΜΤ υπαιθρίου τύπου.

5 Βιβλιογραφία

Κατευθυντήριες γραμμές και κανονισμοί

- [1α] International Radiation Protection Association/ International Non-Ionizing Radiation Committee, IRPA/ INIRC (1990): *Interim Guidelines on limits of exposure to 50/60 Hz electric and magnetic fields*, Health Physics January 1990, Vol. 58, No1, pp 113 - 122.
- [1β] ICNIRP Guidelines, International Committee for Non-Ionizing Radiation Protection: *Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300GHz)*, Health Physics, April 1998, Vol. 74, No 4, pp 494 - 522.
- [2] National Radiological Protection Board, NRPB: *Board statement on restrictions on human exposure to static and time varying electromagnetic fields and radiation*, Vol. 4 No 5, Nov. 1993, Hilton, Great Britain.
- [3] 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder - 26. BImSchV) vom 16. Dezember 1996 (BGBl I S.1996)
- [4] Συμβούλιο της Ευρωπαϊκής Ένωσης: *Σύσταση του Συμβουλίου της 12ης Ιουλίου 1999 περί του περιορισμού της έκθεσης του κοινού σε ηλεκτρομαγνητικά πεδία (0Hz - 300GHz)*, 1999/519/ΕΚ, Επίσημη Εφημερίδα των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, L199, σελ. 59 - 70, 30/7/1999.
- [5] Κοινή Υπουργική Απόφαση, Αριθμός 3060 (ΦΟΡ)238, ΦΕΚ512/Β/25.04.02: «Μέτρα προφύλαξης του κοινού από τη λειτουργία διατάξεων εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων».

Ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία υποσταθμών

- [6] W.E. Feero, J.Yontz, J.H. Dunlap: *Magnetic fields remote from substations*, IEEE Trans on Power Delivery, Vol.4, No 3, July 1989, pp1862-1868.
- [7] D. Armanini, R. Conti, A. Mantini, P. Nicolini: *Measurements of power frequency electric and magnetic fields around different industrial and household source*, CIGRE Report, 36-107, 1990.
- [8] N. Hayashi, K. Isaka, Y. Yokoi: *Analysis of 60-Hz magnetic fields near ground level in 187-kV switchyard of a 187/66-kV AC substation*, IEEE Trans on Power Delivery, Vol. 7, No 1, January 1992, pp 237-244.

- [9] W.K. Daily, F. Dawalibi: *Measurements and computations of electromagnetic fields in electric power substations*, IEEE Trans on Power Delivery, Vol 9, No 1, January 1994, pp 324-332.
- [10] Shun-Li Lu, Chin E. Lin, Ching-Lien Huang, Tsung-Che Lu: *Power substation magnetic field measurement using digital signal processing techniques*, IEEE Trans on Power Delivery, Vol 14, No 4, October 1999, pp 1221-1227.

Υπολογισμοί και μετρήσεις πεδίων

- [11] CIGRE, WG 36.01: *Electric and magnetic fields produced by transmission systems, Description of phenomena and practical guide for calculation*, CIGRE, Technical Brochure 21, 1980.
- [12] IEC 61786 "Μετρήσεις μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων χαμηλών συχνοτήτων σε σχέση με την έκθεση ανθρώπων - Ειδικές προδιαγραφές για τα όργανα και οδηγίες για τις μετρήσεις", Αύγουστος 1998.
- [13] IEEE Standard 644-1994: "IEEE standard procedures for measurements of power-frequency electric and magnetic fields from ac power lines", επανέκδοση Ιανουάριος 2002.
- [14] D. W. Deno, L. E. Zaffanella: *Field effects of overhead transmission lines and stations*, Chapter 8 of the "Transmission Line Reference Book", ERPI, California, 1987.
- [15] H. Olsson, P. Petersson, A. Eriksson: *Reduction of transmission line magnetic fields- Possibilities and constraints*, CIGRE Report, 36-101, 1990.
- [16] H. J. Haubrich: *Sicherheit im elektromagnetischen Umfeld*, VDE-Verlag, Berlin-Offenbach, 1990.
- [17] D. C. Renew, J. C. Male, B. J. Maddock: *Power frequency magnetic fields: Measurement and exposure assessment*, CIGRE Report, 36-105, 1990.
- [18] Magnetic Field Task Force of the IEEE AC field WG: *Measurements of power frequency magnetic field away from power lines*, IEEE Trans. on Power Delivery, Vol 6, No. 2, 1991, pp. 901-911.
- [19] Tsanakas, D., Tsalemis, D., Agoris, D., Voyazakis, J.: *Optimum arrangements of the phase conductors of overhead transmission lines for the magnetic field minimization*, CIGRE Report, 36-101, 1994.
- [20] "Protection of workers from power frequency electric and magnetic fields: a practical guide", International Labor Office Geneva 1994.

- [21] Δ. Τσανάκας: *Εναέριες γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας και περιβάλλον*, Συνέδριο HELECO 1995.
- [22] CIGRE, Joint Task Force 36.01/21: *Magnetic field in HV cable systems, 1/ Systems without ferromagnetic components*, June 1996
- [23] D. Tsalemis, D. Tsanakas, J. Miliadis - Argitis and D. Agoris : *Optimum arrangements of the phase conductors of overhead transmission lines for the electric field minimization*, ISH '97 Vol. 6, pp. 97-100, Montreal, 1997.
- [24] Δ. Τσανάκας, Δ. Τσαλέμης : *Υπολογισμοί και μετρήσεις ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων εναέριων γραμμών - Αναζήτηση περιβαλλοντικά ορθών λύσεων*, ΕΕ CIGRE, Σύνοδος Αθήνα 97.
- [25] Δ. Τσανάκας, Δ. Τσαλέμης, Γ. Φιλιππόπουλος: *Μετρήσεις μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων ηλεκτρικών εγκαταστάσεων και στοιχείων συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας - Έκθεση ανθρώπων στις πεδιακές εντάσεις*, Έκθεση ερευνητικού έργου, Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας ΠΕΝΕΔ95 ΕΔ592, Πανεπιστήμιο Πατρών 1998 .
- [26] Δ. Τσαλέμης: *Ελαχιστοποίηση των μαγνητικών και ηλεκτρικών πεδίων γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών, Διδακτορική Διατριβή, 1998.
- [27] Δ. Τσανάκας, Γ. Φιλιππόπουλος, Ι. Βογιατζάκης, Γ. Κουβαράκης: *Διατάξεις αγωγών εναέριων γραμμών για τον περιορισμό των ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων — Υπολογισμοί και μετρήσεις*, ΕΕ CIGRE Σύνοδος Αθήνα '99.
- [28] D. Tsanakas, G. Filippopoulos, J. Voyatzakis, G. Kouvarakis: *Compact and optimum phase conductor arrangement for the reduction of electric and magnetic fields of overhead lines*, CIGRE Report, 36-103, 2000.
- [29] G. Filippopoulos, D. Tsanakas, G. Kouvarakis, "Overhead and underground power lines electric and magnetic field reduction techniques" Millennium Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields, Heraklio 2000.
- [30] Γ. Φιλιππόπουλος: *Συμβολή στην ανάλοση του μαγνητικού πεδίου στο περιβάλλον τριφασικών διατάξεων*, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Τεχνολογίας Υπολογιστών, Διδακτορική Διατριβή, 2002.
- [31] G. Filippopoulos, D. Tsanakas, G. Kouvarakis, E. Karabetsos, "Protection of people against electric and magnetic fields", IASTED International Conference on Power and Energy Systems (EuroPES 2002), June 2002, Crete, Greece

- [32] D. Tsanakas, G. Filippoulos: *Measures for the reduction of overhead line electric and magnetic fields*, CIGRE Regional Meeting Suseava, Romania, 2001.
- [33] G. Filippopoulos, D. Tsanakas: *Accurate formulas of power line magnetic fields*, Second International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields, Rhodes, Greece, 2002.
- [34] G. Filippopoulos, D. Tsanakas, G. Kouvarakis, J. Voyatzakis: *Optimum conductor arrangement of compact lines for electric and magnetic field minimization - calculation and measurements*, Conference Med Power, Athens 2002.
- [35] G. Filippopoulos, D. Tsanakas: *Relations for the determination of the magnetic field parameters of three dimensional, three phase arrangements*, Elektrik Berlin 56 (2002, 09-12, pp 352-358.
- [36] G. Filippopoulos, D. Tsanakas: *Analytical formulae for the magnetic field of electric power lines*, υποβλήθηκε για δημοσίευση στο IEEE Transactions on Power Delivery.

Εξέταση εργαστηριακών και επιδημιολογικών μελετών

- [37] CIGRE Expert Group Statement: *Current status of research on power-frequency electric and magnetic fields and cancer*, Electra No 135, 1991, pp. 8-1.
- [38] Oak Ridge Associated Universities: *Health Effects of Low-Frequency Electric and Magnetic Fields*, ORAU 92/F8, June 1992.
- [39] M. H., Repacholi: *Laboratory studies on cancer and 50/60 Hz field exposure*, CIGRE Report, Panel 2-03, 1992.
- [40] L. A. Sagan: *Clinical and epidemiological studies of power frequency electric and magnetic fields exposures*, CIGRE Report, Panel 2-04, 1992.
- [41] N. Leitgeb: *Analyse epidemiologischer Studien über magnetfeldbedingte Krebsrisiken*, Biomedizinische Technik, Bd. 38, (1993), S. 111-116.
- [42] K.-H. Schneider: *Wirkung niederfrequenter Felder auf den Menschen*, EW 1994, S. 991-1001.
- [43] *Συμπεράσματα διημερίδας "Επίδραση της μη - ιονίζουσας ακτινοβολίας στην υγεία του ανθρώπου"*, Διοργάνωση από ΓΤΕΤ, Βρετανικό Συμβούλιο και Γαλλική Πρεσβεία, 26 και 27 Μαρτίου 1996, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών.
- [44] CIGRE Working Group 36.06: *Management of EMF issue*, Electra, 168, (1996) pp 131-137.

- [45] National Research Council, USA: *Possible Health Effects of Exposure to Residential Electric and Magnetic Fields*, National Academy Press, Washington D.C., 1997.
- [46] National Research Council, USA: *Research on Power-Frequency Fields Under the Energy Policy Act of 1992*, Nation Academy Press, Washington, DC, 1999.
- [47] IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Committee on Man and Radiation: *Possible health hazards from exposure to power-frequency electric and magnetic fields- A COMAR Technical Information Statement*, IEEE Eng Med Biol 19(1):131-137, 2000.
- [48] Δ. Τσανάκας, Γ. Φιλίππου, Ημερίδα ΕΕ CIGRE, ΤΕΕ, Συμπεράσματα από την 38^η Σύνοδο της Διεθνούς CIGRE στο Παρίσι: Υγεία και Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία, Αθήνα, Δεκέμβριος 2000.
- [49] CIGRE Position Statement: *Power-frequency electromagnetic fields and health*, Electra, Vol 126, June 2001.
- [50] Δ. Τσανάκας, Γ. Φιλίππου, Δ. Κουβαράκης, Ε. Καραμπίτσος, «Νέες εργασίες σχετικά με την προστασία των ανθρώπων έναντι ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων», Ελληνική Επιτροπή CIGRE, Σύνοδος Αθήνα 2002

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: Μαγνητική επαγωγή συσκευών οικιακής και επαγγελματικής χρήσης

Οι αναμενόμενες τιμές της μαγνητικής επαγωγής στο περιβάλλον διαφόρων οικιακών συσκευών και εργαλείων είναι:

Πηγή	Μαγνητική επαγωγή σε μT για απόσταση από την πηγή:		
	3cm	30cm	1m
Ανεμιστήρες	2 - 30	0,03 - 4	0,01 - 0,35
Δράπανα	400 - 800	2 - 3,5	0,08 - 0,2
Ηλεκτρικά πριόνια	250 - 1000	1 - 25	0,01 - 1
Ηλεκτρικά σίδερα	8 - 30	0,012 - 0,3	0,01 - 0,25
Ηλεκτρικές εστίες μαγειρέματος	6 - 200	0,35 - 4	0,01 - 0,1
Ηλεκτρικές σκούπες	200 - 800	2 - 20	0,13 - 2
Ηλεκτρικοί φούρνοι	1 - 50	0,15 - 0,5	0,01 - 0,04
Καφετιέρες	1,8 - 25	0,08 - 0,15	< 0,01
Λάμπες φθορισμού γραφείου	40 - 400	0,5 - 2	0,02 - 0,25
Λάμπες φθορισμού οροφής	15 - 200	0,2 - 4	0,01 - 0,3
Μίξερ	60 - 700	0,6 - 10	0,02 - 0,25
Ξυριστικές μηχανές	15 - 1500	0,08 - 9	< 0,01 - 3
Πλυντήρια πιάτων	3,5 - 20	0,6 - 3	0,07 - 0,3
Πλυντήρια ρούχων	0,8 - 50	0,15 - 3	0,01 - 0,15
Στεγνωτήρια ρούχων	0,3 - 8	0,08 - 0,3	0,02 - 0,06
Στεγνωτήρες μαλλιών	6 - 2000	< 0,01 - 7	< 0,01 - 0,3
Τηλεοράσεις	2,5 - 50	0,04 - 2	< 0,01 - 0,15
Τοστιέρες	7 - 18	0,06 - 0,7	< 0,01
Φορητές θερμάστρες	10 - 180	0,15 - 5	0,01 - 0,25
Φούρνοι μικροκυμάτων	75 - 200	4 - 8	0,25 - 0,6
Ψυγεία	0,5 - 1,7	0,01 - 0,25	< 0,01

Οι παραπάνω τιμές, καθώς και οι ακόλουθες τιμές για την επαγγελματική απασχόληση, προέρχονται από την οδηγία No 27, Magnetic fields - Health and safety guide, WHO, 1989. Ο οδηγός αυτός προέκυψε από συνεργασία του Περιβαλλοντικού Τμήματος του ΟΗΕ, IRPA και της Παγκόσμιας Οργάνωσης Υγείας, WHO.

Στο περιβάλλον συσκευών επαγγελματικής χρήσεως μεγάλων εντάσεων ρεύματος εμφανίζονται μεγάλες τιμές, όπως

- Ηλεκτροσυγκολλήσεις	σε απόσταση	0,2m - 0,9m	: 500 μT - 1700 μT
- Ηλεκτρικοί κλιβανοί	>>	2m	: μέχρι 1000 μT
- Επαγωγικές θερμάστρες	>>	0,1m - 1m	: 900 μT - 65000 μT

