



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Συστήματα Προειδοποίησης για την Προστασία Ηλεκτρικών
Δικτύων από Γεωμαγνητικές και Ηλιακές Καταιγίδες

Πτυχιακή εργασία

Σταύρος Σχοινιάς Α.Μ.: 43746

Επιβλέπων καθηγητής: Μανουσάκης Νικόλαος

ΑΘΗΝΑ 2018

Περίληψη

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται αναφορά στον ηλεκτρισμό και πιο συγκεκριμένα στα ηλεκτρικά δίκτυα ενός συστήματος. Θα αναπτύξουμε την ιστορία των ηλεκτρικών δικτύων και επιπλέον τα στοιχεία που χρειάζονται προκειμένου να διανεμηθεί το ηλεκτρικό ρεύμα στους καταναλωτές.

Προχωρώντας στο δεύτερο κεφάλαιο θα αναλυθούν λεπτομερώς, οι γεωμαγνητικές και ηλιακές καταιγίδες. Ουσιαστικά θα μελετήσουμε την μαγνητικότητα της γης, την ηλιακή δραστηριότητα και τους ηλιακούς ανέμους. Επιπλέον, θα αναφερθούμε αναλυτικά στα ιστορικά γεγονότα των γεωμαγνητικών καταιγίδων, εμβαθύνοντας στις συνέπειες που επέφεραν στις ζωές των ανθρώπων καθώς επίσης και στα προβλήματα που προκλήθηκαν στις χώρες όπου εμφανίστηκαν τα φαινόμενα αυτά. Πολλές μελέτες και έρευνες έχουν διενεργηθεί σε διάφορα Πανεπιστημιακά Ιδρύματα του εξωτερικού καθώς επίσης και από τη Nasa. Οι πληροφορίες που έχουμε για αυτά τα φαινόμενα προέρχονται κυρίως από μελέτες και δημοσιεύσεις ξένων επιστημόνων. Τέλος, στα διαγράμματα που παρουσιάζονται θα αντλήσουμε πολλές σημαντικές πληροφορίες.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συστήματα προειδοποίησης για την προστασία ηλεκτρικών δικτύων από τις γεωμαγνητικές και ηλιακές καταιγίδες. Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο γίνεται μια προσπάθεια προκειμένου να δοθούν ορισμένες απαντήσεις σχετικά με τα συστήματα προειδοποίησης. Είναι ένα ζήτημα για το οποίο γίνονται συνεχώς μελέτες υπάρχουν διάφορες προσπάθειες για τη βελτίωση των συστημάτων αυτών άλλοτε επιτυχημένες και άλλοτε λιγότερο επιτυχημένες. Το σίγουρο είναι πως ο επιστημονικός κόσμος θα συνεχίσει τις έρευνες ώστε τα αποτελέσματα σε αυτό το κομμάτι να έχουν μεγαλύτερες επιτυχίες.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται ορισμένα συμπεράσματα.

Λέξεις κλειδιά: ηλεκτρικά δίκτυα, γεωμαγνητικές καταιγίδες, ηλιακή δραστηριότητα, μαγνητικότητα, ηλιακές καταιγίδες, συνέπειες, συστήματα προειδοποίησης.

Abstract

In the first chapter of this paper, reference is made to electricity, and more specifically to the electrical systems of a system. We will develop the history of electrical networks and, in addition, the elements needed to distribute electricity to consumers. Moving to the second chapter will analyze in detail the geomagnetic and solar storms. We will basically study Earth's magnetism, solar activity and solar winds. In addition, we will detail the historical events of the geomagnetic storms, deepening the consequences they have had on people's lives as well as the problems that have arisen in the countries where these phenomena occurred. Many studies and

researches have been conducted at various University Institutions abroad as well as from Nasa. The information we have about these phenomena comes mainly from studies and publications of foreign scientists. Finally, in the diagrams presented, we will draw on a lot of important information. In the third chapter are presented the warning systems for the protection of electrical networks from the geomagnetic and solar storms. This chapter attempts to give some answers about warning systems. It is a question that is constantly being studied there are various attempts to improve these systems once successful and sometimes less successful. The sure thing is that the scientific world will continue research so that the results in this piece will have bigger successes.

The fourth chapter presents some conclusions.

Keywords: electrical networks, geomagnetic storms, solar activity, magnetism, solar storms, consequences, warning systems.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της πτυχιακής μου εργασίας κ. Νικόλαο Μανουσάκη Καθηγητή του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, για τη δυνατότητα που μου έδωσε να πραγματοποιήσω την εργασία αυτή καθώς και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε κατά τη διάρκεια υλοποίησης της. Επίσης, οφείλω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου που με στήριξαν και με στηρίζουν όλα αυτά τα χρόνια. Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την Αναστασία και την Σταθούλα για την στήριξη τους.

Εισαγωγή

Η ηλεκτρική ενέργεια είναι ένα πολύ σημαντικό και αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητας μας. Ο ηλεκτρισμός καλύπτει πολλές και βασικές ανάγκες των ανθρώπων. Η καθημερινή ζωή του καθενός από εμάς είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με τα ηλεκτρικά δίκτυα. Η σημασία του ηλεκτρισμού γίνεται κατανοητή κάθε φορά που υπάρχει κάποιο τεχνικό πρόβλημα στα ηλεκτρικά δίκτυα αφού πολλές δραστηριότητες εμποδίζονται και προκαλείται σύγχυση πολλές φορές στις κοινωνίες.

Παρατηρείται, τα τελευταία χρόνια, μια δραματική αύξηση των ηλεκτρικών συσκευών υψηλής ή χαμηλής κατανάλωσης, γεγονός που έχει ως συνέπεια την αύξηση ζήτησης ενέργειας. Ταυτόχρονα, έχουν πολλαπλασιαστεί τα διάφορα συστήματα, όπως γραμμές παραγωγής σε εργοστάσια και ηλεκτρονικά τσιπ τα οποία απαιτούν συνεχή και ποιοτική παροχή ενέργειας.

Το πρόβλημα εμφανίζεται καθώς η παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται με πολύ μικρότερους ρυθμούς από αυτούς της ζήτησης. Επιπλέον, τα συστήματα προστασίας των ηλεκτρικών δικτύων δεν είναι ιδιαίτερα ισχυρά και δεν προστατεύουν εξ ολοκλήρου τα δίκτυα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρατηρούνται ολοένα και συχνότερα μερικές ή ολικές διακοπές παροχής ενέργειας σε ορισμένες περιοχές ειδικά κατά τις ώρες αιχμής, καθώς επίσης και εξαιτίας διάφορων φυσικών φαινομένων, άλλα και λόγω του διαστημικού καιρού.

Ωστόσο, τα προβλήματα στα ηλεκτρικά δίκτυα δεν προέρχονται μόνο από τα διάφορα καιρικά ή φυσικά φαινόμενα, αλλά σημαντικά ζητήματα προκύπτουν και από τον λεγόμενο «διαστημικό καιρό». Σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει σχετικά με αυτό το θέμα ο διαστημικός καιρός είναι ένα φαινόμενο το οποίο περιγράφει τις διαφορές μεταβολές που πραγματοποιούνται στο ηλιακό σύστημα. Επομένως, οι μεταβολές αυτές έχουν επιπτώσεις στην ροή και την ταχύτητα του ηλιακού ανέμου, στην μαγνητόσφαιρα, την ιονόσφαιρα και την θερμόσφαιρα της γης. Τα φαινόμενα αυτά επιδρούν στην απόδοση και την αντοχή μιας μεγάλης ποικιλίας τεχνολογικών συστημάτων συμπεριλαμβανομένων και των ηλεκτρικών δικτύων που κατασκευάζονται από τον άνθρωπο. Αυτά τα συστήματα αφορούν τόσο στο διαστημικό όσο και στο γήινο περιβάλλον και μπορούν να θέσουν σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία και ασφάλεια. Ο διαστημικός καιρός έχει τη δική του κλιματολογία η οποία μεταβάλλεται ανά χρονικά διαστήματα τα οποία εκτείνονται από μια ημέρα (χρόνος περιστροφής της γης γύρω από τον άξονά της) μέχρι και έντεκα χρόνια (χρόνος μεταξύ δύο μεγίστων της ηλιακής δραστηριότητας) ή ακόμη και περισσότερο. Η βασική πηγή του διαστημικού καιρού είναι ο ήλιος, όμως συχνά υπάρχει και η σύνδεση με άλλα αστροφυσικά φαινόμενα εκτός του ηλιακού μας συστήματος.

Αυτό το εξίσου σημαντικό ζήτημα, με το οποίο δεν έχουμε ασχοληθεί ιδιαίτερα στην Ελλάδα, έχει εμφανιστεί σε παγκόσμια κλίμακα και οι επιπτώσεις των γεωμαγνητικών και των ηλιακών καταιγίδων στα ηλεκτρικά δίκτυα ήταν τεράστιες για αρκετές περιοχές διαφόρων χωρών. Πρόκειται για ένα ζήτημα αρκετά επικίνδυνο με πολλές συνέπειες το οποίο δεν είναι τόσο εύκολα προβλέψιμο. Κατ' επέκταση τέτοιου είδους φαινόμενα έχουν προκαλέσει αρκετές καταστροφές σε παγκόσμιο επίπεδο. Καθημερινά επιστήμονες και ερευνητικά κέντρα ασχολούνται με την εύρεση τρόπων αντιμετώπισης και πρόβλεψης, ακόμα και αποφυγής, των γεωμαγνητικών- ηλιακών καταιγίδων.

Περιεχόμενα

Περίληψη	2
----------------	---

Εισαγωγή	5
----------------	---

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ.....	12
------------------------------	-----------

1.1 Ποια είναι τα φυσικά φαινόμενα και με ποία θα ασχοληθούμε;.....	12
---	----

1.2 Τι είναι τα ηλεκτρικά δίκτυα;	12
---	----

1.3 Η ιστορία του ηλεκτρικού ρεύματος στην Ελλάδα.....	12
--	----

1.4 Ιστορική εξέλιξη των ηλεκτρικών δικτύων	13
---	----

1.5 Βασικές λειτουργίες και πηγές ενέργειας	14
---	----

1.6 Κατηγορίες καταναλωτών	15
----------------------------------	----

1.7 Δομή.....	15
---------------	----

1.8 Συστήματα παραγωγής ΣΗΕ.....	17
----------------------------------	----

1.9 Συστήματα διανομής.....	18
-----------------------------	----

1.9.1 Συστήματα μεταφοράς.....	19
--------------------------------	----

1.10 Επισκόπηση των φορτίων	19
-----------------------------------	----

1.11 Προστασία και ποιότητα εξυπηρέτησης	20
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΩΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΙΓΙΔΕΣ	21
---------------------------------------	-----------

2.1 Το μαγνητικό πεδίο της γης	21
--------------------------------------	----

2.1.1 Το κύριο μαγνητικό πεδίο	22
--------------------------------------	----

2.1.2 Το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο	23
--	----

2.2 Τι είναι γεωμαγνητικές καταιγίδες.....	24
--	----

2.2.1 Γεωμαγνητικές θύελλες.....	25
----------------------------------	----

2.3 Τι είναι ο μαγνητικός ήλιος;	25
--	----

2.3.1 Αναλυτικότερα η ηλιακή δραστηριότητα.....	27
---	----

2.3.2 Δραστηριότητα του ηλιακού ανέμου.....	28
---	----

2.4 Τρεις φάσεις της καταιγίδας	30
---------------------------------------	----

2.5 Ιστορικά παραδείγματα γεωμαγνητικών καταιγίδων και οι επιπτώσεις.....	32
---	----

2.5.1 Αύγουστος - Σεπτέμβριος 1859-συμβάν Carrington.....	32
---	----

2.5.2 Μάρτιος 1989- θύελλα στο Quebec	33
2.5.3 Οκτώβριος 2003 – καταιγίδα στο Halloween.....	34
2.6 Ανάλυση και δείκτες μέτρησης των γεωμαγνητικών καταιγίδων.....	36
2.6.1 Στην κύρια φάση ακραίων καταιγίδων: από τον δείκτη Dst έως τα τοπικά αρχεία μαγνητομέτρων.....	37
2.7 Η συχνότητα των ακραίων καταιγίδων.....	41
2.8 Μαγνητικό πλάτος	42
2.9 Διαφορές μεταξύ της αγωγιμότητας εδάφους.....	43
2.10 Η επίδραση στις ακτές	44
2.11 Μήκος γραμμής και χαρακτηρισμός.....	44
2.12 Σχετικός κίνδυνος από το νομό.....	44
2.12.1 Δυναμική εκτίμηση κινδύνου	44
2.12.2 Σχετικοί παράγοντες κινδύνου	45
2.13 Σενάρια για διακοπή ρεύματος σε ολόκληρη περιοχή.....	45
2.14 Εκτίμηση απειλών από μια εργαστηριακή μελέτη.....	47
2.15 Έρευνα για μαγνητικές καταιγίδες από το έδαφος	48
2.16 Η κίνηση του μαγνητικού πόλου	51
2.17 Νέα έρευνα για την πρόβλεψη της εισόδου και των επιπτώσεων των ηλιακών καταιγίδων	52
2.18 Έρευνα επιστημών στη φάση ανάκαμψης γεωμαγνητικών καταιγίδων και ο λόγος μοντελοποίησης του συμβάν της καταιγίδας του Carrington	54
2.19 Υπολογισμός γεωμαγνητικών επαγόμενων ρευμάτων (GIC) σε ηλεκτρικά δίκτυα μεσαίου έως χαμηλού γεωγραφικού πλάτους με βάση τη μέθοδο κυματικού πλάνου: Μια προκαταρκτική μελέτη περιπτώσεων	60
2.19.1 Θεωρητική βάση υπολογισμού GIC.....	60
2.19.2 Θεωρία κυματικού πλάνου	60
2.19.3 Τύπος για διακριτοποίηση	60
2.19.4 Υπολογισμός ισοδύναμων πηγών τάσης	61
2.19.5 Υπολογισμός των γεωμαγνητικών προκαλούμενων ρευμάτων (GIC) στον πυρηνικό σταθμό Ling'ao και επικύρωση των αποτελεσμάτων	61
2.19.6 Υπολογισμός γεωηλεκτρικού πεδίου.....	63
2.19.7 Αποτελέσματα υπολογισμών GIC και επικύρωσή τους.....	64
2.19.8 Συμπέρασμα.....	67

2.20 Εργαστηριακή μελέτη σε μια γεωμαγνητική καταγίδα.....	68
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ70

3.1 Πιθανές λύσεις για τις απειλές των ηλεκτρομαγνητικών σφυγμών.....	70
---	----

3.2 Χρήση τρισδιάστατων μηχανισμών.....	70
---	----

3.3 Μεγάλα συστήματα ανίχνευσης για την αποφυγή των ηλιακών καταγίδων στην γη.....	71
--	----

3.4 Ευαισθητοποίηση και προετοιμασία.....	72
---	----

3.5 Οι επιπτώσεις της επιλογής κοινωνικών και οικονομικών αλλαγών στον κίνδυνο των γεωμαγνητικών καταγίδων	73
--	----

3.5.1 Τι κάνει ένα έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο (Smart Grid) ;.....	73
--	----

3.5.2 Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα και το έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο.....	73
--	----

3.5.3 Έξυπνα δίκτυα και ενέργεια.....	74
---------------------------------------	----

3.5.4 Μεγαλύτερη Διακρατική Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας	74
--	----

3.5.5 Τρεις συστάσεις για την διαχείριση των κινδύνων των γεωμαγνητικών καταγίδων ..	74
--	----

3.6 Πολιτική δράση και διεθνείς συνεργασίες για την ευαισθητοποίηση και την καταπολέμηση των διαστημικών καιρικών φαινομένων.....	76
---	----

3.6.1 Συστήματα προειδοποιήσεις τον ΗΠΑ.....	77
--	----

3.6.2 Διαστημικές κλίμακες NOAA για το διάστημα	79
---	----

3.6.3 Διεθνείς δράσεις για την αξιολόγηση και την διαχείριση των γεωμαγνητικών καταγίδων	82
--	----

3.6.4 Οι προσπάθειες προστασίας από γεωμαγνητικές καταγίδες στην Αμερική και την Ευρώπη με την βοήθεια άλλων χωρών	83
--	----

3.7 Οι Ευρωπαϊκές χώρες συνεργάζονται και ενώνουν τις δυνάμεις τους για τον διαστημικό καιρό....	85
--	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΜΑΤΑ87

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....89

Εικόνες

Εικόνα 1-0. Στην εικόνα φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο δομείται ένα απλό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας	12
Εικόνα 1-1. Ένα απλοποιημένο σχήμα για να κατανοήσουμε την δομή ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας	13
Εικόνα 1-2. Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε ένα σύστημα μεταφοράς υψηλής τάσης (Υ.Τ) 15	
Εικόνα 2-0. Στις παραπάνω εικόνες βλέπουμε τα μεγέθη/μέτρα και διευθύνσεις του βαρυτικού και μαγνητικού πεδίου της γης.....	17
Εικόνα2-1. Η παραπάνω εικόνα είναι ένα διάγραμμα που δείχνει τη διαφορά μεταξύ των γεωγραφικών, γεωμαγνητικών και πραγματικών μαγνητικών πόλων και ισημερινών	18
Εικόνα2-2 Στο σχήμα βλέπουμε το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο μακριά από την γη και το πώς επηρεάζεται από τον ηλιακό άνεμο.....	19
Εικόνα2-3. Στο διάγραμμα αυτό έχουμε την Ένταση $nT = f(\text{ώρες})$ και δείχνει την μεταβολή της έντασης του πεδίου κατά τη διάρκεια μιας τυπικής μαγνητικής καταιγίδας.....	20
Εικόνα2-4. Η παρακάτω φωτογραφία απεικονίζει πως δημιουργούνται οι γεωμαγνητικές καταιγίδες και πως καταλήγουν στην γη.....	22
Εικόνα2-5. Αύτη η φωτογραφία είναι από έναν ιαπωνικό δορυφόρο κοντά στον ήλιο	23
Εικόνα2-6. Ο ηλιακός άνεμος γίνεται μια σύνθετη σπείρα υψηλών και χαμηλών ταχυτήτων καθώς και υψηλών και χαμηλών πυκνοτήτων που μοιάζει με τη παραπάνω εικόνα. Στην εικόνα βλέπουμε τον λόγο για τον οποίο χρησιμοποιούμε αυτή τη μεταφορά που αναφέρθηκε στο πιο πάνω κείμενο	25
Εικόνα2-7. Στην συγκεκριμένη εικόνα απεικονίζεται η κίνηση του ηλιακού ανέμου και γενικά η μαγνητόσφαιρα της γης.....	26
Εικόνα 2-8. Το παραπάνω σχήμα δείχνει τα εύρη των ηλεκτρικών πεδίων και τις κατευθύνσεις σε όλες τις ΗΠΑ σε ένα μόνο χρονικό βήμα κατά τη διάρκεια μιας προσομοιωμένης θύελλας. Οι περιοχές που σκιάζονται στο σκοτεινό μώβ βιώνουν τα ισχυρότερα επίγεια ηλεκτρικά πεδία.	29
Εικόνα 2-9. Αυτός είναι ο μετασχηματιστής (500/22kV 1200MVA) που υπέστη θερμική ζημιά σε τύλιγμα χαμηλής τάσης.....	30
Εικόνα 2-10. Στην πρώτη εικόνα ο μετασχηματιστής υπέστη υπερθέρμανση του ηλεκτροδίου	31
Εικόνα 2-11. Στην δεύτερη εικόνα ο μετασχηματιστής έχει βλάβη υψηλής τάσης.....	31
Εικόνα 2-12. Κορυφή: Δείκτης Dst' και τοπικές διαταραχές καταγράφονται στα παρατηρητήρια του Hermanus, Kakioka, Honolulu για την καταιγίδα 13 Μαρτίου 1989. Δεν	

υπάρχουν δεδομένα από το μαγνητόμετρο San Juan. Κάτω: Δείκτης Dst' (γκρι) και τοπική μέγιστη τιμή (σκούρο μπλε) και ελάχιστη τιμή (γαλάζια) της διαταραχής i	35
Εικόνα 2-13. Ο χάρτης δείχνει τα αρχεία H κατά μήκος δύο κύριων γεωγραφικών μήκους: 300° και 10°. Τα προφίλ του στοιχείου H είναι σαφώς διαφορετικά σε διαφορετικές τοποθεσίες στις 29 Οκτωβρίου 2003	36
Εικόνα 2-14. Οι ζώνες του μαγνητικού γεωγραφικού πλάτους είναι χρωματικά κωδικοποιημένες από το πρότυπο του σχετικού κινδύνου από τις ακραίες γεωμαγνητικές θύελλες. Σκούρο και ανοιχτό μοβ αντιπροσωπεύουν περιοχές του υψηλότερου και χαμηλότερου κινδύνου, αντίστοιχα.....	39
Εικόνα 2-15. Σχετικός κίνδυνος από ισχυρές διακυμάνσεις του ηλεκτρικού πεδίου στις ΗΠΑ και τον Καναδά με βάση τα μοντέλα αγωγιμότητας εδάφους. Το κόκκινο και το μπλε αντιπροσωπεύουν τις υψηλότερες και χαμηλότερες περιοχές κινδύνου, αντίστοιχα.	40
Εικόνα 2-16. Στην εικόνα αυτή διακρίνουμε τα αποτελέσματα των μετασχηματιστών EHV σε μια συγκεκριμένη περιοχή του χάρτη όπου είχε πραγματοποιηθεί μια δυνατή γεωμαγνητική θύελλα. Ουσιαστικά τα πράσινα σημεία είναι λίγοι ή και κανένας, το κόκκινο και το πορτοκαλί είναι ότι πιθανό να έχουν καταστραφεί και το κίτρινο είναι αβέβαιο.....	42
Εικόνα 2-17. Έτσι καταλήξανε από τα δεδομένα και από τους υπολογισμούς να σχεδιάσουν μια πρόβλεψη για τη θέση του βόρειου μαγνητικού πόλου για το έτος 2000	48
Εικόνα 2-18. Το διαστημικό σκάφος Messenger όπου ελέγχει το μαγνητικό πεδίο του Ερμή και με αυτόν τον τρόπο λαμβάνουμε στην γη τις παρατηρήσεις για την πρόβλεψη των μαζικών εκτινάξεων από τον ήλιο	50
Εικόνα 2-19. Η υπολογιζόμενη τιμή LDi για τα γεγονότα του Σεπτεμβρίου 1859 στην ABG, Απρίλιος 1938 στο NGK, Μάρτιος 1989 στο BOX και Οκτώβριος 2003 στην THY. Κοιτώντας από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω	53
Εικόνα 2-20. Αποτελέσματα προσαρμογής που υπερκαλύφθηκαν στο LDi για τα αναλυθέντα συμβάντα (ABG, BOX, THY). Τα διαφορετικά χρώματα υποδεικνύουν διαφορετικά χρονικά διαστήματα στη διαδικασία εφαρμογής: Το αποτέλεσμα #1 (# 2) στον Πίνακα 3 αντιστοιχεί σε κόκκινη (μπλε) συμπαγή γραμμή.....	54
Εικόνα 2-21. Στα τρία διαγράμματα βλέπουμε τα γεωμαγνητικά προκαλούμενα ρεύματα (GIC) στο πυρηνικό εργοστάσιο Ling'ao και το γεωμαγνητικό οριζόντιο συστατικό και το χρονικό παράγωγο στο γεωμετρικό παρατηρητήριο Zhaoqing στις 9-10 Νοεμβρίου 2004.....	58
Εικόνα 2-22. Τοποθεσίες του πυρηνικού σταθμού Ling'ao και του γεωμετρικού παρατηρητηρίου Zhaoqing. Επίσης εμφανίζεται το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας 500 kV που συνδέεται με το Ling'ao	59
Εικόνα 2-23. Υπολογισμένο οριζόντιο ηλεκτρικό πεδίο της επιφάνειας της γης κατά τη διάρκεια της γεωμαγνητικής καταιγίδας στις 7-8 Νοεμβρίου 2004. Επίσης παρουσιάζονται τα γεωμαγνητικά οριζόντια στοιχεία στο γεωμετρικό παρατηρητήριο Zhaoqing.....	61

Εικόνα 2-24. Υπολογισμένο οριζόντιο ηλεκτρικό πεδίο της επιφάνειας της γης κατά τη διάρκεια της γεωμαγνητικής καταιγίδας στις 9-10 Νοεμβρίου 2004. Επίσης παρουσιάζονται τα γεωμαγνητικά οριζόντια στοιχεία στο γεωμετρικό παρατηρητήριο Zhaoqing.....	62
Εικόνα 2-25. Σύγκριση των μετρημένων και υπολογισμένων GIC στο πυρηνικό εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας Ling'ao. Οι καμπύλες ERR δείχνουν τις διαφορές μεταξύ των υπολογισθέντων και μετρημένων δεδομένων GIC για (α) 7-8 και (β) 9-10 Νοεμβρίου 2004 .	63
Εικόνα 2-26. Το παραπάνω γράφημα δείχνει αυτές τις αλλαγές κατά τη διάρκεια μιας 24ωρης περιόδου στις 24 Οκτωβρίου 2003.....	64
Εικόνα 3-0. Μια απεικόνιση του δορυφόρου DSCOVER στο διάστημα	74

Πίνακες

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. ΑΥΤΟΣ Ο ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΣΑΝΕ ΣΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΕΝ ΓΝΩΡΙΖΟΥΜΕ ΑΝ ΙΣΧΥΕΙ.	44
ΠΙΝΑΚΑΣ 2. ΈΧΟΥΜΕ ΤΟΝ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΠΙΝΑΚΑ ΚΑΙ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΙ Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΣΕ ΚΑΘΕ ΧΡΟΝΟ (ΔΗΛΑΔΗ ΑΠΟ ΤΟ 1831 ΜΕΧΡΙ 1994 ΓΙΑ ΝΑ ΒΡΟΥΜΕ ΤΟΥ 2000).....	47
ΠΙΝΑΚΑΣ 3. (ΤΩΝ TSURUTANI). ΑΥΤΟΣ Ο ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΙ ΑΡΚΕΤΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΤΗΣ ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΣΥΜΒΑΝΤΑ. ΕΠΙΣΗΣ, ΤΑ # 1 ΚΑΙ # 2 ΠΟΥ ΒΛΕΠΟΥΜΕ ΣΤΟΝ ΠΙΝΑΚΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΙΔΙΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΣ ΥΠΟΨΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ.....	55
ΠΙΝΑΚΑΣ 4. ΒΛΕΠΟΥΜΕ ΤΙΣ ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΤΩΝ ΓΕΩΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΙΓΙΔΩΝ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΣΕΙ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ Η ΛΕΓΟΜΕΝΗ ΕΘΝΙΚΗ ΩΚΕΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ (ΝΟΑΑ)	76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

1.1 Ποια είναι τα φυσικά φαινόμενα και με ποία θα ασχοληθούμε;

Τα φυσικά φαινόμενα που μπορούν να επηρεάσουν το ηλεκτρικό μας δίκτυο είναι κατά κύριο λόγο οι σεισμοί, οι πλημμύρες, οι γεωμαγνητικές και ηλιακές καταιγίδες. Εμείς θα ασχοληθούμε και θα αναλύσουμε σε βάθος τις επιπτώσεις που έχουν στο ηλεκτρικό δίκτυο οι γεωμαγνητικές και οι ηλιακές καταιγίδες.

1.2 Τι είναι τα ηλεκτρικά δίκτυα;

Ηλεκτρικό δίκτυο ονομάζεται ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο με σκοπό τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας από τους παραγωγούς στους καταναλωτές.

1.3 Η ιστορία του ηλεκτρικού ρεύματος στην Ελλάδα

Το 1889 ήρθε στην χώρα μας ο ηλεκτρισμός και έτσι ξεκίνησαν την κατασκευή της πρώτης μονάδας παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στην Αθήνα. Κατά τη διάρκεια της πρώτης δεκαετίας ιδρύθηκε η Ελληνική Ηλεκτρική Εταιρεία με την βοήθεια της αμερικανικής εταιρίας Thomson-Houston και σε συνεργασία με την Εθνική Τράπεζα.

Το 1950 ιδρύθηκαν περίπου 400 εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες χρησιμοποιούσαν ως πρώτες ύλες το πετρέλαιο και τον γαιάνθρακα, υλικά τα οποία τα εισήγαγαν από το εξωτερικό. Η δυσκολία σε αυτό το εγχείρημα ήταν η διαδικασία της εξάπλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας, με ομοιόμορφο τρόπο, σε όλη την Ελλάδα. Συνεπώς ήταν απαραίτητο να ικανοποιούνται οι εξής προϋποθέσεις : πρώτον να γίνει αξιοποίηση των εγχώριων πλουτοπαραγωγικών πόρων, οι οποίες απαιτούσαν μεγάλα χρηματικά ποσά. Η ενοποίηση της παραγωγής σε ένα διασυνδεδεμένο δίκτυο ήταν απαραίτητη. Τέλος η ύπαρξη ενός ενιαίου φορέα ήταν αναγκαία ώστε να αναλάβει το κόστος τόσο στις κερδοφόρες όσο και στις λιγότερο κερδοφόρες περιοχές.

Έτσι, προκειμένου να λειτουργήσουν οι παραπάνω προϋποθέσεις δημιουργήθηκε η Δημόσια Επιχείρηση Ηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Ιδρύθηκε τον Αύγουστο του 1950 και είχε ως σκοπό να λειτουργήσει προκειμένου να προσφέρει σε κάθε καταναλωτή το ηλεκτρικό ρεύμα σε όσο το δυνατόν χαμηλότερο κόστος. Στην συνέχεια η ΔΕΗ επιδίωξε την αξιοποίηση των εγχώριων πηγών ενέργειας και το 1951 εξόρυξε λιγνίτη ως καύσιμη ύλη για ορισμένες μονάδες της, ενώ την ίδια περίοδο ξεκίνησε και η σταδιακή ενοποίηση των δικτύων μεταφοράς. Τέλος το 1956 έγινε εφικτή η ύπαρξη ενός ενιαίου φορέα διαχείρισης με τη βοήθεια της εξαγοράς όλων των ιδιωτικών και δημοτικών επιχειρήσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τη ΔΕΗ. Το ηλεκτρικό ρεύμα συμβάλει σε μεγάλο βαθμό στην ικανοποίηση των αναγκών των καταναλωτών και αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής των Ελλήνων, με την βοήθεια της ΔΕΗ αν είναι ιδιαίτερα σημαντική στο έργο του εξηλεκτισμού της χώρας.

1.4 Ιστορική εξέλιξη των ηλεκτρικών δικτύων

Οι δράσεις αναβάθμισης των Συστημάτων Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΣΜΗΕ) ξεκίνησαν το 1954 με την υποθαλάσσια διασύνδεση Συνεχούς Ρεύματος (ΣΡ) του νησιού Gotland και τη χρήση μετατροπέων Εναλλασσόμενου Ρεύματος (ΕΡ)/(ΣΡ) με βαλβίδες υδραργύρου. Παρόμοια και μεγαλύτερου μεγέθους έργα ακολούθησαν, όπως η διασύνδεση της Σαρδηνίας (1967), η μεγάλης απόστασης διασύνδεση του Ειρηνικού (1970) και η διασύνδεση Nelson River (1973), που αξιοποιούσαν τα πλεονεκτήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με ΣΡ σε μεγάλες επίγειες αποστάσεις ή υποθαλάσσιες διασυνδέσεις. Η επόμενη σημαντική εξέλιξη έγινε το 1972, με την αντικατάσταση των βαλβίδων υδραργύρου με βαλβίδες θυρίστορ, στην ασύγχρονη διασύνδεση μεταξύ Quebec και New Brunswick. Στα επόμενα περίπου 25 χρόνια κυριάρχησαν οι μετατροπείς φυσικής μεταγωγής με βαλβίδες θυρίστορ. Παράλληλα είχαμε μία θεαματική ανάπτυξη των διακοπτικών στοιχείων ισχύος στερεάς κατάστασης, τόσο στην αύξηση δυνατοτήτων χειρισμού μεγαλύτερων ισχύων, όσο και στον έλεγχο του χρόνου σβέσης τους και μάλιστα με έλεγχο τάσης. Η ευρεία αξιοποίησή τους μείωσε το κόστος τους και αναπτύχθηκε πλήθος ελεγκτών με στόχο τον έλεγχο ροής άεργου και πραγματικής ισχύος στα συστήματα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Με τη χρήση αυτών των ελεγκτών αυξήθηκε η μεταφορική ικανότητα των ΣΜΗΕ και η ενσωμάτωσή τους σε αυτά οδήγησε, γύρω στο 1986, στα εξελιγμένα ΣΜΗΕ, που ονομάστηκαν Ευέλικτα Συστήματα Μεταφοράς ΕΡ. Η τεχνολογία που αξιοποιούν βασίζεται στη χρήση αξιόπιστων, μεγάλης ταχύτητας διακοπών ισχύος στερεάς κατάστασης, προχωρημένης θεωρίας ελέγχου, σύγχρονους επεξεργαστές και οπτικές ίνες για αποστολή και λήψη σημάτων σε επίπεδο υψηλών τάσεων. Τη δεκαετία του 1980 και εντατικότερα την τελευταία εικοσαετία ευρεία εφαρμογή των ηλεκτρονικών ισχύος έχουμε στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Τα φωτοβολταϊκά συστήματα και τα κύτταρα καυσίμου απαιτούν μετατροπή από ΣΡ σε ΕΡ. Στις ανεμογεννήτριες για καλύτερη εκμετάλλευση του αιολικού δυναμικού απαιτείται η λειτουργία σε μεταβλητές στροφές, όπως και στους μικρούς υδροστρόβιλους. Σε αυτές τις εφαρμογές χρησιμοποιούνται μετατροπείς για τη μετατροπή της μεταβαλλόμενης συχνότητας ΕΡ στη συχνότητα του δικτύου.

Αυτή η χρήση των ηλεκτρονικών ισχύος αναβάθμισε τεχνολογικά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ και μαζί με τις κρατικές επιχορηγήσεις ώθησαν στη ραγδαία ανάπτυξη αυτών με αποτέλεσμα την ενίσχυση της τάσης παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε τοπικό επίπεδο με σύνδεση στο δίκτυο διανομής. Αυτή ορίζεται ως κατανεμημένη ή Διεσπαρμένη Παραγωγή (Distributed or Dispersed Generation (DG)) και μετέτρεψε το παθητικό και μίας κατεύθυνσης ισχύος δίκτυο διανομής σε ενεργητικό και διπλής κατεύθυνσης ισχύος δίκτυο. Στα ενεργά δίκτυα διανομής απαιτείται η ενσωμάτωση ευέλικτων και ευφών συστημάτων ελέγχου, καθώς και της τεχνολογίας των δικτύων του μέλλοντος (μικρό δίκτυα) ή έξυπνα δίκτυα για να αποκτήσουμε ποιοτική ηλεκτρική ενέργεια από τις ανανεώσιμες πηγές. Το 1991 καθιερώθηκε η ιδέα εφαρμογής αντίστοιχων ηλεκτρονικών ελεγκτών στα συστήματα διανομής, με σκοπό την αύξηση της αξιοπιστίας τους και τη βελτίωση της ποιότητας της τροφοδοτούμενης ισχύος. Χρησιμοποιήθηκε ο όρος Ισχύς Καταναλωτών ή Ποιότητα Ισχύος (Custom Power (CP) or Power Quality (PQ)) για να περιγράψει την αυξημένης αξίας ισχύ, που

θα παρέχουν οι ηλεκτρικές εταιρείες στους καταναλωτές τους στο μέλλον, δηλαδή ισχύ με λιγότερες διακοπές και διακυμάνσεις. Το 2000 εισήχθη από το συγγραφέα αυτού του βιβλίου η έννοια του Ευέλικτου Συστήματος Διανομής (Flexible Distribution System (FDS)) για να περιγράψει τα συστήματα διανομής που χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικούς ελεγκτές καθιστούν τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας πιο αξιόπιστη, περισσότερο ελέγξιμη και πιο αποδοτική. Τέλος, καθοριστική είναι η συνεισφορά των ηλεκτρονικών ισχύος στην ανάπτυξη των συσκευών αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας. Πρόκειται για συσκευές που αναπτύχθηκαν την τελευταία δεκαετία με αποθηκευτική ικανότητα μερικών δεκάδων MJ που μπορούν για μερικές εκατοντάδες ms να τροφοδοτήσουν φορτία ισχύος μερικών MW.

1.5 Βασικές λειτουργίες του ηλεκτρικού δικτύου και πηγές ενέργειας

Η ανθρωπότητα δαπανά καθημερινά για τις διάφορες δραστηριότητες τεράστια ποσά ενέργειας. Στις μέρες μας οι κύριες πηγές ενέργειας είναι τα λεγόμενα συμβατικά ορυκτά καύσιμα, όπως ο άνθρακας, το πετρέλαιο, και το φυσικό αέριο, καθώς επίσης και η ενέργεια των υδάτων.

Η θερμογόνος δύναμη είναι ένα χαρακτηριστικό μέγεθος των καυσίμων. Θερμογόνο δύναμη στερεού καυσίμου ορίζουμε την ποσότητα της ελκυσόμενης θερμότητας σε Kcal ή KJ κατά την καύση ή την αντίδραση του ανά Kg μάζας ή ανά m³. Τα αέρια καύσιμα, απορροφούνται από υπόγεια στρώματα τα οποία συναντώνται είτε μονά, είτε θύλακες που βρίσκονται υπεράνω του αργού πετρελαίου. Τα υγρά ορυκτά καύσιμα, προέρχονται από την διύλιση του αργού πετρελαίου, το οποίο εξορύσσεται από το υπέδαφος. Επίσης γνωρίζουμε ότι η ενέργεια των ορυκτών καυσίμων είναι χημική ενέργεια, η οποία αρχικά μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια (δημιουργία ατμού) και μετά μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια, όπου και χρησιμοποιείται για την κίνηση της ηλεκτρικής γεννήτριας.

Κύρια πηγή ενέργειας θεωρείται επίσης η ενέργεια υδάτων, η οποία οφείλεται στη γήινη βαρύτητα. Η βαρύτητα βοηθάει στο να ρέουν ομαλά στο έδαφος, είτε να πέφτουν απότομα σε θέσεις μεγάλων υψομετρικών διαφορών του εδάφους. Η ενέργεια των υδάτων, θεωρείται μηχανική ενέργεια. Έτσι η κινητική ενέργεια των υδάτων μεταπλάθεται σε περιστροφική κίνηση για την συνεχή κίνηση της ηλεκτρικής γεννήτριας.

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας τις τελευταίες δεκαετίες χρησιμοποιείται αρκετά η πυρηνική ενέργεια. Ένα πυρηνικό καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι το ουράνιο, το οποίο βρίσκεται σχετικά σε αφθονία στη φύση ως ορυκτό.

Τα συμβατικά καύσιμα βρίσκονται στο υπέδαφος και γι' αυτό το λόγο τα ενεργειακά αποθέματα δεν είναι σε καμία περίπτωση απεριόριστα. Έτσι η πρόοδος είναι το ξεκίνημα της εκμετάλλευσης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας (ΑΠΕ), όπως της αιολικής, της ηλιακής, της παλιρροϊκής και της γεωθερμικής ενέργειας. Η πρόοδος αυτή έκανε την εμφάνιση της διότι η συνεχώς αυξανόμενη εκμετάλλευση των συμβατικών καυσίμων, για την κάλυψη των μεγάλων ενεργειακών αναγκών, θα οδηγούσε στην εξάντληση τους για το άμεσο μέλλον.

1.6 Κατηγορίες καταναλωτών

Οι καταναλωτές χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το σκοπό που χρησιμοποιείται η ηλεκτρική ενέργεια. Οι κατηγορίες είναι οι ακόλουθες:

- Οικιακοί καταναλωτές
- Βιομηχανικοί καταναλωτές
- Εμπορικοί καταναλωτές

Για κάθε μια από τις κατηγορίες αυτές υπάρχει η καμπύλη που δείχνει τη μεταβολή της ζητούμενης ηλεκτρικής ενέργειας για όλο το 24ώρο, (ή ημερήσια καμπύλη φορτίου) η οποία παρουσιάζει σχετική ομοιομορφία. Η εγκατεστημένη ισχύς του συστήματος πρέπει να καλύπτει τη στιγμιαία ισχύ της κατανάλωσης. Έτσι πάντα η μέγιστη ζήτηση ενός καταναλωτή είναι μικρότερη από την εγκατεστημένη ισχύ του.

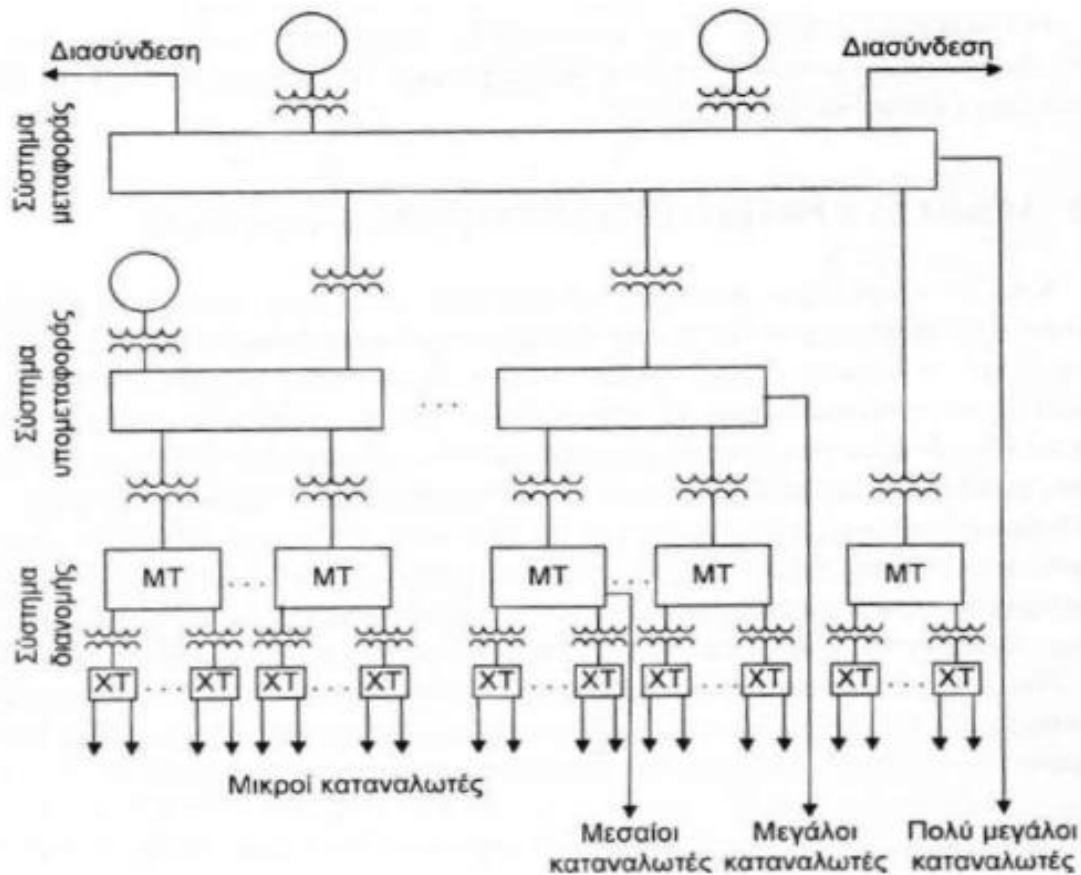
1.7 Δομή

Η ηλεκτρική ενέργεια θεωρείται η πιο καθαρή και φιλική μορφή ενέργειας προς το περιβάλλον. Η δυνατότητα μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας με εξαιρετικά υψηλές τάσεις, είναι λογικό να έχει την γεωγραφική ανεξάρτηση των κέντρων παραγωγής από τα κέντρα κατανάλωσης της ηλεκτρικής ενέργειας. Έχουμε σταθμούς μεγάλης ισχύος και μεγάλα δίκτυα μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας με γραμμές υψηλής και πολύ υψηλής τάσης. Ακόμα και το μικρότερο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ένα δίκτυο με αρκετά μεγάλη πολυπλοκότητα. Όμως το μέγεθος ενός δικτύου καθορίζει την δομή του. Αυτό σημαίνει ότι είναι διαφορετική η δομή ενός μεγάλου συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας που εξυπηρετεί μια εκτεταμένη γεωγραφική περιοχή καθώς και η δομή ενός μικρού συστήματος που εξυπηρετεί μια μικρή περιοχή.

Για τον τρόπο δόμησης ενός συστήματος δεν υπάρχουν γενικοί κανόνες που να εφαρμόζονται σε όλα τα συστήματα, αυτό σημαίνει ότι το κάθε σύστημα δομείται ανάλογα με τις ιδιαιτερότητες του. Όμως η ομοιότητα η οποία έχουν όλα τα συστήματα είναι ότι εργάζονται σε διάφορα επίπεδα τάσης που χωρίζονται μεταξύ τους με μετασχηματιστές.

Τα σύγχρονα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας, μπορούν να διαχωριστούν στα εξής τμήματα :

1. Στους σταθμούς / κέντρα παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας.
2. Στα δίκτυα μεταφοράς, τα οποία συνδέουν τους σταθμούς παραγωγής μεταξύ τους αλλά και μεταφέρουν την ηλεκτρική ενέργεια σε μεγάλες αποστάσεις και ποσότητες στα κέντρα κατανάλωσης.
3. Στα δίκτυα διανομής, τα οποία διανέμουν την ηλεκτρική ενέργεια στους καταναλωτές μέσης και χαμηλής τάσης.

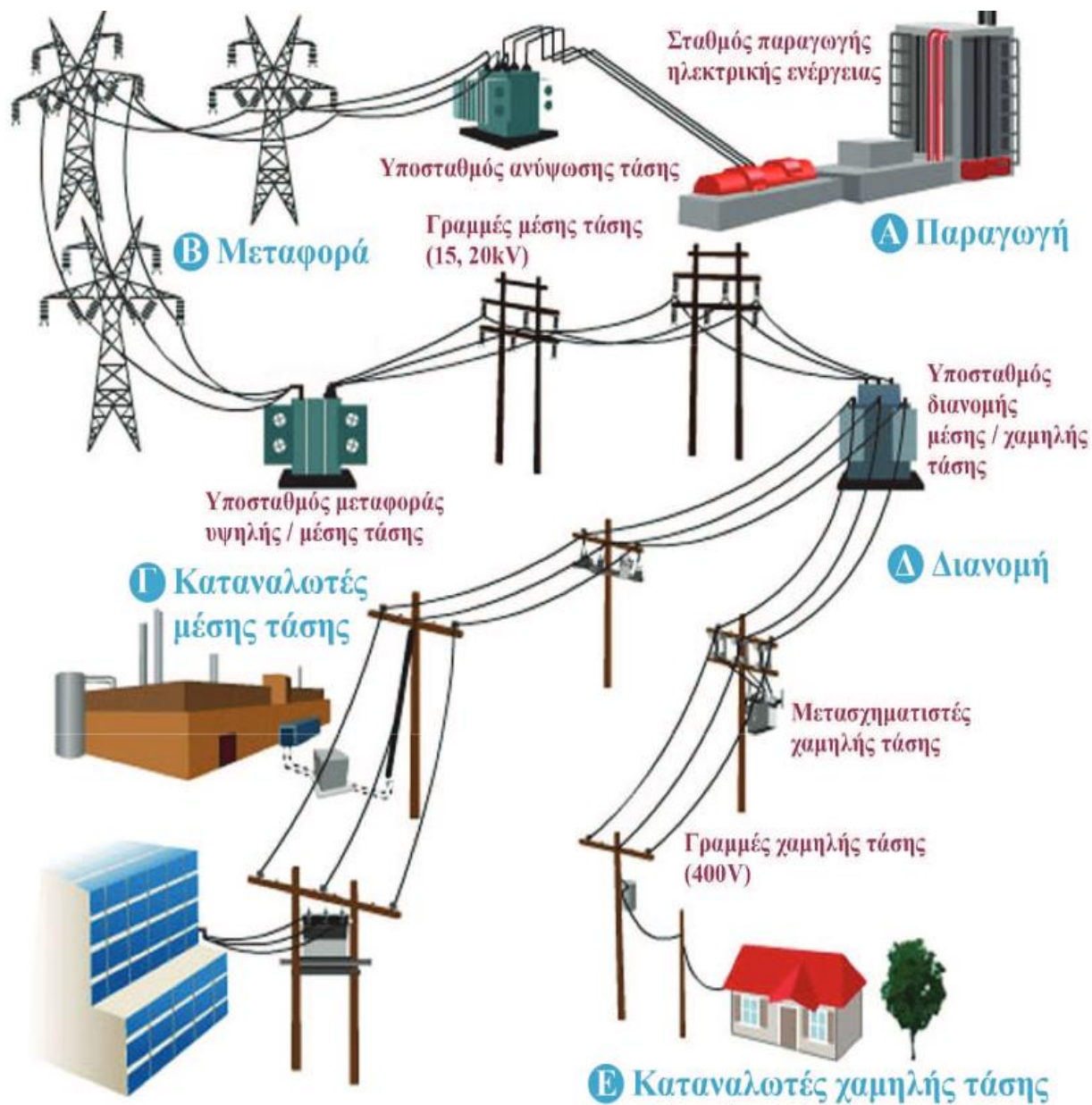


Εικόνα 1-0. Στην εικόνα φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο δομείται ένα απλό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας

Ανάλογα με τη μέγιστη απορροφημένη ισχύ, από το σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας γίνεται η τροφοδοσία των καταναλωτών. Τους καταναλωτές (για το ελληνικό σύστημα της ΔΕΗ) μπορούμε να τους διακρίνουμε σε τρεις κατηγορίες:

1. Καταναλωτές υψηλής τάσης (Υ.Τ) στα 150KV, για ισχύς $\geq 10\text{MW}$
2. Καταναλωτές μέσης τάσης (Μ.Τ) στα 20KV, για ισχύς $\geq 200\text{KW}$
3. Καταναλωτές χαμηλής τάσης (Χ.Τ) στα 230/400V, για ισχύς $\leq 200\text{KW}$

Βέβαια υπάρχουν και καταναλωτές υψηλής τάσης, κυρίως βιομηχανικές μονάδες μεγάλης ισχύος, οι οποίες τροφοδοτούνται απευθείας από τα δίκτυα υπό μεταφοράς (150KV, 66KV), μέσω κατάλληλων υποσταθμών. Το δίκτυο διανομής συνδέει τα δίκτυα μεταφοράς και τα κέντρα κατανάλωσης μέσης (22KV) και χαμηλής τάσης (230/400 V) και περιλαμβάνει όλα τα δίκτυα διανομής Μ.Τ και Χ.Τ μαζί με τους υποσταθμούς.



Εικόνα 1-1. Ένα απλοποιημένο σχήμα για να κατανοήσουμε την δομή ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας

1.8 Συστήματα παραγωγής ΣΗΕ

Ανάλογα με το είδος των φυσικών πηγών που διαθέτει μια χώρα, καθορίζεται το είδος των σταθμών παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας. Για παράδειγμα, από την αρχή η Ελλάδα εκμεταλλεύθηκε τα πλούσια αποθέματα σε λιγνίτη που φέρει το υπέδαφος της και για την ακρίβεια μέχρι και σήμερα το 40 με 50 % της συνολικής παραγόμενης ηλεκτρικής ενέργειας προέρχεται από λιγνιτικές μονάδες. Ένα ποσοστό της τάξεως του 20 με 30 % προέρχεται από υδροηλεκτρικές μονάδες και ένα ποσοστό 10 με 15 % από μονάδες φυσικού αερίου. Στα νησιά

της χώρας μας τα δίκτυα έχουν αυτόνομα συστήματα λειτουργίας και παράγουν την ηλεκτρική ενέργεια κατά κύριο λόγο μέσω πετρελαϊκών μονάδων.

Αν εμβαθύνουμε περισσότερο στα συστήματα παραγωγής πρέπει να κατανοήσουμε ότι ανάλογα με την αρχική διαθέσιμη μορφή ενέργειας που έχουμε, για την μετατροπή της σε ηλεκτρική ενέργεια χρησιμοποιούνται κάποιες μηχανές η οποίες είναι διαφέρουν ανάλογα με την μορφή ενέργειας που κατέχουμε. Οι κύριοι τύποι μονάδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής :

1. Θερμοηλεκτρικές μονάδες (θερμικές μηχανές),
 - Ατμοηλεκτρικοί
 - Πυρηνικοί (ουράνιο)
 - Ντηζελοηλεκτρικοί
 - Αεροστρόβιλοι
2. Υδροηλεκτρικοί
 - Υδατοπτώσεων
 - Αντλητικοί
 - Υδάτινου ρεύματος
3. Ανεμογεννήτριες
4. Φωτοβολταϊκά

1.9 Συστήματα διανομής

Αρχικά θα αναλύσουμε τα συστήματα διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας.

Με τον όρο διανομή ορίζουμε το σύνολο της υλικοτεχνικής υποδομής, όπως υποσταθμοί, δίκτυα διανομής, διατάξεις διακοπής, ελέγχου και προστασίας, μέσω της οποίας η ηλεκτρική ενέργεια κατανέμεται στα κέντρα κατανάλωσης μέσης και χαμηλής τάσης. Ουσιαστικά τα δίκτυα διανομής λαμβάνουν την ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται μέσω των δικτύων μεταφοράς από τα κέντρα παραγωγής και τροφοδοτούν τις καταναλώσεις μέσης και χαμηλής τάσης. Τα δίκτυα διανομής, ανάλογα με το μέγεθος της τάσης τροφοδοσίας τους, διακρίνονται σε :

- Δίκτυα διανομής μέσης τάσης (6.6KV) και
- Σε δίκτυα διανομής χαμηλής τάσης (22KV)

Η πυκνότητα των φορτίων, η δόμηση αλλά και το είδος των περιοχών κατανάλωσης καθορίζουν τον τύπο των δικτύων μέσης τάσης, δηλαδή αν είναι υπόγεια ή εναέρια. Επίσης έχουν συνήθως βροχοειδή δομή. Σε περιοχές που έχουν μεγάλης πυκνότητας φορτίου, όπως Αθήνα, Θεσσαλονίκη, τα δίκτυα μέσης τάσης είναι υπόγεια ενώ στις υπόλοιπες περιοχές είναι εναέρια. Αντίθετα, τα δίκτυα χαμηλής τάσης έχουν ακτινική δομή και στις περιοχές μεγάλης πυκνότητας είναι υπόγεια όπως και τα δίκτυα μέσης τάσης.

Τα συστήματα διανομής είναι μια ιδιαίτερη περίπτωση διότι σε κάθε χώρα, ακόμα και μεταξύ διαφορετικών πόλεων της ίδιας χώρας, διακρίνουμε τεράστιες διαφορές. Αυτό οφείλεται στο ότι συνδέονται άμεσα με τα ιδιαίτερα στοιχεία δόμησης, τις ιδιομορφίες των πόλεων, την πυκνότητα και γενικότερα με τον τρόπο διαμόρφωσης της κάθε χώρας.

1.9.1 Συστήματα μεταφοράς

Στην συνέχεια, θα μιλήσουμε για τα συστήματα μεταφοράς τα οποία συνδέουν όλους τους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας καθώς και τα διαφορετικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας με τα οποία είναι συνδεδεμένα και με τη βοήθεια του κατάλληλου εξοπλισμού μπορεί να διαχειρίζεται μεγάλα ποσά ισχύος. Ουσιαστικά μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια σε τεράστιες ποσότητες, σε πολύ υψηλή τάση και σε μεγάλες αποστάσεις προς τα κέντρα κατανάλωσης. Επίσης, αναγκαστικά στα δίκτυα μεταφοράς έχουν επιβάλλει τη βροχοειδή διάταξη γιατί, σε αντίθεση με την ακτινική, η βροχοειδής δομή εξασφαλίζει περισσότερους συνδυασμούς διαδρομών της ηλεκτρικής ενέργειας και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αποδοτικότερη εξυπηρέτηση του φορτίου αλλά και την καλύτερη διαχείριση τους.

Ένα υποσύστημα των δικτύων μεταφοράς αποτελούν τα δίκτυα υπό μεταφοράς. Ο ρόλος των συστημάτων υπό μεταφοράς είναι ο ίδιος με εκείνον των συστημάτων μεταφοράς με τη διαφορά ότι μεταφέρουν μικρότερα ποσά ενέργειας, σε μικρότερες αποστάσεις και σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών υψηλής τάσης.



Εικόνα 1-2. Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε ένα σύστημα μεταφοράς υψηλής τάσης (Υ.Τ)

1.10 Επισκόπηση των φορτίων

Η ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να παράγεται τη στιγμή που υπάρχει ζήτηση διότι δεν συμφέρει και δεν είναι αποδοτική η αποθήκευση της σε μεγάλες ποσότητες και για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Έτσι η εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών παραγωγής του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σε συνεργασία με άλλα συστήματα πρέπει να βρίσκονται σε θέση να καλύψουν τις ενεργειακές απαιτήσεις του φορτίου.

Την κατανάλωση (ζήτηση) σε ηλεκτρική ενέργεια εκφράζει το φορτίο και θεωρείται μεταβαλλόμενο μέγεθος γιατί διαφέρει από καταναλωτή σε καταναλωτή. Το φορτίο ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε χρονική στιγμή προέρχεται από το άθροισμα των φορτίων όλων των επιμέρους καταναλώσεων που λειτουργούν εκείνη τη χρονική στιγμή. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε το μέγεθος και η χρονική διακύμανση του φορτίου εξαρτάται άμεσα

από το είδος των καταναλωτών, μέσα στο 24ωρο, την ημέρα, την εποχή και τις καιρικές συνθήκες. Επίσης έχουμε μια καμπύλη που δείχνει τη μεταβολή της ισχύς σε συνάρτηση με τον χρόνο η οποία ονομάζεται χρονολογική καμπύλη φορτίου. Η χρονολογική καμπύλη φορτίου είναι δυναμικό μέγεθος και η εξέλιξη της στο χρόνο αποτελείται άμεσα με την δομή, τη σύνθεση και βέβαια με το μέγεθος του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα πρέπει να πραγματοποιείται μελέτη και έρευνα πάνω στις χρονολογικές καμπύλες των φορτίων, των επιμέρους ομάδων καταναλωτών καθώς και του συνολικού φορτίου για την πιο ασφαλή, οικονομική και αποδοτική λειτουργία.

Η σωστή κατανομή της παραγωγής της ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των διαφόρων σταθμών παραγωγής επιβάλλει ότι οι σταθμοί παραγωγής που παρουσιάζουν μικρές τις σταθερές δαπάνες και αυξημένες τις μεταβλητές να καλύπτουν τα φορτία, ενώ η βάση του φορτίου να εξυπηρετείται από τους σταθμούς παραγωγής που εμφανίζουν αυξημένες τις σταθερές δαπάνες και μειωμένες τις μεταβλητές δαπάνες.

1.11 Προστασία και ποιότητα εξυπηρέτησης

Ένα σύστημα προστασίας ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία, καταρρίπτοντας τυχόν εσωτερική και εξωτερική διαταραχή, όπως για παράδειγμα βραχυκύκλωμα, υπερτάσεις σε σύντομο χρονικό διάστημα. Συχνά σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας προκαλείται βραχυκύκλωμα, έτσι με τους αυτόματους διακόπτες προστατεύεται το σύστημα μας με την γρήγορη απομόνωση των τμημάτων του δικτύου που έχουν υποστεί το βραχυκύκλωμα. Ουσιαστικά το σύστημα προστασίας ενεργοποιείται αυτόματα κατά την έναρξη του σφάλματος και δίνει άμεσα εντολή ανοίγματος στους πιο κοντινούς διακόπτες ισχύος, έτσι ώστε να απομονωθεί το βραχυκυκλωμένο τμήμα του δικτύου από το υπόλοιπο σύστημα. Στην συνέχεια, εφόσον έχει αποκατασταθεί το σφάλμα δίνει αυτόματα εντολή να κλείσουν οι διακόπτες ισχύος, έτσι ώστε να συνεχιστεί η ομαλή λειτουργία του συστήματος.

Εκτός από τις προστασίες των βραχυκυκλωμάτων οι επιμέρους συνιστώσες του συστήματος έχουν και επιπλέον προστασίες όπως για παράδειγμα για υπερτάσεις, υπερθερμάνσεις, ασυμμετρία τάσεων, υποσυχνότητας, υπερεντάσεις κ.α..

Για την καλή λειτουργία ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να τηρούνται κάποιοι κανονισμοί ηλεκτρικών εγκαταστάσεων οι οποίοι τηρούνται και σε διεθνές επίπεδο. Οι κανονισμοί αυτοί θέτουν κάποια όρια. Ως καλή λειτουργία εννοούμε την παροχή προς κατανάλωση με τάση τροφοδότησης που κυμαίνεται στα συμβατικά όρια. Η ποιότητα εξυπηρέτησης χαρακτηρίζεται από τους παρακάτω παράγοντες :

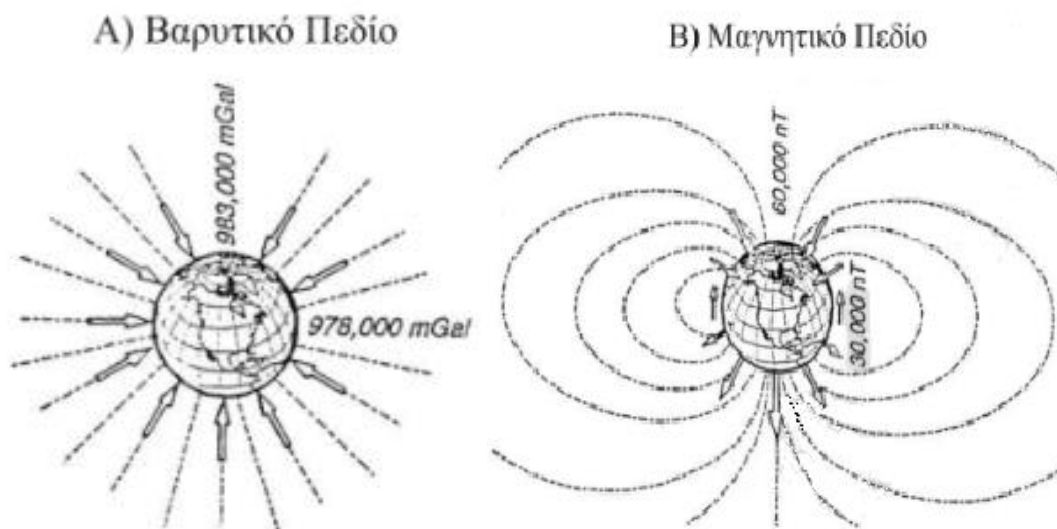
- Τη συνέχεια της παροχής της ηλεκτρικής ενέργειας
- Τη σταθερότητα του μεγέθους της τάσης τροφοδότησης
- Τη σταθερότητα της συχνότητας της τάσης τροφοδότησης
- Την καθαρότητα της κυματομορφής της τάσης από άποψη αρμονικών
- Την απόκλιση από το καθαρά συμμετρικό τριφασικό σύστημα τάσεων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΓΕΩΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΚΑΤΑΓΙΔΕΣ

2.1 Το μαγνητικό πεδίο της γης

Το μαγνητικό πεδίο που παρατηρείται στην επιφάνεια της γης μεταβάλλεται σημαντικά ως προς την διεύθυνση και την ένταση. Η διεύθυνση του μαγνητικού πεδίου αλλάζει από σχεδόν οριζόντια στον ισημερινό μέχρι κατακόρυφα στους πόλους, αντίθετα η διεύθυνση του πεδίου βαρύτητας είναι σχεδόν κάθετη προς την γη. Η μεταβολή στην ένταση του μαγνητικού πεδίου είναι περίπου 30.000 nT στον ισημερινό και 60.000 nT στους πόλους.



Εικόνα 2-0. Στις παραπάνω εικόνες βλέπουμε τα μεγέθη/μέτρα και διευθύνσεις του βαρυτικού και μαγνητικού πεδίου της γης.

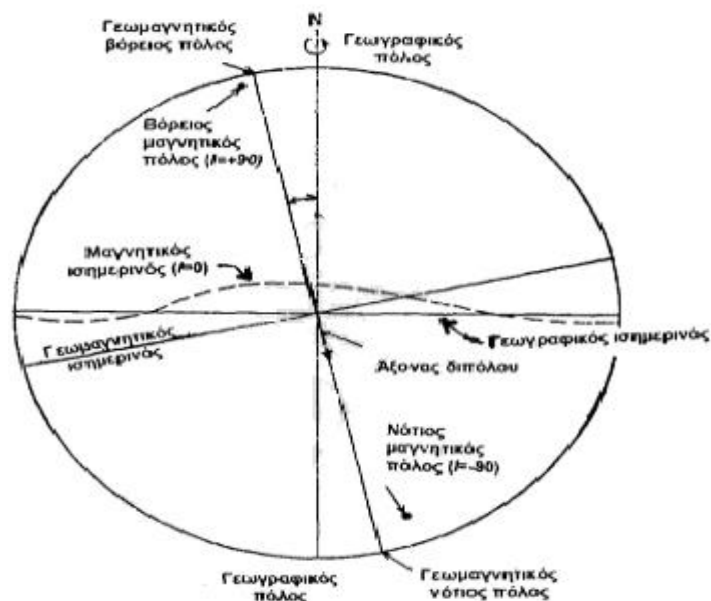
- A. Το βαρυτικό πεδίο είναι κατακόρυφο με μια μικρή μεταβολή στο μέγεθος από τον ισημερινό προς τους πόλους.
- B. Το μαγνητικό πεδίο φαίνεται ότι έχει ισχυρές αποκλίσεις τόσο στο μέγεθος όσο και στη διεύθυνση.

Ένας επιστήμονας ο William Gilbert, παρουσίασε πρώτος κάποιες ενδείξεις αποδεδειγμένες για την εσωτερική προέλευση του γήινου μαγνητικού πεδίου. Ο Carl Gauss επίσης το 1838 δημοσίευσε μια μαθηματική απόδειξη με την οποία αποδίδει την δημιουργία του 95% του πεδίου σε εσωτερικές πηγές και το 5% έχει προέλευση από εξωτερικές διαδικασίες. Οπότε μπορούμε να διαχωρίσουμε το γήινο μαγνητικό πεδίο σε τρία μέρη:

- Το κύριο μαγνητικό πεδίο, το οποίο δημιουργεί τις μεταβολές της έντασης του πεδίου και της διευθύνσεις του και το οποίο παράγεται στον πυρήνα της γης.
- Το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο, το οποίο παράγεται από ηλεκτρικά ρεύματα της ιονόσφαιρας, που αποτελείται από ιονισμένα σωματίδια λόγω της επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας και τα οποία κινούνται από τη δύναμη της ηλιακής θύελλας. Εμείς θα ασχοληθούμε κυρίως με το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο.
- Το ανώμαλο μαγνητικό πεδίο, το οποίο παράγεται από σιδηρομαγνητικά ορυκτά που βρίσκονται στον φλοιό της γης.

2.1.1 Το κύριο μαγνητικό πεδίο

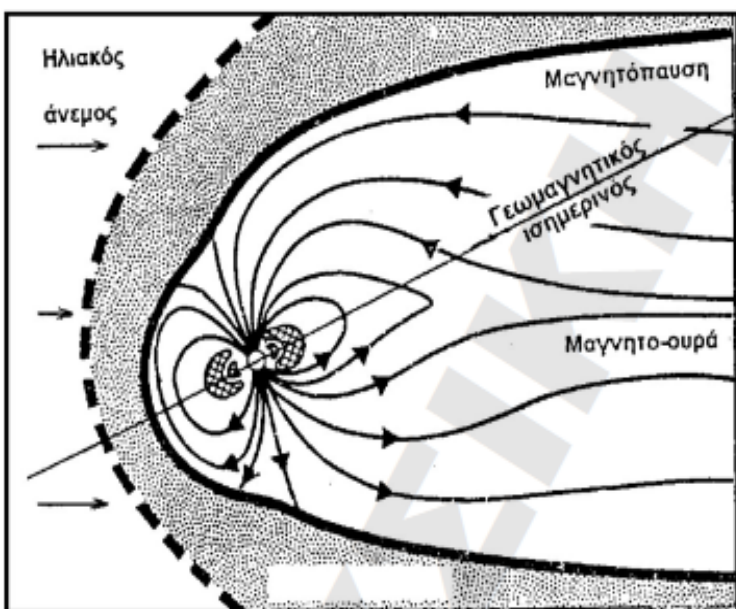
Το κύριο μαγνητικό πεδίο της γης μπορούμε να πούμε ότι οφείλεται σε ένα μεγάλο ραβδόμορφο μαγνήτη που έχει τοποθετηθεί στο κέντρο της γης και ο οποίος ονομάζεται κεντρικό γεωμαγνητικό δίπολο. Ο μεγάλος άξονας του μαγνήτη λέγεται γεωμαγνητικός άξονας και μπορεί να επεκταθεί σε δύο σημεία γνωστά ως γεωμαγνητικοί πόλοι, οι οποίοι απέχουν μεταξύ τους 180° . Ο πόλος που βρίσκεται στο βόρειο ημισφαίριο ονομάζεται βόρειος γεωμαγνητικός πόλος και αντίστοιχα εκείνος που βρίσκεται στο νότιο ημισφαίριο ονομάζεται νότιος γεωμαγνητικός πόλος. Ο ισημερινός του γεωμαγνητικού διπόλου είναι ο λεγόμενος γεωμαγνητικός ισημερινός. Τα σημεία της επιφάνειας της γης στα οποία η κλίση του γήινου μαγνητικού πεδίου είναι κατακόρυφη (90°), ονομάζονται πραγματικοί μαγνητικοί πόλοι της γης και δεν απέχουν μεταξύ τους 180° όπως οι γεωμαγνητικοί πόλοι.



Εικόνα2-1. Η παραπάνω εικόνα είναι ένα διάγραμμα που δείχνει τη διαφορά μεταξύ των γεωγραφικών, γεωμαγνητικών και πραγματικών μαγνητικών πόλων και ισημερινών.

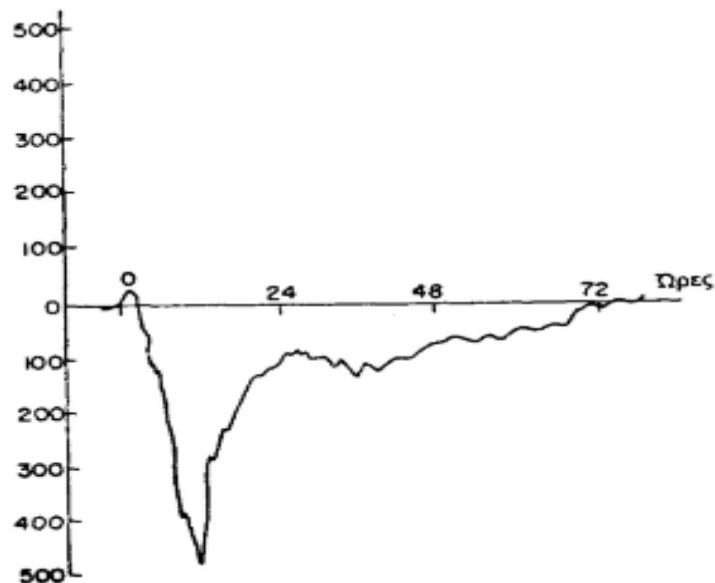
2.1.2 Το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο

Ο ήλιος παίζει ένα πολύ σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της μορφής του μαγνητικού πεδίου μακριά από την γη και στις βραχείας περιόδου μεταβολής του γήινου μαγνητικού πεδίου. Ο ηλιακός άνεμος που προτείνεται από μια συνεχή ροή ιονισμένων σωματιδίων που εκπέμπονται από τον ήλιο περιορίζει το μαγνητικό πεδίο της γης σε μια περιοχή που ονομάζεται μαγνητόσφαιρα και αλλάζει τις δυναμικές γραμμές έτσι ώστε η μαγνητόσφαιρα να δίνει την μαγνητο-ουρά. Η μαγνητο-ουρά εκτείνεται αρκετά εκατομμύρια χιλιόμετρα μακριά από τον ήλιο. Επίσης έχουμε την μαγνητόπαυση η οποία είναι το εσωτερικό όριο της τυρβώδης ζώνης που δημιουργείται μεταξύ του ηλιακού αέρα και του μαγνητικού πεδίου της γης.



Εικόνα2-2 Στο σχήμα βλέπουμε το εξωτερικό μαγνητικό πεδίο μακριά από την γη και το πώς επηρεάζεται από τον ηλιακό άνεμο.

Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, μεταβολές στον ηλιακό άνεμο και στην συνέχεια στη μεταβολή του μαγνητικού πεδίου της γης, όπου μπορούν να μεταφέρουν τα φορτισμένα σωματίδια στο ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας και όπου προκαλούν το βόρειο και νότιο σέλας. Αυτές οι ανωμαλίες η οποίες σχετίζονται με τη δραστηριότητα των ηλιακών κηλίδων προκαλούν επίσης τις βραχείας περιόδου διακυμάνσεις στο μαγνητικό πεδίο γνωστές ως μαγνητικές καταιγίδες.



Εικόνα2-3. Στο διάγραμμα αυτό έχουμε την Ένταση $nT = f(\text{ώρες})$ και δείχνει την μεταβολή της έντασης του πεδίου κατά τη διάρκεια μιας τυπικής μαγνητικής καταιγίδας.

2.2 Τι είναι γεωμαγνητικές καταιγίδες

Μια γεωμαγνητική καταιγίδα είναι μια σημαντική διαταραχή της μαγνητόσφαιρας της γης που συμβαίνει όταν υπάρχει μια ανταλλαγή ενέργειας από τον ηλιακό άνεμο στο διαστημικό περιβάλλον που περιβάλλει τη γη. Αυτές οι καταιγίδες προκύπτουν από παραλλαγές στον ηλιακό άνεμο που παράγουν σημαντικές αλλαγές στα ρεύματα, τα πλάσματα και τα πεδία στη μαγνητόσφαιρα της γης. Οι συνθήκες ηλιακού ανέμου που είναι αποτελεσματικές για τη δημιουργία γεωμαγνητικών καταιγίδων διατηρούνται σε περιόδους ηλιακού ανέμου μεγάλης ταχύτητας και το σημαντικότερο είναι το μαγνητικό πεδίο του ηλιακού ανέμου που κατευθύνεται προς τα νότια (απέναντι από την κατεύθυνση του πεδίου της γης) της μαγνητόσφαιρας. Αυτή η κατάσταση είναι αποτελεσματική για τη μεταφορά ενέργειας από τον ηλιακό άνεμο στη μαγνητόσφαιρα της γης. Ολόκληρη η γεωμαγνητική καταιγίδα μπορεί να διαρκέσει αρκετές μέρες, καθώς τα σωματίδια και τα πεδία γύρω από τη γη συνεχίζουν να αναπροσαρμόζονται στον διερχόμενο ηλιακό άνεμο.

Οι μεγαλύτερες καταιγίδες που προκύπτουν από αυτές τις συνθήκες συνδέονται με ηλιακές στεφανιαίες μαζικές εκτινάξεις (οι λεγόμενες CME), όπου ένα δισεκατομμύριο περίπου τόνοι πλάσματος από τον ήλιο, με το ενσωματωμένο μαγνητικό πεδίο, φτάνουν στη γη. Οι CME συνήθως χρειάζονται αρκετές μέρες για να φτάσουν στη γη, αλλά παρατηρήθηκε, για μερικές από τις πιο έντονες καταιγίδες, να φτάσουν σε μόλις 18 ώρες. Στο διάστημα, υπάρχει ένας δακτύλιος δυτικού ρεύματος γύρω από τη γη που παράγει μαγνητικές διαταραχές στο έδαφος. Ένα μέτρο αυτού του ρεύματος είναι ο δείκτης χρόνου θύελλας διαταραχής (Dst), έχει χρησιμοποιηθεί ιστορικά για να χαρακτηρίσει το μέγεθος μιας γεωμαγνητικής καταιγίδας. Όλα αυτά τα ρεύματα και οι μαγνητικές αποκλίσεις που παράγουν στο έδαφος χρησιμοποιούνται για να δημιουργήσουν ένα πλανητικό δείκτη γεωμαγνητικής διαταραχής που ονομάζεται K_p . Αυτός ο δείκτης είναι η βάση για μία από τις τρεις κλίμακες διαστημικών καιρικών συνθηκών της NOAA, τη γεωμαγνητική καταιγίδα ή τη κλίμακα G (η κλίμακα αυτή θα σχολιαστεί στο

επόμενο κεφάλαιο), που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τον διαστημικό καιρό που μπορεί να διαταράξει τα συστήματα στη γη.

Ουσιαστικά αρχίζουν με μια εκτόξευση μάζας από τον ήλιο και την επίδραση αυτού του πλάσματος στη μαγνητόσφαιρα. Οι ταχέως μεταβαλλόμενες εκτοξεύσεις της κορώνας (η κορώνα του ήλιου είναι πάνω από 5 εκατομμύρια βαθμούς πιο ζεστή από την επιφάνεια του ήλιου) παράγουν κύματα κλονισμού στον ηλιακό άνεμο και αυτή η συμπίεση εντείνει την πυκνότητα των σωματιδίων που προσκρούουν στη μαγνητόσφαιρα. Καθώς η αιφνίδια ταραχή του ηλιακού αέρα διέρχεται από τη μαγνητόσφαιρα και το μαγνητικό πεδίο, τα μαγνητικά πεδία προσανατολίζονται και επανασυνδέονται, απελευθερώνοντας τεράστιες ποσότητες ενέργειας και επιταχύνοντας τα παγιδευμένα σωματίδια σε υψηλές ταχύτητες. Αυτά τα φορτισμένα σωματίδια τότε μετακινούνται κάτω από το γεωμαγνητικό πεδίο σε τεράστια ρεύματα, τα οποία προκαλούν φωτεινά και μακροχρόνια αστραπιαίες προβολές σέλας.

Τα διαστημικά καιρικά φαινόμενα όπως οι γεωμαγνητικές καταιγίδες μπορούν να διαταράξουν το μαγνητικό πεδίο της γης, να παρεμποδίσουν τα ηλεκτρικά δίκτυα, τις ραδιοεπικοινωνίες, τα συστήματα GPS, τις δορυφορικές λειτουργίες, τις γεωτρήσεις πετρελαίου και φυσικού αερίου και τα αεροπορικά ταξίδια.

2.2.1 Γεωμαγνητικές θύελλες

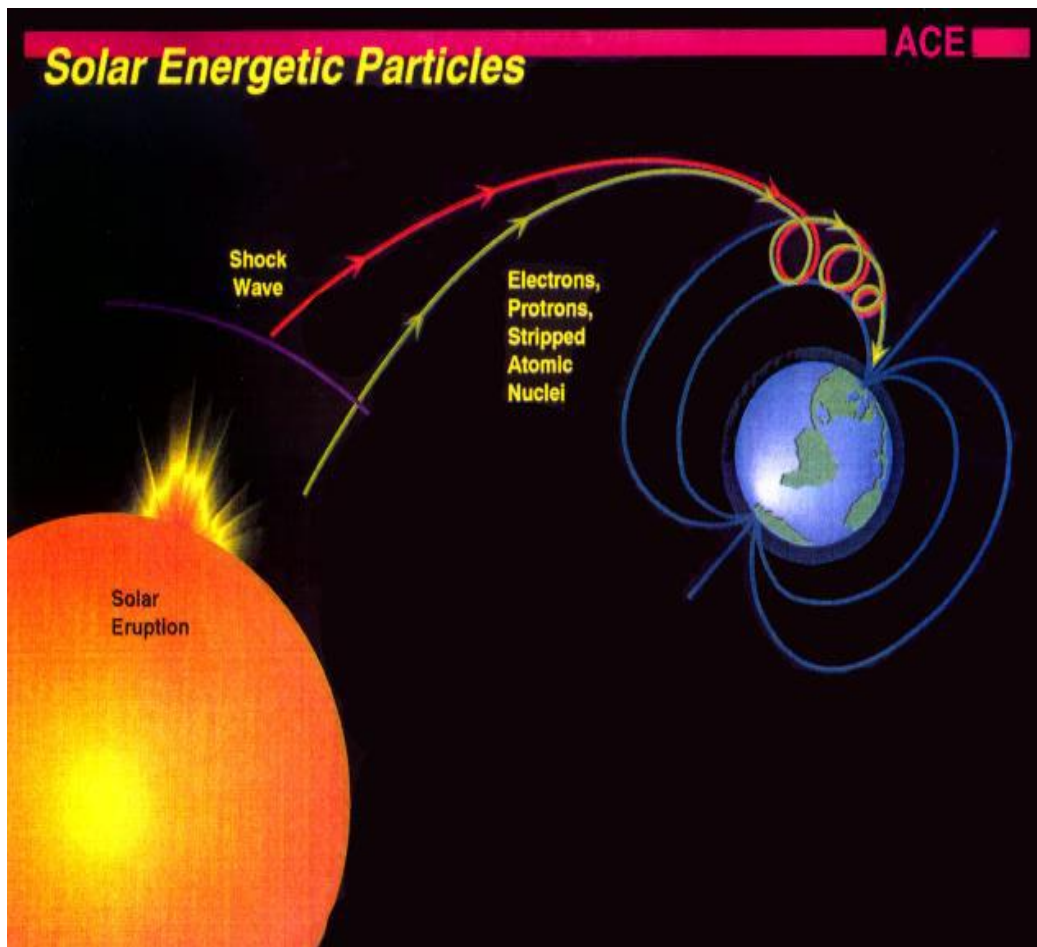
Ο ήλιος είναι η κύρια πηγή του διαστημικού καιρού. Μεγάλες, βίαιες εκρήξεις πλάσματος και μαγνητικών πεδίων από το στέμμα του ήλιου, γνωστές ως στεφανιαίες μαζικές εκτίναξη (CME), είναι η προέλευση των γεωμαγνητικών καταιγίδων. Από τα CME δημιουργούνται κρουστικά κύματα δημιουργώντας με την σειρά τους ηλιακά ενεργειακά σωματίδια, τα οποία είναι υψηλής ενέργειας σωματίδια που αποτελούνται από ηλεκτρόνια και ηλιακά ιόντα ανέμου (κυρίως πρωτόνια). Όταν οι CME κατευθύνονται προς τη γη αυτές οι γεωμαγνητικές καταιγίδες δημιουργούν διαταραχές που επηρεάζουν το μαγνητικό πεδίο της γης.

2.3 Τι είναι ο μαγνητικός ήλιος;

Η επιφάνεια του ήλιου μας είναι ένας αφρός πλάσματος και μαγνητικών πεδίων, πάντα ενεργός και συνεχώς μεταβαλλόμενος. Ο ήλιος ακολουθεί έναν κύκλο της μαγνητικής δραστηριότητας που αντικατοπτρίζεται από τον αριθμό των ηλιακών κηλίδων και η μέση περιοχή των ηλιακών κηλίδων, η οποία φθίνει σε μια χρονική κλίμακα των 9-14 ετών. Ιστορικά δεδομένα των ηλιακών κηλίδων χρονολογούνται ήδη από το 1775, το οποίο σηματοδοτεί την έναρξη του πρώτου ηλιακού κύκλου. Επί του παρόντος, είμαστε κοντά στην κορυφή του ηλιακού κύκλου 24.

Μια ηλιακή κηλίδα εμφανίζεται ως μια σκοτεινή περιοχή όπου οι γραμμές μαγνητικού πεδίου εισέρχονται και βγαίνουν από την ορατή επιφάνεια του ήλιου. Οι γραμμές πεδίου δημιουργούν μια περιοχή ελαφρώς μειωμένης θερμοκίνης θερμοκρασίας, η οποία προκαλεί τη σκοτεινή εμφάνιση. Το πραγματικό μέτρο του αριθμού της ηλιακής κηλίδας είναι μια στάθμιση μεταξύ μεμονωμένων σημείων και των ηλιακών κηλίδων σε ομάδες, ή σύνθετες περιοχές με πολλές συγχωνευμένες ηλιακές κηλίδες. Για τον ακραίο κίνδυνο γεωμαγνητικής θύελλας, είναι οι μεγαλύτερες ομάδες ηλιακών κηλίδων, ή υπερενεργές περιοχές, οι οποίες αποτελούν μια

σημαντική απειλή για την γη. Οι μαγνητικές γραμμές του πεδίου που βρίσκονται έξω από τις ηλιακές κηλίδες μπορούν να απελευθερώσουν μια μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Αυτή η ενέργεια μπορεί να ωθήσει το πλάσμα βίαια προς τα έξω προς το διάστημα, μια διαδικασία γνωστή ως στεφανιαία μαζική εκτίναξη (CME= στεφανιαία μαζική εκτίναξη. Μια έκρηξη πλάσματος από τον ήλιο). Το CME ποσοστό των τιμών κορυφής περίπου 2 χρόνια μετά το μέγιστο αριθμό ηλιακών κηλίδων εντός της ηλιακής σφαίρας. Ο κίνδυνος γεωμαγνητικής θύελλας είναι υψηλότερος κοντά στην κορυφή κύκλων, αλλά λοξά προς το τελευταίο μισό του κύκλου. Διαρκεί περίπου δύο έως τρεις ημέρες μετά από μια CME εγκαινιάζει από τον ήλιο για μια γεωμαγνητική θύελλα να φθάσει στη γη και να επηρεάσει το γεωμαγνητικό πεδίο της γης.



Εικόνα2-4. Η παρακάτω φωτογραφία απεικονίζει πως δημιουργούνται οι γεωμαγνητικές καταιγίδες και πως καταλήγουν στην γη.



Εικόνα2-5. Αύτη η φωτογραφία είναι από έναν ιαπωνικό δορυφόρο κοντά στον ήλιο.

2.3.1 Αναλυτικότερα η ηλιακή δραστηριότητα

Ο ήλιος, το πλησιέστερο αστέρι μας, μας δίνει ζεστασιά και φως. Πολλοί πολιτισμοί πίστευαν επίσης ότι ο ήλιος ήταν μια τέλεια σφαίρα, απαλλαγμένη από ατέλειες, αιώνια και αμετάβλητα. Οι ηλιακές κηλίδες είναι οι πιο γνωστές υπαινιγμοί ότι η επιφάνεια του ήλιου αλλάζει διαρκώς. Μεγαλύτερα από τη Γη και με μαγνητικά πεδία που είναι 10.000 φορές ισχυρότερα από τα γήινα, οι ηλιακές κηλίδες είναι οι περιοχές αναπαραγωγής για μερικές από τις πιο βίαιες καταιγίδες στο ηλιακό σύστημα.

Ο αριθμός των ηλιακών κηλίδων αυξάνεται και μειώνεται σε κύκλους που διαρκούν από 6 έως 17 χρόνια στον κύκλο ηλιακών κηλίδων. Με τη σύγχρονη τεχνολογία και τους διαστημικούς δορυφόρους, αυτός ο κύκλος ηλιακής δραστηριότητας μπορεί τώρα να ανιχνευθεί στην απότομη ροή άλλων φαινομένων στον Ήλιο και στη Γη. Μεταξύ των πιο αιγματοειδών καταιγίδων είναι οι ηλιακές εκλάμψεις που εκρήγνυνται κοντά σε ηλιακές κηλίδες. Σε 20 λεπτά, τα μαγνητικά πεδία μπορούν να θερμαίνουν τα αέρια σε δεκάδες χιλιάδες βαθμούς και να απελευθερώνουν περισσότερη ενέργεια από χιλιάδες ατομικές βόμβες. Κάποια από αυτά τα αέρια μπορούν να εκτοξευθούν από τον Ήλιο σε εκατομμύρια χιλιόμετρα την ώρα σε αυτό που ονομάζεται κορωνική εκτόξευση μάζας. Τόσο οι ηλιακές εκλάμψεις όσο και οι εκτομές της στεφανιαίας μάζας μπορούν να διαταράξουν πολύ την ανθρώπινη δραστηριότητα στη γη και στο διάστημα.

Η εξωτερική ατμόσφαιρα του Ήλιου, η κορώνα, είναι γνωστή σε πολλούς ανθρώπους που έχουν παρακολουθήσει ολικές εκλείψεις του ήλιου. Ο ηλιακός άνεμος εκτείνεται σε δισεκατομμύρια χιλιόμετρα περισσότερο από το κορώνα. Όπως και οι αόρατοι δρόμοι που καλύπτουν το ηλιακό σύστημα, το μαγνητικό πεδίο από τον Ήλιο ρέει από την ηλιακή

επιφάνεια. Το υλικό που εκτοξεύεται από τον Ήλιο ρέει ακτινικά προς τα έξω από την ηλιακή επιφάνεια. Από τη στιγμή που μια ηλιακή καταιγίδα εμφανίζεται στον Ήλιο, μπορεί να χρειαστούν 2-3 μέρες για να περάσει το φυσικό αέριο στην τροχιά της Γης και εάν η Γη συμβαίνει να βρίσκεται σε λάθος μέρος σε λάθος χρόνο, θα είναι χτυπημένο από ένα τοίχο πλάτους εκατομμυρίων χιλιομέτρων από αέρια υψηλής θερμοκρασίας και μαγνητικά πεδία.

Μπορούμε να πούμε ότι μια πυξίδα δείχνει «βόρεια» επειδή η Γη έχει μαγνητικό πεδίο, αλλά μέχρι την έλευση της Εποχής του Διαστήματος, κανείς δεν κατάλαβε τι ακριβώς μοιάζει ή ήταν ικανός να κάνει αυτό το πεδίο. Από τότε που ο Gilbert πρότεινε τον 17ο αιώνα ότι η Γη ήταν ένας γιγαντιαίος μαγνήτης, οι επιστήμονες αναρωτήθηκαν πόσο διαμορφώθηκε το πεδίο αυτό και πώς άλλαξε με το χρόνο. Το γεωμαγνητικό πεδίο που μας δίνει τα έδρανα πυξίδας (το έδρανο πυξίδας είναι η κατεύθυνση προς την οποία κατευθύνεστε, όπως δείχνει μια πυξίδα) , επεκτείνεται επίσης σε χιλιάδες χιλιόμετρα στο διάστημα σε μια περιοχή που ονομάζεται μαγνητόσφαιρα. Από την πλευρά του Ήλιου, σχηματίζει ένα προστατευτικό όριο που ονομάζεται τόξο αιφνιδιασμού - δόνησης . Η διασταύρωση εκατομμυρίων χιλιομέτρων στην αντίθετη κατεύθυνση πίσω από τη Γη είναι το μαγνητικό πεδίο.

Ο ηλιακός άνεμος φυσάει πάνω στη μαγνητόσφαιρα και του δίνει ένα σχήμα στροβιλισμού, αλλά όταν οι ηλιακές καταιγίδες και οι ηλιακές ροές του ανέμου φτάνουν στη Γη, η μαγνητόσφαιρα αντιδρά βίαια. Στην πλευρά που βρίσκεται πλησιέστερα στην κρούση, η μαγνητόσφαιρα συμπιέζεται σαν να συμπιέζει ένα μπαλόνι, αφήνοντας τους δορυφόρους επικοινωνίας εκτεθειμένους. Από την αντίθετη πλευρά, είναι απλωμένη, περνώντας από την τροχιά της Σελήνης, τον Άρη και ακόμα τον Δία. Το γεωμαγνητικό πεδίο είναι αξιοσημείωτα δύσκαμπτο και έτσι το μεγαλύτερο μέρος του ηλιακού ανέμου εκτρέπεται χωρίς καμία προειδοποίηση. Και έτσι μπορούν να διεισδύσουν στην ατμόσφαιρα για να παράγουν την αυγή (σέλας).

2.3.2 Δραστηριότητα του ηλιακού ανέμου

Ο ηλιακός άνεμος ρέει συνεχώς προς τα έξω από τον Ήλιο και αποτελείται κυρίως από πρωτόνια και ηλεκτρόνια σε κατάσταση γνωστή ως πλάσμα. Το ηλιακό μαγνητικό πεδίο είναι ενσωματωμένο στο πλάσμα και ρέει προς τα έξω με τον ηλιακό άνεμο.

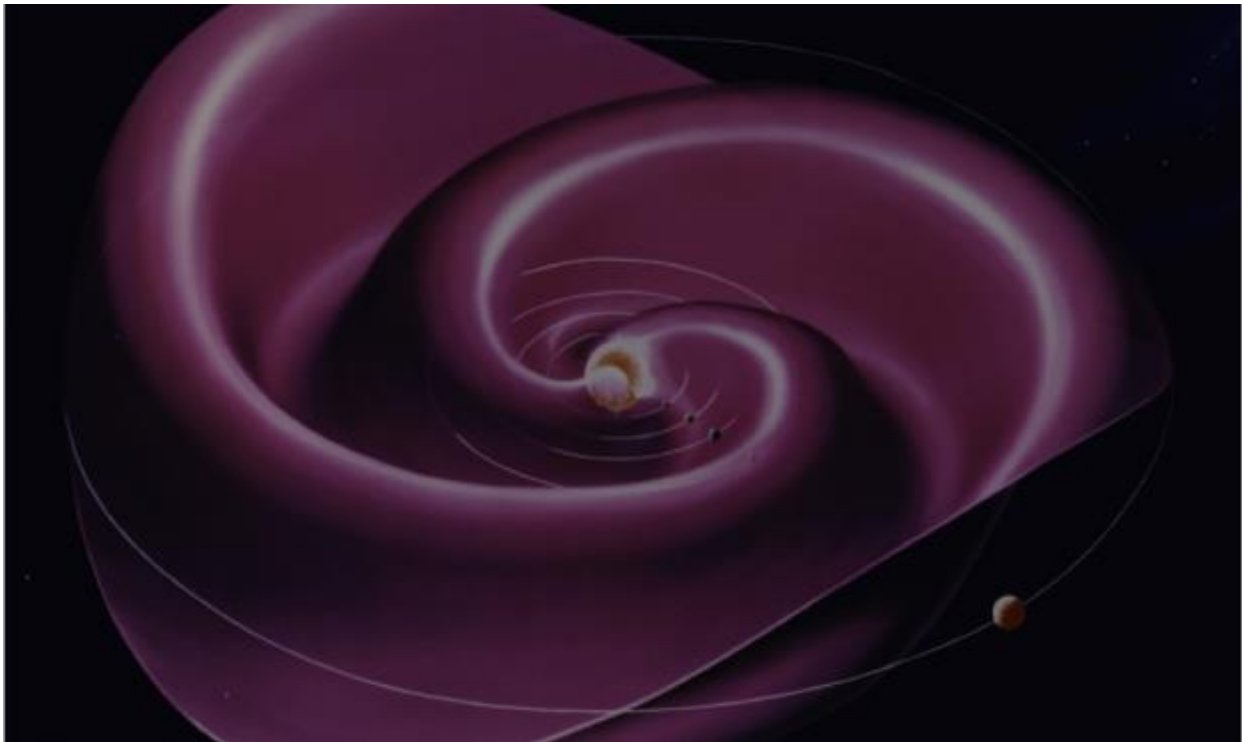
Οι διαφορετικές περιοχές του Ήλιου παράγουν ηλιακό άνεμο διαφορετικών ταχυτήτων και πυκνότητας. Οι κορωνικές οπές παράγουν ηλιακό άνεμο υψηλής ταχύτητας, που κυμαίνεται από 500 έως 800 χιλιόμετρα το δευτερόλεπτο. Οι βόρειοι και νότιοι πόλοι του ήλιου έχουν μεγάλες, επίμονες στεφανιαίες τρύπες, τόσο μεγάλα γεωγραφικά πλάτη γεμίζουν με γρήγορο ηλιακό άνεμο. Στο ισημερινό επίπεδο, όπου η Γη και οι άλλοι πλανήτες τροχιά, η πιο κοινή κατάσταση του ηλιακού ανέμου είναι ο αργός άνεμος ταχύτητας, με ταχύτητες περίπου 400 χιλιομέτρων το δευτερόλεπτο. Αυτό το τμήμα του ηλιακού ανέμου σχηματίζει το ισημερινό φύλλο ρεύματος.

Κατά τη διάρκεια ήσυχων περιόδων το τρέχον φύλλο μπορεί να είναι σχεδόν επίπεδο. Καθώς η ηλιακή δραστηριότητα αυξάνεται, η ηλιακή επιφάνεια γεμίζει με ενεργές περιοχές, στεφάνες και άλλες σύνθετες δομές, οι οποίες τροποποιούν τον ηλιακό άνεμο και το φύλλο ρεύματος. Επειδή ο ήλιος περιστρέφεται κάθε 27 ημέρες, ο ηλιακός άνεμος γίνεται μια σύνθετη

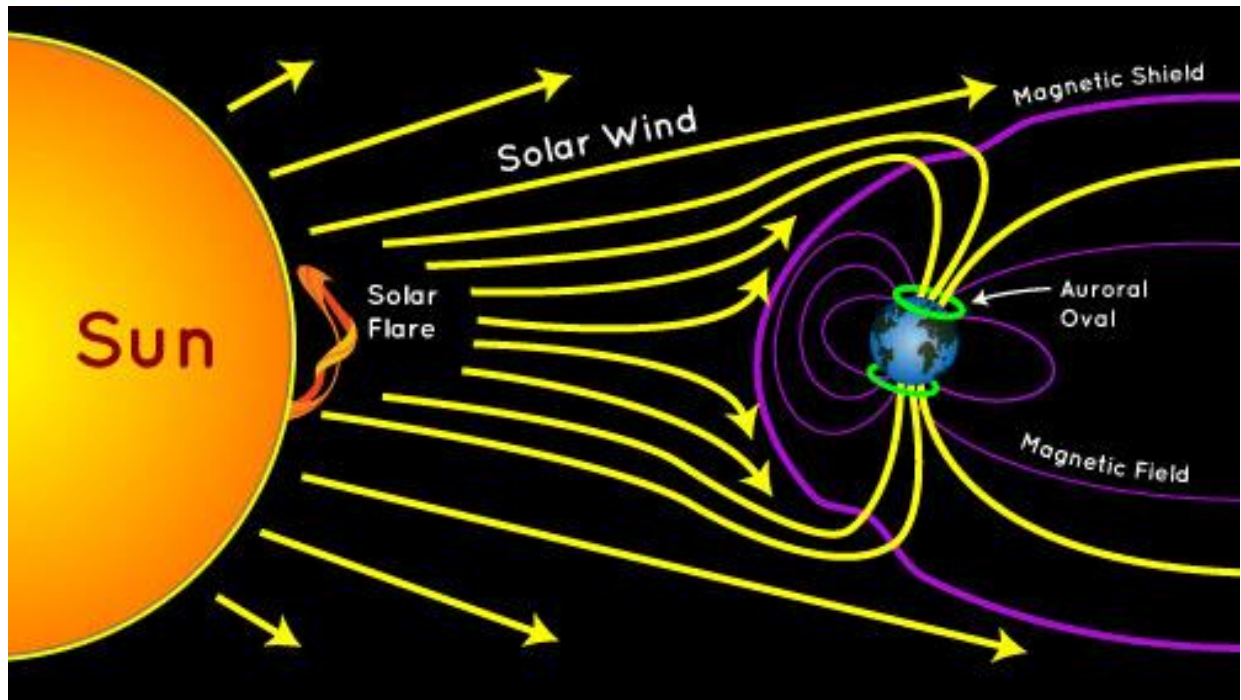
σπείρα υψηλών και χαμηλών ταχυτήτων και υψηλών και χαμηλών πυκνοτήτων που μοιάζει με τη φούστα μιας μπαλαρίνας που περιστρέφεται (βλέπε Εικόνα Α). Όταν η ηλιακή ταχύτητα υπερτερεί τον αργό άνεμο ταχύτητας, δημιουργεί κάτι που είναι γνωστό ως περιοχή αλληλεπίδρασης που δημιουργεί διαβήτη. Αυτές οι περιοχές αλληλεπίδρασης αποτελούνται από ηλιακό άνεμο με πολύ υψηλές πυκνότητες και ισχυρά μαγνητικά πεδία.

Πάνω από το τρέχον φύλλο, ο ηλιακός άνεμος υψηλότερης ταχύτητας έχει συνήθως κυρίαρχη μαγνητική πολικότητα προς τη μία κατεύθυνση και κάτω από το τρέχον φύλλο, η πολικότητα είναι προς την αντίθετη κατεύθυνση. Καθώς η γη κινείται μέσα από αυτή την εξελισσόμενη φούστα μπαλαρίνας, είναι μερικές φορές μέσα στο ηλιοσφαιρικό ρεύμα φύλλο, μερικές φορές πάνω από αυτό και κάποτε κάτω από αυτό. Όταν το μαγνητικό πεδίο του ηλιακού ανέμου ενεργοποιεί την πολικότητα, είναι μια ισχυρή ένδειξη ότι η γη έχει διασχίσει το τρέχον φύλλο. Η θέση της γης σε σχέση με το σημερινό φύλλο είναι σημαντική επειδή οι επιπτώσεις των καιρικών συνθηκών εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την ταχύτητα του ηλιακού ανέμου, την πυκνότητα του ηλιακού ανέμου και την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου που είναι ενσωματωμένο στον ηλιακό άνεμο.

Κάθε ένα από τα στοιχεία που αναφέρθηκαν παραπάνω παίζει ρόλο στο διάστημα. Οι άνεμοι υψηλής ταχύτητας φέρνουν γεωμαγνητικές καταιγίδες, ενώ οι άνεμοι με χαμηλή ταχύτητα προσφέρουν ήρεμους καιρούς. Οι περιστρεφόμενες περιοχές αλληλεπίδρασης και σε μικρότερο βαθμό, οι τρέχουσες διασταυρώσεις φύλλων, μπορούν επίσης να προκαλέσουν τις γεωμαγνητικές διαταραχές. Έτσι, ο προσδιορισμός και η πρόβλεψη του ηλιακού ανέμου είναι κρίσιμης σημασίας για την ανάπτυξη προβλέψεων για τον διαστημικό καιρό και τις επιπτώσεις του στη γη.



Εικόνα2-6. Ο ηλιακός άνεμος γίνεται μια σύνθετη σπείρα υψηλών και χαμηλών ταχυτήτων καθώς και υψηλών και χαμηλών πυκνοτήτων που μοιάζει με τη παραπάνω εικόνα. Στην εικόνα βλέπουμε τον λόγο για τον οποίο χρησιμοποιούμε αυτή τη μεταφορά που αναφέρθηκε στο πιο πάνω κείμενο.



Εικόνα2-7. Στην συγκεκριμένη εικόνα απεικονίζεται η κίνηση του ηλιακού ανέμου και γενικά η μαγνητόσφαιρα της γης.

2.4 Τρεις φάσεις της καταιγίδας

Όταν η καταιγίδα φθάνει στο μαγνητικό πεδίο της γης, εξελίσσεται μέσα από τρεις φάσεις.

1. την αρχική φάση, η οποία διαρκεί λεπτά έως ώρες για να ολοκληρωθεί και μπορεί να εκπέμπει ένα μέγιστο των δεκάδων της nT
2. την κύρια φάση, η οποία μπορεί να διαρκέσει από 30 λεπτά και αρκετές ώρες και παράγει αρνητικές εκατοντάδες της nT
3. και τη φάση ανάκαμψης, η οποία είναι η μεγαλύτερη από τις τρεις, κυμαίνεται από δεκάδες ώρες μέχρι και μια εβδομάδα και είναι η φάση κατά την οποία τα επίπεδα nT επιστρέφουν πίσω στο κανονικό.

Οι υψηλότερες μετρήσεις nT/min συσχετίζονται άμεσα με υψηλότερα επίπεδα GIC (Γεωμαγνητικά προκαλούμενο ρεύμα. Άμεσο ρεύμα που ρέει μέσω των γραμμών μετάδοσης που προκαλούνται από τα γρήγορα ποικίλα ηλεκτρικά πεδία στην επιφάνεια της γης) και το δυναμικό για αντίστοιχες εξάρσεις σε EHV (Επιπλέον υψηλή τάση σε σχέση με τους μετασχηματιστές ισχύος με μέγιστη ονομαστική τάση μεγαλύτερη ή ίση με 345 kV) γραμμές και μετασχηματιστές. Σοβαρές γεωμαγνητικές θύελλες σε υψηλότερα αρνητικά επίπεδα θερινής ώρας μπορεί να προκαλέσει GIC σε γραμμές μετάδοσης κύματος σε σύντομο χρονικό διάστημα. Η γεωμαγνητική θύελλα που πραγματοποιήθηκε το 1989 στο Quebec πήρε μόνο ένα λεπτό και

δέκα δευτερόλεπτα για να προσεγγίσει το ηλεκτρικό πλέγμα και να το διακόψει εξ ολοκλήρου. Τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας είναι ιδιαίτερα ευάλωτα στις επιδράσεις μιας γεωμαγνητικής θύελλας.

Οι διαταραχές στο γεωμαγνητικό πεδίο της γης μπορούν να διαταράξουν τη λειτουργία των κρίσιμων υποδομών για παράδειγμα διαστημικά περιουσιακά στοιχεία, αλλά όπως είπαμε πιο πάνω μπορεί να οδηγήσει σε επίγεια αποτελέσματα, συμπεριλαμβανομένης της διακοπής των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Οι γεωμαγνητικές θύελλες μπορούν να επηρεάσουν την ισχύ του σήματος ενός δορυφόρου αρνητικά, όπως σήματα από δορυφόρους που εμπλέκονται στο παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS).

Καθώς οι γεωμαγνητικές θύελλες φθάνουν στην επιφάνεια της γης προκαλώντας το μαγνητικό πεδίο της γης, το οποίο με τη σειρά του προκαλεί ροές ηλεκτρικών ρευμάτων μέσω αγωγών στην επιφάνεια της γης. Αυτά τα GIC μπορούν να ρέουν μέσω των δικτύων μετάδοσης δύναμης (καθώς επίσης και των αγωγών και των υποθαλάσσιων καλωδίων) και να οδηγήσουν στα προβλήματα συστημάτων δύναμης. Τα δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αντιμετωπίζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στις γεωμαγνητικές θύελλες καθώς εκτείνονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις για την παροχή κέντρων ζήτησης λόγω της χρήσης γραμμών μετάδοσης υψηλής τάσης για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγαλύτερες γεωγραφικές αποστάσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι μεγαλύτερες αποστάσεις τους κάνουν καλύτερες κεραιές για να πάρει τα ηλεκτρικά ρεύματα που προκαλούνται από τις γεωμαγνητικές θύελλες. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις έχει αυξήσει την ευπάθεια των δικτύων μετάδοσης σε GIC που προκύπτουν από γεωμαγνητικές θύελλες. Για παράδειγμα, η βορειοανατολική περιοχή των Ηνωμένων Πολιτειών λαμβάνει τακτικές μεταφορές ενέργειας από τον Καναδά. Το GIC μπορεί να υπερφορτώσει τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας, με τις πρόσφατες εκτιμήσεις που δηλώνουν ότι 300 μεγάλοι μετασχηματιστές EHV θα ήταν τρωτοί σε GIC στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η ζημία σε έναν EHV μετασχηματιστή από ένα GIC θα μπορούσε να πάρει τους μήνες για να επισκευάσει. Η αντικατάσταση EHV θα απαιτούσε σημαντικό χρόνο και θα συνεπαγόταν σημαντικό κόστος. Οι χρόνοι αντικατάστασης για τους μετασχηματιστές EHV μπορούν να φθάσουν μετά από μεγάλο χρονικό διάστημα. Οι χώρες που βρίσκονται στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη, όπως ο Καναδάς, οι Ηνωμένες Πολιτείες, και τα σκανδιναβικά έθνη, είναι εξαιρετικά ευάλωτα σε γεωμαγνητικές θύελλες. Τα συστήματα ισχύος που βρίσκονται σε αυτές τις χώρες είναι πιθανότερο να βιώσουν σημαντικές GIC λόγω της θέσης τους στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη, του εδαφολογικού τύπου που περιβάλλει την ηλεκτρική υποδομή που είναι ένας κάπως καλύτερος αγωγός, και το γεγονός ότι τα δίκτυα μεταφοράς σε αυτές τις χώρες καλύπτουν μεγαλύτερες αποστάσεις στο κέντρο φόρτωσης. Χώρες νοτιότερα επίσης μπορεί να είναι ευαίσθητα στις γεωμαγνητικές θύελλες, αλλά η σοβαρότητα των συνεπειών είναι πιθανό λιγότερο από ό, τι για εκείνους στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη.

2.5 Ιστορικά παραδείγματα γεωμαγνητικών καταιγίδων και οι επιπτώσεις

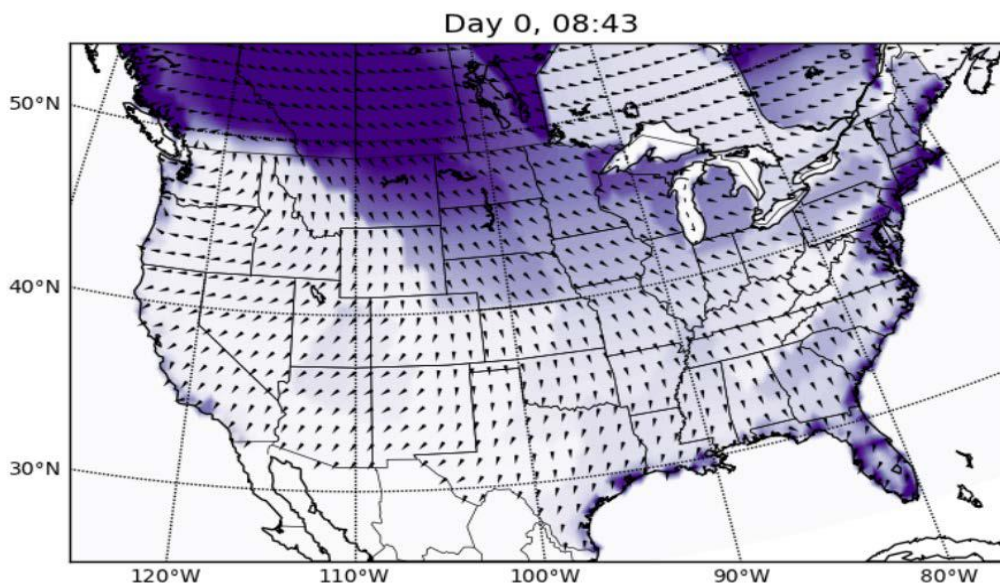
Για να κατανοήσουμε την απειλή των γεωμαγνητικών καταιγίδων εξετάζουμε τις επιπτώσεις-αρκετών μεγάλων γεωμαγνητικών καταιγίδων στα πρόσφατα ιστορικά αρχεία. Αυτές οι περιγραφές δίνουν συγκεκριμένα παραδείγματα των τεχνολογικών επιπτώσεων των γεωμαγνητικών καταιγίδων, καθώς και την παροχή ορισμένων ποσοτικών σημείων αναφοράς.

2.5.1 Αύγουστος - Σεπτέμβριος 1859-συμβάν Carrington

Οι εκδηλώσεις κατά τη διάρκεια της 28ης Αυγούστου – 2 Σεπτεμβρίου 1859 θεωρούνται ευρέως ως τα πιο ακραία καιρικά φαινόμενα στο αρχείο. Εξετάζοντας τέσσερα βασικά μέτρα της δύναμης της γεωμαγνητικής θύελλας (ξαφνική ιονοσφαιρική διαταραχή, ηλιακός αέρας, γεωμαγνητική θύελλα και σέλας), είναι το μόνο γεγονός που εμφανίζεται μέσα στις κορυφαίες πέντε εκδηλώσεις σε κάθε κατηγορία. Επίσης το συμβάν αυτό ονομάστηκε έτσι προς τιμήν του άγγλου αστρονόμου Richard Carrington που την παρακολούθησε, όπου και εντοπίστηκε στο παρατηρητήριο Colaba της Ινδίας.

Υπήρξαν δύο τεράστιες εκδηλώσεις σέλας: μία στις 28 Αυγούστου και μια ακόμη πιο διαδεδομένη εμφάνιση στις 2 Σεπτεμβρίου. Ο χρόνος διέλευσης του CME (από την έναρξη φωτοβολίδα σε έναρξη γεωμαγνητικής θύελλας) ήταν ένα από τα συντομότερα στο αρχείο: 17 ώρες και 40 λεπτά για να ταξιδέψουν από τον ήλιο στη γη, με ταχύτητα 2380 km/s. Η χαμηλότερη έκταση γεωγραφικού πλάτους της ορατής αυγής ήταν 18 ° διορθωμένο γεωμαγνητικό γεωγραφικό πλάτος (κοντά στον Παναμά) για το δεύτερο γεγονός. Ενώ η ηλεκτρική ενέργεια δεν χρησιμοποιήθηκε ευρέως εκείνη τη στιγμή, η θύελλα προκάλεσε σπινθήρες κατά μήκος των καλωδίων τηλεγραφημάτων συγκλονίζοντας χειριστές και καθιστώντας το δίκτυο τηλεγραφημάτων μη λειτουργικό σε εκείνες τις δύο ημέρες στη Βόρεια Αμερική, την Ευρώπη, και ακόμη και τα μέρη της Αυστραλίας και της Ασίας.

Οι προσομοιώσεις γεωμαγνητικών καταιγίδων σε επίπεδο Carrington μπορούν να δημιουργηθούν με τη χρήση στατιστικών μοντέλων προηγούμενων καταιγίδων ή προσομοιώσεων της αλληλεπίδρασης μεταξύ ακραίων ηλιακών συνθηκών ανέμου και του γεωμαγνητικού πεδίου. Οι προσομοιωμένες χρονοσειρές μαγνητικών πεδίων συνδυάζονται έπειτα με την τοπική δομή επίγειας αγωγιμότητας για να αντλήσουν τα ηλεκτρικά πεδία της επιφάνειας.



Εικόνα 2-8. Το παραπάνω σχήμα δείχνει τα εύρη των ηλεκτρικών πεδίων και τις κατευθύνσεις σε όλες τις ΗΠΑ σε ένα μόνο χρονικό βήμα κατά τη διάρκεια μιας προσομοιωμένης θύελλας. Οι περιοχές που σκιάζονται στο σκοτεινό μώβ βιώνουν τα ισχυρότερα επίγεια ηλεκτρικά πεδία.

2.5.2 Μάρτιος 1989- θύελλα στο Quebec

Η γεωμαγνητική θύελλα 13-14 Μαρτίου 1989 είναι μια από τις πιο γνωστές για την επίδρασή της στα καναδικά και αμερικάνικα συστήματα δύναμης η οποία είχε ως συνέπεια μια σημαντική διακοπή ρεύματος για εννέα ώρες για την πλειοψηφία της περιοχής του Quebec και για τα μέρη των βορειοανατολικών Ηνωμένων Πολιτειών. Ο ισχυρότερος από τους τυποποιημένους δείκτες δύναμης θύελλας χρησιμοποιήθηκε το 1932. Το μέγεθος της ηλιακής ενεργής περιοχής όπου προέρχονταν οι εκρήξεις ήταν ένα από τα μεγαλύτερα που μετρήθηκαν ποτέ.

Η γεωμαγνητική καταιγίδα έπληξε περίπου στις 3 π.μ. στις 13 Μαρτίου και κατέρρευσε το Hydro-Quebec δίκτυο ενέργειας σε λιγότερο από δύο λεπτά. Τα γεωμαγνητικά ρεύματα που δημιουργήθηκαν ήταν αρκετά σοβαρά δηλαδή οι αρμονικές σκόνταψαν, τα προστατευτικά συστήματα σε στατικό var, τους αντισταθμιστές στο πλέγμα Hydro-Quebec, με συνέπεια την απώλεια ηλεκτρικής ενέργειας σε περισσότερο από 6.000.000 ατόμων για εννέα ώρες με αρκετά υψηλό οικονομικό κόστος. Οι ταλαντώσεις της τάσης προκάλεσαν την επίθεση στον προστατευτικό εξοπλισμό, φέρνοντας σχεδόν το βορειοανατολικό Συντονιστικό Συμβούλιο δύναμης (NPCC) και το Ατλαντικό Συμβούλιο περιοχής (MAAC) σε μια διαδοχική κατάρρευση. Δύο μετασχηματιστές υπέστησαν ζημιές λόγω υπερφόρτωσης της τάσης. Η θύελλα προκάλεσε επίσης τη μόνιμη ζημία σε έναν μετασχηματιστή βημάτων γεννητριών σε έναν πυρηνικό σταθμό στο Νιου Τζέρσεϋ που ανήκει στη δημόσια υπηρεσία Gas & Electric, απαιτώντας την απομάκρυνσή του από την υπηρεσία.



Εικόνα 2-9. Αυτός είναι ο μετασχηματιστής (500/22kV 1200MVA) που υπέστη θερμική ζημιά σε τύλιγμα χαμηλής τάσης.

2.5.3 Οκτώβριος 2003 – καταιγίδα στο Halloween

Στα τέλη Οκτωβρίου έως τις αρχές Νοεμβρίου του 2003, μεγάλες γεωμαγνητικές θύελλες επηρέασαν το ηλεκτρικό σύστημα. Αναλυτικότερα τρεις μεγάλες ενεργές περιοχές ήταν παρόντες στην ηλιακή επιφάνεια. Ένας από αυτούς ήταν υπεύθυνος για την πλειονότητα των εκρήξεων κατά τη διάρκεια του 2003. Δεν ήταν μόνο η γεωμαγνητική θύελλα αξιοσημείωτη, το ηλιακό συμβάν πρωτονίων ήταν η τέταρτη μεγαλύτερη σε 25 χρόνια των ιστορικών αρχείων. Η μεγαλύτερη ηλιακή ενεργός περιοχή ήταν υπεύθυνη για τα 2000 km/s του CME που πυροδότησε τις γεωμαγνητικές θύελλες της 29-31 Οκτωβρίου.

Οι δευτερεύουσες διαταραχές ηλεκτρικών δικτύων βίωσαν οι κάτοικοι στη Βόρεια Αμερική, συμπεριλαμβανομένου ενός περιστατικού πυκνωτών στα βορειοδυτικά, και της θέρμανσης μετασχηματιστών στα βορειοανατολικά. Οι διακυμάνσεις του επίγειου μαγνητικού πεδίου ήταν ισχυρότερες πέρα από τη Βόρεια Ευρώπη και η Σουηδία βίωσε μια συσκότιση λιγότερο από μια ώρα στο μήκος που επηρέασε περίπου 50.000 πελάτες. Η συσκότιση αποδόθηκε στο συνδυασμό των αρμονικών στρεβλώσεων που προκαλούνται από τα γεωμαγνητικά ρεύματα και από τα εσφαλμένα ρυθμισμένα όρια ρελέ προστασίας. Μια προσπάθεια για να αποφύγουν την συσκότιση έκανε μια ομάδα που ονομαζόταν Skydkraft από την Σουηδία, η οποία προσπάθησε να αντιμετωπίσει το πρόβλημα των μετασχηματιστών όπου απέτυχε.

Το πιο σημαντικό αποτέλεσμα από αυτό το γεγονός ήταν οι δώδεκα μετασχηματιστές στη Νότια Αφρική που υπέστησαν ζημιές που απαιτούν την απομάκρυνσή τους από την

υπηρεσία. Το χαμηλό γεωγραφικό πλάτος της Νότιας Αφρικής υποτίθεται ότι είναι συνήθως απρόσβλητο από τα ηλεκτρικά πεδία της επιφάνειας, όμως αρκετά ισχυρά για να προκαλέσουν την εσωτερική θέρμανση μετασχηματιστών. Ποιο κάτω βλέπουμε (σε δύο εικόνες) δύο παραδείγματα για τις ζημιές που υπέστησαν οι μετασχηματιστές από την γεωμαγνητική θύελλα.



Εικόνα 2-10. Στην πρώτη εικόνα ο μετασχηματιστής υπέστη υπερθέρμανση του ηλεκτροδίου.



Εικόνα 2-11. Στην δεύτερη εικόνα ο μετασχηματιστής έχει βλάβη υψηλής τάσης.

Σοβαρά προβλήματα είχε η ομοσπονδιακή διοίκηση αεροπορίας στα gps όπου επηρεάστηκαν σε μεγάλο βαθμό από τις γεωμαγνητικές θύελλες με αποτέλεσμα να μην μπορεί να παρέχει gps καθοδήγηση για περίπου 30 ώρες. Επίσης αρκετές αερομεταφορές για λόγους ασφαλείας ανά δρομολόγησαν πτήσεις υψηλής γεωγραφικότητας, οι οποίες κόστιζαν στις αεροπορικές εταιρείες από 10.000 \$ έως 100.000 \$ ανά επαναδρομολόγηση πτήσεων.

Οι ισχυρές γεωμαγνητικές θύελλες λόγω ακτινοβολίας προκάλεσαν την εθνική αεροναυτική και διαστημική διοίκηση (NASA) για να εκδώσει μια οδηγία πτήσης στους αστροναύτες του στο διεθνή διαστημικό σταθμό, που διατάζουν τους αστροναύτες να πάρουν τα προληπτικά μέτρα και να αναστείλουν τους διαστημικούς περιπάτους. Η ομάδα επιχειρήσεων αποστολής της NASA ανέφερε ότι 59 % των αποστολών επηρεάστηκαν από τις γεωμαγνητικές θύελλες κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου. Αύτη η έκρηξη από τον ήλιο (CME) είχε επίσης σαν αποτέλεσμα για 27 ώρες να βγει εκτός λειτουργίας ο ιαπωνικός δορυφόρος ADEOS-2.

2.6 Ανάλυση και δείκτες μέτρησης των γεωμαγνητικών καταιγίδων

Δείκτες όπως το Dst χρησιμοποιούνται για να εκτιμηθεί η σοβαρότητα των μαγνητικών καταιγίδων. Έτσι, ένα ευρετήριο Dst κάτω από -50 nT είναι ενδεικτικό της μέτριας διαταραχής, η οποία μετατρέπεται σε έντονη όταν περάσει το όριο -100 nT και εξαιρετικά έντονη ή ακραία αν Dst φτάνει λιγότερο από -250 nT. Για την παραγωγή του δείκτη Dst χρησιμοποιείται η οριζόντια συνιστώσα H του γεωμαγνητικού πεδίου που καταγράφεται σε τέσσερα μαγνητικά παρατηρητήρια (Hermanus, Kakioka, Honolulu και San Juan). Αυτά τα αρχεία υπολογίζονται κατά μέσο όρο και σταθμίζονται μέσω του συντεταγμένου γεωγραφικού πλάτους για να αποκτήσουν το Dst, το οποίο υποτίθεται ότι παρέχει ποσοτικό μέτρο γεωμαγνητικής διαταραχής που θα συσχετίζεται με άλλες ηλιακές και γεωφυσικές παραμέτρους.

Το συμβάν στο Carrington του 1859, η καταιγίδα του Quebec τον Μάρτιου του 1989, η οποία ήταν υπεύθυνη για την διακοπή ρεύματος ολόκληρης της πόλης, η καταιγίδα του Halloween του Οκτωβρίου το 2003 που απειλεί το ηλεκτρικό δίκτυο στη Νότια Αφρική και η Σουηδία δεν μπορεί να λείπει από τον κατάλογο ιστορικών αρχείων των ακραίων γεωμαγνητικών καταιγίδων λόγω των συνεπειών τους για την κοινωνία. Αυτές οι ακραίες γεωμαγνητικές καταιγίδες είχαν συνέπειες στις υποδομές, και όλες ήταν υπέρτονες όπως φαίνεται από το δείκτη Dst που εξετάστηκαν. Έτσι, η καταιγίδα Halloween της 29ης Οκτωβρίου 2003 έφτασε τα -383 nT, για την καταιγίδα στο Quebec 13-14 Μαρτίου 1989 έφθασε τα -589 nT, και για το γεγονός Carrington εκτιμήθηκε από τον Lakhina (το 2005) ως -1760 nT, δηλαδή περίπου τρεις φορές πιο έντονη από την καταιγίδα του Quebec. Άλλες εκτιμήσεις για την ελάχιστη τιμή Dst που επιτεύχθηκε κατά τη διάρκεια της καταιγίδας Carrington έγιναν χρησιμοποιώντας την καταγραφή των αρχείων στο παρατηρητήριο της Colaba, δηλαδή μια μείωση του H των -1600 nT. Η εκτιμώμενη ελάχιστη τιμή Dst κυμαίνεται περίπου από -2000 nT σε -685 nT. Αυτή η τελευταία εκτίμηση καθιστά τη καταιγίδα του Carrington συγκρίσιμη με τη θύελλα του Quebec το 1989.

Από την άλλη πλευρά, η καταιγίδα που σημειώθηκε τον Ιούλιο του 2000 στη Γαλλία, γνωστή ως συμβάν της Βαστίλης (Bastille), θεωρείται εξαιρετικά σημαντική από τότε που η Dst έφθασε σε μια ελάχιστη τιμή -301 nT, αν και δεν αναφέρθηκε καμία αποτυχία στις υποδομές. Το γεγονός αυτό με το συμβάν της Βαστίλης μας οδήγησε να προτείνουμε ότι, εκτός από ένα φυσικό σύστημα ταξινόμησης για καταιγίδες, απαιτείται κλίμακα βασισμένη στα αποτελέσματα, παρόμοια με τις κλίμακες σεισμού που υπάρχουν. Το κύριο ενδιαφέρον σχετικά με την ευπάθεια είναι να καθοριστεί ο όρος ακραία καταιγίδα ως καταιγίδα που έχει ως αποτέλεσμα σοβαρές ζημιές. Οι δείκτες ως Dst δεν κλιμακώνονται για την ποσοτικοποίηση των ζημιών. Από το 1989, οι ελάχιστες τιμές Dst που επιτεύχθηκαν ήταν -422 nT στις 20 Νοεμβρίου 2003 και -387 nT στις 31 Μαρτίου 2001. Και οι δύο καταιγίδες ήταν πιο έντονες από τη θύελλα του Οκτωβρίου 2003 (Dst = -383 nT), αλλά δεν σημειώθηκε ζημιά στις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας. Πράγματι, το Dst έφθασε κάτω από -350 nT επίσης τον Νοέμβριο του 1991 και το Νοέμβριο του 2004 και τα γεγονότα αυτά δεν θα πρέπει να επισημάνονται ως σοβαρά λόγω της έλλειψης ζημιών.

Επιπλέον, ο Love και ο Gannon (2010) αναφέρουν για την καταιγίδα 29 Οκτωβρίου 2003 μια μεγάλη ασυμμετρία στη διαταραχή χαμηλού ύψους με μήκος, που ήταν η μεγαλύτερη αξία διαφοράς διαταραχής -867 nT στις 06:57 παγκόσμιας ώρας (UT). Ωστόσο, αυτή η ασυμμετρία είναι ακόμη μεγαλύτερη στα μεσαία και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη και μπορεί να είναι ο φυσικός λόγος των διακοπών που απειλούν το ηλεκτρικό δίκτυο στην Ευρώπη ή την Αφρική, χωρίς να τις παρατηρήσουμε για επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας στην Αμερική. Παρουσιάζουν 29 χάρτες του χαμηλού γεωγραφικού πλάτους οριζόντια έντασης της μαγνητικής διαταραχής για τα έτη 1999-2006. Η εξάρτηση της διαταραχής από το γεωγραφικό πλάτος θεωρήθηκε επίσης ως πιθανή ερμηνεία για τις διαφορές στις μετρήσεις που καταγράφηκαν σε αρκετούς ρωσικούς σταθμούς κατά τη διάρκεια του γεγονότος του Σεπτεμβρίου 1859. Το γεγονός ότι οι τοπικές διαταραχές διαφέρουν σημαντικά από το ένα στο άλλο αποδεικνύει ότι ο ποσοτικός προσδιορισμός των τοπικών διαταραχών αποτελεί βασικό ζήτημα για την εκτίμηση της ζημίας στις υποδομές.

2.6.1 Στην κύρια φάση ακραίων καταιγίδων: από τον δείκτη Dst έως τα τοπικά αρχεία μαγνητομέτρων

Τα περισσότερα προβλήματα σε επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν σχέση με την κύρια φάση της γεωμαγνητικής καταιγίδα (όταν σημειώνεται η μείωση του δείκτη Dst) ή κατά τη διάρκεια της αιφνίδιας έναρξης (η οποία εμφανίζεται ως αύξηση Dst στην αρχή της καταιγίδας), δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια αυτών των φάσεων μερικά μαγνητοσφαιρικά ρεύματα ενισχύονται και το επίγειο μαγνητικό πεδίο ποικίλλει. Ο δείκτης Dst, ο οποίος εισήχθη ως μέτρηση του ρεύματος δακτυλίου που περιβάλλει τη γη, θεωρείται ως μια καλή εκτίμηση της γεωμαγνητικής διαταραχής στα μεσαία χαμηλά γεωγραφικά πλάτη. Ως παγκόσμιος δείκτης, ο δείκτης Dst αποκτάται με τον μέσο όρο των εγγραφών από διάφορα μαγνητόμετρα που βρίσκονται στα μεσαία και μικρά γεωγραφικά πλάτη που έχουν κατανεμηθεί σε γεωγραφικό μήκος.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, το Dst δεν είναι διαθέσιμο, αλλά μπορεί να ανακατασκευαστεί με παρόμοιο τρόπο. Ακολουθώντας τη μέθοδο από τον Cid, παρόμοια με τη

διαδικασία υπολογισμού Dst, ορίζουμε ένα δείκτη που ονομάζεται Dst' με τον υπολογισμό των μέσων μαγνητικών διαταραχών σε διαφορετικά παρατηρητήρια μικρού γεωγραφικού πλάτους ως εξής:

$$Dst' = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N Disturbance_i \quad (1)$$

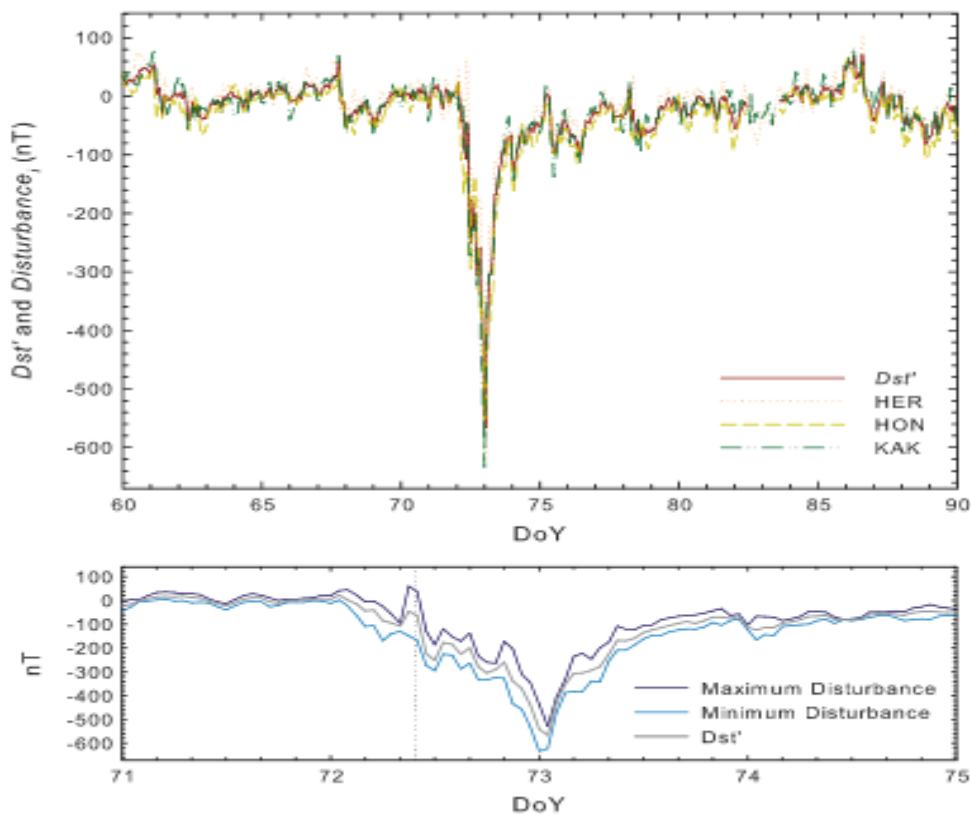
Όπου

$$Disturbance_i = \frac{H(t)_i - H_{baseline,i}}{\cos \varphi_i} \quad (2)$$

N αντιστοιχεί στον αριθμό των μαγνητικών παρατηρητηρίων που εμπλέκονται στον υπολογισμό του Dst', το i αντιπροσωπεύει κάθε παρατηρητήριο που βρίσκεται σε μαγνητικό γεωγραφικό πλάτος φ , H είναι το οριζόντιο μαγνητικό στοιχείο, $H_{baseline}$ είναι το μοντέλο ήρεμης ημέρας του στοιχείου H, όπως ορίζεται στο Cid.

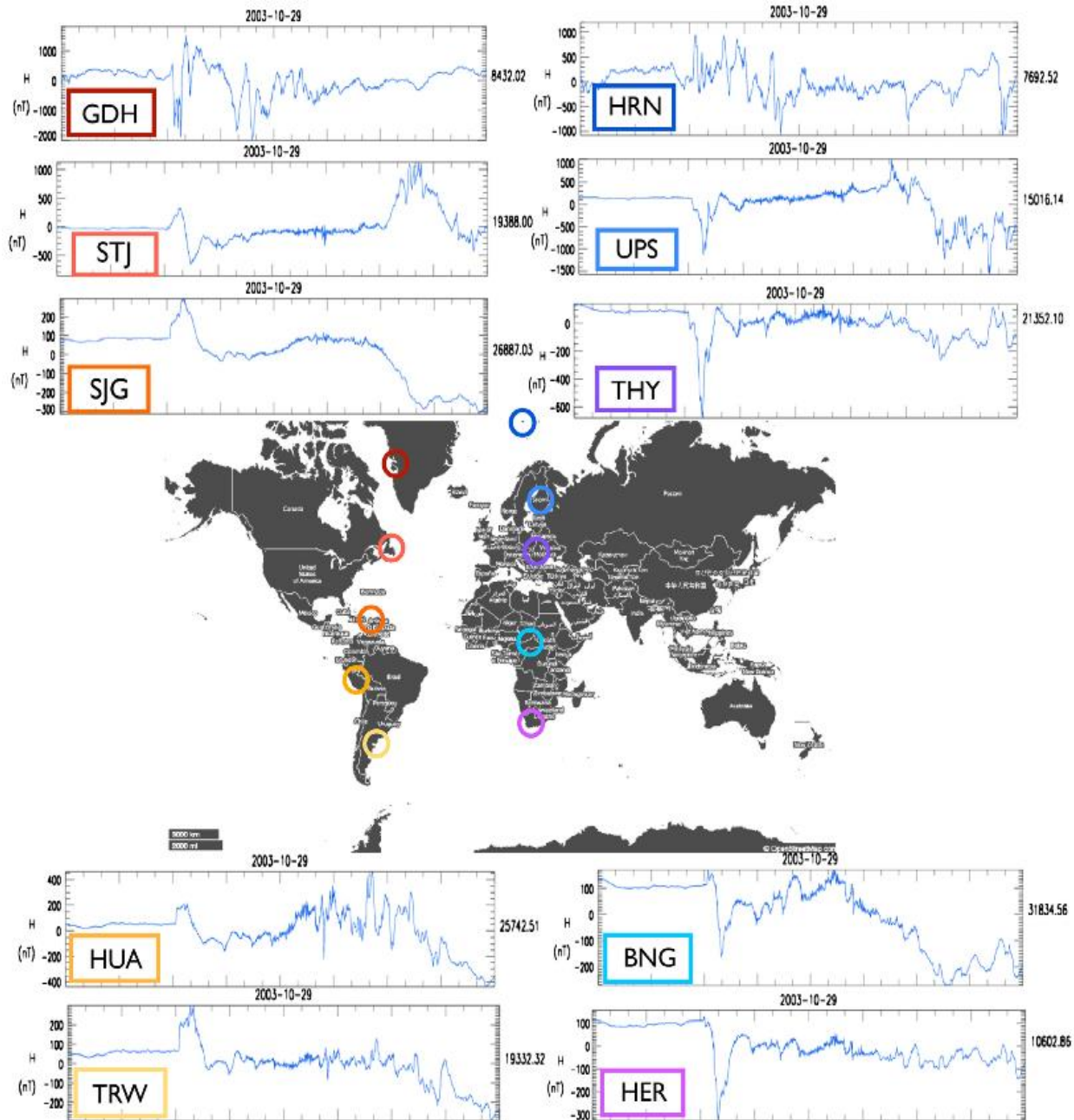
Το παρατηρητήριο i αναμένεται να παρουσιάσει διαταραχή i (Εξίσωση (2)) η οποία θα είναι παρόμοια μεταξύ τους μόνο εάν η μαγνητική διαταραχή συνδέεται με ένα περίπου συμμετρικό ρεύμα δακτυλίου. Αυτή η δήλωση είναι πολύ αλήθεια κατά τη διάρκεια της κύριας φάσης των σοβαρών καταιγίδων.

Έχουμε υπολογίσει την διαταραχή i για την ακραία γεωμαγνητική καταιγίδα τον Μάρτιο του 1989, από τα αρχεία παρατήρησης Hermanus (HER), Kakioka (KAK) και Honolulu (HON) (δεν υπάρχουν διαθέσιμες μετρήσεις από το παρατηρητήριο του San Juan (SJG)) και στην συνέχεια, το Dst' (Εξίσωση (1)). Οι διαταραχές i και Dst' φαίνονται στον άνω πίνακα στην πιο κάτω εικόνα. Το Dst' είναι πολύ παρόμοιο με το Dst που παρέχεται από το Kyoto.



Εικόνα 2-12. Κορυφή: Δείκτης Dst' και τοπικές διαταραχές καταγράφονται στα παρατηρητήρια του Hermanus, Kakioka, Honolulu για την καταιγίδα 13 Μαρτίου 1989. Δεν υπάρχουν δεδομένα από το μαγνητόμετρο San Juan. Κάτω: Δείκτης Dst' (γκρι) και τοπική μέγιστη τιμή (σκούρο μπλε) και ελάχιστη τιμή (γαλάζια) της διαταραχής i .

Ακόμη και αν η διαταραχή i από κάθε παρατηρητήριο φαίνεται να είναι παρόμοια μεταξύ τους και με το Dst , όπως εμφανίζεται στην κορυφή της οθόνης στο δεύτερο σχήμα, οι διαφορές μεταξύ διαταραχών που μετρήθηκαν σε διαφορετικά παρατηρητήρια έφτασαν περισσότερο από -200 nT σε μερικές στιγμές. Το κάτω πλαίσιο στην παραπάνω εικόνα εμφανίζει το Dst και την τοπική μέγιστη και ελάχιστη τιμή της διαταραχής i . Η διαταραχή είναι σαφώς ασύμμετρη κατά τη διάρκεια της μακράς (σχεδόν μιας ημέρας) κύριας φάσης της καταιγίδας και κατά την πρόωμη φάση ανάκαμψης. Λίγο μετά την έναρξη της μείωσης της Dst , όταν $Dst = -44$ nT, η ασυμμετρία αυξήθηκε στα -208 nT. Η μεγάλη απόκλιση από το Dst αυτή τη στιγμή οφείλεται κυρίως στη διαταραχή που καταγράφηκε στο HER περίπου στις 09:00 LT (κατακόρυφη διακεκομμένη γραμμή).



Εικόνα 2-13. Ο χάρτης δείχνει τα αρχεία H κατά μήκος δύο κύριων γεωγραφικών μήκους: 300° και 10°. Τα προφίλ του στοιχείου H είναι σαφώς διαφορετικά σε διαφορετικές τοποθεσίες στις 29 Οκτωβρίου 2003. Οι τιμές μετατόπισης εμφανίζονται στα δεξιά κάθε πίνακα.

Στα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε ότι ποσοτικά είναι διαφορετικά, αλλά οι διαταραχές i είναι όμοια ποιοτικά τον Μαρτίου του 1989. Ωστόσο, αυτό δεν είναι μια γενική περίπτωση. Για παράδειγμα, η σοβαρή καταιγίδα στις 29 Οκτωβρίου 2003 φαίνεται αρκετά διαφορετική στα παρατηρητήρια μικρού γεωγραφικού πλάτους, όπως τα HER και SJG, τα οποία συνήθως ασχολούνται με τον υπολογισμό Dst. Αυτές οι διαφορές στο σχήμα και την ένταση του προφίλ είναι ακόμα μεγαλύτερες, λαμβάνοντας υπόψη μια ποικιλία από μήκη. Ο χάρτης δείχνει

την οριζόντια συνιστώσα H κατά την 29η Οκτωβρίου 2003 (την πρώτη ημέρα της καταιγίδας του Halloween) που καταγράφηκε σε δέκα μαγνητόμετρα. Μία τιμή μετατόπισης που αντιστοιχεί στον μέσο όρο της οριζόντιας συνιστώσας H που καταγράφηκε κατά την προηγούμενη ημέρα (που φαίνεται στον δεξιό κατακόρυφο άξονα στο σχήμα) έχει ληφθεί υπόψη στην κλίμακα για να εκτιμηθεί η διαταραχή. Τα παρατηρητήρια έχουν επιλεγεί ώστε να καλύπτουν τα υψηλά, μεσαία και χαμηλά γεωγραφικά πλάτη και στα δύο ημισφαίρια για δύο διαφορετικά εύρη γεωγραφικού μήκους. Έτσι, τα HRN, UPS, THY, BNG και HER βρίσκονται σε τέτοια τοποθέτηση για να είναι το γεωγραφικό μήκος $10 \pm 10^\circ$ (στον χάρτη οι κύκλοι με κόκκινο χρώμα δείχνουν την ακριβή θέση) και GDH, STJ, SJG, HUA και TRW σε $300 \pm 15^\circ$ (σε αυτήν την περίπτωση χρησιμοποιούνται κύκλοι με μπλε σκιά). Απλώς μια πρώτη ματιά είναι απαραίτητη για να εκτιμηθεί η μεγάλη απόκλιση από την μία σε άλλη τοπική διαταραχή που καταγράφεται σε διαφορετικές θέσεις.

Αν αναλύσουμε περισσότερο τον χάρτη και τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι, τα παρατηρητήρια στο βόρειο ημισφαίριο σε γεωγραφικά μήκη κοντά στα 300° παρουσιάζουν μεγάλη διαταραχή σε μεγάλο γεωγραφικό πλάτος (περίπου -2000 nT), η οποία μειώνεται όταν μειώνεται το γεωγραφικό πλάτος. Η διαταραχή στο νότιο ημισφαίριο είναι σημαντικά μικρότερη από ό,τι στη Βόρεια για οποιοδήποτε θεωρούμενο γεωγραφικό πλάτος. Ωστόσο, σε διαστήματα κοντά στο 10° , οι διαταραχές στο βόρειο ημισφαίριο δεν μειώνονται από ψηλά σε χαμηλά γεωγραφικά πλάτη, με αποτέλεσμα την ακραία διαταραχή σχεδόν -800 nT στο Tihany (THY, γεωγραφικό πλάτος 45°). Η βόρεια και νότια ασυμμετρία παραμένει σε αυτό το γεωγραφικό μήκος.

Τα παραπάνω παραδείγματα καταδεικνύουν ότι οι παγκόσμιοι δείκτες δεν είναι επαρκείς για να ποσοτικοποίηση της γεωμαγνητικής διαταραχής ανάλογα με τον κίνδυνο. Αναφέρουν επίσης ορισμένες σημαντικές ανησυχίες σχετικά με την ύπαρξη και τη συνάφεια των τοπικών γεωμαγνητικών δεικτών. Εκτός από τον τοπικό ή παγκόσμιο χαρακτήρα του δείκτη, η χρονική επίλυση του είναι επίσης ένα σημαντικό ζήτημα. Οι δείκτες K είναι η τυπική προσέγγιση των τοπικών δεικτών. Ωστόσο, οι δείκτες K έχουν ανάλυση τριών ωρών, η οποία δεν είναι αρκετή για την παρακολούθηση γρήγορων μεταβολών/διακυμάνσεων του μαγνητικού πεδίου που εμπλέκονται σε GIC, οι οποίες αποτελούν σημαντικά αποτελέσματα των σοβαρών γεωμαγνητικών διαταραχών με συνέπειες για την κοινωνία. Απαιτούνται υψηλότεροι τοπικοί δείκτες για την αποτελεσματική κοινωνική αξιολόγηση του διαστημικού καιρού

2.7 Η συχνότητα των ακραίων καταιγίδων

Διάφορες αναφορές σημαντικών επιδείξεων από ρεύματα φωτός αποδεικνύουν ένα σημαντικό γεγονός: το συμβάν στο Carrington δεν ήταν πρωτοφανής στην ιστορία της γης. Υπήρξαν αρκετές συγκρίσιμες θύελλες και πιστεύουμε ότι το συμβάν αυτό δεν ήταν η ισχυρότερη θύελλα που έχει βιώσει η γη. Ιστορικά αρχεία των ηλιακών γεγονότων δείχνουν ότι ένα λογικό εύρος για τη μέση περίοδο επιστροφής για μια ακραία γεωμαγνητική θύελλα είναι 100-250 χρόνια. Αυτό είναι παρόμοιο με άλλα ακραία σενάρια κινδύνου, όπως οι μεγάλοι σεισμοί και εκρηκτικές ηφαιστειακές εκρήξεις.

Μεταξύ 371 και 17 π.Χ., υπήρχαν επτά θεάσεις σέλας πάνω από την Ελλάδα, την Ιταλία, και τη Νότια Γαλατία. Επτά γεγονότα πάνω από 350 χρόνια δείχνουν ότι το χαμηλότερο όριο για το διάστημα περιοδικότητας του επίπεδο Quebec και μεγαλύτερες καταιγίδες είναι 50 χρόνια. Κατά την περίοδο 1137-1648 μ.Χ. υπήρχαν δύο έντονες γεωμαγνητικές θύελλες στην Ανατολική Ασία, αναφέροντας ένα χαμηλότερο όριο στο χρονικό διάστημα υποτροπής των καταιγίδων μεγάλης κλίμακας, περίπου 250 ετών. Κατά την περίοδο 817 μ.Χ. έως 1570 μ.Χ., υπήρχαν 20 αξιόπιστες θεάσεις σέλας από την Υεμένη, το Ιράκ, την Αίγυπτο, τη Συρία και το Μαρόκο. Αυτό ορίζει ένα χαμηλότερο όριο για το διάστημα περιοδικότητας του Quebec σε επίπεδο μεγαλύτερο σε 38 χρόνια, και τα γεγονότα κλίμακας σε 151 χρόνια.

Με βάση πληροφορίες από ιστορικά αρχεία σέλας, η ενδιάμεση εκτίμηση για την περίοδο επιστροφής ενός επιπέδου είναι 150 έτη, με ένα εύλογο εύρος 100-250 ετών. Για ένα γεγονός σε επίπεδο Quebec, η περίοδος επιστροφής είναι 50 έτη, με μια λογική σειρά 35-70 ετών. Οι εκτιμήσεις αυτές συνάδουν με τις περιόδους επιστροφής που προκύπτουν από την νομοθεσία μοντελοποίηση της διανομής Dst (Dst είναι ο χρόνος θύελλας διαταραχής. Ένα μέτρο του επιπέδου γεωμαγνητικής διαταραχής σε παγκόσμια κλίμακα. Μετριέται σε μονάδες nanoTesla ή nT. Μια πιο αρνητική τιμή Dst υποδηλώνει μια ισχυρότερη θύελλα) και στατιστική ανάλυση των ιστορικών γεγονότων.

2.8 Μαγνητικό πλάτος

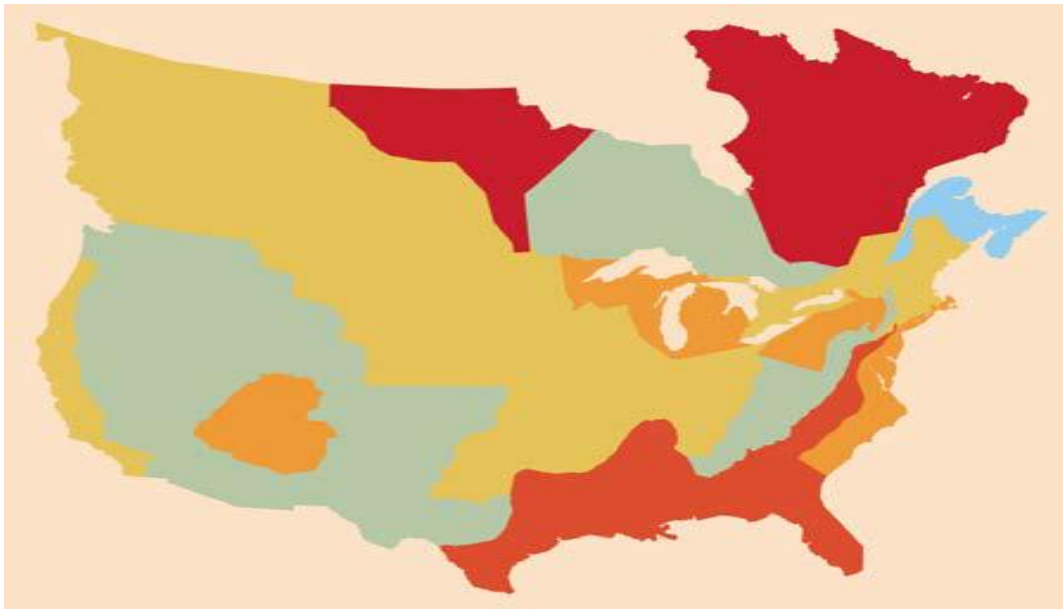
Ο κίνδυνος έντονων διακυμάνσεων του μαγνητικού πεδίου εξαρτάται έντονα από το διορθωμένο γεωμαγνητικό γεωγραφικό πλάτος (σχήμα). Κατά τη διάρκεια των λιγότερο σοβαρών μαγνητικών καταιγίδων, τα ατμοσφαιρικά ρεύματα περιορίζονται κυρίως σε υψηλά μαγνητικά γεωγραφικά πλάτη και τα συσχετίζουμε με ορατά ρεύματα φωτός. Κατά τη διάρκεια των ακραίων καταιγίδων αυτά τα ρεύματα βρίσκονται επίσης σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη, αν και ακόμα σε χαμηλότερη δύναμη από τα ρεύματα σε υψηλά γεωγραφικά πλάτη. Ακόμη και οι περιοχές του χαμηλού μαγνητικού γεωγραφικού πλάτους δεν είναι εντελώς χωρίς κίνδυνο. Για παράδειγμα κατά τη διάρκεια της Halloween θύελλας 2003, μετασηματιστές στη Νότια Αφρική υπέστη ζημία αρκετά σοβαρή για να τους αφαιρέσει από την υπηρεσία. Αυτό το μαγνητικό πλάτος (35-45 °) είναι ισοδύναμο με μαγνητικά γεωγραφικά πλάτη που καλύπτουν τις νότιες ΗΠΑ από την Καλιφόρνια στη Φλόριντα.



Εικόνα 2-14. Οι ζώνες του μαγνητικού γεωγραφικού πλάτους είναι χρωματικά κωδικοποιημένες από το πρότυπο του σχετικού κινδύνου από τις ακραίες γεωμαγνητικές θύελλες. Σκούρο και ανοιχτό μοβ αντιπροσωπεύουν περιοχές του υψηλότερου και χαμηλότερου κινδύνου, αντίστοιχα.

2.9 Διαφορές μεταξύ της αγωγιμότητας εδάφους

Ο ίδιος χρόνος μαγνητικών πεδίων δεν έχει ως αποτέλεσμα την ίδια επιφάνεια στο ηλεκτρικό πεδίο σε όλες τις περιοχές του πλανήτη. Εξαρτάται από το προφίλ της τοπικής αγωγιμότητας εδάφους. Το παρακάτω σχήμα δείχνει το σχετικό κίνδυνο που οφείλεται στις παραλλαγές του μοντέλου αγωγιμότητας εδάφους στην ηπειρωτική ΗΠΑ και τον Καναδά. Ο κίνδυνος καθορίζεται από έναν μέσο όρο των πλεονεκτημάτων ηλεκτρικών τομέων επιφάνειας που προέρχονται από πολλές διαφορετικές ιστορικές χρονικές σειρές μαγνητικών πεδίων



Εικόνα 2-15. Σχετικός κίνδυνος από ισχυρές διακυμάνσεις του ηλεκτρικού πεδίου στις ΗΠΑ και τον Καναδά με βάση τα μοντέλα αγωγιμότητας εδάφους. Το κόκκινο και το μπλε αντιπροσωπεύουν τις υψηλότερες και χαμηλότερες περιοχές κινδύνου, αντίστοιχα.

2.10 Η επίδραση στις ακτές

Οι παράκτιες περιοχές δοκιμάζουν μια αύξηση στο ηλεκτρικό πεδίο επιφάνειας λόγω της υψηλής αγωγιμότητας του θαλασσινού νερού. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ως το θαλασσινό νερό που μεταφέρουν επιπλέον επιβάρυνση, και το κοντινό, γειωμένο, μετασχηματιστές παρέχουν μια διαδρομή για το ρεύμα να ρέει. Η αύξηση από την επίδραση ακτών αυξάνεται εκθετικά προς την ακτή.

2.11 Μήκος γραμμής και χαρακτηρισμός

Η συνολική αντίσταση κατά μήκος κάθε γραμμής μετάδοσης αποτελείται από τρία συστατικά: την αντίσταση των γραμμών μετάδοσης, την εσωτερική αντίσταση των μετασχηματιστών και την αντίσταση της γείωσης των μετασχηματιστών. Οι δύο τελευταίες είναι σταθερές. Το ρεύμα που μεταφέρεται από τη γραμμή αυξάνει επίσης με την απόσταση. Επομένως, ο συνολικός κίνδυνος αυξάνεται με το συνολικό μήκος διαδρομής.

Ο τύπος πυρήνων μετασχηματιστών είναι επίσης σημαντικός για τον κίνδυνο. Ορισμένοι τύποι είναι πιο ευάλωτοι στην εσωτερική θέρμανση από άλλους. Υπάρχουν ευρείες σχέσεις του τύπου πυρήνων με kV και της εκτίμησης αυτοκινητιστών, σε γενικές γραμμές, μετασχηματιστές πάνω από 500 kV είναι ενιαία φάση, ενώ κάτω από αυτό είναι κυρίως τρεις φάσεις. Αυτό είναι σημαντικό επειδή οι μονοφασική μετασχηματιστές είναι πιο τρωτοί στην εσωτερική θέρμανση από τους τριφασικούς μετασχηματιστές δεδομένου το ίδιο επίπεδο γεωμαγνητικά προκαλούμενη ρεύμα. Οι υψηλότερες γραμμές τάσης προσφέρουν επίσης τη λιγότερη αντίσταση, και επομένως μεγαλύτερη ροή ρευμάτων σχετικά με τις χαμηλότερες γραμμές τάσης όταν εκτίθενται στους ίδιους ηλεκτρικούς τομείς επιφάνειας.

2.12 Σχετικός κίνδυνος από το νόμο

Αυτοί οι παράγοντες κινδύνου μπορούν να συνδυαστούν για κάθε EHV μετασχηματιστή (EHV είναι επιπλέον υψηλή τάση σε σχέση με μετασχηματιστές ισχύος με μέγιστη τάση διαβάθμισης μεγαλύτερη ή ίση με 345 kV) και στη συνέχεια συνοψίζεται για την εκτίμηση του σχετικού κινδύνου σύμφωνα με το νομό. Για μερικούς νόμους, η πιθανότητα ενός μέσου μετασχηματιστή που βιώνει ένα καταστρεπτικό γεωμαγνητικά προκαλούμενη ρεύμα είναι περισσότερο από 1000 φορές αυτός κίνδυνος στο χαμηλότερο νόμο κινδύνου. Οι περιοχές με τον υψηλότερο κίνδυνο είναι κατά μήκος του διαδρόμου μεταξύ της Ουάσιγκτον και της Νέας Υόρκης. Άλλες περιοχές υψηλού κινδύνου είναι η Midwest και περιοχές κατά μήκος της ακτής των κόλπων.

2.12.1 Δυναμική εκτίμηση κινδύνου

Ένας τρόπος για να κατανοήσουμε τον κίνδυνο γεωμαγνητικής θύελλας είναι να προσομοιώσουμε καταιγίδες επιπέδου και να υποβάλουμε την απόκριση του ηλεκτρικού πλέγματος. Ουσιαστικά, ένα τέτοιο πρότυπο είναι ένας συνδυασμός γεωφυσικών

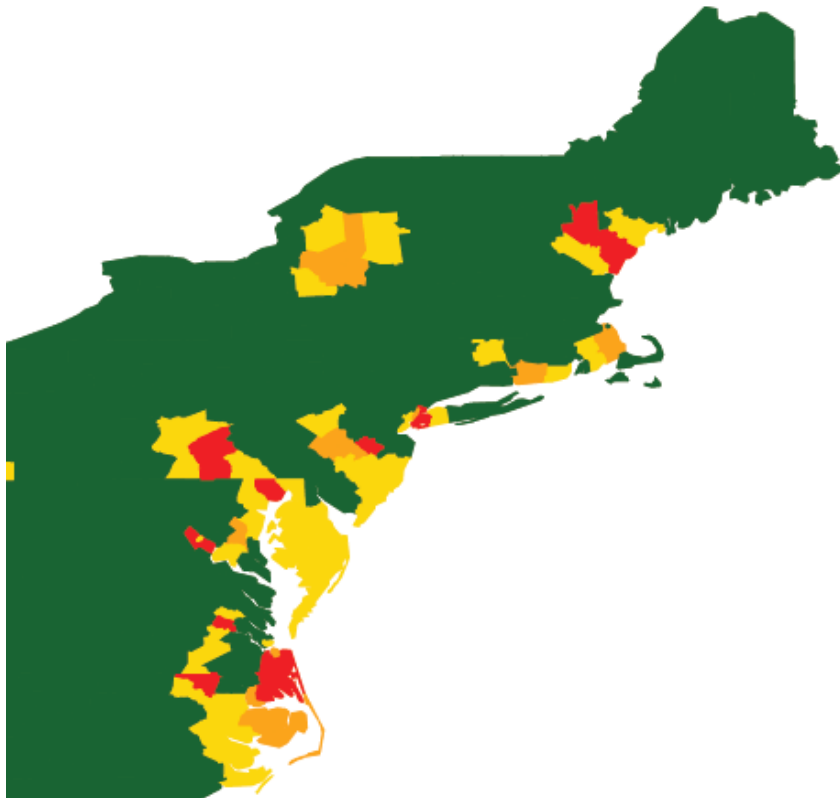
χαρακτηριστικών κινδύνου που προσομοιώνεται με έναν ρεαλιστικό τρόπο, και αρκετές πληροφορίες για τα στοιχεία πλέγματος για να δημιουργήσει τα πρότυπα της εσωτερικής θέρμανσης μετασχηματιστών, της αντιδραστικής κατανάλωσης ισχύος, και της σταθερότητας τάσης. Η σταθερότητα και η κατάρρευση τάσης κατά τη διάρκεια μιας ακραίας θύελλας είναι ιδιαίτερα σύνθετη δεδομένου ότι απαιτεί τη ροή δύναμης εναλλασσόμενου ρεύματος μέσω του πλέγματος και τις λεπτομερείς προδιαγραφές μετασχηματιστών και δεν καλύπτεται στην τρέχουσα μελέτη.

2.12.2 Σχετικοί παράγοντες κινδύνου

Η απειλή διαστημικών καιρικών συνθηκών στα πλέγματα δύναμης καθορίζεται από τους φυσικούς και τεχνολογικούς παράγοντες κινδύνου. Οι κυρίαρχοι φυσικοί παράγοντες κινδύνου είναι: διορθωμένο γεωμαγνητικό γεωγραφικό πλάτος, το σχεδιάγραμμα επίγειας αγωγιμότητας κάτω σε αρκετές εκατοντάδες μέτρα, και η απόσταση από την ακτή. Οι τεχνολογικοί παράγοντες κινδύνου περιλαμβάνουν τα χαρακτηριστικά της υποδομής, όπως: το μήκος των γραμμών μετάδοσης σύνδεσης, kV βαθμολογία των γραμμών, υψηλής τάσης (EHV= επιπλέον υψηλή τάση σε σχέση με τους μετασχηματιστές ισχύος με μέγιστη ονομαστική τάση μεγαλύτερη ή ίση με 345 kV) μετασχηματιστή εσωτερική και αντίσταση γείωσης, EHV μετασχηματιστής και η παρουσία ή η απουσία πυκνωτών που εμποδίζουν τη ροή των ρευμάτων που προκαλούνται από τα γεωμαγνητικά ρεύματα.

2.13 Σενάρια για διακοπή ρεύματος σε ολόκληρη περιοχή

Για να διερευνήσουμε σενάρια διακοπής λειτουργίας από την κομητεία, έχουμε αντλήσει μετρήσεις που χάρτη με το κλάσμα του μετασχηματιστή EHV εξυπηρετούν κάθε νομό. Το σχήμα δείχνει τα αποτελέσματα για τη σοβαρότητα της ζημίας μετασχηματιστών EHV για ένα ακραίο σενάριο θύελλας. Κόκκινο δείχνει κομητείες όπου η συντριπτική πλειοψηφία των μετασχηματιστών EHV είναι εκτός υπηρεσίας, πορτοκαλί δείχνει μια πλειοψηφία από την υπηρεσία, κίτρινο δείχνει μια μειοψηφία εκτός υπηρεσίας, και το πράσινο είναι λίγοι ή κανένας. Το κόκκινο και το πορτοκαλί είναι πιθανό να είναι χωρίς δύναμη δηλαδή να έχουν βγεί οι μετασχηματιστές εκτός λειτουργίας. Το κίτρινο είναι αβέβαιο. Πράσινο μπορεί να θεωρηθεί ότι έχει εξουσία διότι είναι η πλειοψηφία.



Εικόνα 2-16. Στην εικόνα αυτή διακρίνουμε τα αποτελέσματα των μετασχηματιστών EHV σε μια συγκεκριμένη περιοχή του χάρτη όπου είχε πραγματοποιηθεί μια δυνατή γεωμαγνητική θύελλα. Ουσιαστικά τα πράσινα σημεία είναι λίγοι ή και κανένας, το κόκκινο και το πορτοκαλί είναι ότι πιθανό να έχουν καταστραφεί και το κίτρινο είναι αβέβαιο.

Εάν τα ανταλλακτικά είναι άμεσα διαθέσιμα, η συνολική μεταφορά και ο χρόνος οργάνωσης για έναν μεγάλο μετασχηματιστή δύναμης μπορούν να κυμανθούν από μερικές εβδομάδες σε μήνες ανάλογα με την απόσταση και τα υλικοτεχνικά ζητήματα. Εάν οι νέοι μετασχηματιστές πρέπει να διαταχθούν, το χρονικό διάστημα υπολογίζεται ότι είναι μεταξύ των περίπου έως και μήνες για τους εγχώριους προμηθευτές, και 6-16 μήνες για τους διεθνείς προμηθευτές.

Ο συνολικός αριθμός των κατεστραμμένων μετασχηματιστών είναι λιγότερο σημαντική για την παρατεταμένη περιφερειακή διακοπή ρεύματος από τη συγκέντρωσή τους. Η αποτυχία ενός μικρού αριθμού μετασχηματιστών που εξυπηρετούν μια πυκνοκατοικημένη περιοχή είναι αρκετή για να δημιουργήσει μια κατάσταση παρατεταμένης διακοπής ρεύματος. Έτσι, ενώ οι θύελλες ασθενέστερη από του Carrington, αλλά ισχυρότερη από ό, τι το Quebec, θα μπορούσε να οδηγήσει σε μικρότερο αριθμό κατεστραμμένων μετασχηματιστών περίπου 10-20, η δυνατότητα συγκέντρωσης των ζημιών κατά μήκος των ακτών του Ατλαντικού είναι εξαιρετικά.

2.14 Εκτίμηση απειλών από μια εργαστηριακή μελέτη

Το 2007 η Γαλλία προκειμένου να λάβει τεκμηριωμένη απόφαση σχετικά με οποιοδήποτε είδος κινδύνου, μια οργάνωση απαιτεί κάποια εξέταση της συχνότητας ενός ανεπιθύμητου γεγονότος (όπως για παράδειγμα έναν φυσικό κίνδυνο) ή των δεικτών ότι ένα γεγονός μπορεί να εμφανιστεί (όπως για παράδειγμα μια τρομοκρατική επίθεση). Για τις γεωμαγνητικές καταιγίδες είναι πολύ δύσκολο στην τρέχουσα χρονική περίοδο τουλάχιστον να αξιολογηθεί το μέγεθος της γιατί υπάρχει έλλειψη για την εκχώρηση οποιουδήποτε είδους. Μια εθνική εργαστηριακή μελέτη που έγινε αναγνώρισε αυτό που προείπαμε δηλαδή την έλλειψη διορατικότητας των απειλών. Περιγράφει τον κύκλο 11 ετών των γεωμαγνητικών διαταραχών που δίνει κάποια εικόνα για το πότε να αναμένουν μέγιστη ηλιακή δραστηριότητα, αλλά προειδοποιεί ότι δεν υπάρχει ακριβής μέθοδος γι' αυτό. Όμως πιστεύουν ότι είναι διαθέσιμη σήμερα να προβλέψουν είτε την έναρξη ή το μέγεθος μιας γεωμαγνητικής διαταραχής. Σε μια ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στον τομέα της ηλεκτρικής ενέργειας των ΗΠΑ (2007) δήλωσε ότι μια γεωμαγνητική θύελλα με αρκετά σοβαρές επιπτώσεις στην γη δεν είναι μηδενικής πιθανότητας, δηλαδή άοριστα μπορεί να ξανά συμβεί οποιαδήποτε στιγμή. Η δήλωση αυτή είναι αληθής αλλά δεν παρέχει ουσιαστική διορατικότητα στους φορείς λήψης αποφάσεων. Ο καθηγητής Molinski και οι συνεργάτες του επιχείρησαν να θέσουν μια συχνότητα σε σοβαρά γεωμαγνητικά συμβάντα για ένα σύνολο 22 χρόνια ηλιακό κύκλο με βάση το γεωγραφικό πλάτος. Υπολόγισαν την πιθανότητα εμφάνισης γεωμαγνητικών καταιγίδων στις νότιες περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών και επίσης έκανε μελέτη για την σοβαρότητα και το μέγεθος των επιπτώσεων.

Στο πανεπιστήμιο Gannon κατάφεραν μετά από πολλές μελέτες να διαμορφώσουν τα στοιχεία από το 1958 έως το 2007 για να αναπτύξουν τις εκτιμώμενες συχνότητες για τις γεωμαγνητικές θύελλες των διαφορετικών μεγεθών. (βλέπουμε στον πίνακα1) Τονίζουν επίσης ότι χωρίς την κατάρτιση των στατιστικών χρόνου θύελλας διαταραχών (Dst) από ένα μακρύτερο χρονικό διάστημα είναι αρκετά δύσκολο να πούμε αν αυτές οι εκτιμήσεις είναι λογικές και ότι ισχύουν. Επίσης πρέπει να σημειώσουμε τη διαφορά σε μονάδες μεταξύ θερινής ώρας στα nanoTesla σε nT/min. Ο δείκτης χρόνου θύελλας διαταραχής μετρά την ένταση των γεωμαγνητικών καταιγίδων στις μονάδες nanoTesla, το οποίο μετριέται σε nT/sec, το οποίο είναι το μαγνητικό συστατικό του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. ΑΥΤΟΣ Ο ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΟΥ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΣΑΝΕ ΣΤΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΕΝ ΓΝΩΡΙΖΟΥΜΕ ΑΝ ΙΣΧΥΕΙ.

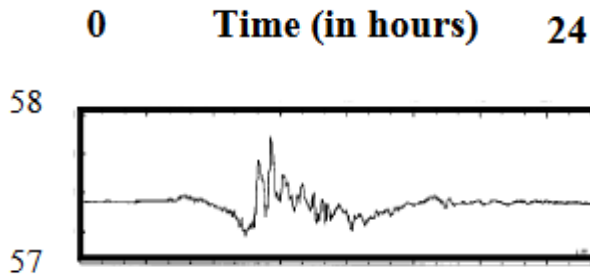
Strength of the Storm (nanoTesla)	Frequency
> 100	4.6 per year
> 200	9.4 per 10 years
> 400	9.73 per 100 years
> 800	2.86 per 1,000 years
> 1,600	7.41 per 1,000,000

2.15 Έρευνα για μαγνητικές καταιγίδες από το έδαφος

Οι ηλιακές καταιγίδες επηρεάζουν τις ιδιότητες μεγάλης κλίμακας του γεωμαγνητικού πεδίου, αλλά οι επιδράσεις τους μπορούν επίσης εύκολα να εντοπιστούν στο έδαφος. Εδώ και αρκετά χρόνια, πολλά μαγνητικά παρατηρητήρια έχουν ανατεθεί σε όλο τον κόσμο για να παρακολουθούν τις επιφανειακές συνθήκες της γης. Τα δεδομένα από τις διάφορες έρευνες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να εξεταστεί το τι συμβαίνει όταν οι ηλιακές καταιγίδες φθάνουν στη γη. Με την ανάλυση των γραφικών δεδομένων θα μπορέσουμε να καταλάβουμε το μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο της γης μέσω κάποιον κομματιών γης. Η διαδικασία που πρέπει να ακολουθήσουμε είναι η εξής και ασχολούμαστε με το κομμάτι του Καναδά :

1. Αναλύστε το γράφημα μαγνητικής έντασης για κάθε σταθμό και προσδιορίστε τη διαφορά μεταξύ σταθερής δραστηριότητας και τη μεγαλύτερη διαφορά στην αλλαγή της δραστηριότητας (μεγαλύτερη κορυφή), είτε θετική είτε αρνητική. Οι μονάδες μαγνητικής έντασης είναι σε micro Tesla, συντομογραφία "μΤ".
2. Βρείτε την ποσοστιαία αλλαγή για κάθε σταθμό. Η απάντηση πρέπει να είναι στο πλησιέστερο εκατοστό του ποσοστού.
3. Τύπος : $\% = \frac{(max-stable)}{stable} \times 100$

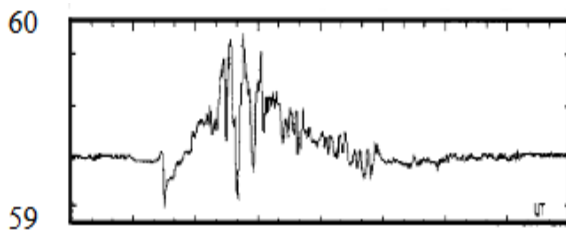
- 1^{ος} Σταθμός : Meanook



Γεωγραφικό πλάτος: 54,6 Βόρεια
 Γεωγραφικό μήκος: 113,3 Δυτικά
 Χρόνος: 8:00 Τοις εκατό: 0,70

$$\% = \frac{(57,7 - 57,3)}{57,3} \times 100 = \underline{0,7}$$

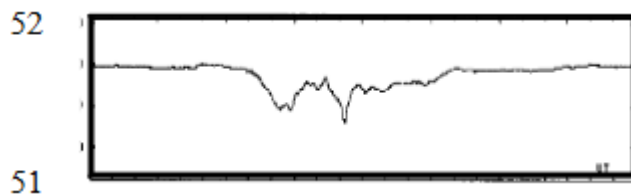
- 2^{ος} Σταθμός : Fort Churchill



Γεωγραφικό πλάτος: 58,8 Βόρεια
 Γεωγραφικό μήκος: 94,1 Δυτικά
 Χρόνος: 8:00 Τοις εκατό: 0,85

$$\% = \frac{(59,8 - 59,3)}{59,3} \times 100 = \underline{0,85}$$

- 3^{ος} Σταθμός : Victoria



Γεωγραφικό πλάτος: 48,5 Βόρεια

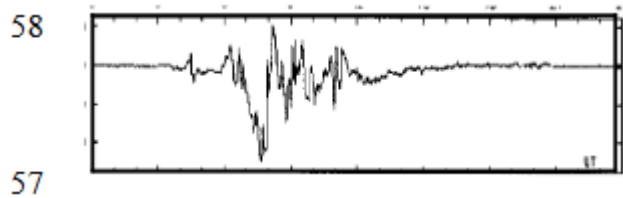
Γεωγραφικό μήκος: 123.4 Δυτικά

Χρόνος: 11:00

Τοις εκατό:0.58

$$\% = \frac{(51.8 - 51.5)}{51.5} \times 100 = \underline{0.58}$$

- 4^{ος} Σταθμός : Poste de la Baleine



Γεωγραφικό πλάτος: 55,3 Βόρεια

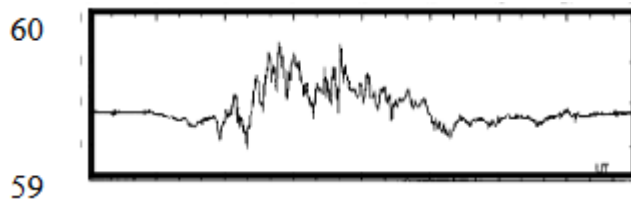
Γεωγραφικό μήκος: 77.8 Δυτικά

Χρόνος: 7:30

Τοις εκατό:1.05

Με τον ίδιο τρόπο

- 5^{ος} Σταθμός : Yellowknife



Γεωγραφικό πλάτος: 62,4 Βόρεια

Γεωγραφικό μήκος: 114.5 Δυτικά

Χρόνος: 8:00

Τοις εκατό:0.60

$$\% = \frac{(59.7 - 59.3)}{59.3} \times 100 = \underline{0.60}$$

2.16 Η κίνηση του μαγνητικού πόλου

Ο μαγνητικός βόρειος πόλος έχει καταγραφεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων εκατοντάδων χρόνων. Ο πόλος μετατοπίζεται μεταξύ 1 και 20 χιλιομέτρων / έτος. Η πλοήγηση με πυξίδα είναι ιδιαίτερα δύσκολη κατά τη διάρκεια μιας μαγνητικής καταιγίδας. Η πυξίδα μπορεί να μετατοπιστεί κατά 10 βαθμούς ή περισσότερο μέσα σε λίγες ώρες, έτσι είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την σημερινή θέση του πόλου. Αυτή η διαδικασία και οι υπολογισμοί έγιναν από κάποιους καθηγητές και κάποιους εθελοντές.

Αρχικά πρέπει να υπολογιστεί η ταχύτητα με τον παρακάτω τύπο :

$$\text{Ταχύτητα} = \frac{\text{Πίνακας Αποστάσεων}}{\text{Διαφορές στα έτη}}$$

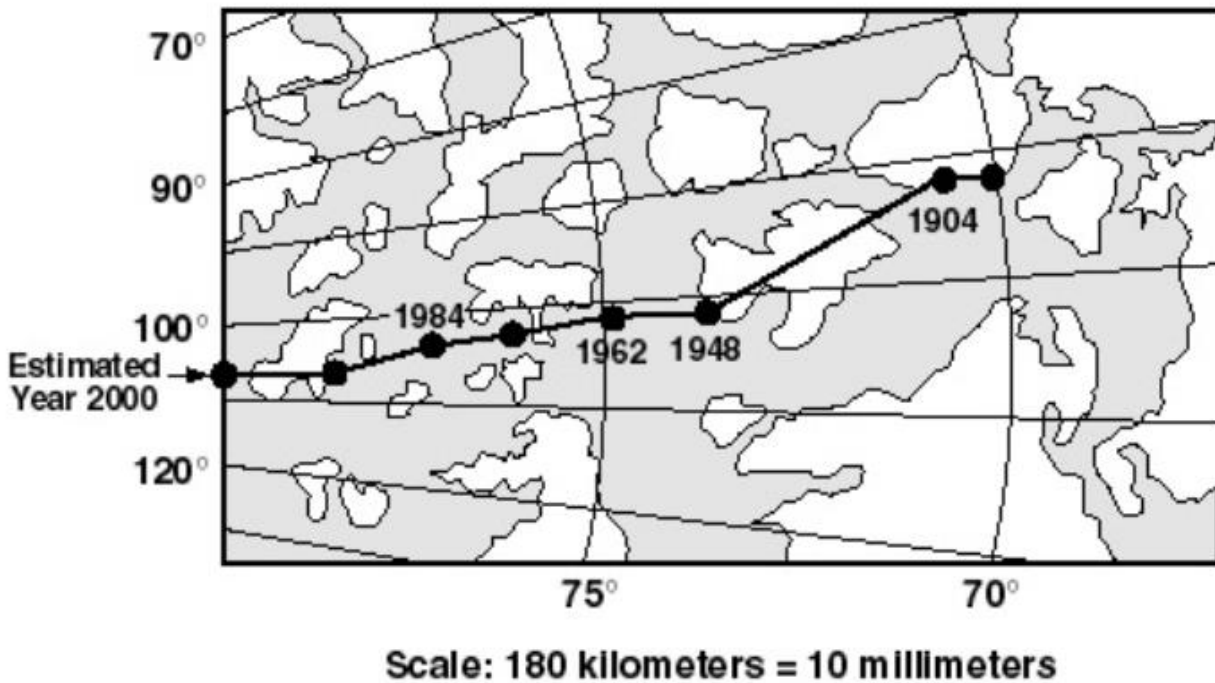
Ο Μαγνητικός Βόρειος Πόλος δεν έχει καθοριστεί σε συγκεκριμένη γεωγραφική θέση, αλλά μεταβαίνει από έτος σε έτος. Η πρόβλεψη πρέπει να βασίζεται στην ταχύτητα και την απόσταση που έχει μετατοπίσει ο Μαγνητικός Βόρειος Πόλος σε προηγούμενα χρόνια.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 ΈΧΟΥΜΕ ΤΟΝ ΠΑΡΑΚΑΤΩ ΠΙΝΑΚΑ ΚΑΙ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΙ Η ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΣΕ ΚΑΘΕ ΧΡΟΝΟ (ΔΗΛΑΔΗ ΑΠΟ ΤΟ 1831 ΜΕΧΡΙ 1994 ΓΙΑ ΝΑ ΒΡΟΥΜΕ ΤΟΥ 2000).

Έτος	Γεωγραφικό μήκος	Γεωγραφικό πλάτος	Απόσταση (Km)	Ταχύτητα (Km/έτος)
1831	96.5	70.1		
1904	96.2	70.5	50	<u>0.7</u>
1948	101.1	73.8	420	<u>9.5</u>
1962	100.8	75.0	150	<u>10.7</u>
1973	101.3	76.1	120	<u>10.9</u>
1984	102.1	77.2	120	<u>10.9</u>
1994	104.0	78.5	180	<u>18.0</u>

- Για το πρώτο διάστημα μεταξύ 1831 και 1904, ο βόρειος μαγνητικός πόλος κινήθηκε 50 χιλιόμετρα. Η διαφορά των ετών είναι 1904-1831 = 73 χρόνια, επομένως η ταχύτητα κατά τη διάρκεια αυτού του διαστήματος είναι : ταχύτητα = $50/73=0,7 \text{ km/έτος}$
- Για το δεύτερο διάστημα μεταξύ 1904 και 1948 ο βόρειος μαγνητικός πόλος κινήθηκε 420 χιλιόμετρα. Η διαφορά των ετών είναι 1904- 1948=44 χρόνια, επομένως η ταχύτητα κατά τη διάρκεια αυτού του διαστήματος είναι : ταχύτητα= $420/44= 9,5 \text{ km/έτος}$
- Για το δεύτερο διάστημα μεταξύ 1948 και 1962 ο βόρειος μαγνητικός πόλος κινήθηκε 150 χιλιόμετρα. Η διαφορά των ετών είναι 1948- 1962=14 χρόνια, επομένως η ταχύτητα κατά τη διάρκεια αυτού του διαστήματος είναι : ταχύτητα= $150/14= 10,7 \text{ km/έτος}$
- Για το δεύτερο διάστημα μεταξύ 1962 και 1973 ο βόρειος μαγνητικός πόλος κινήθηκε 120 χιλιόμετρα. Η διαφορά των ετών είναι 1962- 1973=11 χρόνια, επομένως η ταχύτητα κατά τη διάρκεια αυτού του διαστήματος είναι : ταχύτητα= $120/11= 10,9 \text{ km/έτος}$

- Για το δεύτερο διάστημα μεταξύ 1973 και 1984 ο βόρειος μαγνητικός πόλος κινήθηκε 120 χιλιόμετρα. Η διαφορά των ετών είναι 1973- 1984=11 χρόνια, επομένως η ταχύτητα κατά τη διάρκεια αυτού του διαστήματος είναι : $\text{ταχύτητα} = 120/11 = \underline{10,9 \text{ km/έτος}}$
- Για το δεύτερο διάστημα μεταξύ 1984 και 1994 ο βόρειος μαγνητικός πόλος κινήθηκε 180 χιλιόμετρα. Η διαφορά των ετών είναι 1984- 1994=10 χρόνια, επομένως η ταχύτητα κατά τη διάρκεια αυτού του διαστήματος είναι : $\text{ταχύτητα} = 180/10 = \underline{18 \text{ km/έτος}}$



Εικόνα 2-17. Έτσι καταλήξανε από τα δεδομένα και από τους υπολογισμούς να σχεδιάσουν μια πρόβλεψη για τη θέση του βόρειου μαγνητικού πόλου για το έτος 2000.

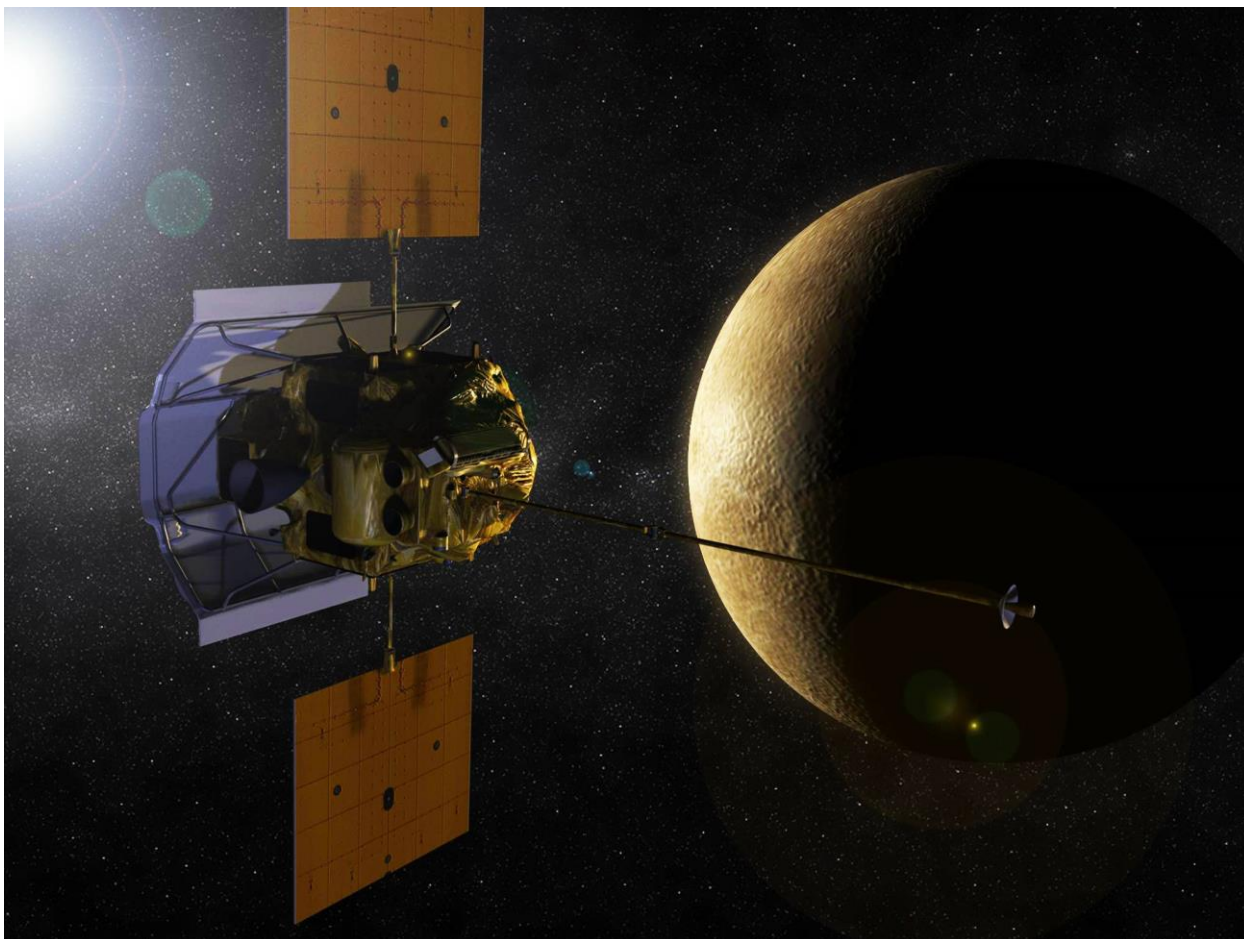
2.17 Νέα έρευνα για την πρόβλεψη της εισόδου και των επιπτώσεων των ηλιακών καταιγίδων

Όταν ο ήλιος εκτοξεύσει ένα δισεκατομμύριο τόνους σωματιδίων υψηλής ενέργειας και μαγνητικών πεδίων στο διάστημα με ταχύτητες πάνω από ένα εκατομμύριο μίλια την ώρα καθώς και οι συνθήκες του διαστημικού καιρού είναι ορθές, η γεωμαγνητική καταιγίδα που προκύπτει στην γη μπορεί να προκαλέσει το χάος στην επικοινωνία, την πλοήγηση συστημάτων, στα ηλεκτρικά δίκτυα και θέτουν σε σημαντικό κίνδυνο την ακτινοβολία για τους αστροναύτες, τους επιβάτες και το πλήρωμα των αεροπορικών εταιρειών. Έτσι πρωταρχικός στόχος από τους ερευνητές είναι η ικανότητα πρόβλεψης για το πότε θα εμφανιστεί η καταιγίδα αυτή.

Οι ερευνητές του κέντρου επιστημών διαστήματος του πανεπιστημίου του New Hampshire (Νιου Χάμσαϊρ SSC) προσθέτουν μερικά ισχυρά εργαλεία για την πρόβλεψη, χρησιμοποιώντας δεδομένα από την NASA. Ένα από αυτά τα δεδομένα είναι ένα διαστημικό σκάφος το οποίο ονομάζεται Messenger που περιστρέφεται γύρω από τον πιο εσωτερικό πλανήτη του Ηλιακού μας συστήματος, τον Ερμή. Ο μεταδιδακτορικός ερευνητής του πανεπιστημίου Reka Winslow και οι συνεργάτες του χρησιμοποιούν παρατηρήσεις από το διαστημικό σκάφος Messenger για να ερευνήσουν τις ισχυρές στεφανιαίες μαζικές εκτινάξεις (CME) του ήλιου, σε μια προσπάθεια να εντοπίσουν και να αναλύσουν την εξέλιξη αυτών των ηλιακών καταιγίδων και να βελτιώσουν την πρόβλεψη των χρόνων άφιξης τους στη γη. Τα δεδομένα που προκύπτουν από το διαστημικό σκάφος παρουσιάζουν μια μοναδική ευκαιρία για να μελετήσουν την εξέλιξη των γεωμαγνητικών καταιγίδων καθώς επεκτείνονται και πλησιάζουν προς τα έξω πολύ πριν φτάσουν στην γη.

Ο Reka Winslow αναφέρει ότι οι παρατηρήσεις του συγκεκριμένου διαστημικού σκάφους δεν έχουν εξαντληθεί ακόμα για δεδομένα σχετικά με τις γεωμαγνητικές καταιγίδες, γι' αυτό είναι πολύ σημαντικό για την επιστημονική κοινότητα που τα δεδομένα αυτά υπάρχουν και είναι ακόμα και τώρα στην διάθεση μας. Ωστόσο τα δεδομένα αυτά θα βοηθήσουν τους επιστήμονες να προετοιμαστούν για τις αποστολές της NASA στο εσωτερικό ηλιακό σύστημα περίπου για τα επόμενα πέντε χρόνια.

Ένα βασικό, αρχικό εύρημα από τα δεδομένα του μαγνητομέτρου του Messenger αφορά την ταχύτητα και την επιβράδυνση των CME μετά την εκτόξευσή τους από τον ήλιο. Το αρνητικό είναι ότι σήμερα, οι επιστήμονες δεν γνωρίζουν ακριβώς πού κατά μέσον όρο οι CME σταματούν να επιβραδύνουν και να συνεχίζουν προς τη Γη με σταθερή ταχύτητα. Από τα στοιχεία του Messenger γνωρίζουμε ότι η φάση επιβράδυνσης συνεχίζει πέρα από την τροχιά του Ερμή και σταματά πριν φτάσει στη Γη, αλλά εκεί που φθάνει σε αυτό το σημείο σταθερής ταχύτητας είναι ασαφής. Ο Winslow αναφέρει ότι αν θέλουμε να μπορούμε να προβλέψουμε με μεγαλύτερη ακρίβεια τους χρόνους άφιξης του CME στη γη, θα πρέπει να έχουμε καλύτερη αντιμετώπιση στην επιβράδυνση των CME πέρα από την τροχιά του πλανήτη Ερμή.



Εικόνα 2-18. Το διαστημικό σκάφος Messenger όπου ελέγχει το μαγνητικό πεδίο του Ερμή και με αυτόν τον τρόπο λαμβάνουμε στην γη τις παρατηρήσεις για την πρόβλεψη των μαζικών εκτινάξεων από τον ήλιο.

2.18 Έρευνα επιστημών στη φάση ανάκαμψης γεωμαγνητικών καταιγίδων και ο λόγος μοντελοποίησης του συμβάν της καταιγίδας του Carrington

Αναλύθηκε η φάση ανάκαμψης των μεγαλύτερων μαγνητικών καταιγίδων που συνέβησαν από το 1857 από τον Πίνακα 2. Δεν είναι δυνατή η αναπαραγωγή της αποκατάστασης αυτών των μαγνητικών αρχείων με εκθετική συνάρτηση, αυτοί οι συγγραφείς έλεγξαν αν τα συμβάντα που αναφέρονται από τους σταθμούς χαμηλού γεωγραφικού πλάτους συμμορφώνονται με τη λειτουργία που προτείνεται από τους J. Aguado, C. Cid, E. Saiz, και Y. Cerrato. Αυτή η λειτουργία που προτείνεται από τους παραπάνω επιστήμονες, αναφέρει ότι μια υπερβολική αποσύνθεση για τη φάση ανάκαμψης του Dst για έντονες καταιγίδες, δίνεται από την ακόλουθη έκφραση:

$$Dst(t) = \frac{Dst_0}{1 + \frac{t}{\tau_h}} \quad (1)$$

Όπου Dst_0 είναι η ελάχιστη τιμή του δείκτη Dst που φτάνει στο $t=0$ (όταν ξεκινά η φάση ανάκαμψης) και t_h ο χαρακτηριστικός χρόνος αποκατάστασης. Ο χρόνος αποκατάστασης της υπερβολικής συνάρτησης, t_h , αντιπροσωπεύει το χρόνο που απαιτείται για να φτάσουμε στο μισό της αρχικής τιμής (αρχική τιμή ως Dst_0). Μια εμπειρική σχέση προτάθηκε επίσης για τον χρόνο αποκατάστασης ανάλογα με την ένταση της καταιγίδας (που ποσοτικοποιείται από Dst_0). Με αυτό τον τρόπο, η συνάρτηση υπερβολικής αποσύνθεσης παρέχει δύο σημαντικά πλεονεκτήματα όταν συγκρίνεται με την εκθετική:

- 1) εγκαθιστά καλύτερα τα πειραματικά στοιχεία, εξετάζοντας την εξάρτηση του χρόνου αποκατάστασης στην ένταση
- 2) οδηγεί σε μια μη γραμμική εξάρτηση του $dDst/dt$ κατά Dst , που συνάδει με διάφορες διαδικασίες απώλειας που εμπλέκονται σε διαφορετικά στάδια της φάσης ανάκαμψης του συστήματος του μαγνητοσφαιρικού ρεύματος.

Η αξία του υπερβολικού μοντέλου για την αναπαραγωγή αυτών των πειραματικών δεδομένων βρίσκεται στη φυσική κάτω από την υπερβολική συνάρτηση. Αυτή η μαθηματική συνάρτηση αναπαράγει εκείνες τις φυσικές διεργασίες όπου υπάρχει ένας μη σταθερός βαθμός μείωσης ενός μεγέθους και, μια μη γραμμική σύζευξη του μετασχηματισμού με την αλλαγή της πραγματικής πραγματικότητας. Ένα παράδειγμα αυτής της συμπεριφοράς σε διαφορετικό κλάδο για την καλύτερη κατανόηση της είναι η διαδικασία εκμάθησης μιας ξένης γλώσσας είναι ένα παράδειγμα αυτής της υπερβολικής συμπεριφοράς: στην αρχή, ο σπουδαστής μαθαίνει πολύ κάθε μέρα, αλλά μετά από λίγο καιρό που μαθαίνει τη γλώσσα, μια ελαφριά βελτίωση στις δεξιότητες απαιτεί μεγάλη προσπάθεια. Με τον ίδιο τρόπο, οι απώλειες ενέργειας στην μαγνητόσφαιρα μπορεί να μην είναι ανάλογες με το ίδιο το ενεργειακό περιεχόμενο, όπως υποδεικνύεται από μια εκθετική αποσύνθεση αλλά ανάλογη προς το τετράγωνο του ενεργειακού περιεχομένου, όπως υποδεικνύεται από την υπερβολική συνάρτηση.

Η υπερβολική συνάρτηση προτάθηκε αρχικά για τον δείκτη Dst , αλλά ο δείκτης αυτός δεν ήταν διαθέσιμος για τις μεγαλύτερες μαγνητικές καταιγίδες που καταγράφηκαν ποτέ. Έτσι, οι επιστήμονες εκτιμούν ότι ο δείκτης Dst είναι αυτό που ονομάζεται LDi (Local Disturbance index = Δείκτης Τοπικής Διαταραχής).

Ο δείκτης αυτός περιλαμβάνει όχι μόνο τη διαταραχή του H σε συγκεκριμένο σταθμό αλλά και δύο διορθώσεις που έπρεπε να ληφθούν υπόψη:

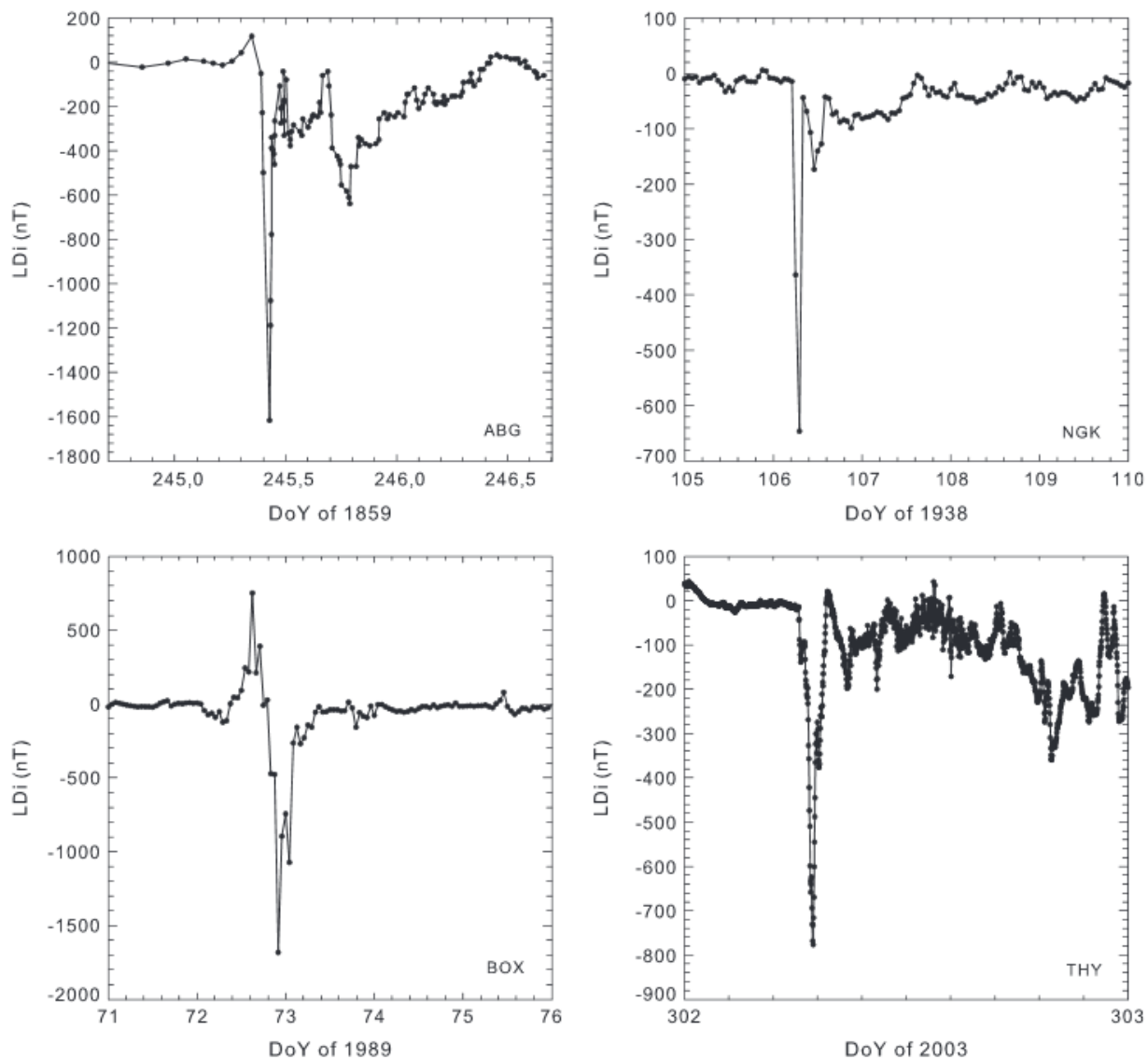
- 1) το μαγνητικό γεωγραφικό πλάτος του παρατηρητηρίου για την ομαλοποίηση του δείκτη στον διπολικό ισημερινό
- 2) και την τοπική ώρα του μαγνητομέτρου. Αυτή η τελευταία διόρθωση είναι η κύρια διαφορά μεταξύ LDi και διαταραχής i όπως ορίστηκε παραπάνω.

Τα αποτελέσματα που εξασφαλίσαμε από τους J. Aguado, C. Cid, E. Saiz, και Y. Cerrato αποκάλυψαν την υψηλή ακρίβεια της συνάρτησης της υπερβολικής αποσύνθεσης για την αναπαραγωγή της φάσης ανάκαμψης μετά από μια ακραία καταιγίδα από τοπικά μαγνητικά αρχεία. Επίσης, απέδειξαν ότι η σχέση μεταξύ των δύο παραμέτρων που εμπλέκονται στην υπερβολική αποσύνθεση (t_h και Dst_0) δεν ήταν μια γραμμική συνάρτηση, υποδηλώνοντας μια εκθετική τάση. Αυτή η λειτουργία προτάθηκε κυρίως από τον μικρό χρόνο ανάκτησης που είχε αποκτηθεί για τη θύελλα Carrington, 8,4 λεπτά, εντελώς διαφορετικό από τα άλλα γεγονότα που αναλύθηκαν σε αυτό το έργο, τα οποία κυμαίνονταν από 3,5 έως 8,4 ώρες. Έτσι, η καταιγίδα του Carrington δεν ήταν μόνο μοναδική λόγω της μεγάλης διαταραχής που καταγράφηκε στο παρατηρητήριο της Colaba, αλλά και λόγω της πολύ γρήγορης ανάκαμψής της, η οποία παρατηρήθηκε ως βασικός παράγοντας για τη θεωρητική μοντελοποίηση. Παρόλα αυτά, αυτό το

εξαιρετικό χαρακτηριστικό μπορεί επίσης να σχετίζεται με το γεγονός ότι κατά την ανάλυση ελήφθησαν υπόψη τα τοπικά μαγνητικά αρχεία.

Άλλα παραδείγματα αυτής της φάσης ανάκαμψης λιγότερο από μία ώρα μπορούν να ανακαλυφθούν μόνο με τον έλεγχο μεμονωμένων μαγνητικών αρχείων των ακραίων διαταραχών: 16 Απριλίου 1938 στο Niemegek (NGK), 14 Μαρτίου 1989 στο Borok (BOX) και 29 Οκτωβρίου 2003 στο Tihany (THY).

Στο παρακάτω σχήμα, στην επάνω αριστερή πλευρά εμφανίζεται το LDi για το Colaba κατά τη διάρκεια της γεωμαγνητικής καταιγίδας του Carrington και άλλα τρία συμβάντα που αναφέρονται παραπάνω στα τοπικά παρατηρητήρια. Εδώ LDi δεν έχει συμπεριλάβει το γεωγραφικό πλάτος και τις διορθώσεις σε τοπικό χρόνο, επειδή στόχος στην προκειμένη περίπτωση είναι να μελετήσει τις τοπικές διαταραχές και να μην αποκτήσει έναν παγκόσμιο δείκτη (όπως δείκτες Dst ή Dst') ούτε να συγκρίνει τις διαταραχές σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη (βέβαια με τη διόρθωση σε τοπικό χρόνο).

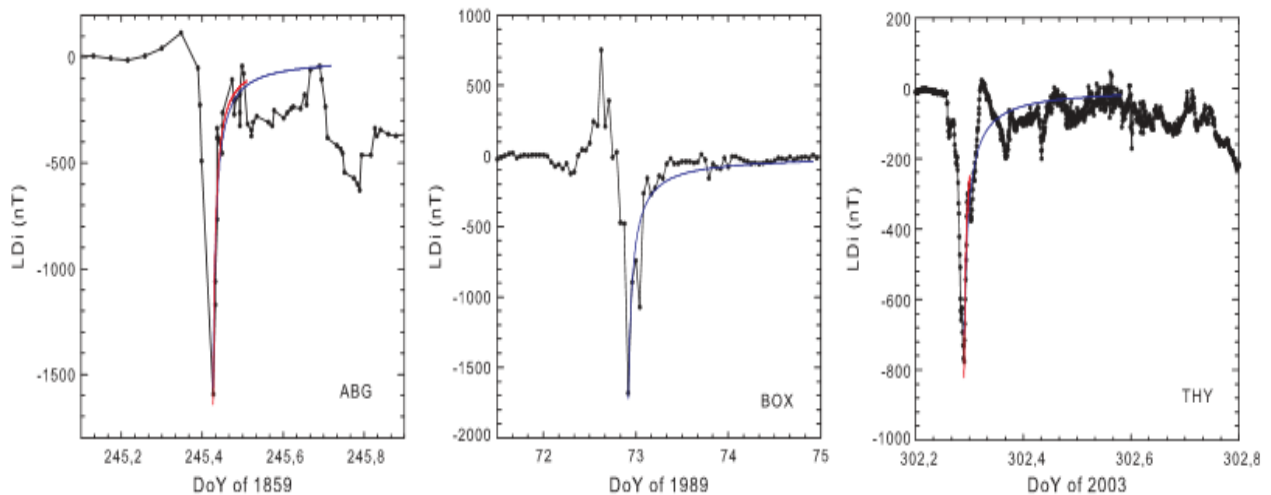


Εικόνα 2-19. Η υπολογιζόμενη τιμή LDI για τα γεγονότα του Σεπτεμβρίου 1859 στην ABG, Απρίλιος 1938 στο NGK, Μάρτιος 1989 στο BOX και Οκτώβριος 2003 στην THY. Κοιτώντας από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω.

Κατά τη διάρκεια της εκδήλωσης στις 16 Απριλίου 1938 (δεξιά δεξιά στήλη) στο NGK, η ωριαία ανάλυση LDI σε αυτόν τον σταθμό ανακτήθηκε από -646 nT στις 7 UT (Universal Time= Παγκόσμια ώρα) σε -43 nT στις 8 UT, καταστρέφοντας και πάλι σαν μια καταιγίδα δύο βημάτων. Πιο πρόσφατα, κατά τη διάρκεια των 13 Μαρτίου 1989, άλλα μαγνητόμετρα στα μεσαία υψηλά γεωγραφικά πλάτη όπως το BOX κατέγραψαν μεγαλύτερες διαταραχές από εκείνες του KAK. Η υπολογιζόμενη τιμή LDI για BOX (κάτω αριστερό πλαίσιο) κατέγραψε μέγιστη τιμή -1684 nT. Στη συνέχεια ανακτήθηκε σχεδόν -1000 nT σε 1 ώρα, μειώνοντας και πάλι σε -1075 nT, αναπτύσσοντας μια καταιγίδα διπλού βήματος. Τέλος, οι ήρεμες τιμές χρόνου ανακτώνται 5 ώρες μετά τη μεγαλύτερη διαταραχή. Επίσης, κάποια τοπικά μαγνητικά αρχεία για

την καταιγίδα του Οκτωβρίου 2003 παρουσιάζουν παρόμοια φάση ανάκαμψης. Συγκεκριμένα, τα μαγνητικά αρχεία THY (κάτω δεξιά στην εικόνα 2-19) παρουσιάζουν ανενόχλητες τιμές 45 λεπτά μετά τη μέγιστη διαταραχή ($LDi = -777$ nT), κάτι που μοιάζει εξαιρετικά με τη καταιγίδα στο Carrington.

Η υπερβολική συνάρτηση χρησιμοποιείται για την προσαρμογή της LDi για τις περιπτώσεις που παρουσιάζονται στην εικόνα 2-20. Τα αποτελέσματα της τοποθέτησης για αυτά τα γεγονότα παρατίθενται στον Πίνακα 3. Για την περίπτωση του 1938 διατίθενται μόνο ωριαία δεδομένα ανάλυσης και επομένως δεν μπορεί να εκτελεσθεί καμία προσαρμογή διότι η φάση ανάκτησης διήρκεσε μόνο 1 ώρα. Όταν εμφανίστηκε διπλή κορυφή στα LDi δεδομένα, εκτελούνται δύο εξαρτήματα για διαφορετικά χρονικά διαστήματα, ένα μέχρι την έναρξη της δεύτερης κορυφής και ένα άλλο μέχρι να εμφανιστεί μια πρόσθετη σημαντική πτώση. Αν δεν παρατηρηθεί σημαντική πτώση, χρησιμοποιείται ένα χρονικό διάστημα 48 ωρών. Το χρονικό διάστημα προσαρμογής (Δt) φαίνεται στη στήλη δύο του Πίνακα 3. Για το συμβάν του 1989 η διπλή κορυφή ξεκινά 3 ώρες μετά την κορυφή LDi , επομένως, ένα εξάρτημα με μόνο τρία πειραματικά σημεία δεν έχει σημασία. Ένας συντελεστής συσχέτισης R , πάντα πάνω από 0,82, υποδηλώνει την καλοσύνη της υπερβολικής συνάρτησης. Παρ'όλα αυτά, μπορεί να παρατηρηθεί ότι διαφορετικά χρονικά διαστήματα δεν τροποποιούν σημαντικά τα τελικά αποτελέσματα της τοποθέτησης, καθώς το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό στην ανάκτηση είναι η παρορμητική άνοδος στην αρχή, η οποία αναπαράγεται μόνο από μια συνάρτηση υπερβολικής αποσύνθεσης.



Εικόνα 2-20. Αποτελέσματα προσαρμογής που υπερκαλύφθηκαν στο LDi για τα αναλυθέντα συμβάντα (ABG, BOX, THY). Τα διαφορετικά χρώματα υποδεικνύουν διαφορετικά χρονικά διαστήματα στη διαδικασία εφαρμογής: Το αποτέλεσμα #1 (# 2) στον Πίνακα 3 αντιστοιχεί σε κόκκινη (μπλε) συμπαγή γραμμή.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 (ΤΩΝ TSURUTANI). ΑΥΤΟΣ Ο ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΖΕΙ ΑΡΚΕΤΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΥΣ ΤΗΣ ΥΠΕΡΒΟΛΙΚΗΣ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ΓΙΑ ΤΑ ΣΥΜΒΑΝΤΑ. ΕΠΙΣΗΣ, ΤΑ # 1 ΚΑΙ # 2 ΠΟΥ ΒΛΕΠΟΥΜΕ ΣΤΟΝ ΠΙΝΑΚΑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΟΥΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΙΔΙΩΝ ΣΥΜΒΑΝΤΩΝ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΣ ΥΠΩΨΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΑ ΧΡΟΝΙΚΑ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΑ.

Event	$\Delta t_{\text{fitting}}$ [h]	LDi_0 [nT]	τ_h [h]	R
1859 ABG #1	1.7	-1640 ± 140	0.15 ± 0.03	0.94
1859 ABG #2	6.33	-1560 ± 160	0.18 ± 0.04	0.85
1989 BOX	48	-1700 ± 100	1.14 ± 0.16	0.94
2003 THY #1	0.93	-820 ± 60	0.124 ± 0.018	0.91
2003 THY #2	7	-720 ± 30	0.208 ± 0.016	0.82

Μια πρώτη ερμηνεία των αποτελεσμάτων στον Πίνακα 3 μπορεί να υποδηλώνει ότι οι παράμετροι LDi_0 και τ_h που λαμβάνονται για αυτά τα τρία γεγονότα δεν ακολουθούν την τάση που προτείνεται από τους επιστήμονες J. Aguado, C. Cid, E. Saiz, και Y. Cerrato, καθώς η τ_h δεν μειώνεται όσο αυξάνεται η μέγιστη τιμή LDi . Ωστόσο, αυτό είναι παραπλανητικό, δεδομένου ότι οι παράμετροι και από τις δύο μελέτες δεν είναι συγκρίσιμες. Η εξήγηση για αυτή την τελευταία δήλωση βασίζεται στην σωστή κατανόηση του υπερβολικού μοντέλου. Αυτό το μοντέλο παρέχει μια μοναδική συνεχή λειτουργία για την αντιμετώπιση της ύπαρξης διαφορετικών διαδικασιών διαφορετικής φύσης (εκροή, ανταλλαγή φορτίων διαφορετικών ιόντων, κατακρήμνιση σωματιδίων με αλληλεπίδραση κυμάτων/σωματιδίων κ.λπ.) μέσα από μια εμπειρική παράμετρο: τ_h , η οποία εξαρτάται από ένταση κορυφής, LDi_0 . Αλλά το τ_h απέχει πολύ από το να είναι μια μοναδική και σταθερή τιμή για ένα δεδομένο LDi_0 ικανό να αναπαράγει την ανάκτηση μαγνητικών διαταραχών σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη, όπως αυτή των BOX, THY ή ABG. Μια σύγκριση μεταξύ του υπερβολικού μοντέλου και ενός γνωστού εμπειρικού μοντέλου όπως ο νόμος του Χούκ μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση της προηγούμενης δήλωσης.

Είναι ένα πειραματικό γεγονός ότι, υπό ορισμένες ειδικές συνθήκες, η τάση των ελαστικών αντικειμένων είναι ανάλογη προς την τάση που εφαρμόζεται σ' αυτήν. Αν και ο νόμος του Χουκ έχει ως πρώτη προσέγγιση κάθε ελαστικού αντικειμένου, ο παράγοντας αναλογικότητας θα παραμείνει αμετάβλητος διατηρώντας το ίδιο υλικό. Διαφορετικά, οι μοριακές δυνάμεις θα αλλάξουν και θα έχει σαν αποτέλεσμα ο παράγοντας αναλογικότητας να αλλάξει. Με ισοδύναμο τρόπο, έχουμε δείξει σε αυτό την έρευνα ότι το υπερβολικό μοντέλο είναι σε θέση να ανακτήσει τη φάση ανάκαμψης μετά από μια σοβαρή διαταραχή ανεξάρτητα από τον τόπο (υψηλά, μεσαία ή χαμηλά γεωγραφικά πλάτη) όπου μετριέται η φάση ανάκαμψης. Ωστόσο, εάν αλλάξει η θέση, αλλάζουν επίσης τα ρεύματα που εμπλέκονται και οι φυσικές διαδικασίες που σχετίζονται με την φθορά. Το αποτέλεσμα είναι πως η σταθερά του υπερβολικού μοντέλου (τ_h) δεν μπορεί να θεωρηθεί αμετάβλητη τιμή για μια δεδομένη κορυφή έντασης και για οποιαδήποτε μαγνητοσφαιρική περιοχή και επομένως μπορεί να αλλάξει, τουλάχιστον με γεωγραφικό πλάτος.

2.19 Υπολογισμός γεωμαγνητικών επαγόμενων ρευμάτων (GIC) σε ηλεκτρικά δίκτυα μεσαίου έως χαμηλού γεωγραφικού πλάτους με βάση τη μέθοδο κυματικού πλάνου: Μια προκαταρκτική μελέτη περιπτώσεων

2.19.1 Θεωρητική βάση υπολογισμού GIC

Ο υπολογισμός των γεωμαγνητικών προκαλούμενων ρευμάτων (GIC) στα ηλεκτρικά δίκτυα μπορεί να χωριστεί σε δύο μεμονωμένα βήματα: πρώτον, τα διαστημικά ρεύματα που προκαλούν ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία και που επηρεάζονται επίσης από την αγωγή της γης, επιπλέον το μαγνητικό πεδίο καταγράφεται στα γεωμαγνητικά παρατηρητήρια και το γεωηλεκτρικό πεδίο μπορεί να ληφθεί από έναν δεύτερο υπολογισμό, το γεωηλεκτρικό πεδίο παράγει GIC σε ηλεκτρικά δίκτυα. Η επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου είναι ισοδύναμη με πηγές τάσης, οπότε ένας υπολογισμός GIC μπορεί να μετατραπεί σε ένα πρόβλημα κυκλώματος.

2.19.2 Θεωρία κυματικού πλάνου

Αγνοούμε την καμπυλότητα της επιφάνειας της γης και καθιερώνουμε το καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων στο οποίο οι άξονες x και y είναι βόρεια και ανατολικά αντίστοιχα και ο άξονας z είναι προς τα κάτω. Υποθέτουμε ότι τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που προκαλούνται από τα διαστημικά ρεύματα είναι επίπεδα κύματα προωθώντας τον άξονα z και το έδαφος θεωρείται απεριόριστο μισό διάστημα με ομοιόμορφη αγωγιμότητα. Οι σχέσεις μεταξύ των οριζόντιων συνιστωσών του ηλεκτρικού πεδίου και των οριζόντιων συνιστωσών του μαγνητικού πεδίου έχουν ως εξής:

$$E(t) = -\frac{1}{\sqrt{\pi \times \mu_0 \times \sigma}} \times \int_{-\infty}^t \frac{g(u)}{\sqrt{t-u}} du \quad (1)$$

όπου $E(t)$ είναι η συνιστώσα του επαγόμενου ηλεκτρικού πεδίου, μ_0 είναι η διαπερατότητα του κενού, σ είναι η αγωγιμότητα του εδάφους, $g(t)$ είναι η ταχύτητα μεταβολής του συστατικού x του γεωμαγνητικού πεδίου. Πρέπει να σημειωθεί ότι εάν το E είναι το συστατικό x του ηλεκτρικού πεδίου και το g συμβολίζει το χρονικό παράγωγο του στοιχείου του γεωμετρικού πεδίου y , πρέπει να αφαιρεθεί το σήμα μείον στη δεξιά πλευρά. Με βάση τον τύπο (1), το επαγόμενο ηλεκτρικό πεδίο στην επιφάνεια της γης κατά τη διάρκεια μιας μαγνητικής καταιγίδας μπορεί να υπολογιστεί από γεωμαγνητικά δεδομένα.

2.19.3 Τύπος για διακριτοποίηση

Σε ευκολία για έναν υπολογισμό υπολογιστή, είναι απαραίτητο να εξαχθεί ένας διακριτός αλγόριθμος από την εξίσωση (1).

$$g(t) = (B_n - B_{n-1}) / \Delta \quad (2)$$

όπου $T_{n-1} \leq t \leq T_n$ και $\Delta = T_n - T_{n-1}$

Το γεωηλεκτρικό πεδίο στο χρόνο T_N λαμβάνεται από την εξίσωση (1).

Δηλαδή :

$$E(T_N) = -\frac{1}{\sqrt{\pi \times \mu_0 \times \sigma}} \times \left[\int_{T_{N-M}}^{T_N} \frac{g(u)}{\sqrt{T_N-u}} du + \int_{-\infty}^{T_{N-M}} \frac{g(u)}{\sqrt{T_N-u}} du \right] \quad (3)$$

Όταν το M είναι αρκετά μεγάλο, το δεύτερο μέρος της παραπάνω εξίσωσης θα προσεγγίσει το μηδέν και το ολοκλήρωμα του πρώτου μέρους είναι ένα άθροισμα σε κάθε τμήμα του χρόνου.

$$E(T_N) = -\frac{1}{\sqrt{\pi \times \mu_0 \times \sigma}} \times \sum_{n=N-M+1}^N \int_{T_{n-1}}^{T_n} \frac{g(u)}{\sqrt{T_N-u}} du \quad (4)$$

Τέλος έχουμε :

$$E(T_N) = -\frac{1}{\sqrt{\pi \times \mu_0 \times \sigma}} \times \sum_{n=N-M+1}^N b_n \times (\sqrt{N-n+1} - \sqrt{N-n}) \quad (5)$$

όπου $b_n = B_n - B_{n-1}$ είναι η διαφορά πρώτης τάξης ενός γεωμαγνητικού στοιχείου. Η εξίσωση (5) χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του προκαλούμενου ηλεκτρικού πεδίου στην επιφάνεια της γης. Στους πρακτικούς υπολογισμούς, το χρονικό βήμα δειγματοληψίας των γεωμαγνητικών δεδομένων είναι ένα δευτερόλεπτο και η συνολική διάρκεια είναι 20 λεπτά, δηλαδή, $M = 1200$.

2.19.4 Υπολογισμός ισοδύναμων πηγών τάσης

Ισοδύναμο με το γεωηλεκτρικό πεδίο σε ένα ηλεκτρικό δίκτυο είναι ένα σύνολο πηγών τάσης που επιβάλλονται στις γραμμές μεταφοράς μεταξύ διαφορετικών σημείων γείωσης. Η τιμή της τάσης ισούται με το ολοκλήρωμα του γεωηλεκτρικού πεδίου κατά μήκος της γραμμής.

$$V_{AB} = \int_A^B E dl \quad (6)$$

Παραβλέποντας την πλευρική διακύμανση της αγωγιμότητας της γης, θεωρούμε ότι η Θεωρία του Κυματικού Πλάνου είναι η πρώτη προσέγγιση. Στη συνέχεια τα υπολογιζόμενα γεωηλεκτρικά πεδία είναι ομοιόμορφα και επομένως συντηρητικά, και τα ολοκληρώματα που περιλαμβάνονται στην εξίσωση (6) είναι ανεξάρτητα από τη διαδρομή.

Έτσι, αποκτάμε τον τύπο :

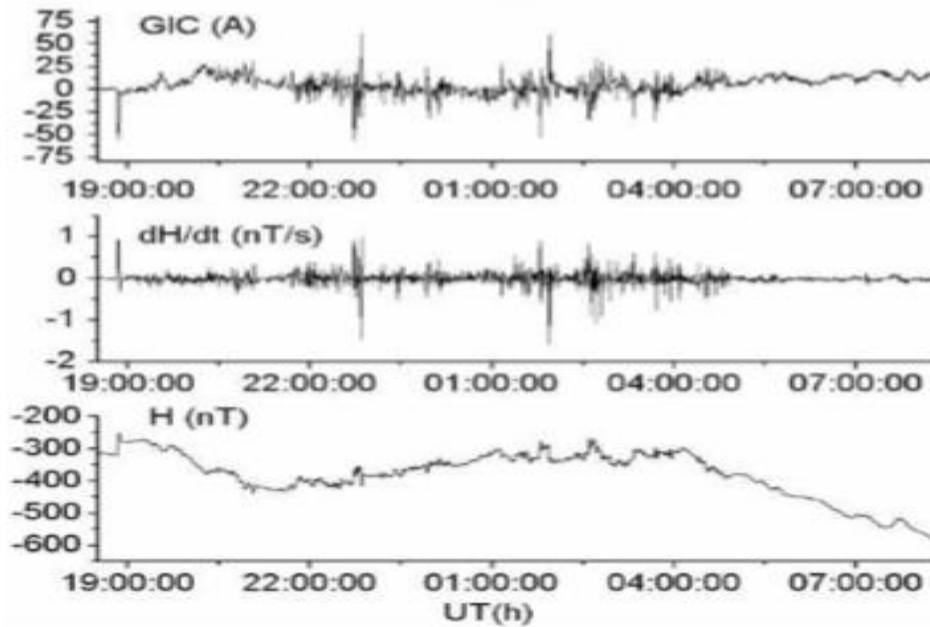
$$V_{AB} = L_{AB} \times (E_x \sin \theta + E_y \times \cos \theta) \quad (7)$$

όπου L_{AB} είναι η γραμμική απόσταση μεταξύ των κόμβων A και B που εξετάζονται, θ είναι η γωνία μεταξύ της γραμμής από A έως B και του άξονα y .

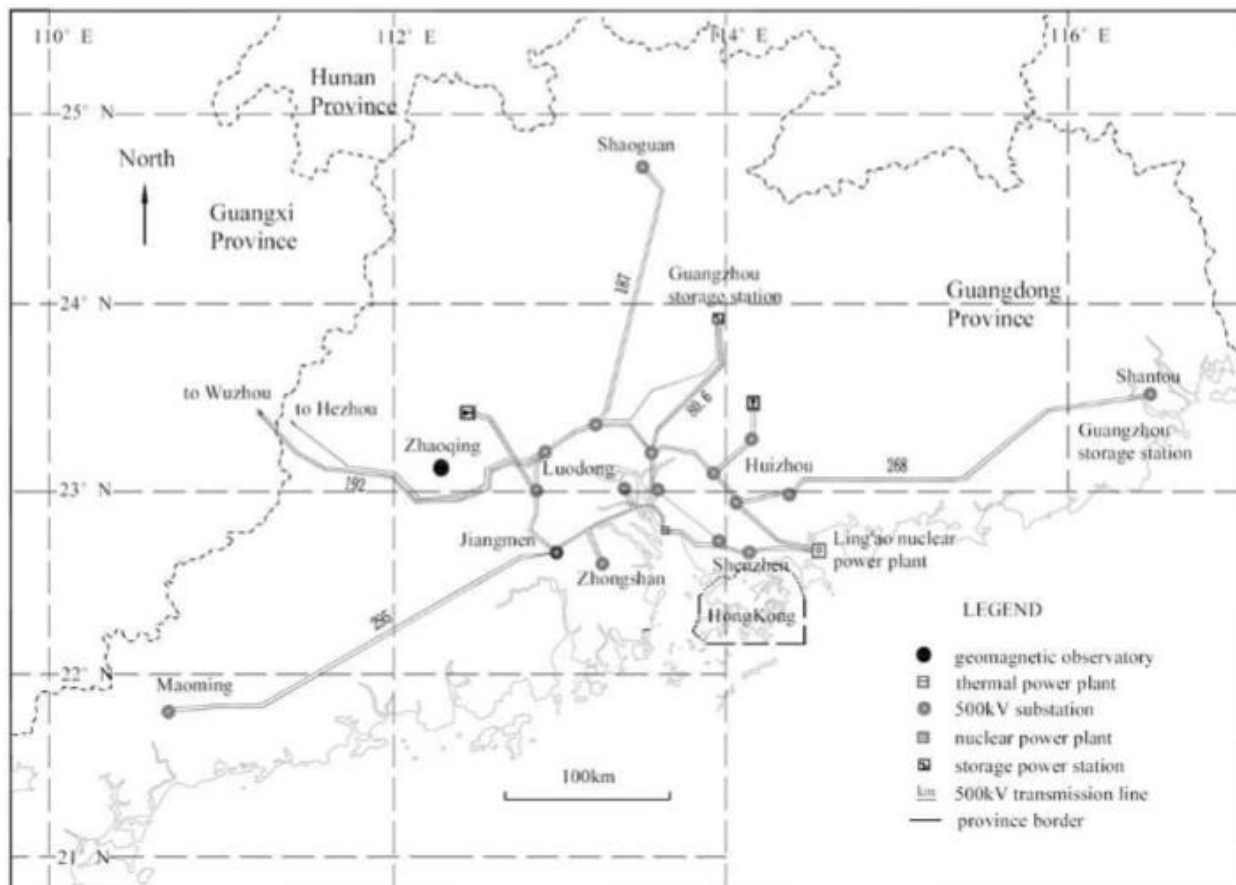
2.19.5 Υπολογισμός των γεωμαγνητικών προκαλούμενων ρευμάτων (GIC) στον πυρηνικό σταθμό Ling'ao και επικύρωση των αποτελεσμάτων

Αρχικά θα μιλήσουμε για τα δεδομένα προέλευση. Προκειμένου να γνωρίζουμε την επίδραση του ηλεκτροδίου γείωσης μετάδοσης υψηλής τάσης συνεχούς ρεύματος, έχουν εγκατασταθεί συσκευές ελέγχου ρεύματος DC στα ουδέτερα σημεία των μετασχηματιστών στο πυρηνικό εργοστάσιο Ling'ao (22,6 ° B, 114,6 ° E) στην επαρχία (Γκουανγκντόνγκ) Guangdong. Ο πυρηνικός σταθμός Ling'ao βρίσκεται στη Κίνα περίπου 60 χιλιόμετρα βόρεια του Χονγκ Κονγκ. Η θέση του Ling'ao και του συνδεδεμένου ηλεκτρικού δικτύου ισχύος 500 kV φαίνονται στο Σχήμα 2-22. Επομένως, έχουμε λάβει τα τρέχοντα δεδομένα στα ουδέτερα των μετασχηματιστών κατά τη διάρκεια αρκετών μαγνητικών καταιγίδων από τον Νοέμβριο του 2004 έως τον Αύγουστο του 2005. Το Σχήμα 2-21 απεικονίζει ένα από αυτά. Είναι σαφές ότι

σημαντικά μεγέθη GIC συμβαίνουν κατά τη διάρκεια ισχυρών μαγνητικών καταιγίδων με περιοχές $K = 8$ ή 9 μεσαίου έως χαμηλού γεωγραφικού πλάτους όπως η Κίνα. Συνεπώς, σε αυτή την εργαστηριακή μελέτη, τα γεωμαγνητικά δεδομένα επιλέγονται από το γεωμαγνητικό παρατηρητήριο Zhaoqing ($23,1^\circ \text{ N}$, $112,3^\circ \text{ E}$) στην επαρχία Guangdong (βλέπε εικόνα 2-22) κατά τη διάρκεια δύο ισχυρών μαγνητικών καταιγίδων με $K = 8$ στις 7- 8 και 9- 10 Νοεμβρίου 2004.



Εικόνα 2-21. Στα τρία διαγράμματα βλέπουμε τα γεωμαγνητικά προκαλούμενα ρεύματα (GIC) στο πυρηνικό εργοστάσιο Ling'ao και το γεωμαγνητικό οριζόντιο συστατικό και το χρονικό παράγωγο στο γεωμετρικό παρατηρητήριο Zhaoqing στις 9-10 Νοεμβρίου 2004.



Εικόνα 2-22. Τοποθεσίες του πυρηνικού σταθμού Ling'ao και του γεωμετρικού παρατηρητηρίου Zhaoqing. Επίσης εμφανίζεται το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας 500 kV που συνδέεται με το Ling'ao.

2.19.6 Υπολογισμός γεωηλεκτρικού πεδίου

Τα δεδομένα από το γεωμετρικό παρατηρητήριο Zhaoqing δίνονται με τη μορφή του οριζόντιου στοιχείου (H) και της κλίσης (D). Τα συστατικά x και y του μαγνητικού πεδίου (B_x και B_y) που δίνεται από το

$$B_x = H \times \cos D \quad (8)$$

$$B_y = H \times \sin D \quad (9)$$

Θεωρούνται ως εισροές στην εξίσωση (5) για να πάρουμε τα στοιχεία ηλεκτρικού πεδίου E_y και E_x . Οι Εικόνες 2-23 και 2-24 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα υπολογισμού των γεωηλεκτρικών πεδίων κατά τη διάρκεια των δύο μαγνητικών καταιγίδων τον Νοέμβριο του 2004.

Είναι προφανές ότι οι μέγιστες τιμές του γεωηλεκτρικού πεδίου δεν είναι παρούσες στις ώρες των μέγιστων του μαγνητικού πεδίου, αλλά αντιστοιχούν στις μέγιστες τιμές του παραγώγου χρόνου του μαγνητικού πεδίου, το οποίο ταιριάζει με το συμπέρασμα ότι τα μεγέθη GIC εξαρτώνται από το ποσοστό μεταβολής. Οι μέγιστες τιμές των ηλεκτρικών πεδίων είναι περίπου 0,6 V / km, οι οποίες είναι σαφώς μικρότερες από τις περιοχές μεγάλου γεωγραφικού

πλάτους. Η συνιστώσα νότου-βορρά (E_x) είναι σχετικά μεγάλη, η οποία επίσης φαίνεται να είναι διαφορετική από τα αποτελέσματα σε περιοχές μεγάλου γεωγραφικού πλάτους.

Μετά από την ανάλυση των λόγων, πιστεύουμε ότι η ένταση των μαγνητικών καταιγίδων είναι ασθενής στις περιοχές χαμηλού γεωγραφικού πλάτους, δηλαδή το μαγνητικό πεδίο μεταβάλλεται ήπια και η διακύμανση του B_x είναι μικρή, αλλά η διακύμανση του B_y σχετίζεται με τη μαγνητική απόκλιση όπου είναι μεγαλύτερη, η οποία προκαλεί ότι το γεωηλεκτρικό πεδίο έχει μια νότια-βόρεια τάση. Το αποτέλεσμα δείχνει ότι μπορεί να υπάρχουν μεγάλα GIC σε γραμμές μεταφοράς με νότιο-βόρειο άξονα στις περιοχές μεσαίου και χαμηλού γεωγραφικού πλάτους.

2.19.7 Αποτελέσματα υπολογισμών GIC και επικύρωση τους

Λόγω των χαρακτηριστικών σχεδόν ομόνυμων DC των GIC, ένα ηλεκτρικό δίκτυο μπορεί να αντιμετωπιστεί ως ισοδύναμο με ένα δίκτυο αντίστασης. Οι πηγές οδήγησης που σχετίζονται με το γεωηλεκτρικό πεδίο μπορούν να υπολογιστούν με τις εξισώσεις (5) και (6) ή (7). Έτσι, έχουμε

$$GIC = aE_x + bE_y \quad (10)$$

όπου οι συντελεστές a και b σχετίζονται μόνο με τη διαμόρφωση, την τοπολογία και τις παραμέτρους DC του ηλεκτρικού δικτύου. Για τα υπάρχοντα ηλεκτρικά δίκτυα, εάν δεν υπάρξουν αλλαγές, τα a και b θα παραμείνουν σταθερά. Δεδομένου ότι τα μετρημένα δεδομένα GIC έχουν συλλεχθεί στο εργοστάσιο πυρηνικής ενέργειας Ling'ao και το γεωηλεκτρικό πεδίο μπορεί να υπολογίζεται, μπορούμε να αποφύγουμε την επαχθή εργασία μοντελοποίησης του ηλεκτρικού δικτύου και να υιοθετήσουμε τη μέθοδο ελάχιστου τετραγώνου για να καθορίσουμε τους συντελεστές a και b από την εξίσωση (10). Τότε παίρνουμε :

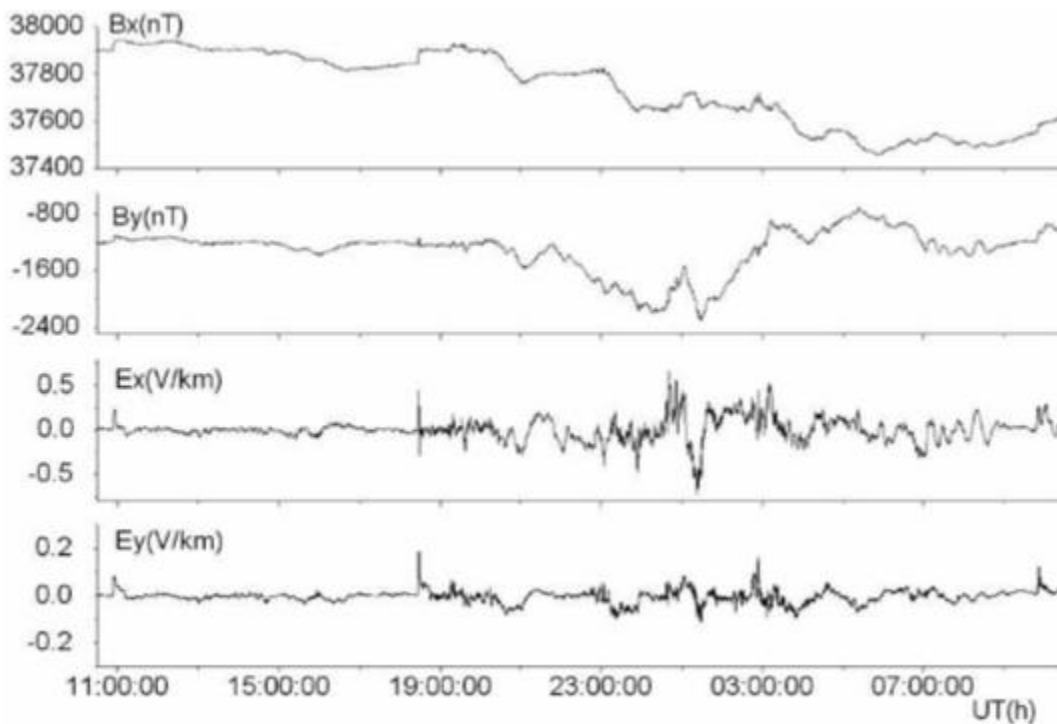
$$GIC = -3.5E_x - 256.2E_y \quad (11)$$

Η παραπάνω εξίσωση δείχνει ότι το GIC στο Ling'ao σχετίζεται κυρίως με την ανατολική και δυτική συνιστώσα E_y του ηλεκτρικού πεδίου και δεν έχει ισχυρή συσχέτιση με τη νότια-βόρεια συνιστώσα E_x . Ο προφανής λόγος είναι ότι οι γραμμές μεταφοράς που συνδέονται με το Ling'ao έχουν μια τάση ανατολής-δύσης (βλέπε Εικόνα 2-22). Όπως φαίνεται από τα διαγράμματα των Εικόνων 2-23 και 2-24, το E_x είναι περίπου τρεις φορές το E_y . Συνεπώς, αν υποθεθεί ότι το GIC σε δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή αυτή θα σχετίζεται κυρίως με το E_x , το GIC θα είναι σαφώς υψηλότερο. Όλα αυτά σημαίνουν ότι η τοπολογία και οι ηλεκτρικές παράμετροι ενός ηλεκτρικού δικτύου έχουν μεγάλη επίδραση στα επίπεδα GIC.

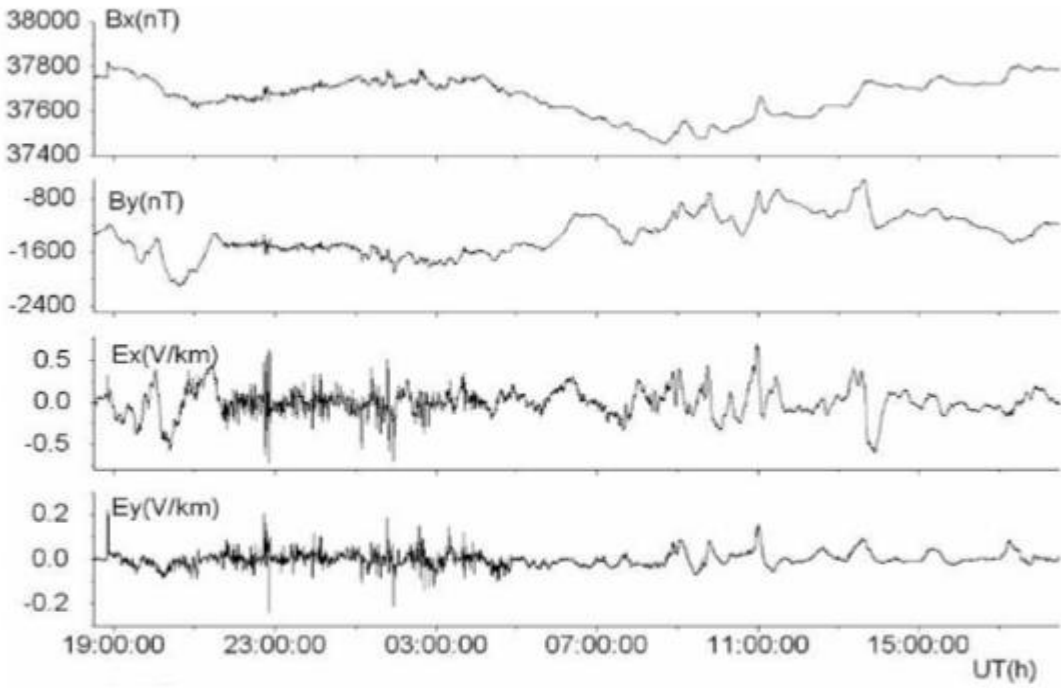
Η Εικόνα 2-25 δείχνει μια σύγκριση μεταξύ των υπολογισμένων τιμών GIC που λαμβάνονται με την εξίσωση (11) και τα μετρημένα δεδομένα GIC. Οι Εικόνες 2-25a και 2-25b είναι τα αποτελέσματα για τις 7 - 8 και 9 - 10 Νοεμβρίου 2004, αντίστοιχα. Οι υπολογισμένες καμπύλες τιμών μέτρησης (ERR) δείχνουν τις διαφορές μεταξύ των υπολογισμών και των μετρήσεων. Φαίνεται ότι τα υπολογισθέντα αποτελέσματα ταιριάζουν αρκετά καλά με τα δεδομένα που μετρήθηκαν. Οι μέγιστες διαφορές κυμαίνονται μεταξύ $\pm 15A$ και ο λόγος αυτού του σφάλματος είναι το γεγονός ότι η χωρική ανομοιογένεια των διαστημικών ρευμάτων και της

αγωγιμότητας της γης έχει αγνοηθεί στο μοντέλο. Το πρόβλημα της μεγαλύτερης ανησυχίας στη μηχανική είναι πόσο μεγάλη είναι η μέγιστη τιμή GIC. Καθώς το μέγιστο σφάλμα $\pm 15\text{A}$ είναι μόνο $\pm 20\%$ των μέγιστων τιμών GIC περίπου 75A , είναι εφικτό να εκτιμηθεί το επίπεδο GIC σε δίκτυα ισχύος χρησιμοποιώντας τη μέθοδο κυματικού πλάνου.

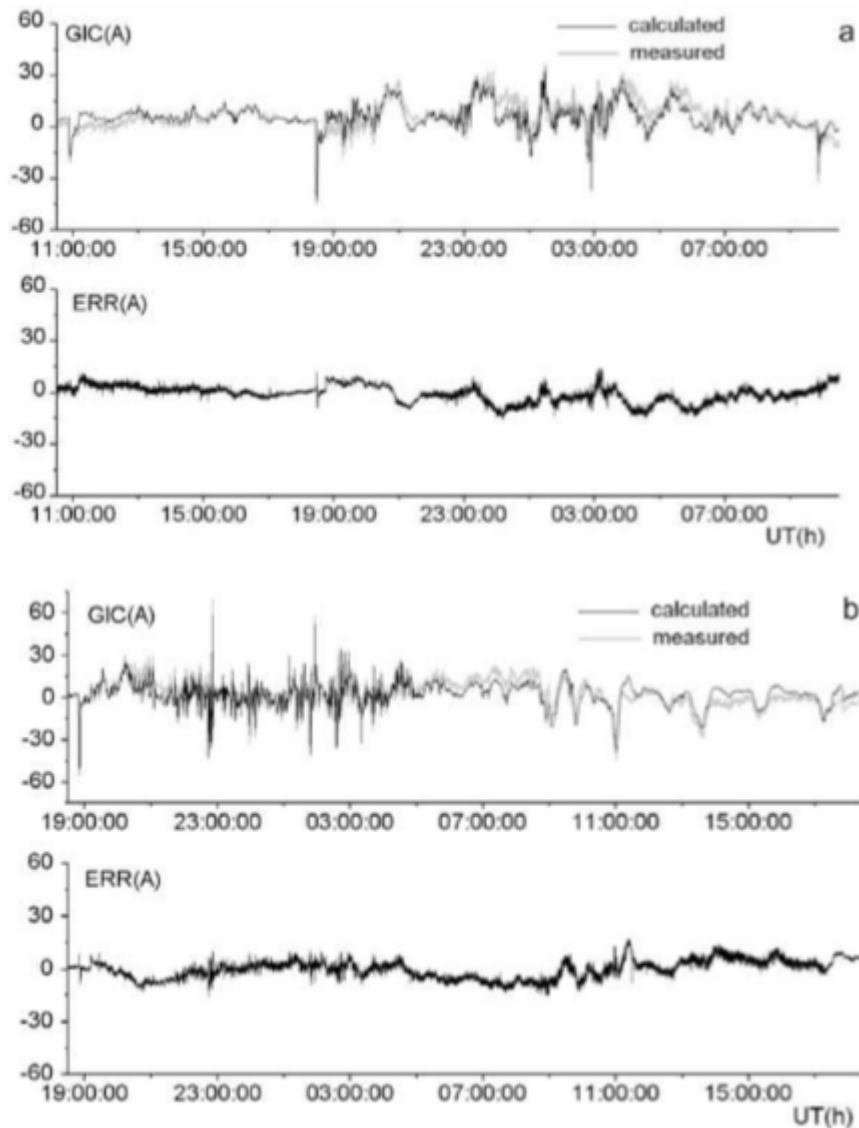
Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι συγκρίσεις μεταξύ υπολογισμένων και μετρημένων δεδομένων GIC στα σχήματα 5 βασικά παρέχουν μόνο μια δοκιμή της εφαρμοσιμότητας του επίπεδου κύματος και ενός ομοιόμορφου μοντέλου γης με γεωμαγνητικά δεδομένα από την Zhaoqing σε υπολογισμούς του γεωηλεκτρικού πεδίου που επηρεάζουν την ισχύ δικτύου και φαίνεται στην εικόνα 2-22. Το συμπέρασμα αυτό προκύπτει από την εφαρμογή της εξίσωσης (10) με τις ελάχιστες τιμές τετραγώνων, στην οποία τα στοιχεία του γεωηλεκτρικού πεδίου βασίζονται στη χρήση της εξίσωσης (1) αριθμητικά στην εξίσωση (5). Η σιωπηρή υπόθεση ότι το γεωηλεκτρικό πεδίο είναι ομοιόμορφο σε ολόκληρο το μεγάλο δίκτυο είναι μόνο η πρώτη προσέγγιση που οδηγεί αναπόφευκτα σε ανακρίβειες που εξηγούν τα παρατηρούμενα σφάλματα. Το σφάλμα δεν πρέπει να θεωρηθεί υπερβολικά μεγάλο εάν συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με εκείνα που παρουσιάζονται.



Εικόνα 2-23. Υπολογισμένο οριζόντιο ηλεκτρικό πεδίο της επιφάνειας της γης κατά τη διάρκεια της γεωμαγνητικής καταιγίδας στις 7-8 Νοεμβρίου 2004. Επίσης παρουσιάζονται τα γεωμαγνητικά οριζόντια στοιχεία στο γεωμετρικό παρατηρητήριο Zhaoqing.



Εικόνα 2-24. Υπολογισμένο οριζόντιο ηλεκτρικό πεδίο της επιφάνειας της γης κατά τη διάρκεια της γεωμαγνητικής καταιγίδας στις 9-10 Νοεμβρίου 2004. Επίσης παρουσιάζονται τα γεωμαγνητικά οριζόντια στοιχεία στο γεωμετρικό παρατηρητήριο Zhaoqing.



Εικόνα 2-25. Σύγκριση των μετρημένων και υπολογισμένων GIC στο πυρηνικό εργοστάσιο παραγωγής ενέργειας Ling'ao. Οι καμπύλες ERR δείχνουν τις διαφορές μεταξύ των υπολογισθέντων και μετρημένων δεδομένων GIC για (α) 7-8 και (β) 9-10 Νοεμβρίου 2004.

2.19.8 Συμπέρασμα

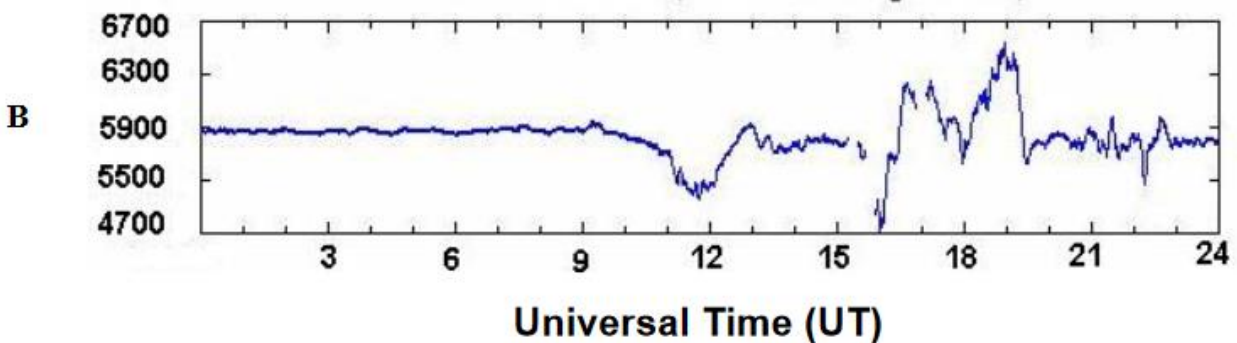
Η Κίνα βρίσκεται στην περιοχή μεσαίου έως χαμηλού γεωγραφικού πλάτους, αλλά η δομή και οι παράμετροι των ηλεκτρικών δικτύων είναι επίσης σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις τιμές GIC, επομένως είναι πιθανό τα κινεζικά δίκτυα ηλεκτρικού ρεύματος να υποφέρουν μερικές φορές από το γεωμαγνητικά ρεύματα. Τα προβλήματα GIC που εντοπίζονται στο πυρηνικό εργοστάσιο Ling'ao σχετίζονται με μεγάλες γραμμές μεταφοράς και μικρές αντιστάσεις. Ωστόσο, είναι απαραίτητες για να μετριαστούν τα αναμενόμενα επίπεδα GIC στα συστήματα μετάδοσης σε μεγάλες αποστάσεις για την πρόληψη των ατυχημάτων. Τα υπολογισθέντα αποτελέσματα των GIC, τα οποία βασίζονται στη μέθοδο κυματικού πλάνου και στην εφαρμογή των ελαχίστων τετραγώνων, ταιριάζουν αρκετά καλά με τα μετρημένα δεδομένα

GIC στο Ling'ao. Αυτό υποδεικνύει ότι η μέθοδος κυματικού πλάνου μπορεί να ικανοποιήσει μια συγκεκριμένη ακρίβεια στον υπολογισμό του γεωηλεκτρικού πεδίου σε περιοχές μεσαίου έως χαμηλού γεωγραφικού πλάτους. Η μέθοδος μπορεί έτσι να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των επιπέδων GIC στα ηλεκτρικά δίκτυα.

Συμπερασματικά, μπορούμε να δηλώσουμε ότι η προκαταρκτική μελέτη μοντελοποίησης που παρουσιάζεται, η οποία είναι σύμφωνη με προηγούμενες έρευνες της GIC σε άλλες θέσεις μεσαίου έως χαμηλού γεωγραφικού πλάτους, ανοίγει το δρόμο για μελλοντικές ερευνητικές προσπάθειες των γεωμαγνητικά προκαλούμενων ρευμάτων στην Κίνα αλλά και στην Ευρώπη.

2.20 Εργαστηριακή μελέτη σε μια γεωμαγνητική καταιγίδα

Οι μαγνητικές καταιγίδες είναι διαταραχές στο μαγνητικό πεδίο της γης που μπορούν να ανιχνευθούν από το έδαφος χρησιμοποιώντας ευαίσθητα όργανα που ονομάζονται μαγνητόμετρα. Δεκάδες από αυτά τα όργανα που βρίσκονται στα μαγνητικά παρατηρητήρια σε όλο τον κόσμο παρακολουθούν αυτές τις διαταραχές.



Εικόνα 2-26. Το παραπάνω γράφημα δείχνει αυτές τις αλλαγές κατά τη διάρκεια μιας 24ωρης περιόδου στις 24 Οκτωβρίου 2003.

Ο κάθετος άξονας στο γράφημα δίνει το μέγεθος B, αυτής της μαγνητικής αλλαγής στη γη που έχει κατεύθυνση από την ανατολή προς τη δύση. Η δύναμη ενός μαγνήτη μπορεί να περιγραφεί σε μια μονάδα που ονομάζεται Tesla. Σε αυτή την γραφική παράσταση, ο κάθετος άξονας δίνει τη μαγνητική ισχύ σε μονάδες νανο-Tesla (nT). Μια nT είναι ένα δισεκατομμύριο ενός Tesla (έτσι 10^9 nTeslas = 1 Tesla). Μπορούμε να διαπιστώσουμε ότι αυτή τη μέρα το μαγνητικό πεδίο της γης κυμαινόταν μεταξύ 4700 και 6700 nT. Ο οριζόντιος άξονας είναι ο χρόνος που μετράται στην παγκόσμια ώρα (UT). Όταν οι επιστήμονες μελετούν γεγονότα που αλλάζουν με το χρόνο, συχνά χρησιμοποιούν την παγκόσμια ώρα (Universal Time). Όλες οι επιστημονικές μετρήσεις αναφέρονται σε αυτό το πρότυπο χρόνου ώστε να αποφεύγονται τα προβλήματα που μετατρέπονται από μία ζώνη ώρας σε άλλη.

Έτσι το συγκεκριμένο έγγραφο στηρίζεται στην ανάλυση για το παραπάνω γράφημα.

Ερώτηση 1 : Εάν ένα μαγνητόμετρο μέτρησε ένα μαγνητικό πεδίο 137.000 nT, πόσοι Teslas θα αντιστοιχούσαν;

$$\text{Απάντηση : } \frac{137.000 \text{ nT}}{1} \times \frac{1 \text{ Tesla}}{10^9} = 0.000137 \text{ Tesla}$$

Ερώτηση 2 : Ποια είναι η αντίστοιχη παγκόσμια ώρα για τις 9:45 μ.μ.;

Απάντηση : 21:45 UT.

Ερώτηση 3 : Από το παραπάνω γράφημα, σε ποια χρονική στιγμή η μαγνητική καταιγίδα ήταν πιο σοβαρή;

Απάντηση: Θα πρέπει να αναζητήσουν τη μεγαλύτερη "απόλυτη μεγέθυνση" αλλαγή στο γράφημα από το «μέσο» επίπεδο των 5900 nT. Αυτό συμβαίνει περίπου στις 16:00 UT.

Ερώτηση 4 : Πότε ξεκίνησε και τελείωσε το επεισόδιο καταιγίδας;

Απάντηση: Οι ήρεμες περίοδοι εμφανίστηκαν μεταξύ 00:00 και 09:00 και από τις 23:00 έως τις 24:00. Η περίοδος θύελλας εμφανίστηκε μεταξύ 09:00 και 21:00 UT.

Ερώτηση 5 : Ως ποσοστό 5900 nT, ποια ήταν η μεγαλύτερη αλλαγή στο μαγνητικό πεδίο;

Απάντηση: Η μεγαλύτερη αλλαγή σε όρους απόλυτου μεγέθους εμφανίστηκε στις 16:00 όταν το μαγνητικό πεδίο μετακινήθηκε από 5900 nT σε 4700 nT. Πρόκειται για μείωση σε 1200 nT. Ως ποσοστό αυτό ήταν $(1200/5900) \times 100\% = 20\%$ από τις συνθήκες μη καταιγίδας.

Ερώτηση 6 : Πόσος χρόνος κράτησε η μαγνητική καταιγίδα;

Απάντηση: Η όλη καταιγίδα διήρκεσε 21:00 - 09:00 = 12 ώρες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

3.1 Πιθανές λύσεις για τις απειλές των ηλεκτρομαγνητικών σφυγμών

Υπάρχουν κάποιες τεχνικές εκθέσεις που περιλαμβάνουν τη μελέτη για πιθανές λύσεις για την πρόληψη, τον μετριασμό των ηλεκτρομαγνητικών σφυγμών και βέβαια για τις επιπτώσεις στο δίκτυο ηλεκτροδότησης που είναι πιθανό να φέρει. Οι τεχνικές εκθέσεις κάνουν μια σειρά από ευρήματα που αποδεικνύουν την ανάγκη να αντιμετωπιστούν προληπτικά οι ηλεκτρομαγνητικές απειλές με τεχνολογίες μετριασμού για την προστασία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Στις ΗΠΑ η βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να εφαρμόσει τις τεχνολογίες μετριασμού για την πρόληψη από καταστροφικές επιπτώσεις στο δίκτυο από τις απειλές των γεωμαγνητικών σφυγμών.

Οι τεχνικές εκθέσεις έχουν τέσσερα πορίσματα :

1. Για να μετριάσει ή ακόμα και να αποτρέψει τις ηλεκτρομαγνητικές απειλές στο δίκτυο διανομής απαιτείται η ανάπτυξη και ο έλεγχος των υφιστάμενων συσκευών φραγής ή μείωσης που προκαλούνται από μαγνητική ενέργεια.
2. Πρέπει να βελτιωθούν οι μέθοδοι υποβολής εκθέσεων, παρακολούθησης και πρόβλεψης των γεγονότων γεωμαγνητικής θύελλας και δικτύου ενέργειας.
3. Για να βελτιώσουν την επίγνωση κατάστασης τους για τις γεωμαγνητικές απειλές πρέπει να εκπαιδευτούν οι μαζικοί χειριστές συστημάτων δύναμης.
4. Επίσης είναι απαραίτητη ο έλεγχος και η ανάπτυξη ενός μέσου για την προστασία των συστημάτων επικοινωνίας και ελέγχου υποσταθμών, των εγκαταστάσεων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και των κέντρων ελέγχου. Τέλος απαιτείται η προστασία των μονωτικών γραμμών διανομής καθώς και των μετασχηματιστών διανομής.

3.2 Χρήση τρισδιάστατων μηχανισμών

Σε μια νέα μελέτη Γεωλογικής Έρευνας των ΗΠΑ, οι επιστήμονες υπολογίζουν τάσεις κατά μήκος γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή των μεσαίων Ατλαντικών των Η.Π.Α. χρησιμοποιώντας τρισδιάστατα (3D) δεδομένα της Γης. Αυτά τα δεδομένα, που λαμβάνονται στην επιφάνεια της γης, αντικατοπτρίζουν την πολύπλοκη δομή της Γης κάτω από τα σημεία μέτρησης και συλλέχθηκαν κατά τη διάρκεια του προγράμματος EarthScope USA National Science Foundation. Οι επιστήμονες διαπίστωσαν ότι σε πολλές τοποθεσίες οι τάσεις που υπολογίστηκαν ήταν σημαντικά διαφορετικές από εκείνες που βασίστηκαν σε προηγούμενους υπολογισμούς μονοδιάστατων (1D), με τα τρισδιάστατα δεδομένα (3D) να παράγουν τα ακριβέστερα αποτελέσματα.

Ένας επιστήμονας της USGS που έχει εμβαθύνει σε αυτό το θέμα είπε χαρακτηριστικά ότι «Η χρήση των πιο ακριβών/συγκεκριμένων δεδομένων που είναι διαθέσιμα για τον

προσδιορισμό των ευάλωτων περιοχών του δικτύου μπορεί να συμβάλει στη διατήρηση και διάσωση της επικοινωνίας και στην προστασία της εθνικής ασφάλειας κατά τη διάρκεια σοβαρών γεωμαγνητικών καταιγίδων».

Όπως έχουμε αναλύσει και πιο πάνω από μια γεωμαγνητική καταιγίδα το Μάρτιο του 1989 προκάλεσαν διακοπή ρεύματος στο Κεμπέκ και πολλές δυσλειτουργίες στο ηλεκτρικό δίκτυο των ΗΠΑ. Σε παλαιότερες μελέτες, οι επιστήμονες που χρησιμοποιούν απλά μοντέλα 1D της γης θα είχαν διαπιστώσει ότι 16 γραμμές ηλεκτρικής μετάδοσης υψηλής τάσης διαταράχθηκαν στην περιοχή του Ατλαντικού κατά τη διάρκεια της καταιγίδας, με αποτέλεσμα τη συσκότιση. Ωστόσο, με τη χρήση ρεαλιστικών δεδομένων 3D για τον υπολογισμό του σεναρίου του 1989, η νέα μελέτη διαπίστωσε ότι ενδέχεται να υπάρχουν 62 ευάλωτες γραμμές. Επίσης υποστήριξε ότι αυτή η ασυμφωνία μεταξύ υπολογισμών που βασίζονται στην 1D και 3D της καταιγίδας του 1989 καταδεικνύει τη σημασία των ρεαλιστικών δεδομένων, αντί να βασίζονται σε προηγούμενα μοντέλα 1D, για να καθορίσουν τον αντίκτυπο που έχει μια γεωμαγνητική καταιγίδα στα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας.

3.3 Μεγάλα συστήματα ανίχνευσης για την αποφυγή των ηλιακών καταιγίδων στην γη

Για να αποφευχθεί ο κίνδυνος στην γη οι επιστήμονες έχουν αναπτύξει διάφορους δείκτες που μπορούν να βοηθήσουν τόσο στην ανάλυση όσο και στην πρόβλεψη αυτού του ακραίου φαινομένου.

Ένας από τους πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους δείκτες για τη μέτρηση των γεωμαγνητικών καταιγίδων είναι η Dst (Time storm disturbance), η οποία λαμβάνεται κάθε ώρα με βάση τα στοιχεία που καταγράφονται σε τέσσερα παρατηρητήρια: Hermanus (Νότια Αφρική), Kakioka (Ιαπωνία), Honolulu (Χαβάη, USA) και το San Juan (Πουέρτο Ρίκο).

Μια πιο ακριβής εκδοχή που ονομάζεται SYM-H, η οποία αξιολογεί την οριζόντια συνιστώσα του μαγνητικού πεδίου της γης, χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που συλλέγονται από ακόμη περισσότερα παρατηρητήρια. Οι επιστήμονες μπορούν να παρακολουθήσουν τις επιπτώσεις των μεγάλων ηλιακών καταιγίδων χρησιμοποιώντας αυτούς τους δύο δείκτες όπου το γεωγραφικό πλάτος (η γωνιακή απόσταση από τον ισημερινό) είναι τα επικρατέστερα δεδομένα σε μαγνητικά αρχεία. Μία από αυτές τις μεγάλες ηλιακές καταιγίδες ήταν το συμβάν του Halloween όπου γεωμαγνητική θύελλα που πραγματοποιήθηκε μεταξύ Οκτωβρίου και Νοεμβρίου του 2003. Παρ'όλα αυτά, ούτε η Dst ούτε η SYM-H ήταν σε θέση να ανιχνεύσουν τη μαγνητική διαταραχή που έπληξε τη γη ακριβώς εκείνη την εποχή, συγκεκριμένα στις 29 Οκτωβρίου 2003. Όπως έχουμε ξανά πει αυτό το ηλιακό γεγονός ήταν εξαιρετικά παρόμοιο με το Carrington του 1859 στη Σουηδία και τη Νότια Αφρική όπου κήκαν αρκετοί μετασχηματιστές.

Μια ομάδα ερευνητών από το πανεπιστήμιο της Alcalá έχει αναλύσει την αποτυχία των επίσημων δεικτών που αναφέραμε πιο πάνω. Οπότε η ερώτηση είναι αν θα μπορούσε η επιστημονική κοινότητα να κάνει λάθος. Στην ερώτηση αυτή οι ερευνητές του πανεπιστημίου και συγκεκριμένα ο Consuelo Cid, απάντησαν ότι οι δείκτες που χρησιμοποιούνται συνήθως από

τους επιστήμονες όπως το Dst ή το SYM-H, οι οποίοι βασίζονται σε μια συνολική προοπτική της γης και λαμβάνονται από τον υπολογισμό των μέσων όρων, απέτυχαν να προβλέψουν ένα τόσο σημαντικό γεγονός δηλαδή το συμβάν του Halloween και πιθανότητα δεν θα κατάφεραν να ανιχνεύσουν το συμβάν του Carrington. Επιπλέον πιστεύουν ότι, η διαταραχή εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τοπική ώρα δηλαδή το γεωγραφικό μήκος, αν και άλλοι επιστήμονες δηλώνουν ότι εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το γεωγραφικό πλάτος.

Ο Consuel Cid παρ' όλα αυτά τονίζει ότι έχουμε ανάγκη για ανάπτυξη τοπικών δεικτών που όμως είναι πραγματικά χρήσιμοι σε επιχειρήσεις που ενδέχεται να επηρεαστούν από αυτές τις σημαντικές διαταραχές, όπως για παράδειγμα οι ηλεκτρικές εταιρείες. Στην Ισπανία μια ομάδα έχει αναπτύξει το Δείκτη Τοπικής Διαταραχής όπου υπολογίζει τη γεωμαγνητική διαταραχή στην ισπανική επικράτεια. Ο συγκεκριμένος δείκτης υπολογίζει βάσει του μαγνητικού πεδίου που καταγράφεται στο παρατηρητήριο του San Pablo στο Toledo. Ένα παρόμοιο δείκτη με αυτόν που χρησιμοποιεί η Ισπανία μπορούν να χρησιμοποιήσουν και οι γειτονικές χώρες της (για παράδειγμα Πορτογαλία, Γαλλία και Ιταλία). Τέλος με μια προσαρμογή του δείκτη, ανάλογα την περιοχή ίσως να μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και αλλού.

3.4 Ευαισθητοποίηση και προετοιμασία

Δεδομένης της εκτεταμένης επιπτώσεις γεωμαγνητικής καταιγίδες μπορεί να έχει για το ηλεκτρικό δίκτυο και την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, προληπτικά μέτρα που μπορεί να μετριάσει την επίδραση αυτών των καταιγίδων είναι σημαντικές. Η Jason Defense Συμβουλευτική Επιτροπή συνιστά τη δημιουργία ενός διαστημικού προγράμματος παρακολούθησης καιρικές συνθήκες για CME και τη διασφάλιση της ασφάλειας των ζωτικής σημασίας στοιχεία του πλέγματος με προστατευτικές εγκαταστάσεις. Επί του παρόντος, τέσσερις διαστημικοί δορυφόροι (SOHO - Solar and Heliospheric Observatory, ACE – Advanced Composition Explorer, and STEREO A/B – Solar Terrestrial Relations Observatory) , έχουν σταλεί με σκοπό να παρακολουθούν τον ήλιο, βρίσκεται μεταξύ του ήλιου και της γης ή κατά μήκος της τροχιάς της γης. Οι δορυφόροι μπορούν να παρέχουν προειδοποιήσεις για εισερχόμενες CME σε γρήγορο χρονικό διάστημα περίπου λίγων ημερών έως και ωρών. Αυτές οι προειδοποιήσεις επιτρέπουν στους χειριστές ηλεκτρικών πλεγμάτων να λάβουν προστατευτικά μέτρα, όπως να μειώσουν το ηλεκτρικό φορτίο στο πλέγμα και να αυξήσουν την αντιδραστική παραγωγή ενέργειας, πριν χτυπήσει η θύελλα

Επιπλέον, πολλά βήματα μπορούν να ληφθούν για να σκληρύνει το ηλεκτρικό δίκτυο ενάντια στα γεωμαγνητικά ρεύματα: πυκνωτές (ουδέτερος ρευμάτων μπλοκαρίσματος) μπορούν να εγκατασταθούν για να εμποδίσουν GIC πριν κινηθούν προς τους μετασχηματιστές κινδύνου, οι πυκνωτές σειράς γραμμών μπορούν να εγκατασταθούν στους αυτομετασχηματιστές, οι βελτιώσεις μπορούν να γίνουν στις τεχνικές ενεργοποίησης για να αποφύγουν την ψευδή ενεργοποίηση από τις GIC αρμονικές, και η χρησιμοποίηση των GIC οθονών στους μετασχηματιστές θα εξασφαλίσει ότι τα τρέχοντα επίπεδα παραμένουν σταθερά.

Από το 1989 η θύελλα του Quebec (Κεμπέκ) και η διακοπή ρεύματος έχει ως αποτέλεσμα η καναδική κυβέρνηση να έχει επενδύσει \$1.200.000.000 (περίπου \$34 ανά άτομο)

στην προστασία της υδροηλεκτρικής υποδομής πλέγματος του Quebec, την εγκατάσταση πολυάριθμων πυκνωτών μπλοκαρίσματος. Ενώ αυτές οι στρατηγικές μετριασμού μπορεί να είναι δαπανηρή (εκτιμώμενο κόστος των \$100.000 ανά πυκνωτή αποκλεισμού για συνολικά \$100.000.000 για την προστασία των 1.000 πιο ευάλωτων μετασχηματιστών), το κόστος της πρόληψης είναι πολύ μικρότερο από το κόστος της ζημίας ενός ενιαίου θύελλα μπορεί να δημιουργήσει.

3.5 Οι επιπτώσεις της επιλογής κοινωνικών και οικονομικών αλλαγών στον κίνδυνο των γεωμαγνητικών καταιγίδων

Μια ποικιλία πιθανών μελλοντικών κοινωνικοοικονομικών αλλαγών θα επηρέαζε τον κίνδυνο που δημιουργούν οι ακραίες γεωμαγνητικές καταιγίδες. Όπως συζητήθηκε προηγουμένως, οι ακραίες γεωμαγνητικές καταιγίδες θα προκαλούσαν διακοπές πρώτης τάξης σε οκτώ τομείς κρίσιμων υποδομών: Η ενέργεια (ηλεκτρική ενέργεια), οι επικοινωνίες (δορυφόρος, καλωδιώσεις), τεχνολογία πληροφοριών, μεταφορά (Αεροπορία, μαζική διαμετακόμιση, σιδηροδρομική και αγωγών). Έτσι πρέπει να κάνουμε χρήση των έξυπνων ηλεκτρικών δικτύων.

3.5.1 Τι κάνει ένα έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο (Smart Grid) ;

Ουσιαστικά η ψηφιακή τεχνολογία που επιτρέπει αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του βοηθητικού προγράμματος και των πελατών του και η ανίχνευση κατά μήκος των γραμμών μεταφοράς είναι αυτό που κάνει το δίκτυο έξυπνο. Όπως στο Διαδίκτυο, το Smart Grid θα αποτελείται από χειριστήρια, υπολογιστές, αυτοματισμούς και νέες τεχνολογίες και εξοπλισμό που συνεργάζονται, αλλά σε αυτή την περίπτωση οι τεχνολογίες αυτές θα λειτουργούν με το ηλεκτρικό δίκτυο για να ανταποκρίνονται ψηφιακά στην ταχέως μεταβαλλόμενη ηλεκτρική ζήτηση.

3.5.2 Ηλεκτρομαγνητική Συμβατότητα και το έξυπνο ηλεκτρικό δίκτυο

Η ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα πρέπει να θεωρείται ότι εξασφαλίζει συνεχή αξιόπιστη λειτουργία σε πραγματικό χρόνο στο σε πολλές τοποθεσίες όπου θα λειτουργεί ο εξοπλισμός Smart Grid. Εξαρτήματα και οι συσκευές στο σύστημα Smart Grid υπόκεινται σε ευρύ φάσμα διεξαγόμενων και ακτινοβολούμενες πηγές θορύβου που διαταράσσουν όλα τα ηλεκτρονικά συστήματα (Smart Grid συστήματα που περιλαμβάνονται). Αυτές οι πηγές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

- Διέγερση θορύβου από τέτοιες πηγές όπως αρμονικές γραμμής ισχύος, κύμα (από μεταναστεύσεις μεταγωγής κεραυνού και ηλεκτρικής ενέργειας) και ταχείες μεταβολές (διακοπή επαγωγικών κυκλωμάτων συνεχούς ρεύματος).
- Ακτινοβολούμενο θόρυβο ή σήματα από γνωστούς πομπούς (AM, FM και TV ραδιόφωνα επικοινωνιών, ασύρματες συσκευές κ.λπ.).
- Γεγονότα υψηλής ισχύος, όπως γεωμαγνητικές καταιγίδες και παλμούς που σχετίζονται με υψηλές πυρηνικής έκρηξης.

- Γεγονότα ηλεκτροστατικής εκφόρτισης όταν ένα στατικά φορτισμένο σώμα έρχεται σε επαφή με μια συσκευή Smart Grid.

3.5.3 Έξυπνα δίκτυα και ενέργεια

Οι αυξημένες επενδύσεις στην ιδέα των έξυπνων δικτύων (Smart grid) θα μείωνε τον κίνδυνο που δημιουργεί μια ακραία γεωμαγνητική καταιγίδα. Οι επενδύσεις στην τεχνολογία έξυπνων δικτύων αυξάνονται στα μέλη του OECD (Organization for Economic Cooperation and Development=Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης). Η έννοια του έξυπνου δικτύου καλύπτει μια ποικιλία τεχνολογικών εξελίξεων και μεταβολές της διαδικασίας στον τρόπο παραγωγής, διανομής και μετάδοσης ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι τεχνολογίες και οι αλλαγές της διαδικασίας κυμαίνονται από τις εξελίξεις στο επίπεδο των καταναλωτών, όπως οι έξυπνοι μετρητές, μέχρι τις θεμελιώδεις μετατοπίσεις της υποκείμενης αρχιτεκτονικής των ηλεκτρικών δικτύων. Τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας ιστορικά έχουν ιδιαίτερα κεντρικά δίκτυα που οδηγούνται από τους παραγωγούς ηλεκτρικής ενέργειας. Τα έξυπνα δίκτυα αντιπροσωπεύουν μια εναλλακτική λύση σε αυτό το μοντέλο, προσθέτοντας κατανομημένες, μικρής κλίμακας δυνατότητες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας στο δίκτυο για να αυξήσουν και ακόμη και ενδεχομένως να αντικαταστήσουν τις δυνατότητες δημιουργίας μεγάλης κλίμακας.

Εάν τα ηλεκτρικά δίκτυα μετατραπούν ώστε να περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό διανεμημένων, μικρής κλίμακας πηγών ηλεκτρικής ενέργειας, η εξάρτηση από τις γραμμές μετάδοσης υψηλής τάσης θα μειωθεί. Βεβαίως, οι γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης θα συνεχίσουν να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στα εθνικά ηλεκτρικά δίκτυα, αλλά η πιθανή απώλεια μετασχηματιστών που συνδέουν αυτές τις γραμμές με τα τοπικά δίκτυα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας εξαιτίας των GIC που προέρχονται από ακραία γεωμαγνητική καταιγίδα δεν θα οδηγούσε πλέον σε εκτεταμένες διακοπές ρεύματος.

3.5.4 Μεγαλύτερη Διακρατική Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η αυξημένη ολοκλήρωση των δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας που εξακολουθούν να είναι σε μεγάλο βαθμό σε εθνικό επίπεδο στη Δυτική Ευρώπη και σε ορισμένες άλλες περιοχές θα αυξήσει τους κινδύνους που συνεπάγεται μια ακραία γεωμαγνητική καταιγίδα εάν οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας δεν εφαρμόσουν τις κατάλληλες στρατηγικές μετριασμού και σκλήρυνσης. Όπως συζητήθηκε προηγουμένως, οι γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης άνω των 345 MV υφίστανται μεγαλύτερη ευαισθησία στις GIC. Η ενσωμάτωση μεταξύ των εθνικών δικτύων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας συχνά, αν και όχι πάντα, βασίζεται σε γραμμές μεταφοράς υψηλής τάσης, συμπεριλαμβανομένων των αποκλειστικών γραμμών συνεχούς ρεύματος (DC). Πολλές διασυνδέσεις μεταξύ των μελών του OECD στη Δυτική Ευρώπη είναι γραμμές συνεχούς ρεύματος. Η αύξηση της χρήσης γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης χωρίς κατάλληλα μέτρα μετριασμού κατά των GIC, όπως η σκλήρυνση και οι λειτουργικές διαδικασίες μετριασμού, θα αυξήσουν τους κινδύνους που ενέχει μια ακραία γεωμορφολογική καταιγίδα.

3.5.5 Τρεις συστάσεις για την διαχείριση των κινδύνων των γεωμαγνητικών καταιγίδων

Οι συνέπειες μιας ακραίας γεωμαγνητικής καταιγίδας σίγουρα θα ήταν σοβαρές σε τοπικό και εθνικό επίπεδο. Η αποτυχία των διακρατικών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας θα προκαλέσει μια σειρά από διαδοχικές επιπτώσεις, συμπεριλαμβανομένης της διακοπής των

κυβερνητικών επιχειρήσεων. Οι πιθανότητες για διεθνείς συνέπειες σε περίπτωση ακραίας εκδήλωσης είναι υψηλές, αν και η σοβαρότητα αυτών των συνεπειών μπορεί να μετριαστεί εάν η διεθνής κοινότητα αναλάβει ορισμένες ενέργειες εκ των προτέρων. Στην συνέχεια θα παρουσιαστούν τρεις συστάσεις, η οποίες παρέχουν μηχανισμούς μετριασμού χαμηλού κόστους που μπορεί να επιδιώξει η διεθνής κοινότητα για τη διαχείριση των διεθνών κινδύνων που ενέχει μια ακραία γεωμαγνητική καταιγίδα.

- 1) Η διεθνής κοινότητα πρέπει να μετριάσει τον κίνδυνο ενός ενιαίου σημείου αποτυχίας στο σημερινό σύστημα προειδοποίησης και συναγερμού διαστημικού καιρού.

Οι επενδύσεις που έχουν πραγματοποιήσει ορισμένα έθνη στα συστήματα προειδοποίησης παρέχουν ένα πολύτιμο εργαλείο για να βοηθήσουν όλα τα έθνη να μειώσουν τον κίνδυνο τέτοιων καταστροφικών συνεπειών. Σήμερα, ο δορυφόρος ACE αντιπροσωπεύει ένα κρίσιμο σημείο αποτυχίας στο παγκόσμιο δίκτυο συναγερμού και παρακολούθησης της καταιγίδας. Η διεθνής κοινότητα στηρίζεται στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής για την αντικατάσταση του ACE. Παρόλο που έχουν προταθεί χρήματα στον προϋπολογισμό του υπουργείου εμπορίου των Η.Π.Α. για να χρηματοδοτήσουν μια αντικατάσταση ACE, DISCVR, η διεθνής κοινότητα θα πρέπει να εξετάσει προσεκτικά την επένδυση σε πρόσθετους δορυφορικούς πόρους για να συμπληρώσει τις προγραμματισμένες δυνατότητες ανίχνευσης κατεύθυνσης CME αντικατάστασης ACE.

- 2) Η διεθνής κοινότητα θα πρέπει να βελτιώσει το σημερινό σύστημα προειδοποίησης και συναγερμού γεωμαγνητικών καταιγίδων.

Οι μέχρι στιγμής προσπάθειες που έχουν αναληφθεί στο πλαίσιο του ISES, και ειδικότερα του SWPC, είναι αξιόπαινες. Όμως, υπάρχουν σημαντικά περιθώρια βελτίωσης στη διεθνή υποδομή προειδοποίησης και συναγερμού για την καταιγίδα. Πρώτον, η κατανόηση των συνεπειών των γεωμαγνητικών καταιγίδων απαιτεί μεγαλύτερη κατανόηση των ρευμάτων που προκαλούνται από το έδαφος από αυτές τις καταιγίδες.

Η μεγαλύτερη επένδυση σε μαγνητόμετρα παγκοσμίως και η ενσωμάτωση των δεδομένων που προκύπτουν θα βελτιώσουν την ικανότητα SWPC να εκτιμήσουν τη σοβαρότητα της καταιγίδας.

Η διεθνής κοινότητα προειδοποίησης και συναγερμού για τη γεωμαγνητική καταιγίδα χρησιμοποιεί σήμερα κλίμακα 5 επιπέδων για να κοινοποιήσει τη σοβαρότητα μιας επικείμενης γεωμαγνητικής καταιγίδας. Αυτή η κλίμακα στερείται αρκετών λεπτομερειών στο ανώτερο άκρο για να παρέχει χρήσιμη τακτική καθοδήγηση στους πελάτες της γεωμαγνητικής καταιγίδας και των προειδοποιητικών πληροφοριών. Ως καταναλωτές υπηρεσιών πρόβλεψης διαστημικού καιρού, η βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας θα επωφεληθεί από τη μεγαλύτερη διακρίσιμη μεταξύ των σοβαρών και των ακραίων γεωμαγνητικών καταιγίδων για προσαρμοσμένα λειτουργικά μέτρα μετριασμού.

- 3) Οι εταιρείες που παράγουν ηλεκτρική ενέργεια θα πρέπει να ενθαρρύνονται να σκληρύνουν τους μετασχηματιστές υψηλής τάσης που συνδέουν τα μεγάλα ενεργειακά στοιχεία παραγωγής με τα ηλεκτρικά δίκτυα.

Ακόμη και με διαδικασίες προειδοποίησης και συναγερμού, οι λειτουργικοί μετριασμοί μπορεί να συγκλονιστούν από μια αρκετά μεγάλη καταιγίδα. Η σκλήρυνση όλων των κρίσιμων υποδομών έναντι των γεωμαγνητικών καταιγίδων δεν είναι οικονομικά αποδοτική ούτε τεχνικά εφικτή. Σκλήρυνση γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης με πυκνωτές σειράς γραμμής μεταφοράς και τους μετασχηματιστές που συνδέονται με αυτές τις γραμμές μέσω της εγκατάστασης πυκνωτών ουδετέρου μπλοκαρίσματος είναι δυνατές. Όμως, το να το κάνουμε αυτό για όλες τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας που υποστηρίζουν 345 MV και παραπάνω θα έδινε οικονομικά απαγορευτικό. Για παράδειγμα, από την διακοπή ηλεκτρισμού του Κεμπέκ το 1989, η Hydro-Quebec δαπάνησε πάνω από 1,2 δισεκατομμύρια δολάρια σε πυκνωτές σειράς γραμμών μεταφοράς (Κυβέρνηση του Καναδά, 2002). Αν και η σκλήρυνση όλων των γραμμών μεταφοράς και μετασχηματιστών υψηλής τάσης δεν είναι πιθανό μια οικονομικά βιώσιμη στρατηγική, οι κυβερνήσεις των κρατών μελών του ΟΕCD θα πρέπει να εξετάσουν το ενδεχόμενο να ενθαρρύνουν τις εταιρείες ηλεκτροπαραγωγής και τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να σκληρύνουν μετασχηματιστές που συνδέουν κρίσιμες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τα αντίστοιχα ηλεκτρικά δίκτυα. Η εξασφάλιση της επιβίωσης αυτών των μετασχηματιστών υψηλής τάσης σε περίπτωση ακραίας γεωμαγνητικής καταιγίδας θα διευκολύνει την ταχύτερη αποκατάσταση των εθνικών ηλεκτρικών δικτύων και θα αφαιρέσει μέρος της πιθανής ζήτησης για μετασχηματιστές υψηλής τάσης αντικατάστασης σε ένα σενάριο ακραίας γεωμαγνητικής καταιγίδας.

3.6 Πολιτική δράση και διεθνείς συνεργασίες για την ευαισθητοποίηση και την καταπολέμηση των διαστημικών καιρικών φαινομένων

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή συζήτησε θέματα στρατηγικής και πολιτικής που σχετίζονται με τον σοβαρό διαστημικό καιρό και τον πιθανό αντίκτυπό της στις υποδομές μας. Κατά τη διάρκεια των συζητήσεων αναγνωρίστηκε ότι η συνειδητοποίηση του κινδύνου του διαστημικού καιρού αυξάνεται. Τέσσερις ευρωπαϊκές χώρες (η Ολλανδία, Ηνωμένο Βασίλειο, Σουηδία και Νορβηγία) έχουν προσδιορίσει τον αυστηρό διαστημικό καιρό ως μείζονα απειλή για τις υποδομές τους και, κατά συνέπεια, για την κοινωνία, και έχουν συμπεριλάβει χειρότερα σενάρια περίπτωσης για την αξιολόγηση της σωστής εθνική εκτίμηση του κινδύνου (η Σουηδία ξεκίνησε την προετοιμασία εθνικών σεναρίων κινδύνου για τις καιρικές συνθήκες το 2014). Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή είναι επιφορτισμένη με την θέσπιση ενός καταλόγου που αναλύει τους κινδύνους με προτεραιότητας που αντιμετωπίζει η Ευρωπαϊκή Ένωση και παρέχει καθοδήγηση στα κράτη μέλη κατά την εκπόνηση εθνικών αξιολογήσεων κινδύνου.

Το αποτέλεσμα των μελετών εκτίμησης κινδύνου τροφοδοτεί άμεσα στην ανάπτυξη των σχεδίων έκτακτης ανάγκης όταν συμβαίνει ένα σοβαρό γεγονός. Έτσι πρωταρχικός στόχος είναι η εύρεση συστημάτων προειδοποίησης καθώς και πρόβλεψης των διαστημικών καιρικών φαινομένων, σε συνάρτηση και των γεωμαγνητικών καταιγίδων. Επίσης, το κόστος μπορεί να μειωθεί με την προετοιμασία για κοινές συνέπειες των έκτακτων αναγκών. Ενώ αντίθετα για κάθε επιμέρους σενάριο έκτακτης ανάγκης ξεχωριστά το κόστος θα είναι αρκετά αυξημένο.

Στις ΗΠΑ, σημειώνονται σημαντικές νομοθετικές εξελίξεις: ο FERC εξέδωσε έναν κανόνα για την ανάπτυξη προτύπων αξιοπιστίας δικτύου για γεωμαγνητικές διαταραχές το 2013. Ενώ ο κανόνας αυτός είναι προσανατολισμένος στο στόχο και δεν προβλέπει μεθόδους για τον τρόπο επίτευξης των στόχων του, απαιτεί σχέδια και διαδικασίες μετριασμού του κινδύνου να συντονίζονται σε ολόκληρη την περιοχή και σε όλες τις διασυνδέσεις. Η FEMA (Federal Emergency Management Agency :Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Έκτακτης Ανάγκης) έχει προετοιμάσει ένα ομοσπονδιακό σχέδιο αντιμετώπισης για τον διαστημικό καιρό, το οποίο προτείνεται να προστεθεί στο μακροπρόθεσμο παράρτημα διακοπής ρεύματος του Ομοσπονδιακού Σχεδίου Δράσης για την Ανταπόκριση.

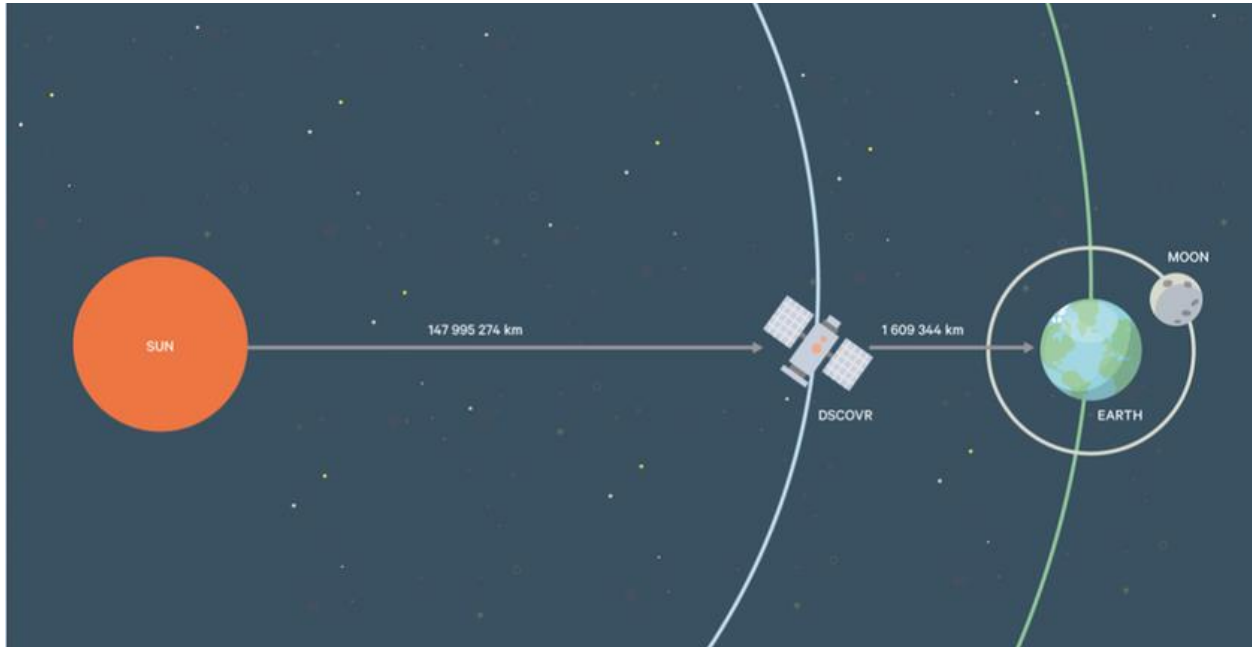
3.6.1 Συστήματα προειδοποιήσεις των ΗΠΑ

Σε ένα συνέδριο τέσσερις ομιλητές από την NOAA είπαν ότι ο μεγαλύτερος φορέας διαχειρίσεις ηλεκτρικής ενέργειας στη Βόρεια Αμερική, εισήγαγαν τις εγκαταστάσεις παρακολούθησης και πρόβλεψης του κέντρου πρόγνωσης του διαστήματος για τις καιρικές συνθήκες της NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration = Εθνική Ωκεανική και Ατμοσφαιρική Διοίκηση) και συζήτησαν την χρήση των προϊόντων του SWPC σε πραγματικό χρόνο. Το SWPC είναι η επίσημη πηγή ειδοποιήσεων και προειδοποιήσεων για τις διαστημικές καιρικές συνθήκες στις ΗΠΑ. Η NOAA έχει αναπτύξει κλίμακες σοβαρότητας/αυστηρότητας πέντε βαθμίδων για ρεύματα ραδιοσυχνότητας, καταιγίδες ακτινοβολίας και γεωμαγνητικές καταιγίδες διότι υπάρχει αρκετός κίνδυνος σε αυτές τις περιπτώσεις. Όταν οι δορυφόροι SOHO ή STEREO παρατηρούν μια στεφανιαία μάζα εκτίναξης (CME) που κατευθύνεται προς τη γη, εκδίδεται ένα ρολόι γεωμαγνητικής καταιγίδας. Ακολουθεί μια προειδοποίηση όταν η CME χτυπά τον δορυφόρο 1-3 ημέρες αργότερα, οπότε αρχίζουν να εμφανίζονται οι πρώτες διαθέσιμες ενδείξεις προσανατολισμού του IMF (Interplanetary Magnetic Field = Διαπλανητικό Μαγνητικό Πεδίο). Οι προειδοποιήσεις τυπικά εκδίδονται 15-45 λεπτά πριν από την έναρξη της γεωμαγνητικής καταιγίδας. Μόλις η CME επηρεάσει το γεωμαγνητικό πεδίο και ξεκινήσει η καταιγίδα, το SWPC προειδοποιεί. Σε περίπτωση ανάγκης, το SWPC ειδοποιεί τους πελάτες και την κυβέρνησή του απευθείας μέσω τηλεφώνου για να παρακάμψει αυτό το πρόβλημα.

Με τα χρόνια παρατηρείτε μεγάλη πρόοδος στην ανάπτυξη των μοντέλων αυτών, παρόλα αυτά όμως οι δυνατότητες πρόβλεψης των γεωμαγνητικών καταιγίδων εξακολουθούν να είναι περιορισμένες. Αυτό συμβαίνει, λόγω των κενών στην κατανόηση του προσανατολισμού του IMF (Διαπλανητικού μαγνητικού πεδίου) σε σχέση με το μαγνητικό πεδίο της γης κατά την εμφάνιση του CME στον ήλιο. Η CME πρέπει να φτάσει στο διαστημικό σκάφος (ACE) για να προβλέψει την καλή κατανόηση του IMF και την πιθανή ένταση της επακόλουθης γεωμαγνητικής καταιγίδας. Το SWPC που προαναφέραμε συνεργάζεται με την Αμερικανική Γεωλογική Έρευνα (USGS) για την ανάπτυξη ενός νέου μοντέλου ηλεκτρικού πεδίου. Για πρώτη φάση θα πρέπει να προσδιοριστεί με ακρίβεια το ηλεκτρικό πεδίο και να βρεθεί ένα προϊόν το οποίο ουσιαστικά θα καταγράφει τις τρέχουσες συνθήκες σε περιφερειακό επίπεδο. Επίσης το SWPC συνεργάζεται και με την NASA με σκοπό την μετάβαση ενός γεωδιαστημικού μοντέλου. Αυτό το μοντέλο θα αξιολογήσει και τελικά θα προβλέψει πώς η μαγνητόσφαιρα ανταποκρίνεται σε μια CME και θα είναι ένα βασικό στοιχείο στην προσπάθεια να προβλέψει ηλεκτρικά πεδία. Η NOAA συνεργάζεται επίσης με το USGS για τη βελτίωση των μοντέλων

αγωγιμότητας εδάφους. Έχει παρατηρηθεί μια αραιότητα σταθμών μαγνητόμετρου και χρειάζονται περισσότερα για να δημιουργηθεί μια ικανοποιητική γραμμή βάσης για το μαγνητικό πεδίο, ιδανικά κοντά στα όρια αγωγιμότητας ή όπου βρίσκονται οι φυσικές υποδομές.

Η πρόβλεψη των φαινομένων του διαστημικού καιρού μέχρι και σήμερα είναι περιορισμένη και εξαρτάται εν μέρει από τα δεδομένα από τη γήρανση των δορυφόρων. Ωστόσο, η NOAA συνεργάζεται με τη NASA για την εκτόξευση του διαστημικού οχήματος DSCOVR στις αρχές του 2015. Το DSCOVR θα αντικαταστήσει το διαστημικό σκάφος ACE και θα διασφαλίσει τη συνέχεια των μετρήσεων του ηλιακού ανέμου και τις κρίσιμες βραχυπρόθεσμες προειδοποιήσεις για την καταιγίδα με γεωμαγνητικές καταιγίδες.



Εικόνα 3-0. Μια απεικόνιση του δορυφόρου DSCOVR στο διάστημα.

Υπάρχουν επίσης συναρπαστικές νέες πρωτοβουλίες που βρίσκονται σε εξέλιξη και ενδέχεται να επιφέρουν σημαντικές ανακαλύψεις όπως η αποστολή Sunjammer. Το Sunjammer, έχει προγραμματιστεί να κυκλοφορήσει το 2015, είναι μια ερευνητική αποστολή με αντικείμενο την επίδειξη ηλιακού ιστίου (πανί), ουσιαστικά θα αποκολληθεί από τον πύραυλο λίγο μετά το DSCOVR, θα ανοίξει το τεράστιο, λεπτό πανί του και θα κατευθυνθεί με τη βοήθεια των φωτονίων προς ένα προκαθορισμένο σημείο, σε απόσταση 3 εκατομμυρίων χιλιομέτρων από τον πλανήτη μας. Αυτή η τεχνολογία θα επιτρέψει σε μια θέση λειτουργίας πιο μακριά από τη γη και θα μας παρέχει επιπλέον χρόνο προειδοποίησης (περίπου μία ώρα) για γεωμαγνητικές καταιγίδες.

Επίσης η διασύνδεση της PJM σε όλο αυτό αποτελεί μέρος του ανατολικού δικτύου διασύνδεσης στις ΗΠΑ, συντονίζει την κίνηση ηλεκτρικής ενέργειας σε όλα ή σε τμήματα 13 κρατών της Αμερικής και στην περιφέρεια της Columbia (Κολούμπια), εξυπηρετώντας έτσι 61 εκατομμύρια ανθρώπους. Η παρακολούθηση GIC τέθηκε σε εφαρμογή μετά την καταιγίδα του 1989, όταν ένας μετασχηματιστής αύξησης της γεννήτριας σε ένα πυρηνικό εργοστάσιο απέτυχε λόγω των γεωμαγνητικά προκαλούμενων ρευμάτων. Οι διαδικασίες δεν έχουν αλλάξει σημαντικά από τότε και οι τρέχουσες στρατηγικές αντιμετώπισης της κλιματικής αλλαγής προβλέπουν έναν πιο συντηρητικό τρόπο για τη λειτουργία του δικτύου όταν τα μετρούμενα

μεγέθη GIC παραμένουν για 10 λεπτά πάνω από ένα όριο 10A. Αυτό περιλαμβάνει την επαναφορά των ορίων μεταφοράς, την αναδιάταξη της παραγωγής, τη μείωση της φόρτισης του μετασχηματιστή και την αύξηση της τάσης. Τα υφιστάμενα μέτρα θα πρέπει να παρέχουν προστασία από τις επιπτώσεις των μέτριων γεωμαγνητικών καταιγίδων, αλλά υπάρχουν ανησυχίες για τις πιθανές επιπτώσεις των σοβαρών διαστημικών καιρικών συνθηκών. Κατά συνέπεια, η PJM άρχισε να διερευνά τις απώλειες αντλητικής ισχύος και μελετά το μέγιστο αξιόπιστο σενάριο GIC για την καλύτερη κατανόηση της απόκρισης του δικτύου σε ακραία γεγονότα. Μετά τη βορειοαμερικανική συσκότιση στη Βόρεια Αμερική το 2003, η PJM εφάρμοσε μέτρα για να είναι καλύτερα προετοιμασμένη για απώλειες από άεργη ισχύ. Εκτιμά ότι τα μέτρα αυτά θα βοηθήσουν επίσης στο να καταστήσουν το δίκτυο λιγότερο ευάλωτο έναντι των επιπτώσεων του GIC.

3.6.2 Διαστημικές κλίμακες NOAA για το διάστημα

Οι διαστημικές κλίμακες NOAA για το διάστημα εισήχθησαν ως τρόπος επικοινωνίας με το ευρύ κοινό σχετικά με τις τρέχουσες και μελλοντικές διαστημικές καιρικές συνθήκες και τις πιθανές επιπτώσεις τους στους ανθρώπους και στα συστήματα. Πολλά από τα προϊόντα SWPC περιγράφουν το περιβάλλον του χώρου, αλλά λίγα έχουν περιγράψει τις επιπτώσεις που μπορεί να αντιμετωπίσει ως αποτέλεσμα περιβαλλοντικών διαταραχών. Αυτές οι κλίμακες είναι χρήσιμες για τους χρήστες των προϊόντων μας και για όσους ενδιαφέρονται για τις διαστημικές καιρικές επιπτώσεις. Οι κλίμακες περιγράφουν τις περιβαλλοντικές διαταραχές για τρεις τύπους συμβάντων:

- γεωμαγνητικές καταιγίδες, με τις οποίες ασχολούμαστε στην συγκεκριμένη εργασία και για αυτό πρέπει να γνωρίζουμε τον συγκεκριμένο πίνακα με τις κλίμακες
- καταιγίδες ηλιακής ακτινοβολίας
- και ραδιοσυχνότητες

Οι κλίμακες έχουν αριθμημένα επίπεδα, ανάλογα με τυφώνες, ανεμοστρόβιλους και σεισμούς που μεταδίδουν τη σοβαρότητα. Περιγράφουν πιθανά αποτελέσματα σε κάθε επίπεδο. Δείχνουν επίσης πόσο συχνά συμβαίνουν τέτοια γεγονότα και δίνουν ένα μέτρο της έντασης των φυσικών αιτιών.

Έτσι στον παρακάτω (Πίνακα 4) βλέπουμε τις κλίμακες των γεωμαγνητικών καταιγίδων που έχει δημιουργήσει το κέντρο πρόγνωσης διαστήματος η λεγόμενη Εθνική Ωκεανική και Ατμοσφαιρική Διοίκηση (NOAA)

ΠΙΝΑΚΑΣ 4. ΒΛΕΠΟΥΜΕ ΤΙΣ ΚΛΙΜΑΚΕΣ ΤΩΝ ΓΕΩΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΑΤΑΓΙΓΔΩΝ ΠΟΥ ΕΧΕΙ ΔΗΜΙΟΥΡΓΗΣΕΙ ΤΟ ΚΕΝΤΡΟ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ ΔΙΑΣΤΗΜΑΤΟΣ Η ΛΕΓΟΜΕΝΗ ΕΘΝΙΚΗ ΩΚΕΑΝΙΚΗ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΔΙΟΙΚΗΣΗ (ΝΟΑΑ)

Κλίμακ α	Περιγρ αφή	Αποτέλεσμα	Φυσικ ό μέτρο	Μέση συχνότητ α (1 κύκλος = 11 έτη)
G 5	Ακραίο	<p>Ηλεκτρικά συστήματα: Μπορεί να προκύψουν προβλήματα ελέγχου της τάσης και προβλήματα προστασίας του συστήματος, ορισμένα συστήματα δικτύου ενδέχεται να παρουσιάσουν πλήρη κατάρρευση ή διακοπή ρεύματος. Οι μετασχηματιστές ενδέχεται να βλάψουν.</p> <p>Διαστημικές επιχειρήσεις: Μπορεί να αντιμετωπίσει εκτεταμένη φόρτιση επιφανείας, προβλήματα με προσανατολισμό, δορυφόρους ανερχόμενης / κατερχόμενης ζεύξης και παρακολούθησης.</p> <p>Άλλα συστήματα: Τα ρεύματα αγωγού μπορούν να φτάσουν σε εκατοντάδες ενισχυτές, η μετάδοση ραδιοσυχνοτήτων υψηλής συχνότητας (HF) μπορεί να είναι αδύνατη σε πολλές περιοχές για μία έως δύο ημέρες, η πλοήγηση μέσω δορυφόρου μπορεί να υποβαθμιστεί για μέρες, η ραδιοπλοήγηση χαμηλής συχνότητας μπορεί να βγει για ώρες και η αυγή έχει θεωρηθεί ως χαμηλή όπως η Φλόριντα και το νότιο Τέξας (συνήθως 40 ° γεωμαγνητικό πλάτος.).</p>	Kp = 9	4 ανά κύκλο (4 ημέρες ανά κύκλο)
G 4	Αυστηρ ός	<p>Ηλεκτρικά συστήματα: Πιθανά μεγάλα προβλήματα ελέγχου τάσης και ορισμένα προστατευτικά συστήματα θα εκλείψουν κατά λάθος τα βασικά στοιχεία ενεργητικού από το δίκτυο.</p> <p>Διαστημικές επιχειρήσεις: Μπορεί να παρουσιαστούν προβλήματα επιφανειακής χρέωσης και παρακολούθησης, μπορεί να χρειαστούν διορθώσεις για προβλήματα προσανατολισμού.</p> <p>Άλλα συστήματα: Τα επαγόμενα ρεύματα αγωγών επηρεάζουν τα προληπτικά μέτρα, την σποραδική διάδοση του ραδιοφωνικού συστήματος, την υποβάθμιση της δορυφορικής πλοήγησης για ώρες, τη διαταραχή της ραδιοπλοήγησης χαμηλής συχνότητας και την αύρα χαμηλή όπως η Αλαμπάμα και η βόρεια Καλιφόρνια (τυπικά γεωμετρική γεωμετρία 45 °).</p>	Kp = 8, συμπεριλαμβανομένου ενός 9-	100 ανά κύκλο (60 ημέρες ανά κύκλο)

G 3	Ισχυρός	<p>Ηλεκτρικά συστήματα: Μπορεί να απαιτούνται διορθώσεις τάσης, ενεργοποιημένοι ψευδείς συναγερμοί σε ορισμένες συσκευές προστασίας.</p> <p>Διαστημικές επιχειρήσεις: Μπορεί να προκύψει φόρτιση επιφανειών σε δορυφορικά εξαρτήματα, η σύμπλεξη μπορεί να αυξηθεί σε δορυφόρους χαμηλής γήινης τροχιάς και ενδέχεται να απαιτηθούν διορθώσεις για προβλήματα προσανατολισμού.</p> <p>Άλλα συστήματα: Μπορεί να εμφανιστούν διαλείπουσες δορυφορικές πλοηγήσεις και προβλήματα ραδιοπλοήγησης χαμηλής συχνότητας, το ραδιόφωνο HF μπορεί να είναι διακεκομμένο και η αυγή θεωρείται χαμηλό όπως το Illinois και το Oregon (τυπικά 50 ° γεωμαγνητικό πλάτος.).</p>	Kp = 7	200 ανά κύκλο (130 ημέρες ανά κύκλο)
G 2	Μέτριο ς	<p>Ηλεκτρικά συστήματα: Τα συστήματα ισχύος μεγάλου γεωγραφικού πλάτους ενδέχεται να συναντήσουν συναγερμούς τάσης, οι καταιγίδες μεγάλης διάρκειας ενδέχεται να προκαλέσουν βλάβη στο μετασχηματιστή.</p> <p>Διαστημικές επιχειρήσεις: Μπορούν να απαιτηθούν διορθωτικές ενέργειες στον προσανατολισμό μέσω του ελέγχου εδάφους. Οι πιθανές αλλαγές παρατείνουν τις προβλέψεις τροχιάς.</p> <p>Άλλα συστήματα: Η διάδοση του ραδιοφωνικού συστήματος HF μπορεί να εξασθενίσει σε υψηλότερα γεωγραφικά πλάτη και η αυγή έχει φανεί χαμηλή όπως η Νέα Υόρκη και η Αϊντάχο (τυπικά 55 ° γεωμαγνητικό πλάτος).</p>	Kp = 6	600 ανά κύκλο (360 ημέρες ανά κύκλο)
G 1	Μικρός	<p>Ηλεκτρικά συστήματα: Μπορεί να υπάρξουν διακυμάνσεις του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.</p> <p>Διαστημικές επιχειρήσεις: Μικρή επίπτωση στις δορυφορικές λειτουργίες είναι δυνατή.</p> <p>Άλλα συστήματα: Τα μεταναστευτικά ζώα επηρεάζονται σε αυτό και σε υψηλότερα επίπεδα. Η αυγή είναι συνήθως ορατό σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη (βόρειος Michigan and Maine).</p>	Kp = 5	1700 ανά κύκλο (900 ημέρες ανά κύκλο)

3.6.3 Διεθνείς δράσεις για την αξιολόγηση και την διαχείριση των γεωμαγνητικών καταιγίδων

Στο συγκεκριμένο συνέδριο πήραν μέρος έξι ομιλητές από την NASA, το NERC, το JRC, το Εθνικό Δίκτυο του Ηνωμένου Βασιλείου (UK) και η Γενική Γραμματεία του Ηνωμένου Βασιλείου οι οποίοι ασχολήθηκαν αποκλειστικά με θέματα πρόληψης, ετοιμότητας και αντιμετώπισης των γεωμαγνητικών καταιγίδων.

Αρχικά για την πρόληψη και τον μετριασμό των γεωμαγνητικών καταιγίδων, οι ομιλητές τονίζουν ότι πρέπει να γνωρίζουμε τη σοβαρότητα των ακραίων γεγονότων και στο να αξιολογούμε σωστά των κίνδυνο που μπορούν να επιφέρουν. Από την εμπειρία τους στις μεταγενέστερες τεχνικές αναλύσεις υποστηρίζουν ότι ο προσδιορισμός του γεωηλεκτρικού πεδίου είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Οι προσεγγίσεις για την εξαγωγή σεναρίων ηλεκτρικού πεδίου είναι είτε γεγονότα (ιστορικά δεδομένα θύελλας), στατιστικά (δεδομένα μαγνητομέτρου και παρεκβολή), θεωρητικά (μοντέλα τελευταίας τεχνολογίας), ή ένα μείγμα αυτών των τριών. Τα πρώτα αποτελέσματα της NASA δείχνουν ότι τα μοντέλα τελευταίας τεχνολογίας καταφέρνουν να παρέχουν μια αρκετά ακριβή αναπαράσταση του ηλεκτρικού πεδίου που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια της καταιγίδας του Halloween. Αυτό υποδηλώνει ότι τα μοντέλα έχουν την ικανότητα να αναπαράγουν ρεαλιστικές ακραίες συνθήκες. Οι μελέτες δείχνουν επίσης ότι σε περίπτωση ακραίας γεωμαγνητικής καταιγίδας το όριο του συμβάντος θα μετακινηθεί νότια προς 40 μοίρες μαγνητικού γεωγραφικού πλάτους.

Η NASA και η NOAA συνεργάζονται στενά με τον NERC, έναν μη κερδοσκοπικό οργανισμό υπεύθυνο για την καθιέρωση και την επιβολή υποχρεωτικών προτύπων ηλεκτρικής αξιοπιστίας με εξουσιοδότηση στις ΗΠΑ και τον Καναδά. Σε απάντηση της έκθεσης του NERC για το 2012 σχετικά με τις επιπτώσεις των γεωμαγνητικών διαταραχών στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, μια ομάδα εργασίας η λεγόμενη GMD (GMD: γεωμαγνητική διαταραχή) επισημοποιήθηκε για την ανάπτυξη μεθοδολογιών και εργαλείων για τη βιομηχανία για την εκτίμηση του κινδύνου γεωμαγνητικών καταιγίδων. Αυτά τα εργαλεία είναι προσαρμοσμένα για χρήση από χειριστές και σχεδιαστές. Η NERC εφαρμόζει επίσης μια εθελοντική βάση δεδομένων ανταλλακτικών με έμφαση σε μακρύ εξοπλισμό για να διευκολύνει τη διαδικασία ανάκτησης σε περίπτωση σοβαρού γεγονότος.

Το Εθνικό Δίκτυο του Ηνωμένου Βασιλείου πραγματοποίησε μια αξιολόγηση για τους ενδεχομένως κινδύνους του διαστημικού καιρού για το δικό τους δίκτυο. Η ευρεία καταστροφή του μετασχηματιστή και η μεταγενέστερη πτώση του διασυνδεδεμένου δικτύου θεωρούνται εξαιρετικά απίθανες. Μια καταιγίδα τύπου Carrington, που θεωρείται ότι έχει 100ετή περίοδο επιστροφής, θα βλάψει έναν μικρό αριθμό μετασχηματιστών και παρά τις μεγάλες οικονομικές απώλειες για τον φορέα χειρισμού, θα υπάρξουν ελάχιστες επιπτώσεις στους τελικούς χρήστες. Άλλες επιδράσεις του διαστημικού καιρού, όπως απώλεια αέργου ισχύος και αρμονικές επιδράσεις ή υποβάθμιση του μετασχηματιστή, αναμένεται να είναι πιο συχνές, αλλά θεωρούνται γεγονότα χαμηλού αντίκτυπου με τοπικές προσωρινές επιπτώσεις. Το Εθνικό Δίκτυο βασίζεται σε λειτουργικές και σχεδιαστικές μετριασμού για να αντιμετωπίσει τις γεωμαγνητικές καταιγίδες. Τα επιχειρησιακά μέτρα περιλαμβάνουν την επιστροφή όλων των κυκλωμάτων σε λειτουργία, τη στήριξη εξωγενούς ισχύος. Τα μέτρα σχεδιασμού προβλέπουν έμφυτη ασφάλεια

και περιλαμβάνουν σχεδιασμό αντοχής του μετασχηματιστή σε γεωμαγνητικά προκαλούμενο ρεύμα(GIC), μεγαλύτερο αριθμό ανταλλακτικών μετασχηματιστών, τάσεις κάτω των 400 kV κλπ. Το Εθνικό Δίκτυο έχει αναθέσει επίσης μελέτες για την ανάπτυξη λειτουργιών ευπάθειας μετασχηματιστών σε σχέση με τις επιπτώσεις του GIC. Υποθέτοντας ένα συμβάν σε εκατό χρόνια, εκτιμάται ότι το πολύ 10-20 μετασχηματιστές θα υποστούν θερμική βλάβη και θα τεθούν εκτός λειτουργίας. Αυτό αποτελεί το 1% όλων των μετασχηματιστών στο δίκτυο. Με τα διαθέσιμα ανταλλακτικά μετασχηματιστών ένα γεγονός τέτοιας έκτασης θεωρείται διαχειρίσιμο. Τα πρωτόκολλα του διαστημικού καιρού και η ανταλλαγή πληροφοριών έκτακτης ανάγκης μεταξύ των ενδιαφερομένων ελέγχονται κατά τη διάρκεια ασκήσεων στοχευόμενων χώρων ελέγχου.

Η Γενική Γραμματεία Πολιτικών Υποθέσεων του Ηνωμένου Βασιλείου αναπτύσσει εθνικά σχέδια ανταπόκρισης πολλών ενδιαφερομένων για τις διαστημικές καιρικές συνθήκες, λαμβάνοντας υπόψη το ευρύ φάσμα των πιθανών επιπτώσεων, όπως η απώλεια ισχύος, οι διακοπή της δορυφορικές επικοινωνίες, το GPS, κ.α..

Τέλος για την εκτίμηση του συνολικού κινδύνου των επιπτώσεων του διαστημικού καιρού στην κοινωνία λόγω της απώλειας ισχύος, πρέπει να συσχετιστούν σοβαρά σενάρια γεωμαγνητικών καταιγίδων, μοντέλα διαταραχής δικτύου και μέθοδοι εκτίμησης ζημιών. Αυτό το ολοκληρωμένο σύστημα μοντελοποίησης πρέπει επίσης να μπορεί να λαμβάνει υπόψη τις πιθανές αλληλεξαρτήσεις. Το JRC έχει αναπτύξει μια πλατφόρμα για την αξιολόγηση του κινδύνου και της ανθεκτικότητας των υποδομών ζωτικής σημασίας με έμφαση στις αλληλεξαρτήσεις. Με την προϋπόθεση ότι υπάρχουν διαθέσιμα μοντέλα αντίκτυπου, αυτή η πλατφόρμα εφαρμόζεται γενικά σε όλους τους τύπους συμβάντων που προκαλούν περιστατικά και συνεπώς, σε αντίξοες καιρικές συνθήκες.

3.6.4 Οι προσπάθειες προστασίας από γεωμαγνητικές καταιγίδες στην Αμερική και την Ευρώπη με την βοήθεια άλλων χωρών

Οι ερευνητές συζήτησαν τις απαιτήσεις των χειριστών αλλά και των ρυθμιστικών απαιτήσεων με συνεισφορές των Νορβηγικών και Σουηδικών φορέων χειρισμού του δικτύου μεταφοράς, του FERC και του ESA.

Η Σουηδία έχει σημαντική εμπειρία με γεωμαγνητικές διαταραχές που προκάλεσαν την πτώση των εναέριων γραμμών, μετασχηματιστών ή αντιδραστήρων διακλάδωσης. Ωστόσο, ο διαστημικός καιρός σε καμία περίπτωση δεν οδήγησε σε βλάβη στο σύστημα μετάδοσης. Με βάση τα διδάγματα που αντλήθηκαν από τις εμπειρίες του παρελθόντος, εισήχθη ένα βελτιωμένο σύστημα προστασίας από γείωση για να επιτύχει επιλεκτική διακοπή. Οι μετασχηματιστές ενισχύθηκαν (σκληρύνθηκαν) μέσω σχεδιασμού και σήμερα τα δύο τρίτα περίπου των μετασχηματιστών στο σύστημα μετάδοσης είναι τριφασικοί μετασχηματιστές πυρήνα τριών φάσεων που μπορούν να αντέξουν ένα DC 200 A για 10 λεπτά στο ουδέτερο με πλήρες AC φορτίο. Βέβαια οι υπόλοιποι μετασχηματιστές δεν πληρούν αυτές τις προδιαγραφές καθώς είναι παλαιότεροι. Ως πρόσθετο προληπτικό μέτρο, κανένα κρίσιμο σύστημα δικτύου μεταφοράς δεν εξαρτάται από το GPS, διότι το GPS είναι πολύ ευάλωτο στις γεωμαγνητικές καταιγίδες όπως έχουμε δει και στα ιστορικά αρχεία που έχουμε αναλύσει. Η δύναμη του συστήματος για τον

μετριάσμο του διαστημικού καιρού αποδείχθηκε κατά τη διάρκεια αρκετών συμβάντων G4 και G5 (στην κλίμακα NOAA Πίνακας 4) όπου μόνο σε λίγες περιπτώσεις σημειώθηκε μόνο έκλειψη.

Όσον αφορά ένα γεγονός τύπου Carrington ή χειρότερο, το σουηδικό εθνικό δίκτυο πιστεύει ότι το δίκτυο μεταφοράς θα καταρρεύσει εξαιτίας της κατανάλωσης της άεργου ισχύος και της αστάθειας της τάσης προτού οι μετασχηματιστές μπορέσουν να υποστούν σοβαρές ζημιές. Στην περίπτωση αυτή, οι χρόνοι εκκίνησης μετά την κατάρρευση εκτιμώνται ότι είναι περίπου μία ώρα για το δίκτυο μετάδοσης και έξι έως οκτώ ώρες για το δίκτυο διανομής.

Το νορβηγικό δίκτυο μεταφοράς παρουσίασε επίσης διάφορες περιπτώσεις μικρών (5-15 A) έως υψηλότερων (μεγαλύτερο από 20A) συμβάντων γεωμαγνητικών προκαλούμενων ρευμάτων (GIC). Το υψηλότερο GIC που μετρήθηκε ήταν 40 A σε ουδέτερο μετασχηματιστή. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα μια πτώση τάσης 1-2 kV σε ένα σύστημα 420 kV το οποίο, ωστόσο, δεν θεωρείται προβληματικό. Οι GIC μετριοούνται σε έξι σταθμούς παρακολούθησης στο νότο και στο βόρειο τμήμα της χώρας, με σκοπό να δημιουργηθεί μια συσχέτιση μεταξύ του δείκτη K_p και των επιπέδων GIC στους μετασχηματιστές. Η Νορβηγία μέχρι στιγμής δεν υπέστη διακοπές ηλεκτρικού ρεύματος ή μερική διακοπή του δικτύου μετάδοσης λόγω του διαστημικού καιρού. Όσον αφορά τον αντίκτυπο μιας ακραίας γεωμαγνητικής καταιγίδας, ο νορβηγικός χειριστής του ηλεκτρικού δικτύου θεωρεί επίσης ότι το δίκτυο μετάδοσης θα καταρρεύσει εξαιτίας της αστάθειας της τάσης πριν από την σοβαρή βλάβη ή την αποτυχία κρίσιμων στοιχείων του δικτύου. Για τον μετριάσμο του κινδύνου που σχετίζεται με τους διαστημικούς καιρούς οι χειριστές χρειάζονται εκ των προτέρων πληροφορίες για πιθανά γεγονότα που επηρεάζουν τη γη. Απαιτείται έγκαιρη προειδοποίηση για την ηλιακή δραστηριότητα με χρόνο παράδοσης 3-4 ημερών. Μόλις είναι βέβαιο ότι ένα CME είναι κατευθυνόμενο προς τη γη (1-3 ημέρες πριν από την πρόσκρουση), απαιτούνται πληροφορίες για τις προσβεβλημένες περιοχές. Επίσης είναι απαραίτητη η πιθανή δύναμη της γεωμαγνητικής καταιγίδας και ο χρόνος επίθεσης. Όταν η γεωμαγνητική καταιγίδα είναι επικείμενη, δηλαδή πρόκειται να συμβεί σε σύντομο χρονικό διάστημα (2-4 ώρες επιθυμητό χρόνο παράδοσης), ο χειριστής απαιτεί πληροφορίες σχετικά με τις πιθανές περιφερειακές επιδράσεις, τον δείκτη K_p και την αναμενόμενη διάρκεια του συμβάντος.

Μια σημαντική επέκταση στις πληροφορίες σχετικά με τις καιρικές συνθήκες και στις υπηρεσίες που παρέχονται από την ESA θα βοηθήσει τους δορυφόρους στο διάστημα και τα δίκτυα όπως τα ηλεκτρικά δίκτυα στη γη να αντιμετωπίσουν τις ηλιακές εκρήξεις. Επιστήμονες, μηχανικοί και ερευνητές σε όλη την Ευρώπη συνεργάζονται με την ESA για να αναπτύξουν ένα σύστημα προειδοποίησης διαστημικών καιρικών συνθηκών στο πλαίσιο του προγράμματος ευαισθητοποίησης διαστημικής κατάστασης του οργανισμού και κυρίως για συστήματα προειδοποίησης των γεωμαγνητικών καταιγίδων που πολύ επιστήμονες προσπαθούν να διερευνήσουν. Η ESA έχει δημιουργήσει ένα σύνολο τεχνολογικών χαρτών, ένα από τα οποία είναι στον τομέα των καιρικών συνθηκών. Ο τομέας της ενέργειας αναγνωρίστηκε ως δυναμικός χώρος για την ανάπτυξη υπηρεσιών με τη χρήση διαστημικών συστημάτων. Κατά συνέπεια, ο οδικός και ενεργειακός χάρτης πορείας ενοποιείται με επίκεντρο στα δίκτυα ηλεκτρικής

ενέργειας, λαμβάνοντας ως αφετηρία το προπαρασκευαστικό φάση του προγράμματος ευαισθητοποίησης για τη διαστημική κατάσταση.

Στη συνέχεια, εντοπίστηκαν τομείς υψηλής τεχνολογίας με προτεραιότητα που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για συνεργασία με τον ενεργειακό τομέα: για λόγους πρόβλεψης, οι μετρήσεις του ηλιακού ανέμου και τα μοντέλα που σχετίζονται με ηλιακά δεδομένα σε γεωμαγνητικές διαταραχές και GIC. Τα μοντέλα γεωμαγνητικών καταιγίδων και GIC είναι κρίσιμα για την εξειδίκευση ακραίων συμβάντων. Ο χάρτης πορείας βρίσκεται στη φάση της αναθεώρησης και τελικά θα εφαρμοστεί μέσω των τεχνολογικών προγραμμάτων της ESA.

Πριν από τη δεκαετία του 1960 σημειώθηκαν αρκετές καταιγίδες με υψηλότερες βαθμίδες από εκείνες του γεγονότος του 1989 και δεν έχουν τεκμηριωθεί οι σημαντικές επιπτώσεις που έπληξαν τότε την γη. Στις ΗΠΑ, η επέκταση του ηλεκτρικού δικτύου σε εξαιρετικά υψηλή τάση ξεκίνησε στη δεκαετία του 1960 και η FERC θεωρεί ότι αυτό προκάλεσε την εισαγωγή αδυναμιών στο σύστημα μεταφοράς. Μερικά σχέδια και επιχειρησιακά μέτρα μετριασμού είναι σε ισχύ, και υπάρχει ελπίδα ότι το αμερικανικό πλέγμα δύναμης μπορεί να αντέξει έναν τύπο 1989 θύελλας. Το ρυθμιστικό πλαίσιο που ισχύει μέχρι και σήμερα βρίσκεται σε αναθεώρηση, ώστε να ανταποκρίνεται καλύτερα στις προκλήσεις των πιθανών επιπτώσεων των καιρικών συνθηκών στο ηλεκτρικό δίκτυο. Να υπογραμμιστεί ότι κύριος στόχος της νέας νομοθεσίας είναι η διασφάλιση της συνεχούς λειτουργίας του δικτύου αντί της προστασίας του υλικού του συστήματος. Κατά συνέπεια, η κατάρρευση του ηλεκτρικού δικτύου παρά η εκτεταμένη ζημία ή η αποτυχία μετασχηματιστών δεν θεωρούνται επίσης αποδεκτή επιλογή όταν υπάρχει η δυνατότητα να αποτραπεί να συμβεί. Τέλος, μία από τις νέες υπηρεσίες της ESA θα βοηθήσει τους φορείς χειριστών δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας να αντιμετωπίσουν μια μεγάλη πρόκληση που προκαλείται από το διαστημικό καιρό, όπως είναι τα μαγνητικά επαγόμενα ρεύματα.

3.7 Οι Ευρωπαϊκές χώρες συνεργάζονται και ενώνουν τις δυνάμεις τους για τον διαστημικό καιρό

Την ίδια μέρα με την αποκάλυψη της NASA, η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (ESA), η οποία έχει σαν στόχο να δίνει μια έγκαιρη προειδοποίηση αρκετές ημέρες πριν από μια καταστροφική ηλιακή καταιγίδα, ανακοίνωσε ότι σε συνεργασία με επιστήμονες 14 χωρών της Ευρώπης αναπτύσσει ένα δίκτυο προειδοποίησης που θα βοηθήσει στην προστασία της γης από τις επιπτώσεις της ηλιακής δραστηριότητας. Μια πρόσφατη μελέτη της ESA υπολόγισε ότι οι δυνητικοί κοινωνικοοικονομικοί αντίκτυποι στην Ευρώπη από ένα και μόνο ακραίο φαινόμενο του διαστημικού καιρού μπορεί να φτάσουν τα 15 δισεκατομμύρια ευρώ.

Το πρόγραμμα “Επίγνωση της Κατάστασης του Διαστήματος” (Space Situational Awareness – SSA), παράγει σήμερα σχεδόν 60 προϊόντα όπως μετρήσεις υψηλής ποιότητας, προβλέψεις, προειδοποιήσεις και ανάλυση από εμπειρογνώμονες από τις ομάδες που συμμετέχουν. Προϊόντα που αναμένεται να αυξηθούν σε πάνω από 140 την επόμενη χρονιά.

Πολλοί χρησιμοποιούν δεδομένα πραγματικού χρόνου του ήλιου και των διαταραχών που προκύπτουν και ανιχνεύθηκαν στο περιβάλλον γύρω από τη γη, στην ατμόσφαιρά της αλλά και προς την επιφάνεια. Κάποιοι επιστήμονες αναφέρουν ότι: «Η ανάπτυξη πρόδρομων

υπηρεσιών διαστημικού καιρού στην Ευρώπη είναι μια επιτυχία που μεγαθύνεται και υπόσχεται εμπορικές ευκαιρίες που δεν τις φανταζόμασταν μόλις λίγα χρόνια πριν» Σημαντική είναι και η συνεισφορά του δορυφόρου Proba2 της ESA, ο οποίος παρακολουθεί τον ήλιο.

Οι μη επεξεργασμένες πληροφορίες συλλέγονται από έναν μεγάλο και αυξανόμενο αριθμό επίγειων και διαστημικών αισθητήρων, και παραδίδονται μέσω ενός δικτύου που ονομάζεται Κέντρων Εξυπηρέτησης Εμπειρογνομόνων, που ιδρύθηκε από την ESA για να συνδυάσει και να αξιοποιήσει τις υφιστάμενες εγκαταστάσεις στα επιμέρους κράτη μέλη. Ο υπεύθυνος για την ανάπτυξη του δικτύου της ESA, ο Alexi Glover αναφέρει χαρακτηριστικά ότι « Τα Κέντρα συνενώνουν τον πλούτο της εμπειρογνομοσύνης για τις διαστημικές καιρικές συνθήκες και τις δυνατότητες που υπάρχουν σε εθνικό επίπεδο».

Πολυάριθμοι τομείς στην ευρωπαϊκή οικονομία είναι ευάλωτοι απέναντι στις γεωμαγνητικές καταιγίδες, από τις τηλεπικοινωνίες και τις μεταφορές μέχρι την ενέργεια, κυρίως στα βόρεια γεωγραφικά πλάτη. Ο ήλιος προκαλεί θύελλες στο εσωτερικό της μαγνητόσφαιρας της γης όταν γιγάντιες εκρήξεις από την εξωτερική ατμόσφαιρα του ήλιου οι λεγόμενες εκτινάξεις στεφανιαίας μάζας (CME) πέφτουν στον πλανήτη μας. Η ESA ξεκίνησε την προσπάθεια διαστημικής επίγνωσης το 2009. «Η σημερινή επέκταση του δικτύου αποδίδει τους καρπούς αρκετών χρόνων εργασίας» λέει ο Juha Pekka Luntama, διευθυντής του τμήματος Διαστημικού Καιρού της ESA.

Μια γεωμαγνητική καταιγίδα πλησίασε απειλητικά τη γη το 2012 αλλά τελικά προσπέρασε την τροχιά του πλανήτη χωρίς να τον χτυπήσει, η συγκεκριμένη καταιγίδα οι επιστήμονες ισχυρίζονται ότι θα είχε μέγεθος σαν την καταιγίδα του Carrington. Τέλος οι επιστήμονες προβλέπουν ότι θα συμβεί μια τέτοια γεωμαγνητική καταιγίδα ως το 2022, με πιθανότητα 12 % και ο Λευκός Οίκος καταστρώνει σχέδιο έκτακτης ανάγκης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την ολοκλήρωση της εργασίας μπορούμε να καταλήξουμε σε ορισμένα συμπεράσματα. Τα ηλεκτρικά δίκτυα ήταν και είναι απροστάτευτα στα καιρικά φαινόμενα και κυρίως στα διαστημικά καιρικά φαινόμενα. Δεν υπήρχε κάποια οργανωμένη και κυρίως τεχνολογικά εξελιγμένη προστασία των πόλεων από τέτοιου είδους φαινόμενα. Πιο συγκεκριμένα, στην Ελλάδα δεν υπάρχει η σχετική ευαισθητοποίηση για την προστασία των ηλεκτρικών δικτύων και των καταναλωτών τους. Σε περίπτωση που πραγματοποιηθεί μια γεωμαγνητική καταιγίδα ο κίνδυνος είναι μεγάλος τόσο για μικρότερα, όσο και για μεγαλύτερα ηλεκτρικά δίκτυα, καθώς επίσης υπάρχει πιθανότητα να επηρεαστεί ολόκληρη η χώρα αποκτώντας σοβαρά προβλήματα.

Αν ανατρέξουμε πίσω στον χρόνο θα συναντήσουμε πολλά συμβάντα γεωμαγνητικών καταιγίδων που έπληξαν τον κόσμο. Επίσης ανάλογα με το μέγεθος μιας τέτοιας καταιγίδας έρχονται και αντίστοιχες συνέπειες, άλλοτε δύσκολα και άλλοτε πιο εύκολα αντιμετωπίσιμες.

Οι ακραίες καταιγίδες που αναλύονται στην εργασία είναι πολύ ασυνήθιστα, σε γενικές γραμμές φαινόμενα και επομένως οι αναφορές και οι περιγραφές αυτών των φαινομένων είναι εξαιρετικά δυσεύρετες. Μια έκρηξη πλάσματος από τον ήλιο και οι αλληλεπιδράσεις της έκρηξης αυτής δεν οδηγούν πάντα σε ακραίες γεωμαγνητικές καταιγίδες με τις αναφερόμενες συνέπειες. Οι τοπικές μαγνητικές διαταραχές παίζουν βασικό ρόλο στην εκτίμηση του δυνητικού παράγοντα κινδύνου των ακραίων γεγονότων σε συγκεκριμένες περιοχές. Η επίδραση του γεωγραφικού πλάτους στις γεωμαγνητικές καταιγίδες είναι γνωστή, καθώς οι γεωμαγνητικές διαταραχές είναι συνήθως μεγαλύτερες σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη εξαιτίας της επίδρασης του σέλας που δημιουργείται. Επίσης κάποιες μελέτες σε παγκόσμια κλίμακα κάνουν αναφορά στο ότι σημαντικό ρόλο παίζει και το γεωγραφικό μήκος, το οποίο είναι ένας σημαντικός παράγοντας που καθορίζει την σοβαρότητα της διαταραχής και του συμβάντος.

Στην περίπτωση που πραγματοποιηθεί μια ακραία γεωμαγνητική καταιγίδα υπάρχουν πολλές πιθανότητες για σοβαρές συνέπειες σε διεθνές επίπεδο. Η καταστροφική επίδραση αυτών των συνεπειών θα μπορούσε να μετριαστεί εφόσον η διεθνής κοινότητα προχωρήσει σε ορισμένες ενέργειες για την προστασία των ηλεκτρικών δικτύων από τέτοιου είδους φαινόμενα. Ιδιαίτερα σημαντική επένδυση θα ήταν ο εξοπλισμός των χωρών με νέους, πιο σύγχρονους δορυφόρους προκειμένου να προλαμβάνονται φαινόμενα όπως οι γεωμαγνητικές και οι ηλιακές καταιγίδες και να έχουν όσο το δυνατό μικρότερο αντίκτυπο στις ανθρώπινες κοινωνίες. Μέχρι στιγμής οι προσπάθειες που έχουν γίνει ειδικά από το SWPC, η οποία είναι η επίσημη πηγή προειδοποιήσεων για τις διαστημικές καιρικές συνθήκες στις ΗΠΑ, είναι αξιόπαινες. Όμως υπάρχουν σημαντικά περιθώρια για βελτίωση των συστημάτων προειδοποίησης για την γεωμαγνητική καταιγίδα.

Οι εταιρείες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας θα πρέπει να καταφέρουν να σκληρύνουν τους μετασχηματιστές υψηλής τάσης που συνδέουν μεγάλα ενεργητικά που παράγουν ενέργεια με ηλεκτρικά δίκτυα. Ακόμη και με διαδικασίες προειδοποίησης και συναγερμούς οι λειτουργικοί μετριάσμοι μπορεί να θεωρηθούν αναξιόπιστα συστήματα στην περίπτωση μιας αρκετά μεγάλης καταιγίδας.

Η ενδυνάμωση όλων των κρίσιμων υποδομών εναντίον των γεωμαγνητικών καταιγίδων δεν είναι οικονομικά αποδοτική ούτε τεχνικά εφικτή. Όμως η ενδυνάμωση των γραμμών μεταφοράς υψηλής τάσης με πυκνωτές σειράς γραμμής μεταφοράς είναι δυνατή. Αλλά το να το κάνουμε αυτό για όλες τις επιχειρήσεις κοινής ωφελείας που υποστηρίζουν 345 MV και παραπάνω θα αποδειχθεί οικονομικά ανέφικτο. Για παράδειγμα, από την διακοπή ηλεκτρισμού του Quebec το 1989, η Hydro-Quebec δαπάνησε πάνω από 1,2 δισεκατομμύρια δολάρια σε πυκνωτές σειράς γραμμών μεταφοράς. Αν και η ενδυνάμωση όλων των γραμμών μεταφοράς και μετασχηματιστών υψηλής τάσης δεν είναι οικονομικά εύκολα βιώσιμη στρατηγική, έτσι οι κυβερνήσεις των κρατών μελών του OECD (Οργανισμός Οικονομικής Συνεργασίας και Ανάπτυξης) θα πρέπει να εξετάσουν το ενδεχόμενο να ενθαρρύνουν τις εταιρείες ηλεκτροπαραγωγής και τις επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας να δυναμώσουν μετασχηματιστές που συνδέουν κρίσιμες εγκαταστάσεις παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας με τα αντίστοιχα ηλεκτρικά δίκτυα. Η διασφάλιση της επιβίωσης αυτών των μετασχηματιστών υψηλής τάσης σε περίπτωση ακραίας γεωμαγνητικής καταιγίδας, από τη μία, δημιουργεί την ταχύτερη αποκατάσταση των εθνικών ηλεκτρικών δικτύων και από την άλλη, εξαλείφει ένα μέρος της πιθανής ζήτησης για αντικατάσταση υψηλής τάσης μετασχηματιστών στην περίπτωση ενός ακραίου φαινομένου γεωμαγνητικής καταιγίδας.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Aguado J. C. Cid, E. Saiz, and Y. Cerrato, “A Hyperbolic Decay of the Dst Index during the Recovery Phase of Intense Geomagnetic Storms”

Albertson V.D., J.M. Thorson Jr, S.A. Miske Jr , “The effect of geomagnetic storms on electrical power systems”

Bruce T. Tsurutani, Walter D. Gonzalez, Yohsuke Kamide, John K. Arballo “Magnetic Storms”, American Geophysical Union

Burch James, Dr. William Taylor, Dr. Sten Odenwald, Ms. Susan Higley “Solar storms and you. Exploring Magnetic storms”, Nasa

Cid C., Judith Palacios, Elena Saiz, Antonio Guerrero, and Yolanda Cerrato, “On extreme geomagnetic storms”, 2014

Δαγκλή Ι., Έρευνα και Εκπαίδευση στη Διαστημική Φυσική του Τομέα Αστροφυσικής του Παν. Αθηνών “Ποια εξήγηση υπάρχει για τις γεωμαγνητικές καταιγίδες και τον διαστημικό καιρό”, έκδοση του Popular Science, τεύχος Μαΐου 2004

Δημητρόπουλος. Κ, Λάγιος. Ε, “Ανασκόπηση στην πρόσφατη εξέλιξη των δυναμικών μεθόδων διασκόπησης”

“Διαστημικό σκάφος θα παρακολουθεί τις τεράστιες ηλιακές καταιγίδες που θα μπορούσαν να πλήξουν τη γη”, Εφημερίδα Καθημερινή

Electromagnetic Pulse: Effects on the U.S. Power Grid

“Solar storm risk to the north American electric grid”, Lloyds

“Geomagnetic Storms: An Evaluation of Risks and Risk Assessments”, May 2011

Kamide Y., N. Yokoyama, W. Gonzalez, B.T. Tsurutani, , I.A. Daglis, A. Brekke, S. Masuda, “Two-step development of geomagnetic storms”, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 103, NO. A4, PAGES 6917-6921, APRIL 1, 1998

Kappenman J., “Geomagnetic Storms and the US Power Grid”, January 2010

Kappenman J., “Geomagnetic Storms and Their Impacts on the U.S. Power Grid”, Metatech Corporation, January 2010.

Krausmann E., Emmelie Andersson, William Murtagh, Neil Mitchison, “Space Weather and Power Grids: Findings and Outlook”, October 2013

- Kemp J., “Column- Protecting the power grid and GPS from solar storms: Kemp” ,2013
- “Geomagnetic Storms”, Centra Technology, Inc., on behalf of Office of Risk Management and Analysis, United States Department of Homeland Security.
- Gaunt C.T., “Geomagnetically induced currents in the Southern African Electricity transmission network” ,July 2003
- “Geomagnetic Storms”, Space Weather Prediction Center National Oceanic and Atmospheric Administration, 2018
- “Impacts of Severe Space Weather on the Electric Grid” , The MITRE Corporation JASON Program Office, November 2011
- Liu Chun-Ming, Lian-Guang Liu, Risto Pirjola,, Ze-Zhong Wang, “Calculation of geomagnetically induced currents in mid- to low-latitude power grids based on the plane wave method: A preliminary case study”, SPACE WEATHER, VOL. 7, S04005, 2009
- Μαλατέστας Π., "Διανομή Ηλεκτρικής Ενέργειας", Εκδόσεις Τζιόλα, 2015
- Μαλατέστας Π., "Συστήματα Ηλεκτρικής ενέργειας" Εκδόσεις Τζιόλα, Έκδοση 2"
- Miller T.J.E., “Reactive power control in electric systems”, J. Wiley & Sons, 1982
- “Movie - maps of low - latitude magnetic storm disturbance”, Jeffrey J. Love and Jennifer L. Gannon
- “NOAA Space Weather Scales”, Space Weather Prediction Center National Oceanic and Atmospheric Administration, 2018
- Πανουσόπουλος Χ., "ΜΕΘΟΔΟΙ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ", Μεταπτυχιακή διπλωματική, ΑΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ
- Willis D. M., G. M. Armstrong, C. E. Ault, F. R. Stephenson, “Identification of possible intense historical geomagnetic storms using combined sunspot and auroral observations from East Asia” ,30 March 2005
- Tsurutani B. T., W. D. Gonzalez, G. S. Lakhina and S. Alex, “The extreme magnetic storm of 1–2 September 1859”, JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 108, NO. A7, 2003
- Τεχνολογία – Πλανήτης, Το Βήμα εφημερίδα, 2018

Short T. A., "Electric Power Distribution Handbook", Second edition