



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ & ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

<<Ποσοτικοποίηση κλιματικών παραγόντων που επηρεάζουν την ανθεκτικότητα των κρίσιμων υποδομών ηλεκτρικής ενέργειας>>



Φοιτητής: Κυριακόπουλος Παναγιώτης

ΑΜ:45485

Επιβλέπων Καθηγητής

Μανουσάκης Νικόλαος

ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

FACULTY OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF ELECTRICAL & ELECTRONICS ENGINEERING

Diploma Thesis

<<Quantification of climatic factors affecting the critical energy infrastructure resilience>>



Student: Kuriakopoulos Panagiwtis

AM:45485

Supervisor

Manousakis Nikolaos

AHTENS-AIGALEW, SEPTEMBER 2023

Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

Μανουσάκης Νικόλαος, Επίκουρος Καθηγητής ΤΗΗΜ ΠΑΔΑ	Ψωμόπουλος Κωνσταντίνος, Καθηγητής ΤΗΗΜ ΠΑΔΑ	Καλκάνης Κωνσταντίνος, Επίκουρος Καθηγητής ΤΗΗΜ ΠΑΔΑ
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

Copyright © Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Κυριακόπουλος Παναγιώτης,
Σεπτέμβριος, 2023**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κυριακόπουλος Παναγιώτης του Νικολάου, με αριθμό μητρώου 45485 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτησή μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντος καθηγητή.»

Ο Δηλών
Κυριακόπουλος Παναγιώτης



Αφιερώνεται

Στις αδερφές μου

Βασιλική και Χριστίνα

Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Μανουσάκη Νικόλαο, καθηγητή του Τμήματος Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Είμαι ευγνώμων για την ευκαιρία που μου έδωσε να αναλάβω τη διπλωματική με αυτό το θέμα.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω την εκτίμησή μου στην οικογένειά μου για τη συνεχή υποστήριξη τους και ενθάρρυνση κατά τη διάρκεια της ακαδημαϊκής μου διαδρομής, καθώς και στους φίλους μου για την υποστήριξη και την ανεκτίμητη καθοδήγησή τους κατά τη διάρκεια της παραμονής μου στο πανεπιστήμιο.

Περίληψη

Το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, μια περίπλοκη και απαραίτητη υποδομή που τροφοδοτεί τη σύγχρονη κοινωνία μας, δεν είναι αδιαπέραστο από τις δυνάμεις της φύσης. Καθώς ο κόσμος παλεύει με την αυξανόμενη συχνότητα και ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων, καθίσταται σαφές ότι το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι ευάλωτο στην επιρροή τους. Από τους καυτούς καύσωνες έως τους καταστροφικούς τυφώνες, τις πλημμύρες, τις πυρκαγιές, τις παγετώδεις καταιγίδες και άλλα, τα ακραία καιρικά φαινόμενα θέτουν σημαντικές προκλήσεις για τη σταθερότητα και την αξιοπιστία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα διερευνηθούν οι επιπτώσεις των ακραίων καιρικών φαινομένων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Στο πρώτο κεφάλαιο εισάγεται ο αναγνώστης στο θέμα και στη συνέχεια αναλύονται οι επιπτώσεις στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας καθώς παρουσιάζονται παραδείγματα στην Ελλάδα και στο εξωτερικό. Στο τρίτο κεφάλαιο εμφανίζονται και αναλύονται η ανθεκτικότητα του συστήματος καθώς και έργα υπογειοποίησης του δικτύου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύονται τα τρωτά σημεία της διανομής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας ενώ στο 5ο και 6ο κεφάλαιο αξιολογούνται οι επιπτώσεις των καιρικών φαινομένων και παρουσιάζονται εναλλακτικές λύσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

Λέξεις - Κλειδιά

Δίκτυο Ηλεκτρικής Ενέργειας, γραμμές μεταφοράς, Ακραία καιρικά φαινόμενα, ανθεκτικότητα

Summary

The electricity grid, a complex and essential infrastructure that powers our modern society, is not impervious to the forces of nature. As the world struggles with the increasing frequency and intensity of extreme weather events, it is becoming clear that the power grid is vulnerable to their influence. From scorching heat waves to devastating hurricanes, floods, fires, ice storms and more, extreme weather events pose significant challenges to the stability and reliability of the power grid.

In this thesis, the impact of extreme weather events on the power grid will be investigated. The first chapter introduces the reader to the topic and then analyses the impacts on the power grid as examples are presented in Greece and abroad. In the third chapter the resilience of the system is shown and analyzed as well as undergrounding projects of the grid.

In the fourth chapter the vulnerabilities of the electricity transmission distribution system are analyzed while in the fifth and sixth chapter the impacts of weather events are evaluated and alternatives to address the problem are presented.

Keywords

Electricity Network, transport lines, extreme weather conditions, resilience

Περιεχόμενα

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....	10
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	11
ΑΛΦΑΒΗΤΙΚΟ ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΣΤΟΧΟΙ.....	16
1.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	16
1.3 ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ.....	17
1.4 ΔΟΜΗ	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ.....	18
2.1 ΣΗΕ.....	18
2.2 ΑΚΡΑΙΑ ΚΑΙΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.....	19
2.3 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΗΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ	26
3.1 ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ.....	26
3.2 ΔΥΝΑΤΟΙ ΑΝΕΜΟΙ	32
3.3 ΧΙΟΝΟΘΥΕΛΛΑ.....	38
3.4 ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ	42
3.5 ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ	45
3.6 ΔΕΙΚΤΕΣ ΠΟΣΟΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΩΝ	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	56
4.1 ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ	56
4.1.1. Ορισμός, ποσοτικοποίηση και ενίσχυση της ανθεκτικότητας των συστημάτων και των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας.....	59
4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΠΙΘΑΝΟΤΗΤΩΝ ΒΛΑΒΗΣ	67
4.3 ΜΕΤΡΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΤΗΣ ΑΝΘΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	69
4.4 ΥΠΟΓΕΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	74
4.5 ΈΡΓΑ ΥΠΟΓΕΙΟΠΟΙΗΣΗΣ	76
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: ΤΡΩΤΑ ΣΗΜΕΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΔΙΚΤΥΟΥ.....	79
5.1 ΥΨΗΛΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ	79
5.2 ΔΥΝΑΤΟΙ ΆΝΕΜΟΙ.....	81
5.3 ΠΛΗΜΜΥΡΕΣ.....	83
5.4 ΙΣΧΥΡΕΣ ΠΥΡΚΑΓΙΕΣ.....	84
5.5 ΠΑΓΕΤΩΝΕΣ.....	85
5.6 ΠΙΘΑΝΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΤΕΛΙΚΗ ΧΡΗΣΗ / ΔΙΑΝΟΜΗ	87
5.7 ΚΕΝΑ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΗΤΙΚΕΣ ΕΥΚΑΙΡΙΕΣ.....	88
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΠΙΠΤΩΣΕΩΝ ΤΩΝ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	90
6.1 Η ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΚΑΙ Η ΑΛΥΣΙΔΑ ΑΞΙΑΣ	90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : ΚΑΙΡΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΠΑΡΟΧΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ: ΜΙΑ ΠΡΟΟΠΤΙΚΗ ΓΙΑ ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ.....	93
7.1 ΈΡΕΥΝΑ & ΑΝΑΠΤΥΞΗ.....	97
7.2 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΣΤΗ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	105
7.2.1 Στρατηγικές αντιμετώπισης	108
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	112
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	116

Κατάλογος Πινάκων

- Πίνακας 1.** Ισχυρές βροχοπτώσεις, καταιγίδες και πλημμύρες το έτος 2021
- Πίνακας 2.** Ακραία Κύματα καύσωνα το έτος 2021
- Πίνακας 3.** Τύπος και συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων στην Γκάνα
- Πίνακας 4.** Αιτίες, χρόνος διακοπής ρεύματος και κόστος ζημιών καταστροφής
- Πίνακας 5.** Παραδείγματα ακραίων καιρικών φαινομένων από όλο τον κόσμο και το κόστος ζημιών τους
- Πίνακας 6.** Μέσος όρος από όλα τα ακραία καιρικά φαινόμενα
- Πίνακας 7.** Η ικανότητα περιορισμού της έκτασης, της σοβαρότητας και της διάρκειας της υποβάθμισης του συστήματος μετά από ένα ακραίο συμβάν.
- Πίνακας 8:** Ποσοστά προμηθευτών και ανάδοχοι έργων
- Πίνακας 8.1** Νέα εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα 2019-2021
- Πίνακας 8.2** Νέα εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα 2018-2021
- Πίνακας 9.** Εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος ΑΠΕ για ηλεκτροπαραγωγή, μέχρι το 2030 σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα
- Πίνακας 10.** Προληπτικά μέτρα και μέτρα μετριασμού επιπτώσεων

Κατάλογος Σχημάτων

- Σχήμα 1.** Διακοπή ρεύματος στην Λουιζιάνα στις 16-09-2005
- Σχήμα 2.** Ημέρες χωρίς ηλεκτροδότηση
- Σχήμα 3.** Σύγκριση ημερών χωρίς ηλεκτροδότηση και κόστος ζημιών
- Σχήμα 4.** Σύγκριση κόστους ζημιών από διάφορες καταστροφές

Σχήμα 5. Μέσος όρος ημερών χωρίς ηλεκτροδότηση και του κόστους ζημιών από τη κάθε καταστροφή

Σχήμα 6. Ενωσιολογική ταξινόμηση των απειλών

Σχήμα 7. Καμπύλη ανθεκτικότητας

Σχήμα 8. Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να γίνει πιο ευάλωτη σε διαταραχές λόγω διαφόρων ακραίων φαινομένων ζέστης και ξηρασίας που προκαλούνται από το κλίμα.

Σχήμα 9. Έναρξη εμπορικής λειτουργίας ΑΠΕ

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1. Αυξημένη ζήτηση ενέργειας

Εικόνα 2. Πλημμύρα στην Accra

Εικόνα 3. Πακιστάν 2010

Εικόνα 4. Περιοχές που επλήγησαν από πλημμύρες του 2002

Εικόνα 5. Τυφώνας Μαρία

Εικόνα 6. Αμερική 2005

Εικόνα 7. Ελλάδα, χιονόπτωση, Μήδεια

Εικόνα 8. Αξιολόγηση και ενίσχυση της ανθεκτικότητας σε καιρικά φαινόμενα με τη χρήση καμπυλών ευθραυστότητας

Εικόνα 9. Διεθνής Επισκόπηση Ανθεκτικότητας

Εικόνα 10. Ανθεκτικότητα από την κατανεμημένη παραγωγή: περίπτωση πυρκαγιών

Εικόνα 11. Παγετώνας στις ΗΠΑ το Δεκέμβριο 2002

Εικόνα 12. ΗΠΑ Δεκέμβριος 2002

Αλφαβητικό Ευρετήριο

EFFIS	Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφοριών Δασικών Πυρκαγιών
ΔΕΔΔΗΕ	Διαχειριστής του Ελληνικού Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας
ΑΠΕ	Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας
ΣΗΕ	Σύστημα Ηλεκτρική Ενέργειας
ΕΣΜΗΕ	Διαχειριστής Ελληνικού Συστήματος Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας

ΕΣΚΕΔΙΚ Εθνικό Συντονιστικό Κέντρο Επιχειρήσεων και Διαχείρισης Κρίσεων

ΙΕΕΕ Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών

Κεφάλαιο 1^ο : Εισαγωγή

Τα Συστήματα Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι αναγκαία για την σωστή λειτουργία των σύγχρονων κοινωνιών και οικονομιών, καθώς από αυτά προέρχεται, μεταφέρεται και διανέμεται η απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια για τη βιομηχανία, τις παραγωγικές δραστηριότητες και την κατανάλωση στις οικιακές συσκευές. Οι πολλές δραστηριότητες που απαιτούν ηλεκτρική ενέργεια αποδεικνύουν τη σημασία τους στην καθημερινότητα. Η διαθεσιμότητα ηλεκτρικής ενέργειας συνδέεται άμεσα με το επίπεδο ζωής και την ποιότητα της ζωής, όπως αποδεικνύεται από τις συνθήκες ζωής των 759 εκατομμυρίων ανθρώπων που ζουν χωρίς πρόσβαση στην ηλεκτρική ενέργεια. Για αυτούς τους λόγους, τα ενεργειακά δίκτυα θεωρούνται κρίσιμες υποδομές κάθε κράτους.

Η δημιουργία ενός αξιόπιστου, αποτελεσματικού, ασφαλούς και ανθεκτικού ηλεκτρικού δικτύου είναι μια πολύ σημαντική πρόκληση για τους μηχανικούς. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να επιλύσουν προβλήματα που σχετίζονται με τη σχεδίαση, την κατασκευή, τη λειτουργία και τη συντήρηση του δικτύου. Πρέπει επίσης να λαμβάνουν υπόψη τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση του δικτύου, όπως η κλιματική αλλαγή, η τεχνολογική εξέλιξη και οι απειλές από κυβερνοεπιθέσεις.

Οι μηχανικοί πρέπει επίσης να εργαστούν για τη βελτίωση των τεχνολογιών και των διαδικασιών που χρησιμοποιούνται στον τομέα της ενέργειας. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει την ανάπτυξη νέων και αποτελεσματικότερων μεθόδων παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, τη βελτίωση των συστημάτων μεταφοράς και διανομής ενέργειας, και την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών που επιτρέπουν την αποθήκευση και τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Τα καιρικά φαινόμενα μπορούν να έχουν σημαντικές επιπτώσεις στο ηλεκτρικό δίκτυο και να προκαλέσουν δυσλειτουργίες και διακοπές του ρεύματος. Επικίνδυνα καιρικά φαινόμενα, όπως η καταιγίδα, ο άνεμος, η

χιονόπτωση, ο πάγος και η ζέστη, μπορούν να προκαλέσουν ζημιές στα καλώδια, στους μετασχηματιστές και σε άλλες εξαρτήσεις του δικτύου.

Ειδικά η υψηλή θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει υπερφόρτωση του δικτύου, καθώς οι καταναλωτές χρησιμοποιούν περισσότερο ρεύμα για κλιματισμό και ψύξη. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να οδηγήσει σε διακοπές ρεύματος, εάν το δίκτυο δεν είναι σχεδιασμένο για τέτοιες υψηλές απαιτήσεις.

Ωστόσο, οι προγραμματισμένες εργασίες συντήρησης και αναβάθμισης του δικτύου μπορούν επίσης να προκαλέσουν διακοπές ρεύματος, ενώ τα καιρικά φαινόμενα μπορούν να επηρεάσουν την πρόοδο των εργασιών αυτών.

Οι χειριστές του ηλεκτρικού δικτύου πρέπει να παρακολουθούν τις καιρικές συνθήκες για να διασφαλίσουν την ασφαλή και αποτελεσματική λειτουργία του δικτύου. Συνήθως χρησιμοποιούν προγνώσεις καιρού για να προβλέψουν πιθανά προβλήματα που σχετίζονται με τον καιρό και να λάβουν προληπτικά μέτρα για να ελαχιστοποιήσουν τις διακοπές ρεύματος. Αυτά τα μέτρα μπορεί να περιλαμβάνουν το κλάδεμα δέντρων κοντά στις γραμμές ηλεκτροδότησης, την ενίσχυση των στηριγμάτων και των μετασχηματιστών ισχύος και τη λήψη γεννητριών εκτός λειτουργίας ή την ενεργοποίηση πρόσθετων γεννητριών για να διατηρηθεί η τροφοδοσία ρεύματος κατά τη διάρκεια διακοπών ρεύματος.

Συνολικά, τα καιρικά φαινόμενα παίζουν έναν κρίσιμο ρόλο στη λειτουργία και την αξιοπιστία του ηλεκτρικού δικτύου, και είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαχείριση και τον σχεδιασμό των αναγκών του ηλεκτρικού δικτύου.

Ένας βασικός μοχλός για την ανάπτυξη πιο βιώσιμων ενεργειακών συστημάτων είναι η μείωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, που περιλαμβάνουν την εμφάνιση σοβαρών καιρικών φαινομένων. Μεταξύ άλλων, τα ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως οι τυφώνες και οι καταιγίδες, θεωρούνται

μία από τις κύριες αιτίες ηλεκτρικών διαταραχών μεγάλης περιοχής παγκοσμίως.

1.1 Σκοπός και στόχοι

Στόχος της διπλωματικής αυτής είναι να κατανοήσουμε τις επιπτώσεις που έχουν τα ακραία καιρικά φαινόμενα και το αντίκτυπο στη σταθερότητα και την αξιοπιστία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας, επομένως είναι σημαντικό να δοθεί προτεραιότητα σε μέτρα για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας, να επενδύσουν σε αναβαθμίσεις υποδομών και να προωθήσουν τη συνεργασία για να διασφαλιστεί μια πιο ανθεκτική και αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας.

1.2 Μεθοδολογία

1^η Φάση: Στη πρώτη φάση παρουσιάζεται μια αναφορά στο θέμα κάνοντας μια περιγραφή στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και στα καιρικά φαινόμενα.

2^η Φάση: Σε δεύτερη φάση κάνουμε μια περιγραφή των καιρικών φαινομένων που επηρεάζουν το δίκτυο και δίνουμε μερικά παραδείγματα από Ελλάδα και εξωτερικό που το δίκτυο δεν κατάφερε να ανταπεξέλθει σε ακραίες περιπτώσεις καιρικών φαινομένων.

3^η Φάση: Κατά τη τρίτη φάση αναλύουμε την ανθεκτικότητα του δικτύου και τις στρατηγικές που χρησιμοποιούμε για τη ενίσχυση της ανθεκτικότητας.

4^η Φάση: Σε αυτή τη φάση αναλύουμε τα τρωτά σημεία διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και τα ενδεχόμενα ζημιών που μπορούν να προκαλέσουν τα καιρικά φαινόμενα.

5^η Φάση: Κατά τη πέμπτη φάση κάνουμε μια αξιολόγηση των επιπτώσεων των καιρικών φαινομένων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας και βλέπουμε τη σημαντικότερη πρόκληση που αντιμετωπίζουμε τη σημερινή εποχή.

6^η Φάση: Στην έκτη φάση παρουσιάζουμε εναλλακτικές λύσεις για να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα των ακραίων καιρικών φαινομένων.

1.3 Καινοτομία

Στη συγκεκριμένη διπλωματική εργασία γίνεται αναλυτική περιγραφή των περιπτώσεων των καιρικών φαινομένων που μπορούν να βλάψουν το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας και παρουσιάζονται εναλλακτικές λύσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος.

1.4 Δομή

Η ακόλουθη διπλωματική εργασία οργανώνεται σε επτά κεφάλαια:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια σύντομη περιγραφή με το θέμα και τη μεθοδολογία της διπλωματικής.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή των ακραίων καιρικών φαινομένων και τις επιπτώσεις που έχουν στο δίκτυο

Στο τρίτο κεφάλαιο δίνοντας μερικά παραδείγματα από όλο τον κόσμο που καταστράφηκε το δίκτυο και αναλύουμε τους δείκτες ποσοτικοποίησης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναλύουμε τη ανθεκτικότητα του δικτύου δίνοντας μερικά μέτρα ενίσχυσής της

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται μια περιγραφή των τρωτών σημείων του δικτύου και πως μπορούν τα καιρικά φαινόμενα να εμπλακούν στη δυσλειτουργία και στην καταστροφή διαφόρων σημείων.

Στο έκτο κεφάλαιο γίνεται μια αξιολόγηση των επιπτώσεων των καιρικών φαινομένων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο έβδομο κεφάλαιο γίνεται αξιολόγηση των επιπτώσεων των καιρικών φαινομένων και αναφορά στα προληπτικά μέτρα που παίρνουμε σε περίπτωση που παρατηρηθούν έντονα καιρικά φαινόμενα.

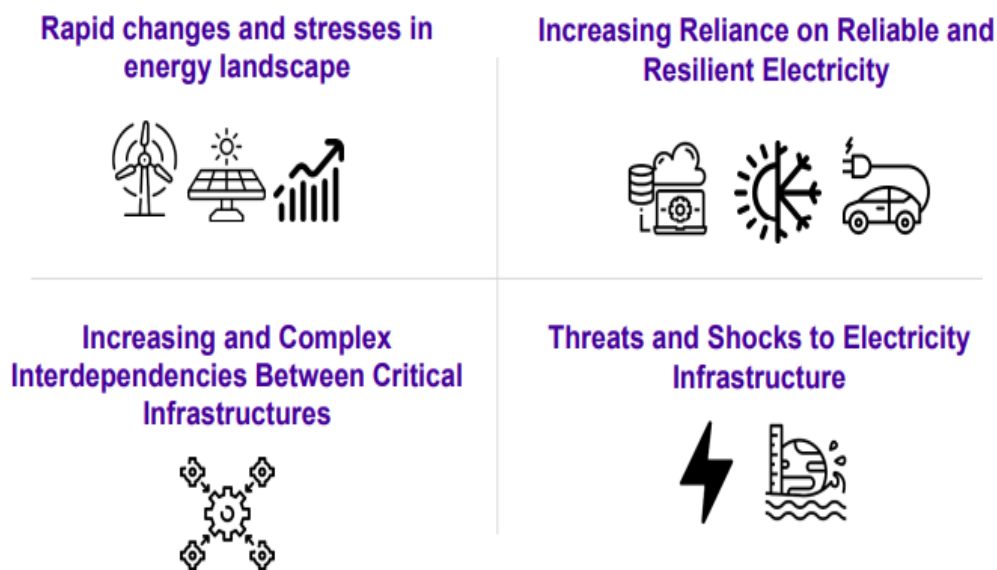
Στο όγδοο και τελευταίο κεφάλαιο αναγράφονται τα συμπεράσματα που εξάγουμε από τη παρούσα διπλωματική εργασία για τα ακραία καιρικά φαινόμενα που έχουν σημαντικές επιπτώσεις στη σταθερότητα και την αξιοπιστία του δικτύου.

Κεφάλαιο 2ο: Επιπτώσεις στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

2.1 ΣΗΕ

Τα πρώτα ηλεκτρικά συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας εμφανίστηκαν περίπου στις αρχές της δεκαετίας του '80. Από τότε και έπειτα παρουσιάστηκε μεγάλη αύξηση αλλά και μεγαλύτερη πολυπλοκότητα. Ωστόσο βελτιώθηκε πολύ η αποδοτικότητα και η αξιοπιστία του εξοπλισμού της παραγωγής, της μεταφοράς και της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας. Η βιομηχανία ηλεκτρικής ισχύος παρουσίασε την πρώτη ειρηνική εφαρμογή της πυρηνικής ενέργειας και ήταν από τις πρώτες βιομηχανίες που χρησιμοποίησαν αναλογικό έλεγχο και ψηφιακούς υπολογιστές on – line. Αυτές οι εξελίξεις συχνά επιβλήθηκαν από τη ραγδαία αύξηση της ηλεκτρικής ζήτησης. [1]

Increasing Shocks and Stresses



Εικόνα 1. Αυξημένη ζήτηση ενέργειας

2.2 Ακραία καιρικά φαινόμενα

Τα ακραία φυσικά καιρικά φαινόμενα αποτελούν σοβαρή απειλή για τη λειτουργία κρίσιμων υποδομών, όπως τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ακραία γεγονότα μπορεί να προκαλέσουν διακοπές ρεύματος, να βλάψουν εξαρτήματα του δικτύου και να επηρεάσουν τη λειτουργία των συστημάτων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.[2]

Παραδείγματα ακραίων φυσικών καιρικών φαινομένων που μπορούν να επηρεάσουν το δίκτυο περιλαμβάνουν τυφώνες, καταιγίδες, κατολισθήσεις, πλημμύρες, χιονοθύελλες, κύματα καύσωνα, παγετό κ.λπ. Αυτά τα φαινόμενα μπορούν να προκαλέσουν όλεθρο στο δίκτυο, όπως κατεδαφισμένοι στύλοι κοινής ωφέλειας, σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής που έχουν χτυπηθεί και ευρύτερες διακοπές ρεύματος.[3]

Θερμοκρασία

Οι υψηλές θερμοκρασίες του αέρα και του νερού του περιβάλλοντος μειώνουν τόσο την απόδοση όσο και τη διαθέσιμη παραγωγική ικανότητα των θερμοηλεκτρικών σταθμών.[3]

Οι ακραίες θερμοκρασίες και η υψηλή υγρασία μπορεί να οδηγήσουν σε θερμοπληξία, κόπωση και άλλα προβλήματα υγείας. Οι καταιγίδες και οι κεραυνοί μπορούν να προκαλέσουν διακοπές ρεύματος και πυρκαγιές, ενώ οι πλημμύρες μπορούν να βλάψουν κτίρια και υποδομές και ακόμη και να προκαλέσουν απώλειες ζώων.[3]

Πλημμύρας

Η αύξηση της έντασης των βροχοπτώσεων θα προκαλέσει κατά συνέπεια μεγαλύτερα βάθη πλημμύρας στην επιφάνεια των πόλεων λόγω της υπέρβασης της χωρητικότητας του συστήματος αποχέτευσης. Κατά συνέπεια, οι τρέχουσες επιρρεπείς σε πλημμύρες περιοχές θα καλυφθούν από μεγαλύτερα βάθη και θα

προκύψουν νέες επιρρεπείς σε πλημμύρες περιοχές, γεγονός που θα αυξήσει την πιθανότητα να επηρεαστούν οι κρίσιμες υποδομές της πόλης. [2]

Όπως κάθε άλλο είδος υποδομής, το ηλεκτρικό σχεδιάστηκε λαμβάνοντας υπόψη ορισμένες περιόδους επιστροφής γεγονότων που θα μπορούσαν να επηρεάσουν το σύστημα σε οποιοδήποτε σημείο, και προστατεύτηκαν και απομονώθηκαν ανάλογα. Ωστόσο, το πρόβλημα προκύπτει όταν η ένταση της εξεταζόμενης περιόδου επιστροφής αυξάνεται λόγω της κλιματικής αλλαγής, δημιουργώντας απροσδόκητα ακραία φαινόμενα που αυξάνουν την πιθανότητα να καταστραφούν οι υποδομές που δεν είναι προετοιμασμένες για αυτήν. [4]

Λαμβάνοντας υπόψη τα προαναφερθέντα σημεία και αναμειγνύοντας όλες τις ιδέες μαζί, παρουσιάζεται ένα εύλογο πρόβλημα, η αυξημένη πιθανότητα διακοπής ρεύματος που προκαλείται από πλημμύρες λόγω των συχνότερων ακραίων βροχοπτώσεων που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή και έτσι δημιουργείται η επίδραση κλιμακωτών βλαβών σε άλλες αστικές υπηρεσίες. [4]

Κεραυνοί

Όταν ο κεραυνός χτυπήσει τα καλώδια ρεύματος, μπορεί να προκαλέσει προβλήματα με το ηλεκτρικό ρεύμα. Το κύριο πράγμα που κάνει είναι να δημιουργεί ένα ισχυρό ρεύμα, το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολική ροή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω του συστήματος. Αυτό μπορεί να προκαλέσει τη δημιουργία επιπλέον ηλεκτρικής ενέργειας και να δημιουργήσει ακόμη περισσότερα προβλήματα.

Συχνά, αυτά τα ακραία φαινόμενα είναι αποτέλεσμα μακροπρόθεσμων κλιματικών αλλαγών, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη και η αλλαγή των προτύπων καταιγίδων. Αυτό αυξάνει τη σημασία της ανάπτυξης ανθεκτικής υποδομής που μπορεί να χειριστεί αυτά τα ακραία γεγονότα και να προστατεύσει τους ανθρώπους και τις υποδομές τους. Επιπλέον, η διατήρηση

ενός βιώσιμου περιβάλλοντος και η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου μπορεί να συμβάλει στη μείωση της συχνότητας και της έντασης αυτών των φαινομένων.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα ακραία καιρικά φαινόμενα που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια του 2021 σύμφωνα με την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία.

Πίνακας 3. *Ισχυρές βροχοπτώσεις, καταιγίδες και πλημμύρες το έτος 2021[5]*

Ημερομηνία	Περιγραφή	Υετός (mm)	Διάρκεια υετού (ώρες)
11/01/2021	Έντονες βροχοπτώσεις στην περιοχή του Έβρου	198,5	7,30
12/01/2021	Έντονες βροχοπτώσεις στην περιοχή του Έβρου	222,8	24
01/02/2021	Έντονες βροχοπτώσεις στην περιοχή του Έβρου	175,5	8,30
02/02/2021	Έντονες βροχοπτώσεις στην περιοχή του Έβρου	193	24
13/10/2021- 16/10/2021	Προκάλεσε καταρρακτώδεις βροχές, καταιγίδες και ισχυρούς ανέμους. Αρχικά έπληξε τα νησιά του Ιονίου καθώς και περιοχές της δυτικής Ελλάδας και στη συνέχεια επεκτάθηκε στην υπόλοιπη χώρα.	111,8	3,5
22/11/2021- 13/12/2021	Διαδοχικές διαταραχές στην ανώτερη ατμόσφαιρα προκάλεσαν ισχυρές καταιγίδες, έντονες βροχοπτώσεις και θυελλώδεις ανέμους που επηρέασαν ολόκληρη τη χώρα και	-	-

	κυρίως τα νησιά του Ιονίου, καθώς και τις δυτικές και βορειοανατολικές περιοχές.		
18/12/2021-19/12/2021	Βροχοπτώσεις και καταιγίδες σε όλη την ανατολική Ελλάδα καθώς και θυελλώδεις ανέμους στα νησιά του Αιγαίου.	-	-

Πίνακας 4. Ακραία Κύματα καύσωνα το έτος 2021[5]

Ημερομηνία	Περιγραφή	Θερμοκρασία (°C)
22/06/2021-02/07/2021	Παρατεταμένες συνθήκες καύσωνα επικράτησαν στην ηπειρωτική Ελλάδα, όπου παρατηρήθηκαν υψηλές για την εποχή θερμοκρασίες	42
28/07/2021-11/08/2021	Επικράτησαν παρατεταμένες συνθήκες καύσωνα. Κύριο χαρακτηριστικό ήταν η μεγάλη διάρκεια του επεισοδίου καύσωνα, καθώς και οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες. Κατά τη διάρκεια αυτού του επεισοδίου, αρκετοί μετεωρολογικοί σταθμοί είχαν, για 8 έως 11 συνεχόμενες ημέρες	>39

Χιονοπτώσεις

Από τις 13 έως τις 17 Φεβρουαρίου 2021, πολλές περιοχές της Ελλάδας επλήγησαν από πυκνή χιονόπτωση, ακόμη και οι παράκτιες περιοχές που σπάνια χιονίζουν, όπως η ανατολική ηπειρωτική χώρα, τα νησιά του Αιγαίου και η Κρήτη, εκτός από τα νησιά του Ιονίου και τις δυτικές ακτές. Στην Αττική το χιόνι έπεσε για 36 ώρες, με την πιο έντονη χιονόπτωση στο κέντρο της Αθήνας. Η

χιονοκαταιγίδα δημιούργησε προβλήματα στις συγκοινωνίες και πολλά νοικοκυριά έμειναν χωρίς ρεύμα λόγω πτώσεων δέντρων, ειδικά στην Αττική και την Εύβοια. Τέσσερις άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους λόγω των καιρικών συνθηκών .[5]

Πυρκαγιές

Από τις αρχές Αυγούστου έως τα τέλη του ίδιου μήνα του 2021, η υπερβολική ζέστη πυροδότησε πολλαπλές πυρκαγιές σε όλη την Ελλάδα. Οι χειρότερες και πιο επικίνδυνες πυρκαγιές σημειώθηκαν στην Εύβοια, την Αττική και την Πελοπόννησο, εκτοπίζοντας χιλιάδες ανθρώπους και καταστρέφοντας εκατοντάδες χιλιάδες εκτάρια γης και δάσους, καθώς και πολλά σπίτια και επιχειρήσεις. Σε αυτό το διάστημα δύο άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους. Σύμφωνα με το EFFIS (Ευρωπαϊκό Σύστημα Πληροφοριών Δασικών Πυρκαγιών), συνολικά 108.602 στρέμματα κάηκαν κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, με συνολικά 130.058 εκτάρια που κάηκαν το 2021, που αντιστοιχεί σε έναν μέσο όρο 570 % Ετήσια καμένη έκταση από το 2008 έως το 2020 .[5]

2.3 Επιπτώσεις καιρικών φαινομένων στα δίκτυα

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα έχουν σημαντικό αντίκτυπο στην αξιοπιστία και τη λειτουργία των ηλεκτρικών εξαρτημάτων, τα οποία με τη σειρά τους επηρεάζουν την ανθεκτικότητα ολόκληρης της ηλεκτρικής υποδομής, ανάλογα με τη σοβαρότητα του καιρού.

Οι υψηλές θερμοκρασίες και τα κύματα καύσωνα περιορίζουν τη φέρουσα ικανότητα των γραμμών μεταφοράς, αυξάνοντας τις απώλειες ενέργειας και τη χαλάρωση της γραμμής.

Οι ισχυροί άνεμοι κατά τη διάρκεια καταιγίδων και τυφώνων μπορεί να οδηγήσουν σε αστοχίες και ζημιές στις εναέριες γραμμές μεταφοράς και

διανομής, είτε με φυσώντας συντρίμμια στις γραμμές είτε από πύργους που καταρρέουν σε εξαιρετικά ισχυρούς ανέμους.

Το κρύο, το βαρύ χιόνι και η συσσώρευση πάγου μπορούν επίσης να προκαλέσουν αστοχία εναέριων γραμμών και πύργων. Σε ψυχρές συνθήκες, το χιόνι και ο πάγος μπορούν να συσσωρευτούν στη μόνωση, γεφυρώνοντας τη μόνωση και παρέχοντας μια διαδρομή αγωγιμότητας, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε πυρκαγιές.

Ένας κεραυνός πάνω ή κοντά σε έναν αγωγό μπορεί επίσης να προκαλέσει σφάλμα βραχυκυκλώματος, το οποίο ενεργοποιεί την ηλεκτρική προστασία και αποσυνδέει τη γραμμή. Τέτοιες βλάβες είναι συνήθως προσωρινές, επομένως οι λειτουργίες μπορούν να αποκατασταθούν γρήγορα. Ωστόσο, οι υπερτάσεις που προκαλούνται από ηλεκτροπληξία μπορούν να μεταφερθούν κατά μήκος της γραμμής και να προκαλέσουν ζημιά σε εξοπλισμό όπως τα φτερά του μετασχηματιστή.[6]

Η βροχή και οι πλημμύρες δεν αποτελούν απειλή για τις εναέριες γραμμές μεταφοράς, αλλά για τον εξοπλισμό του υποσταθμού, όπως οι συσκευές διανομής και τα δωμάτια ελέγχου. Ωστόσο, ένας συνδυασμός ισχυρού ανέμου, βροχής ή κεραυνού μπορεί να αποτελέσει σημαντική απειλή για τις εναέριες γραμμές.

Οι έντονες καιρικές συνθήκες μπορεί να προκαλέσουν πραγματικά μεγάλα προβλήματα, όπως πτώση κτιρίων από ισχυρούς ανέμους. Μπορεί επίσης να κάνει πράγματα όπως θερμάστρες και κλιματιστικά να σταματήσουν να λειτουργούν. Το πόσο άσχημος ο καιρός επηρεάζει τα πράγματα εξαρτάται από το πόσο χρονών είναι. Τα παλαιότερα πράγματα μπορεί να δυσκολεύονται περισσότερο με ακραίες καιρικές συνθήκες. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για συστήματα ισχύος που είναι ήδη παλιά ή δεν λειτουργούν καλά.[6]

Η κλιματική αλλαγή κάνει τον καιρό διαφορετικό, κάτι που θα επηρεάσει το πόσο καλά λειτουργούν τα συστήματα ισχύος. Ορισμένα μέρη του

συστήματος ισχύος μπορούν να λειτουργήσουν μόνο εάν δεν ζεσταθούν πολύ, αλλά ο πιο ζεστός καιρός μπορεί να τα κάνει να σταματήσουν να λειτουργούν επίσης. Οι σταθμοί ηλεκτροπαραγωγής μπορεί επίσης να μην λειτουργούν το ίδιο καλά σε θερμότερο καιρό. Ακόμη και η γείωση στην οποία είναι συνδεδεμένο το σύστημα τροφοδοσίας ενδέχεται να μην λειτουργεί το ίδιο καλά εάν ζεσταθεί πολύ.[6]

Κεφάλαιο 3^ο: Παραδείγματα καταστροφής ηλεκτρικού δικτύου

3.1 Πλημμύρες

Γκάνα: Το κλίμα στην Γκάνα επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις κινήσεις και τις αλληλεπιδράσεις του Δυτικοαφρικανικού μουσώνα και του Διατροφικού Ζώνη Σύγκλισης (ITCZ), ιδίως η ταλάντωση της τελευταίας, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την εναλλαγή υγρών και ξηρών εποχών. Η βόρεια Γκάνα βιώνει τη μοναδική υγρή περίοδο, με 150-250 χιλιοστά βροχής ανά μήνα κατά τη διάρκεια των υγρών μηνών αιχμής από τον Ιούλιο έως την Σεπτέμβριο, σε σύνολο 900-1.300 χιλιοστών ετησίως. Κατά τη διάρκεια της ξηρής περιόδου από τον Δεκέμβριο έως τον Μάρτιο, ο άνεμος Harmattan πνέει με βορειοανατολική κατεύθυνση. Η Βόρεια Γκάνα παρουσιάζει εποχιακές διακυμάνσεις στη θερμοκρασία, που κυμαίνεται από 25-27°C κατά μέσο όρο κατά την υγρή περίοδο έως 27-32°C κατά την ξηρή περίοδο. Θερμή, ξηρή περίοδο (Φεβρουάριος-Μάιος). Αντίθετα, η νότια Γκάνα βιώνει δύο υγρές εποχές, Μάρτιο-Ιούλιο και Σεπτέμβριο-Νοέμβριο, που αντιστοιχούν στις βόρειες και νότιες διελεύσεις της ITCZ στην περιοχή.[7]

Η μέση θερμοκρασία στη νότια Γκάνα κυμαίνεται από 22 έως 25°C την ψυχρότερη περίοδο, και 25 έως 28°C κατά τη θερμότερη περίοδο. Μια εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στη Γκάνα, με βάση μετεωρολογικά δεδομένα από διάφορους σταθμούς για την περίοδο 1950-2001, διαπίστωσε ότι από το 1960 η χώρα έχει θερμανθεί κατά περίπου 1°C, δηλαδή με μέσο ρυθμό 0,21°C ανά δεκαετία με την ταχύτερη αύξηση (0,27°C ανά δεκαετία) από τον Απρίλιο έως τον Ιούνιο. Για παράδειγμα, οι βροχοπτώσεις ήταν εξαιρετικά υψηλές τη δεκαετία του 1960, αλλά μειώθηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και στις αρχές της δεκαετίας του 1980, με αποτέλεσμα την μείωση των μηνιαίων βροχοπτώσεων κατά 2,3 χιλιοστά ανά δεκαετία μεταξύ 1960 και το 2006. Από το 1960, ωστόσο, δεν έχουν βρεθεί ενδείξεις για μια τάση στην ποσότητα της βροχόπτωσης που πέφτει κατά τη διάρκεια ισχυρών φαινομένων.[7]

Η Γκάνα έχει βιώσει πολυάριθμα ακραία καιρικά φαινόμενα τα τελευταία χρόνια, δεκαετίες, αλλά ο ακριβής χρόνος και η σοβαρότητά τους δεν είναι καλά τεκμηριωμένα. Στη μελέτη περίπτωσης που πραγματοποιήθηκε το 2008 σε αγροτικές περιοχές της νοτιοανατολικής Γκάνας, οι συμμετέχοντες προσδιόρισαν ακραία καιρικά φαινόμενα που είχαν βιώσει από μνήμη τους (Πίνακας 3). Ενώ τα γεγονότα που περιγράφηκαν δεν είναι αντιπροσωπευτικά στο σύνολο της Γκάνας, είναι ενδεικτικά του τύπου και της συχνότητας των ακραίων καιρικών φαινομένων από μια περιοχή.

Πίνακας 3. Τύπος και συχνότητα ακραίων καιρικών φαινομένων στην Γκάνα[10]

ΕΤΟΣ	ΤΥΠΟΣ ΚΑΙ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΑΚΡΑΙΩΝ ΚΑΙΡΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ
1976	Πολύ ζεστές καιρικές συνθήκες, Ιανουάριο-Ιούνιο
1983-1984	Ξηρασία και πολυετείς πυρκαγιές
1989	Πολύ ζεστές καιρικές συνθήκες, Οκτώβριος-Δεκέμβριος
1991	Πολλές βροχοπτώσεις καθ' όλη τη διάρκεια του έτους
1995	Περίπου 40 μέρες συνεχόμενης έντονης βροχόπτωσης
2004	Κρύοι άνεμοι το Μάρτιο μέχρι και τον Απρίλιο – Νοέμβριος μέχρι και Δεκέμβριο πολύ χαμηλή θερμοκρασία
2005	Ψυχρές περιόδους με αποτέλεσμα το θάνατο αρκετών ζώων
2006	1 βδομάδα έντονη βροχόπτωση τον Αύγουστο
2007	Έντονες βροχοπτώσεις τον Αύγουστο και το Σεπτέμβρη

Τα δεδομένα για τις πλημμύρες είναι πιο προσιτά από τα δεδομένα για την ακραία ζέστη γεγονότα. Οι πλημμύρες στις μεγάλες πόλεις της Γκάνας γίνονται όλο και πιο συχνές και σοβαρές καθώς το δομημένο περιβάλλον επεκτείνεται. Ανάλυση περιεχομένου των Γκανέζικων εφημερίδων διαπίστωσε ότι από το 1995 έως το 2010, υπήρξαν 11 καταστροφικές πλημμύρες στην Γκάνα,

που είχαν ως αποτέλεσμα τουλάχιστον 201 θανάτους, εκατοντάδες εκατομμυρίων δολαρίων σε κατεστραμμένες περιουσίες και υποδομές, και τον εκτοπισμό εκατοντάδων χιλιάδων ανθρώπων.

Για παράδειγμα, σε μια μεγάλη πλημμύρα στην Accra στις 3 Ιουνίου 2015 σκοτώθηκαν πάνω από 152 άνθρωποι, εκτοπίστηκαν πάνω από 8.000 και τραυματίστηκαν πολλοί άλλοι με εκτιμημένη ζημιά 100 εκατομμύρια δολάρια. 2016, η υπερβολική ζέστη στη βόρεια Γκάνα συνδέθηκε με 140 αναφερόμενα κρούσματα μηνιγγιτίδας, με αποτέλεσμα να χάσουν τη ζωή τους 32 άνθρωποι.



Εικόνα 2. Πλημμύρα στην Accra

Πακιστάν: Το 2010, οι πλημμύρες στο Πακιστάν έβλαψαν είκοσι εκατομμύρια ανθρώπους. Ο αντίκτυπος του συμβάντος και η ανάκαμψη αξιολογούνται μετά από 6 μήνες. Μέθοδοι: Έξι μήνες μετά την καταστροφή, διεξήχθη συγχρονική έρευνα σε ομάδες 1769 οικογενειών σε 29 περιοχές που επλήγησαν από τις πλημμύρες. Χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα μέτρα έκβασης: σωματικές ζημιές, θάνατοι και ασθένειες που σχετίζονται με πλημμύρες, αλλαγές στο εισόδημα, πρόσβαση σε ηλεκτρική ενέργεια, καθαρό νερό και εγκαταστάσεις υγιεινής. Η πλημμύρα κατέστρεψε το 54,8% των σπιτιών και εκτόπισε το 86,8% των νοικοκυριών, με το 46,9% να ζει σε καταυλισμούς εκτοπισμένων. Το ποσοστό των ατόμων χωρίς ρεύμα αυξήθηκε από 18,8% σε 32,9%. Οι πλημμύρες στο Πακιστάν προκάλεσαν όλεθρο στο ηλεκτρικό σύστημα,

προκαλώντας σημαντικές ζημιές σε γραμμές μεταφοράς, μετασχηματιστές, ελεγκτές σταθμών βάσης, σταθμούς πομποδέκτη βάσης, τροφοδότες και σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Σύμφωνα με την Pakistan Electric Power Company (PEPCO), εκατομμύρια κάτοικοι έχασαν την πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό και εκατομμύρια άλλοι έχασαν την πρόσβαση στην ενέργεια. Η καταστροφή των ηλεκτρικών υποδομών προκάλεσε σοβαρές διακοπές της ηλεκτροδότησης σε όλες τις πληγείσες περιοχές. Το σύνολο των συνεχιζόμενων ζημιών στις υποδομές, συμπεριλαμβανομένης της ενέργειας, εκτιμήθηκε από την πακιστανική κυβέρνηση ότι ξεπερνά τα 869 δισεκατομμύρια PKR (10 δισεκατομμύρια δολάρια ΗΠΑ).



Εικόνα 3. Πακιστάν 2010

Η υποδομή ηλεκτρικής ενέργειας του Πακιστάν υπέστη επίσης σοβαρό πλήγμα από τις πλημμύρες, οι οποίες προκάλεσαν ζημιές σε περίπου 10.000 γραμμές μεταφοράς και μετασχηματιστές, τροφοδότες και ηλεκτροπαραγωγούς σε διάφορες πλημμυρόπληκτες περιοχές. Τα νερά της πλημμύρας πλημμύρισαν την υδροηλεκτρική ενέργεια Jinnah. Οι ζημιές προκάλεσαν έλλειμμα ισχύος 3,135 gigawatts.[61]

Κεντρική Ευρώπη: Κατά τη διάρκεια της ευρωπαϊκής πλημμύρας τον Αύγουστο του 2002, ο εφοδιασμός και η διανομή ηλεκτρικής ενέργειας επηρεάστηκαν σημαντικά στις πληγείσες περιοχές. Οι πλημμύρες οδήγησαν σε διάφορα προβλήματα που σχετίζονται με την ηλεκτρική υποδομή, συμπεριλαμβανομένων των διακοπών ρεύματος και των ζημιών στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις. Ακολουθούν ορισμένοι τρόποι με τους οποίους επηρεάστηκε η ηλεκτρική ενέργεια:

- Διακοπές ρεύματος: Οι εκτεταμένες πλημμύρες διέκοψαν την παραγωγή και τη διανομή ηλεκτρικής ενέργειας. Οι βυθισμένοι ηλεκτρικοί υποσταθμοί και οι γραμμές ηλεκτροδότησης προκάλεσαν διακοπές ρεύματος σε πολλές περιοχές. Καθώς τα νερά των πλημμυρών ανέβαιναν, μπορούσαν να βραχυκυκλώσουν τον ηλεκτρικό εξοπλισμό και να προκαλέσουν βλάβες στους μετασχηματιστές και τους υποσταθμούς.
- Εκκενώσεις και μέτρα ασφαλείας: Για να διασφαλιστεί η ασφάλεια των κατοίκων και να αποφευχθούν τα ηλεκτρικά ατυχήματα, οι αρχές χρειάστηκε συχνά να διακόψουν την ηλεκτροδότηση στις πληγείσες περιοχές. Αυτό σήμαινε ότι πολλοί άνθρωποι έμειναν χωρίς ηλεκτρικό ρεύμα για μεγάλα χρονικά διαστήματα.
- Ζημιές στις ηλεκτρικές υποδομές: Τα πλημμυρικά ύδατα μπορούν να προκαλέσουν ζημιές στις ηλεκτρικές υποδομές, συμπεριλαμβανομένων των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, των υποσταθμών και των γραμμών μεταφοράς. Η εισροή νερού στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις μπορεί να οδηγήσει σε εκτεταμένες ζημιές στον εξοπλισμό, οδηγώντας σε δαπανηρές επισκευές και αντικαταστάσεις.
- Διακοπή στις τηλεπικοινωνίες: Εκτός από την ηλεκτρική ενέργεια, η πλημμύρα διέκοψε επίσης τις τηλεπικοινωνιακές υποδομές, συμπεριλαμβανομένων των δικτύων σταθερής και κινητής τηλεφωνίας. Αυτό παρεμπόδισε περαιτέρω την επικοινωνία και τον συντονισμό κατά τη διάρκεια της καταστροφής.
- Προκλήσεις στην αποκατάσταση: Μετά την υποχώρηση των πλημμυρών, η αποκατάσταση της ηλεκτρικής ενέργειας αποδείχθηκε πολύπλοκη και χρονοβόρα διαδικασία. Οι τεχνικοί και τα συνεργεία επισκευής έπρεπε να αξιολογήσουν τις ζημιές, να στεγνώσουν και να επισκευάσουν τον ηλεκτρικό εξοπλισμό και να διασφαλίσουν την ασφάλεια του ηλεκτρικού δικτύου πριν από την επανατροφοδότηση των πληγεισών περιοχών.
- Συστήματα εφεδρικής τροφοδοσίας: Ορισμένες κρίσιμες εγκαταστάσεις, όπως τα νοσοκομεία και οι υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης, διαθέτουν συχνά εφεδρικά συστήματα τροφοδοσίας, όπως γεννήτριες, για να διασφαλίσουν ότι οι βασικές

υπηρεσίες συνεχίζονται κατά τη διάρκεια διακοπών ρεύματος. Τα συστήματα αυτά έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στη διατήρηση ζωτικών υπηρεσιών κατά τη διάρκεια της πλημμύρας.

- Αυξημένη ζήτηση: Μετά τις πλημμύρες, υπήρξε συχνά αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας καθώς οι άνθρωποι επέστρεφαν στα σπίτια τους και οι επιχειρήσεις ξανάρχιζαν τη λειτουργία τους. Η κάλυψη αυτής της αυξημένης ζήτησης κατά την αποκατάσταση της ηλεκτροδότησης στις πληγείσες περιοχές παρουσίασε υλικοτεχνικές προκλήσεις.



Εικόνα 4. Περιοχές που επλήγησαν από πλημμύρες του 2002

Οι προσπάθειες για την αποκατάσταση της ηλεκτρικής ενέργειας και την επισκευή των κατεστραμμένων υποδομών ήταν μέρος των ευρύτερων προσπαθειών αποκατάστασης και ανακούφισης μετά την ευρωπαϊκή πλημμύρα του 2002. Απαιτήθηκε συντονισμός μεταξύ των εταιρειών κοινής ωφέλειας, των κυβερνητικών υπηρεσιών και των φορέων αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών για να εξασφαλιστεί η έγκαιρη αποκατάσταση της ηλεκτροδότησης στις πληγείσες κοινότητες. Το γεγονός υπογράμμισε επίσης τη σημασία της ανθεκτικής στις πλημμύρες υποδομής και της ετοιμότητας για καταστροφές για τη διατήρηση βασικών υπηρεσιών κατά τη διάρκεια και μετά από τέτοιες φυσικές καταστροφές. Το ηλεκτρικό ρεύμα αποκαταστάθηκε στις περισσότερες περιοχές στα μέσα Σεπτέμβρη σχεδόν ένα μήνα μετά το γεγονός. [62]

3.2 Δυνατοί άνεμοι

Φιλιππίνες: Ο τυφώνας Χαϊγιάν δεν ξεκίνησε ως τυφώνας με την παραδοσιακή έννοια. Στις 2 Νοεμβρίου 2013, ξεκίνησε ως περιοχή χαμηλής πίεσης στις Ομοσπονδιακές Πολιτείες της Μικρονησίας (στον δυτικό Ειρηνικό Ωκεανό).

Η καταιγίδα προχώρησε προς τα δυτικά και μέχρι τις 4 Νοεμβρίου είχε εξελιχθεί σε τροπικό κυκλώνα, γνωστό πλέον ως Χαϊγιάν. Στη συνέχεια, η καταιγίδα εντάθηκε γρήγορα και έγινε τυφώνας στις 5 Νοεμβρίου. Ο τυφώνας Χαϊγιάν είχε μετατραπεί σε καταιγίδα κατηγορίας 5 μέχρι τις 6 Νοεμβρίου, με ταχύτητες ανέμων που ξεπέρασαν τα 157 μίλια/ώρα/252 χλμ/ώρα σε τμήματα της Μικρονησίας και του Παλάου.

Ο τυφώνας Χαϊγιάν έφτασε στην ανατολική Σαμάρ στις 4:40 π.μ. της 8ης Νοεμβρίου, αφού εισήλθε στις Φιλιππίνες στις 7 Νοεμβρίου. Χτυπά με πλήρη ισχύ της κατηγορίας 5, προκαλώντας καταστροφές σε διάφορες περιοχές των Φιλιππίνων, κυρίως στις Βισάγιας, το κεντρικό νησιωτικό σύμπλεγμα της χώρας. Ο τυφώνας Χαϊγιάν σαρώνει στη Θάλασσα της Νότιας Κίνας και αναμένεται να προσγειωθεί στο Βιετνάμ στις 9 Νοεμβρίου. Ο τυφώνας είχε αποδυναμωθεί σε καταιγίδα μέχρι τότε. Η ήδη εξασθενημένη καταιγίδα προσγειώθηκε στο βορειοανατολικό Βιετνάμ στις 10 Νοεμβρίου πριν διαλυθεί σε ζώνες βροχής πάνω από το Γκουανσί της Κίνας στις 11 Νοεμβρίου.

Ο τυφώνας Χαϊγιάν είχε τεράστιες επιπτώσεις στα μέρη από τα οποία πέρασε/άγγιξε την ξηρά. Οι κύριες επιπτώσεις ήταν:

- 1,1 εκατομμύρια σπίτια υπέστησαν σοβαρές ζημιές ή καταστράφηκαν ολοσχερώς και 4,1 εκατομμύρια άνθρωποι έμειναν άστεγοι, ιδίως γύρω από τις ανατολικές και δυτικές Βισάγιας (Φιλιππίνες).
- Άλλα κτίρια υπέστησαν επίσης ζημιές.
- Οι γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας υπέστησαν ζημιές.
- Οι επικοινωνίες διακόπηκαν.
- Το αεροδρόμιο Τακλομπάν στην επαρχία Λέιτε (Φιλιππίνες) υπέστη ζημιές.

- Οι δρόμοι αποκλείστηκαν από συντρίμμια και πεσμένα δέντρα.
- Οι υποδομές υπέστησαν ζημιές.
- Υπήρξε κύμα καταιγίδας ύψους 5 μέτρων στις επαρχίες Λέιτε και Τακλομπάν (Φιλιππίνες). Επιπλέον, και τα δύο μέρη επλήγησαν από 400 χιλιοστά βροχόπτωσης που πλημμύρισαν την περιοχή έως και 1 χιλιόμετρο στην ενδοχώρα.
- Περίπου το 90% του Τακλομπάν (Φιλιππίνες) καταστράφηκε.
- Καταστράφηκαν περίπου 1,1 εκατομμύρια τόνοι καλλιεργειών.
- Περίπου 600.000 εκτάρια καλλιεργήσιμης γης επλήγησαν.
- Πάνω από τα 3/4 των αγροτών και των ψαράδων έχασαν το εισόδημά τους, απώλεια 724 εκατομμυρίων δολαρίων.
- Παρόλο που η περίοδος συγκομιδής είχε τελειώσει, το ρύζι και οι σπόροι χάθηκαν στα κύματα της καταιγίδας, απώλεια 53 εκατομμυρίων δολαρίων.
- Το συνολικό κόστος των ζημιών εκτιμήθηκε σε 12 δισεκατομμύρια δολάρια.
- Συνολικά 14,1 εκατομμύρια άνθρωποι επλήγησαν και 6.190 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους. Μέχρι σήμερα, εξακολουθούν να υπάρχουν άνθρωποι που αγνοούνται. Ο εκτιμώμενος αριθμός των νεκρών φτάνει τους 10.000.

Το αεροδρόμιο του Τακλομπάν άνοιξε ξανά τρεις ημέρες μετά το πέρασμα της καταιγίδας και άρχισαν να καταφθάνουν με αεροπλάνο προμήθειες έκτακτης ανάγκης, με ένα εκατομμύριο πακέτα τροφίμων και 250.000 λίτρα νερού να διανέμονται μέσα σε δύο εβδομάδες.

Η καταιγίδα είχε επίσης ως αποτέλεσμα λεηλασίες, με σπίτια και επιχειρήσεις να παραβιάζονται και να κλέβονται εμπορεύματα. Ως αποτέλεσμα, θεσπίστηκε απαγόρευση κυκλοφορίας μόλις δύο ημέρες μετά την καταιγίδα. Επιπλέον, ανάλογα με την περιοχή, η ηλεκτροδότηση αποκαταστάθηκε πλήρως ή εν μέρει μέσα σε μια εβδομάδα. [63]

Πουέρτο Ρίκο: Ο τυφώνας Μαρία, ένας τυφώνας κατηγορίας 4, έπληξε το Πουέρτο Ρίκο στις 20 Σεπτεμβρίου 2017, προκαλώντας το σκοτάδι στο νησί. Πριν από τη Μαρία, ο τυφώνας Ίρμα έσπασε την ηλεκτρική ενέργεια σε περισσότερους από ένα εκατομμύριο ανθρώπους. Η αποκατάσταση υπολογίζεται περίπου στα 90 δις δολάρια και της ηλεκτρικής ενέργειας στο Πουέρτο Ρίκο αναμενόταν να διαρκέσει τέσσερις έως έξι μήνες, λόγω των αδύναμων υποδομών ηλεκτρικής ενέργειας του νησιού και των οικονομικών περιορισμών. Από τη στιγμή που η τερατώδης καταιγίδα χτύπησε το έδαφος της Αμερικανικής Καραϊβικής τον Σεπτέμβριο του 2017 και προκάλεσε σοβαρές ζημιές στο ηλεκτρικό δίκτυο, έχουν χαθεί εκεί πάνω από 3,4 δισεκατομμύρια ώρες ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό το καθιστά το δεύτερο μεγαλύτερο μπλακ άουτ στην παγκόσμια ιστορία. Το μόνο μπλακ άουτ στην παγκόσμια ιστορία μεγαλύτερο από αυτό του Πουέρτο Ρίκο είναι αυτό που προέκυψε μετά τον τυφώνα Χαϊγιάν που κατέστρεψε τις Φιλιππίνες το 2013. Περίπου 6,1 δισεκατομμύρια ώρες ενέργειας χάθηκαν μετά από αυτή την τεράστια καταιγίδα.[64]



Εικόνα 5. *Τυφώνας Μαρία*

Η Αρχή Ηλεκτρικής Ενέργειας του Πουέρτο Ρίκο (prepa), η οποία είναι υπεύθυνη για την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σε ολόκληρο το νησί, κήρυξε πτώχευση τον Ιούλιο του 2017, οφειλόμενη σε ένα εκπληκτικό ποσό 9

δισεκατομμυρίων δολαρίων. Οι οικονομικές δυσκολίες της Prera επιδεινώθηκαν από την εξάρτηση της εταιρείας από το εισαγόμενο πετρέλαιο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και την αδυναμία της να πληρώσει τα καύσιμα το 2014. Η Prera είχε εντοπίσει μια ανάγκη 4 δισεκατομμυρίων δολαρίων πριν από την καταστροφή για αντικατάσταση παλαιών υποδομών και προώθηση της αυτάρκειας. Τα υψηλά ποσοστά, η ανεπαρκής συντήρηση και οι μεγάλες περίοδοι αποκατάστασης ταλαιπώρησαν το ηλεκτρικό σύστημα.

Τα μέτρα μείωσης του κόστους είχαν ως αποτέλεσμα παραβιάσεις συντήρησης, όπως η αποτυχία κλαδέματος δέντρων κοντά σε καλώδια ηλεκτρικού ρεύματος, γεγονός που συνέβαλε σε διακοπές ρεύματος. Η καταστροφή του τυφώνα επιδείνωσε τα οικονομικά δεινά του Πουέρτο Ρίκο και προκάλεσε ανησυχίες για το αυξανόμενο χρέος του νησιού ως αποτέλεσμα της καταστροφής και των διακοπών ρεύματος.

Η Prera, η οποία ήταν ήδη χρεοκοπημένη, δεν διαθέτει τους πόρους για να αναλάβει μια μεγάλης κλίμακας αποκατάσταση ή τροποποιήσεις υποδομής. Κατά τη διάρκεια των επισκευών του τυφώνα, έγινε εμφανής η έλλειψη ειδικευμένου προσωπικού, ιδιαίτερα των γραμμών. Ως απάντηση στην έλλειψη εργατικού δυναμικού, το σημερινό συνδικάτο εργαζομένων εμπόδισε τις προσπάθειες προσέλκυσης υπαλλήλων έκτακτης ανάγκης και προέκυψε μια μαύρη αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Επιπλέον, ο αποκλεισμός των λιμανιών του Πουέρτο Ρίκο από το Λιμενικό Σώμα λόγω του τυφώνα Μαρία επηρέασε την εξάρτηση του νησιού από εισαγόμενο πετρέλαιο για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Το ύψος της ζημιάς και ο χρόνος που απαιτείται για την αποκατάσταση αυτών των εγκαταστάσεων παρέμειναν άγνωστοι. Το Πουέρτο Ρίκο αντιμετώπισε σοβαρά προβλήματα στην ανάκαμψη από τον τυφώνα Μαρία, συμπεριλαμβανομένων οικονομικών ζητημάτων, ελαττωμάτων υποδομής και έλλειψης ειδικευμένου εργατικού δυναμικού.[64]

Μαϊάμι: Η πρώτη εμφάνιση του Κατρίνα ήταν ως τυφώνας κατηγορίας 1 στις 25 Αυγούστου 2005 στις 6:30 μ.μ. κοντά στη γραμμή των κομητειών Μαϊάμι-Ντέιντ και Μπρόουαρντ. Το μάτι του κυκλώνα Κατρίνα αναπτυσσόταν καθώς πέρασε πάνω από το πυκνοκατοικημένο τμήμα του Μαϊάμι. Σημειώθηκαν πάνω από 1 εκατομμύριο διακοπές ρεύματος- δεκατέσσερις θάνατοι αποδόθηκαν στην καταιγίδα- και σοβαρές πλημμύρες είχαν ως αποτέλεσμα από τις καταρρακτώδεις βροχές. Σε ορισμένες περιοχές, η βροχόπτωση ήταν περίπου 35 εκατοστά για την περίοδο 24-30 Αυγούστου 2005.

Η δεύτερη εμφάνιση του Κατρίνα έγινε ως τυφώνας κατηγορίας 3 στις 6:10 π.μ. τη Δευτέρα 29 Αυγούστου στην περιοχή Plaquemines Parish της Λουιζιάνα, ενώ ακολούθησε μια τρίτη προσγείωση στις ακτές του Μισισιπή περίπου στις 9 π.μ.. Η καταιγίδα δημιούργησε ένα μεγάλο κύμα καταιγίδας κατά μήκος του Κόλπου που διαδόθηκε επίσης στους ποταμούς Μισισιπή και Περγ. Το Δεκέμβριο του 2005, οι νεκροί ήταν 1.090 στη Λουιζιάνα, 228 στο Μισισιπή, δύο στη Τζόρτζια και δύο στην Αλαμπάμα. Αναφέρθηκαν μέγιστες ριπές ανέμου που έφθασαν τα 185 χλμ/ώρα και βροχοπτώσεις που έφθασαν τα 43 εκατοστά, καταγράφηκαν για την περίοδο 24-30 Αυγούστου 2005.

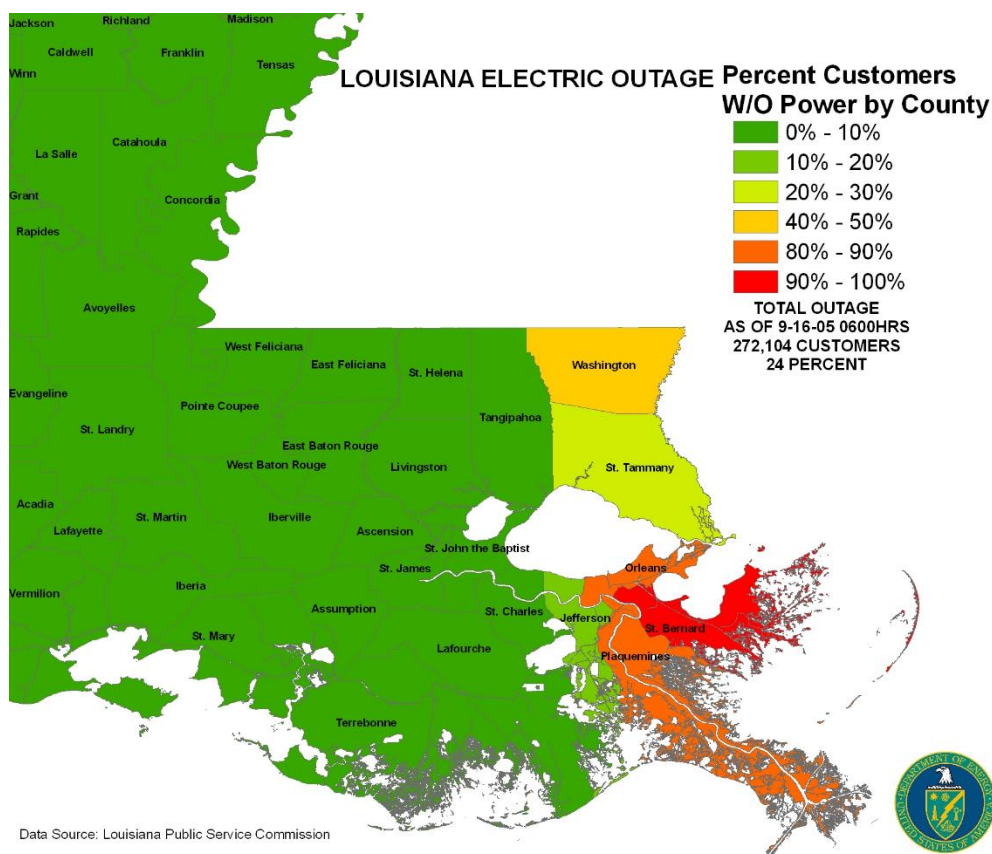
Το σύστημα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας αποτελείται από τρία υποσυστήματα: παραγωγή, μεταφορά και διανομή. Η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται και μεταδίδεται σε υποσταθμούς όπου η τάση μειώνεται πριν από τη διανομή στους πελάτες. Στις Ηνωμένες Πολιτείες, τηρούνται στατιστικά στοιχεία σχετικά με την απόδοση του συστήματος διανομής, καθώς το σύστημα αυτό συνδέεται άμεσα με την πελατειακή βάση.



Εικόνα 6. Αμερική 2005

Η εταιρεία Florida Power and Light FPL 2006 ανέφερε ότι κατά τη διάρκεια της περιόδου καταιγίδων του 2005 έγιναν επισκευές σε 100 δομές μεταφοράς, 11,2 χλμ αγωγών και δεκαέξι διακόπτες. Πάνω από 12.632 στύλοι που χρησιμοποιούνται στη διανομή της Φλόριντα, τόσο της FPL όσο και μη της FPL, επισκευάστηκαν λόγω ζημιών από καταιγίδες.

Η σύνδεση ρυμουλκούμενων με ρεύμα έγινε με την καθοδήγηση της πόλης της Νέας Ορλεάνης. Όσον αφορά τα πληγέντα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας της Louisiana Entergy συνολικά, δόθηκαν τα ακόλουθα στατιστικά στοιχεία: Καταστράφηκαν 17.389 στύλοι κοινής ωφέλειας- χρειάστηκε να αντικατασταθούν 34.587 τμήματα καλωδίων- καταστράφηκαν 3.478 μετασηματιστές- καταστράφηκαν 1.000 δομές μεταφοράς- 263 υποσταθμοί τέθηκαν εκτός λειτουργίας και 10.200 εργαζόμενοι αποκατάστασης απασχολήθηκαν στη διαδικασία αποκατάστασης.[11]



Σχήμα 1. Διακοπή ρεύματος στην Λουιζιάνα στις 16-09-2005.

3.3 ΧΙΟΝΟΘΥΕΛΛΑ

Αμερική: Μια από τις πιο σοβαρές και εκτεταμένες χειμερινές καταιγίδες στην ιστορία των ΗΠΑ, η καταιγίδα του αιώνα το 1993, προκάλεσε σημαντικές διακοπές στην ηλεκτροδότηση. Στον απόηχο αυτής της καταιγίδας, οι θερμοκρασίες στις νότιες και ανατολικές Ηνωμένες Πολιτείες έφτασαν σε επίπεδα ρεκόρ. Περισσότερα από 10 εκατομμύρια νοικοκυριά στις Ηνωμένες Πολιτείες έμειναν χωρίς ηλεκτρικό ρεύμα ως αποτέλεσμα του τυφώνα. Ο τυφώνας επηρέασε περίπου το 40% του πληθυσμού της χώρας με αποτέλεσμα να χάσουν τη ζωή τους συνολικά 208 άτομα.

Οι διακοπές της ηλεκτροδότησης στα ανατολικά διήρκεσαν κατά μέσο όρο μία έως δύο εβδομάδες. Η χιονοθύελλα αυτού του συστήματος καταιγίδων προκάλεσε ζημιές συνολικού ύψους 6,6 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Ακολουθούν ορισμένα από τα σημαντικότερα προβλήματα ηλεκτροδότησης που προκλήθηκαν από την καταιγίδα:

Διακοπές ρεύματος: Ο συνδυασμός βαριάς χιονόπτωσης, συσσώρευσης πάγου και ισχυρών ανέμων προκάλεσε σημαντικές διακοπές της ηλεκτροδότησης στις πληγείσες πολιτείες. Καθώς η καταιγίδα προχωρούσε προς τα νοτιοανατολικά, το βάρος του πάγου και του χιονιού προκάλεσε ρωγμές σε δέντρα και κλαδιά, με αποτέλεσμα να πέσουν γραμμές και στύλοι ηλεκτρικού ρεύματος. Τα καλώδια ρεύματος καλύφθηκαν από πάγο σε ορισμένες περιοχές, δυσχεραίνοντας τις προσπάθειες αποκατάστασης.

Διακοπές ρεύματος: Πολλά μέρη υπέστησαν εκτεταμένες διακοπές ρεύματος που διήρκεσαν από αρκετές ημέρες έως μια εβδομάδα ή και περισσότερο. Αυτό οφειλόταν στο τεράστιο μέγεθος της καταιγίδας και στη δυσκολία που είχαν οι υπάλληλοι των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας να εντοπίσουν και να αποκαταστήσουν τις κατεστραμμένες υποδομές σε τόσο έντονα καιρικά φαινόμενα.

Διακοπές στην επικοινωνία: Εκτός από τις διακοπές ρεύματος, η καταιγίδα προκάλεσε διαταραχές στις τηλεπικοινωνιακές υποδομές, συμπεριλαμβανομένων των υπηρεσιών σταθερής τηλεφωνίας και, σε μικρότερο βαθμό, των δικτύων κινητής τηλεφωνίας. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα να είναι δύσκολο για τους κατοίκους να ειδοποιηθούν για θέματα και για τις εταιρείες κοινής ωφέλειας να συντονίσουν τις προσπάθειες αποκατάστασης.

Οι παρατεταμένες διακοπές ρεύματος εν μέσω μιας μεγάλης χειμερινής καταιγίδας προκάλεσαν ανησυχίες σχετικά με τη ζεστασιά και την ασφάλεια, ιδίως για ευάλωτους πληθυσμούς όπως οι ηλικιωμένοι και όσοι πάσχουν από ιατρικές παθήσεις. Πολλοί άνθρωποι χρησιμοποιούσαν άλλες πηγές θέρμανσης, οι οποίες δημιουργούσαν κινδύνους πυρκαγιάς και μονοξειδίου του άνθρακα.

Οι διακοπές ρεύματος επηρέασαν τις υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης και τα νοσοκομεία, αναγκάζοντάς τα να βασίζονται σε εφεδρικές γεννήτριες για να διατηρήσουν τις ζωτικής σημασίας λειτουργίες. Τα νοσοκομεία, ειδικότερα, αντιμετώπισαν δυσκολίες ως αποτέλεσμα του υψηλότερου φόρτου ασθενών που προκλήθηκε από τραυματισμούς και ασθένειες που σχετίζονταν με την καταιγίδα.

Οι διακοπές ρεύματος σε κόμβους μεταφορών, συμπεριλαμβανομένων των αεροδρομίων και των σιδηροδρομικών σταθμών, διατάραξαν τις ταξιδιωτικές ρυθμίσεις και άφησαν εγκλωβισμένους ταξιδιώτες. Οι διακοπές ρεύματος επηρέασαν επίσης τους φωτεινούς σηματοδότες, διακόπτοντας την κυκλοφορία και συμβάλλοντας ενδεχομένως σε ατυχήματα.

Οικονομικές επιπτώσεις: Οι διακοπές ρεύματος είχαν σημαντικό οικονομικό αντίκτυπο στις επιχειρήσεις, διαταράσσοντας την παραγωγή, τις μεταφορές και το εμπόριο. Οι διακοπές ρεύματος και η καταστροφή περιουσιών προκάλεσαν απώλειες δισεκατομμυρίων δολαρίων.

Αντιμετώπιση έκτακτης ανάγκης: Υπηρεσίες κοινής ωφέλειας, υπηρεσίες έκτακτης ανάγκης και τοπικές κυβερνήσεις εργάστηκαν ακούραστα για την αποκατάσταση της ηλεκτροδότησης και την παροχή βοήθειας στους πληγέντες κατοίκους. Έπρεπε να διανύσουν δύσβατους δρόμους και να εργαστούν σε ψυχρές συνθήκες, μεταξύ άλλων προβλημάτων υλικοτεχνικής υποδομής.

Διδάγματα: Η καταιγίδα του αιώνα το 1993 κατέδειξε τη σημασία της προετοιμασίας και της ανθεκτικότητας απέναντι σε μεγάλες καιρικές καταστροφές. Πολλοί δήμοι ενθαρρύνθηκαν να αξιολογήσουν τις στρατηγικές αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης και να επενδύσουν σε πιο ανθεκτικές ηλεκτρικές υποδομές και ικανότητες αποκατάστασης από καταστροφές.

Συνολικά, τα ηλεκτρικά προβλήματα που συνδέθηκαν με την καταιγίδα του αιώνα το 1993 αποκάλυψαν την ευαισθησία των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας στις έντονες χειμερινές καιρικές συνθήκες και τη σημασία της

συντονισμένης αντίδρασης για την αποκατάσταση βασικών υπηρεσιών στις πληγείσες περιοχές.

Ελλάδα: Από τις 13 έως τις 17 Φεβρουαρίου 2021, έντονα καιρικά φαινόμενα θα επικρατήσουν χιονοπτώσεις στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας. Εκτός από τα νησιά του Ιονίου και τις δυτικές ακτές, χιονοπτώσεις σημειώνονται και στα ηπειρωτικά παράλια, στα νησιά του Αιγαίου και στην Κρήτη.[12]

Σύμφωνα με στοιχεία του μετεωρολογικού σταθμού της ΕΜΥ, χιονοπτώσεις σημειώθηκαν και στα παράλια των Κυκλάδων (Μύκονος), της Κρήτης (Ηράκλειο, Σούδα) και των Δωδεκανήσων (Κω).

Ένα μέρος όπου χιονίζει σπάνια. Τρεις άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους (2 στην Εύβοια και 1 στην Κρήτη), ενώ, σε συνδυασμό με τους ισχυρούς ανέμους και τις χαμηλές θερμοκρασίες, κυρίως στην Αττική, τη Βοιωτία και το οδικό δίκτυο της Εύβοιας, τα δίκτυα ύδρευσης και ηλεκτροδότησης.[12]

Η Αττική αντιμετώπισε δύο βασικά προβλήματα κατά τις ημέρες έντονων καιρικών φαινομένων, προκαλώντας εκτεταμένες ζημιές και διακοπή λειτουργίας περισσότερων από 40 γραμμών μέσης τάσης και εκατοντάδων γραμμών χαμηλής τάσης: αφενός, δέντρα έπεσαν κοντά σε στύλους κοινής ωφελείας με αποτέλεσμα να κόψουν τις γραμμές του δικτύου τους και η χιονόπτωση, από την άλλη πλευρά, εμπόδισαν τα συνεργεία αποκατάστασης να έχουν πρόσβαση στις ζημιές σε πολλές περιοχές. Επίσης πανελλαδικά, υπάρχουν πολλές βλάβες σε γραμμές μέσης τάσης, καθώς και πολλές μεμονωμένες βλάβες σε γραμμές χαμηλής τάσης.

Ενδεικτικό του μεγέθους της ζημιάς, στις 17 Φεβρουαρίου 2021, 3 μέρες μετά την έναρξη της κακοκαιρίας, όλοι οι τεχνικοί της ΔΕΔΔΗΕ Αττικής, περίπου 440, συνέχισαν να αντιμετωπίζουν προβλήματα.

Κατά τη διαδικασία ηλεκτροδότησης (Εικ. 4), αποκαταστάθηκαν ζημιές σε 15 γραμμές μέσης τάσης από τις 43 επίμαχες. Τρεις ημέρες αργότερα, 70.000 σπίτια στην Αττική έμειναν χωρίς ρεύμα.[5] Συνολικά χρειάστηκαν 8 μέρες για να επιδιορθωθούν οι βλάβες και να επανέλθει η ηλεκτροδότηση σε όλες τις οικίες.



Εικόνα 7. Ελλάδα, Χιονόπτωση, Μήδεια

3.4 Πυρκαγιές

Αυστραλία: Το έγγραφο παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις επιπτώσεις των πυρκαγιών στις διακοπές ρεύματος στην Αυστραλία. Κατά τη διάρκεια της πυρκαγιάς της περιόδου 2019-2020, περισσότεροι από 280.000 πελάτες είχαν διακοπές ρεύματος που διήρκησαν από 1 έως 10 ημέρες. Αυτές οι διακοπές είχαν μεγαλύτερο αντίκτυπο στις αγροτικές κοινότητες, όπου η απώλεια ηλεκτρισμού επηρέασε όχι μόνο το ψυγείο και τον κλιματισμό, αλλά διακόπτονταν επίσης η κινητή επικοινωνία, η μεταφορά, η ανακύκλωση καυσίμων και η παροχή νερού. Ο αριθμός των μη προγραμμασμένων διακοπών κατά

τη διάρκεια αυτής της περιόδου ήταν σημαντικά υψηλότερος από το προηγούμενο καλοκαίρι, κυρίως λόγω των πυρκαγιών μεταξύ Νοεμβρίου 2019 και Ιανουαρίου 2020.

Εκτός από τις τεράστιες επιπτώσεις σε ανθρώπους και περιουσίες, οι πυρκαγιές προκάλεσαν πρωτοφανείς ζημιές στις ενεργειακές υποδομές, επηρεάζοντας χιλιάδες χιλιόμετρα δικτύου.

Ενώ οι πυρκαγιές ήταν πάντα μια πραγματικότητα στην Αυστραλία και κάτι για το οποίο τα δίκτυα σχεδιάζουν και προετοιμάζονται, τα περιουσιακά στοιχεία του δικτύου είναι εγγενώς ευάλωτα.

Τα δίκτυα ηλεκτρικής ενέργειας της Αυστραλίας καλύπτουν περίπου 918.000km και περιλαμβάνουν πάνω από επτά εκατομμύρια πυλώνες ηλεκτροδότησης, οι περισσότεροι από τους οποίους βρίσκονται πάνω από το έδαφος και φτάνουν βαθιά μέσα στους θάμνους.

Το κόστος της προετοιμασίας και της αποκατάστασης ζημιών από πυρκαγιές και άλλες φυσικές καταστροφές είναι σημαντικό.

Τα αγροτικά και απομακρυσμένα δίκτυα, τα οποία παρέχουν ενέργεια σε χρήστες στην άκρη του δικτύου, είναι ιδιαίτερα ευάλωτα. Τα τμήματα αυτά μπορεί να είναι δύσκολα προσβάσιμα, δαπανηρά για τη συντήρησή τους και να αποκοπούν γρήγορα από το κύριο δίκτυο λόγω φυσικών καταστροφών.[58]

Καλιφόρνια: Οι απώλειες από την πυρκαγιά της περιόδου 2019-2020 ήταν τεράστιες και επηρέασαν διάφορες βιομηχανίες:

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας εβδομάδας του Οκτωβρίου, η Καλιφόρνια βίωσε ανεξήγητα ξηρούς ανέμους, με πυρκαγιές να εκδηλώνονται σε αργό και ανηφορικό ρυθμό. Παρά την εμφάνιση αυτών των πυρκαγιών, η

εκτεταμένη πυρκαγιά του 2019 στην Καλιφόρνια δεν φαίνεται να έχει αποδειχθεί χειρότερη από τα προηγούμενα καταστροφικά έτη.

Το 2019 κάηκαν περίπου 81.000 εκτάρια σε όλη την πολιτεία, σε σύγκριση με τα ανώτερα νούμερα των πυρκαγιών των προηγούμενων ετών. Κατά την τελευταία εβδομάδα, σημειώθηκαν 183 πυρκαγιές, αλλά οι περισσότερες κατασβέστηκαν γρήγορα, χάρη στον αποτελεσματικό σχεδιασμό και τις προσπάθειες των πυροσβεστών. Αυτή η περίοδος αναδεικνύει την ανάγκη για προσαρμογή της Καλιφόρνιας στις ακραίες κλιματικές συνθήκες που προκαλεί η κλιματική αλλαγή. Η PG&E υπολόγισε μια ελάχιστη απώλεια 600 εκατομμυρίων δολαρίων.

Οι πυρκαγιές στην Καλιφόρνια έχουν επιδεινωθεί τα τελευταία χρόνια, με μεγαλύτερη έκταση καύσης, μεγαλύτερη διάρκεια και περισσότερες απώλειες ανθρώπινων ζώων και περιουσίας. Η κλιματική αλλαγή επιταχύνει αυτά τα φαινόμενα και απειλεί την περιοχή με πιο συχνές και εντονότερες πυρκαγιές.

Η αποκοπή του ηλεκτρικού ρεύματος στην Καλιφόρνια πρόσφατα έχει γίνει αντικείμενο μεγάλης προσοχής λόγω της ανεξήγητης φύσης της. Οι τρεις μεγαλύτερες εταιρείες επενδυτών που διαχειρίζονται το ηλεκτρικό δίκτυο της πολιτείας έχουν αντιμετωπίσει προβλήματα με τον εξοπλισμό τους και ιστορία εκδήλωσης πυρκαγιών σε αντίξοες καιρικές συνθήκες.

Σε απόπειρα αντιμετώπισης του αυξανόμενου κινδύνου πυρκαγιάς, οι εν λόγω ενέργειες αποφάσισαν να απενεργοποιήσουν γραμμές διανομής ηλεκτρικού ρεύματος που εξυπηρετούν εκατομμύρια ανθρώπους. Αυτές οι αποκοπές ρεύματος ανακοινώθηκαν μόνο σε περίπτωση ακραίου κινδύνου πυρκαγιάς, αλλά πολλές από αυτές πραγματοποιήθηκαν λόγω ανεξήγητα έντονων καιρικών συνθηκών, αφήνοντας πολλούς κατοίκους της Καλιφόρνια χωρίς ρεύμα. Οι αποκοπές αυτές είναι χωρίς προηγούμενο, όπως και οι άνεμοι που τις προκάλεσαν, και έχουν προκαλέσει ανησυχία και ανασφάλεια στην περιοχή.

Η στρατηγική που ακολούθησαν οι ενέργειες για την αποκοπή του ηλεκτρικού ρεύματος, με σκοπό τη μείωση του κινδύνου πυρκαγιάς, τελικά φάνηκε ότι είχε αντίθετα αποτελέσματα και κατέληξε να προκαλεί καταστροφές από μόνη της. Η εταιρεία Pacific Gas and Electric, που εξυπηρετεί εκατομμύρια νοικοκυριά στη βόρεια και κεντρική Καλιφόρνια, βρέθηκε υπό κατηγορία για την εκδήλωση της πυρκαγιάς Kincade, καθώς και για άλλες πυρκαγιές στην περιοχή του Bay Area, που σημειώθηκαν μετά την απενεργοποίηση του ηλεκτρικού δικτύου της.[56],[57]

3.5 Υψηλές θερμοκρασίες

Γαλλία: Οι πυρηνικοί αντιδραστήρες διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ιδίως στη Γαλλία, όπου παράγουν πάνω από το 75% της ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας. Πολλοί από αυτούς τους αντιδραστήρες αντιμετώπισαν δυσκολίες στη διατήρηση των λειτουργιών ψύξης καθ' όλη τη διάρκεια του καύσωνα. Το νερό του ποταμού χρησιμοποιείται γενικά για την ψύξη αυτών των αντιδραστήρων, αλλά ο συνδυασμός χαμηλών επιπέδων νερού και υψηλών θερμοκρασιών νερού κατέστησε αυτή τη διαδικασία ψύξης μη πρακτική. Ως αποτέλεσμα, αρκετοί αντιδραστήρες αναγκάστηκαν να κλείσουν εντελώς, ενώ σε άλλους χορηγήθηκαν εξαιρέσεις από τις νομικές απαιτήσεις για να συνεχίσουν να λειτουργούν, αν και με μειωμένη ισχύ. Αυτές οι διακοπές λειτουργίας και η μειωμένη δυναμικότητα είχαν σημαντικό αντίκτυπο στη συνολική παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από πυρηνικούς σταθμούς.[60]

Η μεγάλη ζέστη προκάλεσε αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς τα άτομα αναζήτησαν ανακούφιση χρησιμοποιώντας κλιματιστικά και ψυγεία. Ωστόσο, λόγω της περιορισμένης δυναμικότητας των πυρηνικών εργοστασίων, η Γαλλία αναγκάστηκε να μειώσει τις εξαγωγές ηλεκτρικής ενέργειας περισσότερο από το ήμισυ. Με το μέτρο αυτό επιδιώχθηκε να δοθεί προτεραιότητα στην ικανοποίηση της εγχώριας ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας

και στη διασφάλιση του αξιόπιστου εφοδιασμού της χώρας με ηλεκτρική ενέργεια.

Διακοπές ρεύματος και περιορισμοί στις μεταφορές: Λόγω των ακραίων καιρικών συνθηκών, συμπεριλαμβανομένου του καύσωνα και της ξηρασίας, σημειώθηκαν διακοπές ρεύματος και περιορισμοί στις μεταφορές. Αυτές οι διαταραχές στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας και στις υποδομές μεταφοράς ενδέχεται να συνέβαλαν σε διακοπές ρεύματος και να δημιουργήσαν δυσκολίες για τις επιχειρήσεις και τα σπίτια για περίπου 18 ώρες.

Οικονομικός αντίκτυπος: Σύμφωνα με τη μελέτη, οι οικονομικές απώλειες που προκαλούνται από αυτές τις επιζήμιες συνέπειες, συμπεριλαμβανομένων των προβλημάτων που σχετίζονται με την ενέργεια, φθάνουν τα 13 δισεκατομμύρια ευρώ. Οι απώλειες αυτές καλύπτουν πολλούς τομείς της οικονομίας και αναδεικνύουν τις εκτεταμένες επιπτώσεις του καύσωνα στη γενική ευημερία του έθνους.

Ενεργειακή ανθεκτικότητα: Τα γεγονότα του ευρωπαϊκού καύσωνα καταδεικνύουν την ανάγκη ενεργειακής ανθεκτικότητας, καθώς και την ανάγκη διαφοροποίησης των πηγών ενέργειας και αναβάθμισης των υποδομών, προκειμένου να επιβιώνουν καλύτερα σε ακραίες καιρικές συνθήκες. Είναι ζωτικής σημασίας η συνεπής παροχή ηλεκτρικού ρεύματος όχι μόνο για την άνεση και την ευκολία, αλλά και για τη λειτουργία κρίσιμων υποδομών, βιομηχανιών και της καθημερινής ζωής.[60]

3.6 Δείκτες ποσοτικοποίησης φυσικών καταστροφών

Η κλιματική αλλαγή μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στη λειτουργία και την ευπάθεια του ηλεκτρικού συστήματος. Οι δείκτες ποσοτικοποίησης φυσικών καταστροφών είναι στατιστικοί μεγέθη που χρησιμοποιούνται για να καταγράψουν, αναλύουν και συγκρίνουν τις φυσικές καταστροφές, όπως τυφώνες, πλημμύρες, πυρκαγιές και άλλα φυσικά γεγονότα που προκαλούν

ζημιές και απώλειες. Οι δείκτες αυτοί παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των καταστροφών και την ανάπτυξη πολιτικών προστασίας και πρόληψης. Ορισμένοι σημαντικοί δείκτες ποσοτικοποίησης φυσικών καταστροφών περιλαμβάνουν:

1. Ο δείκτης διάρκειας χρόνου χωρίς ηλεκτροδότηση αναφέρεται στον χρόνο κατά τον οποίο ένας καταναλωτής ή μια περιοχή βρίσκονται χωρίς ηλεκτρικό ρεύμα λόγω διάφορων αιτιών, συμπεριλαμβανομένων των φυσικών καταστροφών. Αυτός ο δείκτης είναι σημαντικός για την αξιολόγηση της ανθεκτικότητας του ηλεκτρικού δικτύου σε ακραίες καιρικές συνθήκες ή σε φυσικές καταστροφές, καθώς και για τον καθορισμό των αναγκαίων βελτιώσεων.

Ο δείκτης αυτός μπορεί να περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

Χρόνος Διακοπής: Αναφέρει τη συνολική διάρκεια (σε λεπτά, ώρες ή μέρες) κατά την οποία ένας καταναλωτής ή μια περιοχή δεν έχουν ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτός ο χρόνος μπορεί να μετριέται για κάθε διακοπή ξεχωριστά ή συνολικά για μια περίοδο, όπως ένα έτος.

Αιτίες Διακοπών: Ενδέχεται να περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με τις αιτίες των διακοπών, όπως φυσικές καταστροφές, βλάβες στο δίκτυο, εργασίες συντήρησης και άλλα.

Χρόνος Επαναφοράς: Ο χρόνος που απαιτείται για την επαναφορά του ηλεκτρικού ρεύματος μετά από μια διακοπή. Αυτός ο χρόνος μπορεί να επηρεάζεται από την αποκατάσταση των βλαβών, την πρόσβαση στον τόπο της καταστροφής και άλλους παράγοντες.

2. Ο δείκτης του κόστους ζημιών από φυσικές καταστροφές αποτελεί έναν σημαντικό τρόπο για την ποσοτικοποίηση των οικονομικών επιπτώσεων που προκαλούνται από φυσικές καταστροφές. Αυτός ο δείκτης βοηθά στην κατανόηση του συνολικού οικονομικού αντίκτυπου μιας καταστροφής και

στον καθορισμό του πόσο ακριβή είναι το κόστος της αντιμετώπισης των συνεπειών της.

Ο δείκτης κόστους ζημιών από φυσικές καταστροφές μπορεί να περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

Κατανομή του Κόστους: Αναφέρει το συνολικό κόστος των ζημιών που προκλήθηκαν από τη φυσική καταστροφή και πως κατανέμεται αυτό το κόστος σε διάφορους τομείς όπως την υποδομή, τις κατοικίες, τη γεωργία, την επιχειρηματικότητα, την υγεία και άλλους.

Κόστος Αναδόμησης: Το κόστος για την αναδόμηση των κατεστραμμένων υποδομών, κτιρίων και εγκαταστάσεων.

Απώλειες στον Περιβάλλοντα Χώρο: Οι απώλειες που προκαλούνται στο περιβάλλον, όπως ρύπανση, απώλεια βιοποικιλότητας και καταστροφή φυσικών οικοσυστημάτων.

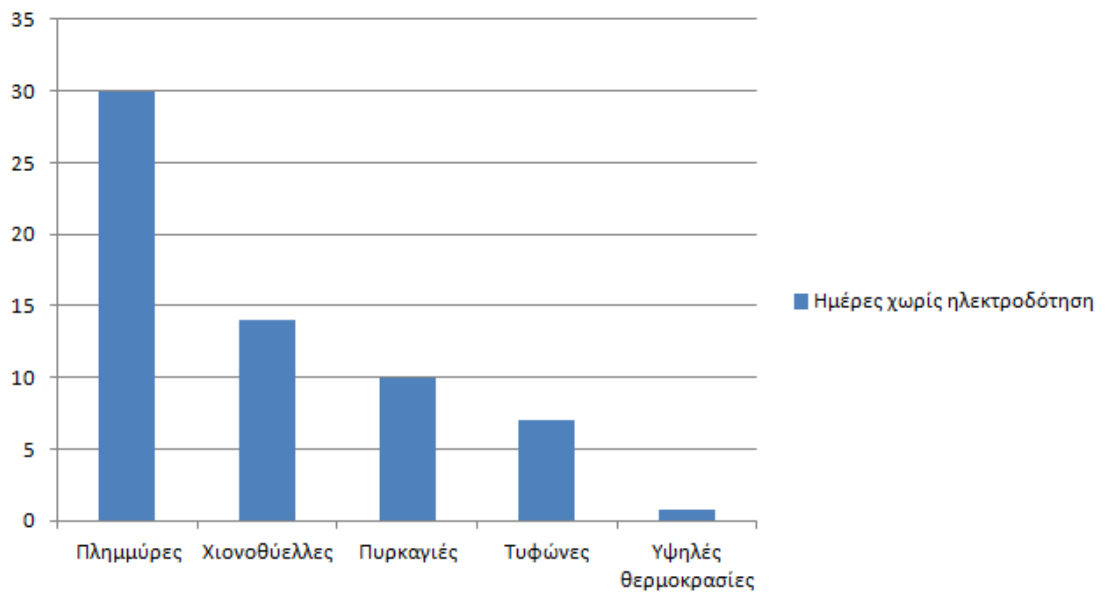
Αυτοί οι δείκτες είναι κρίσιμοι για την αξιολόγηση της ευπάθειας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας στην κλιματική αλλαγή, καθώς και για τον καθορισμό στρατηγικών προσαρμογών και την αντιμετώπιση των προβλημάτων που παρέχουν αυτές οι αλλαγές.

Τα παραπάνω στοιχεία είναι από τα πιο χαρακτηριστικά και επιβλαβή γεγονότα που έχουν καταγραφεί μέσα από διάφορα παραδείγματα φυσικών καταστροφών που συνέβησαν σε διάφορα σημεία του κόσμου.

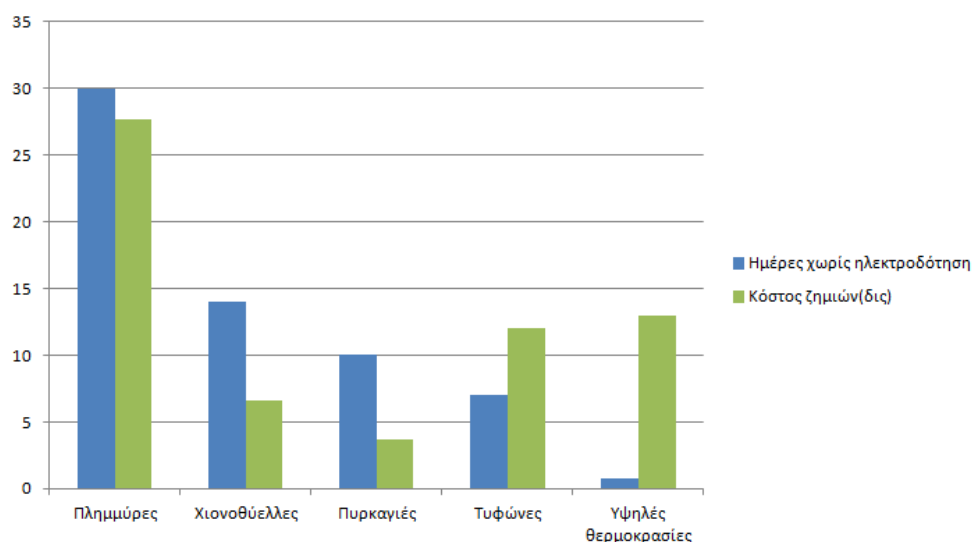
Πίνακας 4. Αιτίες, χρόνος διακοπής ρεύματος και κόστος ζημιών καταστροφής

A/A	Καταστροφή	Τοποθεσία	Διάρκεια διακοπής ηλεκτροδότησης	Κόστος ζημιών(δισεκατομμύρια \$)
1	Πλημμύρα(2002)	Κεντρική Ευρώπη (Πράγα)	30 ημέρες	27,70
2	Πλημμύρα(2015)	Γκάνα	-	0,10
3	Πλημμύρα (2010)	Πακιστάν	-	10,00
4	Χιονοθύελλα(1993)	ΗΠΑ	14 ημέρες	6,60
5	Χιονοθύελλα (2019)	Ελλάδα	8 ημέρες	-
6	Πυρκαγιές(2019)	Αυστραλία	10 ημέρες	3,65
7	Πυρκαγιές(2019)	Καλιφόρνια	-	0,60
8	Τυφώνας(2013)	Φιλιππίνες	7 ημέρες(6,1 δις ηλεκτρικές ώρες*)	12,00
9	Τυφώνας(2017)	Πουέρτο Ρίκο	3,4 δις ηλεκτρικές ώρες*	90,00
10	Τυφώνας (2005)	Μαϊάμι	-	145,50
11	Υψηλές θερμοκρασίες(2019)	Γαλλία	18 ώρες	13,00

* Η μέθοδος αυτή είναι ένας τύπος που πολλαπλασιάζει τον αριθμό των ωρών επί τον επηρεαζόμενο πληθυσμό και δεν αντικατοπτρίζει τον ονομαστικό χρόνο σε ώρες που διήρκεσαν οι διακοπές.



Σχήμα 2. Ημέρες χωρίς ηλεκτροδότηση



Σχήμα 3. Σύγκριση ημερών χωρίς ηλεκτροδότηση και κόστος ζημιών

Αναλύοντας τις τιμές του σχήματος 2 και 3, παρατηρούμε ότι παρουσιάζονται διαφορές μεταξύ της διάρκειας αποκατάστασης της ηλεκτρικής ενέργειας και του κόστους ζημιών. Το κόστος των ζημιών δεν είναι ανάλογο με τη διάρκεια χωρίς ηλεκτροδότηση. Βλέπουμε ότι οι πλημμύρες έχουν τις περισσότερες μέρες χωρίς ηλεκτροδότηση και το μεγαλύτερο κόστος ζημιών. Οι τυφώνες συνήθως συνοδεύονται από ισχυρούς άνεμους και έντονες βροχοπτώσεις, ενώ οι πλημμύρες μπορούν να προκαλέσουν μαζική υπονόμηση της υποδομής.

Οι χιονοθύελλες και οι χιονοπτώσεις, αν και έχουν μικρότερο κόστος σε σχέση με τυφώνες και πλημμύρες, μπορεί να έχουν μεγαλύτερη διάρκεια χωρίς ηλεκτροδότηση, κυρίως σε περιοχές με έντονο χειμώνα. Οι πυρκαγιές, αν και έχουν σύντομη διάρκεια χωρίς ηλεκτροδότηση, μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές καταστροφές στον περιβάλλοντα χώρο και στις κατοικίες. Οι υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να έχουν σχετικά χαμηλή διάρκεια αποκατάστασης του δικτύου, αλλά έχουμε πολύ μεγάλο κόστος ζημιών.

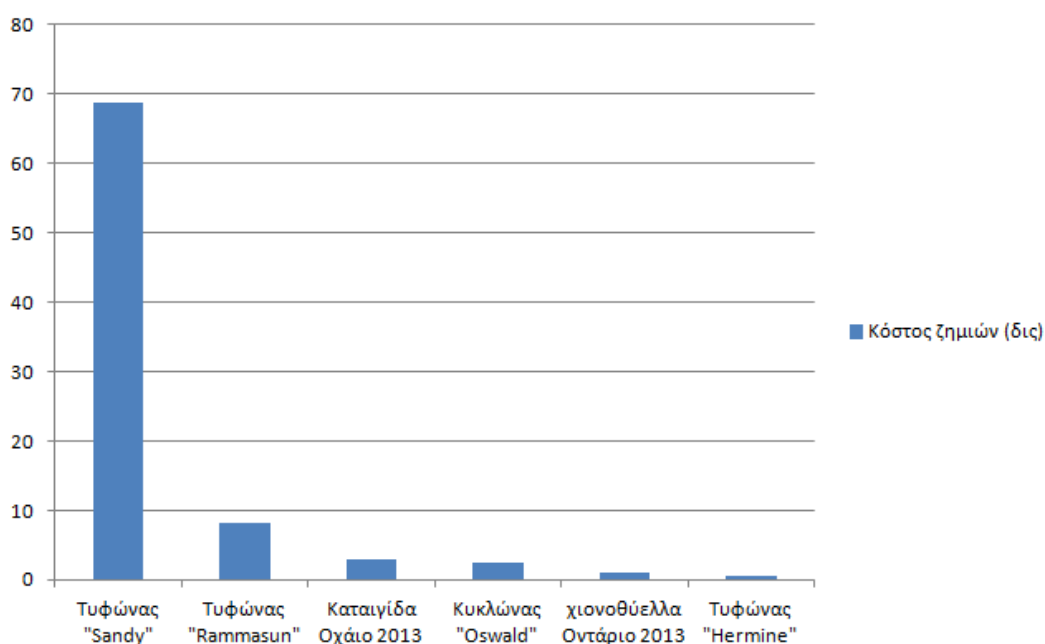
Αυτό συμβαίνει διότι σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν οι υποδομές και η τρωτότητα του δικτύου σε κάθε χώρα. Όσο πιο αδύναμη είναι η υποδομή ηλεκτρικής ενέργειας σε μία χώρα, τόσο πιο ευάλωτη θα είναι στα ακραία καιρικά φαινόμενα και αυτό συνεπάγεται σε μεγαλύτερο κόστος ζημιών και αποκατάστασης σε περίπτωση κάποιας καταστροφής.

Στον πίνακα 4 παρατηρούμε παραδείγματα από όλο τον κόσμο που το ηλεκτρικό δίκτυο δεν άντεξε στα ακραία καιρικά φαινόμενα

Πίνακας 5. Παραδείγματα ακραίων καιρικών φαινομένων από όλο τον κόσμο και το κόστος ζημιών τους [5]

Α/Α	Ημερομηνία	Καταστροφή	Τοποθεσία	Κόστος ζημιών(δισεκατομμύρια \$)
1	Σεπτέμβριος 2016	Ανεμοστρόβιλος "Blyth"	Αυστραλία	-
2	Σεπτέμβριος 2016	Τυφώνας "Hermine"	Φλόριντα	0,55
3	Ιούλιος 2014	Τυφώνας "Rammassun"	Φίλιππίνες	8,08
4	Οκτώβριος 2012	Τυφώνας "Sandy"	Ανατολικές περιοχές ΗΠΑ	68,70
5	Δεκέμβριος 2013	Χιονοθύελλα	Οντάριο, Καναδάς	0,20

6	Απρίλιος 2013	Βαριά χιονόπτωση	Πολωνία	-
7	Μάρτιος 2013	Βαριά χιονόπτωση	Μπέλφαστ, Βόρεια Ιρλανδία	-
8	Ιανουάριος 2013	Κυκλώνας "Oswald"	Κουίνσλαντ, Αυστραλία	2,52
9	Ιούνιος 2012	Καταιγίδα	Οχάιο, ΗΠΑ	2,90
10	Ιούλιος 2012	Ινδικός Μουσώνας	Βόρεια Ινδία	-

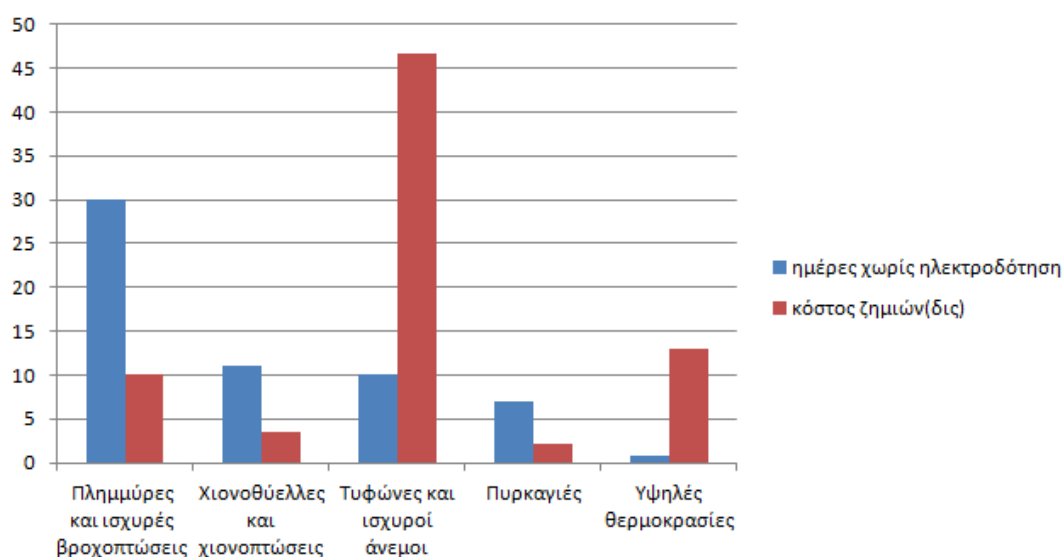


Σχήμα 4. Σύγκριση κόστους ζημιών από διάφορες καταστροφές (πιν 4.)

Μέσα από τους πίνακες 3 και 4 μπορούμε να βγάλουμε το μέσο όρο κοστολόγησης των ζημιών όσο και για τις ημέρες χωρίς ηλεκτροδότηση από το κάθε γεγονός ξεχωριστά οπότε προκύπτει:

Πίνακας 6. Μέσος όρος από όλα τα ακραία καιρικά φαινόμενα

Καταστροφές	Διάρκεια χωρίς ηλεκτροδότηση	Κόστος ζημιών (δισεκατομμύρια \$)
Πλημμύρες και ισχυρές βροχοπτώσεις	30 ημέρες	10,17
Χιονοθύελλες και χιονοπτώσεις	11 ημέρες	3,40
Τυφώνες και ισχυροί άνεμοι	10 ημέρες	46,76
Πυρκαγιές	7 ημέρες	2,13
Υψηλές θερμοκρασίες	18 ώρες	13,00



Σχήμα 5. Μέσος όρος ημερών χωρίς ηλεκτροδότηση και του κόστους ζημιών από τη κάθε καταστροφή

Για να κάνουμε μια σύγκριση βάσει των υποδομών του ηλεκτρικού δικτύου, μπορούμε να εξετάσουμε το κόστος ζημιών ανά ημέρα χωρίς ηλεκτροδότηση για κάθε φαινόμενο. Αυτό μας δίνει μια ιδέα για τη σοβαρότητα της επίδρασης κάθε φαινομένου στο ηλεκτρικό δίκτυο. Αναφέρονται τα κόστη ζημιών ανά ημέρα χωρίς ηλεκτροδότηση:

Τυφώνες και ισχυροί άνεμοι:

$$\frac{\text{Κόστος ζημιών}}{\text{ημέρες χωρίς ηλεκτροδότηση}} = \frac{4,676 \text{ δισεκατομμύρια}}{10 \text{ ημέρες}} = 0,4676 \text{ δισεκατομμύρια/ ημέρα}$$

Πλημμύρες και ισχυρές βροχοπτώσεις:

$$\frac{\text{Κόστος ζημιών}}{\text{ημέρες χωρίς ηλεκτροδότηση}} = \frac{10,17 \text{ δισεκατομμύρια}}{30 \text{ ημέρες}} = 0,339 \text{ δισεκατομμύρια/ημέρα}$$

Χιονοθύελλες και χιονοπτώσεις:

$$\frac{\text{Κόστος ζημιών}}{\text{ημέρες χωρίς ηλεκτροδότηση}} = \frac{3,40 \text{ δισεκατομμύρια}}{11 \text{ ημέρες}} = 0,3091 \text{ δισεκατομμύρια/ημέρα}$$

Υψηλές θερμοκρασίες:

$$\frac{\text{Κόστος ζημιών}}{\text{ημέρες χωρίς ηλεκτροδότηση}} = \frac{13,00 \text{ δισεκατομμύρια}}{18 \text{ ώρες}} = \frac{13,00 \text{ δισεκατομμύρια}}{0,75 \text{ ημέρες}} = 17,33$$

δισεκατομμύρια/ημέρα

Πυρκαγιές:

$$\frac{\text{Κόστος ζημιών}}{\text{ημέρες χωρίς ηλεκτροδότηση}} = \frac{2,13 \text{ δισεκατομμύρια}}{7 \text{ ημέρες}} = 0,3043 \text{ δισεκατομμύρια/ημέρα}$$

Βάσει αυτής της σύγκρισης, μπορούμε να πούμε ότι οι υψηλές θερμοκρασίες είχαν τη μεγαλύτερη επίδραση στις υποδομές του ηλεκτρικού δικτύου, αφού προκάλεσαν το υψηλότερο κόστος ζημιών ανά ημέρα χωρίς ηλεκτροδότηση. Ακολουθούν οι τυφώνες και οι ισχυροί άνεμοι, οι πλημμύρες και οι ισχυρές βροχοπτώσεις, ενώ οι χιονοθύελλες και οι χιονοπτώσεις με τις πυρκαγιές είχαν τη χαμηλότερη επίδραση στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Τα παραδείγματα και τα καιρικά φαινόμενα που αναφέρθηκαν παραπάνω έχουν ποικίλες επιπτώσεις στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, ανάλογα με την περιοχή και την υποδομή. Για να αντιμετωπιστούν οι δυσκολίες

της κλιματικής αλλαγής, η ευπάθεια του δικτύου απαιτεί προληπτικές δράσεις, όπως η ενίσχυση των υποδομών, η ανάπτυξη ανθεκτικών εγκαταστάσεων και η τακτική παρακολούθηση των καιρικών συνθηκών.

Η τρωτότητα του δικτύου μπορεί να έχει επιπτώσεις στην ικανότητα ενός συστήματος να αντιμετωπίσει μια καταστροφή και να ανακάμψει μετά από αυτήν. Επιπλέον, η ανάλυση αυτή αναδεικνύει τη σημασία της πρόληψης και της ενίσχυσης των υποδομών, καθώς και της ανάγκης για αποτελεσματικές στρατηγικές αντιμετώπισης καταστροφών που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε παγκόσμιο επίπεδο.

Η τρωτότητα του δικτύου ενός κράτους εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, και διαφέρει ανάλογα με τη γεωγραφία, την οικονομική κατάσταση, την πολιτική οργάνωση, τον πληθυσμό, την υποδομή και πολλούς άλλους παράγοντες. Κάθε χώρα πρέπει να αξιολογήσει τους δικούς της παράγοντες τρωτότητας και να αναπτύξει σχέδια αντιμετώπισης καταστροφών που να λαμβάνουν υπόψη τις συγκεκριμένες συνθήκες και ανάγκες της.

Κεφάλαιο 4^ο: Ανθεκτικότητα

4.1 Ανθεκτικότητα

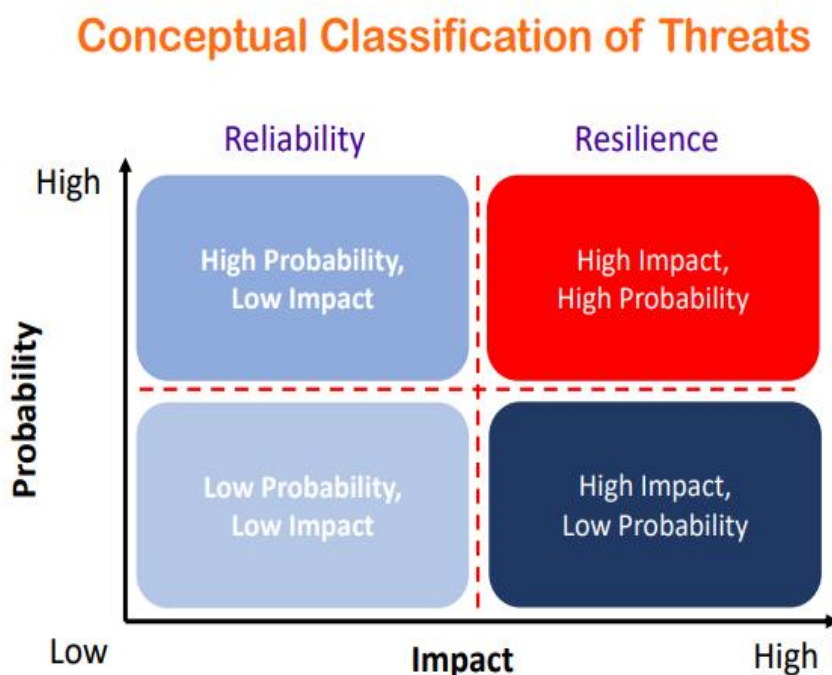
Η ανθεκτικότητα ενός συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας αναφέρεται στην ικανότητά του να αντιμετωπίζει αποτελεσματικά διάφορα γεγονότα που έχουν σημαντική επίδραση στο σύστημα και να αποκαθιστά γρήγορα όταν τελειώσουν αυτά τα συμβάντα. Στον ορισμό της ανθεκτικότητας περιλαμβάνεται επίσης η ικανότητα του δικτύου να μαθαίνει από προηγούμενα συμβάντα προκειμένου να τροποποιήσει τη λειτουργία και τη δομή του, καθώς και η ικανότητα πρόληψης και ελαχιστοποίησης των επιπτώσεων παρόμοιων περιστατικών στο μέλλον.[13]

Με λίγα λόγια η λέξη "ανθεκτικότητα" προέρχεται από τη λατινική λέξη "resilio" και αφού πρωτοεισήχθη από τον C.S. Holling το 1973 για οικολογικά συστήματα πλέον αποτελεί μια έννοια σχετικά με την νέα αλλά και αναδυόμενη στον τομέα των ΣΗΕ. Μέσα από αυτό το πλαίσιο, η ανθεκτικότητα των ΣΗΕ, θα μπορούσε να αναφερθεί στην ικανότητα που έχει ένα ηλεκτρικό σύστημα να ανακάμψει γρήγορα μετά από μια μεγάλη καταστροφή ή και γενικότερα. Επίσης θα μπορούσε να αναφερθεί στην ικανότητά του να προβλέπει εξαιρετικά και πολύς υψηλής επίδρασης, με πολύ χαμηλή πιθανότητα, ή γεγονότα, ή ανακάμπτοντας ταχύτατα από τα διαταρακτικά γεγονότα αλλά και απορροφώντας διάφορα διδάγματα για την προσαρμογή της λειτουργίας αλλά και της δομής του συστήματος προκειμένου να είναι καλύτερα προετοιμασμένο για τυχόν παρόμοια γεγονότα στο μέλλον.[15],[16]

Ένα γενικό πλαίσιο που αφορά την ανθεκτικότητα των ηλεκτρικών συστημάτων μαζί με τις κύριες διαφορές του από την αξιοπιστία των ηλεκτρικών συστημάτων αναλύονται. Αν λάβουμε υπόψιν επίσης τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής και την ανάγκη για πιο φιλικές περιβαλλοντικά λύσεις για μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, θα μας οδηγήσει αυτό στα λεγόμενα "ανθεκτικά χαμηλού άνθρακα" δίκτυα του μέλλοντος, τα οποία

περιλαμβάνουν τόσο στόχους μείωσης του άνθρακα όσο και στόχους μείωσης της ανθεκτικότητας.[17],[18]

Με αυτόν τον τρόπο θα είναι κατανοητή και θα δύναται να υλοποιηθεί η ανάπτυξη ποσοτικών μεθόδων αξιολόγησης της ανθεκτικότητας καθώς και της αξιολόγησης της συμβολής διαφορετικών στρατηγικών (ενίσχυση και έξυπνη λειτουργία) για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας σε φυσικές καταστροφές και κακοκαιρίες.



Σχήμα 6. Εννοιολογική ταξινόμηση των απειλών

Η ανθεκτικότητα ενός συστήματος ορίζεται από τον οργανισμό «Intergovernmental Panel on Climate Change» (IPCC), ως την ικανότητά του να προβλέπει (μέσω ενός προβλήματος), να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί και να ανακάμψει από επιζήμιες συμβάσεις που λειτουργούν και μέσα σε εύλογο χρονικό διάστημα.[19]

Από τα ανωτέρω είναι αντιληπτό ότι οι φυσικές καταστροφές που έχει υποστεί και θα υφίσταται το περιβάλλον μπορούν να προκαλέσουν ραγδαία μεγάλες ζημιές τόσο στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας όσο και στις

γραμμές μεταφοράς και γενικότερα στα στοιχεία ενός δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Προβάλλεται λοιπόν μέσα από αυτό και θεωρείται επιτακτική ανάγκη η ενίσχυση της ανθεκτικότητας των δικτύων. Αυτό οδηγεί στην εστίαση σε τρία σημεία, στην πρόληψη, την ανάκτηση και την επιβίωση. Πιο αναλυτικά έχουμε τα εξής:

Πρόληψη: Για την σωστή πρόβλεψη των βλαβών στο δίκτυο, απαιτούνται αλλαγές τόσο στα σχεδιαστικά πρότυπα και στις κατευθυντήριες γραμμές που αφορούν στην επισκευή του, όσο και στις διαδικασίες επιθεώρησής του με την εισαγωγή και εφαρμογή καινοτόμων τεχνολογιών.

Ανάκτηση: Όσον αφορά την ανθεκτικότητα του δικτύου είναι απαραίτητο να υλοποιηθεί σωστός σχεδιασμός με υιοθέτηση κατάλληλων προτύπων. Ο σχεδιασμός αυτός θα έχει την δυνατότητα να προβλέπει εκτίμηση των ζημιών με τον πιο ταχύτατο τρόπο αλλά και δημιουργία ομάδας με τον πιο άμεσο τρόπο ώστε γίνει η αποκατάσταση βλαβών.

Επιβίωση: Η επιβίωση έχει σχέση με αν το ΣΗΕ είναι ικανό. Κατά πόσο το ΣΗΕ με την εισαγωγή και χρήση ανθεκτικών τεχνολογιών, μπορεί να λειτουργεί τουλάχιστον σε ένα ελάχιστο επίπεδο, ώστε να είναι εφικτή η εξυπηρέτηση των μεμονωμένων καταναλωτών αλλά και των κοινοτήτων. Επίσης στην επιβίωση συμπεριλαμβάνεται και η επικοινωνία με τους καταναλωτές αλλά και η ικανότητα τροφοδοσίας των πιο σημαντικών φορτίων όπως για παράδειγμα της κινητής τηλεφωνίας, των φωτεινών σηματοδοτών που χρησιμοποιούνται για την ρύθμιση της κυκλοφορίας, για τα κτήρια δημοσίου ενδιαφέροντος όπως σχολεία, γηροκομεία, νοσοκομεία.

4.1.1. Ορισμός, ποσοτικοποίηση και ενίσχυση της ανθεκτικότητας των συστημάτων και των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας

Στην συγκεκριμένη υποενότητα, συζητείται αρχικά η έννοια της ανθεκτικότητας μέσω ποσοτικών δεικτών ανθεκτικότητας και στρατηγικές ενίσχυσης που εκτελούνται με στόχο την ενίσχυση της ανθεκτικότητας (συμπεριλαμβανομένων μέτρων ενίσχυσης και έξυπνης λειτουργίας).

Ένα ηλεκτρικό σύστημα μπορεί να βρίσκεται σε πολλές και διάφορες καταστάσεις όταν υποστεί κάποιο εξωτερικό πλήγμα, όπως μια φυσική καταστροφή ή ακόμη και ένα έντονο καιρικό φαινόμενο. Επομένως είναι συνεπώς κρίσιμης σημασίας να γίνουν απόλυτα κατανοητές αυτές οι καταστάσεις. Για μεγαλύτερη διευκόλυνση πρέπει να εκτελεσθεί η συστηματική αξιολόγηση της ανθεκτικότητας και η ενίσχυση των ηλεκτρικών συστημάτων έναντι τέτοιων γεγονότων. Οι καταστάσεις (φάσεις) ενός ηλεκτρικού συστήματος που σχετίζονται από κάποια εξωτερική διαταραχή, την χρονική ακολουθία αυτών των καταστάσεων και των σχετικών γεγονότων και του τύπου των διαθέσιμων ενεργειών.

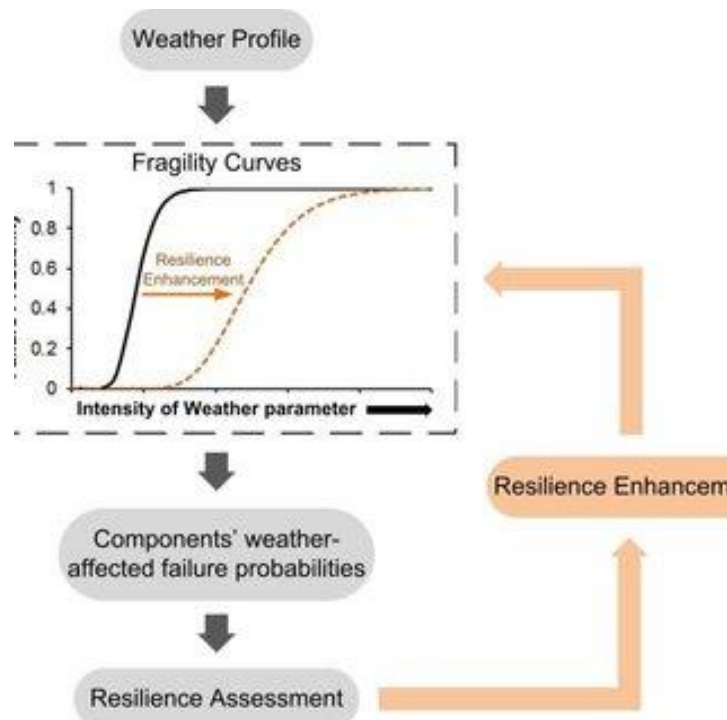
Η διαίρεση του γεγονότος σε διάφορες φάσεις (Φάσεις I, II και III) δίνει την δυνατότητα για μια δυναμική αξιολόγηση της ανθεκτικότητας πολλαπλών φάσεων. Αυτό είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα του τραπεζίου ανθεκτικότητας σε σχέση με το λεγόμενο τρίγωνο ανθεκτικότητας που χρησιμοποιείται παραδοσιακά και μοντελοποιείται σε παλαιότερες μελέτες ανθεκτικότητας.

Το τρίγωνο ανθεκτικότητας έχει την δυνατότητα να πραγματοποιήσει αξιολόγηση ανθεκτικότητας μίας φάσης και ειδικότερα για την αξιολόγηση της αποκατάστασης μιας υποδομής ειδικά μετά το γεγονός. Ένα ακόμη επιπλέον πλεονέκτημα του τραπεζίου ανθεκτικότητας είναι ότι μπορεί να είναι εφαρμόσιμο σε οποιοδήποτε απειλητικό στοιχείο, ανεξάρτητα από τη φύση του στοιχείου αυτού. Επιπρόσθετα, η υπόθεση μιας απότομης αλλά και άμεσης μείωσης της ανθεκτικότητας στην συγκεκριμένη προσέγγιση του τριγώνου ανθεκτικότητας καθιστά αυτήν την συγκεκριμένη προσέγγιση εξαιρετικά συγκεκριμένη για την απειλή. Ένα παράδειγμα είναι «όταν τη χτυπά ένας

σεισμός διάρκειας δευτερολέπτων έως λεπτών και σημειώνεται μια απότομη μείωση της ανθεκτικότητας. Το τρίγωνο ανθεκτικότητας δεν μπορεί να αποτυπώσει την εξέλιξη ενός γεγονότος, όπως ένας τυφώνας που μπορεί να διαρκέσει από ώρες έως ημέρες».

Οι διάφορες φάσεις της κατάστασης του ΣΗΕ μπορούν να αναπαρασταθούν με μεγάλη ακρίβεια από το μοντέλο του τραπεζίου ανθεκτικότητας με τον ακόλουθο τρόπο: εάν ο χρόνος και η τοποθεσία του εξωτερικού πλήγματος μπορούν να προβλεφθούν επαρκώς τότε ο φορέας του συστήματος θα πρέπει να προχωρήσει στην εφαρμογή προληπτικών μέτρων όπως για παράδειγμα την προληπτική αναδιάταξη παραγωγής πριν όμως το γεγονός επηρεάσει το δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Στόχος όλων αυτών των ενεργειών είναι η ενίσχυση της προαποταμιευτικής ανθεκτικότητας της υποδομής. Κατά τη διάρκεια της προόδου της διαταραχής (Φάση I, $t \in [t_{oe}, t_{ee}]$), έκτακτα ή διορθωτικά μέτρα όπως για παράδειγμα ανακατανομή παραγωγής, δύναται η δυνατότητα μείωσης των επιπτώσεων του εξωτερικού πλήγματος στο ηλεκτρικό σύστημα.

Μετά το γεγονός ότι το σύστημα θα βρίσκεται σε ακόμη μια κατάσταση μετά την διαταραχή (Φάση II, $t \in [t_{ee}, t_r]$), όπου είναι η κατάλληλη και αποτελεσματική έκτακτη συντονισμένη δράση και προετοιμασία, θα πρέπει να επιτρέπουν τη γρήγορη έναρξη της φάσης αποκατάστασης (Φάση III, $t \in [t_r, T]$, όπου T είναι ο χρόνος που το δίκτυο ανακάμπτει πλήρως από το επίπεδο ανθεκτικότητας μετά τη διαταραχή R_{rd} στο επίπεδο ανθεκτικότητας προ διαταραχής R_0 σε ένα επιθυμητό επίπεδο ανθεκτικότητας που μπορεί να είναι διαφορετικό από το R_0) και την εφαρμογή των αποκαταστατικών μέτρων. Όταν το σύστημα ΣΗΕ ανακάμπτει από μια μετά-γεγονός κατάσταση τότε οι επιπτώσεις του εξωτερικού πλήγματος της ανθεκτικότητας του συστήματος και την απόδοσή του αλλά και κατά την διάρκεια του γεγονότος θα πρέπει να αξιολογηθούν και να αναλυθούν με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να ληφθούν και προσαρμοστικά μέτρα για την αύξηση της ανθεκτικότητας της υποδομής κατά τη διάρκεια μελλοντικών παρόμοιων ή απρόβλεπτων γεγονότων.



Εικόνα 8. Αξιολόγηση και ενίσχυση της ανθεκτικότητας σε καιρικά φαινόμενα με τη χρήση καμπυλών ευθραυστότητας

Το τραπέζιο ανθεκτικότητας πολλές φορές βασίζεται στην υπόθεση ότι ολόκληρη η υποδομή εκτίθεται στο ακραίο γεγονός κατά τη Φάση I και ότι δεν πρόκειται να πραγματοποιηθεί αποκατάσταση των κατεστραμμένων συστατικών κατά τη διάρκεια του γεγονότος. Αυτή είναι η συνηθέστερη πρακτική που ακολουθείται σε περίπτωση καταστροφικών εξωτερικών πληγμάτων όπως σε περιπτώσεις ισχυρών ανεμοθύελλων, για λόγους ασφαλείας. Εάν θεωρηθεί ότι η αποκατάσταση μιας επηρεασμένης μέρους της υποδομής ξεκινά ενώ άλλο μέρος της υποδομής εξακολουθεί να εκτίθεται στο γεγονός, τότε μπορεί να παρατηρηθεί ένα μη επίπεδο πυθμένα στο τραπέζιο και θα πρέπει να οριστούν πολλές φορές, π.χ. πολλαπλά t_{ee} και t_r που αντιστοιχούν στους χρόνους που κάθε μέρος της υποδομής δεν εκτίθεται πλέον στο γεγονός και στο χρόνο που ξεκινά η αποκατάσταση αντίστοιχα. Αυτό θα απαιτούνταν για τη διάκριση των φάσεων του τραpezίου ανθεκτικότητας.

Τα κύρια χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας με βάση τον ευρύτερο ορισμό της ανθεκτικότητας των ηλεκτρικών συστημάτων που ένα ανθεκτικό ηλεκτρικό σύστημα θα πρέπει να διαθέτει τα ακόλουθα κύρια χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας:

- **Κατάσταση προ διαταραχής:** Μια επαρκής εκτίμηση της τοποθεσίας αλλά και της σοβαρότητας του γεγονότος θα επιτρέπει την εφαρμογή προληπτικών μέτρων αλλά και τη διαμόρφωση του δικτύου σε μια κατάσταση που θα βοηθήσει τον φορέα του συστήματος να αντιμετωπίσει αποτελεσματικά το προσεχές γεγονός. Επίσης θα επιτρέπει επίσης την προκατασκευή των πόρων που ενδέχεται να απαιτηθούν μετά το γεγονός, όπως ομάδες επισκευής και ανάκαμψης, κινητές γεννήτριες κ.λπ. Συνεπώς, η προληπτική λειτουργική ευελιξία είναι κρίσιμη.
- **Φάση I, Πρόδος Διαταραχής:** «Η υψηλή ανθεκτικότητα/αντοχή και ανταλλακτικότητα θα βοηθήσουν στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας έναντι των αρχικών επιπτώσεων του εξωτερικού πλήγματος και στη μείωση του επιπέδου μείωσης της ανθεκτικότητας (δηλαδή R_0-R_{pd}). Επιπλέον, η πύρωση (υποστηριζόμενη από έξυπνα δίκτυα) και η προθυμία προς δράση θα μπορούσαν να μειώσουν τον αντίκτυπο του εξωτερικού πλήγματος στο ηλεκτρικό σύστημα».
- **Φάση II, Μετά τη Διαταραχή:** «Στη μετά-γεγονός κατάσταση χαμηλής ανθεκτικότητας (Φάση II, $t \in [t_{ee}, t_r]$), η κατάλληλη και αποτελεσματική συντονισμένη δράση και προετοιμασία θα επιτρέπουν τη γρήγορη έναρξη της φάσης αποκατάστασης (Φάση III, $t \in [t_r, T]$), όπου T είναι ο χρόνος που το δίκτυο ανακάμπτει πλήρως από το επίπεδο ανθεκτικότητας μετά τη διαταραχή R_{pd} στο επίπεδο ανθεκτικότητας προ διαταραχής R_0 ή σε ένα επιθυμητό επίπεδο ανθεκτικότητας που μπορεί να είναι διαφορετικό από το R_0) και την εφαρμογή των αποκαταστατικών μέτρων». Όταν το σύστημα ανακάμπτει από τη μετά-γεγονός κατάσταση χαμηλής ανθεκτικότητας, πρέπει να αξιολογηθούν και να αναλυθούν εκτενέστατα οι επιπτώσεις του εξωτερικού πλήγματος τόσο στην ανθεκτικότητα του συστήματος αλλά και στην απόδοση του κατά τη διάρκεια του γεγονότος, ώστε να ληφθούν προσαρμοστικά μέτρα για την αύξηση της ανθεκτικότητας της υποδομής κατά τη διάρκεια μελλοντικών παρόμοιων ή απρόβλεπτων γεγονότων. Το τραπέζιο ανθεκτικότητας βασίζεται γενικά στην υπόθεση ότι ολόκληρη η υποδομή εκτίθεται στο γεγονός κατά τη

Φάση I και ότι δεν πραγματοποιείται αποκατάσταση των κατεστραμμένων συστατικών κατά τη διάρκεια του γεγονότος. Αυτή είναι η συνηθέστερη πρακτική που ακολουθείται σε περίπτωση καταστροφικών εξωτερικών πληγμάτων, όπως σε διάφορες περιπτώσεις ισχυρών ανεμοθυελλών, για λόγους ασφαλείας.

Εάν θεωρηθεί ότι η αποκατάσταση ενός επηρεασμένου μέρους της υποδομής είναι έτοιμη να ξεκινήσει ενώ άλλο μέρος της υποδομής εξακολουθεί να εκτίθεται στο γεγονός, τότε μπορεί να γίνει η εξής παρατήρηση ότι ένας μη επίπεδος πυθμένας του τραπεζίου και θα πρέπει να καθοριστούν πολλαπλά t_{ee} και t_r που αντιστοιχούν στους χρόνους που κάθε μέρος της υποδομής δεν εκτίθεται πλέον στο γεγονός και στον χρόνο που ξεκινά η αποκατάσταση αντίστοιχα. Αυτό θα ήταν απαραίτητο για να διακρίνονται οι φάσεις του τραπεζίου ανθεκτικότητας.

Τεχνολογίες, όπως είναι οι προηγμένοι μηχανισμοί παρακολούθησης και κατανεμημένα συστήματα ενέργειας) είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς παρέχει την απόλυτα αναγκαία ευελιξία για τη διόρθωση της λειτουργίας και τη μείωση του ρυθμού/ταχύτητας της μείωσης της ανθεκτικότητας. Επίσης, τόσο τα προηγμένα συστήματα πληροφοριών θα βοηθήσουν στην ανάπτυξη υψηλής επίγνωσης της κατάστασης όσο και δίνοντας την δυνατότητα να επιτρέπει στους χειριστές του συστήματος να παραμένουν ενημερωμένοι για τις εξελίξεις.

- **Φάση II, Κατάσταση Μετά τη Διαταραχή:** «Η αξιολόγηση καταστροφής και καθορισμός προτεραιοτήτων και ο κατάλληλος έτοιμος εκτάκτου ανάγκης συντονισμός θα βοηθήσουν τον χειριστή του συστήματος να αξιολογήσει τη ζημία από το γεγονός, να αναγνωρίσει τα κρίσιμα στοιχεία για την αποκατάσταση του συστήματος σε μια ανθεκτική κατάσταση και να ξεκινήσει όσο το δυνατόν γρηγορότερα τις διαδικασίες για την αποκατάσταση της κατεστραμμένης υποδομής. Αυτό μειώνει τη διάρκεια της Φάσης II, δηλαδή την περίοδο $t_{ee}-t_r$ ».

- **Φάση III, Κατάσταση Αποκατάστασης:** «Μετά τις ενέργειες της Φάσης II, ένα ανθεκτικό σύστημα πρέπει να επιδείξει υψηλές ικανότητες αποκατάστασης προκειμένου να αποκαταστήσει πρώτα τους αποσυνδεδεμένους πελάτες (δηλαδή την λειτουργική ανθεκτικότητα) και στη συνέχεια να αποκαταστήσει την καταρρευσμένη υποδομή (δηλαδή την ανθεκτικότητα της υποδομής). Πολλές ενέργειες πρέπει να ληφθούν σε αυτήν τη φάση, όπως η επανενεργοποίηση γραμμών μεταφοράς και διανομής, η αποκατάσταση των κατεστραμμένων στοιχείων, η επανεκκίνηση μονάδων, ο ανασυγχρονισμός περιοχών, η αποκατάσταση φορτίου κ.λπ. Ο στόχος αυτών των ενεργειών πρέπει να είναι η μείωση της διάρκειας της Φάσης III, δηλαδή της περιόδου T-tr ».
- **Κατάσταση μετά την αποκατάσταση:** Μετά το γεγονός και την αποκατάσταση της υποδομής σε μια ανθεκτική κατάσταση, πρέπει να αναλυθούν και να αξιολογηθούν τόσο εκτενώς οι επιπτώσεις του γεγονότος όσο και η απόδοση του δικτύου. Ωστόσο προκειμένου να μπορούν να αναγνωριστούν αδυναμίες ή περιορισμοί του δικτύου που μπορούν να βελτιωθούν για να είναι πολύ περισσότερο προετοιμασμένο για μελλοντικά (παρόμοια ή απρόβλεπτα) γεγονότα.

Επομένως, η προσαρμογή και η αντανάκλαση στις εμπειρίες που αποκτήθηκαν από τα διάφορα γεγονότα και απειλές είναι κρίσιμο χαρακτηριστικό μιας ανθεκτικής υποδομής. Αν για παράδειγμα ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας διαθέτει τα κύρια χαρακτηριστικά ανθεκτικότητας που αναφέρθηκαν σε όλες τις διάφορες φάσεις ενός γεγονότος, τότε θα πρέπει να είναι ικανό να προβλέπει αποτελεσματικά όλες τις επιπτώσεις του επερχόμενου γεγονότος, να αποκατασταθεί γρήγορα από τη μειωμένη σε μια ανθεκτική κατάσταση αλλά και να προσαρμόσει τη λειτουργία και τη δομή του για να μειώσει τις επιπτώσεις μελλοντικών γεγονότων.

Ποσοτικά μετρικά ανθεκτικότητας: Έχουν αναπτυχθεί πολλές μελέτες για την ποσοτική αξιολόγηση της ανθεκτικότητας των ηλεκτρικών συστημάτων ειδικά έναντι φυσικών κινδύνων και ακραίων καιρικών συνθηκών. Τα ποσοτικά

μετρικά ανθεκτικότητας θα πρέπει ιδανικά να είναι εξαρτώμενα από τον χρόνο, προκειμένου να καταγράψουν την απόδοση του δικτύου κατά τις διάφορες φάσεις που συνδέονται με ένα γεγονός. Εντός αυτού του πλαισίου, προτείνεται το σύστημα μετρικών ανθεκτικότητας.

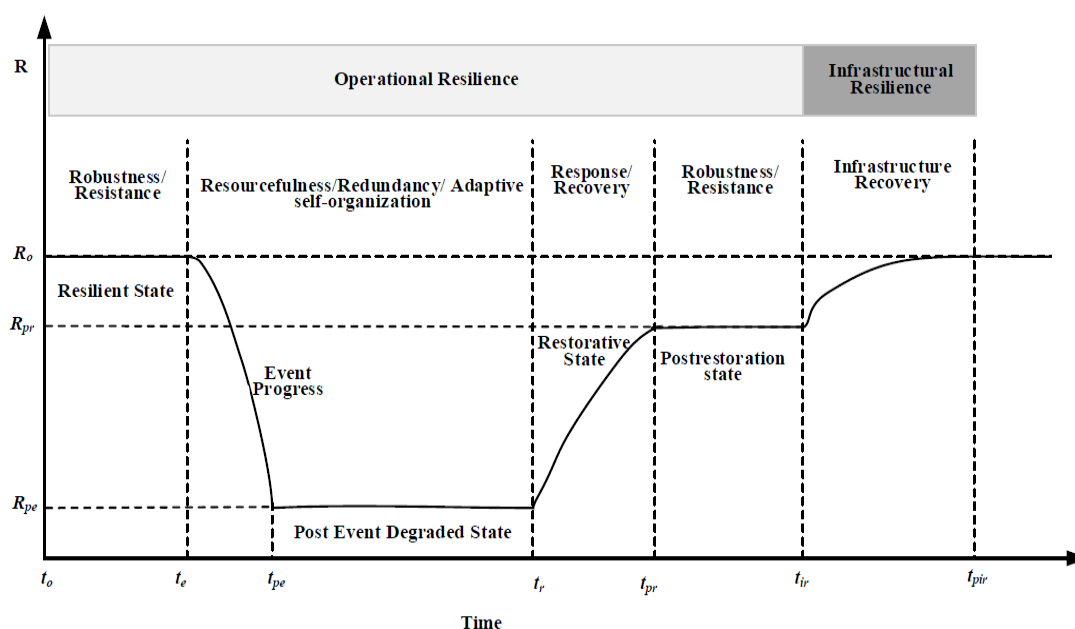
Συγκεκριμένα, αυτά τα μετρικά αναφέρονται στο πόσο γρήγορα (Φ) και πόσο χαμηλά (Λ) μειώνεται η ανθεκτικότητα στη Φάση I, πόσο εκτεταμένη (E) είναι η κατάσταση μετά το γεγονός (Φάση II) και πόσο γρήγορα (Π) αποκαθίσταται το δίκτυο στην προγεγραμμένη ανθεκτική του κατάσταση (Φάση III).

Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι το επίπεδο ανθεκτικότητας μετά το γεγονός μπορεί επίσης να καθοριστεί ένα μετρικό, το οποίο μπορεί να διαφέρει από το επίπεδο πριν το γεγονός. Για απλότητα κυρίως, εδώ δεν αναφερόμαστε ρητά σε αυτήν την πτυχή η οποία μπορεί να είναι ειδική για το σύστημα και το γεγονός. Ωστόσο, το προτεινόμενο πλαίσιο έχει τη δυνατότητα να αντιμετωπίσει αυτήν την πτυχή. Αυτά τα μετρικά μπορούν να ποσοτικοποιηθούν εύκολα χρησιμοποιώντας τα διάφορα επίπεδα ανθεκτικότητας και διακριτούς χρόνους του τραπεζοειδούς ανθεκτικότητας. Το μετρικό Φ στη Φάση I δίνεται από την κλίση της υποβάθμισης ανθεκτικότητας R_0-R_{pd} κατά τη διάρκεια του γεγονότος ($t \in [t_{oe}, t_{ee}]$), ενώ το μετρικό Λ ορίζεται από το επίπεδο υποβάθμισης ανθεκτικότητας στο τέλος του γεγονότος στο t_{ee} , δηλαδή R_0-R_{pd} . Το μετρικό E , που δείχνει τον χρόνο που το δίκτυο παραμένει στη μετά-διαταραγμένη υποβαθμισμένη κατάσταση (Φάση II), δίνεται από το t_r-t_{ee} . Το μετρικό Π στη Φάση III ορίζεται από την κλίση της καμπύλης ανάκαμψης της ανθεκτικότητας, η οποία λαμβάνει υπόψη τη βελτίωση της ανθεκτικότητας κατά τη διάρκεια αυτής της φάσης και τον χρόνο που απαιτείται για να επιτευχθεί αυτή. Με βάση αυτές τις τέσσερις μετρικές, μπορεί να οριστεί ένα επιπλέον μετρικό, δηλαδή η περιοχή του τραπεζοειδούς, το οποίο παρέχει ένα σύνολο πέντε μετρικών ανθεκτικότητας. Λαμβάνοντας υπόψη την εκτεταμένη γραμμικότητα για τις διάφορες φάσεις του τραπεζοειδούς, μπορεί να εκτιμηθεί η περιοχή δύο ορθογωνίων τριγώνων (Φάση I και III) και ενός ορθογωνίου (Φάση II).

- Όταν αναφερόμαστε στην ανθεκτικότητα των ενεργοποιημένων συστημάτων, είναι κρίσιμο να διακρίνουμε την λειτουργική και την υποδομής ανθεκτικότητα. Η λειτουργική ανθεκτικότητα, όπως υποδηλώνει το όνομά της, αναφέρεται στα χαρακτηριστικά που θα βοηθήσουν ένα σύστημα ισχύος να διατηρήσει τη λειτουργική δύναμη και την ανθεκτικότητα αντιμετωπίζοντας μια καταστροφή, για παράδειγμα να διατηρήσει όλους τους πελάτες συνδεδεμένους. Η υποδομής ανθεκτικότητα αναφέρεται στη φυσική ανθεκτικότητα ενός συστήματος ισχύος για την ελαχιστοποίηση του μέρους του συστήματος που έχει υποστεί ζημιά, κατάρρευση ή γενικά έχει γίνει ανενεργό.
- Για να ποσοτικοποιηθούν οι μετρικές της λειτουργικής και υποδομής ανθεκτικότητας, πρέπει να χρησιμοποιηθούν διάφοροι δείκτες. Στην εφαρμογή της μελέτης περίπτωσης που παρουσιάζεται αργότερα, όπου το επίκεντρο είναι η ποσοτικοποίηση της επίδρασης των θυελλωδών ανέμων στα δίκτυα μεταφοράς, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω δείκτες:
 - η ποσότητα της ισχύος παραγωγής (MW) και η ζήτηση φορτίου (MW) που είναι συνδεδεμένα και διαθέσιμα για παραγωγή ενέργειας και κατανάλωση αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια του γεγονότος χρησιμοποιούνται ως δείκτες για τη λειτουργική ανθεκτικότητα,
 - η κρίσιμη θερμοκρασία ισχύος, όπως αυτή που μπορεί να υπολογιστεί από το άλμα ισχύος, καθώς και η θερμοκρασία λήξης του γεγονότος, χρησιμοποιούνται ως δείκτες για την υποδομή ανθεκτικότητα.
 - Οι παραπάνω δείκτες μπορούν να αξιολογηθούν και να συγκριθούν για να προσδιοριστεί η απόδοση του συστήματος κατά τη διάρκεια του γεγονότος και την ικανότητα αντιμετώπισης καταστροφών.

4.2 Υπολογισμός των πιθανοτήτων βλάβης

Η ανθεκτικότητα ενός ΣΗΕ επεξηγείται παραστατικά από την καμπύλη της ανθεκτικότητας το οποίο επιτυγχάνεται με την αποτύπωση των επιπέδων της ανθεκτικότητας κατά ολόκληρη την διάρκεια που πραγματοποιείται το γεγονός, το οποίο παράγει διαταραχή. Σε κάθε περίπτωση όπου το σύστημα βρίσκεται παρουσιάζονται τα άκρως απαραίτητα χαρακτηριστικά του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό συμβαίνει ώστε σε εξελισσόμενες καταστάσεις ενός ακραίου φαινομένου να μπορέσει να ανταποκριθεί το σύστημα αποτελεσματικά και άμεσα. Παρακάτω παρουσιάζεται παραστατικά η καμπύλη της ανθεκτικότητας ενός ΣΗΕ.



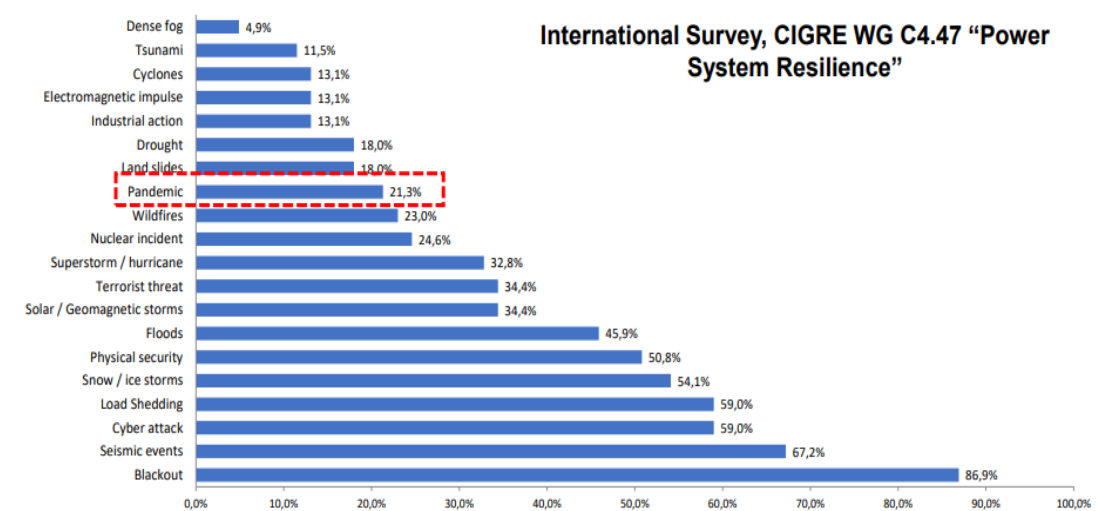
Σχήμα 7. Καμπύλη ανθεκτικότητας

Σύμφωνα με το γράφημα στην προηγούμενη εικόνα, το αρχικό επίπεδο ανθεκτικότητας στο δίκτυο τη στιγμή που έχει εξελιχθεί το συμβάν έχει την τιμή R_0 . Ενώ το γεγονός εξελίσσεται, η ανθεκτικότητα παίρνει την τιμή R_{pe} επειδή υπάρχει πίεση στο σύστημα. Το σύστημα θα πρέπει να προσαρμοστεί και να αντιμετωπίσει το σενάριο όπως αυτό εξελίσσεται κατά τη δεδομένη χρονική περίοδο. Επιπλέον, η διαδικασία αποκατάστασης δικτύου ξεκινά την ώρα t_r .

Κατά τη διάρκεια αυτής της ζωτικής σημασίας φάσης, θα πρέπει να ακολουθούνται οι απαραίτητες διαδικασίες όπου το σύστημα πρέπει να είναι προσχεδιασμένο ώστε να επανέλθει στο αρχικό του επίπεδο αντοχής όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Οι ακόλουθες τιμές t_{tr} έως t_{ir} απεικονίζουν τη χρονική περίοδο μετά την αρχική φάση ανάκτησης και κατά τη διάρκεια της οποίας το σύστημα μπορεί να σταθεροποιήσει το επίπεδο ανθεκτικότητάς του. Το επίπεδο θα μπορούσε να είναι χαμηλότερο ή θα μπορούσε να είναι με το επίπεδο R_0 πριν από την εμφάνιση του συμβάντος που προκάλεσε πολλές ζημιές στις υποδομές του δικτύου. Ωστόσο, το σύστημα παίρνει την τιμή ελαστικότητας R_0 , δηλαδή την τιμή που είχε στην αρχική του κατάσταση, τη στιγμή t_{pir} . Κατά τη χρονική περίοδο από t_{ir} έως t_{pir} , οι υποδομές αποκαθίστανται και επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση.

Ο χρόνος αποκατάστασης συνδέεται άμεσα με την ανθεκτικότητα των υποδομών. Όλες οι παρεμβάσεις που έχουν να κάνουν με το δίκτυο, στοχεύουν στην συνεχή μείωση του χρόνου που απαιτείται για να μπορέσει το σύστημα να επανέλθει στην περίπτωση εμφάνισης κάποιου ήπιου ή ακραίου γεγονότος – φαινομένου από την κατάσταση της μειωμένης ανθεκτικότητας. Για αυτό τον λόγο γίνεται και μια περιληπτική ανάλυση των μέτρων ενίσχυσης της ανθεκτικότητας.

HILP Events in Power Systems



Εικόνα 9. Διεθνής Επισκόπηση Ανθεκτικότητας

4.3 Μέτρα ενίσχυσης της Ανθεκτικότητας

Για την μελλοντική μείωση των επιπτώσεων που προκαλούνται από ακραία γεγονότα, τίθεται και ο στόχος προσαρμογής στο δίκτυο, που επιτυγχάνεται με την ενίσχυση της ανθεκτικότητας των ΣΗΕ. Ο σκοπός είναι το σύστημα να αντέξει σε όλη την διάρκεια εξέλιξης του γεγονότος. Η επίτευξη του παραπάνω στόχου, επιτυγχάνεται με τα «Μέτρα ενδυνάμωσης (hardening measures) και τα λειτουργικά «ευφυή» μέτρα (operational/smartmeasures)». [21],[22],[23]

Για να μπορέσει να επιτευχθεί η βελτίωση της ανθεκτικότητας του ΣΗΕ πρέπει να γίνει η υιοθέτηση μιας κατάλληλης στρατηγικής, η οποία θα λαμβάνει υπόψιν τα εξής:

- 1) Το κόστος επένδυσης,
- 2) Το κόστος της λειτουργίας
- 3) Το κόστος της συντήρησης των μέτρων και
- 4) Το βαθμό αποτελεσματικότητας αυτών

Τα μέτρα για την επιτάχυνση της ενίσχυσης έχουν ως κύριο στόχο τη σωστή βελτίωση των στοιχείων του δικτύου, η οποία μπορεί να επιτευχθεί με την υπογραφή των γραμμών, τη μεταφορά εγκαταστάσεων σε περιοχές όπου τα άκρα έχουν πολύ μικρότερες καταστροφικές συνέπειες, αλλά και με την ανύψωση υποσταθμών και την αναβάθμιση του δίκτυο με πολύ ισχυρότερα υλικά.

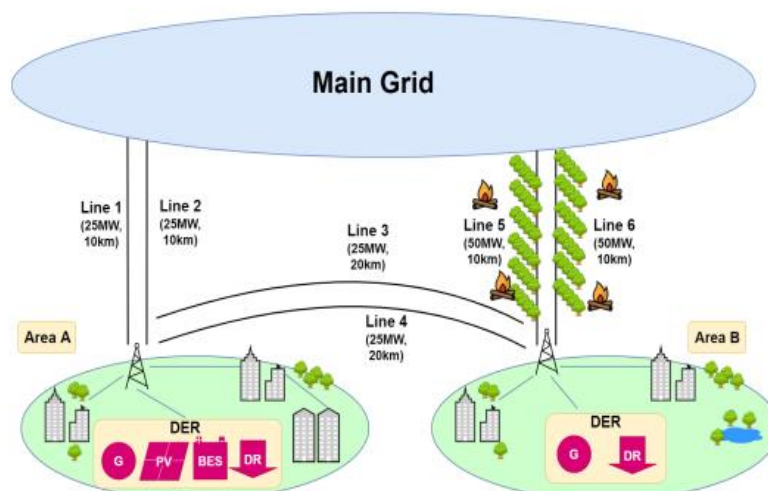
Όλες οι προσπάθειες ενίσχυσης επιδιώκουν να αποτρέψουν την καταστροφή επαρκώς σημαντικών τμημάτων του συγκεκριμένου δικτύου και να μετριάσουν τις φυσικές επιπτώσεις κάθε επιβλαβούς γεωγραφικής θέσης όσο είναι εφικτό. Ως εκ τούτου, πριν από την επιλογή και την εφαρμογή κατάλληλων μέτρων ενίσχυσης, απαιτείται μακροπρόθεσμη μελέτη και εκτίμηση του βαθμού επιρροής των επιβλαβών γεωγραφικών συνιστωσών στον ΠΣΗ. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η διενέργεια δικτυακών παρεμβάσεων έχει πολύ υψηλό κόστος και η στοχευμένη και σε συνδυασμό με συγκεκριμένο χρονοδιάγραμμα

ενίσχυσης του δικτύου, που παρέχει τη βάση για αποτελεσματικότερη χρήση του προϋπολογισμού, είναι η μακροπρόθεσμη οικονομική λύση για τους διαχειριστές δικτύων. Ως προς τα επιχειρησιακά μέτρα, γίνεται μια ανάλυση παρακάτω.

Τα λειτουργικά μέτρα του συστήματος έχουν σχεδιαστεί για τη βελτίωση της λειτουργικής ανθεκτικότητας του συστήματος. Αυτό επιτυγχάνεται με τα ακόλουθα μέτρα: «Διαχείριση ζήτησης, συστήματα κατανεμημένης παραγωγής και αποθήκευσης, προγραμματισμός μονάδων παραγωγής, προηγμένη και ακριβής πρόβλεψη φαινομένων, διαμόρφωση μικροδικτύου, ελεγχόμενη νησίδα, αναδιαμόρφωση τοπολογίας δικτύου και τέλος αποκεντρωμένος/κατανεμημένος έλεγχος».

Τα ανωτέρω λειτουργικά μέτρα οδηγούν στο εξής αποτέλεσμα, ότι έχουμε την αποδοτική αντιμετώπιση των ακραίων φαινομένων κατά την διάρκεια τους λόγω της προληπτικής και της διορθωτικής ευελιξίας που παρέχουν. Ωστόσο για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας, σημαντικό ρόλο έχουν τα δίκτυα, τα οποία έχουν μεγάλη διείδυση στη διεσπαρμένη παραγωγή αλλά και στη διαχείριση της ζήτησης.

Resilience from Distributed Generation: Case of Wildfires



R. Moreno, D. N. Trakas, M. Jamieson, M. Panteli, P. Mancarella, G. Strbac, C. Marnay, and N. Hatzigiorgiou, "Microgrids against Wildfires: Distributed Energy Resources Enhancing System Resilience", IEEE Power and Energy Magazine, 2022 January/February issue

Εικόνα 10. Ανθεκτικότητα από την κατανεμημένη παραγωγή: περίπτωση πυρκαγιών

Με αυτό τον τρόπο το σύστημα ξεκινά να εντάσσεται στα ανθεκτικότερα και λιγότερα ευάλωτα συστήματα καθιερώνοντας και αξιοποιώντας όλες τις τοπικές μονάδες παραγωγής και αποθήκευσης που δύναται να είναι διαθέσιμες. Γεγονός που συμβαίνει διότι η παραγωγή που παράγεται και καταναλώνεται είναι σε τοπικό επίπεδο και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αποφεύγεται η χρήση μεγάλων γραμμών μεταφοράς. Όπου ακόμη και οι γραμμές μεταφοράς είναι πιο ευάλωτες και υπάρχει η πιθανότητα βλάβης σε ακραία φαινόμενα.

Τα επιχειρησιακά μέτρα είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με τις θεραπείες γιατί είναι ικανά να αντιμετωπίσουν μακροχρόνιες διακοπές, κυρίως, που προκαλούνται από την παρουσία πολυάριθμων σωματικών ζημιών που ακολουθούν κάθε φυσική καταστροφή. Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε πλήρως ότι ο χρόνος αποκατάστασης ισχύος μπορεί να μειωθεί σημαντικά μέσω αποτελεσματικής και ικανής οργάνωσης καθώς και αποτελεσματικής διαχείρισης των συνεργείων επισκευής.

Στη σημερινή εποχή, με την ανεξέλεγκτη ανάπτυξη της πληροφορίας και την εκμετάλλευση των παρακάτω συστημάτων, «Συστήματα ψηφιοποίησης-οπτικοποίησης και ο συνδυασμός τους με εφαρμογές χωρικών δεδομένων, τα γνωστά συστήματα GIS (Geographic Information Systems), δίνουν τη δυνατότητα εξαγωγής σημαντικών πληροφοριών για την κατάσταση του ΣΗΕ» όχι μόνο στην έναρξη του φαινομένου, αλλά και σε όλη τη διάρκειά του. Γεγονός που δίνει τη δυνατότητα σωστής εκτίμησης και ιεράρχησης των ζημιών, επιτρέποντας την αποκατάσταση της ζημιάς, δηλαδή της παροχής ενέργειας, στο χαμηλότερο δυνατό διάστημα.[24]

Τα ΣΗΕ αποτελούν στην σημερινή εποχή ένα από τα πιο αναπόσπαστα θεμέλια της σύγχρονης κοινωνίας καθώς υποστηρίζουν πολλές άλλες κρίσιμες υποδομές, όπως για παράδειγμα είναι οι μεταφορές, οι επικοινωνίες, η ύδρευση, κλπ. Στην πιθανότητα όπου υπάρξει η περίπτωση μιας διακοπής στη συνεχή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος αυτό θα επιφέρει πολλές και καταστροφικές συνέπειες. Όπως έχουν όλοι σίγουρα βιώσει κάποια στιγμή κατά τη διάρκεια πολλών διακοπών ρεύματος τις τελευταίες δεκαετίες. Βέβαια κρίνεται αναγκαία και η εξασφάλιση μιας αδιάκοπης παροχής ηλεκτρικού ρεύματος καθώς τα συστήματα ενέργειας εκτίθενται σε πάρα πολλές απειλές καθημερινά. [25],[26]

Για αυτές τις περιπτώσεις γίνεται ο διαχωρισμός ανάμεσα σε τυπικές διακοπές του ηλεκτρικού συστήματος αλλά και σε ακραία γεγονότα τα οποία οφείλονται κατά κύριο λόγο στις φυσικές καταστροφές-κακοκαιρίες. Όπως φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα γίνονται ξεκάθαρες οι διαφορές μεταξύ των δύο προαναφερθεισών κατηγοριών. Επομένως, τα ηλεκτρικά συστήματα έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να διαθέτουν υψηλά επίπεδα αξιοπιστίας απέναντι στις πιο τυπικές απειλές.[27]

Πίνακας 7: Η ικανότητα περιορισμού της έκτασης, της σοβαρότητας και της διάρκειας της υποβάθμισης του συστήματος μετά από ένα ακραίο συμβάν.

Πρόβλεψη	Προετοιμασία	Απορρόφηση	Προσαρμογή	Ταχεία ανάκαμψη	Διατήρηση της κρίσιμης λειτουργίας του συστήματος
η διαδικασία με την οποία η νέο-ενσωματωμένη γνώση που αποκτήθηκε χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη πιθανών κρίσεων και καταστροφών	τη διαδικασία μέσω της οποίας οι διαχειριστές του δικτύου καθορίζουν ένα σύνολο ενεργειών που πρέπει να αναπτυχθούν σε περίπτωση εμφάνισης της κρίσιμης κατάστασης λειτουργίας	η διαδικασία μέσω της οποίας αναπτύσσεται ένα σύνολο μέτρων για τον περιορισμό της έκτασης, της σοβαρότητας και της κλίσης της υποβάθμισης των επιδόσεων του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας	η διαδικασία μέσω της οποίας πραγματοποιούνται αλλαγές στις διαδικασίες διαχείρισης του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, με βάση τις διαταραχές του παρελθόντος, προκειμένου να προσαρμοστεί το σύστημα σε ανεπιθύμητη κατάσταση	η διαδικασία μέσω της οποίας αποκαθίσταται η παροχή ενέργειας στους πελάτες και αποκαθίστανται οι ζημιές στην υποδομή του δικτύου	η διαδικασία μέσω της οποίας αναπτύσσονται τα μέτρα που επιτρέπουν σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας με βλάβη να παρέχει ένα ελάχιστο επίπεδο φορτίου συστήματος ώστε να διατηρείται μια μειωμένη αλλά αποδεκτή λειτουργία της καθημερινής ζωής

Τα πιο πρόσφατα συμβάντα πλέον δημιουργούν τα απολύτως απαραίτητα επιχειρήματα ώστε να γίνει σωστά η ανάπτυξη της ανθεκτικότητας υψηλού επιπέδου στα ηλεκτρικά συστήματα για να μπορέσει να μειωθεί και η συχνότητα αλλά και η σοβαρότητα των διακοπών του ρεύματος. Μια καλά θεσμοθετημένη έννοια είναι η αξιοπιστία των ηλεκτρικών συστημάτων για την οποία έχουν αναπτυχθεί αρκετές μελέτες προσανατολισμένες στην αξιοπιστία

των ηλεκτρικών συστημάτων τόσο από μηχανικούς όσο και από ερευνητές. Από την άλλη πλευρά υπάρχει μια πολύ μικρή σαφήνεια όσον αφορά την έννοια της ανθεκτικότητας.

4.4 Υπογειοποίηση των γραμμών ηλεκτρικού δικτύου

Τα Υπόγεια Καλωδιακά Συστήματα Ενέργειας συνιστώνται κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και της υλοποίησης σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, των εξόδων ηλεκτρικής ενέργειας από σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας και των διασυνδέσεων σε σταθμούς παραγωγής ενέργειας. Ωστόσο, η εγκατάσταση υπόγειων καλωδίων ρεύματος εξακολουθεί να είναι περιορισμένη λόγω του υψηλού κόστους επένδυσης και συντήρησης καθώς και των δαπανηρών επισκευών σε περίπτωση διακοπής λειτουργίας.[28]

Τα υπόγεια καλωδιακά συστήματα ενέργειας χρειάζονται από 48 έως 480 ώρες για να επισκευαστούν κατά τη διάρκεια της διακοπής, δηλαδή 6–10 φορές περισσότερο από αυτό των εναέριων γραμμών μεταφοράς. Επιπλέον, τα καλώδια ρεύματος που χρησιμοποιούνται υπόγεια εξακολουθούν να έχουν υψηλότερες τιμές από τα γενικά έξοδα, λόγω της μεγαλύτερης πολυπλοκότητας στην παραγωγή.[29]

Ο κρίσιμος παράγοντας που περιορίζει την εμβέλεια της γραμμής ισχύος είναι η διατομή του αγωγού του καλωδίου ισχύος. Η εμβέλεια του αγωγού ορίζεται ως το μέγιστο ηλεκτρικό ρεύμα που μπορεί να μεταφερθεί με ασφάλεια από το καλώδιο χωρίς να υπερβαίνει τους περιορισμούς θερμοκρασίας μόνωσής του. Επομένως, όσο μεγαλύτερη είναι η περιοχή διατομής του αγωγού καλωδίου, τόσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα που μπορεί να μεταφερθεί με ασφάλεια υπό τις δεδομένες συνθήκες.

Η ισχύς του αγωγού καλωδίου εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία του πυρήνα του καλωδίου. Επομένως, όσο υψηλότερο είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που μεταδίδεται μέσω του αγωγού του καλωδίου, τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα θερμότητας που παράγεται με τη μορφή θερμότητας Joule μέσα στον πυρήνα του καλωδίου.[28]

Η παραγόμενη θερμότητα μπορεί να προκαλέσει αύξηση της θερμοκρασίας του πυρήνα του καλωδίου υπό δυσμενείς συνθήκες απαγωγής θερμότητας. Η υπερβολική θερμοκρασία του πυρήνα του καλωδίου, η οποία παραμένει για μεγάλο χρονικό διάστημα, μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την τήξη της μόνωσης πολυαιθυλενίου, η οποία, με τη σειρά της, προκαλεί δυσλειτουργία της γραμμής μεταφοράς. Δεδομένου ότι η περίοδος διακοπής μπορεί να διαρκέσει ακόμη και 480 ώρες και κάθε ώρα συνεπάγεται τεράστιες οικονομικές απώλειες που σχετίζονται με τη διακοπή της μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, το ποσοστό αστοχίας της υπόγειας γραμμής μεταφοράς Υψηλής Τάσης πρέπει να μειωθεί στο ελάχιστο .[30]

Για να ξεπεραστεί το πρόβλημα της υπερθέρμανσης των καλωδίων, χρησιμοποιούνται οι επιχώσεις καλωδίων, με υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα από το μητρικό έδαφος. Λόγω του χαμηλού κόστους, περίπου 40 ευρώ ανά κυβικό μέτρο, το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο θερμικό επίχωμα είναι ένα μείγμα άμμου-τσιμέντου με αναλογία 1–10 ή 1 προς 12. Ωστόσο, λόγω της σχετικά χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας , που φτάνει τα 0,8 W/(mK)) στο ξηρή κατάσταση, αυτό το διάλυμα δεν συνιστάται σε περιπτώσεις που χρειάζονται υψηλά ρεύματα μεταφοράς.

Η άλλη εναλλακτική θα μπορούσε να είναι η ρευστοποιημένη θερμική επίχωση με υψηλότερη θερμική αγωγιμότητα , έως 1,54 W/(mK) σε ξηρή κατάσταση και υψηλότερο κόστος, περίπου 125 ευρώ το κυβικό μέτρο.

Στα ανεπτυγμένα αριθμητικά μοντέλα μεταφοράς θερμότητας στα συστήματα καλωδιακών γραμμών, πολύ σημαντικές είναι οι παράμετροι του εδάφους και της επίχωσης του καλωδίου, στα οποία βρίσκονται τα καλώδια ρεύματος. Έτσι, πραγματοποιείται εκτενής έρευνα προκειμένου να προσδιοριστούν οι θερμικές ιδιότητες του εδάφους και της επίχωσης στην περιοχή της καλωδιακής γραμμής.

Έρευνες επιβεβαιώνουν ότι η θερμότητα που παράγεται στα καλώδια ρεύματος επηρεάζει σημαντικά την περιεκτικότητα σε νερό του εδάφους , η

οποία με τη σειρά της έχει σημαντικό αντίκτυπο στη θερμική αγωγιμότητα του εδάφους. Έχοντας επίγνωση αυτών των αλληλεξαρτήσεων, οι συγγραφείς μελέτησαν την επίδραση της αγωγιμότητας του εδάφους και της θερμικής επίχωσης στην κατανομή της θερμοκρασίας στο Υπόγειων Καλωδιακών Συστημάτων Ενέργειας στα χαρτιά.[31],[32]

4.5 Έργα υπογειοποίησης

Τα τελευταία χρόνια, το ισπανικό δίκτυο έχει αναπτυχθεί γρήγορα. Η εταιρεία RedElectrica de Espana (REE) έχει τώρα κατασκευάσει περίπου 1.800 km γραμμών τάσης 400 kV. Αν και η χρήση καλωδίων ως εναλλακτική δεν ήταν πολύ απαραίτητη στην Πορτογαλία, σύμφωνα με τη νομοθεσία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, όλες οι νέες γραμμές υψηλής τάσης μήκους 15 km πρέπει να υποβληθούν σε Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ). Η κατασκευή πρόσθετων εναέριων γραμμών αντιμετωπίζει σοβαρές αντιδράσεις στην Ισπανία και ο τοπικός πληθυσμός της Tarifa, σύμφωνα με την REE, είναι επίσης αντίθετος στην υπόγεια καλωδιακή σύνδεση με το Μαρόκο. Η Ισπανία ξοδεύει πολλά για την έρευνα υπεραγωγιμότητας και παρακολουθεί ενεργά τις βελτιώσεις στην τεχνολογία GIL, η οποία θεωρήθηκε ως επιλογή για το έργο της υπόγειας γραμμής 400 kV στο αεροδρόμιο της Μαδρίτης.[33]

Η Statnett στη Νορβηγία δεν έχει ξοδέψει σημαντικούς πόρους για τη δημιουργία νέων υπόγειων γραμμών (καλωδίων) τα τελευταία 10 χρόνια, με εξαίρεση ένα υποθαλάσσιο καλώδιο μεταξύ Νορβηγίας και Δανίας (Skagerrak). Μεταξύ των σχεδιαζόμενων επενδύσεων στη Νορβηγία είναι η κατασκευή μιας γραμμής υψηλής τάσης 300 kV μήκους 130 km μεταξύ των περιοχών Klaebu και Sunndalsra. Η Statnett σκοπεύει επίσης να δημιουργήσει νέες καλωδιακές συνδέσεις με την Ολλανδία (NorNed) και το Ηνωμένο Βασίλειο (North Sea Link).

Το μακροπρόθεσμο σχέδιο της Νορβηγίας είναι να ενισχύσει τη μετάδοση του δικτύου στο Βέλγιο. Συνολικά, η Νορβηγία τάσσεται υπέρ της

κατασκευής νέων γραμμών υψηλής τάσης 420 kV καθώς και της αναβάθμισης των υφιστάμενων γραμμών 300 kV σε 420 kV, συμπεριλαμβανομένης της ενίσχυσης πυλώνων. Δεν υπάρχει ακριβές σχέδιο, ούτε υπάρχει έντονη επιθυμία να χρησιμοποιηθούν υπόγεια καλώδια, σύμφωνα με την έκθεση του ICF, αυτή είναι η κατάσταση με βάση το έτος 2003.[33]

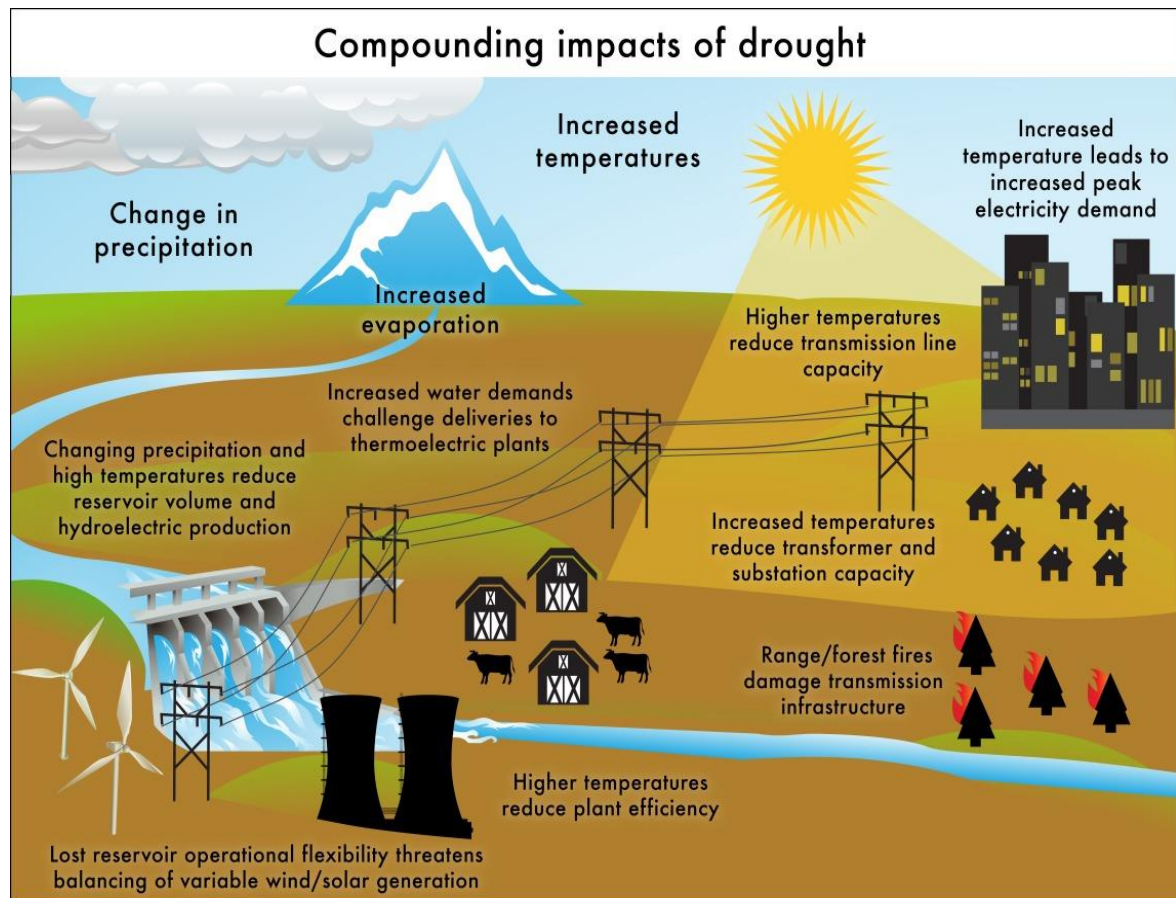
Συνολικά, το ισπανικό δίκτυο έχει διευρυνθεί με γοργούς ρυθμούς, με την REE να κατέχει περίπου 1.800χλμ. γραμμών 400kV. Παρόμοια, η Νορβηγία έχει πραγματοποιήσει επενδύσεις στο δίκτυο της, αν και η έμφαση δεν έχει τοποθετηθεί σε μεγάλη κλίμακα στην ανάπτυξη νέων υπόγειων γραμμών, εκτός από το υποθαλάσσιο καλώδιο που συνδέει τη Νορβηγία με τη Δανία. Παράλληλα, υπάρχουν προγραμματισμένες επενδύσεις στην ενίσχυση του εσωτερικού δικτύου της Νορβηγίας με την τοποθέτηση μιας γραμμής 300kV μεταξύ των περιοχών Klæbu και Sunndalsøra. Επιπλέον, σχεδιάζονται νέες καλωδιακές συνδέσεις με την Ολλανδία (NorNed) και το Ηνωμένο Βασίλειο (North Sea Link).

Στην Ελλάδα, πραγματοποιούνται πολλαπλά συνεχιζόμενα έργα για την κατασκευή υπόγειων γραμμών. Όσον αφορά τη μεταφορά, όπως αναφέρεται στο Δεκαετές Αναπτυξιακό Πρόγραμμα του ΑΔΜΗΕ για την περίοδο 2019-2028, οι αναπτυξιακές πρωτοβουλίες περιλαμβάνουν διάφορα εγχειρήματα, όπως η ταφή γραμμών μεταφοράς και η δημιουργία συνδέσεων μεταξύ των Κυκλάδων, της Κρήτης και του Ηπειρωτικού Συστήματος.

Όσον αφορά το δίκτυο διανομής, το Σχέδιο Ανάπτυξης Δικτύου του ΔΕΔΔΗΕ για την περίοδο 2021-2025 (Απρίλιος 2021) περιλαμβάνει μια ξεχωριστή κατηγορία συνεχιζόμενων έργων που σχετίζονται με την ενίσχυση της αισθητικής μέσω της υπογειοποίησης των γραμμών. Το "Εθνικό σχέδιο ανάκαμψης και ανθεκτικότητας", το οποίο περιγράφει τη στρατηγική της κυβέρνησης για τη χρήση των πόρων του Ταμείου Ανάκαμψης, αναφέρει επίσης τα εξής "Ενίσχυση της ανθεκτικότητας των αστικών περιοχών έναντι ακραίων καιρικών φαινομένων με υπογειοποίηση και αναβάθμιση του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας.

Προτεραιότητα στην υπογειοποίηση και επαναδρομολόγηση του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας σε πολιτιστικά ή τουριστικά σημαντικούς οικισμούς και αστικά κέντρα, ιδίως σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε καιρικά φαινόμενα όπως οι έντονες χιονοπτώσεις. Στόχος είναι η βελτίωση της ανθεκτικότητας του δικτύου, η βελτίωση της ποιότητας ζωής και η προώθηση της τουριστικής ανάπτυξης".

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο: Τρωτά σημεία της διανομής μεταφοράς δικτύου



Σχήμα 8. Η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μπορεί να γίνει πιο ευάλωτη σε διαταραχές λόγω διαφόρων ακραίων φαινομένων ζέστης και ξηρασίας που προκαλούνται από το κλίμα.

5.1 Υψηλές θερμοκρασίες

Οι μετασχηματιστές και οι γραμμές ρεύματος είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στην υψηλή θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος. Οι παρατεταμένες ακραίες θερμοκρασίες μπορεί να οδηγήσουν σε μειωμένη απόδοση, μικρότερη διάρκεια ζωής και ξαφνικές βλάβες αυτών των εξαρτημάτων. Η σχέση μεταξύ της απόδοσης και της μέγιστης χωρητικότητας των μετασχηματιστών ισχύος ως απόκριση στη θερμοκρασία περιβάλλοντος απεικονίζεται συνήθως ως γραμμική συσχέτιση με ποικίλες κλίσεις. Γενικά, η μέση ισχύς εξόδου μειώνεται κατά 0,7%

έως 1% για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά 1°C πάνω από μια θερμοκρασία αναφοράς 20°C.

Επιπλέον, οι υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος μπορούν να υποβαθμίσουν σημαντικά τη διάρκεια ζωής ενός μετασχηματιστή. Η διάρκεια ζωής καθορίζεται κυρίως από τη θερμοκρασία "θερμού σημείου", η οποία αναφέρεται στην υψηλότερη θερμοκρασία εντός των τυλιγμάτων του μετασχηματιστή και μπορεί να είναι πολύ υψηλότερη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για παράδειγμα, μια θερμοκρασία περιβάλλοντος 30°C μπορεί να αντιστοιχεί σε θερμοκρασία θερμού σημείου 120°C. Ωστόσο, η θερμοκρασία του θερμού σημείου επηρεάζεται επίσης από παράγοντες όπως το συνολικό φορτίο και οι περιβαλλοντικές συνθήκες, όπως ο άνεμος, οι οποίες επηρεάζουν την ικανότητα του μετασχηματιστή να διαχέει την περίσσεια θερμότητας. Με την πάροδο του χρόνου, η μόνωση ενός μετασχηματιστή εξασθενεί, οδηγώντας τελικά στην αστοχία του. Η έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να επιταχύνει αυτή τη διαδικασία γήρανσης.[34]

Εμπειρικές μελέτες έχουν δείξει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας του θερμού σημείου κατά 7°C μπορεί να διπλασιάσει τον ρυθμό γήρανσης. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ο συνδυασμός ακραίας ζέστης και αυξημένης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας για λόγους ψύξης μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφικές βλάβες, όπως έδειξε η βλάβη 2.000 μετασχηματιστών γραμμής διανομής κατά τη διάρκεια καύσωνα στην Καλιφόρνια τον Ιούλιο του 2006.[35]

Οι αυξημένες θερμοκρασίες συμβάλλουν επίσης στις απώλειες των γραμμών μεταφοράς και διανομής, ενώ μειώνουν τη μεταφορική τους ικανότητα. Οι μέσες απώλειες ηλεκτρικής ενέργειας στη μεταφορά και διανομή στις Ηνωμένες Πολιτείες ανέρχονται σε περίπου 5%. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, η αντίσταση των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται, οδηγώντας σε μεγαλύτερες απώλειες αντίστασης. Ωστόσο, η επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στις απώλειες αντίστασης θεωρείται γενικά ασήμαντη σε σύγκριση με την επίδρασή της στη συνολική μεταφορική

ικανότητα. Η χωρητικότητα της γραμμής περιορίζεται από τη μέγιστη κανονική θερμοκρασία λειτουργίας της, η οποία συνήθως ορίζεται στους 80°C.[36]

Η θερμοκρασία λειτουργίας της γραμμής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος, της ροής ρεύματος και της ταχύτητας του ανέμου, οι οποίοι επηρεάζουν την ικανότητα της γραμμής να διαχέει την υπερβολική θερμότητα. Η θερμοκρασία λειτουργίας της γραμμής είναι γενικά πολύ υψηλότερη από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Οι φορείς εκμετάλλευσης γραμμών μπορούν να χρησιμοποιήσουν το πρότυπο IEEE για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας ρεύματος-θερμοκρασίας γυμνών εναέριων αγωγών (IEEE 738-2006) για τη μοντελοποίηση της θερμοκρασίας της γραμμής μεταφοράς. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες λειτουργίας της γραμμής μπορούν επίσης να προκαλέσουν υπερβολική χαλάρωση των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας λόγω θερμικής διαστολής. Οι κρεμασμένες γραμμές ενέχουν πολλούς κινδύνους, όπως κινδύνους πυρκαγιάς, προβλήματα ασφάλειας και αυξημένη πιθανότητα επαφής με δέντρα ή το έδαφος. Για να αποτραπεί η υπερβολική χαλάρωση και να διατηρηθούν οι θερμοκρασίες λειτουργίας εντός των ορίων σχεδιασμού, οι διαχειριστές του συστήματος μπορούν να μειώσουν χειροκίνητα τη χωρητικότητα της γραμμής. Για παράδειγμα, η προαναφερθείσα μελέτη της CEC διαπίστωσε ότι μια θερμοκρασία περιβάλλοντος 37,78°C είχε ως αποτέλεσμα απώλεια χωρητικότητας 7-8% σε σύγκριση με τις κανονικές ονομαστικές τιμές σχεδιασμού.[3]

5.2 Δυνατοί Άνεμοι

Οι ισχυροί άνεμοι έχουν τη δυνατότητα να σπάζουν πύργους και να ρίξουν γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, οδηγώντας σε εκτεταμένες διακοπές ρεύματος για τους πελάτες ηλεκτρικής ενέργειας. Για την καλύτερη κατανόηση της τρωτότητας του σημερινού δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας και τον εντοπισμό επαναλαμβανόμενων προτύπων διακοπών ρεύματος κατά τη διάρκεια έντονων καιρικών φαινομένων, έχουν αναπτυχθεί διάφορες καμπύλες ευθραυστότητας και στατιστικές μέθοδοι. Αυτές οι τεχνικές αναλύουν ιστορικά δεδομένα διακοπών

ρεύματος για να αποκαλύψουν σχέσεις μεταξύ της έντασης των καιρικών συνθηκών, ιδίως της ταχύτητας του ανέμου, και των επακόλουθων διακοπών ρεύματος.[37]

Για παράδειγμα, οι καμπύλες ευθραυστότητας έχουν δημιουργηθεί ειδικά για να χαρακτηρίσουν τη σχέση μεταξύ της ταχύτητας του ανέμου και των διακοπών ρεύματος κατά τη διάρκεια τυφώνων. Οι καμπύλες αυτές χρησιμοποιούν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο σχετικά με τις διακοπές ρεύματος και την ταχύτητα του ανέμου για να δημιουργήσουν στατιστικές σχέσεις. Συγκρίνοντας αυτές τις παρατηρούμενες σχέσεις, γνωστές ως "όπως κατασκευάστηκαν", με τις καμπύλες ευθραυστότητας μηχανικής που βασίζονται στις αρχικές προδιαγραφές σχεδιασμού, μπορεί να βελτιωθεί η εκτίμηση κινδύνου και η πρόβλεψη διακοπών για μελλοντικά γεγονότα με ισχυρούς ανέμους.[3]

Η φυσική απόκριση των πύργων και των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε ισχυρούς ανέμους αναπαρίσταται συνήθως ως συνάρτηση πιθανότητας αστοχίας της γραμμής σε σχέση με την ταχύτητα του ανέμου. Αυτές οι καμπύλες ευθραυστότητας ακολουθούν συνήθως μια λογαριθμοκανονική κατανομή, όπου η πιθανότητα να βρεθεί ή να ξεπεράσει μια συγκεκριμένη κατάσταση βλάβης, που αναφέρεται ως "ds", περιγράφεται με τη χρήση της λογαριθμοκανονικής συνάρτησης:

$$P [ds : S_d] = \Phi \left[\frac{1}{\beta_{ds}} \ln \left(\frac{S_d}{\bar{S}_{d,ds}} \right) \right] \quad (1)$$

Όπου $\bar{S}_{d,ds}$ αντιπροσωπεύει τη διάμεση τιμή μιας τεχνικής παραμέτρου (όπως η μετατόπιση ή η τάση) στην οποία ο πύργος ή η γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας φτάνει στο κατώφλι κατάστασης βλάβης, που συμβολίζεται ως ds. β_{ds} αντιπροσωπεύει την τυπική απόκλιση του φυσικού λογαρίθμου της τεχνικής παραμέτρου ζήτησης στην οποία το περιουσιακό στοιχείο φτάνει στην κατάσταση βλάβης ds. Η συνάρτηση Φ αναφέρεται στην τυπική κανονική αθροιστική συνάρτηση κατανομής. Αυτός ο τύπος καμπύλης ευθραυστότητας μπορεί να εφαρμοστεί όχι μόνο για τον χαρακτηρισμό των ζημιών που προκαλούνται από

ισχυρούς ανέμους, αλλά και για την αξιολόγηση των ζημιών που προκύπτουν από άλλους κινδύνους (όπως οι σεισμοί) ή σε διαφορετικούς τύπους υποδομών.[38]

Το 2007, η Entergy χρησιμοποίησε μια εμπειρική καμπύλη ευθραυστότητας για να εκτιμήσει την πιθανότητα αστοχίας στύλου με βάση την ταχύτητα του ανέμου και τον τύπο του στύλου (ξύλο, σκυρόδεμα, πλέγμα χάλυβα ή σωληνωτό χάλυβα). Η καμπύλη αυτή αναπτύχθηκε για να αντιμετωπίσει τις πιθανές ζημιές σε στύλους διανομής που προκαλούνται από προβλεπόμενα φαινόμενα τυφώνων. Επιπλέον, η Entergy υπολόγισε το άμεσο κόστος των ζημιών των στύλων με βάση τον αριθμό των στύλων που επηρεάζονται.

5.3 Πλημμύρες

Οι γραμμές μεταφοράς και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς και οι υποσταθμοί, αντιμετωπίζουν το ενδεχόμενο ζημιών λόγω πλημμυρών, ανόδου της στάθμης της θάλασσας και ορμητικών κυμάτων. Αναγνωρίζοντας αυτόν τον κίνδυνο, ένας πάροχος υπηρεσιών κοινής ωφέλειας των ΗΠΑ που εξυπηρετεί τη Μασαχουσέτη, τη Νέα Υόρκη και το Ρόουντ Άιλαντ (το οποίο υπέστη σημαντικές ζημιές κατά τη διάρκεια του τυφώνα Σάντι το 2012) έχει ξεκινήσει αναβαθμίσεις σε ευάλωτους υποσταθμούς μεταφοράς, με στόχο να τους καταστήσει ικανούς να αντέξουν ένα πλημμυρικό φαινόμενο που συμβαίνει μία φορά στα χίλια χρόνια.[39]

Για την αξιολόγηση των κινδύνων και την εκτίμηση των πιθανών απωλειών, η FEMA (Ομοσπονδιακή Υπηρεσία Διαχείρισης Εκτάκτων Αναγκών) έχει αναπτύξει προκαθορισμένες καμπύλες ευθραυστότητας για υποσταθμούς και κυκλώματα διανομής. Οι καμπύλες αυτές χρησιμοποιούνται στο μοντέλο εκτίμησης ζημιών και εκτίμησης κινδύνου Hazus. Εκτιμούν το ποσοστό των ζημιών σε συνάρτηση με το βάθος της πλημμύρας.

Οι ερευνητικές προσπάθειες κατευθύνονται επίσης προς την κατανόηση των κινδύνων που ενέχουν τα υπόγεια συστήματα μεταφοράς και διανομής από τις πλημμύρες και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Γενικά, οι υπόγειες γραμμές έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής σε σύγκριση με τις εναέριες γραμμές

και είναι πιο ευαίσθητες στη διάβρωση. Το νερό από τις πλημμύρες μπορεί να εισέλθει σε υπόγειους αγωγούς και θόλους μέσω των ηλεκτρικών γραμμών, προκαλώντας ζημιές σε υπόγειους υποσταθμούς. Επιπλέον, τα υπόγεια καλώδια μπορεί να είναι επιρρεπή σε ζημιές από τη διείσδυση αλμυρού νερού που σχετίζεται με την άνοδο της στάθμης της θάλασσας.

Ωστόσο, υπάρχει περιορισμός όσον αφορά τις διαθέσιμες ποσοτικές καμπύλες ευθραυστότητας ειδικά για τις υπόγειες γραμμές. Χρειάζεται περισσότερη έρευνα για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων καμπυλών ευθραυστότητας που να αξιολογούν με ακρίβεια την ευπάθεια των υπόγειων συστημάτων μεταφοράς και διανομής σε πλημμύρες και άνοδο της στάθμης της θάλασσας. [40]

5.4 Ισχυρές Πυρκαγιές

Οι μεγάλες πυρκαγιές έχουν τη δυνατότητα να προκαλέσουν διάφορες φυσικές επιπτώσεις στα συστήματα μεταφοράς και διανομής, οι οποίες περιλαμβάνουν ζημιές σε πύργους και στύλους που μπορεί να οδηγήσουν σε κατάρρευση των γραμμών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Ωστόσο, οι ζημιές των γραμμών που προκαλούνται από πυρκαγιές δεν περιορίζονται μόνο στην καταστροφή των δομών στήριξης. Οι γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας που υποστηρίζονται από ξύλινους στύλους, συνήθως γραμμές χαμηλότερης τάσης και χαμηλότερης χωρητικότητας, είναι πιο ευάλωτες στην άμεση καταστροφή από πυρκαγιές.

Επιπλέον, η ικανότητα μετάδοσης μιας γραμμής μπορεί να επηρεαστεί από τη θερμότητα, τον καπνό και τα αιωρούμενα σωματίδια που εκπέμπει μια πυρκαγιά, ακόμη και αν δεν υπάρχουν εμφανείς ζημιές στη φυσική δομή. Για παράδειγμα, οι μονωτήρες που συνδέουν τις γραμμές με τους πύργους μπορούν να συσσωρεύσουν αιθάλη, οδηγώντας σε ένα αγωγίμο μονοπάτι και προκαλώντας ρεύματα διαρροής που μπορεί να απαιτήσουν τη διακοπή της γραμμής. Ο καπνός που περιέχει ιονισμένο αέρα μπορεί να λειτουργήσει ως αγωγός, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν τόξα μεταξύ των γραμμών ή μεταξύ

των γραμμών και του εδάφους. Το επιβραδυντικό πυρκαγιάς που ρίχνεται από αεροσκάφη μπορεί επίσης να μολύνει τις γραμμές και να μειώσει τη χωρητικότητά τους.[41]

Οι γραμμές που εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες από πυρκαγιές, ακόμη και χωρίς υπερβολικό φορτίο, μπορούν να διογκωθούν και να κρεμάσουν, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε παραβιάσεις της απόστασης ασφαλείας μεταξύ των γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας και του εδάφους. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι φορείς εκμετάλλευσης μπορεί να χρειαστεί να μειώσουν τη χωρητικότητα των γραμμών για να εξασφαλίσουν τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς ασφαλείας, όπως υπολογίζεται με τη χρήση της τυποποιημένης εξίσωσης IEEE για την ακτινοβολούμενη και αγωγήμη θέρμανση.[42]

5.5 Παγετώνες

Οι παγετώνες, ως καιρικό φαινόμενο μπορούν να επηρεάσουν την ασφάλεια του δικτύου και να οδηγήσουν στη συσσώρευση πάγου στις καλωδιώσεις της ηλεκτρικής ενέργειας, προκαλώντας την ύπαρξη ταραχών στην τάση των γραμμών και αυξάνοντας την πιθανότητα διατάραξης των γραμμών του δικτύου έστω και κάτω από μια μέτρια έκθεση σε άνεμο.



Εικόνα 11: Παγετώνες στις ΗΠΑ το Δεκέμβριο 2002

Για παράδειγμα ο παγετώνας στις νότιες Ηνωμένες Πολιτείες τον Δεκέμβριο του 2002 είχε ως αποτέλεσμα το βάρος του πάγου πάνω στα δέντρα

και τις γραμμές ηλεκτροδότησης να είναι άνω των προϋπολογισμένων ορίων που προκάλεσε συνεχείς διακοπές ρεύματος οι οποίες διήρκησαν περισσότερο από μία εβδομάδα σε ορισμένες περιοχές καθώς οι ζημιές στην υποδομή του δικτύου της περιοχής ήταν αρκετά μεγάλες ώστε να συγκριθούν με τις τυφώνες Hugo (1989) και Fran (1995).



Εικόνα 12: ΗΠΑ Δεκέμβριος 2002

Με βάση τα δεδομένα από τον παγετώνα του 2002, οι ερευνητές έχουν αναπτύξει ένα μοντέλο που επιτρέπει στις εταιρείες υπηρεσιών και στους υπεύθυνους εκτάκτων αναγκών να εκτιμούν το πάχος του πάγου χρησιμοποιώντας δεδομένα που είναι δημόσια διαθέσιμα από το «Αυτόματο Σύστημα Επιφανειακής Παρατήρησης». Οι ζημιές που προκαλούνται από τους παγετώνες είναι εξαρτώμενες τόσο από τη συσσώρευση πάγου σε καλώδια όσο και από την ταχύτητα του ανέμου σε αυτά. Για να χαρακτηρίσουν τις φυσικές ζημιές και τις διακοπές που προκαλούνται από τους παγετώνες, οι ερευνητές στην Οκλαχόμα ανέπτυξαν το Sperry-Piltz Ice Accumulation Damage Index™ ένα σύστημα 5 βαθμίδων το οποίο είναι παρόμοιο με την κλίμακα Fujita για τους τυφώνες. Το σύστημα αυτό έχει την δυνατότητα να κατηγοριοποιεί την σοβαρότητα των ζημιών σε σχέση με τη συσσώρευση πάγου στο δίκτυο αλλά και το συνολικό προ καταληπτικό και την ταχύτητα του ανέμου σε αυτό.

5.6 Πιθανές επιπτώσεις στην τελική χρήση / διανομή

Η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας συνδέεται άμεσα από το κλίμα. Συγκεκριμένα τα τελευταία χρόνια η θερμοκρασία είναι ένας σημαντικός παράγοντας για την κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας όπως για παράδειγμα για την χρήση του κλιματισμού που σχετίζεται άμεσα με την αύξηση της θερμοκρασίας σε παγκόσμιο επίπεδο. Η ζήτηση τόσο για την θέρμανση όσο και για την ψύξη, αποτελεί το ήμισυ της ενεργειακής κατανάλωσης στις κατοικίες αλλά και το τρίτο στον τομέα της επιχειρηματικότητας με βάση την ωριαία, ημερήσια και εποχιακή διακύμανση των εξωτερικών συνθηκών και θερμοκρασιών. Σε γενικές γραμμές, η ζήτηση της ενέργειας για την δημιουργία άνετου κλίματος δηλαδή για την θέρμανση και την ψύξη, αυξάνεται κατά την απομάκρυνση των θερμοκρασιών του περιβάλλοντος από μία αναφορική θερμοκρασία. Η εξάρτηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας από τη θερμοκρασία έχει εξεταστεί από τρεις διαφορετικές κατευθύνσεις:

- α) τις επιπτώσεις στη συνολική κατανάλωση ενέργειας,
- β) τις επιπτώσεις στην αιχμηρή ζήτηση και
- γ) τις επιπτώσεις στην χρήση των κλιματιστικών συσκευών. [43]

Διάφορα μοντέλα που έχουν δημιουργηθεί αποκλειστικά για τον υπολογισμό της συνολικής ζήτησης σε μια περιοχή περιλαμβάνουν σημαντικά στοιχεία, όπως η χωρική κατανομή των καταναλωτών στις κατοικίες και τις επιχειρηματικές μονάδες, για τις προβλέψεις για τις μελλοντικές αλλαγές σε αυτές τις κατανομές και ιστορικές και τις προβλεπόμενες αλλαγές στην κατανομή των θερμοκρασιών. Ορισμένες μελέτες έχουν εξετάσει επίσης και τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας ως συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους, ενώ άλλες μελέτες έχουν εξετάσει την εισαγωγή του κλιματισμού σε περιοχές πιο βόρεια, ως αντίδραση στην αύξηση της μέσης θερμοκρασίας. [44],[45],[46],[47]

Δεδομένου ενός τέτοιου φορτίου ανά ώρα με βάση το επίπεδο των αρχών ισορροπίας φορτίου έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί για την παραμετροποίηση της σχέσης μεταξύ μέσης και αιχμηρής ζήτησης ηλεκτρικής

ενέργειας και θερμοκρασίας. Επίσης οι σχεδιαστές ηλεκτρικής ενέργειας στις Ηνωμένες Πολιτείες χρησιμοποιούν συνήθως περιθώρια αντιστάθμισης (απαιτήσεις χωρητικότητας πάνω από την προβλεπόμενη αιχμή ζήτησης) από 15% έως 20% και η ανταπόκριση της αιχμηρής ζήτησης σε ακραίες θερμοκρασίες μπορεί να μεταφραστεί άμεσα σε αυξήσεις του κεφαλαίου. Ακόμη και αν οι επιδράσεις στη μέση παραγωγή ενέργειας δεν είναι τόσο μεγάλες.

Επίσης έχει διαπιστωθεί ότι οι καμπύλες ανταπόκρισης της θερμοκρασίας για τη μέση και αιχμηρή ζήτηση μοιάζουν περίπου με παραβολές. Αυτό δηλώνει ότι το ελάχιστο φορτίο παρατηρείται να συμβαίνει όταν η μέση ημερήσια θερμοκρασία βρίσκεται μεταξύ 15°C και 18.34°C. Ενώ, η μεγαλύτερη ζήτηση αυξάνεται γρηγορότερα, αντίθετα με τη θερμοκρασία από τη μέση ζήτηση.[48]

5.7 Κενά και ερευνητικές ευκαιρίες

Υπάρχουν πολλές χρήσιμες ποσοτικοποιήσεις στις υποδομές, αυτές είναι κυρίως εμπειρικές και βασισμένες σε μεμονωμένα γεγονότα. Επιπλέον, οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε ορισμένα και συγκεκριμένα στοιχεία του ηλεκτρικού δικτύου δεν είναι επαρκώς μελετημένες, όπως είναι για παράδειγμα οι υπόγειες καλωδιώσεις ισχύος. Οι μαθηματικές διατυπώσεις που έχουν προκύψει από αυτές τις μελέτες καταγράφουν κυρίως και περιγράφουν την υποδομή και την αντίδραση των τελικών χρηστών σε υψηλότερες θερμοκρασίες και σε ακραίες θερμοκρασίες όπως την έλλειψη νερού, του αέρα και πλημμύρας από καταιγίδες. Δεν έχουν δοθεί λύσεις που αφορούν την συντήρηση των περιουσιακών στοιχείων υπό τον κίνδυνο πυρκαγιάς και στα θέματα που οφείλονται σε ακραίες καιρικές συνθήκες όπως η δημιουργία πάγου. Επίσης, παρατηρείται έντονη έλλειψη ολοκληρωμένης αξιολόγησης των συσσωρευμένων ζημιών που έχουν προκληθεί από πολλά ακραία καιρικά φαινόμενα και γεγονότα κλίματος σε συγκεκριμένα και πολλαπλά στοιχεία του ηλεκτρικού δικτύου. Καθώς η συχνότητα και ένταση των ακραίων καιρικών φαινομένων και γεγονότων κλίματος αναμένεται να αυξηθούν στο μέλλον, η κατανόηση της ευαισθησίας των συγκεκριμένων στοιχείων και των συστημάτων

ηλεκτροδότησης και της συλλογικής ευαισθησίας τους απέναντι σε κλιματικούς και καιρικούς κινδύνους είναι ζωτικής σημασίας για τον μελλοντικό και μακροπρόθεσμο σχεδιασμό.[46],[47]

Κεφάλαιο 6^ο : Αξιολόγηση των επιπτώσεων των καιρικών φαινομένων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας

6.1 Η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και η αλυσίδα αξίας

Η κλιματική αλλαγή πλέον θεωρείται το πιο σημαντικό ζήτημα σε παγκόσμιο επίπεδο με αρνητική επίδραση τόσο στις δραστηριότητες των εταιριών, όσο και στο ίδιο το φυσικό περιβάλλον αλλά και την κοινωνία. Η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής είναι η σημαντικότερη πρόκληση στην σημερινή εποχή και ο πιο βασικός στόχος των επιχειρήσεων. Για αυτό τον λόγο ο διαχειριστής του δικτύου της ηλεκτρικής ενέργειας έχει ενσωματώσει στη στρατηγική του και τα νέα δεδομένα που έχουν προκύψει από την δράση της κλιματικής αλλαγής ώστε να καταφέρει να προσαρμοστεί στο νέο περιβάλλον και στα νέα δεδομένα που δίνει το περιβάλλον. Με βάση τα δεδομένα που υπάρχουν μέχρι σήμερα και τις επερχόμενες αλλαγές, ο διαχειριστής εντοπίζει όλους τους κινδύνους που συνδέονται με την κλιματική αλλαγή αλλά παρόλα αυτά και τις αντίστοιχες ευκαιρίες που μπορεί να δημιουργηθούν από αυτό. Ο πιο βασικός πυλώνας πλέον για τον διαχειριστή του ηλεκτρικού δικτύου στην Ελλάδα είναι η ασφάλεια και η αξιοπιστία για τα έτη 2021 έως και το έτος 2024. Προς αυτή την κατεύθυνση, ο διαχειριστής κατάφερε να συγκροτήσει στις αρχές του 2021 μία επιτροπή από τα πιο έμπειρα στελέχη με κύριο στόχο τη δημιουργία ενός διευρυμένου σχεδίου που αφορά τις αντικαταστάσεις έως το 2026, δίνοντας αύξηση στον αρχικό προϋπολογισμό του συγκεκριμένου προγράμματος, δηλαδή από 80 εκατομμύρια ευρώ αυξήθηκε σε 200 εκατ. ευρώ.

Για να μπορέσουν όλα αυτά να εκπληρωθούν μέχρι τις ημερομηνίες στόχους πρέπει να δοθεί έμφαση σε όλες τις παραμέτρους όπως τις κλιματικές παραμέτρους και την εμφάνιση ακραίων καιρικών φαινομένων, τα οποία πλέον είναι πιο συχνά στη χώρα μας. Επιπλέον, η συμβολή του διαχειριστή είναι σημαντική για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής σε εθνικό επίπεδο. Μέσω των νέων διασυνδέσεων που πραγματοποιεί ο διαχειριστής, καθιστά δυνατή την αλλαγή του ενεργειακού μείγματος της χώρας. Με αυτό τον τρόπο επιτρέπει αλλά κρίνει και απαραίτητο την ενσωμάτωση μεγαλύτερου ποσοστού ΑΠΕ, το οποίο θα συνεισφέρει στη μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλότερων

εκπομπών άνθρακα αλλά και στη σταδιακή ανθρακοποίηση (decarbonization).[49]

Επιπρόσθετα, ενισχύεται και η πράσινη καινοτομία που συμβάλει έντονα στην «πράσινη» μετάβαση, όπως για παράδειγμα είναι οι τεχνολογίες αποθήκευσης της ενέργειας που ωθούν την αύξηση της συνεισφοράς των ΑΠΕ στο ενεργειακό ισοζύγιο και τις υποδομές φόρτισης. Οι προαναφερθείσες αλλαγές συμβάλλουν στη δημιουργία νέων ευκαιριών δραστηριοποίησης αλλά και στην μετάβαση σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών άνθρακα η οποία μπορεί να επιτευχθεί μόνο με τεχνολογικές αλλά και ριζικές αλλαγές στο σύστημα παραγωγής ενέργειας.

Τα συγκεκριμένα αγαθά (π.χ. υποδομών, εξοπλισμού, υλικών, υπηρεσιών) τα οποία πρέπει να βρίσκονται στην κατάλληλη ποιότητα αλλά και ποσότητα αλλά προφανώς και στην βέλτιστη τιμή με επιθυμητό χρόνο παράδοσης πρέπει να γίνουν οι κατάλληλες προμήθειες αυτών, με τα οποία να αλληλοεπιδρά ο διαχειριστής του ηλεκτρικού δικτύου. Στην Ελλάδα οι προμηθευτές αυτοί είναι είναι:

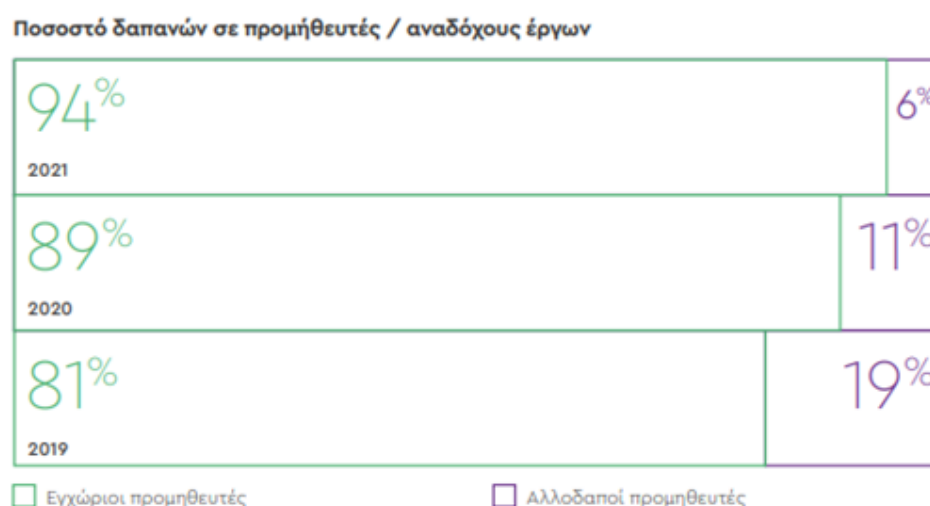
- Οι εργολάβοι και κατασκευαστές.
- Οι πάροχοι των υπηρεσιών.
- Οι εργολάβοι των έργων - Πολιτικοί Μηχανικοί.
- Οι κατασκευαστές υλικού αλλά και του εξοπλισμού.
- Οι προμηθευτές των υλικών.
- Και τέλος οι μεταφορείς.

Με βασικό στόχο την ενίσχυση της υποστήριξης των τοπικών κοινωνιών στις περιοχές που δραστηριοποιείται ο διαχειριστής, φροντίζει να εστιάζει στην υποστήριξη των τοπικών προμηθευτών όπου αυτό κρίνεται και είναι εφικτό ή ως εναλλακτική επιλογή εστιάζει σε προμηθευτές εθνικής εμβέλειας. Κατά το έτος του 2021, ο συνολικός αριθμός προμηθευτών - αναδόχων έργων ήταν στους 28 και το συνολικό κόστος στα 211 εκατ. Ευρώ. Με βάση την αναλογία της δαπάνης μεταξύ των εγχώριων και των αλλοδαπών προμηθευτών να υπάρχει μια διαμόρφωση της τάξεως 94 προς 6 τοις εκατό, παρουσιάζοντας έτσι μια

αύξηση σε σχέση με το προηγούμενο ημερολογιακό έτος. Ενώ παράλληλα, το έτος 2021 ο συνολικός αριθμός των προμηθευτών και των αναδόχων των υλικών και του εξοπλισμού ήταν συνολικά στους 31, με τις δαπάνες του εφοδιασμού να φτάνουν στα 7.182.782 ευρώ αλλά και την αναλογία της δαπάνης ανάμεσα στους εγχώριους και τους αλλοδαπούς προμηθευτές να φτάνει στην αναλογία του 18 προς 82 τοις εκατό.[48]

Ένας από τους πιο σημαντικούς στόχους που επιτεύχθηκαν κατά τη διάρκεια του 2021 ήταν η δημιουργία του Μητρώου των Προμηθευτών, καθοριστικής σημασίας, καθώς επιτυγχάνεται η καλύτερη συνεργασία του διαχειριστή με τους καλύτερους προμηθευτές. Όπου μια τέτοια συνεργασία κρίνεται και αναγκαία αλλά και ουσιώδης εφόσον όλα είναι αναγκαία όπως τα έργα, τα υλικά και οι υπηρεσίες είναι κρίσιμα και άμεσα συνδεδεμένα με τη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος. Τέλος η συμμετοχή του μητρώου στις διαδικασίες είναι επίσης μεγάλης σημασίας καθώς ενισχύει και την διαδικασία των διαγωνισμών. Παρακάτω βλέπουμε τις διαφορές των ποσοστών ανάμεσα στους προμηθευτές και τους αναδόχους των έργων.

Πίνακας 8: Ποσοστά προμηθευτών και ανάδοχοι έργων



Κεφάλαιο 7^ο : Καιρικά φαινόμενα και εναλλακτικές λύσεις στην παροχή ηλεκτρικής ενέργειας: Μια προοπτική για το μέλλον

Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι πλέον εμφανείς με τη μορφή έντονων και καταστροφικών καιρικών φαινομένων, καθώς θεωρείται πλέον σημαντικό να προστατευθεί η χώρα από τις καταστροφικές συνέπειές της. Θεωρείται επίσης ως επιτακτική ανάγκη περισσότερο από ποτέ. Η συμμετοχή του διαχειριστή είναι κρίσιμη όχι μόνο στο πλαίσιο των προσπαθειών προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή (με συντήρηση και ανανέωση περιουσιακών στοιχείων), αλλά και στην ενίσχυση της ανθεκτικότητας του συστήματος μεταφοράς του δικτύου. Είναι επίσης ζωτικής σημασίας στις προσπάθειες μετριασμού της κλιματικής αλλαγής, ως φορέας εκτέλεσης των μεγαλύτερων διασυνδέσεων της χώρας. Μέσω της υψηλότερης διείσδυσης ΑΠΕ, αυτές οι διασυνδέσεις επιτρέπουν την επιτάχυνση της ενεργειακής μετάβασης σε μια οικονομία εκπομπών άνθρακα. Βάσει του Εθνικού Σχεδίου Δράσης για την Ενέργεια και το Κλίμα, η Ελλάδα επιδιώκει επείγουσα και ουσιαστική μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου προκειμένου να επιτευχθεί εθνική κλιματική ουδετερότητα έως το 2050. Αυξημένη ενσωμάτωση των ΑΠΕ σε περιοχές όπου αποτελεί ουσιαστικό παράγοντα για τη μείωση των εκπομπών άνθρακα, καθώς και αυξημένη ενσωμάτωση των ΑΠΕ στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. Ο διαχειριστής που υλοποιεί τις βασικές διασυνδέσεις της Ελλάδας είναι αυτός που προετοιμάζει το δρόμο για πράσινες επενδύσεις και αύξηση της ενσωμάτωσης των ΑΠΕ στην ΕΣΜΗΕ, που ωφελούν σημαντικά την κοινωνία, το περιβάλλον και την οικονομία. Ειδικότερα, την αύξηση της ενσωμάτωσης των ΑΠΕ επιτυγχάνεται η βελτίωση της ενεργειακής ασφάλειας της Ελλάδας καθώς και μειώνεται και η επιβάρυνση της ατμόσφαιρας μέσω της μείωσης των εκπομπών αερίων λόγω καύσης των ορυκτών καυσίμων. Ο παρακάτω πίνακας δείχνει επίσης ότι η νέα εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ στην ΕΣΜΗΕ έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια, φτάνοντας τα 1.043 MW το 2021. Η εμπορική λειτουργία νέων έργων ανανεώσιμων πηγών ενέργειας ηλεκτρικής ενέργειας εγκατεστημένης ισχύος 316 MW ξεκίνησε το 2021. [50]

Πίνακας 8.1 Νέα εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα 2019-2021

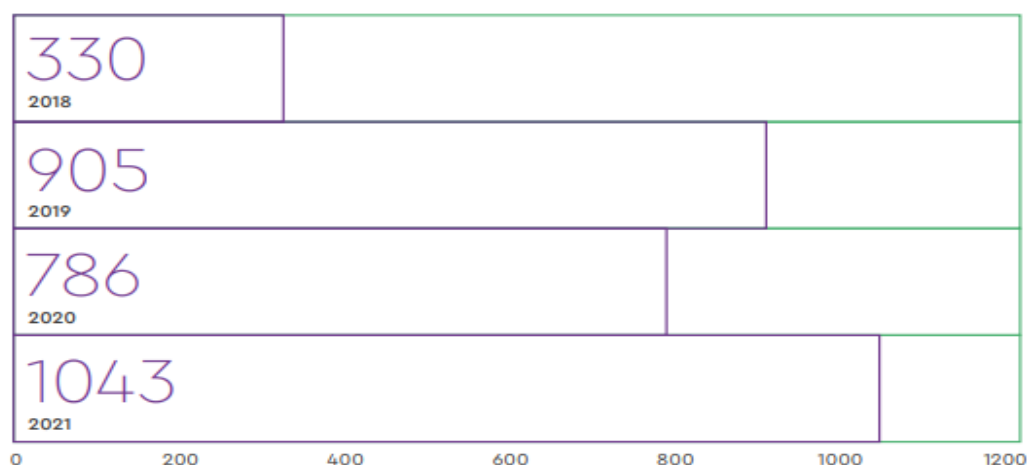
Νέα εγκατεστημένη ισχύς (ΜW) ΑΠΕ στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα

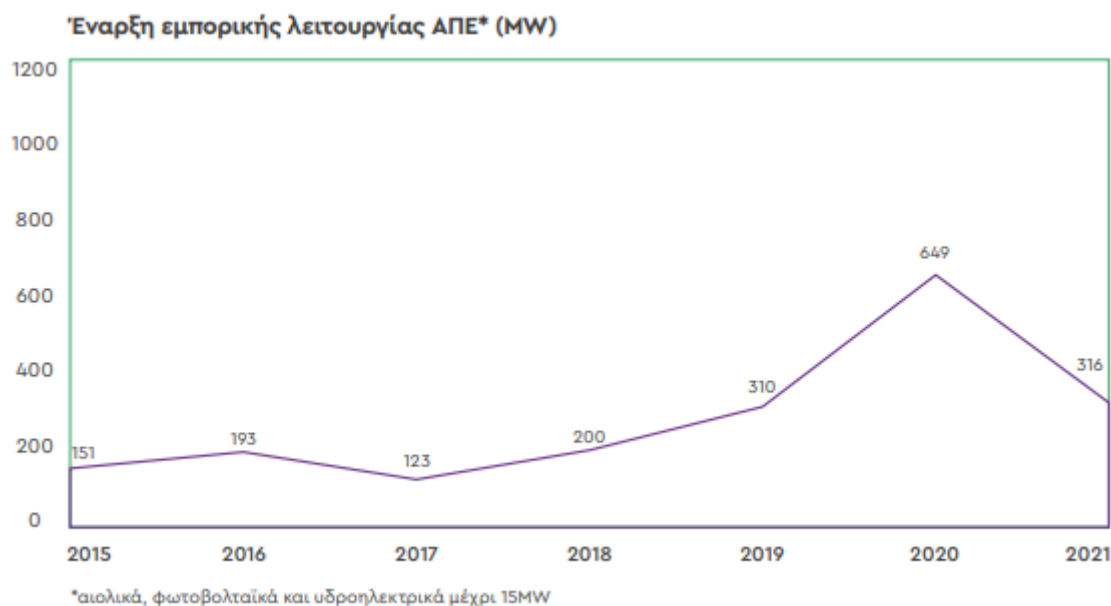
Έτος	Αιολικά	Φωτοβολταϊκά	ΜΥΗΣ*	Βιομάζα	Συμπαγωγή	Σύνολο
2019	746	149	1	5	4	905
2020	430	343	3	8	2	786
2021	528	497	5	13	0	1.043

*Μικροί υδροηλεκτρικοί σταθμοί

Πίνακας 8.2 Νέα εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα 2018-2021

Νέα εγκατεστημένη ισχύς (ΜW) ΑΠΕ στο Διασυνδεδεμένο Σύστημα





Σχήμα 9. Έναρξη εμπορικής λειτουργίας ΑΠΕ

Με πρωταρχικό στόχο την καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής και των καιρικών φαινομένων της, την αύξηση της ενεργειακής ασφάλειας και τη μείωση του κόστους παραγωγής ενέργειας, σχεδιάζεται πλέον αναδιάρθρωση του ενεργειακού μείγματος της χώρας έως το 2030, όπως και αύξηση της συμμετοχής των ΑΠΕ, τουλάχιστον 35% της συνολικής τελικής κατανάλωσης ενέργειας. Για την επίτευξη αυτού του στόχου απαιτείται σημαντική αλλαγή στον τομέα της ενέργειας. Οι ΑΠΕ κυριαρχούν στο μείγμα παραγωγής, αντιπροσωπεύοντας πάνω από το 60% της συνολικής κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας. Ως αποτέλεσμα, αυτή η γιορτή των ΑΠΕ στην παραγωγή ενέργειας, που θα ολοκληρωθεί έως το 2030, φαίνεται και στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 9. Εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος ΑΠΕ για ηλεκτροπαραγωγή, μέχρι το 2030 σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα

Εξέλιξη εγκατεστημένης ισχύος ΑΠΕ για ηλεκτροπαραγωγή, μέχρι το 2030, σύμφωνα με το Εθνικό Σχέδιο για την Ενέργεια και το Κλίμα

Ηλεκτροπαραγωγή-Εγκατεστημένη Ισχύς (GW)	2022	2025	2027	2030
Βιομάζα & Βιοαέριο	0,09	0,12	0,23	0,32
Υδροηλεκτρικά (συμπ. Μεικτών αντλητικών)	3,66	3,72	3,83	3,86
Αιολικά	3,19	4,04	5,16	6,62
Φωτοβολταϊκά	4,38	5,33	5,81	6,76
Ηλιοθερμικοί σταθμοί	0,00	0,07	0,07	0,07
Γεωθερμία	0,00	0,00	0,03	0,08
Σύνολο	11,33	13,29	15,14	17,71

Η ηλεκτρική απομόνωση, καθώς και η αξιοπιστία της παροχής, αντιμετωπίζονται μέσω συνδέσεων στην ηπειρωτική χώρα και στα νησιά του Αιγαίου, ενώ μειώνεται το κόστος της παραγόμενης ενέργειας, άρα και το κόστος των υπηρεσιών κοινής ωφέλειας. Ταυτόχρονα προστατεύεται το περιβάλλον και αξιοποιούνται οι τεράστιες δυνατότητες των ΑΠΕ.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η θέση του διαχειριστή είναι κρίσιμη για την υλοποίηση των σχεδίων και την επίτευξη των στόχων, και αυτό θα ισχύει ακόμη περισσότερο στο μέλλον. Η αποστολή του διαχειριστή είναι να διασφαλίσει ότι η παροχή ηλεκτρικής ενέργειας της χώρας είναι αξιόπιστη, αποτελεσματική και φιλική προς το περιβάλλον, ενώ παράλληλα ενθαρρύνει την ανάπτυξη του ελεύθερου ανταγωνισμού στην ελληνική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Το ενεργειακό κόστος μειώνεται ως αποτέλεσμα των δραστηριοτήτων του και της ανάπτυξης του ελεύθερου ανταγωνισμού, καθιστώντας το πιο φθηνό και καθαρό. [51]

7.1 ΈΡΕΥΝΑ & ΑΝΑΠΤΥΞΗ

Η πρόσφατη εξέλιξη της ενεργειακής πραγματικότητας τονίζει την ανάγκη για επενδύσεις E&A. Ο διαχειριστής, μέσω της «Διεύθυνσης Έρευνας, Τεχνολογίας και Ανάπτυξης», που ιδρύθηκε το 2014, είναι πλέον ένας από τους πιο ενεργούς διαχειριστές έρευνας στην Ευρώπη, που συμμετέχει σε κοινοπραξίες. Ο διαχειριστής, ειδικότερα, συμμετέχει σε ευρωπαϊκές κοινοπραξίες μεταδίδοντας την τεχνολογική τεχνογνωσία και εμπειρία που αποκτήθηκε από τις προαναφερθείσες πρωτοβουλίες κατά τη διάρκεια αυτής της μεταβατικής φάσης για τα Ελληνικά και Ευρωπαϊκά Ενεργειακά Συστήματα, συμβάλλοντας έτσι στην υιοθέτηση νέων μεθόδων και τεχνολογιών. Επομένως συμμετέχει ενεργά τα τελευταία 7 χρόνια στην σύνταξη του «Ερευνητικού Ενεργειακού Οδικού Άξονα του ENTSO-E (R&I Roadmap) μέσω ομάδων εργασίας (Working Groups) RDIP και Flexibility & Markets, της Επιτροπής Έρευνας Ανάπτυξης και Καινοτομίας (RDIC) του ENTSO-E».[49],[50],[52]

Περαιτέρω γνώσεις κρίνονται απαραίτητες σε τομείς όπως η ευελιξία, η αποθήκευση, η ψηφιοποίηση και η έξυπνη διαχείριση των περιουσιακών στοιχείων του Συστήματος Μεταφοράς.

Τα ευρήματα των ερευνητικών έργων βοηθούν στην επίλυση υφιστάμενων επιχειρησιακών και στρατηγικών ζητημάτων που αντιμετωπίζουν όλοι οι διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς υπό το φως των προαναφερθέντων ενεργειακών ανησυχιών. Τα πιλοτικά έργα όπως οι δοκιμές «Ελεγκτή Ροής Ενεργού Ισχύος» στο ΚΥΤ Νέας Σάντας (π.χ. Dynamic Line Rating, Wide Area Monitoring And Control, 5G, Software Define Networking).

Στα έργα που αναφέρονται παραπάνω περιλαμβάνεται και η λειτουργία συστήματος αποθήκευσης μπαταριών (Battery Energy Storage System, BESS) ισχύος 2MW (ενέργειας 2MWh). Το οποίο τοποθετήθηκε στον Υ/Σ Αισύμη στις εγκαταστάσεις αιολικού παραγωγού για τη διερεύνηση της σκοπιμότητας παροχής βοηθητικών υπηρεσιών (π.χ. εξομάλυνση ρεύματος, διαχείριση συμφόρησης κ.λπ.) στο Σύστημα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας.

Σημαντική είναι και η συνεισφορά του διαχειριστή ηλεκτρικού δικτύου στο σύστημα «brain drain» της χώρας, με δεκαεννέα ερευνητές και ερευνήτριες που επέστρεψαν από το εξωτερικό ή δεν έφυγαν για αυτό λόγω της ευκαιρίας να δραστηριοποιηθούν σε αυτό το πεδίο και σε έγκριτα ερευνητικά έργα. Ακολουθούν τα ερευνητικά έργα:

Flexitranstore:



Σκοπός του συγκεκριμένου προγράμματος είναι να συμβάλει στη δημιουργία ενός πανευρωπαϊκού δικτύου μεταφοράς ενέργειας με υψηλό δείκτη ευελιξίας και διασυνδέσεων. Η επιτάχυνση της διείσδυσης ΑΠΕ στο σύστημα μεταφοράς. «Η συμμετοχή του χειριστή στο συγκεκριμένο ερευνητικό πρόγραμμα περιλαμβάνει τη δοκιμή σταθμού αποθήκευσης ηλεκτρικής ενέργειας στον υποσταθμό Αισύμης που θα αποτελείται από συστοιχία μπαταριών ιόντων λιθίου ονομαστικής ισχύος 2MW και ονομαστικής ενέργειας 2MWh σε συνδυασμό με προηγμένο σύστημα ελέγχου.[50],[52]

."Crossbow:



Ο κύριος στόχος του ερευνητικού έργου είναι να δείξει μια ποικιλία τεχνολογιών που παρέχουν στους Διαχειριστές Συστημάτων Μεταφοράς μεγαλύτερη ευελιξία και

ανθεκτικότητα, με έμφαση στις περιφερειακές διασυνδέσεις (Νοτιοανατολικής Ευρώπης). [50],[52]

Easy RES:



Η πρωτοβουλία αυτή σκοπεύει να αντιμετωπίσει τα ζητήματα που προκύπτουν όχι μόνο στην ασφαλή και αποδοτική λειτουργία των δικτύων ηλεκτρικής ενέργειας, αλλά

και στην ολόενα και πιο δυναμική διείσδυση των ΑΠΕ στο σύστημα. Μέσω της ανάπτυξης καινοτόμων μηχανισμών ελέγχου για μετατροπείς που συνδέουν την κατανεμημένη παραγωγή με το δίκτυο, οι παραγωγοί θα μπορούν να συμβάλλουν στη σταθερότητα του δικτύου. [50],[52]

CoordiNet:



Στόχος του έργου είναι «η ανάδειξη των τρόπων και μεθόδων με τις

οποίες πρέπει να συνεργάζονται τα Συστήματα Μεταφοράς και Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας για την παροχή αξιόπιστων και αποτελεσματικών υπηρεσιών (έλεγχος τάσης, διαχείριση συμφόρησης) προς όφελος του τελικού καταναλωτή». Με τη συμμετοχή περιουσιακών στοιχείων που συνδέονται με το Δίκτυο Διανομής, έχει αναπτυχθεί μια πλατφόρμα που λειτουργεί ως διεπαφή μεταξύ του Διαχειριστή Μεταφοράς, του Διαχειριστή Διανομής και των Ευελιξιών. Πρωταρχικός στόχος της πλατφόρμας είναι να λύσει τις τάσεις και τη συμφόρηση στο δίκτυο των Διαχειριστών μέσω ευέλικτων υπηρεσιών σε περιβάλλον αγοράς. Η πλατφόρμα CoordiNet έχει δοκιμαστεί σε δύο περιοχές του ΕΣΜΗΕ: Κεφαλονιά και Μεσόγεια. [50],[52]

SDN-microsense:



SDN-μSense

Το πρόγραμμα είναι υπεύθυνο για την ανάπτυξη ενός ασφαλούς και ανθεκτικού σε κυβερνοεπιθέσεις

εργαλείου για να διασφαλίσει την απρόσκοπτη λειτουργία καθώς και την ακεραιότητα και το απόρρητο της επικοινωνίας. Πιο συγκεκριμένα, το πρόγραμμα θα αναπτύξει και θα αναπτύξει διαδικασίες αξιολόγησης κινδύνου, χαρακτηριστικά αυτοδιόρθωσης και ένα πλαίσιο προστασίας της ιδιωτικής ζωής για την κατασκευή μιας δομής ασφαλείας τριών επιπέδων. [50],[52]

5G-VICTORI:



Στόχος του προγράμματος είναι η «ενίσχυση των υφιστάμενων υποδομών και η

οικοδόμηση μιας πλατφόρμας που θα μετατρέψει τις κλειστές και περιορισμένες υποδομές σε ένα ανοιχτό περιβάλλον όπου οι εταιρείες τεχνολογίας και οι κάθετα ολοκληρωμένες υπηρεσίες τεχνολογίας 5G θα έχουν πρόσβαση σε πληροφορίες και εργαλεία». Ο ΑΔΜΗΕ θα ηγηθεί του έργου Energy and Factories of the Future και θα λάβει μέρος σε δραστηριότητες επίδειξης όπως υποσταθμοί υψηλής τάσης και ηλεκτρικά τρένα. Ο ΑΔΜΗΕ θα ασχοληθεί συγκεκριμένα με την ενσωμάτωση, την επικύρωση και τις επιτόπιες δοκιμές των λειτουργιών του, καθώς και τη δημιουργία δύο ζευγών που παρέχουν κάλυψη 5G (α) σε σιδηροδρομικούς σταθμούς και κατά μήκος

σιδηροδρομικών γραμμών 2-3 χιλιομέτρων και (β) σε υποσταθμούς ηλεκτρικής ενέργειας." [50],[52]

Farcross:



Το Farcros, ως πρόγραμμα, είναι υπεύθυνο για την προσφορά καινοτόμων λύσεων σε προβλήματα

διασύνδεσης που προκαλούνται από την αυξημένη διείδυση των ΑΠΕ στο Σύστημα Μεταφοράς μέσω της χρήσης τεχνολογιών δικτύου όπως Dynamic Line Rating, SSSC, WAMS που χρησιμοποιούν PMU κ.λπ. [50],[52]

Smart5Grid:



Το smart5grid είναι η επίδειξη της τεχνολογίας 5G σε μελλοντικά έξυπνα συστήματα ηλεκτρικής

ενέργειας μέσω πιλοτικών εφαρμογών. Ο διαχειριστής του εξειδικευμένου προγράμματος θα ηγηθεί του έργου διασυνοριακής διασύνδεσης μεταξύ Ελλάδας και Βουλγαρίας, καθώς και στη διανομή και εκμετάλλευση των ευρημάτων του Smart5Grid σε μετόχους και φορείς εκμετάλλευσης ηλεκτρικού δικτύου. «Πρόκειται να εγκατασταθούν PMU στον υποσταθμό ΑΔΜΗΕ στον Λαγκαδά καθώς και στο Μπλαγκόεβγκραντ στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος Smart5Grid, με στόχο την ευρύτερη παρακολούθηση της διασύνδεσης Ελλάδας-Βουλγαρίας». [50],[52]

OneNet:

Το onenet ορίζεται ως «πρόγραμμα επίδειξης πιλοτικών έργων μεγάλης κλίμακας σχετικά με τη συμμετοχή assets που βρίσκονται στο Δίκτυο Διανομής

σε αγορές ευελιξίας για την παροχή υπηρεσιών τόσο στο Δίκτυο Διανομής όσο και στο Σύστημα Μεταφοράς» (ρύθμιση τάσης, διαχείριση συμφόρησης).

Electron:

Στόχος του προγράμματος είναι η ανάπτυξη μιας καινοτόμου πλατφόρμας που θα επιδιώκει να αυξήσει την ανθεκτικότητα του Συστήματος Μεταφορών έναντι των απειλών των κυβερνοεπιθέσεων, τον εντοπισμό και την πρόληψη, την ελαχιστοποίηση των αστοχιών κ.λπ. [50],[52]

Synergy:



Αυτό το πρόγραμμα δημιουργήθηκε με πρωταρχικό στόχο τη δημιουργία ενός Energy Data Space

στον οποίο θα γίνεται χειρισμός και επεξεργασία τεράστιου όγκου δεδομένων από διάφορους συμμετέχοντες σε ένα ολοκληρωμένο ενεργειακό σύστημα. Στο πρόγραμμα SYNERGY, ο διαχειριστής θα αναδείξει τις εξειδικευμένες υπηρεσίες ανάλυσης και διαχείρισης πολλών δεδομένων του κλάδου, όπως η έξυπνη διαχείριση περιουσιακών στοιχείων, η προληπτική συντήρηση, η ανάλυση δεδομένων κ.λπ. [50],[52]

Προληπτικά Μέτρα

Ο Διαχειριστής ενημερώνεται έγκαιρα από το ΕΣΚΕΔΙΚ για έκτακτο δελτίο καιρού της ΕΜΥ όπως για ακραία καιρικά φαινόμενα. Τα ακραία καιρικά φαινόμενα λαμβάνονται υπόψιν καθημερινά για τον ημερήσιο προγραμματισμό. Σε περίπτωση συναγερμού για ακραία καιρικά φαινόμενα, ο διαχειριστής λαμβάνει τα ακόλουθα προληπτικά μέτρα:

- **Αυξημένη ετοιμότητα Συστήματος:** προβλέπει αυξημένες εφεδρείες και την διαθεσιμότητα του εξοπλισμού ώστε να μπορεί να αντιμετωπίσει την

αυξημένη πιθανότητα βλάβης μονάδων και άλλων σημαντικών στοιχείων εξοπλισμού στο Σύστημα Μεταφοράς.

- **Πρόβλεψη για τεχνικό προσωπικό άμεσης επέμβασης:** Ανάλογα με τη σφοδρότητα των ακραίων καιρικών φαινομένων που έχει γίνει πρόληψη, ο Διαχειριστής φροντίζει να διατηρεί σε επιφυλακή όλα τα κατάλληλα επανδρωμένα συνεργεία κοντά σε όλες τις περιοχές που αναμένεται να επηρεάσουν περισσότερο τα ακραία φαινόμενα και για όλο το χρονικό διάστημα όπου θα διαρκούν οι ακραίες συνθήκες.
- **Εξασφάλιση περισσότερων ηλεκτρικών δρόμων για την τροφοδότηση περιοχών που αναμένεται να πληγούν από τα ακραία φαινόμενα:** ο διαχειριστής οφείλει να προβεί στην ακύρωση των προγραμματισμένων συντηρήσεων, και κρίνεται άμεση η επαναφορά σημαντικών στοιχείων του συστήματος, τα οποία βρίσκονται ήδη σε προγραμματισμένη συντήρηση, ενεργοποίηση μονάδων ηλεκτροπαραγωγής αλλά και σε διαφορετικές περιοχές για λόγους ασφαλείας.
- **Να ενημερώσει τους σημαντικούς χρήστες του Δικτύου για πιθανές διακοπές στην ομαλή λειτουργία και εφόσον υπάρχει επαρκής χρόνος.**
- **Να συνεργαστεί με τον διαχειριστή του Δικτύου για τον συντονισμό ενεργειών και καθορισμό προληπτικών μέτρων.**
- **Να επικοινωνήσει και να ενημερώσει τους γειτονικούς διαχειριστές για την εξέλιξη των φαινομένων και εκτίμηση ετοιμότητας για παροχή βοήθειας.**
- **Να ελέγξει την ορθή λειτουργία των μηχανισμών έκτακτων αναγκών και να σχεδιάσει δράσεις για τον περιορισμό των πιθανών επιπτώσεων.**
- **Να λάβει μέτρα μετριασμού:** Όταν τα ακραία καιρικά φαινόμενα πλήξουν μια αρκετά μεγάλη περιοχή του Συστήματος μπορούν να απενεργοποιήσουν σημαντικά στοιχεία μέσω μη επιθυμητών ανοιγμάτων διακοπών και να οδηγήσουν στην παραβίαση των παραμέτρων ασφαλούς λειτουργίας. Εάν δεν μπορέσει να αντιμετωπιστεί με τα κατάλληλα διορθωτικά μέτρα τότε θα υπάρχει κίνδυνος εξέλιξης του φαινομένου μέσω διαδοχικών αποκοπών στοιχείων.[50]

Τα μέτρα μετριασμού που εφαρμόζονται έχουν τα εξής:

- ✓ Την διαχείριση των ροών της ενέργειας.
- ✓ Τον έλεγχο της τάσης και της διαχείρισης της άεργου ισχύος που έχουν αναλυθεί παραπάνω.
- ✓ Για αποκλίσεις συχνότητας που ξεπερνούν τα 200 mHz για προκαθορισμένο χρόνο θα πρέπει να ενεργοποιηθούν τα μέτρα που προβλέπονται στην διαδικασία διαχείρισης αποκλίσεων συχνότητας.
- ✓ Στις περιπτώσεις «έκτακτης ανάγκης» ο Διαχειριστής ενεργοποιεί τον κατάλληλο συναγερμό και προβαίνει στις αναγκαίες ενέργειες εκδίδοντας τις απαραίτητες εντολές προς τους Χρήστες.
- ✓ Στην περίπτωση που οι παραπάνω ενέργειες δεν επαρκούν, τότε θα προβεί σε περικοπές φορτίου.

Πίνακας 10: Προληπτικά μέτρα και μέτρα μετριασμού επιπτώσεων

Προληπτικά μέτρα	Μέτρα Μετριασμού επιπτώσεων
Υφιστάμενα	Υφιστάμενα
<ul style="list-style-type: none"> • Ο ΑΔΜΗΕ ενημερώνεται έγκαιρα από ΓΓΠΠ, και είναι υπεύθυνος για: <ul style="list-style-type: none"> ➢ Αυξημένη ετοιμότητα Συστήματος ➢ Πρόβλεψη για τεχνικό προσωπικό άμεσης επέμβασης ➢ Εξασφάλιση περισσότερων / εναλλακτικών ηλεκτρικών δρόμων ➢ Ενημέρωση Σημαντικών Χρηστών Δικτύου ➢ Συνεργασία με ΔΕΔΔΗΕ ➢ Συνεργασία και ενημέρωση γειτονικών ΔΣΜ ➢ Έλεγχο ορθής λειτουργίας μηχανισμών έκτακτων αναγκών ➢ Σχεδιασμό δράσεων για περιορισμό επιπτώσεων 	<ul style="list-style-type: none"> • Ο ΑΔΜΗΕ εφαρμόζει κατάλληλα διορθωτικά μέτρα: <ul style="list-style-type: none"> • Διαχείριση ροών ενέργειας • Έλεγχος τάσης και ροών αέργου ισχύος • Διαδικασία διαχείρισης αποκλίσεων συχνότητας • Έκδοση εντολών προς τους Χρήστες • Εξασφάλιση πρόσθετης ενέργειας από διαθέσιμες μονάδες • Περιορίζει τη λειτουργία άντλησης • Πρόσθετη ισχύς μέσω διασυνδέσεων • Περικοπές φορτίου

7.2 Βελτίωση της Ενεργειακής Αποδοτικότητας στη Βιομηχανία Ηλεκτρικής Ενέργειας

Η βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας αντιμετωπίζει πληθώρα προκλήσεων καθώς προσπαθεί να προσαρμοστεί στην παγκόσμια πρόκληση της κλιματικής αλλαγής. Μία από τις κύριες προκλήσεις είναι η ανάγκη μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου (GHG), δεδομένου ότι ο κλάδος αντιπροσωπεύει ένα σημαντικό ποσοστό αυτών των εκπομπών σε πολλές χώρες. Επιπλέον, η αντιμετώπιση της αλλαγής του κλίματος απαιτεί από τη βιομηχανία να προσαρμοστεί στα ακραία καιρικά φαινόμενα, ενδεχομένως απαιτώντας αναβάθμιση του εξοπλισμού και νέες στρατηγικές λειτουργίας του συστήματος. Επιπλέον, η βιομηχανία πρέπει να συμμορφώνεται με τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς που σχετίζονται με τις εκπομπές της. Όλα αυτά συνδέονται με την ανάγκη εξισορρόπησης της αυξανόμενης ζήτησης με τη μείωση των εκπομπών, με έμφαση στην ενεργειακή αποδοτικότητα καθώς και την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και πυρηνικής παραγωγής. Ο αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής διαφέρει μεταξύ των χωρών και εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, κυρίως από το μείγμα του πάρκου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.[53]

Στην Ιταλία, έχουν ληφθεί διάφορα μέτρα για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής, συμπεριλαμβανομένης της μείωσης των εκπομπών GHG και της προώθησης των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ένας από τους στόχους της Ιταλίας είναι η μείωση των εκπομπών GHG κατά 33% έως το 2030 σε σχέση με τα επίπεδα του 2005. Επιπλέον, υιοθετεί πολιτικές που προάγουν τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως τα τιμολόγια τροφοδότησης και φορολογικά κίνητρα για επενδύσεις σε αυτές τις πηγές. Αποτέλεσμα αυτών των μέτρων είναι η σημαντική αύξηση του ποσοστού των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο μείγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, που ξεπέρασε το 40% το 2020.

Μελέτες έχουν επίσης διεξαχθεί για το ιταλικό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας, εστιάζοντας στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην παραγωγή

και τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτές οι μελέτες υπογραμμίζουν τη σημασία της λήψης υπόψη της αβεβαιότητας σχετικά με τα κλιματικά μοντέλα και τις μελλοντικές εκπομπές, καθώς και της εγγενούς κλιματικής δυναμικής κατά την αξιολόγηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα οι μελέτες αναπτύσσονται σε δύο μέρη. Πρώτον, αναλύουν τον αντίκτυπο της κλιματικής αλλαγής στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας των ευρωπαϊκών χωρών, από τα οποία εξάγονται τα δεδομένα για την Ιταλία. Στη συνέχεια, οι μελέτες εξηγούν και αναλύουν τα σενάρια που επεξεργάστηκε ο ιταλικός διαχειριστής του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (Terna) και φυσικού αερίου (Snam), σύμφωνα με τους στόχους που έχουν τεθεί από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και την ιταλική κυβέρνηση. Οι μελέτες συγκρίνουν τις δύο διαφορετικές απόψεις και υπογραμμίζουν τη σημασία της συνεκτίμησης των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας κατά την ανάπτυξη μελλοντικών σεναρίων.[55]

Στην Ευρώπη, έρευνες έχουν δείξει ότι η κλιματική αλλαγή μπορεί να έχει αντιφατικές επιπτώσεις στην επάρκεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Ενώ οι υψηλότερες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα μπορούν να μειώσουν τη ζήτηση, οι αλλαγές στα υδρολογικά πρότυπα μπορούν να αυξήσουν τις απώλειες ενέργειας. Η μελέτη αναδεικνύει τη σημασία της χωρικής ετερογένειας και της ανάγκης για περαιτέρω έρευνα στον τομέα αυτό.

Επιπλέον, αναπτύχθηκε μια νέα μέθοδος μετά-επεξεργασίας για την αξιολόγηση της επίδρασης της κλιματικής αλλαγής στην επάρκεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτή η μέθοδος λαμβάνει υπόψη τις αλλαγές στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και στα υδρολογικά πρότυπα παραγωγής, χρησιμοποιώντας τη μετρική Loss of Load Expectation (LOLE). Παρόλο που αυτή η μέθοδος είναι υποσχόμενη, επισημαίνει επίσης τις προκλήσεις στην αξιόπιστη μοντελοποίηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην επάρκεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για περαιτέρω έρευνα σε αυτόν τον τομέα.

Πιο αναλυτικά, σύμφωνα με έρευνες που έχουν γίνει για την Ευρώπη μας δείχνουν ότι:

- 1) η κλιματική αλλαγή μπορεί να μειώσει τις συνολικές ώρες LOLE (Loss of Load Expectation) στην Ευρώπη κατά περισσότερο από 50%, καθώς η ζήτηση θα μειωθεί σε μεγάλο βαθμό λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Ωστόσο, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις υδρολογικές συνθήκες τείνουν να αυξήσουν τις τιμές LOLE. Συνολικά, οι μελέτες δείχνουν τις τρέχουσες δυσκολίες για την αξιόπιστη μοντελοποίηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην επάρκεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας .
- 2) Οι παράγοντες που οδηγούν στην επάρκεια του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ικανότητα παραγωγής, τα πρότυπα ζήτησης, η δομή και η ικανότητα του δικτύου. Στη μεθοδολογία της ευρωπαϊκής μελέτης επάρκειας , οι χρονοσειρές ζήτησης παράγονται με τη χρήση ενός εργαλείου μοντελοποίησης που χρησιμοποιείται για μεσοπρόθεσμες μελέτες επάρκειας στον ENTSO-E. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας επηρεάζουν τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας και η μελέτη δείχνει ότι η κλιματική αλλαγή μπορεί να μειώσει τις συνολικές ώρες LOLE στην Ευρώπη κατά περισσότερο από 50% λόγω της μείωσης της ζήτησης που προκαλείται από τις υψηλότερες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Ωστόσο, οι μελέτες MAF δεν λαμβάνουν επί του παρόντος υπόψη περιφερειακές ή ιδιαίτερα λεπτομερείς τιμές της θερμοκρασίας, αλλά χρησιμοποιούν συγκεντρωτικά και σταθμισμένα ως προς τον πληθυσμό δεδομένα ομαδοποιημένα ανά ζώνη αγοράς. Ως εκ τούτου, η μελέτη υποδηλώνει ότι η τρέχουσα μοντελοποίηση των προτύπων φορτίου και της εξέλιξής τους σε συγκεντρωτικό επίπεδο παραμελεί τη χωρική ετερογένεια της αύξησης του φορτίου και άλλους παράγοντες που επηρεάζουν, όπως η διάχυση της τεχνολογίας ή οι αλλαγές πολιτικής.[54]

7.2.1 Στρατηγικές αντιμετώπισης

Είναι γνωστό ότι απαιτούνται νέες στρατηγικές λειτουργικών συστημάτων για την προσαρμογή στα μεταβαλλόμενα καιρικά πρότυπα και στα ακραία καιρικά φαινόμενα που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή. Μια σημαντική πτυχή αυτής της προσαρμογής αφορά την αναβάθμιση του ηλεκτρικού δικτύου και την υιοθέτηση νέων τεχνολογιών και στρατηγικών. Ας εξετάσουμε τέσσερις κύριες στρατηγικές:

Μικροδικτύων: Μια τέτοια στρατηγική είναι η χρήση μικροδικτύων, τα οποία είναι συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας μικρής κλίμακας που μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα από το κύριο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτά τα μικροδίκτυα μπορούν να συμβάλουν στη βελτίωση της αξιοπιστίας και της ανθεκτικότητας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας παρέχοντας εφεδρική ισχύ κατά τη διάρκεια διακοπών ρεύματος και άλλων καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Επιπλέον, τα μικροδίκτυα μπορούν να ενσωματώνουν ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια, προσφέροντας μια πιο βιώσιμη εναλλακτική λύση. Τα μικροδίκτυα βασίζονται σε συστήματα συμπαραγωγής, άλλες γεννήτριες όπως μικροτουρμπίνες, κυψέλες καυσίμου, παλινδρομικούς κινητήρες και ελεγχόμενα φορτία. Οι γεννήτριες είναι μικρής χωρητικότητας και συχνά παράγουν χαμηλές εκπομπές GHG. Το μικροδίκτυο θα παρέχει ενέργεια και επίσης θερμότητα, βελτιώνοντας τη συνολική απόδοση του συστήματος μέσα στο μικροδίκτυο.

Νησιδοποίηση: Μια άλλη στρατηγική είναι η χρήση της νησιδοποίησης, η οποία περιλαμβάνει την απομόνωση τμημάτων του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας από το κύριο δίκτυο κατά τη διάρκεια καταστάσεων έκτακτης ανάγκης για την αποφυγή αλυσιδωτών βλαβών και διακοπών ρεύματος. Αυτή η στρατηγική είναι κρίσιμη για τη διατήρηση της αξιοπιστίας του συστήματος και την αποφυγή εκτεταμένων διακοπών ρεύματος κατά τη διάρκεια ακραίων καιρικών συνθηκών.

Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας: Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια μειώνει την εξάρτηση από τις παραδοσιακές πηγές ενέργειας και ενισχύει την αειφορία του συστήματος. Επιπλέον, η χρήση αποθήκευσης ενέργειας, όπως μπαταρίες, σε συνδυασμό με ανανεώσιμες πηγές, μπορεί να βελτιώσει την αξιοπιστία και τη διαθεσιμότητα ενέργειας κατά τη διάρκεια καταστάσεων έκτακτης ανάγκης. Επίσης η ανάπτυξη νέων στρατηγικών λειτουργίας του συστήματος, όπως αλλαγές στην κατανομή του συστήματος και στις διαμορφώσεις του δικτύου, για την καλύτερη αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Συνολικά, μπορούμε να τονίσουμε την ανάγκη για νέες στρατηγικές λειτουργίας του συστήματος που μπορούν να βελτιώσουν την αξιοπιστία, την ανθεκτικότητα και την αποδοτικότητα του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας ενόψει της κλιματικής αλλαγής.

Πυρηνική ενέργεια: Η πυρηνική ενέργεια αναδεικνύεται ως ο τομέας με το μεγαλύτερο ποσοστό σχεδιαζόμενης παραγωγής ενέργειας. Υποστηρίζεται όλο και περισσότερο ως εναλλακτική φιλική προς το περιβάλλον λύση και την υποστηρίζουν πολλοί φορείς, συμπεριλαμβανομένων ορισμένων περιβαλλοντικών ομάδων και πολιτικών οργανώσεων. Πολλές εταιρείες εξετάζουν την πυρηνική ενέργεια ως εναλλακτική επιλογή. Επιπλέον, ορισμένες χώρες εξετάζουν την κατασκευή νέων πυρηνικών αντιδραστήρων και άλλες σκέφτονται την κατασκευή επιπλέον αντιδραστήρων. Η τεχνολογία του πυρηνικού αντιδραστήρα με πετρελαιοσφαίριση πυριτίου (PBMR), που είναι πιο οικονομική στην κατασκευή και ασφαλέστερη από προηγούμενες σχεδιάσεις, έχει μια επεκτεινόμενη διάρκεια ζωής 60 ετών. Έχει προταθεί επίσης η χρήση της θερμότητας από ορισμένα πυρηνικά εργοστάσια για την παραγωγή υδρογόνου. Παγκοσμίως, υπάρχουν σε εξέλιξη συνολικά 25 αντιδραστήρες, ενώ ακόμη 24 υπόκεινται σε ανακαίνιση. Αν και έχει αναγνωριστεί ότι η εξόρυξη ουρανίου έχει ως αποτέλεσμα εκπομπές CO₂, δεν είναι σαφές εάν αυτή η μορφή εξόρυξης είναι πιο επιβλαβής για το περιβάλλον από την εξόρυξη ισοδύναμης ποσότητας άνθρακα.

Επιχειρήσεις και βιομηχανίες εκμεταλλευόμενες τις προκλήσεις που προκύπτουν από την παγκόσμια κλιματική αλλαγή προσπαθούν να αυξήσουν το μερίδιο της αγοράς τους. Μερικά παραδείγματα είναι τα εξής:

Χρηματοπιστωτική Βιομηχανία: Ορισμένα οικονομικά ιδρύματα δημιουργούν χαρτοφυλάκια μειωμένων εκπομπών άνθρακα για επενδυτές. Για παράδειγμα, η Ευρωπαϊκή Τράπεζα για την Ανοικοδόμηση και η Dexia Group ανακοίνωσαν ένα κεφάλαιο που θα επενδύει σε έργα ενεργειακής απόδοσης, συμπεριλαμβανομένης της θέρμανσης και της ενέργειας.

Μεγάλες Εταιρείες: Μεγάλες εταιρείες όπως η Morgan Stanley προβαίνουν σε σημαντικές επενδύσεις σε πιστώσεις άνθρακα και μείωση εκπομπών, ύψους περίπου 3 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Αυτές οι εταιρείες σκοπεύουν να πουλήσουν πιστώσεις άνθρακα σε εταιρείες που πρέπει να μειώσουν τις εκπομπές τους για να συμμορφωθούν με διεθνείς συμφωνίες, όπως το Πρωτόκολλο του Κιότο.

Αγαθά και Υπηρεσίες: Πολλοί τομείς προσφέρουν αγαθά και υπηρεσίες άνθρακα-ουδέτερα στους καταναλωτές. Για παράδειγμα, η DHL κυκλοφόρησε την υπηρεσία "GoGreen," μια υπηρεσία παράδοσης άνθρακα-ουδέτερη, που υποσχέθηκε ότι θα χρησιμοποιεί εναλλακτικές και ανανεώσιμες τεχνολογίες για να αντισταθμίσει τις εκπομπές CO₂ που συνδέονται με τη μεταφορά και την παράδοση.

Επιχειρηματικές Πρωτοβουλίες: Επιχειρήσεις όπως η HSBC και η Aniva καταβάλλουν προσπάθειες για να γίνουν άνθρακα-ουδέτερες. Η HSBC, ως η μεγαλύτερη τράπεζα στον κόσμο, ανακοίνωσε ένα πρόγραμμα περιλαμβανομένης μείωσης της χρήσης ενέργειας, αυξημένων αγορών πράσινης ενέργειας και πιστώσεων άνθρακα για να επιτύχει την άνθρακα-ουδετερότητα εντός τριών ετών. Η Aniva σχεδιάζει επενδύσεις στην παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας και την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης.

Συνεργασίες: Εταιρείες όπως η GE και η AES Corporation έχουν δημιουργήσει συνεργασίες με στόχο τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Οι

εταιρείες αυτές σκοπεύουν να επιδιώξουν από κοινού μειώσεις στο μεθάνιο και τις εκπομπές άνθρακα, καθώς και την παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας.

Προϊόντα για την Ενεργειακή Απόδοση: Ορισμένες εταιρείες, όπως η DuPont, προωθούν υλικά κατασκευής θερμικής μάζας που βοηθούν σταθεροποιώντας τη θερμοκρασία των χώρων και μειώνοντας την ανάγκη για κλιματισμό και θέρμανση. Τα υλικά αυτά προωθούνται ως τεχνολογία που επιτρέπει την κατασκευή πιο βιώσιμων και ενεργειακά αποδοτικών κτιρίων.

Εναλλακτικά Καύσιμα: Η εστίαση στα εναλλακτικά καύσιμα οδηγεί στον σχεδιασμό και την κατασκευή πολλών εργοστασίων παραγωγής βιοκαυσίμων, όπως ένα στο Μισισιπή, το οποίο μπορεί να παράγει 6.000 γαλόνια βιοκαυσίμου την ημέρα.

Βιομηχανία Αυτοκινήτων: Εταιρείες όπως η Honda επενδύουν σε πιο φιλικά προς το περιβάλλον οχήματα. Η νέα εργοστασιακή μονάδα της Honda αναμένεται να παράγει οχήματα με πολύ λιγότερες εκπομπές CO₂ σε σύγκριση με το επίπεδο του 2000, ενώ παράλληλα θα παράγει 200.000 οχήματα ετησίως.

Αποθήκευση CO₂: Παράλληλα, επιχειρήσεις παραγωγής ενέργειας εξετάζουν την αιχμαλώτιση και την αποθήκευση του CO₂, καθώς και τις επιπτώσεις της χρήσης νέων τεχνολογιών αποθήκευσης. Πραγματοποιούνται διάφορα προγράμματα και εργασίες που εξετάζουν την πρακτική αυτή, καθώς και τις προσπάθειες για αποθήκευση CO₂ σε βάθος στον εδαφικό υδροφόρο ορίζοντα στην Καλιφόρνια και σε άλλες τοποθεσίες σε παγκόσμιο επίπεδο.

Κεφάλαιο 8^ο : Συμπεράσματα

Τα ακραία καιρικά φαινόμενα θέτουν σημαντικές προκλήσεις για τη σταθερότητα και την αξιοπιστία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Η παρούσα ανάλυση εξετάζει τους διάφορους τρόπους με τους οποίους τα ακραία καιρικά φαινόμενα, συμπεριλαμβανομένων των υψηλών θερμοκρασιών, των τυφώνων, των πλημμυρών, των πυρκαγιών, των παγετώνων και άλλων, μπορούν να επηρεάσουν την υποδομή του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Με την κατανόηση αυτών των επιπτώσεων, μπορούμε να προετοιμαστούμε καλύτερα για μελλοντικές προκλήσεις που σχετίζονται με το κλίμα και να αναπτύξουμε στρατηγικές για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Τα ακόλουθα συμπεράσματα υπογραμμίζουν τα βασικά ευρήματα της έρευνας.

Οι μετασχηματιστές και οι γραμμές μεταφοράς ενέργειας είναι ιδιαίτερα ευάλωτοι στην υψηλή θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος. Οι συνεχείς ακραίες θερμοκρασίες μπορούν να οδηγήσουν σε εκτροχιασμούς, μικρότερη διάρκεια ζωής και απότομη αστοχία αυτών των εξαρτημάτων. Η απόδοση και η μέγιστη χωρητικότητα των μετασχηματιστών ισχύος παρουσιάζουν γραμμική σχέση με ποικίλες κλίσεις. Η μέση ισχύς εξόδου μειώνεται κατά 0,7% έως 1% ανά αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά 1°C. Επιπλέον, η έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες επιταχύνει τη διαδικασία γήρανσης της μόνωσης των μετασχηματιστών, οδηγώντας τελικά σε αστοχία.

Οι τυφώνες και τα κύματα καταιγίδων μπορούν να προκαλέσουν σημαντικές ζημιές στα συστήματα μεταφοράς και διανομής. Έχουν αναπτυχθεί καμπύλες ευθραυστότητας για να χαρακτηριστεί η σχέση μεταξύ της ταχύτητας του ανέμου και των συνεπαγόμενων διακοπών ρεύματος. Η αναβάθμιση των ευάλωτων υποσταθμών μεταφοράς ώστε να αντέχουν σε πλημμύρες 1.000 ετών έχει καταστεί ζωτικής σημασίας. Επιπλέον, το βάθος της πλημμύρας παίζει σημαντικό ρόλο στον καθορισμό των ζημιών στους υποσταθμούς και τα κυκλώματα διανομής. Οι προσπάθειες για την αξιολόγηση και τον μετριασμό

των κινδύνων των υπόγειων συστημάτων μεταφοράς και διανομής από τις πλημμύρες και την άνοδο της στάθμης της θάλασσας συνεχίζονται.

Οι μεγάλες πυρκαγιές μπορεί να έχουν επιζήμιες επιπτώσεις στις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και στις υποστηρικτικές κατασκευές. Η άμεση καταστροφή των γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας που υποστηρίζονται από ξύλινους στύλους είναι πιο συχνή κατά τη διάρκεια πυρκαγιών. Επιπλέον, η θερμότητα, ο καπνός και τα αιωρούμενα σωματίδια από τις πυρκαγιές μπορούν να επηρεάσουν την ικανότητα μεταφοράς, ακόμη και χωρίς φυσικές ζημιές. Η συσσώρευση αιθάλης στους μονωτήρες δημιουργεί αγώγιμα μονοπάτια, οδηγώντας σε ρεύματα διαρροής και πιθανές διακοπές της γραμμής. Η δημιουργία τόξου μεταξύ των γραμμών ή μεταξύ των γραμμών και του εδάφους μπορεί να συμβεί λόγω του ιονισμένου αέρα στον καπνό. Το επιβραδυντικό πυρκαγιάς από αεροσκάφη μπορεί επίσης να μειώσει τη χωρητικότητα των γραμμών.

Οι παγετώδεις καταιγίδες παρουσιάζουν προκλήσεις, καθώς ο πάγος συσσωρεύεται στις γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας, αυξάνοντας την πίεση και την πιθανότητα θραύσης της γραμμής. Το βάρος του πάγου κατά τη διάρκεια τέτοιων καταιγίδων μπορεί να προκαλέσει παρατεταμένες διακοπές ρεύματος, συγκρίσιμες με τις ζημιές που προκαλούν οι τυφώνες. Οι ερευνητές έχουν αναπτύξει μοντέλα και δείκτες για την εκτίμηση του πάχους της ακτινικής συσσώρευσης πάγου και την κατηγοριοποίηση της σοβαρότητας των ζημιών με βάση τη συσσώρευση πάγου, τη συνολική βροχόπτωση και την ταχύτητα του ανέμου.

Η κατανόηση των επιπτώσεων των ακραίων καιρικών φαινομένων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας είναι ζωτικής σημασίας για την ενίσχυση της ανθεκτικότητάς του. Είναι προφανές ότι είναι απαραίτητος ο ολοκληρωμένος σχεδιασμός και οι επενδύσεις σε αναβαθμίσεις υποδομών για τον μετριασμό των τρωτών σημείων που εκτίθενται από τις ακραίες καιρικές συνθήκες. Η εφαρμογή μέτρων όπως η ενίσχυση των συστημάτων μεταφοράς και διανομής, η βελτίωση των συστημάτων μόνωσης και ψύξης για τους μετασχηματιστές, η

υιοθέτηση ανθεκτικών σχεδίων για τους υποσταθμούς και η συνεκτίμηση των παραγόντων που σχετίζονται με το κλίμα κατά την ανάπτυξη των υποδομών αποτελούν βασικά βήματα.

Ενώ έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στην κατανόηση των επιπτώσεων των ακραίων καιρικών φαινομένων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, υπάρχουν τομείς που απαιτούν περαιτέρω έρευνα. Η ανάπτυξη ολοκληρωμένων καμπυλών ευθραυστότητας για υπόγειες γραμμές, η διερεύνηση καινοτόμων τεχνολογιών για τη βελτίωση της ανθεκτικότητας του δικτύου και η αξιολόγηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ πολλαπλών ακραίων καιρικών φαινομένων είναι ζωτικής σημασίας για την ενίσχυση της ετοιμότητάς μας. Η συνεργασία μεταξύ εταιρειών κοινής ωφέλειας, ερευνητών και φορέων χάραξης πολιτικής είναι απαραίτητη για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών και σχεδίων αντιμετώπισης.

Η ενσωμάτωση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια μειώνει την εξάρτηση από παραδοσιακές πηγές ενέργειας και ενισχύει τη βιωσιμότητα του συστήματος. Η πυρηνική ενέργεια αναδεικνύεται ως ο κλάδος με το μεγαλύτερο ποσοστό προγραμματισμένης παραγωγής ενέργειας. Επιπλέον, η αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής απαιτεί από τη βιομηχανία να προσαρμοστεί σε ακραία καιρικά φαινόμενα, που ενδεχομένως απαιτούν αναβαθμίσεις εξοπλισμού και νέες στρατηγικές λειτουργίας του συστήματος. Μία από τις κύριες προκλήσεις είναι η ανάγκη μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, καθώς ο κλάδος αντιπροσωπεύει σημαντικό ποσοστό αυτών των εκπομπών σε πολλές χώρες. Όλα αυτά συνδέονται με την ανάγκη εξισορρόπησης της αυξανόμενης ζήτησης με τη μείωση των εκπομπών, με έμφαση στην ενεργειακή απόδοση καθώς και στην ανάπτυξη της ανανεώσιμης ενέργειας και της πυρηνικής παραγωγής. Η βιομηχανία ηλεκτρικής ενέργειας αντιμετωπίζει ένα πλήθος προκλήσεων καθώς προσπαθεί να προσαρμοστεί στην παγκόσμια πρόκληση της κλιματικής αλλαγής. Ο αντίκτυπος της κλιματικής αλλαγής ποικίλλει μεταξύ των χωρών και εξαρτάται

από πολλούς παράγοντες, κυρίως από το μείγμα του πάρκου παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Συμπερασματικά, τα ακραία καιρικά φαινόμενα έχουν σημαντικές επιπτώσεις στη σταθερότητα και την αξιοπιστία του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Είναι επιτακτική ανάγκη να δοθεί προτεραιότητα σε μέτρα ενίσχυσης της ανθεκτικότητας, να επενδυθούν σε αναβαθμίσεις υποδομών και να προωθηθεί η συνεργασία για τον μετριασμό των επιπτώσεων των ακραίων καιρικών φαινομένων στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας. Με τον τρόπο αυτό, μπορούμε να διασφαλίσουμε μια πιο ανθεκτική και αξιόπιστη παροχή ηλεκτρικής ενέργειας ενόψει της αλλαγής του κλίματος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]: 'Οικονομική λειτουργία συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας', Αναστασίου Γ. Μπακίρτζη, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, ISBN: 960-431-452-1.
- [2]: GAO, Climate change: Energy infrastructure risks and adaptation efforts, 2014. <https://www.gao.gov/products/GAO-14-74>.
- [3]: Dumas M, Kc B, Cunliff CI. Extreme weather and climate vulnerabilities of the electric grid: a summary of environmental sensitivity quantification methods. Oak Ridge National Lab.(ORNL), Oak Ridge, TN (United States); 2019 Aug 1.
- [4]: Sánchez-Muñoz D, Domínguez-García JL, Martínez-Gomariz E, Russo B, Stevens J, Pardo M. Electrical grid risk assessment against flooding in Barcelona and Bristol cities. Sustainability. 2020 Feb 18;12(4):1527.
- [5] : Μοχιανάκης Καραμπατζάκης Α. Ενίσχυση ανθεκτικότητας συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας έναντι ακραίων καιρικών φαινομένων με επιλεκτική υπογειοποίηση γραμμών μεταφοράς., 2021
- [6]: Panteli M, Mancarella P. Influence of extreme weather and climate change on the resilience of power systems: Impacts and possible mitigation strategies. Electric Power Systems Research. 2015 Oct 1;127:259-70.
- [7]: McSweeney, C, M New and G Lizcano (2006), UNDP Climate Change Country Profiles: Ghana, United Nations Development Programme, New York.
- [8]: Stanturf, J A, M L Warren, Jr., S Charnley, S C Polasky, S L Goodrick, F Armah and Y A Nyako (2011), Ghana Climate Change Vulnerability and Adaptation Assessment, Report prepared for USAID, available at <https://www.climatelinks.org/resources/ghanacclimate-change-vulnerability-and-adaptationassessment>.
- [9]: Codjoe, S N A and G Owusu (2011), "Climate change/ variability and food systems: evidence from the Afram Plains, Ghana", Regional Environmental Change Vol 11, pages 753–765.
- [10]: Kayaga SM, Amankwaa EF, Gough KV, Wilby RL, Abarike MA, Codjoe SN, Kasei R, Nabilse CK, Yankson PW, Mensah P, Abdullah K. Cities and extreme weather events: impacts of flooding and extreme heat on water and electricity services in Ghana. Environment and Urbanization. 2021 Apr;33(1):131-50.
- [11]: https://www.oe.netl.doe.gov/hurricanes_emer/katrina.aspx , Πρόσβαση στις: 15/04/2023

[12]: http://www.emy.gr/emv/el/climatology/climatology_extreme , Πρόσβαση στις 15/04/2023

[13]: M. Panteli and P. Mancarella, "Modelling and Evaluating the Resilience of Critical Electrical Power Infrastructure to Extreme Weather Events," IEEE Systems Journal, Early access, 2015.

[14]: C. S. Holling, "Resilience and Stability of Ecological Systems," Annual Review of Ecology and Systematics, vol. 4, pp. 1-23, 1973.

[15]: National Infrastructure Advisory Council (NIAC), "A Framework for Establishing Critical Infrastructure Resilience Goals," USA, 2010.

[16]: Cabinet Office, "Keeping the Country Running: Natural Hazards and Infrastructure," UK, 2011

[17]: UK Energy Research Center (UKERC), "Energy 2050 project," 2009.

[18]: M. Chaudry, P. Ekins, K. Ramachandran, A. Shakoor, J. Skea, G. Strbac, et al., "Building a Resilient UK Energy System," 2011.

[19]: M. R. Bhuiyan and R. N. Allan, "Inclusion of weather effects in composite system reliability evaluation using sequential simulation," IEE Proc. Gen., Trans. and Distr., vol. 141, no. 6, pp. 575-584, 1994.

[20]: Y. Liu and C. Singh, "Evaluation of hurricane impact on composite power system reliability considering common-cause failures," Int. J. of Syst. Ass. Eng. and Management, vol. 1, no. 2, pp. 135-145, 2010.

[21]: R. Francis and B. Bekera, "A metric and frameworks for resilience analysis of engineered and infrastructure systems," Reliability Engineering & System Safety, vol. 121, pp. 90-103, 2014

[22]: D. Henry and J. Emmanuel Ramirez-Marquez, "Generic metrics and quantitative approaches for system resilience as a function of time," Rel. Eng. & Syst. Safety, vol. 99, pp. 114-122, 2012.

[23]: A. Kwasinski, "Quantitative Model and Metrics of Electrical Grids' Resilience Evaluated at a Power Distribution Level," Energies, vol. 9, no. 2, 2016.

[24]: S. M. Rinaldi, J. P. Peerenboom, and T. K. Kelly, "Identifying, understanding, and analyzing critical infrastructure interdependencies," IEEE Control Systems, , vol. 21, no. 6, pp. 11-25, 2001.

[25]: G. Andersson, P. Donalek, R. Farmer, N. Hatziaargyriou, I. Kamwa, P. Kundur, et al., "Causes of the 2003 major grid blackouts in North America and Europe, and

recommended means to improve system dynamic performance," IEEE Trans. Power Syst. vol. 20, no. 4, pp. 1922-1928,

[26]: P. Hines, J. Apt, and S. Talukdar, "Large Blackouts in North America: Historical Trends and Policy Implications," Energy Policy, vol. 37, pp. 5249-5259, 2009.

[27]: Y. Wang, C. Chen, J. Wang, and R. Baldick, "Research on Resilience of Power Systems Under Natural Disasters - A Review," IEEE Trans. Power Syst., vol. 31, no. 2, pp. 1604-1613, 2016.

[28]: Ochoń P, Rerak M, Rao RV, Cisek P, Vallati A, Jakubek D, Rozegnał B. Multiobjective optimization of underground power cable systems. Energy. 2021 Jan 15;215:119089.

[29]: Metwally IA, Al-Badi AH, Al Farsi AS. Factors influencing ampacity and temperature of underground power cables. Electrical Engineering. 2013 Dec;95:383-92.

[30]: Ochoń P, Cisek P, Rerak M, Taler D, Rao RV, Vallati A, Pilarczyk M. Thermal performance optimization of the underground power cable system by using a modified Jaya algorithm. International Journal of Thermal Sciences. 2018 Jan 1;123:162-80.

[31]: Hruška M, Clauser C, De Doncker RW. Influence of dry ambient conditions on performance of underground medium-voltage DC cables. Applied Thermal Engineering. 2019 Feb 25;149:1419-26.

[32]: Rerak M, Ochoń P. Thermal analysis of underground power cable system. Journal of Thermal Science. 2017 Oct;26:465-71.

[33]: Ηλιοπούλου, Γ., 2019. Υπογειοποίηση καλωδίων υψηλής και υπερυψηλής τάσης με χρήση λογισμικού γεωγραφικών πληροφοριακών συστημάτων και έμφαση στους γεωκινδύνους.

[34]: Faq: How much electricity is lost in transmission and distribution in the united states?, 2017. <https://www.eia.gov/tools/faqs/faq.php?id=105&t=3>.

[35]: Sathaye J, Dale L, Larsen P, Fitts G, Koy K, Lewis S, Lucena A. Estimating risk to California energy infrastructure from projected climate change.

[36]: Zamuda C, Mignone B, Bilello D, Hallett KC, Lee C, Macknick J, Newmark R, Steinberg D. US energy sector vulnerabilities to climate change and extreme weather. Department of Energy Washington DC; 2013 Jul 1.

[37]: M. Allen, S. Fernandez, O. Omitaomu, and K. Walker, Application of hybrid geo-spatially granular fragility curves to improve power outage predictions, *Journal of Geography and Natural Disasters*, 4 (2014).

[38]: Entergy, Entergy hurricane hardening study, tech. rep., New Orleans, LA: Entergy, Inc., 2007.

[39]: U.s. energy sector vulnerabilities to climate change and extreme weather, tech. rep., U.S. Department of Energy, July 2013.

[40]: K. L. Hall, Out of sight, out of mind: An updated study on the undergrounding of overhead power lines, Edison Electric Institute, EEI, January, (2013).

[41]: M. Choobineh, B. Ansari, and S. Mohagheghi, Vulnerability assessment of the power grid against progressing wildfires, *Fire Safety Journal*, 73 (2015), pp. 20–28.

[42]: M. Choobineh and S. Mohagheghi, Power grid vulnerability assessment against wildfires using probabilistic progression estimation model, in *Power and Energy Society General Meeting (PESGM)*, 2016, IEEE, 2016, pp. 1–5.

[43]: EIA, Annual energy review, 2017.

<https://www.eia.gov/totalenergy/data/annual/#consumption>.

[44]: M. Auffhammer, A. Aroonruengsawat, and B. University of California, Hotspots of climate-driven increases in residential electricity demand: A simulation exercise based on household level billing data for California, California Energy Commission, 2012.

[45]: J. Biddle, Explaining the spread of residential air conditioning, 1955–1980, *Explorations in Economic History*, 45 (2008), pp. 402–423.

[46]: D. J. Sailor and A. Pavlova, Air conditioning market saturation and long-term response of residential cooling energy demand to climate change, *Energy*, 28 (2003), pp. 941–951.

[47]: D. Rapson, Durable goods and long-run electricity demand: Evidence from air conditioner purchase behavior, *Journal of Environmental Economics and Management*, 68 (2014), pp. 141–160.

http://www.econ.ucdavis.edu/faculty/dsrapson/Rapson_LR_electricity.pdf.

[48]: M. Auffhammer, P. Baylis, and C. H. Hausman, Climate change is projected to have severe impacts on the frequency and intensity of peak electricity demand across the united states, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, (2017), p. 201613193.

[49]: M. Panteli, P. A. Crossley, D. S. Kirschen, and D. J. Sobajic, "Assessing the Impact of Insufficient Situation Awareness on Power System Operation," IEEE Trans. Power Syst., vol. 28, no. 3, pp. 2967- 2977, 2013.

[50]: Έκθεση Βιώσιμης Ανάπτυξης 2021.

<https://www.admie.gr/sites/default/files/inline-files/ekthesi-biosimis-anaptuksis-2021.pdf>.

[51]: M. Panteli, C. Pickering, S. Wilkinson, R. Dawson, and P. Mancarella, "Power System Resilience to Extreme Weather: Fragility Modelling, Probabilistic Impact Assessment, and Adaptation.

[52]: Σχέδιο Ετοιμότητας Αντιμετώπισης Κινδύνων στον τομέα του ηλεκτρισμού της Ελλάδας. <https://www.rae.gr/wp-content/uploads/2022/08/Σχέδιο-Ετοιμότητας-Αντιμετώπισης-Κινδύνων-Ηλεκτρισμός.pdf>.

[53]: The Electric Power Industry and Climate Change: Power Systems Research Possibilities Final Project White Paper

[54]: [Incorporating climate change effects into the European power system adequacy assessment using a post-processing method - ScienceDirect](#)

[55]: Article Assessment of the Impacts of Climate Change on Power Systems: The Italian Case Study Giuseppe Marco Tina and Claudio F. Nicolosi

[56]: <https://www.fire.ca.gov/incidents/2019/>

[57]: https://en.wikipedia.org/wiki/2019_California_wildfires

[58]: https://www.climatechangeinaustralia.gov.au/media/ccia/2.2/cms_page_media/732/ESC1%20Case%20Study%205_Bushfire%20risk%20to%20distribution%20120721.pdf

[59]: https://forms2.rms.com/rs/729-DJX-565/images/fl_2002_central_europe_flooding.pdf

[60]: [1145_ewheatwave.en.pdf](#)

[61]: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3441151/>

[62]: https://forms2.rms.com/rs/729-DJX-565/images/fl_2002_central_europe_flooding.pdf

[63]: <https://www.internetgeography.net/topics/typhoon-haiyan-case-study/>