



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών
προβλέψεων με χρήση ανοιχτών
προγραμματιστικών διεπαφών για την
πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΕΡΓΙΟΣ Ν. ΜΠΑΤΣΑΣ

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

**Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών
προβλέψεων με χρήση ανοιχτών
προγραμματιστικών διεπαφών για την
πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΕΡΓΙΟΣ Ν. ΜΠΑΤΣΑΣ

Επιβλέπων : Δημήτριος Ασκούνης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 9^η Νοεμβρίου 2023

.....
Δημήτριος Ασκούνης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΗΜΜΥ Ε.Μ.Π.

.....
Χρυσόστομος Δούκας

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΗΜΜΥ Ε.Μ.Π.

.....
Ιωάννης Ψαρράς

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

ΗΜΜΥ Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Νοέμβριος 2023

.....
Σέργιος Ν. Μπάτσας

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Σέργιος Ν. Μπάτσας, 2023.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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 τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πραγματεύεται το ζήτημα της συλλογής μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας. Αναλύθηκαν οι διαφορετικοί τρόποι πρόβλεψης του καιρού και τελικά έγινε χρήση των αριθμητικών μοντέλων πρόβλεψης. Αυτά χωρίζονται σε παγκόσμια και περιφερειακά όπου και αναλύθηκαν και τελικώς επιλέχθηκαν κάποια από την κάθε κατηγορία. Στη συνέχεια, η μελέτη πέρασε στην πρόβλεψη της παραγωγής και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Οι μέχρι τώρα μέθοδοι για την πρόβλεψη ενέργειας κάνουν χρήση ιστορικών καιρικών δεδομένων και όχι ιστορικών καιρικών προβλέψεων. Με αυτό τον τρόπο τα μοντέλα που εκπαιδεύονται πάνω στην πρόβλεψη των ενεργειακών μεγεθών, δεν λαμβάνουν τα βέλτιστα δεδομένα με αποτέλεσμα να μην παράγουν και τα σωστά αποτελέσματα. Οι μέχρι τώρα λύσεις για το πρόβλημα αυτό είναι είτε πολύ ακριβές είτε πολύ περιορισμένες σε διαθεσιμότητα σημείων και χρονικού ορίζοντα είτε κλειστού τύπου. Για τον λόγο αυτό, ξεκίνησε η έρευνα στις διαφορετικές μεθόδους και εντοπίστηκαν οι μεταβλητές που απαιτείται να συλλεχθούν για να γίνει η πρόβλεψη με μεγαλύτερη ακρίβεια. Επιπλέον, αναζητήθηκαν πηγές που να διαθέτουν ανοιχτές προγραμματιστικές διεπαφές από τις οποίες και θα συλλέγουμε τα καιρικά δεδομένα. Στο πρακτικό κομμάτι της εργασίας, αναπτύχθηκε μια ανοιχτού τύπου εφαρμογή η οποία χωρίζεται σε πέντε επιμέρους εφαρμογές όλες συνδεδεμένες μεταξύ τους. Με χρήση διάφορων εργαλείων, αναπτύχθηκε μία διεπαφή χρήστη για αλληλεπίδραση με τα σημεία ενδιαφέροντος για συλλογή των καιρικών δεδομένων. Τα μεν σημεία αυτά αποθηκεύονται σε μία σχεσιακή βάση δεδομένων ενώ τα δε καιρικά δεδομένα σε μία άλλη βάση δεδομένων χρονοσειρών. Για την πρόσβαση στα δεδομένα αυτά αναπτύχθηκε μια ανοιχτή Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογής (API) μέσω της οποίας μπορεί να γίνει και διασύνδεση με άλλες εφαρμογές. Η συλλογή και αποθήκευση των καιρικών δεδομένων εκτελείται μέσω μίας εφαρμογής όπου και αυτοματοποιεί την ροή αυτή και την εκτελεί αφού κάνει τους απαραίτητους ελέγχους όποτε χρειάζεται. Η τελική ανάπτυξη έγινε με χρήση του εργαλείου Docker κάνοντας όλο το σύστημα να μπορεί να αναπτυχθεί και να χρησιμοποιηθεί πολύ εύκολα από κάθε χρήστη.

Λέξεις κλειδιά:

Πρόβλεψη ενέργειας, Μετεωρολογικές προβλέψεις, Βάσεις δεδομένων χρονοσειρών, Python, Flask, FastAPI, Dagster, Docker

Abstract

This thesis addresses the issue of collecting meteorological forecasts using open programming interfaces for predicting electrical energy quantities. It analyzes different weather forecasting methods, ultimately utilizing numerical prediction models, categorized into global and regional, from which selections were made for each category. The study then transitioned to predicting electricity production and demand, investigating various methods and identifying variables needed for more accurate forecasting. Furthermore, sources with open programming interfaces were sought for weather data collection. Practically, an application comprising five interconnected sub-applications was developed, with tools to create a user interface for interacting with data collection points, which are stored in a relational database, while weather data is stored in a separate time series database. An open Application Programming Interface (API) was developed for data access, allowing integration with other applications. Data collection and storage are automated through an application that also conducts necessary checks as needed. The final development was done using Docker, allowing easy deployment and use by any user.

Key words:

Energy predictions, Weather forecasts, Timeseries Databases, Python, Flask, FastAPI, Dagster, Docker

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο της απόκτησης του διπλώματος του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Θα ήθελα πρωτίστως να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής μου, καθηγητή Δημήτριο Ασκούνη για την ευκαιρία που μου έδωσε, την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αλλά και την καθοδήγησή του .

Επίσης, οφείλω ένα ιδιαίτερο ευχαριστώ στους Σωτήρη Πελέκη και Βαγγέλη Καρακόλη για τις πολύτιμες συμβουλές τους και την βοήθεια που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της έρευνας και συγγραφής της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας, μέσα από ποικίλες επικοινωνιακές συζητήσεις.

Επιπλέον, στους καθηγητές που είχα ανά τα εξάμηνα και που με τις γνώσεις που μου μεταλαμπάδευσαν κατέστη εφικτή η διεκπεραίωση και η επιτυχής ολοκλήρωση των προπτυχιακών σπουδών μου. Τους συμφοιτητές και τους φίλους μου που έκαναν αυτό το ταξίδι γνώσεων, συναρπαστικό και αξέχαστο.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για την στήριξη και την αγάπη που μου παρείχε χωρίς ποτέ να σταματήσει να πιστεύει σε μένα.

Σας ευχαριστώ όλους πραγματικά με όλη μου την ψυχή γιατί με βοηθήσατε να βρω τον εαυτό μου και τα θέλω μου με τον πιο δημιουργικό τρόπο.

Σέργιος Ν. Μπάτσας

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα Εικόνων	15
Περιεχόμενα Πινάκων	17
Περίληψη.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Abstract	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Ευχαριστίες.....	Σφάλμα! Δεν έχει οριστεί σελιδοδείκτης.
Εισαγωγή	19
1 Καιρική πρόγνωση και τα μεθοδολογικά εργαλεία	22
1.1 Μέθοδοι πρόγνωσης	23
1.1.1 Βραχυχρόνιες προβλέψεις και συνοπτική μετεωρολογία	23
1.1.2 Αριθμητική Πρόγνωση του Καιρού (NWP)	23
1.1.3 Στατιστικές μέθοδοι.....	24
1.2 Εφαρμογές της έγκυρης πρόγνωσης	24
1.3 Διαθέσιμα μοντέλα πρόγνωσης και οφέλη	24
1.3.1 Global Forecast System / GFS (NOAA).....	28
1.3.2 Icosahedral Nonhydrostatic / ICON (DWD)	28
1.3.3 Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle / APRGE (MeteoFrance)	29
1.3.4 High-Resolution Rapid Refresh / HRRR (NOAA).....	30
1.3.5 AROME (MeteoFrance)	31
1.3.6 Integrated Forecasting System / IFS (ECMWF)	32
1.4 Επεξήγηση επιλογής μοντέλων	33
2 Πρόβλεψη ενέργειας ως συνάρτηση της καιρικής πρόγνωσης.....	34
2.1 Η επιτακτικότητα της πρόβλεψης ενέργειας.....	34
2.2 Πρόβλεψη φορτίου ενεργειακού δικτύου	36
2.3 Η ζωτική αλληλεπίδραση των καιρικών συνθηκών.....	39
2.3.1 Ηλιακή ενέργεια και φωτοβολταϊκά πάρκα.....	39
2.3.2 Αιολική ενέργεια και ανεμογεννήτριες	41

2.3.3	Χρήση της πρόγνωσης του καιρού για την αύξηση του ποσοστού αυτοκατανάλωσης των οικιακών ηλιακών συστημάτων	44
2.3.4	Μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας από υδροηλεκτρικά φράγματα	45
3	Ανάλυση αρχιτεκτονικής και τεχνολογιών συστήματος	47
3.1	Αποθήκευση καιρικών δεδομένων	49
3.2	Σημεία ενδιαφέροντος για συλλογή δεδομένων	51
3.3	Διεπαφή χρήστη και τεχνολογία ανάπτυξής της	54
3.3.1	Αλληλεπίδραση με σημεία ενδιαφέροντος	55
3.3.2	Αλληλεπίδραση με δεδομένα καιρού	58
3.3.3	Οπτικοποίηση δεδομένων με χρήση πινάκων και γραφημάτων.....	62
3.3.4	Ανάπτυξη διεπαφής χρήστη	64
3.4	Πρόσβαση στα καιρικά δεδομένα	65
3.4.1	Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογής (API)	65
3.4.2	Επεξεργασία και εξαγωγή δεδομένων από βάσεις.....	69
3.4.3	Ανάπτυξη διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογής (API)	71
3.5	Προγραμματιστικές διεπαφές για συλλογή δεδομένων	72
3.6	Αυτοματοποίηση συλλογής δεδομένων	73
3.6.1	Εργαλείο αυτοματοποίησης ροής δεδομένων.....	74
3.6.2	Ροή δεδομένων και προγραμματισμός εκτέλεσής της	74
3.6.3	Ανάπτυξη ροής δεδομένων	76
3.7	Τεχνολογία τελικής ανάπτυξης επιμέρους εφαρμογών .	78
4	Παρουσίαση και Ανάλυση του Συστήματος	80
5	Σύνοψη, Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις...	87
5.1	Περίληψη των ευρημάτων	87
5.2	Συνεισφορά	88
5.3	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	88
5.4	Καταληκτικές σκέψεις.....	88

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	90
--------------------------	-----------

Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας	20
Εικόνα 2: Δορυφορική εικόνα από τον Ανεμοστρόβιλο Κατρίνα [1].....	22
Εικόνα 3: Απεικόνιση παγκόσμιου μοντέλου ECMWF [8].....	26
Εικόνα 4: Απεικόνιση περιφερειακού μοντέλου HRRR [9]	27
Εικόνα 5: ICON ορογραφία για το δυτικό τμήμα της Ευρώπης [11]	29
Εικόνα 6: Απεικόνιση μοντέλου APRGE σε ανάλυση 55km [12]	30
Εικόνα 7: Χάρτης βροχοπτώσεων (mm) στη νοτιοανατολική Γαλλία [14].....	32
Εικόνα 8: Ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας	34
Εικόνα 9: Σχεδιαστική απεικόνιση ενός σύγχρονου έξυπνου δικτύου (smart-grid).....	37
Εικόνα 10: Φωτορεαλιστική απεικόνιση φωτοβολταϊκού πάρκου στην έρημο	40
Εικόνα 11: Διαδικασία πρόβλεψης παραγωγής φωτοβολταϊκού [22].....	41
Εικόνα 12: Φάρμα με ανεμογεννήτριες.....	42
Εικόνα 13: Στάδια πρόβλεψης αιολικής ενέργειας με χρήση NPW [24].....	43
Εικόνα 14: Σχεδιαστική απεικόνιση διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος με μπαταρίες	44
Εικόνα 15: Υδροηλεκτρικό φράγμα του Ντιτρόιτ [28]	46
Εικόνα 16: Αρχιτεκτονική εφαρμογής.....	48
Εικόνα 17: Ανάπτυξη επιμέρους στοιχείων με χρήση docker	48
Εικόνα 18: Παράδειγμα γραφήματος με δεδομένα καιρού συναρτήσει του χρόνου	49
Εικόνα 19: Ανάπτυξη της InfluxDB και αρχική παραμετροποίηση	50
Εικόνα 20: Παράδειγμα απεικόνισης δεδομένων εντός της InfluxDB.....	51
Εικόνα 21: Διεπαφή χρήστη για προσθήκη σημείου ενδιαφέροντος.....	52
Εικόνα 22: Δομή βάσης δεδομένων σημείων ενδιαφέροντος.....	53
Εικόνα 23: Ανάπτυξη της MariaDB και αρχική παραμετροποίηση	53
Εικόνα 24: Εντολές δημιουργίας βάσης δεδομένων για σημεία ενδιαφέροντος.....	54
Εικόνα 25: Βιβλιοθήκες και επεκτάσεις διεπαφής χρήστη	55
Εικόνα 26: Διαδρομές για απόδοση στατικών σελίδων.....	55
Εικόνα 27: Λίστα με σημεία ενδιαφέροντος στην διεπαφή του χρήστη	57
Εικόνα 28: Διαδρομή διαγραφής σημείου ενδιαφέροντος.....	57
Εικόνα 29: Διαδρομή για προσθήκη σημείου ενδιαφέροντος ως πόλη.....	58
Εικόνα 30: Δημιουργία και προβολή διαδρομής API δεδομένων	59
Εικόνα 31: Εμφάνιση και εξαγωγή δεδομένων από API	59
Εικόνα 32: Διαδρομή διεπαφής χρήστη για αλληλεπίδραση με API.....	60

Εικόνα 33: Διαδρομή για εξαγωγή δεδομένων σε μορφή CSV.....	61
Εικόνα 34: Αρχείο CSV με δεδομένα	62
Εικόνα 35: Πίνακες οπτικοποίησης δεδομένων καιρού	63
Εικόνα 36: Διαδραστικό γράφημα οπτικοποίησης δεδομένων καιρού.....	63
Εικόνα 37: Dockerfile για ανάπτυξη διεπαφής χρήστη	64
Εικόνα 38: Ανάπτυξη διεπαφής χρήστη και αρχική παραμετροποίηση.....	64
Εικόνα 39: Τεκμηρίωση API και παράμετροι μοντέλων καιρού.....	66
Εικόνα 40: Απάντηση κλήσης στο API.....	68
Εικόνα 41: Συνάρτηση επεξεργασίας δεδομένων API	70
Εικόνα 42: Διαδρομή σύνθεσης ερώτησης API	71
Εικόνα 43: Dockerfile για ανάπτυξη API	71
Εικόνα 44: Ανάπτυξη API και αρχική παραμετροποίηση.....	72
Εικόνα 45: Σύνδεση με InfluxDB	75
Εικόνα 46: Ροή δεδομένων για βέλτιστο ημερήσιο μοντέλο	75
Εικόνα 47: Αρχείο αρχικοποίησης και προγραμματισμού ροής δεδομένων.....	76
Εικόνα 48: Dockerfile για ανάπτυξη Dagster	77
Εικόνα 49: Ανάπτυξη Dagster και αρχική παραμετροποίηση.....	78
Εικόνα 50: Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας containers.....	79
Εικόνα 51: Προσθήκη και προβολή σημείου ενδιαφέροντος από χρήστη μέσω διεπαφής.....	80
Εικόνα 52: Προσθήκη σημείου ενδιαφέροντος από χρήστη μέσω διεπαφής	81
Εικόνα 53: Αυτοματοποιημένη συλλογή δεδομένων από ανοιχτή διεπαφή και αποθήκευση...	82
Εικόνα 54: Διεπαφή χρήστη Dagster για προβολή επιτυχών ροών	83
Εικόνα 55: Διεπαφή χρήστη Dagster για προβολή επιμέρους εργασιών	83
Εικόνα 56: Πρόσβαση στα δεδομένα από χρήστη μέσω διεπαφής και εξαγωγή.....	84
Εικόνα 57: Πρόσβαση στα δεδομένα από χρήστη μέσω διεπαφής και εξαγωγή.....	84
Εικόνα 58: Πρόσβαση στα δεδομένα μέσω API	85
Εικόνα 59: Τεκμηρίωση και οδηγίες χρήσης API	85
Εικόνα 60: Οπτικοποίηση δεδομένων από χρήστη μέσω διεπαφής σε πίνακες	86
Εικόνα 61: Οπτικοποίηση δεδομένων από χρήστη μέσω διεπαφής σε γράφημα.....	86

Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Global models [7].....	25
Πίνακας 2: Regional Models [7].....	26

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

Εισαγωγή

Η συνύπαρξη της μετεωρολογικής επιστήμης και των ενεργειακών μελετών είναι ένα γόνιμο έδαφος όπου οι ακριβείς μετεωρολογικές προβλέψεις συγχωνεύονται με τα πρότυπα παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας, προάγοντας μια πιο αποτελεσματική, βιώσιμη και οικονομική χρήση ενέργειας. Η παρούσα διπλωματική εργασία, διασχίζει αυτό το διεπιστημονικό σταυροδρόμι, επικεντρώνοντας στην ανάπτυξη μιας ισχυρής βάσης δεδομένων για μετεωρολογικές προβλέψεις με τη χρήση ανοιχτών διεπαφών προγραμματισμού (APIs), με στόχο τη βελτίωση των προβλέψεων των μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο θεωρητικό τμήμα, η εργασία καταδύεται στις λεπτομέρειες της πρόβλεψης καιρού, φωτίζοντας τις αρχές, τις μεθοδολογίες και τον κρίσιμο ρόλο της στις ενεργειακές προβλέψεις. Η συμβιωτική σχέση μεταξύ των καιρικών συνθηκών και της παραγωγής/κατανάλωσης ενέργειας εξερευνάται λεπτομερώς, τονίζοντας την επίδραση των ακριβών προβλέψεων καιρού στην ενεργειακή αποδοτικότητα και βιωσιμότητα.

Η μελέτη αναδιπλώνεται περαιτέρω στους πρακτικούς τομείς, παρουσιάζοντας την εφαρμογή των θεωρητικών βάσεων μέσω της ανάπτυξης μιας εφαρμογής ιστού. Αυτή η εφαρμογή είναι η συμβολή της ένταξης, όπου τα σημεία που εισάγονται από τον χρήστη συλλέγονται μέσω μιας φιλικής προς τον χρήστη διεπαφής και αποθηκεύονται σε μια σχεσιακή βάση δεδομένων. Λειτουργεί ως μια συνεκτική πλατφόρμα, που συνδέεται με πολλαπλές ανοιχτές διεπαφές προγραμματισμού (APIs) καιρού για να λαμβάνει και να αποθηκεύει προβλέψεις καιρού σε μια βάση δεδομένων χρονοσειρών, διασφαλίζοντας τη διατήρηση της ακρίβειας και της ακεραιότητας των δεδομένων.

Η χρησιμότητα της εφαρμογής ενισχύεται με την ανάπτυξη μιας API, που επιτρέπει στους χρήστες να ανακτούν σχετικά δεδομένα από τη βάση δεδομένων χρονοσειρών με ευκολία. Μια συμπληρωματική διεπαφή χρήστη στον ιστό ενισχύει την εμπειρία του χρήστη παρέχοντας οπτικές αναπαραστάσεις των δεδομένων μέσω περιεκτικών πινάκων και γραφημάτων, μετατρέποντας τα περίπλοκα σύνολα δεδομένων σε κατανοητές και δραστικές πληροφορίες.

Αυτός ο συνδυασμός θεωρίας και πρακτικότητας στη διπλωματική εργασία στοχεύει στη συνεισφορά στην προοδευτική εξέλιξη των μεθοδολογιών πρόβλεψης ενέργειας. Με την αξιοποίηση των πλούσιων δυνατοτήτων των ανοιχτών APIs, της μετεωρολογικής επιστήμης και της καινοτόμου ανάπτυξης λογισμικού, φιλοδοξεί να δημιουργήσει ένα μονοπάτι προς πιο ενημερωμένες, ακριβείς και αποδοτικές προβλέψεις ενέργειας.

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

Αυτή η διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την ανάδειξη των όλο και αυξανόμενων απαιτήσεων για την πρόβλεψη των μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας. Για την καλύτερη και πιο επιτυχημένη πρόβλεψη αναδεικνύεται η αναγκαιότητα της χρήσης των μετεωρολογικών προβλέψεων. Διασχίζοντας τα θεωρητικά πλαίσια προς τις πρακτικές υλοποιήσεις, υπογραμμίζει την ανεκτίμητη συνεργία μεταξύ ακριβών προβλέψεων καιρού και βέλτιστης χρήσης ενέργειας



Εικόνα 1: Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ¹

¹<https://www.albany.edu/news-center/news/2020-ualbany-partners-new-weather-forecasting-tool-new-york-utilities-1>

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

1 Καιρική πρόγνωση και τα μεθοδολογικά εργαλεία

Η καιρική πρόγνωση αποτελεί έναν από τους πιο κρίσιμους τομείς της εφαρμοσμένης μετεωρολογίας και έχει τεράστιες επιπτώσεις στην καθημερινότητα, την οικονομία και τη δημόσια ασφάλεια. Η ικανότητά μας να προβλέψουμε τις καιρικές συνθήκες με ακρίβεια και αξιοπιστία εξαρτάται από μια σειρά μεθοδολογικών εργαλείων και τεχνικών που έχουν εξελιχθεί μέσα από δεκαετίες έρευνας και τεχνολογικής καινοτομίας. Σε αυτήν την ενότητα, θα εξετάσουμε τις διάφορες μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την πρόγνωση του καιρού, τα κυριότερα μοντέλα που είναι διαθέσιμα στην επιστημονική κοινότητα, καθώς και τα οφέλη και τους περιορισμούς που συνδέονται με κάθε ένα από αυτά. Ο στόχος είναι να παρέχουμε μια συνοπτική, αλλά ενημερωτική εικόνα του τρόπου λειτουργίας της σύγχρονης καιρικής πρόγνωσης και των εργαλείων που την καθιστούν δυνατή.

Η καιρική πρόγνωση είναι η εκτίμηση των μελλοντικών καιρικών συνθηκών με τη χρήση των βασικών αρχών της φυσικής, εμπλουτισμένη με διάφορες στατιστικές και πρακτικές μεθόδους. Δεν περιορίζεται μόνο στην πρόβλεψη των ατμοσφαιρικών φαινομένων αυτών καθ' αυτών, αλλά επεκτείνεται και στην εκτίμηση των αλλαγών που μπορεί να προκύψουν στην επιφάνεια της Γης λόγω των κλιματικών συνθηκών—για παράδειγμα, κάλυψη από χιόνι και πάγο, παλιρροϊκά φαινόμενα κατά τη διάρκεια καταιγίδων, και πλημμύρες. [1]



Εικόνα 2: Δορυφορική εικόνα από τον Ανεμοστρόβιλο Κατρίνα [1]

1.1 Μέθοδοι πρόγνωσης

Η καιρική πρόγνωση είναι ένας πολυδιάστατος τομέας που ενσωματώνει διάφορες τεχνικές και μεθοδολογίες για την εκτίμηση των μελλοντικών καιρικών συνθηκών. Η επιτυχία της πρόγνωσης εξαρτάται από την κατανόηση και την εφαρμογή τριών βασικών κατηγοριών μεθόδων, οι οποίες είναι η συνοπτική μετεωρολογία, η αριθμητική πρόγνωση του καιρού (NWP), και οι στατιστικές μέθοδοι.

1.1.1 Βραχυχρόνιες προβλέψεις και συνοπτική μετεωρολογία

Από τα μέσα της δεκαετίας του '80, χρησιμοποιείται μια τεχνική που κάνει χρήση δεδομένων από ραντάρ και δορυφόρους για να προβλέπει τον καιρό λίγες ώρες εκ των προτέρων. Για μακροπρόθεσμες προβλέψεις μέχρι 48 ώρες, οι μετεωρολόγοι βασίζονται σε υπολογιστικά μοντέλα για πιο ακριβείς προβλέψεις. Αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούν εξειδικευμένες γνώσεις και παρέχουν συνεπείς, μαθηματικές αναλύσεις που μπορούν να αναθεωρηθούν διαρκώς.[2]

Η συνοπτική μετεωρολογία, η οποία αποτελεί την πιο παραδοσιακή μορφή πρόγνωσης, βασίζεται στην άμεση ερμηνεία των τρεχόντων μετεωρολογικών δεδομένων, όπως χάρτες πίεσης, θερμοκρασίες και άλλα ατμοσφαιρικά μετρητά. Αυτή η μέθοδος είναι πολύ χρήσιμη για βραχυπρόθεσμες προβλέψεις και για την εντόπιση τοπικών καιρικών φαινομένων, όπως καταιγίδες ή αέριες ρεύματα.[1]

1.1.2 Αριθμητική Πρόγνωση του Καιρού (NWP)

Η αριθμητική πρόγνωση του καιρού είναι ένα σύγχρονο εργαλείο που χρησιμοποιεί πολύπλοκα μαθηματικά μοντέλα για την πρόβλεψη της ατμοσφαιρικής δυναμικής. Αυτή η τεχνική επιτρέπει την μακροπρόθεσμη πρόγνωση και είναι ιδιαίτερα αξιόπιστη όταν τα μοντέλα διατηρούνται και ενημερώνονται συχνά. [3] Η μοντελοποίηση του καιρού, που επίσημα αποκαλείται "Αριθμητική Πρόβλεψη Καιρού," είναι ζωτικής σημασίας για τις σύγχρονες προβλέψεις του καιρού. Τα μοντέλα καιρού προσομοιώνουν τις μελλοντικές ατμοσφαιρικές συνθήκες με την πάροδο του χρόνου. Βασίζονται σε εκατομμύρια αρχικές παρατηρήσεις και εκτελούν τρισεκατομμύρια υπολογισμούς για να δημιουργήσουν μια τρισδιάστατη απεικόνιση των πιθανών μελλοντικών ατμοσφαιρικών καταστάσεων. Αυτοί οι πολύπλοκοι υπολογισμοί πραγματοποιούνται από ισχυρούς υπολογιστές με απίστευτα υψηλές ταχύτητες, κάνοντας παγκόσμιες προσομοιώσεις που μπορούν να επεκταθούν μέχρι δύο εβδομάδες στο μέλλον.[4]

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

1.1.3 Στατιστικές μέθοδοι

Τέλος, οι στατιστικές μέθοδοι βασίζονται στην εφαρμογή στατιστικών αλγορίθμων στα ιστορικά δεδομένα με σκοπό την πρόβλεψη των μελλοντικών καιρικών συνθηκών. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την πρόβλεψη εποχικών τάσεων ή για την εκτίμηση της πιθανότητας συγκεκριμένων καιρικών φαινομένων.[2]

1.2 Εφαρμογές της έγκυρης πρόγνωσης

Στο δεύτερο μισό του 20ου αιώνα, υπήρξε ένας ασύλληπτος ρυθμός ανάπτυξης στην εμπορική πρόγνωση καιρού, επηρεάζοντας διάφορους κλάδους. Οι λιανοπωλητές χρησιμοποιούν αυτές τις υπηρεσίες για τον χρονισμό προωθητικών ενεργειών, ενώ οι ναυτιλιακές και αεροπορικές εταιρείες βελτιστοποιούν τις διαδρομές τους με βάση τον καιρό. Ο καιρός επηρεάζει επίσης σε μεγάλο βαθμό το διεθνές εμπόριο αγαθών, όπως το ξαφνικό άλμα των τιμών του καφέ το 1975 λόγω παγετού στη Βραζιλία. Οι επιχειρήσεις, από τις δημόσιες υπηρεσίες έως τα χιονοδρομικά κέντρα, βασίζονται σε πολύ ακριβείς προβλέψεις για τον λειτουργικό τους σχεδιασμό.[5]

Με την διαρκή ανάγκη για παραγωγή ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές όπως ανεμογεννήτριες και φωτοβολταϊκά πάνελ, δημιουργήθηκε και η ανάγκη πρόβλεψης της παραγωγής τους. Η πρόβλεψη παραγωγής ενέργειας από ανεμογεννήτριες είναι συνηθισμένη σε περιοχές με σημαντική παραγωγή από αυτές, όπως η Δανία ή το Τέξας. Η πρόγνωση παραγωγής ενέργειας από φωτοβολταϊκά είναι νεότερη και λιγότερο διαδεδομένη, αλλά εξελίσσεται γρήγορα. Και τα δύο χρησιμοποιούν μοντέλα αριθμητικής πρόγνωσης καιρού (NWP) για μεταβλητές όπως η θερμοκρασία και ο άνεμος. Οι προβλέψεις για ηλιακή ενέργεια χρησιμοποιούν επίσης εικόνες του ουρανού και δορυφορικές εικόνες για την παρακολούθηση των συννεφιών. Οι ακριβείς προβλέψεις για κατανομημένη ηλιακή ενέργεια είναι δύσκολες αλλά βελτιώνονται με πραγματικά και λεπτομερή δεδομένα. Η αναβάθμιση είναι μια απλούστερη μέθοδος, που χρησιμοποιεί λίγα ενδεικτικά συστήματα για περιφερειακές προβλέψεις.[6]

1.3 Διαθέσιμα μοντέλα πρόγνωσης και οφέλη

Τα μοντέλα καιρού μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε παγκόσμια και περιφερειακά. Τα παγκόσμια μοντέλα δίνουν προβλέψεις για ολόκληρο τον πλανήτη, συνήθως μέχρι μια ή δύο εβδομάδες εκ των προτέρων. Επειδή καλύπτουν μεγαλύτερες περιοχές και μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα, λειτουργούν με χαμηλότερη ανάλυση, τόσο χωρικά όσο και χρονικά.

Αντίθετα, τα περιφερειακά μοντέλα επικεντρώνονται σε συγκεκριμένες περιοχές του πλανήτη και προσφέρουν προβλέψεις μεσοπρόθεσμου χρόνου. Η υψηλότερη ανάλυσή τους τους επιτρέπει να αναγνωρίζουν λεπτομέρειες που τα παγκόσμια μοντέλα αγνοούν, όπως για παράδειγμα καταιγίδες.

Ο βασικός λόγος ύπαρξης πολλών μοντέλων είναι επειδή πολλοί εθνικοί μετεωρολογικοί οργανισμοί διαθέτουν υπερυπολογιστές για να τρέξουν διάφορα μοντέλα καιρού. Κάθε μοντέλο διαφέρει ελαφρώς στις εξισώσεις που χρησιμοποιεί για διάφορες ατμοσφαιρικές διαδικασίες, την ανάλυσή του και τις αρχικές πηγές δεδομένων. Η ατμόσφαιρα είναι χαοτική, έτσι αυτές οι μικρές διαφορές μπορούν να μεγεθυνθούν με την πάροδο του χρόνου, οδηγώντας σε λιγότερο ακριβείς μακροπρόθεσμες προβλέψεις. Για να μετριάσουν την επίδραση αυτού του χάους, χρησιμοποιούνται συστήματα συνόλου. Αυτά τα συστήματα τρέχουν πολλές εκδοχές ενός μοντέλου με ελαφρώς διαφορετικές αρχικές συνθήκες, προσφέροντας έναν τρόπο για τη μέτρηση της πιθανότητας και της αβεβαιότητας συγκεκριμένων αποτελεσμάτων πρόβλεψης. [4]

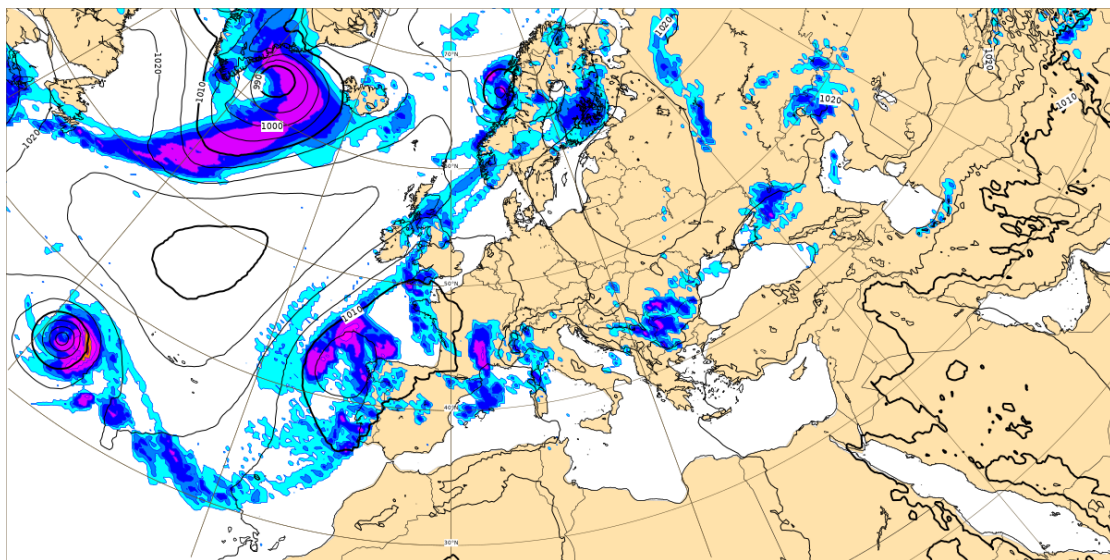
Τα διαθέσιμα παγκόσμια μοντέλα είναι πολλά και η λίστα συνεχώς ανανεώνεται καθώς η εξέλιξη στον κλάδο είναι διαρκής. Τα πιο γνωστά και πιο ευρέως χρησιμοποιήσιμα παρουσιάζονται στον Πίνακα 1 μαζί με την υπηρεσία που τα έχει αναπτύξει και τα συντηρεί. Στη συνέχεια, αναλύονται περαιτέρω τα μοντέλα που επιλέχθηκαν για χρήση.

Πίνακας 1: Global models [7]

Global Forecast System (GFS)	Αναπτύχθηκε από τον Εθνικό Οργανισμό για την Ατμόσφαιρα στην Αμερική και παρέχει καλή πρόβλεψη για μεγάλες χρονικές περιόδους
NOGAPS	Αναπτύχθηκε από το Ναυτικό των ΗΠΑ για σύγκριση με το GFS
Global Environmental Multi-scale Model (GEM)	Αναπτύχθηκε από τη μετεωρολογική υπηρεσία του Καναδά
European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF)	Αναπτύχθηκε και διευθύνεται από τους Ευρωπαίους με περιορισμένη διαθεσιμότητα αλλά υψηλή ακρίβεια
UKMO	Αναπτύχθηκε από το Μετεωρολογικό Γραφείο του Ηνωμένου Βασιλείου με περιορισμένη διαθεσιμότητα

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

GME / ICON	Αναπτύχθηκε από τη Γερμανική Μετεωρολογική Υπηρεσία
ARPEGE	Αναπτύχθηκε από τη Γαλλική Μετεωρολογική Υπηρεσία, Meteo France
Intermediate General Circulation model (IGCM)	Αναπτύχθηκε από μέλη του Τμήματος Μετεωρολογίας του Πανεπιστημίου του Reading.



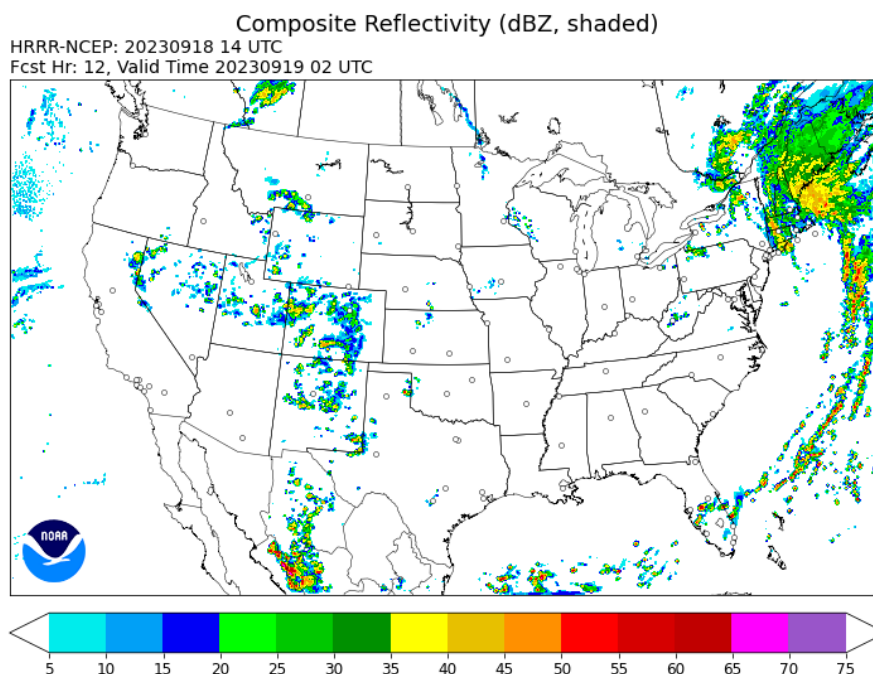
Εικόνα 3: Απεικόνιση παγκόσμιου μοντέλου ECMWF [8]

Σε αντίθεση με τα παγκόσμια μοντέλα, τα περιφερειακά (regional) εστιάζουν σε συγκεκριμένες περιοχές και συχνά παρέχουν υψηλότερη ανάλυση και πιο τοπικές προβλέψεις. Υπάρχουν πολλά περιφερειακά μοντέλα που χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο, το καθένα σχεδιασμένο να αποτυπώνει τις μοναδικές ατμοσφαιρικές συνθήκες των αντίστοιχων περιοχών τους. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζονται μερικά από τα πιο ευρέως αναγνωρισμένα περιφερειακά μοντέλα:

Πίνακας 2: Regional Models [7]



The Weather Research and Forecasting (WRF) Model	Αναπτύχθηκε σε συνεργασία από το NCEP και τη μετεωρολογική ερευνητική κοινότητα
High-Resolution Rapid Refresh (HRRR)	Αναπτύχθηκε από τον Εθνικό Οργανισμό για την Ατμόσφαιρα στην Αμερική και παρέχει ανάλυση 3 χιλιομέτρων σε πραγματικό χρόνο με ωριαία ενημέρωση
Aladin	Αναπτύχθηκε και λειτουργεί από πολλές ευρωπαϊκές και βορειοαφρικανικές χώρες υπό την ηγεσία της Meteo-France και είναι υψηλής ανάλυσης υδροστατικό και μη υδροστατικό μοντέλο περιορισμένης περιοχής
The Advanced Region Prediction System (ARPS)	Αναπτύχθηκε στο Πανεπιστήμιο της Οκλαχόμα και είναι ένα ολοκληρωμένο μη υδροστατικό σύστημα προσομοίωσης και πρόβλεψης πολλαπλής κλίμακας
AROME	Αναπτύχθηκε από τη Γαλλική Μετεωρολογική Υπηρεσία, Meteo France



Εικόνα 4: Απεικόνιση περιφερειακού μοντέλου HRRR [9]

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

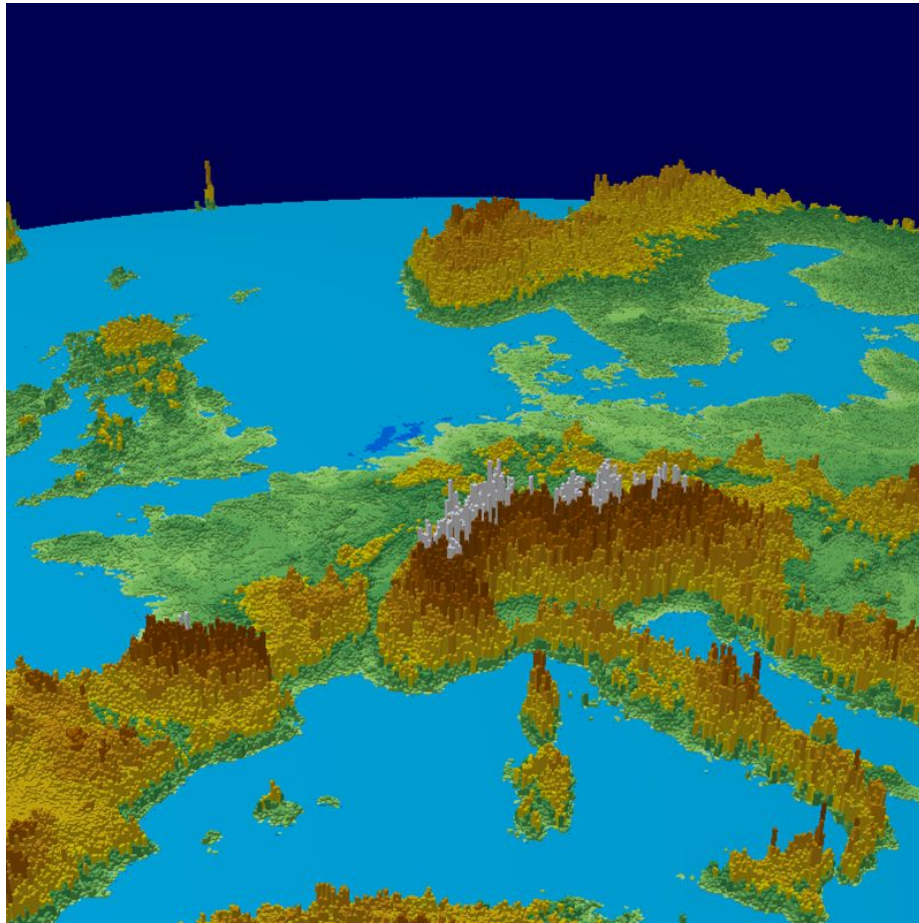
1.3.1 Global Forecast System / GFS (NOAA)

Το Global Forecast System (GFS) λειτουργεί ως το βασικό στοιχείο στη σειρά υπολογιστικών καθοδηγήσεων του Εθνικού Κέντρου για την Πρόβλεψη του Περιβάλλοντος (NCEP), προσφέροντας παγκόσμιες προβλέψεις για την ατμόσφαιρα και τα κύματα με ανάλυση 13 km. Άλλα προγνωστικά συστήματα του NCEP για τοπικές, ωκεανικές και κυματικές προβλέψεις βασίζονται στο GFS για αρχικές ή συννοριακές παραμέτρους. Το Global Data Assimilation System (GDAS) παράγει αυτές τις αρχικές παραμέτρους, χρησιμοποιώντας μια μέθοδο ενσωμάτωσης δεδομένων 4D συνδυαστική-μεταβλητή.

Το GFS λειτουργεί τέσσερις φορές την ημέρα και μπορεί να προβλέψει μέχρι και 16 ημέρες εκ των προτέρων. Χρησιμοποιεί το μοντέλο Finite Volume Cubed (FV3) με ανάλυση περίπου 13 km και συνδυάζεται με το Global Wave Model του NCEP. Σε κάθετη διάσταση, το μοντέλο χωρίζεται σε 127 στρώσεις. Για τις πρώτες 120 ώρες, οι προβλέψεις παράγονται κάθε ώρα, και για τις ημέρες 5-16, ανανεώνονται κάθε τρεις ώρες.[10]

1.3.2 Icosahedral Nonhydrostatic / ICON (DWD)

Η Γερμανική Μετεωρολογική Υπηρεσία (DWD) λειτουργεί ένα από τα λίγα παγκόσμια μοντέλα αριθμητικής πρόβλεψης καιρού. Ενώ οι περισσότερες μετεωρολογικές υπηρεσίες επικεντρώνονται σε περιφερειακές προβλέψεις, το μοντέλο, με την ονομασία ICON, εξελίχθηκε από τον προκάτοχό του GME και χρησιμοποιεί ένα εικοσαεδρικό πλέγμα για πιο αποτελεσματική και ακριβή παγκόσμια κάλυψη. Το πλέγμα αποτελείται από σχεδόν 3 εκατομμύρια τρίγωνα με μέση επιφάνεια 173 τετραγωνικών χιλιομέτρων, παρέχοντας ανάλυση περίπου 13 χιλιομέτρων. Αυτό το πλέγμα βοηθά στην προσομοίωση σημαντικών μεταβλητών όπως η θερμοκρασία, ο άνεμος και η υγρασία μέχρι και 75 χιλιόμετρα πάνω από την επιφάνεια της Γης.[11]



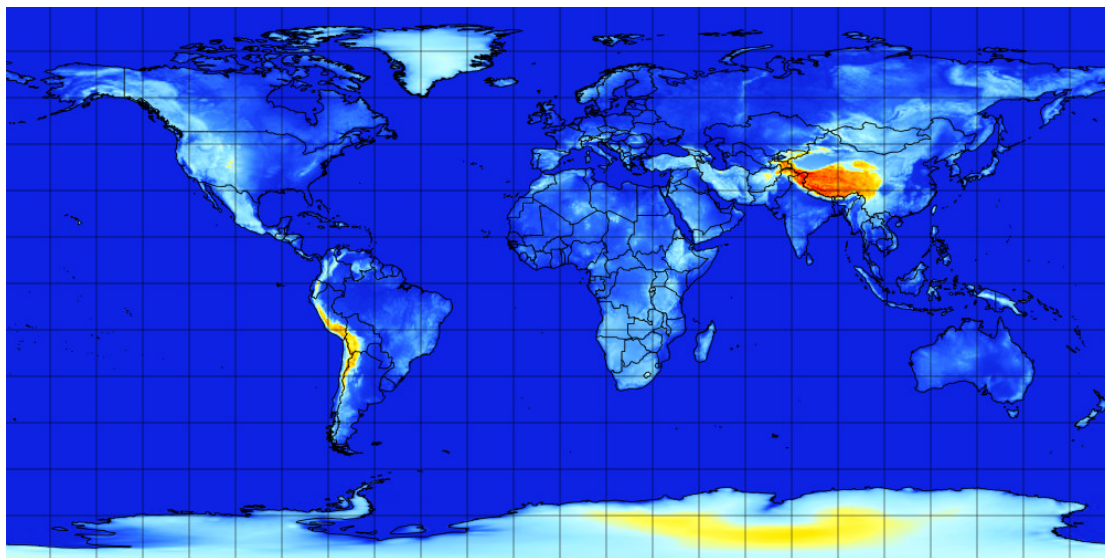
Εικόνα 5: ICON ορογραφία για το δυτικό τμήμα της Ευρώπης [11]

Το μοντέλο ICON τρέχει τέσσερις φορές την ημέρα, παρέχοντας προβλέψεις για έως και 180 ώρες. Χρειάζεται περίπου 8 λεπτά ανά ημέρα πρόβλεψης στον υπερυπολογιστή της DWD, δημιουργώντας περίπου 900 GB δεδομένων για μια πρόβλεψη μιας εβδομάδας. Το μοντέλο είναι σημαντικό όχι μόνο για τις εσωτερικές εφαρμογές της DWD, αλλά χρησιμοποιείται επίσης από διάφορους εξωτερικούς φορείς για σκοπούς που κυμαίνονται από την πρόβλεψη πλημμυρών έως τις προβλέψεις για θυελλώδεις παλίρροιες. Πολλές εθνικές υπηρεσίες καιρού σε όλο τον κόσμο επίσης βασίζονται στο ICON για τα περιφερειακά τους μοντέλα.[11]

1.3.3 Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle / APRGE (MeteoFrance)

Το μοντέλο Action de Recherche Petite Echelle Grande Echelle (ARPEGE) είναι ένα κρίσιμο εργαλείο για πραγματικές προβλέψεις καιρού που αναπτύχθηκε από την Météo France. Το μοντέλο είναι μέρος του ολοκληρωμένου λογισμικού ARPEGE-IFS, το οποίο αναπτύχθηκε και διατηρείται σε συνεργασία με το European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF). Αυτό το

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας λογισμικό καλύπτει όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά που απαιτούνται για τη λειτουργική πρόβλεψη του καιρού, εξασφαλίζοντας αρμονική συμβατότητα μεταξύ της ανάλυσης και της μοντελοποίησης. Το λογισμικό ενημερώνεται περίπου κάθε εννέα μήνες για να βελτιστοποιήσει την απόδοση των υπερυπολογιστών, να ενσωματώσει δεδομένα από νέα συστήματα παρατήρησης και να βελτιώσει τα συστατικά του μοντέλου πρόβλεψης. Το μοντέλο ARPEGE είναι σε λειτουργία για πάνω από τρεις δεκαετίες, ξεπερνώντας σημαντικά τον προκάτοχό του, το μοντέλο Péridot, το οποίο είχε διάρκεια ζωής 8 χρόνια και 7 μήνες.[12]



Εικόνα 6: Απεικόνιση μοντέλου ARPEGE σε ανάλυση 55km [12]

Το μοντέλο ARPEGE ξεκινά τις προβλέψεις του χρησιμοποιώντας μια τεχνική 4D ποικιλόμορφης αφομοίωσης (4D-Var), ενσωματώνοντας μια ευρεία ποικιλία τόσο συμβατικών όσο και εξ' αποστάσεως δεδομένων παρατήρησης. Χρησιμοποιεί ένα σύνολο βασικών εξισώσεων μαζί με μια μεταβλητή οριζόντια ανάλυση και ένα υβριδικό κάθετο σύστημα συντεταγμένων. Το μοντέλο διαθέτει μια ημι-αναγκαστική μέθοδο υπολογισμού και έχει οριζόντια ανάλυση περίπου 5 km πάνω από τη Γαλλία και 24 km πάνω από απομακρυσμένες περιοχές. Αποτελείται από 105 κάθετα επίπεδα, που κυμαίνονται από 10m πάνω από την επιφάνεια της Γης μέχρι περίπου 70 km σε υψόμετρο, με ένα χρονικό βήμα των 240 δευτερολέπτων.[12]

1.3.4 High-Resolution Rapid Refresh / HRRR (NOAA)

Το μοντέλο High-Resolution Rapid Refresh (HRRR), είναι μια προσαρμογή του μοντέλου Weather Research and Forecasting Advanced Research (WRF-ARW) και προσφέρει ωριαία αφομοίωση δεδομένων και πραγματικού χρόνου πρόβλεψη για τις ΗΠΑ και την Αλάσκα. Εγκαινιάστηκε επίσημα από το Εθνικό Κέντρο για την Περιβαλλοντική Πρόβλεψη (NCEP) του NOAA το 2014. Το μοντέλο διαθέτει ένα οριζόντιο πλέγμα 3 km και εκδίδει διαρκώς ωριαίες προβλέψεις για τις ΗΠΑ και κάθε τρεις ώρες για την Αλάσκα. Είναι ειδικά

σχεδιασμένο για βραχυπρόθεσμες προβλέψεις υψηλής ακρίβειας, επικεντρώνοντας ιδιαίτερα στην εξέλιξη των φαινομένων βροχόπτωσης.

Το HRRR χρησιμοποιεί έναν συνδυασμό από αφομοίωση δεδομένων από ραντάρ, συμβατική αφομοίωση παρατηρήσεων καιρού με χρήση μιας υβριδικής προσέγγισης συνόλου-μεταβλητής, και ανάλυση νέφους για την αρχικοποίηση στρωματοειδών συννεφιών. Οι προβλέψεις επεκτείνονται έως 18 ώρες σε ωριαία βάση και έως 48 ώρες κάθε έξι ώρες, με οδηγίες από το σύστημα Rapid Refresh.

Από το 2014 έως το 2020, το μοντέλο υπέστη σημαντικές βελτιώσεις με στόχο την ελαχιστοποίηση των σφαλμάτων και την αύξηση της ακρίβειας της πρόβλεψης. Αυτές περιλαμβάνουν βελτιώσεις στην αναπαράσταση του πλανητικού συνωριακού στρώματος, των νεφών, και των χαρακτηριστικών της επιφάνειας της γης. Η τελευταία έκδοση του μοντέλου HRRR, γνωστή ως HRRRv4, εγκαινιάστηκε τα τέλη του 2020 και ενσωματώνει ένα υβριδικό σύστημα βασισμένο σε ένα μοντέλο συνόλου 3 km και 36 μελών, γνωστό ως "HRRRDAS", σχεδιασμένο για την πρόβλεψη καταστροφικών καταιγίδων. Προσθέτει επίσης τη δυνατότητα πρόβλεψης καπνών από δασικές πυρκαγιές.

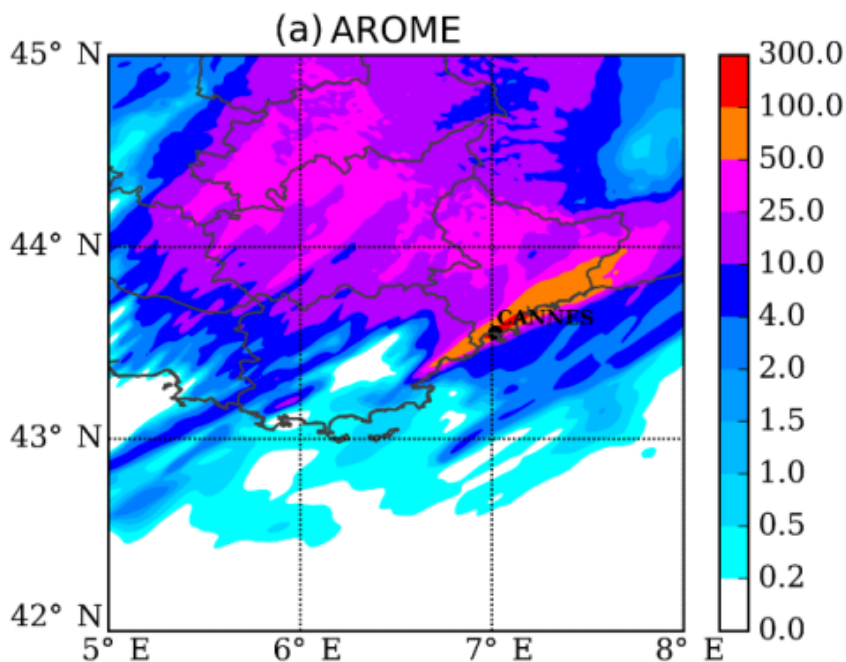
Συνολικά, το HRRR λειτουργεί ως μια βασική πλατφόρμα για την αξιολόγηση της απόδοσης του επερχόμενου συστήματος πρόβλεψης Rapid Refresh του NOAA, το οποίο βρίσκεται επί του παρόντος στο στάδιο της ανάπτυξης.[13]

1.3.5 AROME (MeteoFrance)

Ξεκινώντας το Δεκέμβριο του 2008 από το Meteo-France, το AROME είναι ένα εξειδικευμένο μοντέλο αριθμητικής πρόβλεψης καιρού που στοχεύει στη βελτίωση των βραχυπρόθεσμων προβλέψεων για σοβαρές καιρικές συνθήκες, όπως είναι οι έντονες βροχοπτώσεις στη Μεσόγειο (γεγονότα Cévenole), ισχυρές καταιγίδες, ομίχλη και αστικές θερμοκρασιακές κυματώσεις.

Δημιουργημένο μέσω συνεργατικών προσπαθειών με εθνικά και διεθνή ερευνητικά ινστιτούτα, το AROME ενσωματώνει τις τελευταίες επιστημονικές εξελίξεις στην ατμοσφαιρική μοντελοποίηση. Ενώ οι φυσικές παραμετροποιήσεις του κυρίως προέρχονται από το ερευνητικό μοντέλο Meso-NH, ο δυναμικός του πυρήνας βασίζεται στο πλαίσιο Non-Hydrostatic ALADIN. Σε σύγκριση με το προκάτοχο μοντέλο του, το ARPEGE, το AROME λειτουργεί σε ένα πολύ πιο λεπτό μέγεθος πλέγματος 1,3 km επάνω από τη Γαλλία, ενάντια στα 5 km του ARPEGE.

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας



Εικόνα 7: Χάρτης βροχοπτώσεων (mm) στη νοτιοανατολική Γαλλία [14]

Το AROME βασίζεται στη συγκέντρωση δεδομένων από το σύστημα ARPEGE-IFS, το οποίο είναι προσαρμοσμένο για να ταιριάζει με την υψηλότερη ανάλυση του AROME. Εκτός από τα δεδομένα που προέρχονται από το ARPEGE, το AROME ενσωματώνει επίσης πολύ ακριβή δεδομένα από το δίκτυο ραντάρ ARAMIS, συμπεριλαμβανομένων πληροφοριών για τον άνεμο και τη βροχόπτωση, τα οποία ανανεώνονται κάθε ώρα.

Το AROME παρέχει πέντε ημερήσιες προβλέψεις που προσφέρουν πιο ακριβείς προβλέψεις για τα τρέχοντα και επερχόμενα καιρικά φαινόμενα εντός ενός παραθύρου πρόβλεψης 48 ωρών. Το μοντέλο έχει αποδείξει την αξία του, ιδιαίτερα στην πρόβλεψη των εντόνων βροχοπτώσεων που συχνά συμβαίνουν κατά τη διάρκεια της φθινοπωρινής περιόδου στη δυτική Μεσόγειο.

1.3.6 Integrated Forecasting System / IFS (ECMWF)

Το Ολοκληρωμένο Σύστημα Πρόγνωσης (IFS) από το Ευρωπαϊκό Κέντρο για Προγνώσεις Καιρού Μεσαίου Εύρους (ECMWF) περιλαμβάνει έναν προηγμένο μηχανισμό απορρόφησης δεδομένων και την απαραίτητη υποστηρικτική υποδομή για τη διανομή προγνωστικών προϊόντων στα κράτη μέλη καθώς και σε άλλους χρήστες.

Ο μηχανισμός απορρόφησης δεδομένων συγχωνεύει τις πιο πρόσφατες παρατηρήσεις του καιρού με προηγούμενες προγνώσεις για να παράγει την πιο ακριβή απεικόνιση της τρέχουσας κατάστασης του συστήματος της Γης, που είναι γνωστή ως ανάλυση.

Η βάση του συστήματός μας για τη Γη, είναι ένα μοντέλο της ατμόσφαιρας, το οποίο είναι ενσωματωμένο με άλλα μοντέλα που αντιπροσωπεύουν διάφορα στοιχεία του συστήματος της Γης, όπως οι ωκεανοί.

Για τη βελτίωση της ποιότητας των προγνώσεών μας, το IFS ενημερώνεται συνεχώς. Οι συλλογικές μας ερευνητικές προσπάθειες διασφαλίζουν ότι το ECMWF παραμένει στην πρωτοπορία των εξελίξεων στην αριθμητική πρόγνωση του καιρού.

1.4 Επεξήγηση επιλογής μοντέλων

Η επιλογή του κατάλληλου μοντέλου εξαρτάται από τις ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής. Το σύστημά μας πρέπει να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από όλους τους χρήστες και να ενσωματώνει πολλαπλές πηγές και επιλογές. Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε η χρήση αριθμητικών μοντέλων, κυρίως παγκόσμιων αλλά και κάποιων τοπικών. Τα τοπικά που επιλέχθηκαν ήταν με γνώμονα την ανάγκη υλοποίησης του συστήματος για χρήση πρωτίστως στην Ευρώπη και την Αμερική και έπειτα στον υπόλοιπο κόσμο. Από τα παγκόσμια μοντέλα επιλέχθηκαν τα GFS, ICON και APRGE ενώ από τα περιφερειακά τα HRRR και AROME. Το μοντέλο IFS της ECMWF δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί καθώς είναι αρκετά περιορισμένη διαθεσιμότητα αλλά αναλύεται καθώς προσφέρει τις βέλτιστες προβλέψεις για μεγάλης κλίμακας προβλέψεις καιρού.

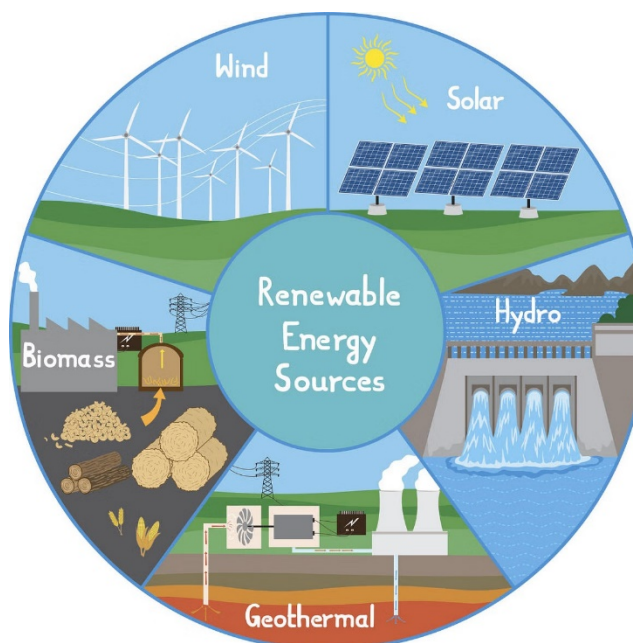
Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

2 Πρόβλεψη ενέργειας ως συνάρτηση της καιρικής πρόγνωσης

Το εξελισσόμενο τοπίο της παραγωγής, διανομής και κατανάλωσης ενέργειας φέρνει μαζί του μια πληθώρα προκλήσεων και ευκαιριών. Από τις πολλές πτυχές που συμβάλλουν στην αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας, ο ρόλος της πρόβλεψης—ειδικά της πρόβλεψης ενέργειας και φορτίου δικτύου—κρίνεται θεμελιώδης. Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει τις μεθοδολογίες, τη σημασία, και την επίδραση των μετεωρολογικών παραμέτρων στην ακριβή πρόβλεψη ενέργειας και φορτίου δικτύου.

2.1 Η επιτακτικότητα της πρόβλεψης ενέργειας

Η πρόβλεψη ενέργειας δεν είναι απλά ένας υπολογισμός, αλλά μια αναγκαιότητα για την ισορροπημένη και αποδοτική λειτουργία των ενεργειακών συστημάτων. Αποτελεί βάση για τον σχεδιασμό, τη λειτουργία και την αξιοπιστία διαφόρων μεθόδων παραγωγής ενέργειας—από μη ανανεώσιμες πηγές όπως ο άνθρακας και το αέριο, έως ανανεώσιμες πηγές όπως ο ήλιος και ο αέρας. Η ακριβής πρόβλεψη επιτρέπει στις εταιρείες υπηρεσιών να καλύπτουν τη ζήτηση χωρίς υπερπαραγωγή, ελαχιστοποιώντας έτσι τα απόβλητα και μειώνοντας το λειτουργικό κόστος. Επιπλέον, βοηθά στον προγραμματισμό δραστηριοτήτων συντήρησης, τη ρύθμιση των τιμών ενέργειας και την έκδοση ενημερωμένων επενδυτικών αποφάσεων. [15]



Εικόνα 8: Ανανεώσιμες πηγές ηλεκτρικής ενέργειας

Τα πλεονεκτήματα της ανανεώσιμης ενέργειας βρίσκονται στην βιωσιμότητά της και στην ελάχιστη περιβαλλοντική επίπτωση. Λόγω της αυξανόμενης ζήτησης ενέργειας, της παγκόσμιας υπερθέρμανσης και των ελλειμμάτων

ενέργειας, υπάρχει μια επείγουσα ανάγκη για αποτελεσματική διαχείριση ενέργειας, με στόχο την αύξηση της ακρίβειας των μεθόδων παρακολούθησης ενέργειας για τη βελτίωση της απόδοσης και της αποτελεσματικότητας των ενεργειακών συστημάτων. Δεδομένα σχετικά με την κατανάλωση ενέργειας σε οικιακούς, εμπορικούς και βιομηχανικούς τομείς γίνονται διαθέσιμα, βοηθώντας στην εκτίμηση της συνεισφοράς αυτών των τομέων στη συνολική αγορά ενέργειας. [16]

Οι αλγόριθμοι πρόβλεψης ενέργειας είναι κρίσιμοι για την ανάπτυξη του ενεργειακού τομέα. Πρωταγωνιστούν στην πρόβλεψη ενέργειας και στη διαχείριση της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες είναι θεμελιώδεις πτυχές του ενεργειακού σχεδιασμού. Πολλά προγνωστικά μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί πρόσφατα, με την επιλογή τους να βασίζεται συνήθως στα διαθέσιμα δεδομένα και στους ειδικούς στόχους της διαδικασίας ενεργειακού σχεδιασμού.

Σε ένα πρόσφατο επιστημονικό άρθρο [17], εξετάζονται τα μοντέλα πρόβλεψης παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές ως εργαλεία για τον ενεργειακό σχεδιασμό. Η πρόβλεψη χωρίζεται σε τρία διαστήματα: βραχυπρόθεσμο, μεσοπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο. Η ανασκόπηση επικεντρώνεται σε τρεις τύπους ανανεώσιμης ενέργειας: αιολική, ηλιακή και γεωθερμική, καθώς και στη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Τρεις κύριες κατηγορίες μεθόδων πρόβλεψης αναλύονται: αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης, σύνθετες προσεγγίσεις και τεχνητά νευρωνικά δίκτυα. Αυτές οι μέθοδοι αξιολογούνται ως προς την προγνωστική τους ακρίβεια και τη σχετικότητα τους για χωρική και χρονική πρόβλεψη.

Τα μοντέλα μηχανικής μάθησης είναι ικανά να επεξεργάζονται μεγάλα σύνολα δεδομένων με υψηλή ακρίβεια. Οι σύνθετες τεχνικές μπορούν να βελτιώσουν περαιτέρω την ακρίβεια της πρόβλεψης συνδυάζοντας διάφορα μοντέλα. Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα προσφέρουν μια ισχυρή επιλογή, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται σωστά, καθώς μπορούν να ανακαλύψουν και να μοντελοποιήσουν ανεξερεύνητα μοτίβα και σχέσεις. Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους, τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα δεν επιβάλλουν περιορισμούς στα υπολείμματα και τις εισροές.

Αυτή η έρευνα αξιολογεί κυρίως τις τάσεις στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και τις απαιτήσεις για ενεργειακή ζήτηση σε σύντομα, μεσοπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο διαστήματα πρόβλεψης. Οι περισσότερες υφιστάμενες έρευνες επικεντρώνονται στη σύντομη πρόβλεψη παρά σε μεσοπρόθεσμο και μακροπρόθεσμο σενάρια. Ιστορικά, οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιούσαν σύντομες ενεργειακές προβλέψεις για να εξασφαλίσουν την αξιοπιστία της προσφοράς, ενώ οι μακροπρόθεσμες προβλέψεις χρησιμεύουν ως κατευθυντήριες γραμμές για επενδύσεις και σχεδιασμό. Βιομηχανικοί πελάτες που διαθέτουν τη δυνατότητα να υπολογίσουν τις ασταθείς χονδρικές τιμές μπορούν να προσαρμόσουν τα σχέδια κατανάλωσης ή παραγωγής τους

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας για να ελαχιστοποιήσουν την αβεβαιότητα ή να μεγιστοποιήσουν τα κέρδη σε αγορές ημέρας προς ημέρα.

Επιπλέον, η μηχανική μάθηση (ML), οι μέθοδοι βασισμένες σε σύνολα και τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα (ANNs) εξετάζονται για τη χρησιμότητά τους στην πρόβλεψη παραγωγής ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές καθώς και τη πρόβλεψη ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας. Η μηχανική μάθηση βοηθά στον καλύτερο σχεδιασμό για την παραγωγή και κατανάλωση ενέργειας. Διάφορες τεχνικές ML χρησιμοποιούνται σε διάφορα στάδια της ενσωμάτωσης της ανανεώσιμης πηγής ενέργειας στο δίκτυο, ανάλογα με τις συγκεκριμένες συνθήκες. Για δίκτυα με σημαντικό μερίδιο τέτοιας ενέργειας, η πρόβλεψη των απαιτήσεων φορτίου σε σύντομο και μακροπρόθεσμο επίπεδο είναι κρίσιμη. Αυτό μπορεί να ενημερώσει τις στρατηγικές ενεργειακού σχεδιασμού και διαχείρισης, όπως η καθορισμός των απαραίτητων επιπέδων αποθεμάτων και των αναγκών αποθήκευσης.

Είναι επίσης σημαντικό να κατανοούμε το φορτίο εξόδου από τις ίδιες τις εγκαταστάσεις και πάρκα ανανεώσιμων πηγών, καθώς η παραγωγή τους επηρεάζεται συχνά από ανεξέλεγκτους κλιματικούς παράγοντες. Οι προβλέψεις συνόλου δείχνουν το επίπεδο εμπιστοσύνης σε διάφορα μοντέλα πρόβλεψης. Όταν το εύρος του συνόλου είναι χαμηλό και πολλαπλές εκτελέσεις αλγορίθμων συμφωνούν, υπάρχει μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στην πρόβλεψη. Αντίθετα, ένα υψηλό εύρος υποδεικνύει περισσότερη μεταβλητότητα.

Τα ANNs είναι εξαιρετικά στην εξαγωγή έγκυρων πληροφοριών από πολύπλοκα σύνολα δεδομένων και εφαρμόζονται ολοένα και περισσότερο σε μια σειρά πραγματικών προβλημάτων σημαντικής πολυπλοκότητας, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που οι παραδοσιακές μέθοδοι δεν μπορούν να λύσουν. Τα εκτεταμένα οφέλη τους περιλαμβάνουν τη μοντελοποίηση περίπλοκων συστημάτων χωρίς την ανάγκη για λεπτομερείς μαθηματικές περιγραφές. Τα ANNs μπορούν να προβλέπουν την επιθυμητή έξοδο του συστήματος δεδομένων επαρκών εμπειρικών δεδομένων.

Με τις δυνατότητες πρόβλεψης να βελτιώνονται, οι χώρες μεταβαίνουν προοδευτικά σε έξυπνα δίκτυα, τα οποία είναι πλήρως αυτοματοποιημένα δίκτυα που ελέγχουν και παρακολουθούν τόσο τη ροή ενέργειας όσο και τις πληροφορίες. Είναι απαραίτητη περαιτέρω εργασία για να υποστηρίξει αυτά τα δίκτυα με ακριβή δεδομένα και να διευκολύνει την ενσωμάτωση της ανανεώσιμης ενέργειας σε παραδοσιακά δίκτυα.

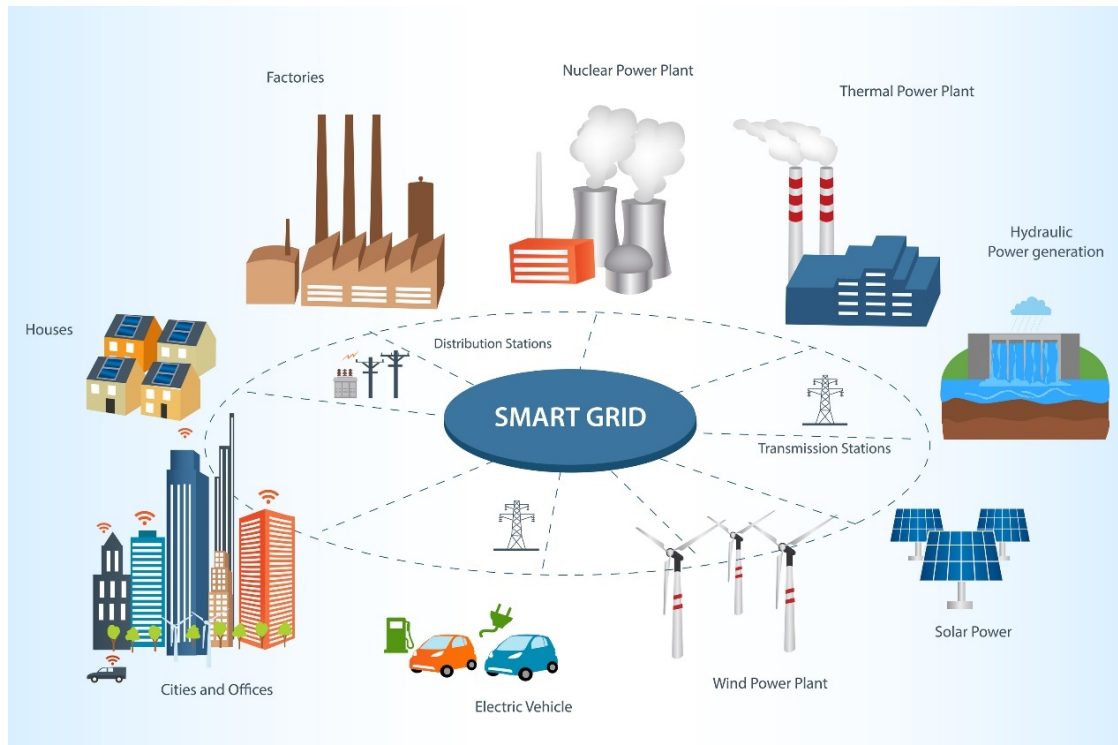
2.2 Πρόβλεψη φορτίου ενεργειακού δικτύου

Ενώ η πρόβλεψη ενέργειας αφορά την παραγωγική πτυχή, η πρόβλεψη φορτίου δικτύου επικεντρώνεται στο τέλος της κατανάλωσης. Εκτιμά το ηλεκτρικό φορτίο που θα απαιτηθεί σε ένα μελλοντικό χρονικό σημείο, το οποίο είναι απαραίτητο για τη σταθερότητα του δικτύου. Έχει μεγάλη σημασία ανεξαρτήτως της οικονομικής κατάστασης ενός κράτους, καθώς τα ενεργειακά

συστήματα αποτελούν τη βάση της σύγχρονης ζωής. Οι μεταβλητότητες στο φορτίο δικτύου μπορούν να οδηγήσουν σε διακοπές και μειωμένη διάρκεια ζωής των επιμέρους στοιχείων υποδομής. Οι προβλέψεις μπορούν να κυμαίνονται από βραχυπρόθεσμες (όπως λίγες ώρες ή μια ημέρα εμπρός) μέχρι μακροπρόθεσμες (όπως μήνες ή ακόμη και χρόνια εμπρός) προβλέψεις.

Οι ακριβείς προβλέψεις φορτίου βοηθούν στη διατήρηση της ισορροπίας μεταξύ παραγωγής και κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας, επιτρέπουν την οικονομική διανομή ενέργειας, τον προγραμματισμό αποθήκευσης και την ανάπτυξη δικτύων. Τα δίκτυα του μέλλοντος είναι τα λεγόμενα έξυπνα δίκτυα (smart-grid).

Ένα ευφυές ηλεκτρικό δίκτυο, γνωστό και ως έξυπνο δίκτυο, εκμεταλλεύεται ψηφιακές τεχνολογίες καθώς και άλλα προηγμένα συστήματα για την εποπτεία και τον έλεγχο της διανομής της ηλεκτρικής ενέργειας που προέρχεται από διάφορες πηγές, προκειμένου να καλύψει τις μεταβλητές ανάγκες των καταναλωτών. Συντονίζει τις λειτουργικότητες και τις απαιτήσεις όλων των εμπλεκόμενων, από τους παραγωγούς ενέργειας έως τους διαχειριστές του δικτύου και από τους τελικούς καταναλωτές έως τους συμμετέχοντες στην ηλεκτρική αγορά, με στόχο την λειτουργία ολόκληρου του συστήματος με τον πλέον οικονομικά αποδοτικό και φιλικό προς το περιβάλλον τρόπο, ενώ επίσης ενισχύει την αξιοπιστία, την προσαρμοστικότητα και την σταθερότητά του. [18]



Εικόνα 9: Σχεδιαστική απεικόνιση ενός σύγχρονου έξυπνου δικτύου (smart-grid)

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

Σε μία πρόσφατη έρευνα [19] του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, έγινε μια μελέτη και αξιολόγηση σε βάθος των μοντέλων πρόβλεψης ζήτησης της επόμενης ημέρας. Τα μοντέλα πρόβλεψης φορτίου κατηγοριοποιούνται με βάση το χρονικό ορίζοντα που καλύπτουν: μακροπρόθεσμες (έως 20 χρόνια) για ανάπτυξη δικτύου και στρατηγικό προγραμματισμό, μεσοπρόθεσμες (από μια εβδομάδα έως ένα χρόνο) για συντήρηση και εμπόριο ενέργειας, βραχυπρόθεσμες (από μια ημέρα έως μια εβδομάδα) κρίσιμες για τις καθημερινές λειτουργίες, και πολύ βραχυπρόθεσμες (λεπτά έως ώρες) για άμεση ανταπόκριση στη ζήτηση. Οι προκλήσεις στη βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη φορτίου (STLF) πηγάζουν από τη μη γραμμική, μη σταθερή και εποχικά μεταβλητή φύση της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια, η οποία επηρεάζεται από εξωτερικούς παράγοντες όπως ο καιρός και εποχικά γεγονότα. Επιπλέον, η αυξανόμενη ένταξη των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας απαιτεί ακριβέστερες προβλέψεις που να υποστηρίζουν την ευελιξία στα συστήματα μετάδοσης και διανομής.

Η εν λόγω έρευνα εξέτασε την επίδραση της θερμοκρασίας στα σφάλματα στις προβλέψεις φορτίου ενέργειας. Η έμφασή ήταν στη χρήση ιστορικών δεδομένων θερμοκρασίας (εκ των υστέρων προβλέψεις) αντί για ιστορικές προβλέψεις θερμοκρασίας (εκ των προτέρων), λόγω της μη διαθεσιμότητας δεδομένων εκ των. Παρ' όλα αυτά, στην Βραχυπρόθεσμη Πρόβλεψη Φορτίου (STLF), οι τιμές της θερμοκρασίας δεν είναι γνωστές εκ των προτέρων, απαιτώντας πιο πολύπλοκες και συχνά δαπανηρές μεθόδους απόκτησης δεδομένων για τα μοντέλα βαθιάς μάθησης. Παρ' όλα αυτά, τα ευρήματα αποκαλύπτουν ότι σε επίπεδο χώρας δεν έχει αξιόλογη επίδραση η καιρική πρόγνωση στην πρόβλεψη ενέργειας.

Μια άλλη έρευνα [20], επικεντρώνεται στα δίκτυα χαμηλής τάσης (LV) και την επίδραση της θερμοκρασίας (τόσο την πραγματική όσο και την προβλεπόμενη) στην ακρίβεια των προβλέψεων φορτίου. Παρά την ανάγκη για ακριβείς προβλέψεις φορτίου σε επίπεδο LV, πολλές υπάρχουσες μελέτες έχουν επικεντρωθεί στο επίπεδο του επιμέρους νοικοκυριού ή κτιρίου χρησιμοποιώντας δεδομένα από έξυπνους μετρητές, ή σε συγκεντρώσεις τέτοιων δεδομένων. Αυτή η έρευνα όμως αξιολογεί τις ακρίβειες πρόβλεψης σε 100 πραγματικούς μετρητές παροχών LV, για ορίζοντες από ένα έως τέσσερις ημέρες μπροστά.

Σε αντίθεση με τις προβλέψεις φορτίου υψηλής τάσης (HV), η θερμοκρασία δεν βρέθηκε να είναι σημαντικός παράγοντας στην ακρίβεια των προβλέψεων φορτίου χαμηλής τάσης (LV) στη μελέτη. Η αναλυτική ανάλυση υποδεικνύει ότι η θερμοκρασία μπορεί μερικές φορές να επηρεάσει αρνητικά την ακρίβεια της πρόβλεψης. Η συσχέτιση μεταξύ φορτίου και θερμοκρασίας συνήθως αντανακλά ένα ισχυρότερο εποχικό μοτίβο παρά άμεσες επιδράσεις της θερμοκρασίας. Τα ευρήματα συμβάλλουν σε μια βαθύτερη κατανόηση των δικτύων LV και θα μπορούσαν να βοηθήσουν τους χειριστές δικτύων στη διαχείριση και τον προγραμματισμό για έξυπνα δίκτυα στο μέλλον. Ωστόσο, υπάρχει ακόμη ανάγκη για περαιτέρω εξερεύνηση των επιπτώσεων του καιρού,

των τεχνολογιών χαμηλών εκπομπών άνθρακα (LCTs), της συνδεσιμότητας των δικτύων LV και για τη βελτίωση των μεθόδων πρόβλεψης για φορτία LV.

2.3 Η ζωτική αλληλεπίδραση των καιρικών συνθηκών

Οι καιρικές προβλέψεις προσφέρουν ανεκτίμητα δεδομένα που μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τόσο την πρόβλεψη ενέργειας όσο και την πρόβλεψη φορτίου δικτύου. Για παράδειγμα, οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας μπορούν να επηρεάσουν όχι μόνο την αποδοτικότητα της παραγωγής ενέργειας αλλά και τις συμπεριφορές των καταναλωτών, επηρεάζοντας έτσι το φορτίο δικτύου. Τα επίπεδα ηλιακής ακτινοβολίας καθορίζουν την ηλιακή ενεργειακή παραγωγή, ενώ οι ταχύτητες και οι κατευθύνσεις του ανέμου είναι κρίσιμες για την παραγωγή ενέργειας με χρήση ανεμογεννητριών. Με την ενσωμάτωση μετεωρολογικών δεδομένων στα μοντέλα ενέργειας, οι προβλέψεις μπορούν να είναι πιο διαφοροποιημένες και ακριβείς, οδηγώντας σε πιο αξιόπιστα και βιώσιμα ενεργειακά συστήματα.

Οι μέχρι τώρα μέθοδοι για την πρόβλεψη ενέργειας κάνουν χρήση ιστορικών καιρικών δεδομένων και όχι ιστορικών καιρικών προβλέψεων. Με αυτό τον τρόπο τα μοντέλα που εκπαιδεύονται πάνω στην πρόβλεψη των ενεργειακών μεγεθών, δεν λαμβάνουν τα βέλτιστα δεδομένα με αποτέλεσμα να μην παράγουν και τα σωστά αποτελέσματα. Για τον λόγο αυτό εδώ και λίγα χρόνια έχουν αρχίσει αρκετοί φορείς και επιχειρήσεις να συλλέγουν και μετεωρολογικές προγνώσεις. Όμως, τα δεδομένα αυτά είναι πολύ ακριβά και συνήθως δεν είναι για όλο τον κόσμο ή διαθέτουν περιορισμένα σημεία ανά χώρα. Ενδεικτικά, μία εταιρεία που ονομάζεται Visual Crossing, συλλέγει ιστορικά δεδομένα καιρικών προβλέψεων από τον Ιανουάριο του 2024 και η συνδρομή στην υπηρεσία αυτή κοστίζει περίπου 2.000\$ ανά έτος. Εκτός από τον ενεργειακό τομέα, η συλλογή ιστορικών μετεωρολογικών προβλέψεων χρησιμοποιούνται και για να συγκρίνει μια εταιρεία τα επιχειρηματικά δεδομένα με τις προγνώσεις που χρησιμοποιούνταν κατά την περίοδο σχεδιασμού. Σε ορισμένες επιχειρήσεις, αυτό μπορεί να είναι πιο ισχυρό από τις πραγματικές παρατηρήσεις του καιρού, οι οποίες μπορεί να μην περιγράφουν ακριβώς τις πληροφορίες που ήταν διαθέσιμες νωρίτερα στη διαδικασία σχεδιασμού.[21]

2.3.1 Ηλιακή ενέργεια και φωτοβολταϊκά πάρκα

Λόγω των αυξανόμενων ανησυχιών για την κλιματική αλλαγή και τις ενεργειακές κρίσεις, υπήρξε σημαντική επέκταση στην παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, συμπεριλαμβανομένης της ηλιακής ενέργειας. Καθώς η ηλιακή ή φωτοβολταϊκή (PV) ενέργεια γίνεται ολοένα και περισσότερο μέρος των έξυπνων δικτύων, φέρνει τις δικές της προκλήσεις, κυρίως επειδή η ηλιακή ενέργεια είναι ασταθής και ποικίλει βάσει παραγόντων όπως η συννεφιά, τα επίπεδα ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων και άλλες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Αυτή η

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας μεταβλητότητα δημιουργεί σημαντικές προκλήσεις για τη διαχείριση ενέργειας εντός των έξυπνων δικτύων. Η ακριβής πρόβλεψη της ηλιακής ενέργειας ή ακτινοβολίας είναι ζωτικής σημασίας για την οικονομικά αποδοτική λειτουργία αυτών των δικτύων.

Σε ένα πρόσφατο επιστημονικό άρθρο [22], γίνεται αναφορά για το πώς, εκτός άλλων, η παγκόσμια οριζόντια ακτινοβολία (Global Horizontal Irradiance / GHI), η θερμοκρασία, η υγρασία και ταχύτητα του ανέμου συμβάλουν καθοριστικά στην πρόβλεψη της παραγωγής ενέργειας ενός φωτοβολταϊκού πάρκου. Γίνεται ιδιαίτερος αναφορά στην Αριθμητική Πρόγνωση Καιρού (NWP) η οποία έχει αναδειχθεί ως το πιο ακριβές μέσο πρόβλεψης της ηλιακής ακτινοβολίας για περιόδους που εκτείνονται πέρα από αρκετές ώρες. Τα μοντέλα NWP προβλέπουν την ηλιακή ακτινοβολία και την κάλυψη νεφών χρησιμοποιώντας αριθμητικές δυναμικές προσομοιώσεις των ατμοσφαιρικών συνθηκών. Βασικά, αυτά τα μοντέλα βασίζονται σε ακριβείς πληροφορίες για τις ατμοσφαιρικές συνθήκες σε ένα δεδομένο χρόνο και εφαρμόζουν τους κατάλληλους φυσικούς νόμους, που εκφράζονται μέσω βασικών διαφορικών εξισώσεων, για να προβλέψουν μελλοντικές καταστάσεις.



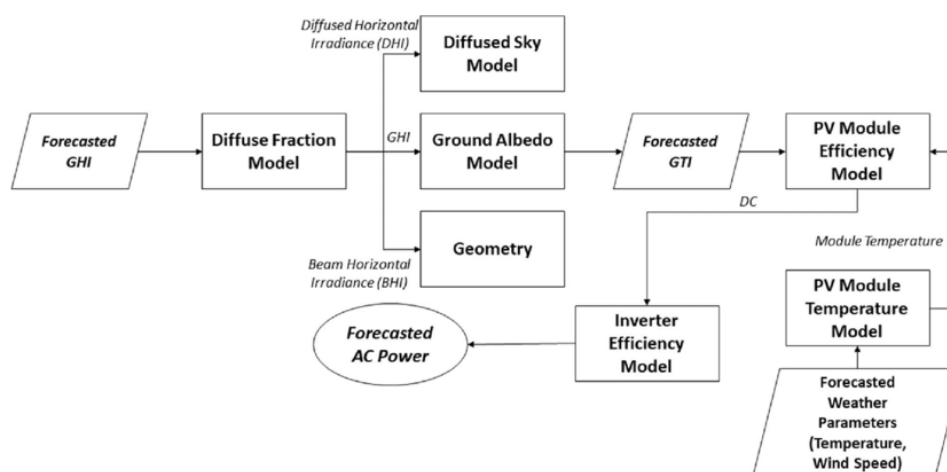
Εικόνα 10: Φωτορεαλιστική απεικόνιση φωτοβολταϊκού πάρκου στην έρημο

Σε σύγκριση με άλλες μεθόδους πρόβλεψης, το NWP έχει ξεκάθαρα πλεονεκτήματα. Ενώ τα μοντέλα δορυφορικών εικόνων είναι χρήσιμα μόνο για βραχυπρόθεσμες προβλέψεις έως 5 ώρες, το NWP μπορεί να προβλέψει τις ατμοσφαιρικές συνθήκες έως και 15 ημέρες εκ των προτέρων. Είναι ευρέως αποδεκτό ότι το NWP παρέχει πιο ακριβείς προβλέψεις από τις μεθόδους που βασίζονται σε δορυφόρους για περιόδους μεγαλύτερες από 4 ώρες.

Αρκετά μοντέλα NWP χρησιμοποιούνται στην πρόβλεψη ηλιακής ενέργειας, όπως το Ευρωπαϊκό Κέντρο για Προγνώσεις Καιρού Μεσοπρόθεσμης Διάρκειας (ECMWF), το North American Mesoscale (NAM) και το Global Forecast System

(GFS). Το ECMWF, για παράδειγμα, χρησιμοποιείται για την πρόβλεψη της περιφερειακής παραγωγής PV ενέργειας στη Γερμανία για έως και τρεις ημέρες εκ των προτέρων.

Βεβαίως, για την ακριβή πρόβλεψη της παραγωγής, χρειάζεται να μελετηθούν και να συμπεριληφθούν πολλοί ακόμη παράγοντες όπως [23] η γεωμετρία, η τοποθέτηση των φωτοβολταϊκών πάνελ, η αποδοτικότητα των πάνελ, η αποδοτικότητα των μετατροπών και άλλα που είναι εκτός της παρούσας μελέτης.



Εικόνα 11: Διαδικασία πρόβλεψης παραγωγής φωτοβολταϊκού [23]

2.3.2 Αιολική ενέργεια και ανεμογεννήτριες

Η χρησιμοποίηση της αιολικής ενέργειας, μίας καθαρής και βιώσιμης πηγής ενέργειας, για την παραγωγή ηλεκτρισμού κερδίζει ολοένα και περισσότερο ενδιαφέρον λόγω της φιλικής προς το περιβάλλον φύσης της. Ωστόσο, η ασυνέπεια στην παραγωγή ηλεκτρισμού που προέρχεται από την απρόβλεπτη φύση της ταχύτητας του ανέμου δημιουργεί δυσκολίες στην διατήρηση της αξιοπιστίας και της σταθερότητας των ηλεκτρικών δικτύων κατά την ενσωμάτωση μεγάλων ποσοτήτων αιολικής ενέργειας. Επομένως, οι ακριβείς προβλέψεις της ταχύτητας και της αιολικής ενέργειας (WS/WP) έχουν γίνει κρίσιμες για την μείωση των ασυνεπειών της αιολικής ενέργειας στον προγραμματισμό της διανομής συστημάτων.

Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις, που διαφέρουν ανάλογα με τις χρονικές κλίμακες ή τις μεθοδολογίες, για την πρόβλεψη της αιολικής ενέργειας. Υπάρχουν ασυμφωνίες στο πώς διάφορα έργα ταξινομούν τις χρονικές κλίμακες των μεθόδων πρόβλεψης αιολικής ενέργειας, αλλά μια σύνθεση διάφορων

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας πηγών υποδεικνύει ότι αυτές οι μέθοδοι γενικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τέσσερις κύριους τύπους. Πρώτον, υπάρχει η υπερβραχυπρόθεσμη πρόβλεψη, που προβλέπει την αιολική ενέργεια από λίγα λεπτά έως 1 ώρα εκ των προτέρων. Δεύτερον, η βραχυπρόθεσμη πρόβλεψη παρέχει προβλέψεις από 1 ώρα έως αρκετές ώρες μπροστά. Η μεσοπρόθεσμη πρόβλεψη, η τρίτη κατηγορία, επεκτείνει τις προβλέψεις από αρκετές ώρες έως 1 εβδομάδα μπροστά. Τέλος, η μακροπρόθεσμη πρόβλεψη προσφέρει προβλέψεις από 1 εβδομάδα έως 1 έτος ή ακόμα και περισσότερο. [24]



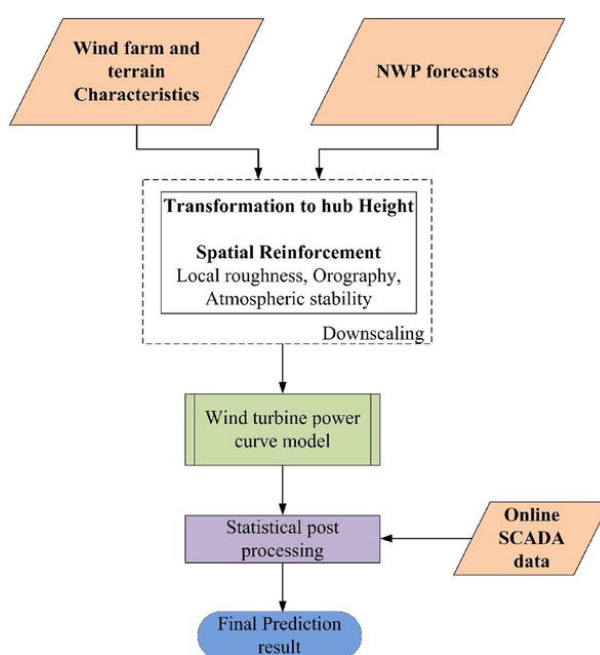
Εικόνα 12: Φάρμα με ανεμογεννήτριες

Για την πρόβλεψη της παραγωγής, υπάρχουν επίσης ποικίλες μέθοδοι. Μία από αυτές είναι η φυσική μέθοδος, η οποία βασίζεται στην αριθμητική πρόγνωση καιρού (NWP) ή σε δεδομένα της κατώτερης ατμόσφαιρας, χρησιμοποιώντας πληροφορίες πρόγνωσης καιρού όπως θερμοκρασία, πίεση, αυξομειώσεις της επιφάνειας και εμπόδια. Το μοντέλο NWP, δημιουργημένο από μετεωρολόγους, είναι σχεδιασμένο για την πρόγνωση καιρού σε μεγάλης κλίμακας περιοχές. Συνήθως, η ταχύτητα του ανέμου που αποκτάται από τις τοπικές μετεωρολογικές υπηρεσίες και προσαρμόζεται στις ανεμογεννήτριες στα αιολικά πάρκα μεταφράζεται σε αιολική ενέργεια. Ο κύριος στόχος των φυσικών μεθόδων είναι να βελτιώσουν την πραγματική ανάλυση του μοντέλου NWP προκειμένου να επιτύχουν ακριβείς προβλέψεις καιρού. Εξαιτίας των εκτεταμένων υπολογισμών που απαιτούνται, οι φυσικές μέθοδοι υλοποιούνται σε υπερυπολογιστές. Οι τρέχουσες εμπορικές μέθοδοι πρόβλεψης αιολικής ενέργειας ενσωματώνουν προβλέψεις ανέμου NWP ως δεδομένα εισόδου. Χρησιμοποιώντας αυτά τα δεδομένα εισόδου από το NWP, τα φυσικά συστήματα καθορίζουν τα δεδομένα εξόδου (πρόβλεψη ταχύτητας ανέμου) στις συνθήκες επιτόπου, εφαρμόζοντας τεχνικές που βασίζονται στη φυσική της κατώτερης στρώσης της ατμόσφαιρας. [24]

Οι προβλέψεις δίνονται σε καθορισμένα σημεία σε ένα πλέγμα που καλύπτει μια συγκεκριμένη περιοχή. Ωστόσο, καθώς τα αιολικά πάρκα δεν βρίσκονται σε αυτά τα σημεία του πλέγματος, αυτές οι προβλέψεις πρέπει να προσαρμοστούν

στην πραγματική τοποθεσία του αιολικού πάρκου και στο ύψος του κέντρου της τουρμπίνας. Οι τεχνικές πρόβλεψης βασισμένες σε φυσικά μοντέλα συνδυάζουν διάφορα υπομοντέλα για να μετατρέψουν τις προβλέψεις του ανέμου από αυτά τα σημεία σε προβλέψεις ενέργειας στον πραγματικό χώρο. [25]

Η μετατροπή της ταχύτητας του ανέμου σε ενέργεια στο επίπεδο του αιολικού πάρκου και στο ύψος του κέντρου της τουρμπίνας εξαρτάται από τις καμπύλες ισχύος που παρέχονται από τον κατασκευαστή της τουρμπίνας. Ωστόσο, καθώς πολλές μελέτες έχουν δείξει μια τάση προς τη χρήση καμπυλών ισχύος που βασίζονται σε πραγματικά δεδομένα έναντι θεωρητικών, αυτές οι θεωρητικές καμπύλες χάνουν σε σημασία. Στις μεθόδους βασισμένες στη φυσική, η διαδικασία για τον καθορισμό της παραγωγής αιολικής ενέργειας από NWP σε διάφορα σημεία του αιολικού πάρκου είναι οριστική. Αυτή η καθιερωμένη λειτουργία μετατροπής χρησιμοποιείται στις τελευταίες προβλέψεις καιρού. Τα φυσικά μοντέλα συχνά ενσωματώνουν Στατιστικά Δεδομένα Εξόδου Μοντέλου (MOS) για τη διόρθωση των προβλέψεων ισχύος, επιτυγχάνοντας διορθώσεις σε ασυνέπειες ή λάθη πρόβλεψης, ανεξάρτητα από το αν προκύπτουν από το μοντέλο NWP ή τη μεθοδολογία που χρησιμοποιείται. [25]



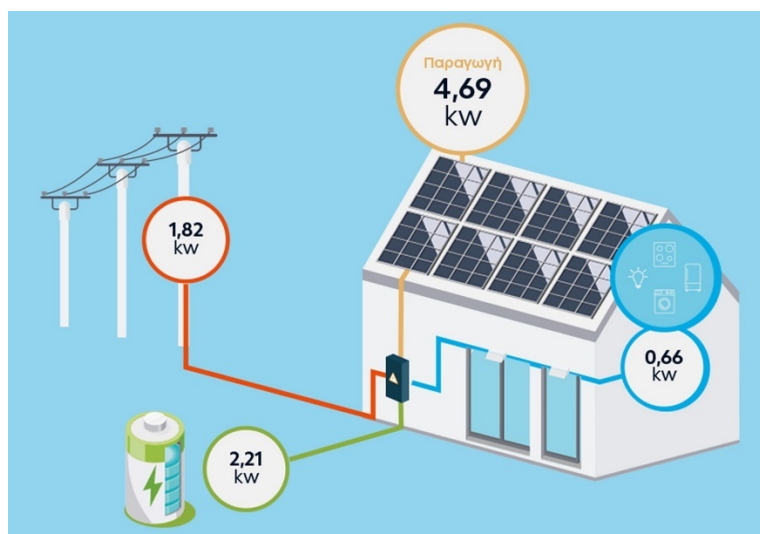
Εικόνα 13: Στάδια πρόβλεψης αιολικής ενέργειας με χρήση NPW [25]

Με την εξέλιξη της τεχνητής νοημοσύνης, ειδικά του deep learning, υπάρχει μια αυξανόμενη προτίμηση για μοντέλα βασισμένα στο deep learning στις προβλέψεις WS/WP λόγω της εξαιρετικής τους ικανότητας στην διαχείριση σύνθετων μη γραμμικών ζητημάτων. Σε ένα πρόσφατο επιστημονικό άρθρο

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας [26], εξετάστηκαν λεπτομερώς οι διάφορες μέθοδοι με χρήση deep learning που εφαρμόζονται στις προβλέψεις WS/WP. Αξιολογήθηκαν οι δυνατότητες πρόβλεψης αρκετών διάσημων μοντέλων χρησιμοποιώντας δύο πραγματικά σετ δεδομένων ανέμου. Η μελέτη αναγνώρισε τρεις κύριες δυσκολίες για ακριβείς προβλέψεις WS/WP υπό σύνθετες συνθήκες, τις αβεβαιότητες των δεδομένων, τα ελλιπή χαρακτηριστικά και τις περίπλοκες μη γραμμικές σχέσεις.

2.3.3 Χρήση της πρόγνωσης του καιρού για την αύξηση του ποσοστού αυτοκατανάλωσης των οικιακών ηλιακών συστημάτων

Τα τελευταία χρόνια σε πολλές χώρες είναι όλο και πιο σύνηθες να εγκαθίστανται φωτοβολταϊκά συστήματα στις στέγες των σπιτιών και των βιομηχανικών κτιρίων. Τα συστήματα αυτά μπορεί να είναι διασυνδεδεμένα με το δίκτυο ή να είναι αυτόνομα. Τα αυτόνομα διαθέτουν μπαταρίες για την αποθήκευση της ενέργειας ενώ τα διασυνδεδεμένα συμβάλουν στην μείωση των απαιτήσεων ενέργειας από το δίκτυο. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα αποθήκευσης ενέργειας για μελλοντική χρήση σε μπαταρίες, στα διασυνδεδεμένα συστήματα, στις περιπτώσεις που η ζήτηση του καταναλωτή είναι μικρότερη από την παραγωγή ενέργειας από τα εγκατεστημένα φωτοβολταϊκά συστήματα.



Εικόνα 14: Σχεδιαστική απεικόνιση διασυνδεδεμένου φωτοβολταϊκού συστήματος με μπαταρίες

Ένα πανεπιστήμιο στην Ιταλία, διεξάγει μία έρευνα [27] με στόχο την αξιολόγηση της ποσότητας της ενέργειας που μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα νοικοκυριά που παράγουν τη δική τους ενέργεια, βελτιστοποιώντας την με βάση τις προβλέψεις του καιρού.

Για να εξετάσει πώς οι αβεβαιότητες στις προβλέψεις του καιρού επηρεάζουν τη διαχείριση ενέργειας σε σπίτια με φωτοβολταϊκά συστήματα (PV) και μπαταρίες, η μελέτη λάμβανε υπόψη 150 Ιταλικά προφίλ κατανάλωσης ενέργειας. Το ποσοστό αυτοκατανάλωσης υπολογίστηκε με τη χρήση ενός στοχαστικού

μοντέλου για την πρόβλεψη της ημερήσιας παραγωγής ηλιακής ενέργειας με βάση τις προβλέψεις του καιρού. Αυτά τα αποτελέσματα συγκρίθηκαν στη συνέχεια με αυτά από ένα ιδανικό και ένα ντετερμινιστικό μοντέλο.

Τα ευρήματα έδειξαν ότι η ιδανική προσέγγιση θα μπορούσε να επιτύχει ποσοστά αυτοκατανάλωσης που κυμαίνονται ανάμεσα στο 40 - 80%, ανάλογα με μεταβλητές όπως το μέγεθος των μεταβλητών φορτίων, της αποθήκευσης ενέργειας με χρήση μπαταριών και του ηλιακού συστήματος PV. Οι αβεβαιότητες στις προβλέψεις του καιρού μείωσαν αυτά τα ποσοστά κατά περίπου 0.5% - 4.5%. Ωστόσο, η χρήση μιας στοχαστικής προσέγγισης θα μπορούσε να βελτιώσει τα ποσοστά αυτοκατανάλωσης, ιδιαίτερα όταν οι προβλέψεις του καιρού και τα μεταβλητά φορτία είναι πολύ αβέβαια.

Μια αρχική οικονομική ανάλυση έδειξε ότι, δεδομένων των τρεχουσών τιμών των μπαταριών, το ποσοστό αυτοκατανάλωσης (SCR) κυμαίνεται ανάμεσα στο 35% - 50%, υποδεικνύοντας ότι οι τιμές των μπαταριών χρειάζεται να μειωθούν για να καταστεί οικονομικά ελκυστική η υιοθέτησή τους.

Η μελέτη επίσης επεσήμανε ότι οι αβεβαιότητες στα προφίλ ζήτησης ενέργειας θα μπορούσαν να επηρεάσουν το ποσοστό αυτοκατανάλωσης. Παρόλο που το πρόβλημα βελτιστοποίησης μπορεί να προσαρμοστεί για να λάβει υπόψη αυτό τον παράγοντα, ο προσδιορισμός αυτού του είδους αβεβαιότητας παραμένει ένα ανοιχτό ζήτημα.

2.3.4 Μεγιστοποίηση της παραγωγής ενέργειας από υδροηλεκτρικά φράγματα

Μια πρόσφατη έρευνα [28], ενσωμάτωσε μετεωρολογικές προβλέψεις βασισμένες στο μοντέλο Αριθμητικής Πρόγνωσης Καιρού (NWP), μαζί με άλλα υπολογιστικά μοντέλα, για να βελτιώσει τον τρόπο λειτουργίας των υδροηλεκτρικών φραγμάτων στο Ντιτρόιτ και τη Πενσακόλα. Αυτή η ενοποιημένη προσέγγιση βελτιστοποίησε την αποδέσμευση νερού από τις δεξαμενές για να αυξήσει την παραγωγή ενέργειας. Κατά τη διάρκεια μιας περιόδου δύο ετών, αυτή η προσέγγιση αύξησε την παραγωγή ενέργειας στα φράγματα της Πενσακόλα και του Ντιτρόιτ κατά 12.825 MWh και 9.270 MWh αντίστοιχα. Για το φράγμα του Ντιτρόιτ, μια μεγαλύτερη περίοδος βελτιστοποίησης δέκα μηνών αύξησε τη συνολική παραγωγή ενέργειας κατά 5,6% σε σύγκριση με τις τρέχουσες μεθόδους.

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας



Εικόνα 15: Υδροηλεκτρικό φράγμα του Ντιτρόιτ [29]

Αυτή η βελτιστοποίηση βοήθησε επίσης στον έλεγχο πλημμυρών και την ασφάλεια των φραγμάτων κάτι εξίσου σημαντικό στην εποχή της κλιματικής αλλαγής. Το μοντέλο επέτρεψε στους χειριστές να κάνουν τις καλύτερες επιλογές για διάφορες καταστάσεις, ειδικά κατά τις περιόδους υψηλής ροής, όταν οι προβλέψεις είναι συνήθως αβέβαιες. Έδειξε ότι ακόμη και μικρές καθημερινές βελτιώσεις στην παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας μπορούν να συμβάλουν σημαντικά στη βιωσιμότητα και να μειώσουν την εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα.

Παρόλο που υπάρχει δυναμικό στη χρήση πραγματικών δεδομένων και περιορισμών για την καλύτερη διαχείριση των υδάτινων πόρων, είναι ένας τομέας που ακόμη πρέπει να εξερευνηθεί πλήρως. Ωστόσο, χάρη στις προόδους στην ατμοσφαιρική επιστήμη, οι δημόσιες μετεωρολογικές προβλέψεις είναι πιο διαθέσιμες από ποτέ. Η πρόκληση τώρα είναι να καταστήσουμε αυτές τις προβλέψεις προσβάσιμες και εφαρμόσιμες για τους χειριστές φραγμάτων, ώστε να καταστήσουμε την παραγωγή ενέργειας πιο αποδοτική και λιγότερο επιβλαβή για το περιβάλλον.

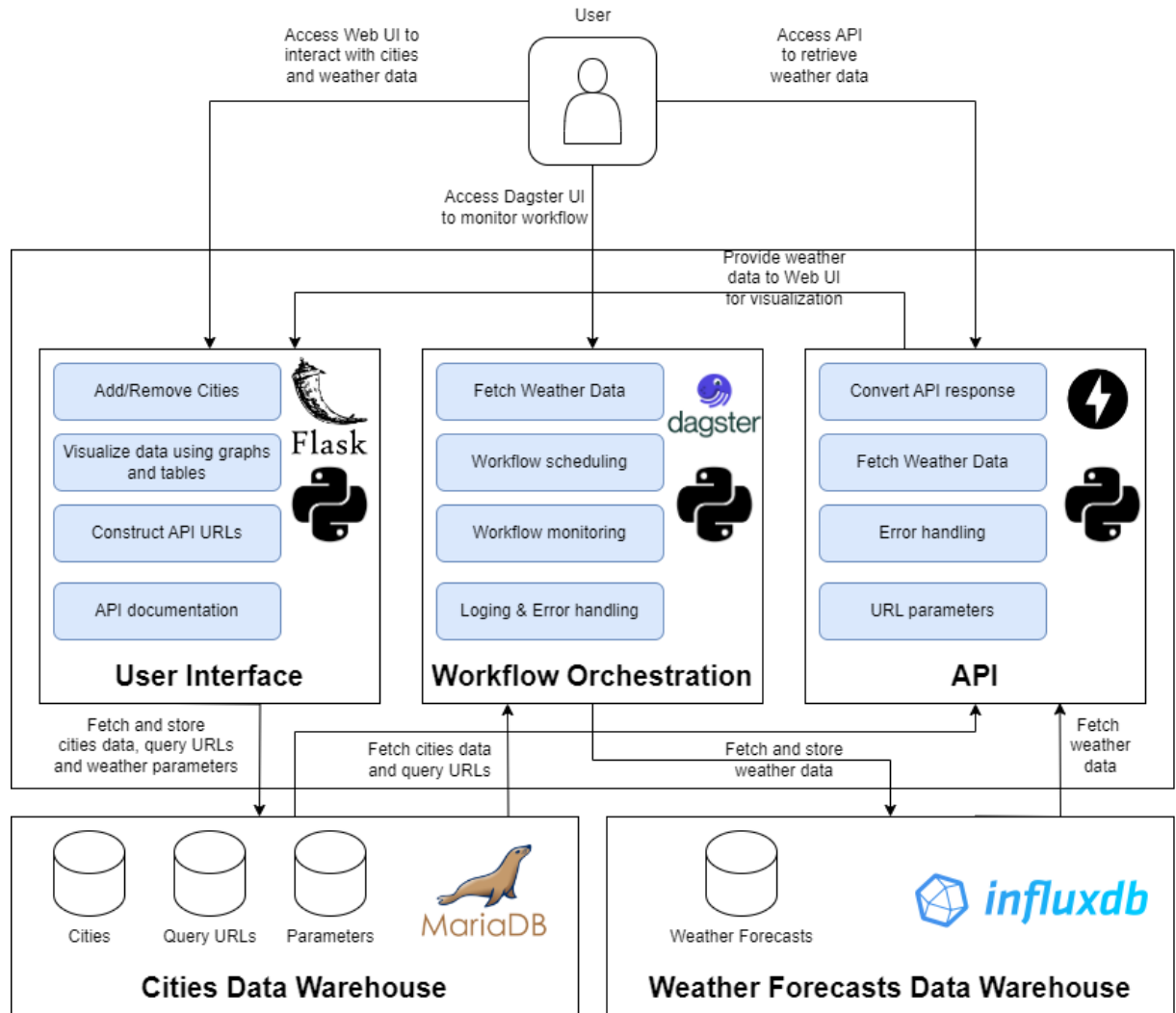
Οι ερευνητές κλείνοντας ανέφεραν ότι μια μελλοντική έρευνα θα επικεντρωθεί στην ενσωμάτωση της πρόβλεψης ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας με αυτά τα μοντέλα λειτουργίας δεξαμενών, ώστε να μη χαθούν ευκαιρίες κατά τις περιόδους αιχμής της ζήτησης.

3 Ανάλυση αρχιτεκτονικής και τεχνολογιών συστήματος

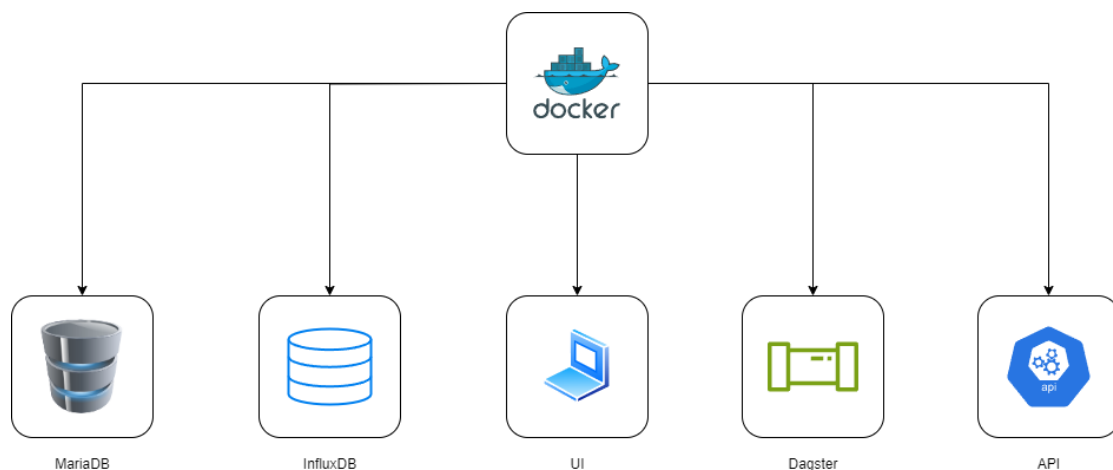
Για την κάλυψη των απαιτήσεων της εφαρμογής, επιλέχθηκαν ποικίλες τεχνολογίες, βιβλιοθήκες και γλώσσες για την υλοποίηση της. Αρχικά για την διευκόλυνση του χρήστη στην επιλογή των σημείων συλλογής δεδομένων, επιλέχθηκε μια σχεσιακή βάση δεδομένων (SQL) ενώ για την συλλογή των δεδομένων του καιρού επιλέχθηκε μία μη σχεσιακή βάση (NoSQL). Η πρώτη αναπτύχθηκε με την χρήση της MariaDB ενώ η δεύτερη με τη χρήση της InfluxDB. Η βασική γλώσσα προγραμματισμού είναι η Python και με την βοήθεια των βιβλιοθηκών που διαθέτει έγινε η διασύνδεση ανάμεσα στα απαιτούμενα εργαλεία. Για την επίτευξη του αυτοματισμού καθώς και του ελέγχου της ομαλής λειτουργίας επιλέχθηκε το εργαλείο Dagster μέσω του οποίου ο διαχειριστής έχει πλήρη εικόνα της διαδικασίας συλλογής δεδομένων. Η τελική ανάπτυξη της εφαρμογής έγινε με τη χρήση του Docker και του Docker Compose μέσω των οποίων οι διάφορες εφαρμογές μπορούν να αναπτυχθούν ταυτόχρονα και να διασυνδεθούν μεταξύ τους με ελάχιστες ενέργειες από τον χρήστη. Παρακάτω αναλύονται οι προαναφερθέντες τεχνολογίες σε βάθος.

Η εφαρμογή ξεκινά με τον διαχειριστή ο οποίος κάνοντας χρήση της διεπαφής του χρήστη, εισάγει τα στοιχεία του σημείου που τον ενδιαφέρει να συλλέξει δεδομένα. Τα στοιχεία αυτά, είναι εκτός από το όνομα της πόλης ή το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, και στοιχεία για τη συχνότητα συλλογής των δεδομένων καθώς και από ποια καιρικά μοντέλα, τα οποία και αποθηκεύονται σε μία σχεσιακή βάση δεδομένων. Έπειτα, με χρήση του Dagster ελέγχεται αν είναι η ώρα να γίνει κλήση στις προγραμματιστικές διεπαφές για την συλλογή δεδομένων καιρού. Όταν η συνθήκη αυτή είναι αληθής, γίνεται η συλλογή και αποθήκευση των δεδομένων αυτών στην μη σχεσιακή βάση δεδομένων χρονοσειρών InfluxDB. Τα δεδομένα αυτά μετά είναι προσβάσιμα και από τη διεπαφή του χρήστη αλλά και μέσω μία ανοιχτής προγραμματιστικής διεπαφής (API). Στην πρώτη περίπτωση, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει από τα διαθέσιμα σημεία μέσα σε ένα χρονικό εύρος και να προβάλει τα αποθηκευμένα δεδομένα είτε σε πίνακες είτε σε γράφημα. Υπάρχει ακόμα και η επιλογή εξαγωγής των δεδομένων αυτών σε αρχείο CSV ή σε αρχείο JSON. Στην δεύτερη περίπτωση, υπάρχει η ανοιχτή προγραμματιστική διεπαφή, μέσω της οποίας αντίστοιχα επιλέγοντας τις συντεταγμένες και το χρονικό εύρος, επιστρέφονται στο χρήστη από την InfluxDB τα δεδομένα χρονοσειρών που έχουμε αποθηκεύσει.

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας



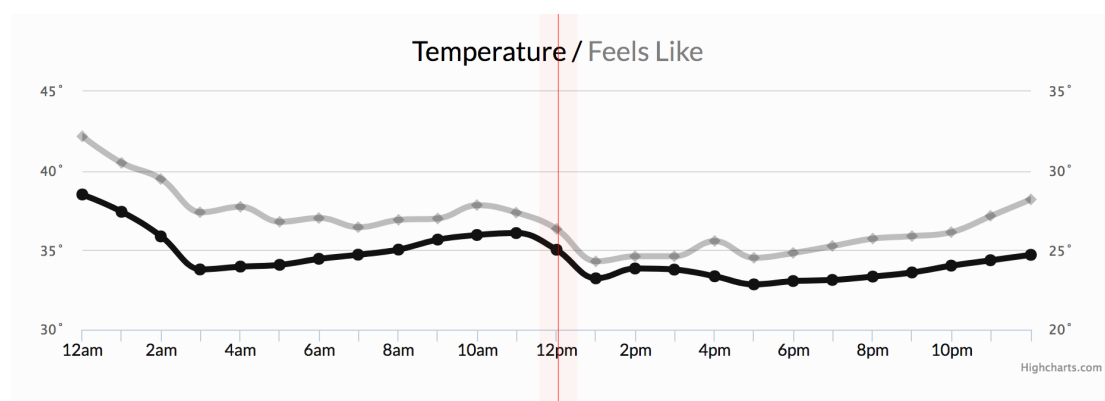
Εικόνα 16: Αρχιτεκτονική εφαρμογής



Εικόνα 17: Ανάπτυξη επιμέρους στοιχείων με χρήση docker

3.1 Αποθήκευση καιρικών δεδομένων

Τα δεδομένα χρονοσειρών αποτελούν μια συλλογή παρατηρήσεων που αποκτώνται μέσω επαναλαμβανόμενων μετρήσεων κατά τη διάρκεια του χρόνου [30]. Παραδείγματα τέτοιων δεδομένων είναι τα δεδομένα καιρού, οι τιμές χρηματιστηριακών προϊόντων, οι παλμοί της καρδιάς και άλλα, τα οποία αν τοποθετηθούν σε γράφημα, πάντα ένας από τους άξονες θα είναι ο χρόνος. Η επιλογή μιας βάσης για την αποθήκευση των δεδομένων αυτών είναι πολύ σημαντική καθώς τα δεδομένα χρονοσειρών σε μία εφαρμογή είναι συνήθως πολλά και πρέπει να εξασφαλίζεται η ακεραιότητα και η ακρίβειά τους. Για τον ίδιο λόγο ένα σημαντικό κριτήριο είναι και η ταχύτητα της βάσης καθώς μια ερώτηση σε αυτή (query) μπορεί να πρέπει να επιστρέψει χιλιάδες δεδομένα και άρα θα πρέπει να εκτελείται γρήγορα. Στην εφαρμογή μας για παράδειγμα, για κάθε σημείο ενδιαφέροντος συλλέγονται περίπου 2000 δεδομένα την ημέρα στο μέγιστο. Αν ο χρήστης ζητήσει από την βάση τα δεδομένα ενός έτος τότε η βάση πρέπει να επιστρέψει 730.000 δεδομένα. Έπειτα από έρευνα και σύγκριση των διαθέσιμων βάσεων ανοιχτού κώδικα, κατέληξα ότι η καλύτερη επιλογή είναι η InfluxDB.



Εικόνα 18: Παράδειγμα γραφήματος με δεδομένα καιρού συναρτήσει του χρόνου

Η InfluxDB είναι λοιπόν μια βάση δεδομένων χρονοσειρών (Time Series Database ή TSDB), ανοιχτού κώδικα και μη σχεσιακή, η οποία όμως χρησιμοποιεί για τις ερωτήσεις της, διατύπωση σχεσιακής βάσης (SQL-like queries). Θεωρείται η πιο δημοφιλής στον τομέα της [31] καθώς και η πιο γρήγορη και αξιόπιστη. Για την ανάπτυξή της και την δημιουργία της αρχικής βάσης, χρησιμοποιείται το docker-compose με τη βοήθεια μεταβλητών περιβάλλοντος.

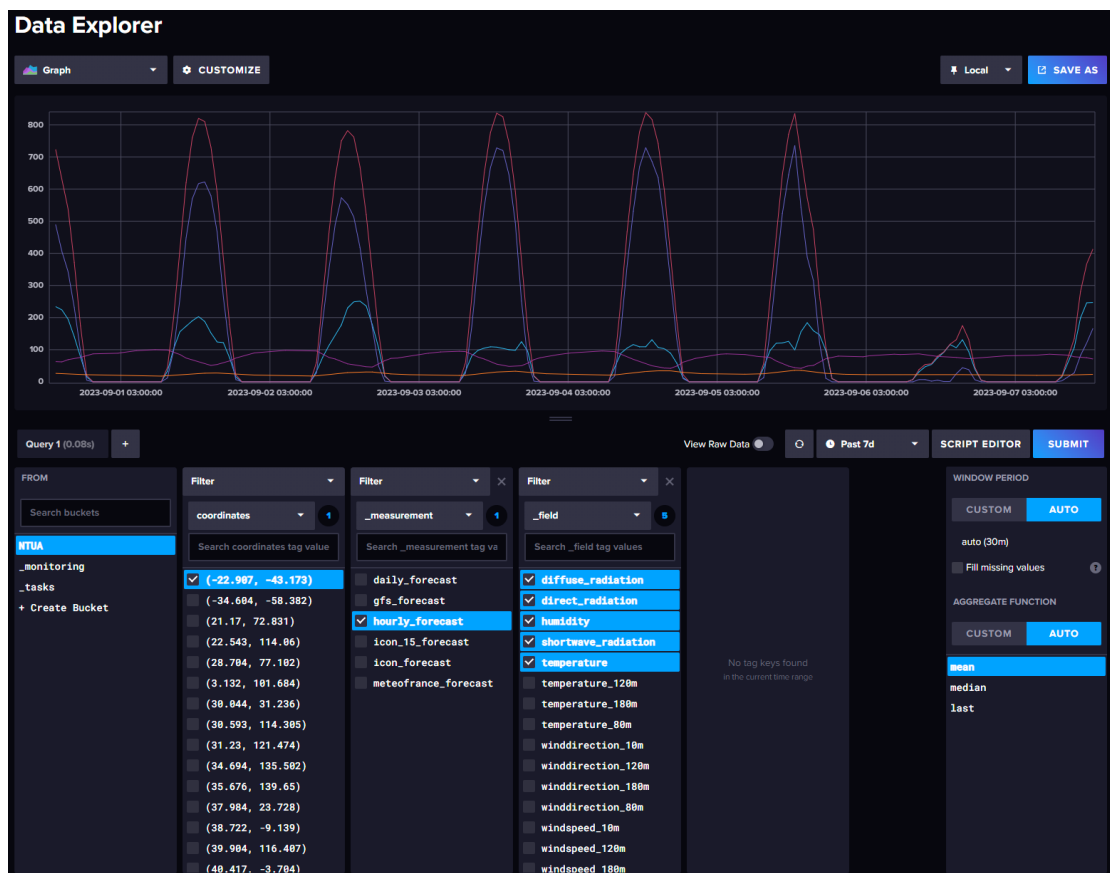
Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

```
version: '3'
services:
  influxdb:
    image: influxdb:2.7
    ports:
      - 8086:8086
    volumes:
      - ./influxdb-data:/var/lib/influxdb2
      - /etc/localtime:/etc/localtime:ro
    environment:
      DOCKER_INFLUXDB_INIT_MODE: setup
      DOCKER_INFLUXDB_INIT_USERNAME: ${INFLUX_USERNAME}
      DOCKER_INFLUXDB_INIT_PASSWORD: ${INFLUX_PASSWORD}
      DOCKER_INFLUXDB_INIT_ORG: ${INFLUXDB_ORG}
      DOCKER_INFLUXDB_INIT_BUCKET: ${INFLUXDB_BUCKET}
      DOCKER_INFLUXDB_INIT_ADMIN_TOKEN: ${INFLUX_TOKEN}
    restart: always
```

Εικόνα 19: Ανάπτυξη της InfluxDB και αρχική παραμετροποίηση

Οι μεταβλητές περιβάλλοντος αφορούν τα στοιχεία του διαχειριστή (username και password), το όνομα της βάσης μας (Org και Bucket), καθώς και ένα μοναδικό κλειδί για την μελλοντική πρόσβασή μας στην βάση (Token). Οι μεταβλητές αυτές, καθώς και όποιες άλλες χρειαζόμαστε, είναι αποθηκευμένες σ ένα ξεχωριστό αρχείο με την ονομασία **.env** και έχει πρόσβαση σε αυτές όλη η εφαρμογή.

Επίσης, η InfluxDB διαθέτει και ένα γραφικό περιβάλλον (UI) μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να διαχειριστεί και να επεξεργαστεί τη βάση αλλά μπορεί και να περιηγηθεί στα δεδομένα της. Το ενσωματωμένο αυτό εργαλείο απεικονίζει σε γραφήματα, συναρτησει πάντα με το χρόνο, τα δεδομένα χρονοσειρών μας και ο διαχειριστής μπορεί να ορίσει από ποια σημεία, ποια μοντέλα καιρού καθώς και το εύρος των ημερών. Παρακάτω απεικονίζεται και ένα παράδειγμα.



Εικόνα 20: Παράδειγμα απεικόνισης δεδομένων εντός της InfluxDB

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχουμε επιλέξει το σημείο -22.987, -43.173, το βέλτιστο ωριαίο μοντέλο και κάποιες από τις διαθέσιμες μεταβλητές μας για τις τελευταίες 7 ημέρες.

3.2 Σημεία ενδιαφέροντος για συλλογή δεδομένων

Τα σημεία ενδιαφέροντος είναι οι πόλεις και οι συντεταγμένες που ο χρήστης ή ο διαχειριστής θέλει να συλλέγει μετεωρολογικές προγνώσεις. Η προσθήκη γίνεται μέσω της διεπαφής του χρήστη (UI) και τα δεδομένα αποθηκεύονται σε μία βάση δεδομένων η οποία είναι απλώς ένας πίνακας με τα στοιχεία των σημείων. Για τον λόγο αυτό, επέλεξα να χρησιμοποιήσω μια SQL βάση και πιο συγκεκριμένα την MariaDB η οποία είναι σύστημα διαχείρισης σχεσιακής βάσης δεδομένων ανοικτού κώδικα. Είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς διακομιστές βάσεων δεδομένων χρήστες όπως τη Βικιπαίδεια, το WordPress.com και άλλα. [32] Τα σημεία ενδιαφέροντος έχουν ως μοναδικό αναγνωριστικό για τον χρήστη το ζεύγος των συντεταγμένων του. Για την βάση όμως υπάρχει ένα μοναδικό κλειδί το οποίο το χαρακτηρίζει ως κύριο κλειδί και είναι και το αναγνωριστικό του. Επιπλέον η βάση, αποθηκεύει στοιχεία όπως το όνομα της

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας πλησιέστερης πόλης, το όνομα της χώρας που βρίσκεται μαζί με το αναγνωριστικό της (country code).

Για την εφαρμογή μας όμως σημαντικό είναι το μοντέλο καιρού που επιλέγει ο χρήστης όταν καταχωρεί ένα σημείο. Τα διαθέσιμα μοντέλα είναι έξι (6) και τα επιλέγει ξεχωριστά με ένα Ναι ή Όχι για το καθένα (Yes or No). Μπορεί επίσης να εισάγει κάποιο σχόλιο (comment) για το σημείο που εισήγαγε. Καθώς οι καιρικές προγνώσεις που παρέχονται από τα καιρικά μοντέλα είναι από 1 ημέρα έως και 14 ημέρες σε κάποια μοντέλα, ο χρήστης επιλέγει ακόμη και για το πόσες ημέρες θέλει να συλλέγει δεδομένα καιρικής πρόγνωσης (forecast horizon). Η καταχώριση γίνεται από την διεπαφή του χρήστη που φαίνεται παρακάτω.

Add Cities or Coordinates

City Name		Coordinates	
Add City		Latitude	
<input type="text" value="Enter a valid city name"/>		<input type="text" value="Enter Latitude"/>	
Collection Methods and Model		Longitude	
Best Model Daily		<input type="text" value="Enter Longitude"/>	
Yes <input type="button" value="v"/>			
Best Model Hourly			
Yes <input type="button" value="v"/>			
ICON Hourly			
(best for central Europe)			
No <input type="button" value="v"/>			
ICON 15-Minutely			
(best for central Europe)			
No <input type="button" value="v"/>			
NOAA GFS Hourly			
(US region only)			
No <input type="button" value="v"/>			
MeteoFrance Hourly			
(tailored for Central Europe)			
No <input type="button" value="v"/>			
Comment			
<input type="text" value="Enter a comment"/>			
Forecast Horizon			
1 <input type="button" value="v"/>			
If ICON 15-Minutely selected -> Forecast Horizon fallback to 1 day			
If MeteoFrance Hourly selected -> Forecast Horizon fallback to 3 days			
<input type="button" value="Add City"/>		<input type="button" value="Add Coordinates"/>	

Εικόνα 21: Διεπαφή χρήστη για προσθήκη σημείου ενδιαφέροντος

Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει να βάλει χειροκίνητα τις συντεταγμένες που τον ενδιαφέρουν, το οποίο είναι και το πιο σύνηθες, ή να εισάγει μία έγκυρη πόλη οπουδήποτε στον κόσμο, καθώς τα σημεία ενδιαφέροντος μπορούν να είναι διαφορετικά για την κάθε ανάγκη (use case). Όλα τα παραπάνω αποθηκεύονται σε μία σχεσιακή βάση δεδομένων SQL που αναφέραμε και η οποία έχει την ακόλουθη δομή με 19 στήλες (columns) σε έναν πίνακα (table).

Η βάση περιέχει κάποιες βοηθητικές στήλες όπως η στήλη active στην οποία εμφανίζεται 0 αν δεν γίνεται συλλογή δεδομένων για το συγκεκριμένο σημείο, ή εμφανίζεται 1 αν γίνεται. Υπάρχει ακόμα η στήλη added στην οποία και εμφανίζεται η ημερομηνία που έγινε η συλλογή του σημείου ενδιαφέροντος καθώς και η στήλη started όπου βλέπουμε από ποια ημερομηνία και μετά έχουμε δεδομένα καιρικών προγνώσεων. Η στήλη horizon είναι οι ημέρες που έχει επιλέξει ο χρήστης και τέλος η στήλη last_hit είναι η ημερομηνία που έγινε η τελευταία συλλογή και αποθήκευση καιρικών δεδομένων.

#	Name	Datatype	Length/Set
 1	city_id	INT	11
2	active	INT	1
3	name	VARCHAR	255
4	lat	DOUBLE	
5	lon	DOUBLE	
6	tz	VARCHAR	50
7	country	VARCHAR	255
8	country_code	VARCHAR	255
9	added	DATE	
10	started	DATE	
11	daily	INT	1
12	hourly	INT	1
13	icon	INT	1
14	icon_15	INT	1
15	gfs	INT	1
16	meteofrance	INT	1
17	horizon	INT	11
18	comment	TEXT	
19	last_hit	DATE	

Εικόνα 22: Δομή βάσης δεδομένων σημείων ενδιαφέροντος

Για την ανάπτυξη της βάσης αυτής χρησιμοποιείται πάλι το docker-compose με τη βοήθεια μεταβλητών περιβάλλοντος οι οποίες αφορούν το όνομα της βάσης καθώς και τον κωδικό του διαχειριστή (root).

```
db:
  image: mariadb:10.6.5
  environment:
    MYSQL_ROOT_PASSWORD: ${MYSQL_ROOT_PASSWORD}
    MYSQL_DATABASE: ${MYSQL_DATABASE}
  ports:
    - "3306:3306"
  volumes:
    - ./mariadb-data:/var/lib/mysql
    - /etc/localtime:/etc/localtime:ro
    - ./mydb.sql:/docker-entrypoint-initdb.d/mydb.sql
  restart: always
```

Εικόνα 23: Ανάπτυξη της MariaDB και αρχική παραμετροποίηση

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας. Κατά την δημιουργία, γίνεται εισαγωγή και του αρχείου mydb.sql το οποίο περιέχει τις απαραίτητες εντολές για την δημιουργία της βάσης με τον σωστό πίνακα και τις σωστές στήλες.

```
CREATE DATABASE IF NOT EXISTS `NTUA`;
USE `NTUA`;

CREATE TABLE IF NOT EXISTS `cities` (
  `city_id` int(11) NOT NULL AUTO_INCREMENT,
  `active` int(1) NOT NULL DEFAULT 1,
  `name` varchar(255) NOT NULL,
  `lat` double NOT NULL,
  `lon` double NOT NULL,
  `tz` varchar(50) DEFAULT NULL,
  `country` varchar(255) DEFAULT NULL,
  `country_code` varchar(255) NOT NULL,
  `added` date NOT NULL,
  `started` date NOT NULL,
  `daily` int(1) DEFAULT 0,
  `hourly` int(1) DEFAULT 0,
  `icon` int(1) DEFAULT 0,
  `icon_15` int(1) DEFAULT 0,
  `gfs` int(1) DEFAULT 0,
  `meteofrance` int(1) DEFAULT 0,
  `horizon` int(11) DEFAULT 0,
  `comment` text DEFAULT NULL,
  `last_hit` date DEFAULT NOT NULL,
  PRIMARY KEY (`city_id`) USING BTREE
) ENGINE=InnoDB DEFAULT CHARSET=utf8mb3;
```

Εικόνα 24: Εντολές δημιουργίας βάσης δεδομένων για σημεία ενδιαφέροντος

3.3 Διεπαφή χρήστη και τεχνολογία ανάπτυξης της

Η ανάπτυξη της διεπαφής του χρήστη καθώς και η διασύνδεση με την βάση δεδομένων για τα σημεία ενδιαφέροντος γίνεται σε γλώσσα Python. Η Python είναι μια ανοιχτού κώδικα, διερμηνευόμενη, γενικού σκοπού και υψηλού επιπέδου γλώσσα προγραμματισμού. Ο κύριος στόχος της είναι η αναγνωσιμότητα του κώδικά της και η ευκολία χρήσης της. Διακρίνεται λόγω του ότι έχει πολλές βιβλιοθήκες που διευκολύνουν ιδιαίτερα αρκετές συνηθισμένες εργασίες και για την ταχύτητα εκμάθησής της. [33]

Χρησιμοποιήθηκαν πολλές βιβλιοθήκες και επεκτάσεις της Python για να γίνει η σωστή διασύνδεση και ανάπτυξη της διεπαφής του χρήστη.

Αρχικά έγινε χρήση του Flask, το οποίο είναι ένα πλαίσιο εφαρμογών ιστού (web framework) που αναπαριστά μια συλλογή από επεκτάσεις και βιβλιοθήκες για την συγγραφή εφαρμογών ιστού χωρίς την ανάγκη ενασχόλησης με χαμηλού

επιπέδου λεπτομέρειες. [34] Στην εφαρμογή μας έγινε χρήση διάφορων επεκτάσεων της Flask αλλά και άλλων της Python όπως Pandas.

Η διεπαφή έχει πολλαπλές λειτουργίες όπως προσθήκη και η διαγραφή σημείων ενδιαφέροντος, η προβολή οδηγιών και παραδειγμάτων για το API της εφαρμογής καθώς και η δυνατότητα εξαγωγής δεδομένων από το χρήστη είτε σε μορφή CSV είτε σε JSON. Επίσης, δίνει τη δυνατότητα να δει ο χρήστης τα δεδομένα σε πίνακες επιλέγοντας το σημείο ενδιαφέροντος, το μοντέλο πρόγνωσης καθώς και τις ημέρες που τον ενδιαφέρουν.

```
from flask import Flask, render_template, request, redirect, g, send_file, flash as flash_message
from flask_mysql import MySQL
import pandas as pd
from datetime import datetime
import requests
import os
import re
import csv
import json
from io import StringIO
from dotenv import load_dotenv
```

Εικόνα 25: Βιβλιοθήκες και επεκτάσεις διεπαφής χρήστη

Στο αρχείο main.py υπάρχουν όλες οι διαδρομές (routes) της διεπαφής σε μορφή συναρτήσεων. Κάποιες από αυτές αποδίδουν (render) ένα πρότυπο html με στατικές πληροφορίες ενώ κάποιες είναι πιο σύνθετες μέσα στις οποίες καλούνται άλλες συναρτήσεις και αποδίδονται δυναμικές σελίδες με μεταβλητές ανάλογα με τις ενέργειες του χρήστη.

```
@app.route('/', methods=['GET', 'POST'])
def home():
    return render_template('home.html')

@app.route('/api/docs', methods=['GET', 'POST'])
def docs():

    api_base_url = str(os.getenv('API_BASE_URL'))

    return render_template('docs.html', api_base_url=api_base_url)
```

Εικόνα 26: Διαδρομές για απόδοση στατικών σελίδων

3.3.1 Αλληλεπίδραση με σημεία ενδιαφέροντος

Στο ίδιο αρχείο, υπάρχουν και οι διαδρομές για την αλληλεπίδραση με την βάση δεδομένων για τα σημεία ενδιαφέροντος όπως για παράδειγμα την προβολή αυτών, την προσθήκη ή την διαγραφή. Στην πρώτη περίπτωση για την

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας προβολή, γίνεται μια ερώτηση στη βάση (query) να επιστρέψει μία λίστα με όλα τα σημεία.

Για την προσθήκη υπάρχει η επιλογή να εισάγει ο χρήστης το όνομα της πόλης ή τις ακριβείς συντεταγμένες όπως φαίνεται και στην Εικόνα 19. Στην περίπτωση που εισάγει απλά το όνομα της πόλης, γίνεται μια ερώτηση στη βάση αν υπάρχει ήδη η πόλη στη λίστα, και αν όχι τότε γίνεται αναζήτηση για πληροφορίες της πόλης. Για τις πληροφορίες αυτές γίνεται χρήση του Google API και πιο συγκεκριμένα, του Geocoding API, μέσω του οποίου λαμβάνονται οι συντεταγμένες της πόλης, η χώρα στην οποία βρίσκεται καθώς και ο κωδικός της χώρας. Οι συντεταγμένες προτού αποθηκευτούν καλείται μια συνάρτηση όπου επιβεβαιώνει ότι έχουν το πολύ 3 δεκαδικά ψηφία. Στην περίπτωση που ο χρήστης εισάγει κατευθείαν τις συντεταγμένες, γίνεται από την αρχή η επιβεβαίωση των 3 δεκαδικών και αν έχει παραπάνω, αφαιρεί τα υπόλοιπα. Έπειτα, γίνεται πάλι μια κλήση στο Geocoding API της Google από όπου και λαμβάνονται πληροφορίες για την πλησιέστερη πόλη, την χώρα και τον κωδικό της χώρας. Εάν το σημείο είναι στη θάλασσα σε διεθνή ύδατα τότε η χώρα σημειώνεται ως άγνωστη.

Ακόμη, κάθε φορά που γίνεται μια νέα προσθήκη, το κελί active γίνεται 1 (δηλαδή είναι ενεργή η συλλογή δεδομένων), το added παίρνει την τιμή της τρέχουσας ημερομηνίας και το started της επόμενης ημέρας. Εισάγεται το σχόλιο στο κελί comment και το forecast horizon στο κελί horizon. Το κελί last_hit παίρνει μια τιμή μίας ημερομηνίας 10 ημερών πριν την τρέχουσα προκειμένου να εξασφαλίσουμε ότι θα γίνει σίγουρα η κλήση ανεξαρτήτως του forecast horizon.

Με τον τρόπο αυτό, μετά την προσθήκη του σημείου ενδιαφέροντος, και αφού επιλέξει ο χρήστης και τα μοντέλα πρόγνωσης καιρού που τον ενδιαφέρουν, ανανεώνεται η λίστα στην διεπαφή του χρήστη.

List of Cities

A	Closest City	Lat	Lon	TZ	Country	Code	Date Added	Date Started	D	H	I	I	GFS	MF	Horizon	Comment	Map	Remove Point	Pause/Resume
1	New York	40.713	-74.006	-14400	United States	US	2023-06-12	2023-10-07	1	1	1	1	1	1	1-day	None	Map	Remove	Pause
1	Terni	42.564	12.643	7200	Italy	IT	2023-06-12	2023-06-12	1	1	1	1	1	1	1-day	None	Map	Remove	Pause
1	Terni	42.567	12.607	7200	Italy	IT	2023-06-12	2023-06-12	1	1	1	1	1	1	1-day	None	Map	Remove	Pause
1	Terni	42.569	12.608	7200	Italy	IT	2023-06-12	2023-06-12	1	1	1	1	1	1	1-day	None	Map	Remove	Pause
1	London	51.507	-0.128	3600	United Kingdom	GB	2023-06-12	2023-06-12	1	1	1	1	1	1	1-day	None	Map	Remove	Pause
1	Rome	41.903	12.496	7200	Italy	IT	2023-06-12	2023-06-12	1	1	1	1	1	1	1-day	None	Map	Remove	Pause
1	Tokyo	35.676	139.65	32400	Japan	JP	2023-06-12	2023-06-12	1	1	1	1	1	1	1-day	None	Map	Remove	Pause
1	Athens	37.984	23.728	10800	Greece	GR	2023-06-12	2023-06-12	1	1	1	1	1	1	1-day	None	Map	Remove	Pause
1	Madrid	40.417	-3.704	7200	Spain	ES	2023-06-12	2023-06-12	1	1	1	1	1	1	1-day	None	Map	Remove	Pause
1	Barcelona	41.387	2.169	7200	Spain	ES	2023-06-12	2023-06-12	1	1	1	1	1	1	1-day	None	Map	Remove	Pause

Εικόνα 27: Λίστα με σημεία ενδιαφέροντος στην διεπαφή του χρήστη

Υπάρχει ακόμη το κουμπί Pause με το οποίο και σταματάει η συλλογή δεδομένων, η σειρά γίνεται γκρι και το κουμπί αλλάζει σε Resume. Αν ο χρήστης επιλέξει να συνεχίσει τη συλλογή δεδομένων (πατώντας το Resume), τότε η ημερομηνία στο κελί started αλλάζει στην ημερομηνία της επόμενης ημέρας.

Για κάθε σημείο υπάρχει όπως προαναφέρθηκε και η δυνατότητα διαγραφής καθώς και η δυνατότητα προβολής του συγκεκριμένου ζεύγους συντεταγμένων στους χάρτες Google πάλι με τη βοήθεια του Google API.

```
@app.route('/cities/delete', methods=['POST'])
def delete():
    id = request.form['id']
    cur = mysql.connection.cursor()
    cur.execute("DELETE FROM cities WHERE city_id = %s", (id,))
    mysql.connection.commit()
    cur.close()
    flash_message('City has been removed.')
    return redirect('/cities')
```

Εικόνα 28: Διαδρομή διαγραφής σημείου ενδιαφέροντος

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

```
@app.route('/cities/add', methods=['POST'])
def add_city():
    city = request.form['city']
    daily = request.form['daily']
    hourly = request.form['hourly']
    icon = request.form['icon']
    icon_15 = request.form['icon_15']
    gfs = request.form['gfs']
    meteoFrance = request.form['meteoFrance']
    comment = request.form['comment']
    horizon = int(request.form['horizon'])
    horizon = adjust_horizon(horizon, meteoFrance, icon_15)

    current_date = datetime.now().date()
    next_day_date = current_date + timedelta(days=1)

    if city_exists(city):
        flash_message(f'{city} is already on the list of cities.')
    else:
        url = f'https://maps.googleapis.com/maps/api/geocode/json?address={city}&key={google_api_key}'
        response = requests.get(url).json()
        if response['status'] == "ZERO_RESULTS":
            flash_message('Invalid city name! Please try again...')
            return redirect('/cities/')
        else:
            for result in response['results']:
                for component in result["address_components"]:
                    if "country" in component["types"]:
                        country = component["long_name"]
                        country_code = component["short_name"]

            lat = response['results'][0]['geometry']['location']['lat']
            lon = response['results'][0]['geometry']['location']['lng']

            lat_valid = validate_and_normalize_coord(lat)
            lon_valid = validate_and_normalize_coord(lon)

            last_hit = datetime.today().date() - timedelta(days=10)

            with get_db().cursor() as cursor:
                query = "INSERT INTO cities (name, lat, lon, country, country_code, added, started, daily, hourly, icon, icon_15, gfs, meteoFrance, horizon, comment, last_hit) VALUES (%s, %s, %s, %s, %s, %s, %s, %s, %s, %s, %s, %s, %s, %s, %s, %s)"
                cursor.execute(query, (city, lat_valid, lon_valid, country, country_code, current_date, next_day_date, daily, hourly, icon, icon_15, gfs, meteoFrance, horizon, comment, last_hit))
            get_db().commit()

            city_data = retrieve_city_data()
            store_query_urls(city_data)
            tz_data = retrieve_city_data()
            store_timezones(tz_data)

            flash_message(f'{city} has been added to the list. The closest coordinates are {lat_valid} & {lon_valid}')
            return redirect('/cities/')
```

Εικόνα 29: Διαδρομή για προσθήκη σημείου ενδιαφέροντος ως πόλη

3.3.2 Αλληλεπίδραση με δεδομένα καιρού

Υπάρχουν ακόμη και διαδρομές που είναι δυναμικές και εξυπηρετούν την πρόσβαση στα δεδομένα των προγνώσεων του καιρού και στο API της εφαρμογής μας. Η διεπαφή του χρήστη δίνει τη δυνατότητα να επιλέξει το σημείο ενδιαφέροντος, το μοντέλο καιρού καθώς και τις ημέρες και να προβάλλει τα δεδομένα, κάνοντας χρήση του μενού που φαίνεται στην Εικόνα 28. Το μενού είναι δυναμικό και ανανεώνεται κάθε φορά με βάση τις επιλογές του χρήστη. Εμφανίζονται Έπειτα, εμφανίζονται οι επιλογές που έχουν γίνει μαζί με την διεύθυνση του API και δύο κουμπιά για εξαγωγή των δεδομένων σε μορφή CSV ή σε μορφή JSON (Εικόνα 29).

Επιπλέον, έχουν αναπτυχθεί δύο ακόμη σελίδες στις οποίες με τη χρήση ενός αντίστοιχου μενού από τον χρήστη, μπορεί να γίνει προβολή των δεδομένων είτε σε πίνακες είτε σε γραφήματα. Οι πίνακες είναι ομαδοποιημένοι ανά μεταβλητή και αποτελούνται από 2 στήλες, μία για το χρόνο και μία για τα δεδομένα. Η σελίδα με το γράφημα δημιουργεί ένα γράφημα με τις επιλογές του χρήστη και απεικονίζει σε συνάρτηση με το χρόνο την κάθε μεταβλητή ξεχωριστά με το δικό της χρώμα. Οι σελίδες αυτές θα αναλυθούν και παρακάτω στην Ενότητα 4.

API URL Generator

City: Data Source:

Parameters:

temperature_max_C (°C)

temperature_min_C (°C)

wind_speed (km/h)

wind_direction (°)

shortwave_radiation_sum (MJ/m²)

Start Date: End Date:

[Generate API URL](#)

API URL: [Copy](#)

API Data:

City:

Coordinates:

Data Source:

Forecast Horizon:

Start Date:

End Date:

Date Added:

Date Started:

Date of last call:

Open-Meteo API Url:

[Export to CSV](#) [Export to JSON](#)

Εικόνα 30: Δημιουργία και προβολή διαδρομής API δεδομένων

API URL Generator

City: Data Source:

Parameters:

temperature_max_C (°C)

temperature_min_C (°C)

wind_speed (km/h)

wind_direction (°)

shortwave_radiation_sum (MJ/m²)

Start Date: End Date:

[Generate API URL](#)

API URL: [Copy](#)

API Data:

City: New York

Coordinates: (40.713, -74.006)

Data Source: hourly_forecast

Forecast Horizon: 1

Start Date: 2023-10-01

End Date: 2023-10-02

Date Added: 2023-06-12

Date Started: 2023-10-07

Date of last call: 2023-10-31

Open-Meteo API Url: https://api.open-meteo.com/v1/forecast?latitude=40.713&longitude=-74.006&hourly=temperature_2m,relativehumidity_2m,windspeed_10m,windspeed_80m,windspeed_120m,windspeed_180m,winddirection_10m,win

[Export to CSV](#) [Export to JSON](#)

Εικόνα 31: Εμφάνιση και εξαγωγή δεδομένων από API

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαδρομή για την υλοποίηση της διαδικασίας αυτής είναι πολυσύνθετη. Αρχικά, εμφανίζει τη σελίδα με το μενού της Εικόνας 28. Έπειτα από την συμπλήρωση από το χρήστη, λαμβάνει τα δεδομένα που εισήγαγε, κάνει μια κλήση στο API της εφαρμογής μας, επεξεργάζεται τα δεδομένα με χρήση των Pandas και συνθέτει τη διαδρομή της κλήσης για το API (API call URL). Αν τα δεδομένα δεν υπάρχουν, είτε επειδή δεν είχε αρχίσει η συλλογή είτε επειδή δεν είχε επιλεγεί το σωστό μοντέλο, τότε επιστρέφει μία ενότητα στην ίδια σελίδα αναφέροντας ότι δεν υπάρχουν δεδομένα. Αν υπάρχουν δεδομένα τότε και αυτά μετατρέπονται σε μεταβλητές οι οποίες μετά αποδίδονται στην διεπαφή του χρήστη στη ίδια σελίδα σε ενότητα από κάτω (Εικόνα 29). Ο κώδικας της διαδρομής φαίνεται στην Εικόνα 30. Η σελίδα αυτή λοιπόν είναι δυναμική καθώς αλλάζει ανάλογα με την αλληλεπίδραση του χρήστη αλλά και ανάλογα με τα δεδομένα που υπάρχουν.

Η δυνατότητα εξαγωγής των δεδομένων έχει κάθε μία την δικιά της διαδρομή, μία εξ' αυτών απεικονίζεται παρακάτω μαζί με το αντίστοιχο αρχείο που παράγει για το παράδειγμα της Εικόνας 29. Αντίστοιχα όμως, λαμβάνει την εισαγωγή του χρήστη, προσθέτει τις πληροφορίες αυτές στην αρχή του αρχείου και έπειτα τα δεδομένα με χρονολογική σειρά και ομαδοποιημένα ανά μεταβλητή.

```
@app.route('/api', methods=['GET', 'POST'])
def data():
    cities = fetch_cities_from_database()

    if request.method == 'POST':
        # get data from the form
        selected_city = request.form.get('city_name')
        selected_sources = request.form.get("sources")
        start_date = request.form.get('start_date')
        end_date = request.form.get('end_date')
        selected_city_id = int(request.form.get('city_id'))
        selected_parameters = request.form.getlist('parameters')

        # Fetch detailed city info, including "started" and "added", for the selected city
        city_details = fetch_cities_from_database(selected_city_id)
        started = city_details[5]
        added = city_details[4]
        horizon = city_details[6]
        last_hit = city_details[7]

        # fetch the coordinates for the selected city from the database
        city_coordinates = fetch_coordinates_from_database(selected_city_id)

        # combine the information into an API URL
        api_url = generate_data_api_url(city_coordinates, selected_sources, start_date, end_date, selected_parameters)

        weather_query_urls = fetch_query_urls_from_database(selected_city_id)
        url_to_use = weather_query_urls.get(selected_sources, None)

        response = requests.head(api_url)

        if response.status_code == 404 or response.headers.get("X-Data-Available") == "false":
            return render_template('no_data.html', cities=cities, api_url=api_url, city_coordinates=city_coordinates,
                                   url_to_use=url_to_use, start_date=start_date, end_date=end_date, selected_city=selected_city,
                                   selected_sources=selected_sources, started=started, added=added, horizon=horizon, last_hit=last_hit)

        return render_template('api.html', cities=cities, api_url=api_url, url_to_use=url_to_use, city_coordinates=city_coordinates,
                                   start_date=start_date, end_date=end_date, selected_city=selected_city, selected_sources=selected_sources,
                                   started=started, added=added, horizon=horizon, last_hit=last_hit)

    return render_template('api.html', cities=cities)
```

Εικόνα 32: Διαδρομή διεπαφής χρήστη για αλληλεπίδραση με API

```

@app.route('/export_csv', methods=['POST'])
def export_csv():
    api_url = request.form.get('api_url')
    measurement = request.form.get('measurement')
    coordinates = request.form.get('coordinates')
    url_to_use = request.form.get('url_to_use')
    selected_city = request.form.get('selected_city')
    start_date = request.form.get('start_date')
    end_date = request.form.get('end_date')
    added = request.form.get('added')
    started = request.form.get('started')
    horizon = request.form.get('horizon')

    response = requests.get(api_url)
    if response.status_code != 200:
        return 'Failed to retrieve data', 500

    api_data = response.json()

    timestamp = datetime.now().strftime("%Y%m%d%H%M%S")
    filename = f"data_export_for_{coordinates}_at_{timestamp}.csv"

    new_rows = [
        ['API url:', api_url, ''],
        ['Open-Meteo url:', url_to_use, ''],
        ['City:', selected_city, ''],
        ['Coordinates:', coordinates, ''],
        ['Data_Source:', measurement, ''],
        ['Forecast Horizon:', horizon, ''],
        ['Start:', start_date, ''],
        ['End:', end_date, ''],
        ['Added:', added, ''],
        ['Started:', started, ''],
    ]

    with open(filename, 'w', newline='') as file:
        writer = csv.writer(file)
        writer.writerows(new_rows)

        times = api_data.get('time', [])
        results = api_data.get('results', {})

        if times and results:
            header = ['Time'] + list(results.keys())
            writer.writerow(header)

            for i, time in enumerate(times):
                row = [time]
                for key, measurement in results.items():
                    values = measurement.get('value', [])
                    row.append(values[i] if i < len(values) else '')
                writer.writerow(row)

    return send_file(filename, as_attachment=True)

```

Εικόνα 33: Διαδρομή για εξαγωγή δεδομένων σε μορφή CSV

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	API url:	http://38.242.137.200:8000/api/v1/query?source=hourly_forecast&coordinates=(40.713, -74.006)&start_date=2023-10-01&end_date=2023-10-01						
2	Open-Meteo url:	https://api.open-meteo.com/v1/forecast?latitude=40.713&longitude=-74.006&hourly=temperature_2m,relativehumidity_2m						
3	City:	New York						
4	Coordinates:	(40.713, -74.006)						
5	Data_Source:	hourly_forecast						
6	Forecast Horizon:	1						
7	Start:	10/1/2023						
8	End:	10/2/2023						
9	Added:	6/12/2023						
10	Started:	10/7/2023						
11	Time	diffuse_radiation	direct_radiation	humidity	shortwave_radiation	temperature	winddirection_10m	windspeed_10m
12	9/30/2023 21:00	0	0	89	0	15.4	24	11.4
13	9/30/2023 22:00	0	0	91	0	14.9	345	8.6
14	9/30/2023 23:00	0	0	90	0	14.7	335	11.1
15	10/1/2023 0:00	0	0	93	0	12.8	360	7.2
16	10/1/2023 1:00	0	0	93	0	12.5	336	6.3
17	10/1/2023 2:00	0	0	92	0	12.2	317	5.9
18	10/1/2023 3:00	0	0	91	0	11.9	331	6.6
19	10/1/2023 4:00	0	0	91	0	11.8	338	5.8
20	10/1/2023 5:00	0	0	91	0	11.6	328	4.7
21	10/1/2023 6:00	0	0	90	0	11.5	342	4.6
22	10/1/2023 7:00	0	0	90	0	11.4	331	7.4
23	10/1/2023 8:00	30	44	96	74	12.8	331	4.5
24	10/1/2023 9:00	63	188	90	251	15.8	346	10.7
25	10/1/2023 10:00	82	346	84	428	17.8	352	12.4
26	10/1/2023 11:00	109	466	80	575	19.1	357	14.4
27	10/1/2023 12:00	109	568	78	677	20.1	351	14.6
28	10/1/2023 13:00	119	604	73	723	20.7	352	15.3
29	10/1/2023 14:00	117	584	72	701	21.3	352	15.3
30	10/1/2023 15:00	112	510	72	622	21.4	348	14.3
31	10/1/2023 16:00	104	385	74	489	21.1	347	13.3
32	10/1/2023 17:00	90	223	80	313	20.5	342	10.6
33	10/1/2023 18:00	61	52	86	113	19.4	330	7.1
34	10/1/2023 19:00	0	0	87	0	17.7	330	7.9
35	10/1/2023 20:00	0	0	88	0	16.9	332	7.7

Εικόνα 34: Αρχείο CSV με δεδομένα

3.3.3 Οπτικοποίηση δεδομένων με χρήση πινάκων και γραφημάτων

Για την καλύτερη οπτικοποίηση των δεδομένων μας, έχουν αναπτυχθεί και δύο σελίδες παρόμοιας λογικής με την σελίδα που αναλύθηκε στο 3.3.2. Η μία σελίδα είναι η Data Tables και η άλλη η Data Charts. Η πρώτη προβάλλει τα δεδομένα μας σε μορφή πινάκων ενώ η δεύτερη σε ένα γράφημα.

Για την προβολή σε πίνακες, ο χρήστης εισάγει με τη χρήση ενός μενού, το σημείο που τον ενδιαφέρει καθώς και το χρονικό εύρος και του εμφανίζονται τα δεδομένα ομαδοποιημένα κατά μεταβλητή. Στη μία στήλη των πινάκων είναι ο χρόνος και στην άλλη η τιμή της εκάστοτε μεταβλητής. Για την προβολή σε γράφημα, μετά την αντίστοιχη επιλογή του χρήστη, εμφανίζεται ένα γράφημα σε συνάρτηση με το χρόνο το οποίο περιέχει όλες τις μεταβλητές που έχει επιλέξει ο χρήστης. Κάθε μεταβλητή έχει το δικό της χρώμα και ο χρήστης μπορεί να αλληλοεπιδράσει με το γράφημα κάνοντας δυναμικά απόκρυψη κάποιων, να μετακινήσει τους άξονες, να εξαγάγει το γράφημα ως φωτογραφία στον υπολογιστή του και άλλα. Παρακάτω απεικονίζεται ένα παράδειγμα και για τις δύο μεθόδους οπτικοποίησης.

Data Tables

City: Data Source:

Start Date: End Date:

Data:

City: New York
 Coordinates: (40.713, -74.006)
 Data Source: daily_forecast
 Start Date: 2023-10-01 & End Date: 2023-10-03

Tables:

Table: shortwave_radiation_sum

Time	Value
2023-10-01T00:00	17.88
2023-10-02T00:00	15.93

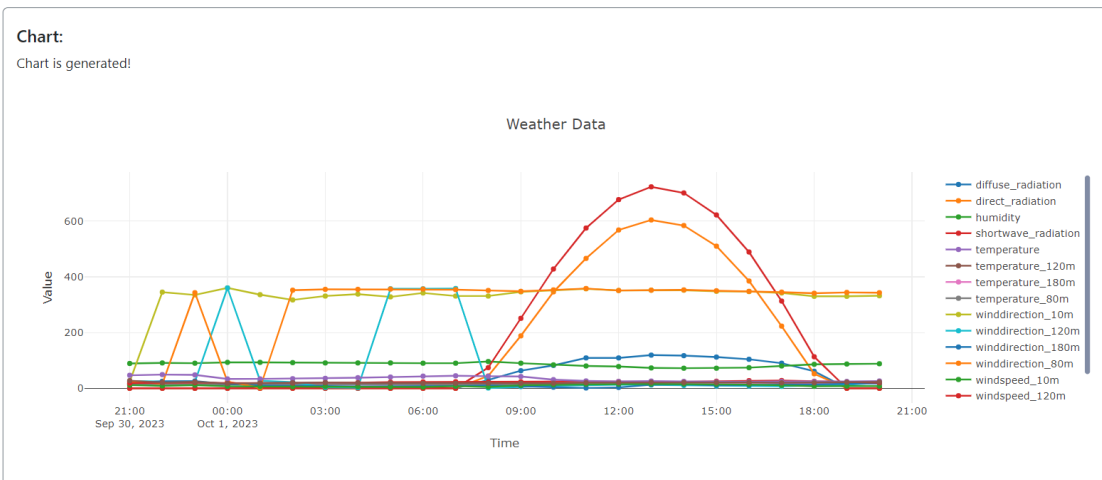
Table: temperature_max_C

Time	Value
2023-10-01T00:00	21.4
2023-10-02T00:00	21.6

Εικόνα 35: Πίνακες οπτικοποίησης δεδομένων καιρού

Data:

City: New York
 Coordinates: (40.713, -74.006)
 Data Source: hourly_forecast
 Start Date: 2023-10-01 & End Date: 2023-10-02
 API URL: [http://38.242.137.200:8000/api/v1/query?source=hourly_forecast&coordinates=\(40.713, -74.006\)&start_date=2023-10-01&end_date=2023-10-02](http://38.242.137.200:8000/api/v1/query?source=hourly_forecast&coordinates=(40.713, -74.006)&start_date=2023-10-01&end_date=2023-10-02)



Εικόνα 36: Διαδραστικό γράφημα οπτικοποίησης δεδομένων καιρού

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

3.3.4 Ανάπτυξη διεπαφής χρήστη

Για την τελική ανάπτυξη της διεπαφής γίνεται πάλι χρήση του Docker-Compose αλλά αυτή τη φορά κατασκευάζεται από την αρχή το Container μέσω ενός Dockerfile. Δηλαδή, εκτελούνται όλες οι απαραίτητες εντολές προκειμένου να αναπτυχθεί η διεπαφή του χρήστη και να εκτεθούν οι σωστές θύρες του διακομιστή.

```
1 FROM python:3.9.16-slim-buster
2
3 RUN apt-get update && \
4     apt-get install -y default-libmysqlclient-dev libmariadb-dev gcc
5
6 WORKDIR /
7
8 COPY requirements.txt .
9
10 RUN pip install --no-cache-dir -r requirements.txt
11
12 COPY . .
13
14 EXPOSE 5000
15
16 ENV FLASK_APP=main.py
17 ENV FLASK_ENV=production
18
19 CMD gunicorn --bind 0.0.0.0:5000 main:app
```

Εικόνα 37: Dockerfile για ανάπτυξη διεπαφής χρήστη

```
app:
  build: .
  volumes:
    - /etc/localtime:/etc/localtime:ro
  ports:
    - "5000:5000"
  depends_on:
    - db
    - influxdb
  environment:
    MYSQL_ROOT_PASSWORD: ${MYSQL_ROOT_PASSWORD}
    MYSQL_DATABASE: ${MYSQL_DATABASE}
    MYSQL_DB: ${MYSQL_DB}
    MYSQL_USER: ${MYSQL_USER}
    MYSQL_PASSWORD: ${MYSQL_PASSWORD}
    INFLUX_TOKEN: ${INFLUX_TOKEN}
    INFLUXDB_ORG: ${INFLUXDB_ORG}
    INFLUXDB_BUCKET: ${INFLUXDB_BUCKET}
    INFLUXDB_HOST: ${INFLUXDB_HOST}
    API_BASE_URL: ${API_BASE_URL}
  restart: unless-stopped
```

Εικόνα 38: Ανάπτυξη διεπαφής χρήστη και αρχική παραμετροποίηση

3.4 Πρόσβαση στα καιρικά δεδομένα

Στόχος της εφαρμογής μας είναι η χρήση των καιρικών δεδομένων που συλλέγουμε για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας. Για να χρησιμοποιήσει λοιπόν ο χρήστης τα δεδομένα μας πρέπει να μπορεί να έχει πρόσβαση σε αυτά. Για τον λόγο αυτό και δημιουργήθηκε η διεπαφή χρήστη όπως προαναφέραμε. Στον κόσμο όμως των εφαρμογών και του προγραμματισμού, υπάρχει ένας μηχανισμός που επιτρέπει σε δύο διαφορετικές εφαρμογές να επικοινωνούν με τη χρήση της λεγόμενης Διεπαφής Προγραμματισμού Εφαρμογής ή αλλιώς API. Για τον λόγο αυτό λοιπόν, αναπτύχθηκε και ένα API για την πρόσβαση στα δεδομένα μας από τον χρήστη, προκειμένου να μπορεί να τα προβάλλει, εξάγει και χρησιμοποιήσει για όποια χρήση θέλει.

3.4.1 Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογής (API)

Η ανάπτυξη της Διεπαφής Προγραμματισμού Εφαρμογής (API) υλοποιήθηκε με χρήση του FastAPI. Το FastAPI είναι ένα ανοιχτού κώδικα, σύγχρονο, γρήγορο πλαίσιο εργασίας για τη δημιουργία API με Python. Βασίζεται και είναι πλήρως συμβατό με τα ανοιχτά πρότυπα για τα API και είναι εύκολο και εύχρηστο στην εκμάτησή. [35] Το API συνοδεύεται και από την αναλυτική τεκμηρίωσή του (documentation) στην οποία και περιγράφονται όλοι οι παράμετροι και οι μεταβλητές που είναι διαθέσιμες ανά μοντέλο καιρού (Εικόνα 37).

Κάθε κλήση στο API επιστρέφει κάποιες πληροφορίες για την κλήση όπως συντεταγμένες του σημείου ενδιαφέροντος, το μοντέλο που έχουμε επιλέξει καθώς και το εύρος των ημερομηνιών που εμφανίζονται. Έπειτα εμφανίζονται ομαδοποιημένες οι ημερομηνίες και ώρες και ακολουθούν τα δεδομένα ομαδοποιημένα ανά παράμετρο. Η απάντηση εμφανίζεται σε μορφή JSON, η οποία είναι και η πιο συνηθισμένη.

Για να γίνει όμως η κλήση σε ένα API, συνήθως χρησιμοποιούνται αιτήσεις HTTP για να αλληλεπιδράσει ο χρήστης με έναν απομακρυσμένο διακομιστή και να ανακτήσει τα δεδομένα ή να πραγματοποιήσει ενέργειες. Ο όρος HTTP (Hypertext Transfer Protocol) αναφέρεται σε ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται στο διαδίκτυο για τη μεταφορά δεδομένων από έναν διακομιστή σε έναν πελάτη και αντίστροφα. [36] Το HTTP χρησιμοποιείται για να φορτώσει σελίδες ιστού, εικόνες, βίντεο και άλλο περιεχόμενο. Είναι το πρωτόκολλο που καθορίζει πώς οι πελάτες και οι διακομιστές ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους στο διαδίκτυο. Ο καλύτερος τρόπος για να καλέσετε ένα API εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της γλώσσας προγραμματισμού που χρησιμοποιείτε, το συγκεκριμένο API με το οποίο εργάζεστε και τις απαιτήσεις του έργου σας.

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

Δημιουργήθηκε λοιπόν η διεύθυνση URL (Διαδικτυακή Διεύθυνση Πόρου) του τελικού σημείου του API. Η διεύθυνση αυτή συνδυάζει το βασικό URL του API με το συγκεκριμένο τελικό σημείο και ενδεχομένως με οποιεσδήποτε απαιτούμενες παραμέτρους ερωτήματος. Η διεύθυνση αυτή ξεκινάει με /api/v1/query και ακολουθούν οι υποχρεωτικοί παράμετροι source, coordinates, start_date, end_date οι οποίοι είναι η πηγή των δεδομένων (το μοντέλο καιρού δηλαδή), οι συντεταγμένες του σημείου ενδιαφέροντος ως ζεύγος γεωγραφικού μήκους και πλάτους, η πρώτη ημέρα και η τελευταία μέρα που θέλουμε δεδομένα. Μπορεί ο χρήστης να προσθέσει στο τέλος και προαιρετικά την παράμετρο fields μαζί με όποιες μεταβλητές θέλει να του επιστραφούν από το μοντέλο που επέλεξε σε περίπτωση που δεν θέλει να επιστραφούν όλες που είναι και η προεπιλογή. Οι διαθέσιμες μεταβλητές κάθε μοντέλου είναι καταγεγραμμένες με τις αντίστοιχες μονάδες μέτρησής τους και μια περιγραφή, στην τεκμηρίωση που συνοδεύει το API (documentation).

Data Source

This project uses the Open-Meteo API. The **Best Available** model is chosen automatically by Open-Meteo. Other available weather models cover different geographic areas at different resolutions and provide different weather variables. You can also see the number of parameters each source/model provides.

1. Best Available Daily	This chooses the highest resolution model from the available ones and returns daily values.	5
2. Best Available Hourly	This chooses the highest resolution model from the available ones and returns hourly values.	16
3. DWD ICON Hourly	ICON weather models from the German Weather service DWD delivering hourly values for central Europe. For global forecasts the resolution is 11 km.	19
4. DWD ICON 15-Minutely	ICON weather models from the German Weather service DWD delivering 15-minutely values for central Europe only.	5
5. GFS	NOAA GFS weather model combined with the HRRR weather model delivering hourly values for US region only.	12
6. MeteoFrance	MeteoFrance's AROME and ARPEGE weather models delivering hourly values for Central Europe and specifically France.	10

API Documentation

The API endpoint `/api/v1/query` accepts a data source, a geographical coordinate in the form of (lat, lon), a start date and an end date (2022-12-31T00:00:00) and weather variables. It then responds with a JSON for the given time period. Time always is always at the local time of the coordinates. All URL parameters are listed below:

Parameter	Format	Required	Default	Description	Example
latitude, longitude	String (-xx.xxx, -yy.yyyy)	Yes		Geographical WGS84 coordinate of the location	"(37.984, 23.728)"
source	String array	Yes		Chose from the available sources from the cities table. You can use one source at a time.	"hourly_forecast" or "daily_forecast" or "icon_forecast" or "icon_15_forecast" or "gfs" or "meteo france"
start_date	String (yyyy-mm-ddTth:mm:ss)	Yes		Starting time interval to get weather data	"2022-12-31T00:00:00"
end_date	String (yyyy-mm-ddTth:mm:ss)	Yes		Ending time interval to get weather data	"2022-12-31T00:00:00"
fields	String array	No		A comma seperated list of parameters that are specified for each source from the following tables	"humidity"

Example URL:

[http://38.242.137.200:8000/api/v1/query?source=hourly_forecast&coordinates=\(37.984, 23.728\)&start_date=2023-06-01&end_date=2023-06-06&fields=temperature,humidity](http://38.242.137.200:8000/api/v1/query?source=hourly_forecast&coordinates=(37.984, 23.728)&start_date=2023-06-01&end_date=2023-06-06&fields=temperature,humidity)

Εικόνα 39: Τεκμηρίωση API και παράμετροι μοντέλων καιρού

Έτσι, ένα παράδειγμα μια τελικής διεύθυνσης για μια κλήση στο API μπορεί να είναι η:

/api/v1/query?source=hourly_forecast&coordinates=(37.984, 23.728)&start_date=2023-06-01&end_date=2023-06-06&fields=temperature,humidity

και ένα παράδειγμα δεδομένων που θα επέστρεφε μια κλήση στο API απεικονίζεται παρακάτω (Εικόνα 38).

Στην αρχή της απάντηση υπάρχει και ένα μήνυμα του συστήματος (status) το οποίο αν είναι επιτυχής η κλήση επιστρέφει success αλλιώς επιστρέφει σφάλμα και περιγραφή του σφάλματος. Υπάρχουν ακόμα πληροφορίες για το σημείο ενδιαφέροντος όπως η ημερομηνία προσθήκης (added) και η ημερομηνία που άρχισε η συλλογή δεδομένων (started) καθώς και πληροφορίες για το forecast horizon και την ημερομηνία της τελευταίας κλήσης στα δεδομένα. Τέλος, η απάντηση συνοδεύεται από τη διεύθυνση της προγραμματιστικής διεπαφής από την οποία συλλέξαμε τα δεδομένα καθώς και το χρόνο που χρειάστηκε το σύστημα για να μας επιστρέψει τα δεδομένα αυτά από τη βάση μας σε milliseconds.

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

```
{
  "status": "success",
  "coordinates": "(40.713, -74.006)",
  "data_source": "daily_forecast",
  "forecast_horizon": 1,
  "weather_api_url": "https://api.open-meteo.com/v1/forecast?latitude=40.713&lon",
  "start": "2023-09-30 21:00",
  "stop": "2023-10-01 21:00",
  "added": "2023-06-12",
  "started": "2023-10-07",
  "last_weather_call": "2023-10-31",
  "query_time_ms": 16,
  "time": [
    "2023-10-01 00:00"
  ],
  "results": {
    "shortwave_radiation_sum": {
      "value": [
        17.88
      ]
    },
    "temperature_max_C": {
      "value": [
        21.4
      ]
    },
    "temperature_min_C": {
      "value": [
        11.4
      ]
    },
    "wind_direction": {
      "value": [
        342
      ]
    },
    "wind_speed": {
      "value": [
        15.3
      ]
    }
  }
}
```

Εικόνα 40: Απάντηση κλήσης στο API

Τέλος, το API είναι ανοιχτό και δεν απαιτεί κάποια ταυτοποίηση του χρήστη πριν αποκτήσει πρόσβαση στα δεδομένα. Υπάρχει ακόμη και μια προσθήκη για την κατάσταση της απάντησης (status) η οποία υποδεικνύει αν ήταν επιτυχημένη η κλήση ή όχι. Αν δεν είναι επιτυχημένη είτε επειδή δεν υπάρχουν δεδομένα για το συγκεκριμένο σημείο τις συγκεκριμένες ημέρες, είτε επειδή το σημείο ή το μοντέλο δεν υπάρχει, τότε εμφανίζεται ένα γενικό σφάλμα (error) στην κατάσταση και μια σημείωση ότι δεν υπάρχουν δεδομένα. Στο τέλος της απάντησης με τον χρόνο σε χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms) που χρειάστηκε για να επιστραφούν τα δεδομένα από την βάση.

3.4.2 Επεξεργασία και εξαγωγή δεδομένων από βάσεις

Τα δεδομένα των καιρικών προγνώσεων, συλλέγονται στην InfluxDB για κάθε σημείο ενδιαφέροντος. Η πρόσβαση όμως σε αυτά γίνεται με ερωτήσεις (queries) στην βάση αυτή. Οι ερωτήσεις αυτές είναι παραπλήσιες των ερωτήσεων σε σχεσιακές βάσεις (SQL) όπως και προαναφέρθηκε. Η InfluxDB διαθέτει επίσης μια ενσωματωμένη Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογής (API) μέσω της οποίας πρακτικά και υποβάλλονται οι ερωτήσεις.

Στην περίπτωση της διεπαφής χρήστη, η ερώτηση που υποβάλλεται είναι απευθείας στην βάση συμπληρώνοντας τα πεδία της ερώτησης με τις επιλογές του χρήστη από το μενού της Εικόνας 28. Έπειτα, τα δεδομένα επιστρέφονται σε μορφή JSON και γίνεται μια επεξεργασία με την χρήση των Pandas πριν την προβολή τους. Το Pandas είναι ένα ανοιχτού κώδικα πακέτο της Python που παρέχει δομές δεδομένων σχεδιασμένες για να καθιστούν την εργασία με δεδομένα τόσο εύκολη όσο και ευανάγνωστη. Στοιχείει να αποτελέσει το θεμελιώδες υψηλού επιπέδου εργαλείο για την πρακτική ανάλυση πραγματικών δεδομένων στην Python. [37] Η επεξεργασία των δεδομένων με την χρήση των Pandas για την εξαγωγή τους από την διεπαφή χρήστη ξεκινά με την δημιουργία ενός νέου pandas data frame, το οποίο είναι μια δισδιάστατη δομή δεδομένων όπως ένας πίνακας με γραμμές και στήλες. Στην δομή αυτή εισάγουμε γραμμές και με τις πληροφορίες που θέλουμε και μετέπειτα συνθέτουμε το τελικό αρχείο (Εικόνα 34).

Αντίστοιχα, στην περίπτωση της Διεπαφής Προγραμματισμού Εφαρμογής (API) που αναφέραμε προηγουμένως, γίνεται πάλι μια ερώτηση στη βάση, αυτή τη φορά όμως με την χρήση των πεδίων από την διεύθυνση (URL) με την οποία έγινε η κλήση. Συντίθεται έτσι η ερώτηση στη βάση και έπειτα καλείται μια συνάρτηση που, πάλι με χρήση των Pandas, επεξεργάζεται τα δεδομένα και προσθέτει ότι πληροφορία θέλουμε επιπλέον. Η συνάρτηση επεξεργασίας δεδομένων απεικονίζεται στην Εικόνα 39 ενώ η διαδρομή για την σύνθεση της ερώτησης και επιστροφής των δεδομένων στην Εικόνα 40.

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

```
async def convert_api_response(api_response, generation_time):
    if not api_response:
        return JsonResponse(status_code=404, content={"detail": "No data available"}, headers={"X-Error": "No data available"})

    dfs = {}
    all_times = set()

    try:
        for table in api_response:
            for record in table.records:
                field = record.values.get("_field")
                time_value = str(record.values.get("_time"))[:16]
                value = record.values.get("_value")

                dfs.setdefault(field, []).append(value)
                all_times.add(time_value)

    except Exception as e:
        return JsonResponse(status_code=500, content={"detail": str(e)}, headers={"X-Error": "Server error"})

    try:
        coordinates = str(api_response[0].records[0].values.get("coordinates"))
        data_source = str(api_response[0].records[0].values.get("_measurement"))
        start = str(api_response[0].records[0].values.get("_start"))[:16]
        stop = str(api_response[0].records[0].values.get("_stop"))[:16]
    except IndexError:
        return JsonResponse(status_code=404, content={"detail": "No data available"}, headers={"X-Error": "No data available"})
    except Exception as e:
        return JsonResponse(status_code=500, content={"detail": str(e)}, headers={"X-Error": "Server error"})

    clean_coordinates = coordinates.strip("(").replace(" ", "")
    lat, lon = map(float, clean_coordinates.split(','))
    city_details_and_urls = await fetch_data_from_database(lat, lon)
    url_to_use = city_details_and_urls.get(data_source, None)

    sorted_times = sorted(list(all_times))

    json_data = {
        "status": "success",
        "coordinates": coordinates,
        "data_source": data_source,
        "forecast_horizon": city_details_and_urls.get("horizon"),
        "weather_api_url": url_to_use,
        "start": start,
        "stop": stop,
        "added": city_details_and_urls.get("added"),
        "started": city_details_and_urls.get("started"),
        "last_weather_call": city_details_and_urls.get("last_hit"),
        "query_time_ms": generation_time,
        "time": sorted_times,
        "results": {},
    }

    try:
        for field, values in dfs.items():
            json_data["results"][field] = {"value": values}
    except Exception as e:
        return JsonResponse(status_code=500, content={"detail": str(e)}, headers={"X-Error": "Server error"})

    return json_data
```

Εικόνα 41: Συνάρτηση επεξεργασίας δεδομένων API

```

@app.api_route("/api/v1/query", methods=["GET", "HEAD"])
async def query_data(request: Request, source: str, coordinates: str, start_date: str, end_date: str, fields: Optional[str] = None):

    start = parse(start_date)
    end = parse(end_date)
    if start > end:
        raise HTTPException(status_code=400, detail="End date is after start date")
    query = f'from(bucket: "{bucket}") |> range(start: {int(start.timestamp())}, stop: {int(end.timestamp())}) \
    |> filter(fn: (r) => r._measurement == "{source}" and r.coordinates == "{coordinates}")'
    if fields:
        field_list = fields.split(',')
        filters = ' or '.join([f'r._field == "{field}"' for field in field_list])
        query += f' |> filter(fn: (r) => {filters})'
    start_time = time.time()
    query_api = client.query_api()
    try:
        result = await asyncio.to_thread(query_api.query, org=org, query=query)
    except Exception as e:
        return JSONResponse(content={"status": "error", "error": str(e)}, status_code=500)

    if request.method == "HEAD":
        if not result or result == []:
            return JSONResponse(content=None, status_code=404) # No content with 404 status
        else:
            return Response(headers={"X-Data-Available": "True"}) # Data is available

    generation_time = int((time.time() - start_time) * 1000)
    try:
        json_result = await convert_api_response(result, generation_time)
    except HTTPException as he:
        return JSONResponse(content={"status": "error", "error": he.detail}, status_code=he.status_code)

    return json_result

```

Εικόνα 42: Διαδρομή σύνθεσης ερώτησης API

3.4.3 Ανάπτυξη διεπαφή προγραμματισμού εφαρμογής (API)

Για την τελική ανάπτυξη της Διεπαφής Προγραμματισμού Εφαρμογής (API) γίνεται πάλι χρήση του Docker-Compose αλλά αυτή τη φορά κατασκευάζεται από την αρχή το Container μέσω ενός Dockerfile. Δηλαδή, εκτελούνται όλες οι απαραίτητες εντολές προκειμένου να αναπτυχθεί το API και να εκτεθούν οι σωστές θύρες του διακομιστή.

```

1 FROM python:3.9.16-slim-buster
2
3 RUN apt-get update && \
4     apt-get install -y default-libmysqlclient-dev libmariadb-dev gcc
5
6 WORKDIR /
7
8 COPY requirements.txt .
9 RUN pip install --no-cache-dir -r requirements.txt
10
11 COPY . .
12
13 EXPOSE 8000
14
15 CMD ["uvicorn", "main:app", "--host", "0.0.0.0", "--port", "8000"]

```

Εικόνα 43: Dockerfile για ανάπτυξη API

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

```
api:
  build:
    context: ./api
    dockerfile: Dockerfile
  volumes:
    - /etc/localtime:/etc/localtime:ro
  ports:
    - "8000:8000"
  depends_on:
    - db
    - influxdb
  environment:
    INFLUX_TOKEN: ${INFLUX_TOKEN}
    INFLUXDB_ORG: ${INFLUXDB_ORG}
    INFLUXDB_BUCKET: ${INFLUXDB_BUCKET}
    INFLUXDB_HOST: ${INFLUXDB_HOST}
    API_BASE_URL: ${API_BASE_URL}
  restart: unless-stopped
```

Εικόνα 44: Ανάπτυξη API και αρχική παραμετροποίηση

3.5 Προγραμματιστικές διεπαφές για συλλογή δεδομένων

Η πρόσβαση σε ακριβή και έγκαιρα δεδομένα καιρού είναι απαραίτητη για μια πληθώρα εφαρμογών και υπηρεσιών. Από αγροτικές εφαρμογές και διαχείριση ενέργειας, μέχρι τουριστικές πλατφόρμες και εφαρμογές πλοήγησης, η πρόγνωση του καιρού παίζει κρίσιμο ρόλο. Τα Weather APIs (Application Programming Interfaces) είναι εργαλεία που διευκολύνουν αυτήν τη διαδικασία. Ένα Weather API συνδέει την εφαρμογή μας με μια βάση δεδομένων καιρού. Μέσω HTTP αιτήσεων, το API παρέχει πρόσβαση σε διάφορες μετεωρολογικές πληροφορίες, όπως θερμοκρασία, υγρασία, πίεση, κ.λπ., σε πραγματικό χρόνο ή για μελλοντικές προγνώσεις.

Στη δικιά μας περίπτωση, τα δεδομένα που θέλουμε είναι συναφή με την πρόβλεψη των μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας. Ακόμη, είναι αναγκαίο να παρέχει προβλέψεις από πολλαπλά μοντέλα καιρού και για ποικίλες χρονικές περιόδους όπως ημερήσια, ωριαία και δεκαπεντάλεπτα. Υπάρχουν πολλοί οργανισμοί, κρατικοί και μη, καθώς και εταιρείες που έχουν τέτοιες διεπαφές (APIs) αλλά επί πληρωμή και για συγκεκριμένα μοντέλα.

Έπειτα από έρευνα, κατέληξα στην επιλογή του Open-Meteo. Η Open-Meteo συνεργάζεται με εθνικές υπηρεσίες μετεωρολογίας για να προσφέρει ανοιχτά δεδομένα υψηλής ανάλυσης, τα οποία κυμαίνονται από 1 έως 11 χιλιόμετρα. Τα εξαιρετικά αποδοτικά τους APIs επιλέγουν τα πλέον κατάλληλα μετεωρολογικά μοντέλα για την ακριβή τοποθεσία που επιλέγει ο χρήστης, εξασφαλίζοντας προγνώσεις που είναι ακριβείς και αξιόπιστες. [38] Η αυτοματοποιημένη αυτή επιλογή στην εφαρμογή μας μεταφράζεται σε Best Daily και Best Hourly για ημερήσιες και ωριαίες προγνώσεις αντίστοιχα.

Παρέχει ακόμη και δεδομένα απευθείας από τις μεγαλύτερες παγκοσμίως μετεωρολογικές υπηρεσίες και από τα πιο γνωστά μετεωρολογικά μοντέλα καθένα από τα οποία έχει τις δικές τους μεταβλητές συνήθως παρέχουν κάλυψη για συγκεκριμένη περιοχή.

Τα επιπλέον μοντέλα που διαθέτει είναι το ICON της Γερμανικής Υπηρεσία Μετεωρολογίας DWD το οποίο είναι και το μοναδικό που δίνει δεκαπεντάλεπτες προγνώσεις αλλά και ωριαίες για την Ευρώπη και ανάλυση 11 χιλιομέτρων για όλο τον κόσμο. Τα GFS και HRRR της Εθνικής Διοίκησης Ωκεανών και Ατμόσφαιρας των ΗΠΑ (NOAA) τα οποία παρέχουν τις βέλτιστες προγνώσεις για την περιοχή της Βόρειας Αμερικής (ΗΠΑ, Καναδά και Μεξικό). Τα AROME και ARPEGE του MeteoFrance τα οποία απευθύνονται κυρίως για την Κεντρική Ευρώπη και την Γαλλία. Υπάρχει ακόμη και το IFS του Ευρωπαϊκού Κέντρου για Προγνώσεις Καιρού Μεσαίου Εύρους (ECMWF) το οποίο όμως έχει ανάλυση στα 40 χιλιόμετρα και μόνο για τρίωρες προβλέψεις, γεγονός που δεν είναι ιδανικό για τον σκοπό της εφαρμογής μας.

3.6 Αυτοματοποίηση συλλογής δεδομένων

Για την βέλτιστη συλλογή δεδομένων καιρικών προγνώσεων, είναι αναγκαία η αυτοματοποίηση της διαδικασίας προκειμένου να υπάρχει συνοχή. Η αυτοματοποίηση αυτή, προσφέρει επιπλέον και τη δυνατότητα να μην απαιτείται κάποια ενέργεια από τον διαχειριστή ή τον χρήστη του συστήματος. Επιπλέον, τα δεδομένα πρέπει να συλλέγονται με βάση την τελευταία ανανέωση του επιλεγμένου μοντέλου καιρού. Για τον λόγο αυτό, για το κάθε σημείο ενδιαφέροντος, η συλλογή και αποθήκευση των μετεωρολογικών προγνώσεων γίνεται την προηγούμενη ημέρα στις 23:00 τοπική ώρα. Η πληροφορία για την ζώνη ώρας του κάθε σημείου είναι αποθηκευμένη στην SQL βάση μας στην στήλη tz όπου και είναι η διαφορά ώρας από την Συντονισμένη Παγκόσμια Ώρα (UTC) υπολογισμένη σε δευτερόλεπτα. Ένα ακόμη σημείου ελέγχου εκτελείται και για το αν η συλλογή για το σημείο είναι ενεργή αναλόγως αν η στήλη active είναι 1 για ενεργή ή 0 για ανενεργή.

Ακόμη, με την επιλογή η κλήση να γίνεται όχι μόνο κάθε μέρα αλλά μέχρι και σε διάστημα 7 ημερών με την επιλογή του forecast horizon, είναι αναγκαία και η αποθήκευση της πληροφορίας του πότε έγινε η τελευταία επιτυχημένη κλήση. Υπάρχει λοιπόν μια βοηθητική στήλη με όνομα last_hit στην οποία και αποθηκεύεται η ημερομηνία που έγινε η τελευταία κλήση. Όταν το διάστημα μεταξύ της τρέχουσας ημερομηνίας και της ημερομηνίας της τελευταίας κλήσης είναι ίσο με τις ημέρες του forecast horizon, τότε και επαναλαμβάνεται η κλήση και αποθήκευση των δεδομένων και έπειτα ανανεώνεται και πάλι το last_hit.

Έτσι, πριν γίνει η κλήση για το κάθε ενεργό σημείο την κάθε ημέρα και ώρα που πρέπει, γίνεται ένας έλεγχος στην SQL για τα δεδομένα των σημείων που ικανοποιούν αυτούς τους ελέγχους. Τα σημεία που δεν τους ικανοποιούν

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας καταγράφονται σε ένα αρχείο τύπου log για να υπάρχει ιστορικό. Κύριος έλεγχος όμως είναι και το μοντέλο καιρού. Καθώς κάθε μοντέλο έχει την δικιά του κλήση, πρέπει για κάθε σημείο που έχει επιλεγμένο το εκάστοτε μοντέλο να ελέγχεται ξεχωριστά. Έπειτα, γίνονται οι κλήσεις και λαμβάνονται τα δεδομένα των καιρικών προγνώσεων τα οποία και αποθηκεύονται στην InfluxDB. Κάθε επιτυχημένη κλήση και αποθήκευση καταγράφεται πάλι στο αρχείο log.

3.6.1 Εργαλείο αυτοματοποίησης ροής δεδομένων

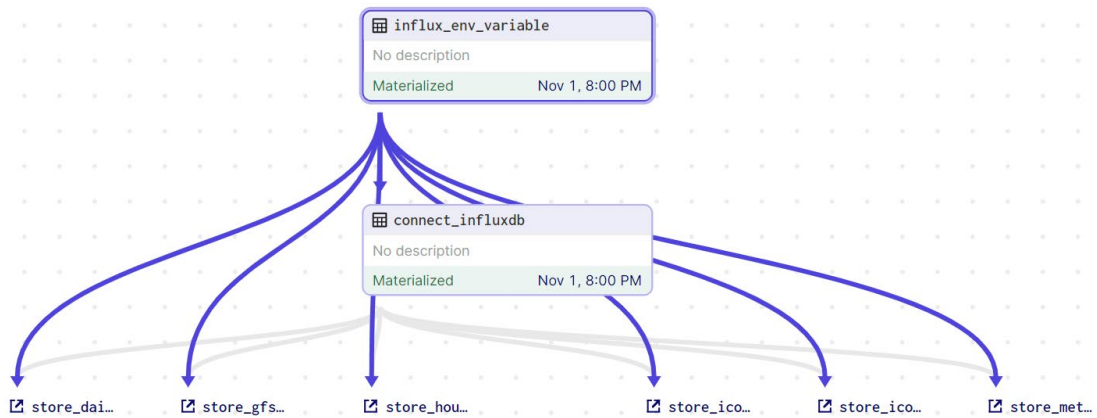
Η ανάγκη λοιπόν για την αυτοματοποίηση των ροών δεδομένων έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη πολλαπλών εργαλείων με αυτό το σκοπό. Ένα από αυτά τα εργαλεία είναι και το Dagster το οποίο και κάνει χρήση η εφαρμογή μας. Το Dagster είναι μια βιβλιοθήκη για τη δημιουργία αυτών των εφαρμογών δεδομένων.

Ορίζουμε μια εφαρμογή δεδομένων ως ένα γράφημα λειτουργικών υπολογισμών που παράγουν και καταναλώνουν ψηφιακά στοιχεία. Σε μια εφαρμογή δεδομένων που έχει δημιουργηθεί με το Dagster, η επιχειρηματική λογική μπορεί να βρίσκεται σε οποιοδήποτε εργαλείο, το γράφημα είναι διαθέσιμο και λειτουργεί μέσω μιας API και η πραγματική εκτέλεση γίνεται σε οποιονδήποτε υπολογιστικό στόχο. [39] Το Dagster ακόμη προσφέρει και μια διεπαφή χρήστη (UI) μέσω της οποίας μπορεί ο διαχειριστής να βλέπει τις εργασίες που εκτελούνται και να παρακολουθεί τυχόν προβλήματα που μπορεί να δημιουργηθούν.

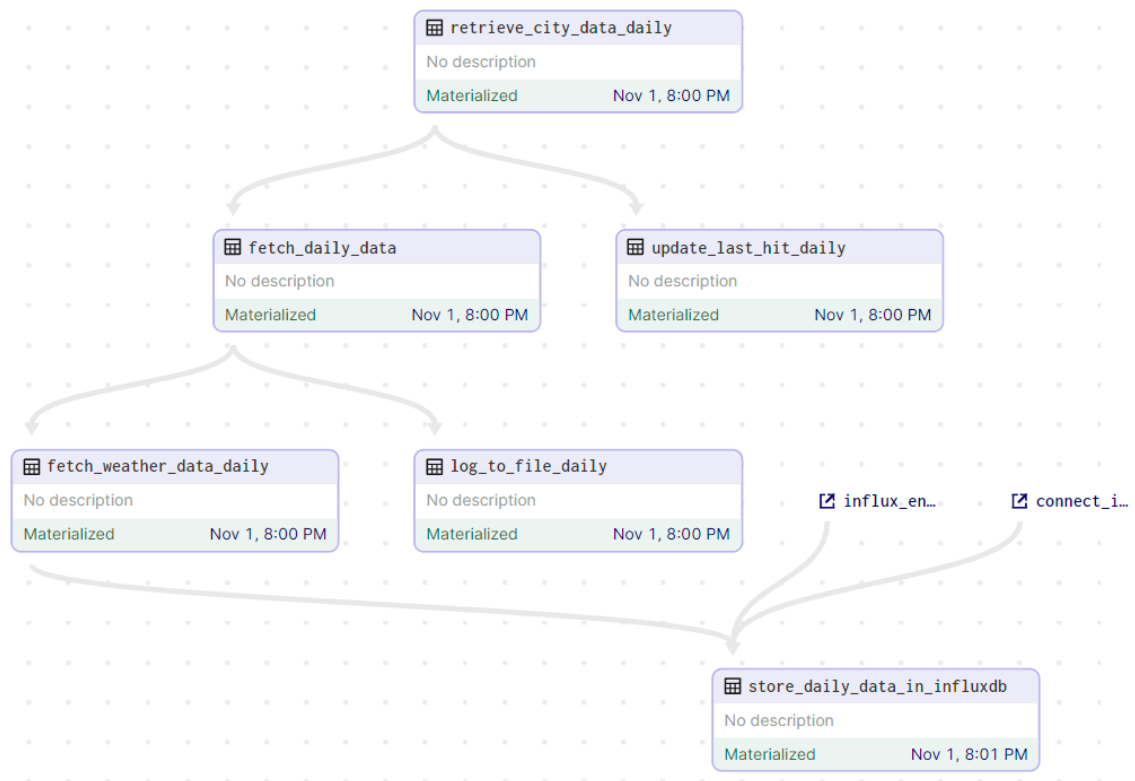
3.6.2 Ροή δεδομένων και προγραμματισμός εκτέλεσής της

Η ροή δεδομένων που κατασκευάστηκε αποτελείται από πολλαπλά στοιχεία καθένα από τα οποία συνδέεται με το επόμενο. Δημιουργείται λοιπόν ένα δέντρο ενεργειών με σκοπό την σταδιακή εκτέλεση των διεργασιών που απαιτούνται για να λάβουμε και αποθηκεύσουμε τα δεδομένα μας.

Αρχικά, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως γίνονται οι απαραίτητοι έλεγχοι και καταγράφονται τα σημεία τα οποία δεν πληρούν τις προϋποθέσεις. Έπειτα γίνεται η σύνδεση με την InfluxDB και ξεκινά η ροή για το κάθε μοντέλο ξεχωριστά. Παρακάτω απεικονίζεται η ροή για την σύνδεση και η ροή για το βέλτιστο ημερήσιο μοντέλο (Best Daily).



Εικόνα 45: Σύνδεση με InfluxDB



Εικόνα 46: Ροή δεδομένων για βέλτιστο ημερήσιο μοντέλο

Όπως φαίνεται, αρχικά η ροή ξεκινά με τον έλεγχο στα σημεία ενδιαφέροντος για το μοντέλο που έχουμε επιλέξει (το best daily στην περίπτωση της εικόνας). Γίνεται δηλαδή έλεγχος από τα σημεία που έχουν επιλεγεί για το best daily,

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας ποια από αυτά είναι ενεργά, έχουν τοπική ώρα 23:00 και είναι η μέρα τους για να γίνει κλήση (με βάση το forecast horizon που προαναφέρθηκε). Αφού γίνει αυτό ο έλεγχος τότε αντλούμε τα στοιχεία των πόλεων και ενημερώνουμε το last_hit με την τρέχουσα ημερομηνία. Έπειτα, κατασκευάζονται οι διευθύνσεις για τις κλήσεις στο API για τα δεδομένα του καιρού και μετά εκτελούνται οι κλήσεις αυτές και καταγράφονται στο αρχείο log τα σημεία που έγιναν επιτυχημένες κλήσεις. Τέλος, αφού έχει προηγηθεί η σύνδεση με την InfluxDB, γίνεται και η τελική αποθήκευση των δεδομένων. Έτσι, ολοκληρώνεται η ροή δεδομένων για τα σημεία με επιλεγμένη την συλλογή δεδομένων από το βέλτιστο ημερήσιο μοντέλο καιρού. Αντίστοιχα, για κάθε καιρικό μοντέλο υπάρχει μία όμοια ροή δεδομένων και έτσι τελικά γίνεται η σύνθεση του δέντρου με όλες τις ροές δεδομένων.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η συνθήκη της ώρας η οποία εκτελεί την εκάστοτε ροή μόνο αν είναι 23:00 τοπική ώρα στο σημείο, όλη η ροή δεδομένων εκτελείται κάθε ώρα. Αν όπως προαναφέρθηκε δεν είναι 23:00 για κάποιο σημείο τότε αυτό καταγράφεται και παραλείπεται. Ο προγραμματισμός αυτός καθορίζεται σε ένα αρχείο Python στο οποίο και αναφέρονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την ροή δεδομένων όπως το όνομα καθώς και η θέση που βρίσκονται τα επιμέρους στοιχεία της ροής.

```
from dagster import AssetSelection, Definitions, define_asset_job, load_assets_from_modules, ScheduleDefinition, DefaultScheduleStatus
from . import assets

all_assets = load_assets_from_modules([assets])

# Addition: define a job that will materialize the assets
weather_data_job = define_asset_job("weather_data_job", selection=AssetSelection.all())

weather_data_schedule = ScheduleDefinition(
    job=weather_data_job,
    cron_schedule="0 * * * *", # every hour
    default_status = DefaultScheduleStatus.RUNNING,
)

defs = Definitions(
    assets=all_assets,
    schedules=[weather_data_schedule]
)
```

Εικόνα 47: Αρχείο αρχικοποίησης και προγραμματισμού ροής δεδομένων

3.6.3 Ανάπτυξη ροής δεδομένων

Για την τελική ανάπτυξη του εργαλείου Dagster και της ροής δεδομένων, γίνεται πάλι χρήση του Docker-Compose αλλά αυτή τη φορά κατασκευάζεται από την αρχή το Container μέσω ενός Dockerfile. Δηλαδή, εκτελούνται όλες οι απαραίτητες εντολές προκειμένου να αναπτυχθεί το Dagster και να εκτεθούν οι σωστές θύρες του διακομιστή.

```
FROM python:3.9-slim-buster

RUN apt-get update && \
    apt-get install -y default-libmysqlclient-dev libmariadb-dev gcc pkg-config && \
    apt-get clean && \
    rm -rf /var/lib/apt/lists/*

ENV DAGIT_PREFERRED_NETWORK_INTERFACE localhost
ENV VIRTUAL_ENV=/venv
ENV DAGSTER_HOME=/dagster_home

RUN python -m venv $VIRTUAL_ENV
ENV PATH="$VIRTUAL_ENV/bin:$PATH"

RUN mkdir $DAGSTER_HOME

WORKDIR /

COPY . .

RUN pip install --no-cache-dir -r requirements.txt

WORKDIR /my-dagster-project
RUN pip install -e ".[dev]"

EXPOSE 3000

CMD ["dagster", "dev", "-h", "0.0.0.0"]
```

Εικόνα 48: Dockerfile για ανάπτυξη Dagster

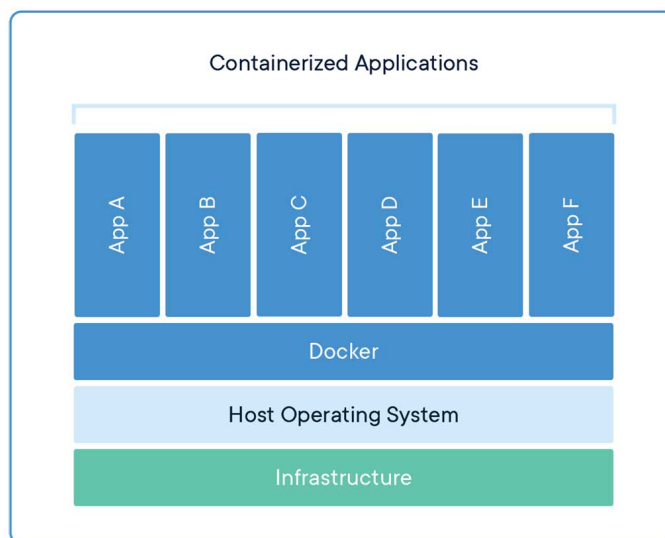
Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

```
dagster:
  build:
    context: ./dagster
    dockerfile: Dockerfile
  volumes:
    - /etc/localtime:/etc/localtime:ro
    - ./dagster-data:/dagster_home
    - ./dagster/my-dagster-project/:/my-dagster-project
  ports:
    - "3000:3000"
  depends_on:
    - db
    - influxdb
  environment:
    MYSQL_HOST: ${MYSQL_HOST}
    MYSQL_DB: ${MYSQL_DB}
    MYSQL_USER: ${MYSQL_USER}
    MYSQL_PASSWORD: ${MYSQL_PASSWORD}
    INFLUX_TOKEN: ${INFLUX_TOKEN}
    INFLUXDB_ORG: ${INFLUXDB_ORG}
    INFLUXDB_BUCKET: ${INFLUXDB_BUCKET}
    INFLUXDB_HOST: ${INFLUXDB_HOST}
    API_BASE_URL: ${API_BASE_URL}
  restart: unless-stopped
```

Εικόνα 49: Ανάπτυξη Dagster και αρχική παραμετροποίηση

3.7 Τεχνολογία τελικής ανάπτυξης επιμέρους εφαρμογών

Στη εποχή της τεχνολογίας των πληροφοριών, η ανάπτυξη και ο λειτουργικός περιορισμός εφαρμογών αποτελούν ουσιώδες κομμάτι της τεχνολογικής προόδου. Πολλές φορές, η ανάπτυξη εφαρμογών απαιτεί τη μεταφορά τους από έναν υπολογιστικό περιβάλλον σε άλλο, με τη διατήρηση της σωστής λειτουργικότητας και των απαιτούμενων εξαρτήσεων. Σε αυτό το πλαίσιο, τα container αποτελούν μια αξιόπιστη και αποτελεσματική λύση για την ανάπτυξη και την εκτέλεση εφαρμογών. Αποτελούν ένα από τα πιο επαναστατικά εργαλεία στον χώρο της ανάπτυξης λογισμικού και της διαχείρισης υποδομών.



Εικόνα 50: Σχηματική αναπαράσταση λειτουργίας containers

Τα container είναι ελαφρά, αυτόνομα περιβάλλοντα που περιλαμβάνουν όλα τα απαραίτητα εργαλεία και εξαρτήσεις μιας εφαρμογής επιτρέποντάς της να εκτελείται γρήγορα και αξιόπιστα σε ένα υπολογιστικό περιβάλλον. [40]

Το Docker αντίστοιχα είναι ένα από τα πιο δημοφιλή εργαλεία για τη διαχείριση containers. Επιτρέπει τη δημιουργία, την εκτέλεση, και τη διανομή containers με μεγάλη ευκολία και αποδοτικότητα. [41] Ένας υπολογιστής ή ένας διακομιστής μπορεί με τη χρήση του Docker να αναπτύξει πολλαπλά containers επιτυγχάνοντας έτσι εξοικονόμηση πόρων (Εικόνα 41).

Κάθε επιμέρους στοιχείο της εφαρμογής, αναπτύχθηκε με τη βοήθεια ενός Dockerfile που είναι ένα αρχείο υπό μορφή σεναρίου που περιγράφει τα βήματα για τη δημιουργία ενός container. Ορίζει το λειτουργικό σύστημα, τις εφαρμογές και τις βιβλιοθήκες που χρειάζονται. Οι βάσεις δεδομένων μας αναπτύχθηκαν με έτοιμες εικόνες (images) που έχουν δημιουργηθεί και συντηρούνται από τον κάθε κατασκευαστή. Για την τελική ανάπτυξη όλων των επιμέρους στοιχείων μας, χρησιμοποιήθηκε το Docker Compose το οποίο είναι ένα εργαλείο που επιτρέπει την οργάνωση και την εκτέλεση πολλαπλών containers ως μια ενιαία υπηρεσία. Χρησιμοποιείται για την αυτοματοποίηση και τη διαχείριση εφαρμογών μέσα σε containers. [42]

Συνοψίζοντας, τα containers και τα εργαλεία όπως το Docker και το Docker Compose προσφέρουν μια αποτελεσματική, ασφαλή και ευέλικτη λύση για την ανάπτυξη, τη διανομή και τη λειτουργία εφαρμογών.

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

4 Παρουσίαση και Ανάλυση του Συστήματος

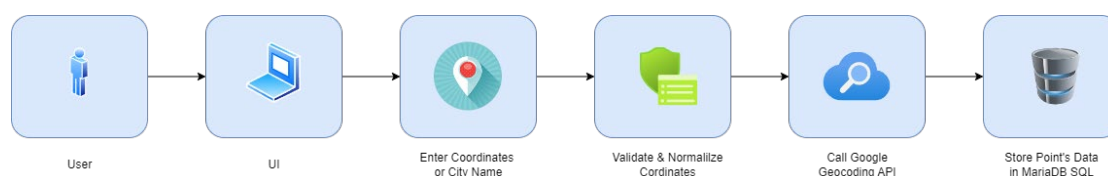
Το σύστημα που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της διπλωματικής αυτής εργασίας αποτελείται από πολλά επιμέρους υποσυστήματα και εφαρμογές, όπως αναλύθηκε και προηγουμένως. Πρωταρχικός στόχος ήταν η συλλογή μετεωρολογικών προβλέψεων σε μία βάση δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά όμως δεν έπρεπε να είναι τυχαία αλλά να έχουν ως στόχο να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας. Έπειτα από έρευνα στο τι καιρικά δεδομένα παρέχονται από τα διάφορα αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης καιρού, και σε συνδυασμό με την έρευνα για το ποιες μεταβλητές καιρού χρειαζόμαστε, έγινε η τελική ανάπτυξη του συστήματος.

A	Closest City	Lat	Lon	TZ	Country	Code	Date Added	Date Started	D	H	I	I 60	I 15	GFS	MF	Horizon	Comment	Map	Remove Point	Pause/Resume
1	New York	40.713	-74.006	-14:00	United States	US	2023-06-12	2023-10-07	1	1	1	1	1	1	1	1-day	None	Map	Remove	Pause
1	Terni	42.564	12.643	3:00	Italy	IT	2023-06-12	2023-06-12	1	1	1	1	1	1	1	1-day	None	Map	Remove	Pause
1	Terni	42.567	12.607	3:00	Italy	IT	2023-06-12	2023-06-12	1	1	1	1	1	1	1	1-day	None	Map	Remove	Pause
1	Terni	42.569	12.608	3:00	Italy	IT	2023-06-12	2023-06-12	1	1	1	1	1	1	1	1-day	None	Map	Remove	Pause
1	London	51.507	-0.128	0	United Kingdom	GB	2023-06-12	2023-06-12	1	1	1	1	1	1	1	1-day	None	Map	Remove	Pause
1	Rome	41.903	12.496	3:00	Italy	IT	2023-06-12	2023-06-12	1	1	1	1	1	1	1	1-day	None	Map	Remove	Pause
1	Tokyo	35.676	139.65	32:00	Japan	JP	2023-06-12	2023-06-12	1	1	1	1	1	1	1	1-day	None	Map	Remove	Pause

Εικόνα 51: Προσθήκη και προβολή σημείου ενδιαφέροντος από χρήστη μέσω διεπαφής

Στόχος όμως είναι να μπορεί ο διαχειριστής του συστήματος και μελλοντικός χρήστης, να επιλέγει τα σημεία ενδιαφέροντος προκειμένου να γίνει συλλογή μετεωρολογικών προγνώσεων. Τα σημεία μπορεί να είναι φάρμες με ανεμογεννήτριες, φωτοβολταϊκά πάρκα, στέγες σπιτιών με εγκατεστημένα ηλιακά πάνελ, υδροηλεκτρικά φράγματα ή ακόμη και μελλοντικές εγκαταστάσεις.

Για παράδειγμα, για να γίνει επιλογή ενός σημείου εγκατάστασης ανεμογεννήτριας, θα πρέπει πρώτα να εκλεγεί το σημείο αυτό ως κατάλληλο. Τα σημεία ενδιαφέροντος όμως μπορεί να είναι και πόλεις ή περιοχές, προκειμένου να προβλέψει ένας χρήστης την ενδεχόμενη ζήτηση από ηλεκτρική ενέργεια. Για τους παραπάνω λόγους, το σύστημα είχε στόχο να είναι ευέλικτο και να συλλέγει ότι διαθέσιμα δεδομένα συσχετίζονται με την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας. Για την επιλογή και διαχείριση των σημείων ενδιαφέροντος, αναπτύχθηκε μία μοντέρνα διεπαφή χρήστη (UI) μέσω της οποίας αλληλοεπιδρά ο χρήστης και προσθέτει ή αφαιρεί τα σημεία που θέλει. Αυτό μπορεί να γίνει με την εισαγωγή του ζεύγους των συντεταγμένων (μήκος και πλάτος) ή απλά το όνομα κάποιας πόλης.

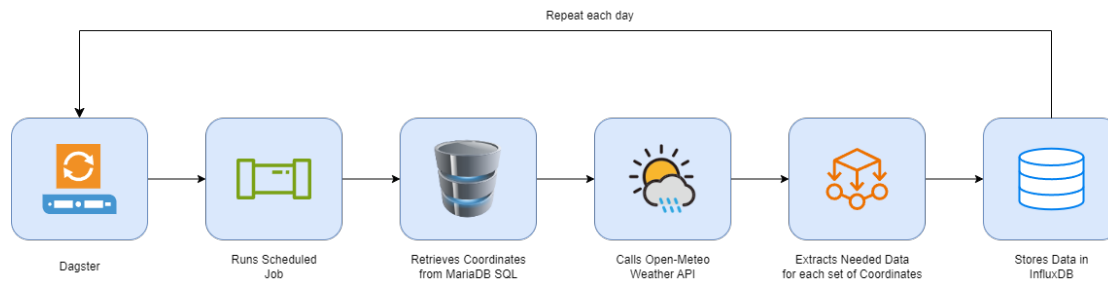


Εικόνα 52: Προσθήκη σημείου ενδιαφέροντος από χρήστη μέσω διεπαφής

Για να επιτευχθούν τα παραπάνω, αναπτύχθηκαν δύο βάσεις δεδομένων, μία για την αποθήκευση των σημείων και μία για την αποθήκευση των μετεωρολογικών προγνώσεων. Για να γίνει λοιπόν η συλλογή των μετεωρολογικών προβλέψεων, έπρεπε να γίνει χρήση κάποιων ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών (API). Οι διαθέσιμες όμως προγραμματιστικές διεπαφές για καιρικές προγνώσεις δεν διέθεταν πάντα τα δεδομένα που θέλαμε. Είτε επειδή η ανάλυση που παρείχαν από κάποιο αριθμητικό μοντέλο πρόγνωσης ήταν πολύ μεγάλη είτε επειδή δεν ήταν όλες οι μεταβλητές διαθέσιμες δωρεάν. Για παράδειγμα, το μοντέλο IFS του ECMWF δίνει δωρεάν δεδομένα με ανάλυση 40 χιλιομέτρων με αποτέλεσμα για το σκοπό της εφαρμογής δεν προσέφερε κάτι.

Έπειτα, έπρεπε να γίνει επιλογή από τα δεδομένα που διέθετε η κάθε διεπαφή και το κάθε αριθμητικό μοντέλο, ποιες μεταβλητές έχουμε ανάγκη. Έγινε λοιπόν μια έρευνα σε δημοσιευμένα επιστημονικά άρθρα και μελέτες, η οποία έδειξε ότι υπάρχουν πάρα πολλοί τρόποι πρόβλεψης μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας και ότι είμαστε ακόμα στην αρχή. Εκτός από τις πολλές μεθόδους, κάποια μοντέλα μηχανικής μάθησης που έχουν αναπτυχθεί, χρειάζονται συγκεκριμένα δεδομένα από συγκεκριμένα αριθμητικά μοντέλα πρόγνωσης καιρού. Έτσι, έγινε η επιλογή να ενσωματωθούν στο σύστημα και να συλλέγονται όλες οι διαθέσιμες μεταβλητές από το κάθε διαθέσιμο μοντέλο. Συγκεκριμένα, θερμοκρασία, υγρασία, ταχύτητα ανέμου και ηλιακή ακτινοβολία αλλά και ριπές ανέμου, ανακλώμενη ακτινοβολία από το έδαφος και άλλες. Στην περίπτωση της θερμοκρασίας και της ταχύτητας του ανέμου, όλα τα μοντέλα δίνουν προβλέψεις σε διάφορα ύψη από το έδαφος, το οποίο είναι και πολύ σημαντικό στις περιπτώσεις των ανεμογεννητριών.

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας



Εικόνα 53: Αυτοματοποιημένη συλλογή δεδομένων από ανοιχτή διεπαφή και αποθήκευση

Αφού λοιπόν ο χρήστης εισάγει ένα ή περισσότερα σημεία ενδιαφέροντος, αρχίζει η συλλογή των καιρικών προγνώσεων. Κάθε φορά που εισάγεται ένα νέο σημείο, προστίθεται αυτόματα στην λίστα συλλογής δεδομένων χωρίς να απαιτείται κάποια ενέργεια από το χρήστη. Υπάρχει έπειτα ένα εργαλείο που ονομάζεται Dagster το οποίο κάθε ώρα, διαβάζει τη λίστα με τα σημεία και αφού εκτελέσει κάποιους ελέγχους, ξεκινά την συλλογή των μετεωρολογικών προβλέψεων από τις διεπαφές που έχει επιλέξει ο χρήστης για κάθε σημείο. Οι έλεγχοι είναι αν είναι η συλλογή δεδομένων ενεργή για το σημείο αυτό, αν είναι η ώρα 23:00 τοπική ώρα και αν είναι η ημέρα που πρέπει να γίνει κλήση με βάση το forecast horizon που έχει επιλέξει ο χρήστης. Η επιλογή της ώρας δεν ήταν τυχαία καθώς πρέπει να λαμβάνουμε την πιο πρόσφατη πρόγνωση για το κάθε σημείο η οποία και αναλόγως το μοντέλο διαφέρει με αποτέλεσμα να επιλεγεί η τελευταία ώρα της ημέρας για να είναι όσο πιο πρόσφατη η ενημέρωση των μοντέλων. Αποφεύγουμε έτσι ανακρίβειες ή πιθανές διορθώσεις σε προβλέψεις ή οποίες και αναιρούν τον σκοπό της συλλογής μας. Τα δεδομένα λοιπόν που συλλέγονται, αποθηκεύονται στην δεύτερη βάση δεδομένων μας, η οποία τα αποθηκεύει σε μορφή χρονοσειρών.

Η ενσωμάτωση του Dagster στην εφαρμογή μας για τη συλλογή μετεωρολογικών δεδομένων έχει αυτοματοποιήσει σημαντικά τις λειτουργίες του προγράμματός μας. Διαχειρίζεται τις εξαρτήσεις των εργασιών και τον προγραμματισμό τους, παρέχοντας επίσης ισχυρούς μηχανισμούς για την αντιμετώπιση σφαλμάτων και επαναλήψεων. Αυτό εξασφαλίζει ότι η συλλογή των δεδομένων μας είναι ταυτόχρονα αξιόπιστη και αποδοτική. Χρήσιμη είναι και η διεπαφή χρήστη που ενσωματώνει το Dagster, το Dagit, το οποίο προσφέρει μια σαφή, οπτική αναπαράσταση των ροών εργασίας. Αυτή η διεπαφή είναι ωφέλιμη όχι μόνο για σκοπούς ανάπτυξης και αποσφαλμάτωσης, αλλά λειτουργεί επίσης ως πίνακας ελέγχου για τον διαχειριστή του συστήματος για την παρακολούθηση της κατάστασης της συλλογής δεδομένων και της υγείας του συστήματος.

The screenshot shows the 'Runs' page in the Dagster interface. The top navigation bar includes 'Overview', 'Runs', 'Assets', and 'Deployment'. A search bar is present on the right. Below the navigation, the 'Runs' section is active, showing a filter for 'All runs' and a 'Filter' button. The main content is a table with columns: Run ID, Created date, Target, Launched by, Status, Duration, and Actions. All runs shown are successful and launched by 'weather_data_job_schedule'.

Run ID	Created date	Target	Launched by	Status	Duration	Actions
73597c02	Nov 6, 10:00 AM	weather_data_job	weather_data_job_schedule	Success	0:00:43	View run
96662c4a	Nov 6, 9:00 AM	weather_data_job	weather_data_job_schedule	Success	0:00:45	View run
5bee7488	Nov 6, 8:00 AM	weather_data_job	weather_data_job_schedule	Success	0:00:42	View run
2d232772	Nov 6, 7:00 AM	weather_data_job	weather_data_job_schedule	Success	0:00:45	View run
1c6a7c38	Nov 6, 6:00 AM	weather_data_job	weather_data_job_schedule	Success	0:00:43	View run
82f1c2d4	Nov 6, 5:00 AM	weather_data_job	weather_data_job_schedule	Success	0:00:44	View run
aa80034c	Nov 6, 4:00 AM	weather_data_job	weather_data_job_schedule	Success	0:00:46	View run
88dba0ae	Nov 6, 3:00 AM	weather_data_job	weather_data_job_schedule	Success	0:00:45	View run
5f84ecbd	Nov 6, 2:00 AM	weather_data_job	weather_data_job_schedule	Success	0:00:49	View run
9fc6e80a	Nov 6, 1:00 AM	weather_data_job	weather_data_job_schedule	Success	0:01:01	View run
d0874255	Nov 6, 12:00 AM	weather_data_job	weather_data_job_schedule	Success	0:00:58	View run

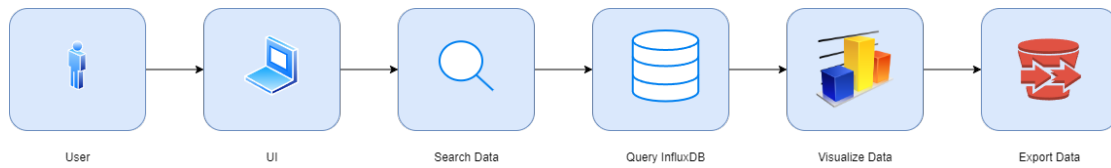
Εικόνα 54: Διεπαφή χρήστη Dagster για προβολή επιτυχών ροών

The screenshot shows the 'Assets' page in the Dagster interface. The top navigation bar includes 'Overview', 'Runs', 'Assets', and 'Deployment'. A search bar is present on the right. Below the navigation, the 'Assets' section is active, showing a 'View global asset lineage' button and a 'Reload definitions' button. The main content is a table with columns: Asset name, Code location / Asset group, Status, and Actions. All assets shown are materialized and located in the 'my_dagster_project default' group.

Asset name	Code location / Asset group	Status	Actions
connect_influxdb	my_dagster_project default	Materialized Nov 6, 10:00 AM	
fetch_daily_data	my_dagster_project default	Materialized Nov 6, 10:00 AM	
fetch_gfs_data	my_dagster_project default	Materialized Nov 6, 10:00 AM	
fetch_hourly_data	my_dagster_project default	Materialized Nov 6, 10:00 AM	
fetch_icon_15_data	my_dagster_project default	Materialized Nov 6, 10:00 AM	
fetch_icon_data	my_dagster_project default	Materialized Nov 6, 10:00 AM	
fetch_meteofrance_data	my_dagster_project default	Materialized Nov 6, 10:00 AM	
fetch_weather_data_daily	my_dagster_project default	Materialized Nov 6, 10:00 AM	
fetch_weather_data_gfs	my_dagster_project default	Materialized Nov 6, 10:00 AM	
fetch_weather_data_hourly	my_dagster_project default	Materialized Nov 6, 10:00 AM	
fetch_weather_data_icon	my_dagster_project default	Materialized Nov 6, 10:00 AM	

Εικόνα 55: Διεπαφή χρήστη Dagster για προβολή επιμέρους εργασιών

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας



Εικόνα 56: Πρόσβαση στα δεδομένα από χρήστη μέσω διεπαφής και εξαγωγή

API URL Generator

City:

Data Source:

Parameters:

- temperature_max_C (°C)
- temperature_min_C (°C)
- wind_speed (km/h)
- wind_direction (°)
- shortwave_radiation_sum (MJ/m²)

Start Date:

End Date:

API URL:

API Data:

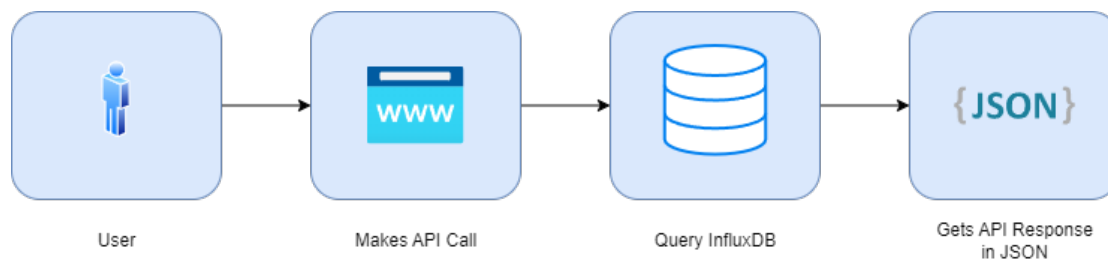
City: New York
Coordinates: (40.713, -74.006)
Data Source: hourly_forecast
Forecast Horizon: 1
Start Date: 2023-10-01
End Date: 2023-10-02
Date Added: 2023-06-12
Date Started: 2023-10-07
Date of last call: 2023-10-31

Open-Meteo API Url: https://api.open-meteo.com/v1/forecast?latitude=40.713&longitude=-74.006&hourly=temperature_2m,relativehumidity_2m,windspeed_10m,windspeed_80m,windspeed_120m,windspeed_180m,winddirection_10m,win

Εικόνα 57: Πρόσβαση στα δεδομένα από χρήστη μέσω διεπαφής και εξαγωγή

Η πρόσβαση στα δεδομένα μας είναι το τελικό βήμα η οποία μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους. Ο ένας είναι μέσω της διεπαφής του χρήστη, στην οποία υπάρχει σελίδα που ο χρήστης επιλέγει το σημείο που τον ενδιαφέρει, το μοντέλο πρόγνωσης καθώς και το εύρος των ημερών, και το σύστημα του επιστρέφει σε μορφή πινάκων και γραφημάτων τα δεδομένα του. Ο δεύτερος τρόπος λοιπόν ξεκινά από τον πρώτο καθώς αφού έχει γίνει αυτή η επιλογή, μπορεί ο χρήστης με το πάτημα ενός κουμπιού να εξαγάγει τα δεδομένα αυτά σε αρχείο στον υπολογιστή του είτε σε μορφή CSV είτε σε μορφή JSON. Η δομή των δεδομένων στις δύο αυτές περιπτώσεις είναι ομαδοποιημένες με βάση την εκάστοτε καιρική μεταβλητή (θερμοκρασία, υγρασία κλπ). Η τελευταία μέθοδος είναι με χρήση της Διεπαφής Προγραμματισμού Εφαρμογής (API) η οποία ενδείκνυται για χρήση από προγραμματιστές και άλλες εφαρμογές. Είναι δηλαδή ένας τρόπος προβολής και εξαγωγής δεδομένων για χρήση σε μοντέλα

μηχανικής μάθησης, άλλες εφαρμογές ή ακόμη και επεξεργασία τους. Η διεπαφή αυτή είναι ανοιχτή και λειτουργεί με την εισαγωγή των παραμέτρων που επιθυμεί ο χρήστης απευθείας στην διεύθυνση κλήσης. Στην πρώτη μέθοδο που αναφέραμε, ο χρήστης εκτός από τους πίνακες και τα γραφήματα, βλέπει και την διεύθυνση της Διεπαφής Προγραμματισμού Εφαρμογής που παράγεται από την αναζήτηση που έκανε. Υπάρχει ακόμη αναλυτική τεκμηρίωση και οδηγίες για την χρήση του API μαζί με επεξήγηση της κάθε μεταβλητής.



Εικόνα 58: Πρόσβαση στα δεδομένα μέσω API

NTUA Thesis Home Cities API API Docs

Data Source

This project uses the Open-Meteo API. The **Best Available** model is chosen automatically by Open-Meteo. Other available weather models cover different geographic areas at different resolutions and provide different weather variables. You can also see the number of parameters each source/model provides.

1. Best Available Daily This chooses the highest resolution model from the available ones and returns daily values.	5
2. Best Available Hourly This chooses the highest resolution model from the available ones and returns hourly values.	16
3. DWD ICON Hourly ICON weather models from the German Weather service DWD delivering hourly values for central Europe. For global forecasts the resolution is 11 km.	19
4. DWD ICON 15-Minutely ICON weather models from the German Weather service DWD delivering 15-minutely values for central Europe only.	5
5. GFS NOAA GFS weather model combined with the HRRR weather model delivering hourly values for US region only.	12
6. MeteoFrance MeteoFrance's AROME and ARPEGE weather models delivering hourly values for Central Europe and specifically France.	10

API Documentation

The API endpoint `/api/v1/query` accepts a data source, a geographical coordinate in the form of (lat, lon), a start date and an end date (2022-12-31T00:00:00) and weather variables. It then responds with a JSON for the given time period. Time always is always at the local time of the coordinates. All URL parameters are listed below:

Parameter	Format	Required	Default	Description	Example
latitude, longitude	String (-xx.xxx, -yy.yyy)	Yes		Geographical WGS84 coordinate of the location	"(37.984, 23.728)"
source	String array	Yes		Chose from the available sources from the cities table. You can use one source at a time.	"hourly_forecast" or "daily_forecast" or "icon_forecast" or "icon_15_forecast" or "gfs" or "meteofrance"
start_date	String (yyyy-mm-ddThh:mm:ss)	Yes		Starting time interval to get weather data	"2022-12-31T00:00:00"
end_date	String (yyyy-mm-ddThh:mm:ss)	Yes		Ending time interval to get weather data	"2022-12-31T00:00:00"
fields	String array	No		A comma separated list of parameters that are specified for each source from the following tables	"humidity"

Example URL:

`http://38.242.137.200:8000/api/v1/query?source=hourly_forecast&coordinates=(37.984, 23.728)&start_date=2023-06-01&end_date=2023-06-06&fields=temperature,humidity`

Εικόνα 59: Τεκμηρίωση και οδηγίες χρήσης API

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

Data Tables

City:

Data Source:

Start Date:

End Date:

Generate Data Tables

Data:

City: New York
 Coordinates: (40.713, -74.006)
 Data Source: daily_forecast
 Start Date: 2023-10-01 & End Date: 2023-10-03

Tables:

Table: shortwave_radiation_sum

Time	Value
2023-10-01T00:00	17.88
2023-10-02T00:00	15.93

Table: temperature_max_C

Time	Value
2023-10-01T00:00	21.4
2023-10-02T00:00	21.6

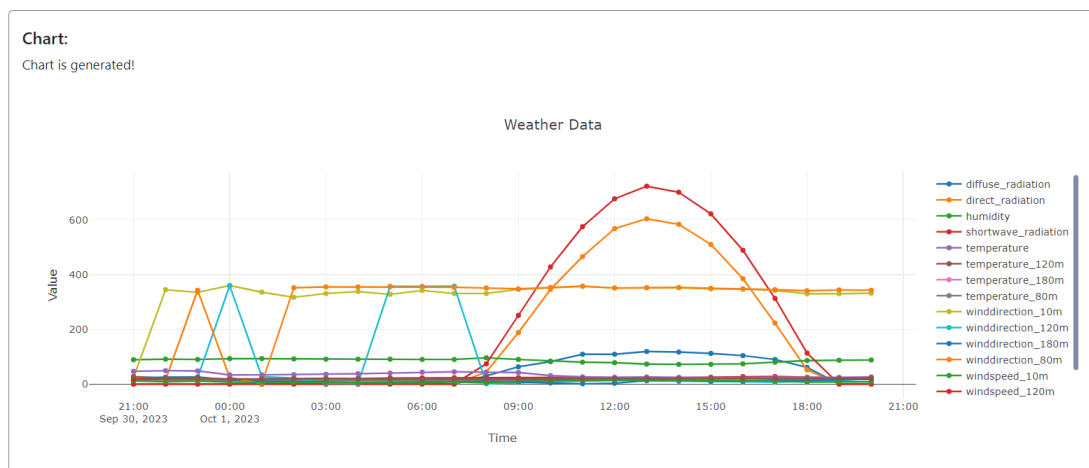
Εικόνα 60: Οπτικοποίηση δεδομένων από χρήστη μέσω διεπαφής σε πίνακες

Data:

City: New York
 Coordinates: (40.713, -74.006)
 Data Source: hourly_forecast
 Start Date: 2023-10-01 & End Date: 2023-10-02
 API URL: [http://38.242.137.200:8000/api/v1/query?source=hourly_forecast&coordinates=\(40.713,-74.006\)&start_date=2023-10-01&end_date=2023-10-02](http://38.242.137.200:8000/api/v1/query?source=hourly_forecast&coordinates=(40.713,-74.006)&start_date=2023-10-01&end_date=2023-10-02)

Chart:

Chart is generated!



Εικόνα 61: Οπτικοποίηση δεδομένων από χρήστη μέσω διεπαφής σε γράφημα

5 Σύνοψη, Συμπεράσματα και Μελλοντικές Επεκτάσεις

5.1 Περίληψη των ευρημάτων

Η παρούσα διπλωματική εργασία αντιπροσωπεύει ένα πρωτοποριακό ταξίδι στην ανάπτυξη ενός συστήματος βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων, ενσωματώνοντας ανοιχτές προγραμματιστικές διεπαφές (APIs) για να βελτιώνει τις προβλέψεις στα διάφορα μεγέθη ηλεκτρικής ενέργειας. Η σύγκλιση της μετεωρολογικής επιστήμης και των μελετών ενέργειας εξετάστηκε με μεθοδικότητα, φωτίζοντας τη συνέργεια μεταξύ των ακριβών προβλέψεων καιρού και των προτύπων παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας.

Μέσω μιας περίτεχνης εξερεύνησης θεωρητικών πλαισίων, αυτή η διπλωματική φώτισε τις βασικές αρχές, τις μεθοδολογίες, και τον κεντρικό ρόλο της πρόβλεψης του καιρού στις προβλέψεις ενέργειας. Για την βέλτιστη συλλογή των καιρικών προβλέψεων, έγινε έρευνα σε ποικίλα επιστημονικά άρθρα και έρευνες προκειμένου να ληφθεί η απόφαση στο ποια δεδομένα είναι απαραίτητα και γιατί. Η θεωρητική μελέτη επικεντρώθηκε στους πιο διαδεδομένους τρόπους πρόβλεψης μεγεθών ενέργειας. Από την μία πλευρά είναι η πρόβλεψη παραγωγής από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας όπως φωτοβολταϊκά πάρκα, ανεμογεννήτριες και υδροηλεκτρικά φράγματα και από την άλλη η πρόβλεψη της κατανάλωσης ενέργειας και του φορτίου του δικτύου διανομής.

Η έρευνα έπειτα επικεντρώθηκε στις μετεωρολογικές προβλέψεις και στον τρόπο που γίνονται αυτές. Η θεωρητική μελέτη επεκτάθηκε στους τρόπους που με τα χρόνια μελετάτε ο καιρός και τα καιρικά φαινόμενα καθώς και στους σύγχρονους τρόπους, όπου με χρήση των αριθμητικών μοντέλων πρόγνωσης επιτυγχάνεται η βέλτιστη και πιο ακριβείς καιρική πρόγνωση. Τα μοντέλα όμως είναι ποικίλα και ο βασικός διαχωρισμός είναι στο μέγεθος κάλυψης όπου διαθέτουμε τα παγκόσμια και τα τοπικά ή περιφερειακά μοντέλα. Αυτά, έχουν αναπτυχθεί από διάφορες μετεωρολογικές υπηρεσίες οι οποίες συνήθως είναι κρατικές ή είναι συνεργασίες μεταξύ περισσότερων χωρών. Οι υπηρεσίες αυτές όμως και τα μοντέλα τα οποία αναπτύσσουν δεν είναι πάντα διαθέσιμα για το κοινό. Κάποια είναι πολύ περιορισμένα, άλλα είναι διαθέσιμα έως κάποια ανάλυση και άλλα είναι τελείως ελεύθερα. Στην παρούσα διπλωματική εργασία ερευνήθηκαν θεωρητικά τα οφέλη των διαφόρων μοντέλων και έπειτα επιλέχθηκαν τα βέλτιστα για την συλλογή των μετεωρολογικών προβλέψεων.

Μια φιλική προς τον χρήστη εφαρμογή ιστού, παρουσίασε την πρακτική υλοποίηση αυτών των θεωρητικών βάσεων, λειτουργώντας ως ενιαία πλατφόρμα που συνδέει πολλαπλές APIs καιρού για την απόκτηση και αποθήκευση προβλέψεων καιρού σε μια βάση δεδομένων χρονοσειρών. Η

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας διεπαφή του χρήστη παρέχει τη δυνατότητα αλληλεπίδρασης με τα σημεία ενδιαφέροντος για συλλογή μετεωρολογικών προβλέψεων αλλά και στα δεδομένα μας.

5.2 Συνεισφορά

Οι επιπτώσεις αυτής της μελέτης είναι πολυδιάστατες. Σε πρακτικό επίπεδο, η ανάπτυξη αυτής της εφαρμογής ιστού άνοιξε τον δρόμο για πιο ενημερωμένες, ακριβείς και αποτελεσματικές καιρικές προβλέψεις οι οποίες με τη σειρά τους συμβάλλουν στην βέλτιστη πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας. Προσφέρει πιθανές οδούς για βελτιστοποίηση, επιτρέποντας στους ενδιαφερόμενους του ενεργειακού κλάδου να πραγματοποιούν πιο ενημερωμένες και στρατηγικές αποφάσεις με βάση ακριβείς προβλέψεις καιρού.

Από θεωρητική άποψη, αυτή η έρευνα τονίζει τη συμβιωτική σχέση μεταξύ των καιρικών συνθηκών και της παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας. Υπογραμμίζει την αναντικατάστατη σημασία των ακριβών προβλέψεων καιρού στις μελέτες ενέργειας και προτείνει μια ολοκληρωμένη προσέγγιση στους διασυνδεδεμένους τομείς της επιστήμης, της τεχνολογίας και της βιωσιμότητας.

5.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Ενώ αυτή η μελέτη θέτει μια σταθερή βάση, υπάρχει ευρύ πεδίο για περαιτέρω έρευνα για τη βελτίωση της ακρίβειας και της αποδοτικότητας των προβλέψεων ενέργειας. Μελλοντικές μελέτες θα μπορούσαν να εξερευνήσουν προηγμένες τεχνικές μηχανικής μάθησης και ανάλυσης δεδομένων για να βελτιώσουν περαιτέρω τα μοντέλα προβλέψεων και να αναπτύξουν πιο ισχυρά και αποτελεσματικά εργαλεία για την πρόβλεψη της παραγωγής και κατανάλωσης ενέργειας με βάση τις καιρικές συνθήκες.

Μια άλλη κατεύθυνση για μελλοντική έρευνα θα μπορούσε να είναι η δημιουργία ενός πιο δυναμικού και ευέλικτου συστήματος που ενσωματώνει μεγαλύτερο φάσμα δεδομένων και αναλύσεων, όπως περιβαλλοντικά δεδομένα και οικονομικούς παράγοντες, παρέχοντας μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα των δυναμικών της ενέργειας και των επιπτώσεών τους. Η κατεύθυνση αυτή μπορεί να σημαίνει ακόμη και ενσωμάτωση με το λεγόμενο χρηματιστήριο ενέργειας για την μέγιστη εξοικονόμηση και για τον καταναλωτή.

5.4 Καταληκτικές σκέψεις

Η παρούσα διατριβή είναι μια πρωτοποριακή προσπάθεια για την εξέλιξη της πρόβλεψης ενέργειας μέσω της ενσωμάτωσης των μετεωρολογικών δεδομένων. Η ενσωμάτωση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών καθώς και η ανάπτυξη βάσεων δεδομένων και εφαρμογών ιστού, αποτελούν κρίσιμους παράγοντες στην επίτευξη μιας συλλογής μετεωρολογικών προγνώσεων. Τα ευρήματα αυτής της έρευνας ανοίγουν νέους ορίζοντες και οικοδομούν ένα

στέρεο θεμέλιο για μελλοντικές προσπάθειες προς την βέλτιστη πρόβλεψη μεγεθών ενέργειας και την αποδοτικότερη χρήση της.

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] "Weather forecasting | Methods, Importance, & History | Britannica." Accessed: Sep. 15, 2023. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/weather-forecasting>
- [2] "Weather forecasting - Prediction, Models, Data | Britannica." Accessed: Sep. 18, 2023. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/weather-forecasting/Principles-and-methodology-of-weather-forecasting>
- [3] "Πώς γίνεται η πρόγνωση με τα αριθμητικά μοντέλα καιρού, ΕΜΥ, Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία." Accessed: Sep. 18, 2023. [Online]. Available: http://www.emy.gr/emv/el/meteorology/meteorologia_how_to_forecast?pageno=5
- [4] "Model charts - ECMWF, ICON, GFS, UKMO, GEM, etc. | Weather.us." Accessed: Sep. 18, 2023. [Online]. Available: <https://weather.us/model-charts>
- [5] "Weather forecasting - Agriculture, Aviation, Maritime | Britannica." Accessed: Sep. 18, 2023. [Online]. Available: <https://www.britannica.com/science/weather-forecasting/Practical-applications>
- [6] A. Tuohy *et al.*, "Solar Forecasting: Methods, Challenges, and Performance," *IEEE Power and Energy Magazine*, vol. 13, no. 6, pp. 50–59, Nov. 2015, doi: 10.1109/MPE.2015.2461351.
- [7] Iseh. A. J. and Woma. T. Y., "Weather Forecasting Models, Methods and Applications," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 2, no. 12, Dec. 2013, doi: 10.17577/IJERTV2IS120198.
- [8] "Integrated Forecasting System | ECMWF." Accessed: Sep. 18, 2023. [Online]. Available: <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/documentation-and-support/changes-ecmwf-model>
- [9] "High-Resolution Rapid Refresh (HRRR)." Accessed: Sep. 18, 2023. [Online]. Available: <https://rapidrefresh.noaa.gov/hrrr/>
- [10] "GFS." Accessed: Sep. 18, 2023. [Online]. Available: https://www.emc.ncep.noaa.gov/emc/pages/numerical_forecast_systems/gfs.php

- [11] "Wetter und Klima - Deutscher Wetterdienst - Numerical weather prediction models - ICON (Icosahedral Nonhydrostatic) Model." Accessed: Sep. 13, 2023. [Online]. Available: https://www.dwd.de/EN/research/weatherforecasting/num_modeling/01_num_weather_prediction_modells/icon_description.html
- [12] "ARPEGE - National Centre for Meteorological Research." Accessed: Sep. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article121>
- [13] D. C. Dowell *et al.*, "The High-Resolution Rapid Refresh (HRRR): An Hourly Updating Convection-Allowing Forecast Model. Part I: Motivation and System Description," *Weather Forecast*, vol. 37, no. 8, pp. 1371–1395, Aug. 2022, doi: 10.1175/WAF-D-21-0151.1.
- [14] "AROME - National Centre for Meteorological Research." Accessed: Sep. 13, 2023. [Online]. Available: <https://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article120&lang=en>
- [15] "Renewable Energy Definition - Sources, Clean Alternatives." Accessed: Nov. 01, 2023. [Online]. Available: <https://www.nrdc.org/stories/renewable-energy-clean-facts#sec-whatis>
- [16] "What is renewable energy? | United Nations." Accessed: Nov. 01, 2023. [Online]. Available: <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy>
- [17] T. Ahmad, H. Zhang, and B. Yan, "A review on renewable energy and electricity requirement forecasting models for smart grid and buildings," *Sustain Cities Soc*, vol. 55, p. 102052, Apr. 2020, doi: 10.1016/J.SCS.2020.102052.
- [18] "Smart grids - IEA." Accessed: Sep. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.iea.org/energy-system/electricity/smart-grids>
- [19] S. Pelekis *et al.*, "A comparative assessment of deep learning models for day-ahead load forecasting: Investigating key accuracy drivers," *arXiv:2302.12168*, Feb. 2023, Accessed: Sep. 19, 2023. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352467723001790?via%3Dihub>
- [20] S. Haben, G. Giasemidis, F. Ziel, and S. Arora, "Short term load forecasting and the effect of temperature at the low voltage level,"

Ανάπτυξη βάσης δεδομένων μετεωρολογικών προβλέψεων με χρήση ανοιχτών προγραμματιστικών διεπαφών για την πρόβλεψη μεγεθών ηλεκτρικής ενέργειας
Int J Forecast, vol. 35, no. 4, pp. 1469–1484, Oct. 2019, doi: 10.1016/J.IJFORECAST.2018.10.007.

- [21] "How to query weather forecasts from the past – Historical Forecasts – Visual Crossing Weather." Accessed: Nov. 09, 2023. [Online]. Available: <https://www.visualcrossing.com/resources/documentation/weather-data/how-to-query-weather-forecasts-from-the-past-historical-forecasts/>
- [22] C. Wan, J. Zhao, Y. Song, Z. Xu, J. Lin, and Z. Hu, "Photovoltaic and solar power forecasting for smart grid energy management," *CSEE Journal of Power and Energy Systems*, vol. 1, no. 4, pp. 38–46, Jan. 2016, doi: 10.17775/CSEEJPES.2015.00046.
- [23] I. Mitra *et al.*, "Short-term PV power forecasting in India: recent developments and policy analysis," *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 515–540, Jun. 2022, doi: 10.1007/S40095-021-00468-Z.
- [24] W.-Y. Chang and W.-Y. Chang, "A Literature Review of Wind Forecasting Methods," *Journal of Power and Energy Engineering*, vol. 2, no. 4, pp. 161–168, Apr. 2014, doi: 10.4236/JPEE.2014.24023.
- [25] E. R. M. Shouman and E. R. M. Shouman, "Wind Power Forecasting Models," *Wind Turbines - Advances and Challenges in Design, Manufacture and Operation*, May 2022, doi: 10.5772/INTECHOPEN.103034.
- [26] Y. Wang, R. Zou, F. Liu, L. Zhang, and Q. Liu, "A review of wind speed and wind power forecasting with deep neural networks," *Appl Energy*, vol. 304, p. 117766, Dec. 2021, doi: 10.1016/J.APENERGY.2021.117766.
- [27] M. Petrollese, G. Cau, and D. Cocco, "Use of weather forecast for increasing the self-consumption rate of home solar systems: An Italian case study," *Appl Energy*, vol. 212, pp. 746–758, Feb. 2018, doi: 10.1016/J.APENERGY.2017.12.075.
- [28] S. K. Ahmad and F. Hossain, "Maximizing energy production from hydropower dams using short-term weather forecasts," *Renew Energy*, vol. 146, pp. 1560–1577, Feb. 2020, doi: 10.1016/J.RENENE.2019.07.126.
- [29] "Detroit Dam." Accessed: Sep. 19, 2023. [Online]. Available: https://www.oregonencyclopedia.org/articles/detroit_dam/

- [30] "What is time series data? | InfluxData." Accessed: Sep. 06, 2023. [Online]. Available: <https://www.influxdata.com/what-is-time-series-data/>
- [31] "DB-Engines Ranking - popularity ranking of time Series DBMS." Accessed: Sep. 06, 2023. [Online]. Available: <https://db-engines.com/en/ranking/time+series+dbms>
- [32] "MariaDB in brief - MariaDB.org." Accessed: Sep. 06, 2023. [Online]. Available: <https://mariadb.org/en/>
- [33] "What is Python? Executive Summary | Python.org." Accessed: Sep. 07, 2023. [Online]. Available: <https://www.python.org/doc/essays/blurb/>
- [34] "What is Flask Python - Python Tutorial." Accessed: Sep. 07, 2023. [Online]. Available: <https://pythonbasics.org/what-is-flask-python/>
- [35] "FastAPI." Accessed: Sep. 10, 2023. [Online]. Available: <https://fastapi.tiangolo.com/>
- [36] "What is HTTP." Accessed: Sep. 10, 2023. [Online]. Available: https://www.w3schools.com/whatis/whatis_http.asp
- [37] "pandas · PyPI." Accessed: Sep. 08, 2023. [Online]. Available: <https://pypi.org/project/pandas/>
- [38] "Open-Source Weather API | Open-Meteo.com." Accessed: Sep. 12, 2023. [Online]. Available: <https://open-meteo.com/>
- [39] "Introducing Dagster | Dagster Blog." Accessed: Nov. 01, 2023. [Online]. Available: <https://dagster.io/blog/introducing-dagster>
- [40] "What is a Container? | Docker." Accessed: Sep. 10, 2023. [Online]. Available: <https://www.docker.com/resources/what-container/>
- [41] "Docker overview | Docker Docs." Accessed: Sep. 10, 2023. [Online]. Available: <https://docs.docker.com/get-started/overview/>
- [42] "Docker Compose overview | Docker Docs." Accessed: Sep. 10, 2023. [Online]. Available: <https://docs.docker.com/compose/>