



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Μοντελοποίηση λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας  
της Νοτιοανατολικής Ευρώπης υπό συνθήκες αυξημένης  
δειξοδυσίας ΑΠΕ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Αναστάσιος Β. Τσάβαλος**

**Επιβλέπων :** Σταύρος Παπαθανασίου

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Μάιος 2022





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

**Μοντελοποίηση λειτουργίας του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας  
της Νοτιοανατολικής Ευρώπης υπό συνθήκες αυξημένης  
διείσδυσης ΑΠΕ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αναστάσιος Β. Τσάβαλος**

**Επιβλέπων :** Σταύρος Παπαθανασίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 17η Μαΐου 2022.

.....  
Στ. Παπαθανασίου  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Γ. Κορρές  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....  
Π. Γεωργιάκης  
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, 17 Μαΐου 2022

.....

## **Αναστάσιος Β. Τσάβαλος**

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

Copyright © Αναστάσιος Β. Τσάβαλος, 2022

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 κλιματική αλλαγή είναι ένα γεγονός με σημαντικές επιπτώσεις στο οικοσύστημα. Βασική αιτία της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας είναι η εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου που οφείλεται σε ανθρωπογενείς παράγοντες. Σε αυτό το πλαίσιο η παγκόσμια επιστημονική κοινότητα και οι ιθύνουσες πολιτικές αρχές, όπως η Ευρωπαϊκή Ένωση, έχουν σχηματίσει μια ενεργειακή πολιτική με γνώμονα την δραστική μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα ( $CO_2$ ).

Η αναγκαιότητα αυτή και τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν, φέρνουν αλλαγές στον τρόπο παραγωγής και διαχείρισης της ηλεκτρικής ενέργειας. Η στροφή προς τις τεχνολογίες **Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας** (ΑΠΕ) προκρίνεται ως το μέσο επίτευξης ανθρακικής ουδετερότητας, όσον αφορά τον **ηλεκτροπαραγωγικό τομέα**. Η διαχείριση ωστόσο ενός δικτύου με αυξημένη διείσδυση μεταβλητών ΑΠΕ αναδεικνύεται σε μια πολύπλοκη διαδικασία.

Μια από τις απαντήσεις σε αυτόν το προβληματισμό είναι η **σύζευξη των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας** η οποία προσφέρει δυνατότητες ευελιξίας και αφομοίωσης των μεταβλητών ΑΠΕ ορίζοντας ένα διευρυμένο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας(ΣΗΕ) πέραν των εθνικών συνόρων.

Σε αυτήν την πλευση, ήδη από της αρχές τις προηγούμενης δεκαετίας κεντροδυτικά μέλη της ΕΕ λειτουργούν τις αγορές ηλεκτρικής ενέργειάς τους υπό καθεστώς ενοποιημένης λειτουργίας. Πλέον το μοντέλο λειτουργίας αυτό επεκτείνεται και στις χώρες της **Νοτιοανατολικής Ευρώπης** (ΝΑΕ) οι οποίες καλούνται να αναθεωρήσουν τις ενεργειακές τους πολιτικές επενδύοντας στην ενεργειακή συνεργασία, ούτως ώστε να καταφέρουν συλλογικά την αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ και τον περιορισμό των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Με την παρούσα εργασία εξετάζεται η ενοποιημένη λειτουργία του συστήματος της ΝΑ Ευρώπης, για διάφορα σενάρια αυξημένης διείσδυσης ΑΠΕ. Με τη χρήση του προσομοιωτή ANTARES **προσομοιώνεται η λειτουργία και η επάρκεια** του συστήματος. Η εργασία προσφέρει χρήσιμα συμπεράσματα καθώς επίσης και μια αποτίμηση της ενοποιημένης λειτουργίας του συστήματος της ΝΑΕ στην διευρυμένη περιοχή των Βαλκανίων και των γειτονικών τους χωρών.

**Λέξεις κλειδιά:** σύζευξη αγορών ηλεκτρικής ενέργειας, ηλεκτροπαραγωγικός τομέας, ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, νοτιοανατολική Ευρώπη, προσομοίωση λειτουργίας και επάρκειας



## Abstract

Climate change is a phenomenon with grave impact on our ecosystem. Global warming is basically caused by the emissions of greenhouse gases that occur from human activity. In this framework, scientists around the world as well as governing authorities, as the European Union, form their energy policies along with the concept of drastically reducing  $CO_2$  emissions.

The aforementioned need of emissions' reduction as well as the measures that need to be taken, bring along major changes on the production and management of electric power. The shift towards **Renewable Energy Sources** (RES) is considered a vehicle for achieving carbon neutrality of the **electrical power industry**. Nevertheless, the management of an electric network considering high RES penetration seems to be a complex procedure.

One of the tools promoted as a solution to this problem is the **coupling of electricity markets**, which offers flexibility and integration possibilities of variable energy sources in an energy system expanding beyond national borders.

In this direction, central west EU countries, from the beginning of the past decade have already implemented coupling methods. This model that has been developing for years is now reaching **Southeastern Europe's** (SEE) countries, which need to review their energy plans considering broad cross border cooperation, in order to collectively achieve high RES penetration targeting greenhouse gases emission containment.

With the current thesis, the coupling of SEE's electricity markets for various RES penetration scenarios is examined. The **operation** and the **adequacy** of the coupled system are **simulated** by ANTARES Simulator. The results produced offer useful information as well as a generic evaluation of the coupled operation of SEE electricity system in the broader region of the Balkan Peninsula.

**Keywords:** market coupling, Renewable Energy Sources, electrical power industry, Southeastern EU, operation, adequacy simulations





## Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας ολοκληρώνεται και ο κύκλος προπτυχιακών μου σπουδών στην σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η περίοδος αυτή αποδεικνύεται σημαντική, καθώς μου προσέδωσε γνώσεις που ευελπιστώ να χρησιμοποιήσω στο μονοπάτι που ξεδιπλώνεται για μένα από δω και στο εξής.

Αρχικά, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Σταυρό Παπαθανασίου, καθηγητή Ε.Μ.Π. και επιβλέποντα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πρώτα από όλα για την ευκαιρία που μου έδωσε, κι ύστερα για την εμπιστοσύνη, την στήριξη του καθώς και την συμβολή του στην ενδυνάμωση της οπτικής και κρίσης μου αναφορικά με τα πλέον επίκαιρα ζητήματα του ενεργειακού τομέα.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Γεώργιο Ψαρρό, διδάκτορα της Σχολής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών του Ε.Μ.Π., την σημαντική βοήθεια που μου παρείχε σχετικά με την κατανόηση θεωρητικών και τεχνικών εννοιών απαραίτητων για την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Τέλος, δε θα μπορούσα να παραλείψω να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους στενούς μου φίλους. Θα ήθελα λοιπόν να εκφράσω την αμέριστη ευγνωμοσύνη και αγάπη μου στους γονείς μου, Βασίλη και Ρουμπίνη, στην αδερφή μου, Αρετή, καθώς επίσης και στην γιαγιά μου, Βασιλική, για την στήριξη που μου παρείχαν και για τα εφόδια με τα οποία με προίκισαν ώστε να μπορέσω να υπάρξω σε αυτόν τον κόσμο.



# 1 Περιεχόμενα

2	Εισαγωγή.....	15
2.1	Περιβαλλοντική αναγκαιότητα.....	15
2.2	Κίνητρο και σκοπός της εργασίας.....	17
3	Κλιματική αλλαγή .....	19
4	Αναγνώριση σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο.....	23
4.1	Παγκόσμια αναγνώριση .....	23
4.2	Ευρωπαϊκή Ένωση .....	26
5	Εκπομπές CO <sub>2</sub> και ΑΠΕ .....	29
5.1	Εκπομπές CO <sub>2</sub> και τρόποι περιορισμού .....	29
5.2	Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας .....	33
6	Μετάλλαξη του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος και Ευελιξία .....	37
6.1	Υδροθερμική συνεργασία.....	40
6.2	Διείσδυση ΑΠΕ και ευελιξία .....	42
6.3	Ενδυνάμωση διασυνδέσεων .....	46
7	Σύζευξη αγορών ηλεκτρικής ενέργειας .....	49
7.1	Βασικές αρχές της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας .....	49
7.2	Εσωτερική Αγορά Ενέργειας και Μοντέλο Στόχος .....	51
7.3	Σύζευξη αγορών.....	57
7.3.1	Συμφόρηση και διαχείριση διασυνδέσεων .....	59
7.3.2	Σύζευξη αγορών στην Ευρώπη .....	61
7.3.3	Η κατάσταση στην ΝΑ Ευρώπη.....	64
8	Πρακτικό μέρος- Μοντελοποίηση .....	69
8.1	Μεθοδολογία.....	71
8.1.1	Εργαλείο.....	71
8.1.2	Σενάρια .....	74
8.2	Περιοχή ελέγχου & αναπαράσταση .....	76
8.3	Δεδομένα εισόδου .....	79
8.4	Επεξεργασία αποτελεσμάτων και δείκτες.....	84
9	Αποτελέσματα .....	87
9.1	Οικονομική λειτουργία .....	88

9.1.1	Διείσδυση ΑΠΕ .....	88
9.1.2	Περικοπές ενέργειας.....	94
9.1.3	Άντληση ενέργειας.....	97
9.1.4	Ένταση εκπομπών .....	101
9.1.5	Οριακή τιμή.....	106
9.1.6	Συντελεστής χρησιμοποίησης συμβατικών μονάδων .....	110
9.1.7	Διασυνδέσεις .....	112
9.1.8	Καμπύλες διάρκειας ροής ισχύος.....	119
9.1.9	Κόστος συμφόρησης.....	134
9.1.10	Αποτίμηση του συστήματος .....	138
9.2	Επάρκεια .....	140
9.3	Συγκριτικά αποτελέσματα 2025-2030 .....	145
10	Σύνοψη και σχολιασμός αποτελεσμάτων .....	149
10.1	Σύνοψη.....	149
10.2	Σχολιασμός αποτελεσμάτων .....	150
11	Συμπεράσματα και περαιτέρω έρευνα .....	155
12	Βιβλιογραφία .....	156

## Κατάλογος εικόνων

Εικόνα 1 Μεταβολή μέσης θερμοκρασίας από τη μέση τιμή (1961-1990) (Πηγή: European Environment Agency).....	15
Εικόνα 2 Φαινόμενο του θερμοκηπίου[7] .....	20
Εικόνα 3 Εκπομπές CO <sub>2</sub> και μερίδια κάθε τομέα[14] .....	29
Εικόνα 4 Εκπομπές CO <sub>2</sub> ανά τομέα (πηγή: IEA) .....	30
Εικόνα 5 Τιμή άνθρακα (2021-2022) [16].....	32
Εικόνα 6 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στην ΕΕ (πηγή: Eurostat).....	33
Εικόνα 7 Εγκαταστάσεις αντλησιοταμίευσης ανοιχτού (αριστερά) και κλειστού (δεξιά) βρόχου [18].....	35
Εικόνα 8 Ροή ισχύος στο ηλεκτρικό δίκτυο [18].....	37
Εικόνα 9 Τυπικό προφίλ ζήτησης με χρονικό βήμα μισής ώρας[16] .....	40
Εικόνα 10 Αυξημένη διείσδυση ΦΒ και βύθιση καθαρής ζήτησης [21] .....	42
Εικόνα 11 Ένα ιδανικό μελλοντικό ΣΗΕ[26].....	45
Εικόνα 12 Έργα επέκτασης δικτύου στην Ευρώπη [30] .....	47
Εικόνα 13 Χρηματική ροή και ροή ηλεκτρικής ισχύος[31].....	49
Εικόνα 14 Τιμή εκκαθάρισης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας [32] .....	50
Εικόνα 15 Οι τρεις δέσμες μέτρων της ΕΕ για την ενέργεια[32] .....	52
Εικόνα 16 Το Μοντέλο Στόχος της ΕΕ .....	54
Εικόνα 17 Παράδειγμα σύζευξη δύο αγορών ΗΕ[35] .....	57
Εικόνα 18 Εμπορική ροή ισχύος μεταξύ Α και Β, προκαλεί ροή από Α σε Β διαμέσων του C59	
Εικόνα 19 Περιοχές υπολογισμού κατανομής διασυνδεδετικής ικανότητας (CCRs)[35].....	62
Εικόνα 20 Κράτη μέλη που συμμετέχουν στην σύζευξη της προ ημερησίας αγοράς[37] .....	64
Εικόνα 21 Σχεδιάγραμμα διπλωματικής εργασίας .....	69
Εικόνα 22 Προσομοιωτής ANTARES[37].....	71
Εικόνα 23 Μόντε Κάρλο κλιματικά έτη όπως προσομοιώνονται στον ANTARES [37] .....	72
Εικόνα 24 Χώρες της ΝΑΕ που μοντελοποιούνται .....	76
Εικόνα 25 Αναπαράσταση συστήματος στον ANTARES.....	77
Εικόνα 26 Τριγωνική διασύνδεση των περιοχών της Νότιας Ιταλίας.....	103
Εικόνα 27 Σχεδιάγραμμα ροής ισχύος στο μοντελοποιημένο σύστημα .....	115

## Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1 Συμμετοχή των χωρών της ΝΑΕ στην σύζευξη των αγορών ΗΕ.....	65
Πίνακας 2 Σενάρια προσομοιώσεων .....	74
Πίνακας 3 Κόμβοι μοντελοποιούμενου συστήματος.....	78
Πίνακας 4 Δείκτες και οργάνωση αποτελεσμάτων .....	84
Πίνακας 5 Σύγκριση έντασης εκπομπών (2019-2030) .....	103
Πίνακας 6 Συντελεστής χρησιμοποίησης συμβατικών μονάδων .....	111
Πίνακας 7 Μεταβολή συνολικού κόστους και συνολικών εκπομπών συστήματος .....	138
Πίνακας 8 Διασυνδέσεις που μεταβάλλονται (πηγή: ENTSO-E) .....	145
Πίνακας 9 Μεταβολή συνολικού κόστους και συνολικών εκπομπών συστήματος για διασυνδέσεις 2025-2030 .....	156

## Κατάλογος γραφημάτων

Γράφημα 1 ΑΠΕ για το βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030) .....	90
Γράφημα 2 Διείσδυση ΑΠΕ για σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ (1.1xRES, 1.2x RES)....	92
Γράφημα 3 Διείσδυση ΑΠΕ για σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ (1.3xRES, 1.4x RES)....	93
Γράφημα 4 Περικοπές ενέργειας για το βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030) .....	95
Γράφημα 5 Περικοπές ενέργειας για σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ .....	96
Γράφημα 6 Συντελεστής χρησιμοποίησης αντλητικών μονάδων, βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030) .....	98
Γράφημα 7 Άντληση ενεργείας προς παραγόμενη ΗΕ από ΑΠΕ, βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030) .....	99
Γράφημα 8 Μεταβολή συντελεστή χρησιμοποίησης αντλητικών μονάδων, σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ (1.1xRES, 1.2xRES).....	100
Γράφημα 9 Ένταση εκπομπών CO <sub>2</sub> για βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030) .....	102
Γράφημα 10 Ένταση εκπομπών CO <sub>2</sub> για σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ (1.3xRES, 1.4xRES).....	105
Γράφημα 11 Οριακή τιμή για βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030).....	107
Γράφημα 12 Οριακή τιμή για σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ (1.3xRES, 1.4xRES) .....	108
Γράφημα 13 Συνολικές εισαγωγές-εξαγωγές κάθε ζώνης για το βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030) .....	113
Γράφημα 14 Συνολική ροή ισχύος διασυνδέσεων για το βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030) .....	114

Γράφημα 15 Μεταβολή εισαγωγικής εξαγωγικής θέσης για τα σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ (1.3xRES, 1.4xRES) .....	117
Γράφημα 16 Μεταβολή συνολικής ροής ισχύος διασυνδέσεων για σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ(1.3xRES, 1.4xRES) .....	118
Γράφημα 17 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος GR-GR003 .....	120
Γράφημα 18 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος GR-TR .....	121
Γράφημα 19 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος BG-GR .....	122
Γράφημα 20 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος GR-ITS1 .....	123
Γράφημα 21 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος BA-HR.....	125
Γράφημα 22 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος RO-RS .....	126
Γράφημα 23 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος ITCS-ME .....	127
Γράφημα 24 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος ME-RS .....	128
Γράφημα 25 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος BA-HR.....	129
Γράφημα 26 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος BG-RS .....	130
Γράφημα 27 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος BG-RO .....	131
Γράφημα 28 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος RO-RS .....	132
Γράφημα 29 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος BG-TR.....	133
Γράφημα 30 Κόστος συμφόρησης των διασυνδέσεων για το βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030) .....	136
Γράφημα 31 Μεταβολή κόστους συμφόρησης των διασυνδέσεων για τα σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ (1xRES, διασυνδέσεις 2030) .....	137
Γράφημα 32 Loss Of Load Expectation (LOLE) για βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030) .....	141
Γράφημα 33Expected Energy Not Served (EENS)για βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030) .....	142
Γράφημα 34 Μεταβολή LOLE για σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ (1.3xRES, 1.4xRES) .....	143
Γράφημα 35 Μεταβολή EENS για σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ (1.3xRES, 1.4xRES) .....	144
Γράφημα 36 Μεταβολή ποσοστού διείσδυσης ΑΠΕ μεταξύ βασικών σεναρίων για διασυνδέσεις 2025-2030 .....	147
Γράφημα 37 Μεταβολή περικοπών ενέργειας μεταξύ βασικών σεναρίων για διασυνδέσεις 2025-2030 .....	148
Γράφημα 38 Μεταβολή άντλησης ενέργειας μεταξύ βασικών σεναρίων για διασυνδέσεις 2025-2030 .....	149

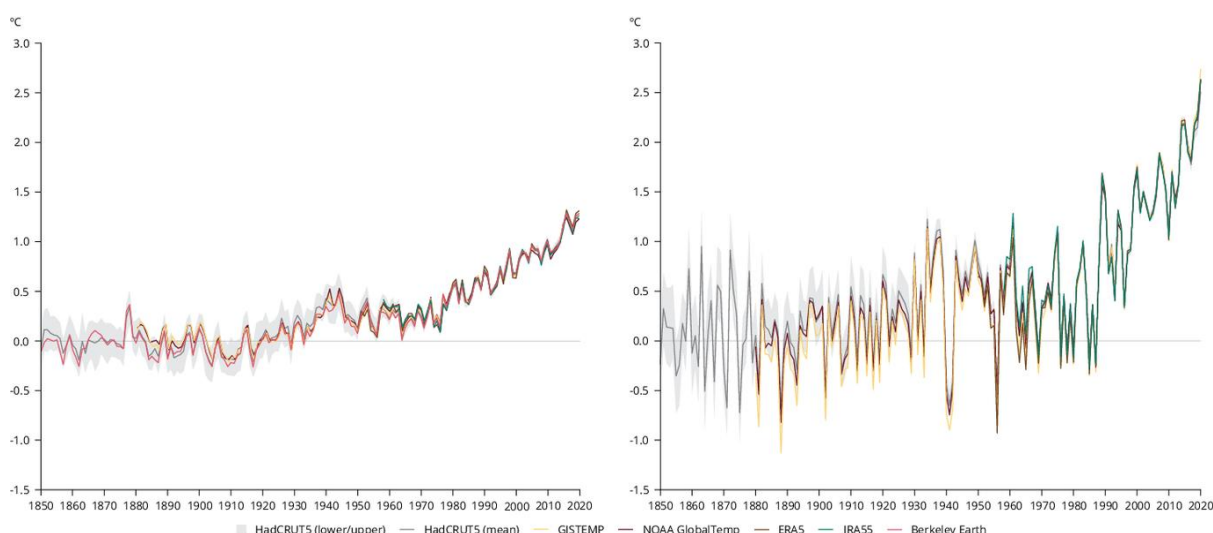
Γράφημα 39 Μεταβολή έντασης εκπομπών μεταξύ βασικών σεναρίων για διασυνδέσεις 2025-2030 .....	151
Γράφημα 40 Μεταβολή μέσων οριακών τιμών μεταξύ βασικών σεναρίων για διασυνδέσεις 2025-2030 .....	152
Γράφημα 41 Σύγκριση καμπυλών διαρκείας ροής ισχύος AL-RS μεταξύ βασικών σεναρίων για διασυνδέσεις 2025-2030 .....	153
Γράφημα 42 Σύγκριση καμπυλών διαρκείας ροής ισχύος BG-RS μεταξύ βασικών σεναρίων για διασυνδέσεις 2025-2030 .....	154
Γράφημα 43 Σύγκριση καμπυλών διαρκείας ροής ισχύος HU-RS μεταξύ βασικών σεναρίων για διασυνδέσεις 2025-2030 .....	155
Γράφημα 44 Μεταβολή συντελεστή χρησιμοποίησης μονάδων ΦΑ στην Ελλάδα για τα σεναρία αυξημένης παραγωγής.....	151



## 2 Εισαγωγή

### 2.1 Περιβαλλοντική αναγκαιότητα

Τα τελευταία χρόνια η αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας και των ωκεανών της Γης απειλεί τις ισορροπίες του οικοσυστήματος. Η κλιματική αλλαγή ή αλλιώς υπερθέρμανση του πλανήτη (ΥΘΠ) είναι δύο όροι που συχνά χρησιμοποιούνται ταυτόσημα για να περιγράψουν το φαινόμενο αυτό. Το ζήτημα αυτό, τις τελευταίες δεκαετίες συζητάτε και ερευνάτε έντονα διότι εξελίσσεται ραγδαία και πλέον επηρεάζει όλο και περισσότερο τον άνθρωπο. Αντίφαση αποτελεί το γεγονός πως προκαλείται από ανθρωπογενείς παράγοντες. Η βιομηχανική και τεχνολογική ανάπτυξη και πολλοί ακόμη παράγοντες που σχετίζονται με την δραστηριότητα του ανθρώπου προκαλούν το μεγαλύτερο μέρος των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Στην εικόνα 1 παρουσιάζεται η μεταβολή της θερμοκρασίας σε παγκόσμιο (αριστερά) και ευρωπαϊκό (δεξιά) επίπεδο.



Εικόνα 1 Μεταβολή μέσης θερμοκρασίας από τη μέση τιμή (1961-1990) (Πηγή: European Environment Agency)

Ένα από τα πρώτα βήματα για την καταπολέμηση της ΥΘΠ έγινε με τη «Συνδιάσκεψη της Γης» του Οργανισμού Ηνωμένων Εθνών (ΟΗΕ) που έλαβε χώρα στο Ρίο της Βραζιλίας τον Ιούνιο 1992, και έθεσε επί τάπητος σημαντικά περιβαλλοντικά ζητήματα. Έκτοτε έχουν ακολουθήσει πλήθος αντίστοιχων συνδιασκέψεων σε ευρωπαϊκό αλλά και παγκόσμιο επίπεδο. Όλες αυτές οι διαδικασίες προσβλέπουν στην θέσπιση μέτρων και πολιτικών που έχουν στόχο τον περιορισμό των ΑτΘ, την επίτευξη ανθρακικής ουδετερότητας με απώτερο σκοπό την αναχαίτιση της αύξησης της παγκόσμιας θερμοκρασίας.

Η αντιμετώπιση της περιβαλλοντικής κρίσης βρίσκεται ψηλά στην ατζέντα της Ευρωπαϊκής Ένωσης(ΕΕ) καθώς η πολιτική της πορεία κινείται πάντοτε με γνώμονα την αναχαίτιση της κλιματικής αλλαγής. Βασικός στόχος της ΕΕ είναι η επίτευξη ανθρακικής ουδετερότητας. Για να συμβεί κάτι τέτοιο απαιτούνται δραστικές αλλαγές στο ενεργειακό σύστημα, το οποίο ευθύνεται εν πολλοίς για τις εκπομπές ΑτΘ. Οι τομείς που επηρεάζονται σημαντικότερα από αυτές τις αλλαγές είναι η ηλεκτροπαραγωγή και οι μεταφορές, καθώς η ανάγκη μείωσης των ΑτΘ οδηγεί στον περιορισμό της χρήσης των ορυκτών καυσίμων και

στην αντικατάστασή τους από τον ηλεκτρισμό. Παράλληλα, ο εξηλεκτρισμός τομέων όπως οι μετακινήσεις, η θέρμανση και ψύξη καθώς και η παραγωγή υδρογόνου μέσω ηλεκτρόλυσης αποτελούν εφαρμογές που απαιτούν περαιτέρω ηλεκτρική ενέργεια. Ως αποτέλεσμα:

- Η τελική κατανάλωση ΗΕ αυξάνεται
- Τα ορυκτά καύσιμα αποκλείονται από τη διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας
- Τη θέση τους παίρνουν νέες τεχνολογίες που εκμεταλλεύονται τις Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας(ΑΠΕ).

Η μετάλλαξη του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος ωστόσο αποδεικνύεται μια διαδικασία πολύπλοκη και απαιτητική.

Οι βασικοί πυλώνες των πολιτικών και οι μακροχρόνιοι στόχοι που θεσπίζονται για τον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής, εντός ΕΕ, προκύπτουν κυριότερα από το σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών (EU ETS), φορέας που επιφορτίζεται με τον έλεγχο και την παρακολούθηση των εκπομπών ΑτΘ. Ο έλεγχος και περιορισμός των εκπομπών, τεχνηέντως αποτελεί ένα οικονομικό κίνητρο για την ανάπτυξη ΑΠΕ στα κράτη μέλη της ΕΕ, καθώς το κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από ρυπογόνες πηγές σταδιακά αυξάνεται.

Η αυξανόμενη διείσδυση των ΑΠΕ, εισάγει νέες προκλήσεις που σχετίζονται άμεσα με τη διαχείριση τους. Προκλήσεις που πηγάζουν κυριότερα από την στοχαστικότητα της παραγωγής ΗΕ και την δεδομένη ανάγκη για επάρκεια και ασφάλεια. Για αυτούς τους λόγους το βάρος μετατοπίζεται στην μελέτη και ανάπτυξη τεχνικών υποδομών και το κατάλληλου ρυθμιστικού πλαισίου για την βέλτιστη λειτουργία του συστήματος και την αφομοίωση της ενέργειας που παράγουν οι μεταβλητές πηγές ενέργειας (ΜΠΕ).

Η μετάβαση λοιπόν του τομέα της ηλεκτροπαραγωγής από την υδροθερμική συνεργασία σε συστήματα πιο αποκεντρωμένα με αυξημένη διείσδυση ΑΠΕ, έχει σαν αποτέλεσμα τον τονισμό της σημασίας της ευελιξίας στα συστήματα. Σε αυτή την πλευρά η ΕΕ με μεταρρυθμίσεις και οδηγίες που αφορούν την αγορά ηλεκτρισμού στοχεύει σε μια ενιαία αγορά ηλεκτρικής ενέργειας με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ενσωμάτωση των ΑΠΕ, ελαχιστοποιώντας της εκπομπές ΑτΘ.

## 2.2 Κίνητρο και σκοπός της εργασίας

Σε επίπεδο έρευνας και ανάπτυξης, αναζητούνται τρόποι με τους οποίους το ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα μπορεί να γίνει αποδοτικότερο και να μετασχηματιστεί σε τέτοιο που να επιτρέπει το δυνατόν μεγαλύτερη διείσδυση ΑΠΕ. Η ευελιξία του συστήματος βρίσκεται στο επίκεντρο καθώς αποτελεί ένα χαρακτηριστικό-κλειδί που δύναται να πραγματοποιήσει την εξισορρόπηση της εγγενούς μεταβλητότητας των ΑΠΕ, ικανοποιώντας έτσι τις πολιτικές που έχουν τεθεί.

Η ευελιξία είναι ένας όρος ευρύς που εκφράζει ουσιαστικά όλες εκείνες τις υπηρεσίες και τους σχεδιασμούς που συνεισφέρουν στην ομαλή λειτουργία του συστήματος. Είναι το μέσο επίτευξης της αξιοπιστίας ενός συστήματος με σημαντική διείσδυση ΑΠΕ. Ο όρος αυτός ομπρέλα έχει διάφορες εφαρμογές, οι οποίες ορίζονται κυρίως από τα τεχνικοοικονομικά χαρακτηριστικά του συστήματος και το χρονικό εύρος της μεταβλητότητας που το σύστημα καλείται να ρυθμίσει. Μια τέτοια εφαρμογή που προσδίδει ευελιξία στο σύστημα και βοηθά στην ανάπτυξη τεχνολογιών ΑΠΕ είναι η βέλτιστη αξιοποίηση των διασυνδέσεων μεταξύ χωρών ή εν γένει αγορών ηλεκτρικής ενέργειας[1].

Σε αυτή την πλεύση, η ΕΕ, ήδη από τις αρχές του 21<sup>ου</sup> αιώνα, προωθεί πολιτικές που σχετίζονται με την απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, σύμφωνα και με τις πλέον γνωστές φιλελεύθερες οικονομικές θεωρίες στοχεύοντας στη δημιουργία μιας κοινής ευρωπαϊκής αγοράς ΗΕ. Στις μέρες μας σχεδόν όλες οι ευρωπαϊκές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας έχουν εγκαταλείψει το μονοπωλιακό μοντέλο που συγκέντρωνε ολόκληρη τη διαδικασία (παραγωγή, μεταφορά, διανομή, προμήθεια) σε μια ενιαία καθετοποιημένη δημόσια εταιρεία και έχουν απελευθερωθεί («Τρίτη δέσμη μέτρων για την ενέργεια», Οδηγία 2003/54/ΕΚ). Η απελευθέρωση των αγορών έγκειται στον διαχωρισμό:

- Δραστηριοτήτων που λειτουργούν υπό καθεστώς ανταγωνιστικότητας (Παραγωγή, προμήθεια) και
- Δραστηριοτήτων όπου η ανταγωνιστικότητα δεν είναι δυνατόν να υπάρξει (Μεταφορά και διανομή)

Την μεταφορά και διανομή της ΗΕ, όπως αναλύεται και μετέπειτα στην εργασία, έχουν αναλάβει ανεξάρτητοι φορείς που διαχειρίζονται το ηλεκτρικό δίκτυο της κάθε χώρας και συνεργάζονται μεταξύ τους τηρώντας τους κανονισμούς που ορίζει η ΕΕ. Στα πλαίσια των κανονισμών αυτών έχει δομηθεί κοινά αποδεκτό ρυθμιστικό πλαίσιο για την βέλτιστη συνεργασία των επιμέρους χωρών σε επίπεδο ηλεκτρικών αγορών. Αυτό υλοποιείται με την σύζευξη των αγορών, όπως λέγεται, και βρίσκει έκφραση σε οικονομικό αλλά και σε τεχνικό επίπεδο. Η ενοποιημένη λειτουργία των αγορών ΗΕ αποδεσμεύει τις διασυνδέσεις με αποτέλεσμα η κατανομή της διασυνδεδετικής ικανότητας να γίνεται με γνώμονα τη ζήτηση, γεωγραφικά, τεχνικά αλλά κυρίως οικονομικά χαρακτηριστικά του ευρύτερου συστήματος.

Ήδη από την προηγούμενη δεκαετία οι αγορές ΗΕ αρκετών χωρών της κεντροδυτικής Ευρώπης (Γερμανία, Γαλλία, Βέλγιο, Κάτω Χώρες και του Λουξεμβούργου) λειτουργούν σε συνεργασία και με τρόπο που ουσιαστικά εφαρμόζει τις οδηγίες και πολιτικές που προωθεί

η ΕΕ. Στις πιο πρόσφατες εξελίξεις, η Ενεργειακή Ένωση (ΕνΕ), όργανο που θεσπίστηκε μετά την υπογραφή της συμφωνίας του Παρισιού, προωθεί το λεγόμενο Μοντέλο Στόχο ως το όχημα προς την επίτευξη της ενιαίας εσωτερικής αγοράς ΗΕ (Internal Energy Market).

Αυτές οι πολιτικές, ασφαλώς και είναι δύσκολο να εφαρμοστούν σε ολόκληρη την Ευρώπη ταυτόχρονα καθώς τίθενται οικονομικοί, γεωγραφικοί και πολιτικοί περιορισμοί. Ενώσω εντός των συνόρων της ΕΕ η υλοποίηση της εσωτερικής αγοράς ενέργειας πραγματοποιείται σταδιακά, γίνονται προσπάθειες για την ένταξη γειτονικών χωρών στην ενεργειακή κοινότητα της ΕΕ με σκοπό τη διευρυμένη ενεργειακή συνεργασία. Υπό αυτό το πλαίσιο τα τελευταία χρόνια βαλκανικές χώρες συνεργάζονται με την ΕΕ και δέχονται τεχνικοοικονομική υποστήριξη ώστε να μπορέσουν να ενταχθούν ομαλά στο ενιαίο πανευρωπαϊκό σύστημα. Το εγχείρημα παρουσιάζεται δύσκολο καθώς πολλές από τις χώρες των Βαλκανίων, και γενικότερα της περιοχής της νοτιοανατολικής Ευρώπης (ΝΑΕ), δεν αποτελούν κράτη μέλη της ΕΕ. Εκτός από την πολιτική διάσταση του ζητήματος υπάρχει και τεχνική και οικονομική, καθώς οι χώρες αυτές θεωρούνται αναπτυσσόμενες και ως συνέπεια οι ηλεκτροπαραγωγικοί τομείς τους ακόμη βασίζονται κατά πολύ σε στερεά ορυκτά καύσιμα.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η διερεύνηση της συμπεριφοράς και των χαρακτηριστικών που θα είχε η ενδεχόμενη σύζευξη των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας στην ΝΑ Ευρώπη. Γίνεται δηλαδή μια προσπάθεια πρόβλεψης της λειτουργίας και της επάρκειας του ενοποιημένου συστήματος μέσω προσομοιώσεων σε εργαλείο που έχει αναπτυχθεί από τον διαχειριστή του συστήματος της Γαλλίας (RTE). Η εργασία βασισμένη σε ορισμένες υποθέσεις επιχειρεί να απαντήσει ερωτήματα σχετικά με:

- Την διείσδυση ΑΠΕ
- Την χρήση των διασυνδέσεων
- Τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα
- Την οικονομική λειτουργία

Τέλος με την ανάλυση των αποτελεσμάτων επιχειρείται η συνολική παρουσίαση και αποτίμηση του συστήματος της ΝΑ, όπως αυτό πρόκειται να διαμορφωθεί την δεκαετία που έπεται.

## 3 Κλιματική αλλαγή

### *Ιστορική αναδρομή*

Η περιβαλλοντική πολιτική που ακολουθείται τα τελευταία χρόνια βασίζεται εν πολλοίς στην αναχαιτίση της κλιματικής αλλαγής. Η υπερθέρμανση του πλανήτη (ΥΤΠ) όπως αλλιώς ονομάζεται οφείλεται κυριότερα στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας. Η συνειδητοποίηση αυτή αναλύεται σε δύο διαφορετικά επίπεδα:

- Στην κατανόηση του φαινομένου του θερμοκηπίου, δηλαδή του μηχανισμού και
- Στην κατανόηση των αιτιών που το τροφοδοτούν

Όσον αφορά την συνειδητοποίηση του πρώτου επιπέδου πλέον γνωρίζουμε μετά βεβαιότητας πως ο πλανήτης μας καθίσταται βιώσιμος χάρη την ύπαρξη της ατμόσφαιρα και την παρουσία σε αυτή ορισμένων αερίων τα οποία απορροφούν την θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος η οποία εξέρχεται της Γης και της ατμόσφαιράς της. Ως αποτέλεσμα η μέση παγκόσμια θερμοκρασία είναι περίπου 15°C, σε αντίθεση με την εκτιμώμενη θερμοκρασία των -18°C που θα επικρατούσε εν απουσία των αερίων του θερμοκηπίου [2]. Το φαινόμενο αυτό λοιπόν ονομάζεται «φαινόμενο του θερμοκηπίου».

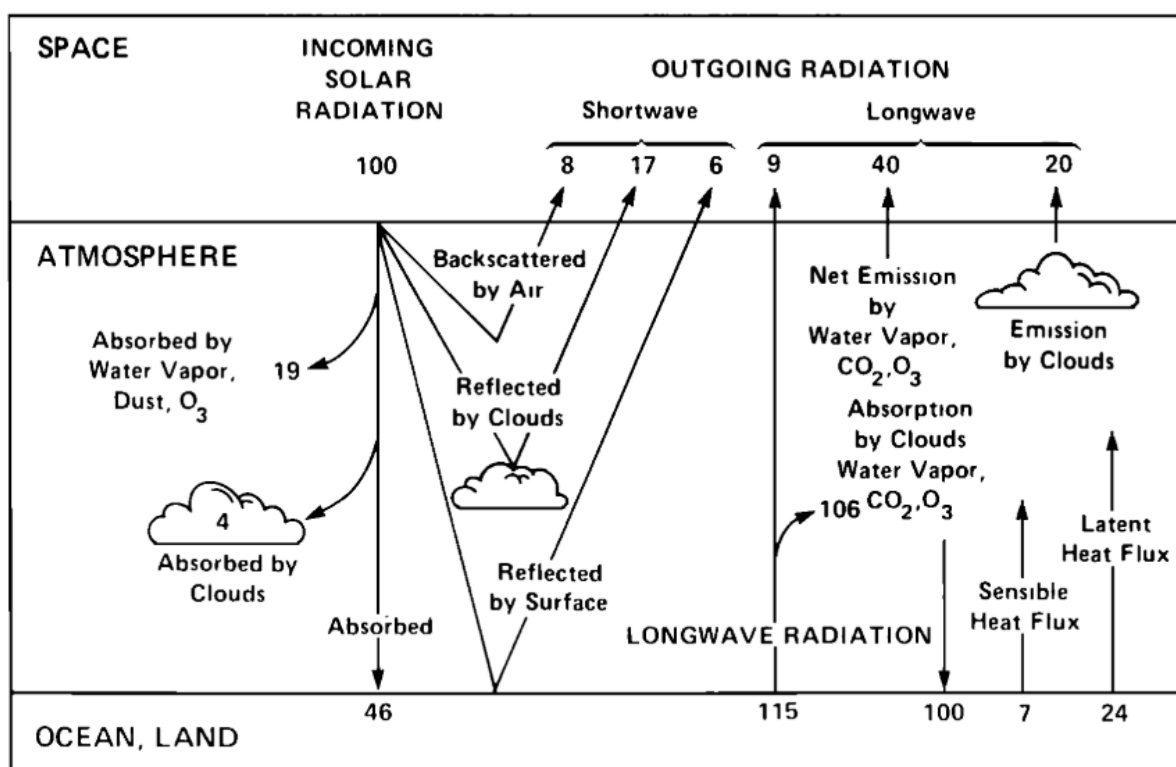
Οι πρώτες παρατηρήσεις σχετικά με το φαινόμενο και το πώς αυτό λειτουργεί εμφανίζονται ήδη από τα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα, και περιβάλλονται από ένα κλίμα ειρωνείας αν αναλογιστούμε πως οι επιστήμονες της εποχής προσπαθώντας να εξηγήσουν τους μηχανισμούς που προκάλεσαν την εποχή των παγετώνων, κατέληξαν στο συμπέρασμα πως η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και άλλων αερίων στην γήινη ατμόσφαιρα προκαλούν την άνοδο της θερμοκρασίας της Γης. Οι Joseph Fourier, John Tyndall, Svante Arrhenius και Arvid Högbom είναι μερικές από τις προσωπικότητες της επιστημονικής κοινότητας που συνεισέφεραν με πρωτοποριακές μελέτες στην ανακάλυψη του φαινομένου του θερμοκηπίου και στην ανάδειξη της ανθρώπινης δραστηριότητας ως αιτία της αύξησης της παγκόσμια θερμοκρασίας[3].

Όλη αυτή η επιστημονική πρόοδος που συντελέστηκε στα τέλη του 19<sup>ου</sup> αιώνα και προσέφερε τόσο σημαντικές πληροφορίες για την Γη, το κλίμα της και τους μηχανισμούς με τους οποίους αυτό ρυθμίζεται, δεν πρόφτασε να αξιοποιηθεί και να «χωνευτεί» όσο θα περιμέναμε. Αιτία φυσικά αποτελεί ο επόμενος αιώνας (20<sup>ος</sup>) που ακολούθησε, που όπως φανερώνει η ιστορία αποτέλεσε μια από τις πλέον πολυτάραχες στιγμές της ανθρωπότητας.

## Φαινόμενο του θερμοκηπίου

Η επιστημονική δραστηριότητα, παρά τα γεγονότα που σημάδεψαν τον αιώνα που πέρασε, δεν σταμάτησε. Πρωτοποριακές μελέτες πραγματοποιήθηκαν όπως αυτή του G. S. Callendar [4] εν έτη 1938, αυτή των S. Wanabe και R.T. Wetherald [5] ή ακόμη αυτή των C. Keeling, R. Bacastow et al [6] στο δεύτερο μισό του προηγούμενου αιώνα. Όλες αυτές οι μελέτες, και πολλές ακόμη, καταγράφουν με επιστημονικά μέσα την επιρροή των ΑτΘ στην περαιτέρω θέρμανση του πλανήτη, αναδεικνύοντας παράλληλα τον μηχανισμό λειτουργίας του φαινομένου του θερμοκηπίου.

Ο μηχανισμός του φαινομένου σε γενικές γραμμές όπως περιγράφεται στην μελέτη, [7], είναι ο εξής:



Εικόνα 2 Φαινόμενο του θερμοκηπίου[7]

1. Η Γη δέχεται ηλιακή ακτινοβολία, 0,2-4μm (υπεριώδη, ορατό φως, σχεδόν-υπέρυθρη)
2. Μέρος αυτής της ακτινοβολίας αντανακλάται πίσω στο διάστημα (~30%)
3. Το υπόλοιπο (~70%) απορροφάται από την ατμόσφαιρα και τα νέφη(~20%) και την επιφάνεια της (~50%)
4. Ως θερμό σώμα η Γη εκπέμπει θερμική ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος, σε αντίθεση με το αντίστοιχη ηλιακή ακτινοβολία μικρότερου μήκους κύματος. (Όσο θερμότερο είναι το σώμα τόσο μικρότερο μήκος κύματος ακτινοβολεί)

5. Το μεγαλύτερο μέρος αυτή της θερμικής ακτινοβολίας που η Γη εκπέμπει απορροφάται από Ατθ τα κυριότερα των οποίων είναι :
- Το διοξείδιο του άνθρακα ( $\text{CO}_2$ )
  - Υδρατμοί ( $\text{H}_2\text{O}$ )
  - Και επίσης σε μικρότερη συγκέντρωση το μεθάνιο ( $\text{CH}_4$ ), το όζον ( $\text{O}_3$ ), το οξείδιο του αζώτου ( $\text{N}_2\text{O}$ ), οι χλωροφθοράνθρακες (CFC) & υδροφθοράνθρακες (HCFC)
6. Τα αέρια αυτά θερμαίνονται και επανεκπέμπουν με τη σειρά τους θερμική ακτινοβολία πίσω στην Γη και ορισμένη στο διάστημα.





## 4 Αναγνώριση σε παγκόσμιο και ευρωπαϊκό επίπεδο

### 4.1 Παγκόσμια αναγνώριση

Οι πρώτες κινήσεις προς την αναγνώριση της περιβαλλοντικής κρίσης γίνονται με σύνοδο του ΟΗΕ στην Στοκχόλμη, εν έτη 1972, και την δημιουργία του *Περιβαλλοντικό Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών* (United Nations Environment Programme -**UNEP**). Η σύνοδος όντας η πρώτη και σε μια περίοδο πολιτικής αναταραχής κατάφερε κυρίως την αναγνώριση ανθρωπίνων δικαιωμάτων και την δήλωση προτροπής για βοήθεια αναπτυσσόμενων κρατών. Η ίδρυση του UNEP έδωσε κίνητρο στα κράτη μέλη να επενδύσουν στην έρευνα και στην παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Κατά τη δεκαετία του 80, και ενώ οι παγκόσμιες οικονομίες διέτρεχαν περίοδο ανάπτυξης, πρωτοφανές κύμα καύσωνα και θερμών περιόδων προκάλεσε ξηρασία, εκτεταμένες πυρκαγιές και πολλούς θανάτους, προκαλώντας έτσι ανησυχία σε παγκόσμιο επίπεδο. Με αφορμή λοιπόν τα παραπάνω γεγονότα η ερευνητική κοινότητα επικεντρώθηκε στην μελέτη του φαινομένου αυτού ερευνώντας κυρίως τα αίτια που το προκάλεσαν. Έτσι στα τέλη της δεκαετίας (1988) με τη σύμπραξη του *Παγκόσμιου Μετεωρολογικού Οργανισμού* (World Meteorological Organization -**WMO**) και του UNEP δημιουργείται η *Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος* (Intergovernmental Panel on Climate Change -**IPCC**). Η IPCC αποτελεί ουσιαστικά τον επιστημονικό φορέα που έχει ως σκοπό την αξιολόγηση των διαθέσιμων πληροφοριών σχετικά με την πορεία της κλιματικής αλλαγής.

Επόμενο αξιοσημείωτο γεγονός σε διεθνές επίπεδο είναι η «σύνοδος της Γης» υπό την αιγίδα του ΟΗΕ, που έλαβε χώρα στο Ρίο ντε Τζανέιρο της Βραζιλίας, το 1992. Στην εν λόγω σύνοδο υπεγράφη από 154 κράτη-μέλη η **Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή** (United Nations Framework Convention on Climate Change-**UNFCCC**), η οποία είναι πρώτη διακρατική συμφωνία για την αντιμετώπιση της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής. Με τη σύμβαση ουσιαστικά ζητείται από τα συμβαλλόμενα μέρη η θέσπιση πολιτικής για τον περιορισμό των εκπομπών ΑτΘ, αναγνωρίζοντας παράλληλα πως οι οικονομικά ανεπτυγμένες, βιομηχανικές χώρες έχουν μεγαλύτερο μερίδιο ευθύνης.

Από το 1995 κι έπειτα ξεκινούν οι ετήσιες **διασκέψεις των συμβαλλόμενων μερών** (Conference of the Parties- **COP**). Η πρώτη διάσκεψη έλαβε χώρα στο Βερολίνο. Οι διασκέψεις αυτές ουσιαστικά λειτουργούν ως μέσω αξιολόγησης της προόδου και θέσπισης μέτρων νομικού χαρακτήρα. Όλες οι συμβαλλόμενες χώρες έχουν εκπροσώπηση πολιτική και επιστημονική. Οι λεγόμενες και χώρες του δυτικού κόσμου, που έως τότε θεωρούνται οι πλέον ανεπτυγμένες, φέρουν την ευθύνη ικανοποίησης των δεσμεύσεων καθώς και την ευθύνη υποστήριξης των υπολοίπων χωρών.

Η 3<sup>η</sup> κατά σειρά **COP** στην Ιαπωνία, το 1997, αποτελεί την πρώτη στιγμή συνεργασίας σε διεθνές επίπεδο καθώς στα πλαίσια της διάσκεψης υπογράφει το **Πρωτόκολλο του Κιότο** επεκτείνοντας την UNFCCC[8]. Εν συντομία, το πρωτόκολλο αναγνωρίζει και κατονομάζει τα ΑτΘ, ορίζει νομικά-δεσμευτικούς στόχους και θέτει χρονοδιάγραμμα για την μείωση των

εκπομπών ΑτΘ. Σε γενικές γραμμές όμως οι δεσμεύσεις για μείωση και σταθεροποίηση των εκπομπών ήταν μετριοπαθείς εμποδίζοντας έτσι κυρίως την ΕΕ να προωθήσει πιο δραστικά μέτρα. Τα κύρια σημεία του Πρωτοκόλλου συνοψίζονται ως εξής:

- Τα ανεπτυγμένα κράτη δεσμεύονται να μειώσουν τις συνολικές τους εκπομπές κατά τουλάχιστον 5%.
  - Δεν υπάρχουν ποσοτικοί στόχοι και δεσμεύσεις για αναπτυσσόμενες χώρες
- Ο στόχος κάθε κράτους πρέπει να επιτευχθεί την περίοδο 2008-2012 (πρώτη δεσμευτική περίοδος).
- Δυνατότητα εκπλήρωσης των υποχρεώσεων από κοινού. Δυνατότητα εκπλήρωσης μέρους των υποχρεώσεων μέσω τριών ευέλικτων μηχανισμών.
- Αυστηρό καθεστώς συμμόρφωσης
- Παρουσίαση για πρώτη φορά της *εμπορίας εκπομπών* ως μέσο περιορισμού των εκπομπών ΑτΘ.

Αξίζει να σημειωθεί πως μεγάλοι ρυπαντές όπως η Κίνα, η Ινδία, η Βραζιλία θεωρούνται αναπτυσσόμενες χώρες και ως εκ τούτου δεν υπόκεινται στην ποσοστιαία ελάττωση των εκπομπών ΑτΘ, στο πλαίσιο του πρωτοκόλλου του Κιότο. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την μη έγκριση του πρωτοκόλλου από τις ΗΠΑ και την μετέπειτα απόσυρση άλλων μερών.

Επόμενες αξιολογούμενες σύνοδος είναι αυτή που πραγματοποιήθηκε στο Παρίσι το Δεκέμβριο του 2015 και είχε ως προϊόν την υπογραφή της συμφωνίας του Παρισιού η οποία τέθηκε σε ισχύ τον Δεκέμβριο του επόμενου έτους. Μερικές από τις δεσμεύσεις που προέκυψαν από την συμφωνία είναι:

- Περιορισμός υπερθέρμανσης του πλανήτη κάτω από 2°C
- Άμεση λήψη μέτρων από τα συμβαλλόμενα μέρη
- Οικονομική βοήθεια σε αναπτυσσόμενες χώρες με στόχο τη βιώσιμη ανάπτυξη (Πράσινο Ταμείο για το Κλίμα)
- Κοινό σύστημα αναφοράς και παρακολούθησης των εκπομπών για όλες τις χώρες-μέρη

Η συμφωνία του Παρισιού επικεντρώνεται στην υποχρέωση των κρατών-μερών να μειώσουν τις εκπομπές ΑτΘ (**Εθνικά Καθορισμένη Συνεισφορά**)(Nationally Determined Contributions -INDC), είτε μόνα τους είτε συνεργαζόμενα (βλέπε ΕΕ), με την απαίτηση τα μέτρα που θα ληφθούν στο μέλλον να ακολουθούν μια προοδευτική εξέλιξη και τα δεδομένα των εκπομπών να παρουσιάζονται με διαφάνεια σε κοινό για όλα τα μέρη όργανο. Το γεγονός αυτό έρχεται σε αντίθεση με τη δεσμευτική μορφή και τις κυρώσεις που εμπεριείχε το πρωτόκολλο του Κιότο. Η απώλεια νομικά δεσμευτικών μέτρων έγινε θυσία για την καθολική συμμετοχή μερών, πολιτικά ισχυρών με αντιμαχόμενα κυριαρχικά συμφέροντα.

Τέλος στην πιο πρόσφατη **διάσκεψη της Γλασκώβης (COP21/CMP11)** η οποία πραγματοποιήθηκε τον Νοέμβριο του 2021, ένα χρόνο από την προγραμματισμένη της σύγκλιση λόγω της πανδημίας της COVID-19, υιοθετήθηκε μια νέα συμφωνία σε παρόμοια

μη δεσμευτικές πλεύση όπως και η συμφωνία του Παρισιού. Τα κύρια σημεία που αναδείχθηκαν από την συμφωνία αυτή είναι :

- Η ανάγκη δραστηκής μείωσης λειτουργίας συμβατικών μονάδων γαιάνθρακα
- Ο περιορισμός της αποψίλωσης
- Η πρόθεση για ανθρακική ουδετερότητα το δεύτερο μισό του 20<sup>ου</sup> αιώνα

Σε γενικές γραμμές η πρώτη νομικά δεσμευτική συμφωνία για τα συμβαλλόμενα μέρη (Πρωτόκολλο του Κιότο) λειτούργησε ως καταλύτης για την ενδυνάμωση της αειφόρου ανάπτυξης. Ειδικότερα, η ΕΕ με την θέση της και την συμβολή της στη διαμόρφωση του πρωτοκόλλου του Κιότο φανερώνει την πρόθεση της να υιοθετήσει τολμηρή πολιτική για την μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>. Στο πλαίσιο αυτό προωθεί έκτοτε τον μετασχηματισμό του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος, επενδύοντας στην αειφόρο ανάπτυξη, διαμέσου κυρίως των τεχνολογιών ΑΕ. Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζεται συνοπτικά η ενεργειακή πολιτική της ΕΕ, η οποία οδηγείται από την προσπάθεια άμβλυνσης της κλιματικής αλλαγής.

Συνοψίζοντας οι τελευταίες δύο δεκαετίες και τα γεγονότα που εκτυλίχθηκαν σε αυτό το χρονικό διάστημα σηματοδοτούν την αναγνώριση της υπερθέρμανσης του πλανήτη, η οποία προκαλείται και εντείνεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα, ως ένα μείζον ζήτημα καθώς σύμφωνα με μελέτες όπως αυτή των S. Weiskopf, M. Rubenstein et al.[9], η κλιματική αλλαγή αποτελεί απειλή για το οικοσύστημα και τη βιοποικιλότητα, που υποστηρίζουν σημαντικές υπηρεσίες για τον άνθρωπο. Συνεπώς η απειλή που υφίστανται μετακυλούν ως επιπτώσεις στην ποιότητα ζωής του ανθρώπου.

## 4.2 Ευρωπαϊκή Ένωση

### *Κλιματική αλλαγή και ενεργειακή πολιτική της ΕΕ*

Η πρώτη αξιολόγηση του IPCC (1990) σε συνδυασμό με το πρωτόκολλο του Κιότο οδήγησαν την Ευρωπαϊκή Επιτροπή, η αλλιώς «Κομισιόν» (European Commission), εκτελεστικό όργανο της ΕΕ, στην ανάπτυξη κοινής θέσης αναφορικά με την κλιματική αλλαγή. Μετά από πολλά χρόνια περιορισμένης προόδου, γεγονός που συμβαδίζει και με την καθυστέρηση της εφαρμογής του ΠτΚ, εγκρίνονται και ψηφίζονται νομοθετήματα σχετικά με την ενεργειακή πολιτική.

Η αρχή γίνεται στη συνάντηση του Ευρωπαϊκού Συμβουλίου (ΕΣ) στο Λονδίνο (2005), όπου τονίζεται η αναγκαιότητα σχηματισμού κοινής ενεργειακής πολιτικής από την ΕΕ. Η προτροπή για κοινή ενεργειακή πολιτική σχηματοποιείται με

- ❖ 2006, Green Paper (A European strategy for sustainable, competitive and secure energy, 2006) [12]
  - Παρουσιάζεται πρώτη φορά το τρίγωνο της ενεργειακής πολιτικής
    - Ασφάλεια εφοδιασμού, η βιωσιμότητα και η ανταγωνιστικότητα
- ❖ 2007, Μια ενεργειακή πολιτική για την Ευρώπη (An energy policy for Europe, COM(2007)1 final (10/1/2007))
  - Υλοποίηση Εσωτερικής Αγοράς Ενέργειας
  - Ασφάλεια ενεργειακού εφοδιασμού
  - 20/20/20 έως το 2020 (20% μείωση εκπομπών, 20% μείωση ενεργειακής κατανάλωσης, 20% διείσδυση ΑΠΕ)
- ❖ Συνθήκη της Λισαβόνας (2007, «Μεταρρυθμιστική Συμφωνία»/ 3<sup>ο</sup> Σύνταγμα):
  - Άρθρο 194, Συνθήκη Λισαβόνας
    - Διασφάλιση λειτουργίας αγοράς ενέργειας
    - Διασφάλιση ενεργειακού εφοδιασμού της Ένωσης
    - Προώθηση ενεργειακής αποδοτικότητας, εξοικονόμησης ενέργειας καθώς και την ανάπτυξη νέων και ανανεώσιμων πηγών ενέργειας
    - Προώθηση της διασύνδεσης των ενεργειακών δικτύων

Το διάστημα που ακολουθεί, από το 2008 και έπειτα, βρίσκει την ευρωζώνη σε οικονομική κρίση. Η προσοχή της Επιτροπής και γενικότερα της ΕΕ εκείνο τον καιρό στρέφεται στα οικονομικά ζητήματα. Η κατάσταση σταθεροποιείται περί το 2014/2015, όταν και υπογράφεται η Συνθήκη του Παρισιού (2015) και η ενεργειακή πολιτική της ΕΕ ανανεώνεται με τη θέσπιση της Ενεργειακής Ένωσης (Energy Union) και την Πράσινη Συμφωνία (Green Deal).

Η Ενεργειακή Ένωση (ΕνΕ) δημιουργείται το 2015 συγχωνεύοντας τους κληροδοτημένους κανονισμούς υπαρχόντων νομοθεσιών και πολιτικών φορέων οδηγούμενη από πιέσεις εξωτερικών γεγονότων και παραγόντων (ειδικότερα της κρίσης στην Ουκρανία) [13]. Σκοπός της είναι η εξασφάλιση ασφάλειας εφοδιασμού, η βιώσιμη ανάπτυξη και η ισχυροποίηση της ΕΕ στην παγκόσμια αγορά ενέργειας με τρόπο τέτοιο που να της προσδίδει διαπραγματευτική ισχύ, προσφέροντας της την δυνατότητα να συνεργαστεί με εποικοδομητικό τρόπο με τους εταίρους της.

Κάτι τέτοιο όπως διαφαίνεται σήμερα εν έτη 2022 δεν έχει επιτευχθεί ακόμα, καθώς από τα μέσα του 2021 και έπειτα στην Ευρώπη παρατηρούνται οι υψηλότερες τιμές ρεύματος από ποτέ. Το γεγονός αυτό βέβαια έχει να κάνει με την εκτεταμένη προσπάθεια των κρατών μελών της ΕΕ να εφαρμόσουν την πράσινη ατζέντα που έχει υιοθετήσει η ένωση. Πιο συγκεκριμένα η σταδιακή αλλά απότομη εγκατάλειψη των μονάδων άνθρακα έχει μετατοπίσει το βάρος τις εξισορρόπησης στις πιο ευέλικτες μονάδες φυσικού αερίου, το οποίο κατά κύριο λόγο εισάγεται από την Ρωσία.

Πρώτο αξιοσημείωτο προϊόν της ΕνΕ αποτελεί η δέσμη μέτρων «**Καθαρή ενέργεια για όλους τους Ευρωπαίους**» (COM/2016/0860 final). Το πακέτο αυτό ουσιαστικά αποτελεί τον οδηγό ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ στην προσπάθεια της να πετύχει τους στόχους που τέθηκαν στην Συμφωνία των Παρισίων. Με την ανακοίνωση της η ΕΕ δείχνει τους βασικούς ενεργειακούς στόχους:

- Ενεργειακή αποδοτικότητα κτιριακού τομέα
- Περαιτέρω ενίσχυση ΑΠΕ
- Κοινωνική μέριμνα και ενημέρωση σχετικά με ενεργειακά ζητήματα

Μια από τις πιο πρόσφατες ανακοινώσεις της Επιτροπής που επαναπροσδιορίζει την ενεργειακή πολιτική ονομάστηκε «**Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία**»( COM(2019) 640 final, The European Green Deal) και εκδόθηκε τον Δεκέμβρη του 2019. Στα πλαίσια της νέας πολιτικής η ΕΕ προσβλέπει στην φιλόδοξη περικοπή των εκπομπών άνθρακα κατά 55% έως το 2030 (COM(2020) 562 final, Stepping up Europe's 2030 climate ambition) ως μέσο επίτευξης ανθρακικής ουδετερότητας έως το 2050. Η ειδοποιός διαφορά της εν λόγω συμφωνίας είναι προτροπή διαμόρφωσης πρωτοβουλιών (European Climate Pact) από πολίτες με στόχο την εμπλοκή τους σε θέματα αποφάσεων και συνδιαμόρφωσης της ενεργειακής πορεία σε τοπικό επίπεδο.

Σε γενικές γραμμές η ΕΕ, όπως αναπτύχθηκε σε αυτό το κεφάλαιο, επενδύει στην αυξημένη διείσδυση ΑΠΕ πρώτον ως μέσο μείωσης των εκπομπών και δεύτερων ως μέσο αποδέσμευσης από τις εξωτερικές ενεργειακές επιρροές. Για να πετύχει την αφομοίωση των τεχνολογιών ΑΠΕ σταδιακά οδεύει προς την δημιουργία μιας ενιαίας εσωτερικής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Τέλος, η ΕΕ προσβλέπει στον περιορισμό της κατανάλωσης ΗΕ μέσω της ενεργειακής αποδοτικότητας του κτιριακού τομέα και επιχειρεί την ενθάρρυνση των πολιτών για την εμπλοκή τους σε δράσεις και συμπράξεις πράσινης ανάπτυξης.

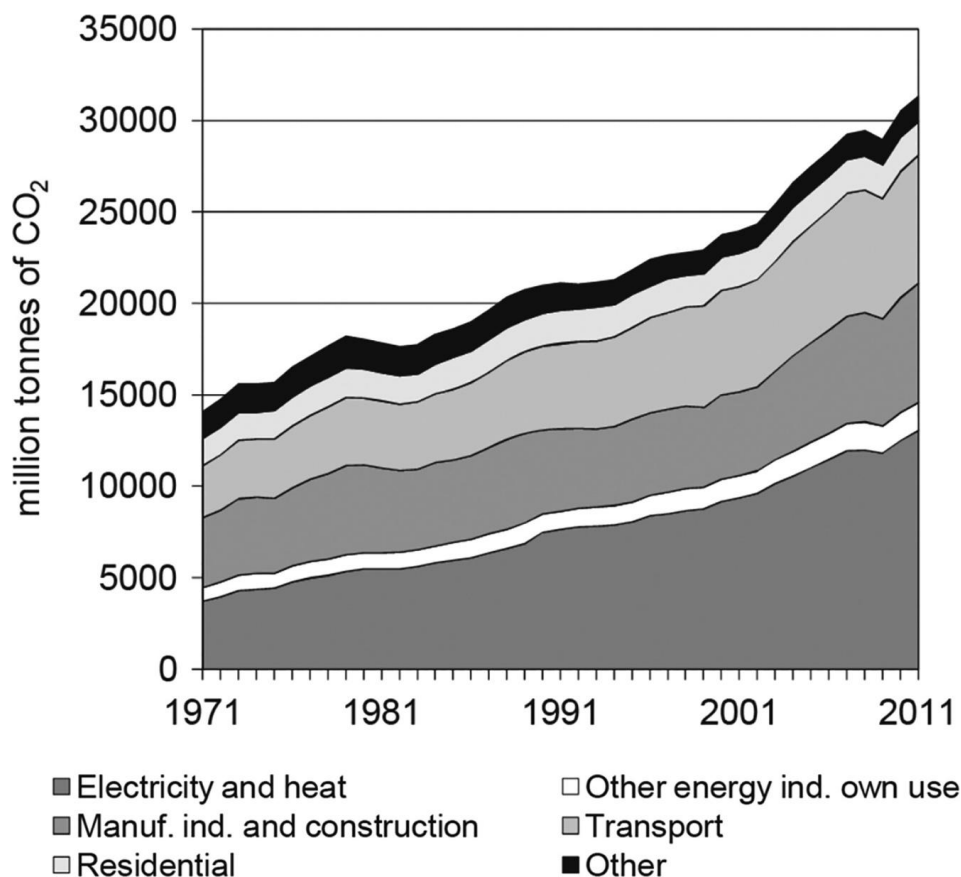


## 5 Εκπομπές CO<sub>2</sub> και ΑΠΕ

### 5.1 Εκπομπές CO<sub>2</sub> και τρόποι περιορισμού

Η ΥτΠ, όπως αναφέρθηκε, εντείνεται από τις εκπομπές των ΑτΘ, και πιο συγκεκριμένα του κυρίαρχου CO<sub>2</sub>, που εκλύεται στην ατμόσφαιρα κυριότερα μέσω της καύσης ορυκτών καυσίμων. Σύμφωνα με την μελέτη [14], τα ορυκτά καύσιμα σε μορφή γαιάνθρακα, πετρελαίου και φυσικού αερίου συνιστούν το 80% της παγκόσμια χρήσης πρωτογενούς ενέργειας και ευθύνονται για την αύξηση της συγκέντρωσης ΑτΘ στην ατμόσφαιρα, γεγονός που έχει πυροδοτεί την κλιματική αλλαγή, την μείωση του πάχους του στρώματος του όζοντος, με καταστρεπτικές συνέπειες για την κοινωνία και την οικονομία.

Σύμφωνα πάντα με την μελέτη των P. Nejat, F. Jomehzade et al[14], τις τελευταίες τέσσερις δεκαετίες (1971-2011) παρά τις προσπάθειες περιορισμού των εκπομπών, οι ετήσιες εκπομπές CO<sub>2</sub> έχουν αυξηθεί περισσότερο από 100%.

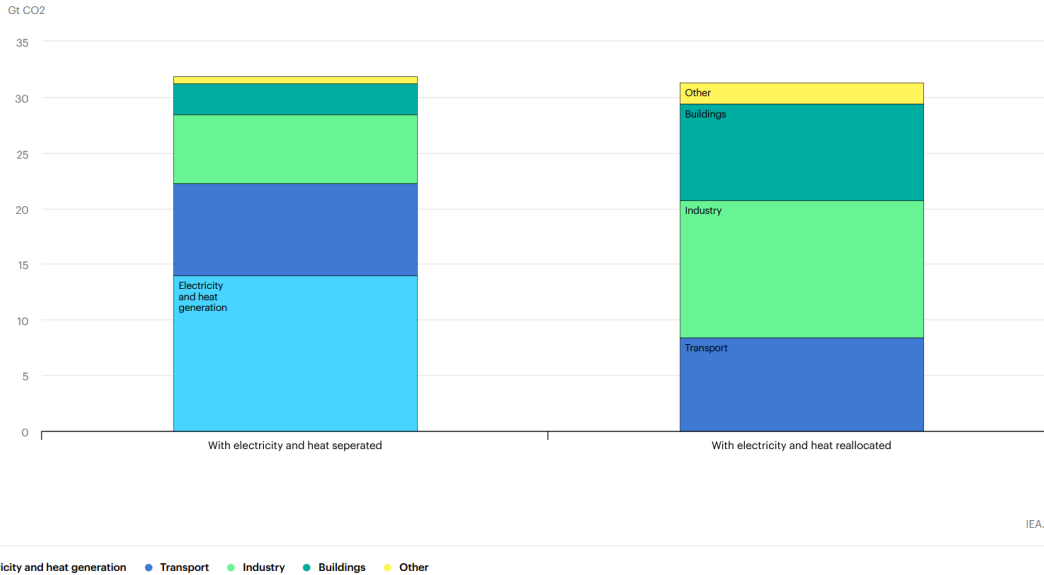


Εικόνα 3 Εκπομπές CO<sub>2</sub> και μερίδια κάθε τομέα[14]

Σύμφωνα με στοιχεία της παγκόσμιας υπηρεσίας ενέργειας (International Energy Agency) οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα οφείλονται κυριότερα σε:

- Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και θερμότητας
- Μεταφορές

- Βιομηχανία
- Κτιριακές ανάγκες
- Άλλες δραστηριότητες



Εικόνα 4 Εκπομπές CO2 ανά τομέα (πηγή: IEA)

Το γράφημα της Εικόνας 4 στα αριστερά παρουσιάζει ξεχωριστά τις εκπομπές που οφείλονται στην παραγωγή ηλεκτρισμού και την θέρμανσης ενώ στο δεξί μέρος οι εκπομπές αυτές συμπεριλαμβάνονται στις υπόλοιπες κατηγορίες.

Όπως φανερώνει η εικόνα μεγάλο μέρος (περίπου το 40%) των εκπομπών προέρχεται από την παραγωγή ηλεκτρισμού και θερμότητας. Το γεγονός ότι ο ηλεκτροπαραγωγικός τομέας αποτελεί τον μεγαλύτερο ρυπαντή παγκοσμίως λειτουργεί ως εφελτήριο για τον μετασχηματισμό του συστήματος ενέργειας. Για να συμβεί αυτό, τα τελευταία χρόνια, αναζητούνται νέες τεχνολογίες και τρόποι παραγωγής ΗΕ με περιορισμένες ή και μηδενικές εκπομπές ΑτΘ. Ορισμένοι από τους επικρατέστερους τρόπους όπως αναφέρονται στην μελέτη [15] και σε άλλες παρόμοιες είναι:

- Αντικατάσταση ορυκτών καυσίμων με ηλεκτρισμό
  - Εξηλεκτρισμός μετακινήσεων
  - Εξηλεκτρισμός θέρμανσης/ψύξης (αντλίες θερμότητας)
  - Παραγωγή υδρογόνου
- ΑΠΕ
- Πυρηνική ενέργεια
- Συλλογή, αποθήκευση και χρήση του CO2
- Τεχνολογίες αρνητικών εκπομπών



Προφανώς υπάρχουν και άλλοι πολλοί τρόποι περιορισμού των εκπομπών από την παραγωγή ΗΕ. Τρόποι πιο περίπλοκοι που δεν περιορίζονται στην λύση του προβλήματος μόνο από την μεριά της παραγωγής. Τέτοιοι τρόποι επιγραμματικά είναι η ενεργειακή αποδοτικότητα και μείωση της κατανάλωσης, η αυτοπαραγωγή ενέργειας, τα μικροδίκτυα, τα έξυπνα δίκτυα κ.α. Η ποικιλία των εφαρμογών αυτών φανερώνουν παράλληλα και την ολότητα του ζητήματος, υπό την έννοια ότι ο άνθρωπος πρέπει να παρέμβει σε διάφορα στάδια της καθημερινής ζωής του ώστε να αντιστραφεί η περιβαλλοντική κρίση που βιώνει τα τελευταία χρόνια.

Η παρούσα διπλωματική εργασία ωστόσο επικεντρώνεται στην μετάλλαξη του ενεργειακού συστήματος σε ένα σύστημα με αυξημένη διείσδυση ΑΠΕ, στους τρόπους που προκρίνονται ώστε να επιτευχθεί αυτό ενώ τέλος με το πρακτικό μέρος της εργασίας ερευνάτε ουσιαστικά και η λειτουργία ενός τέτοιου συστήματος.

### *Σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών*

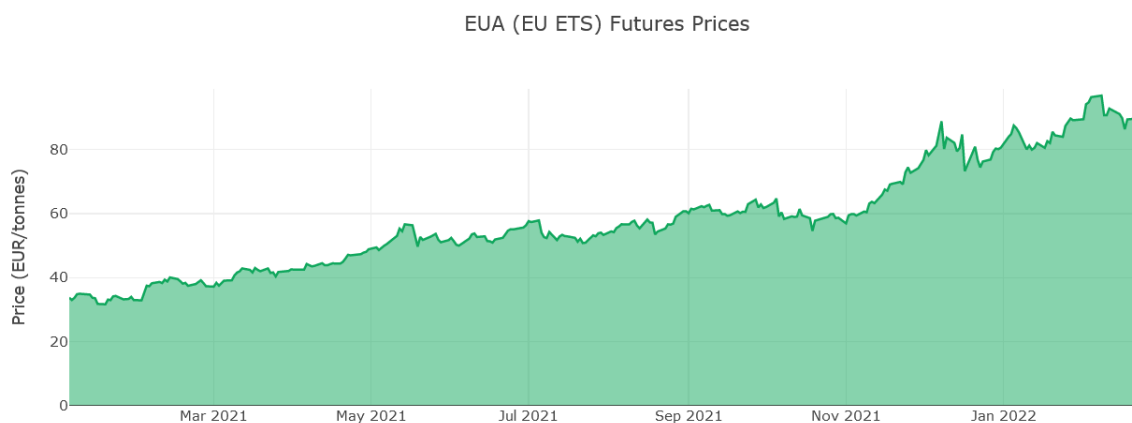
Η ΕΕ από την σύστασή της κι έπειτα συμμετέχοντας ενεργά στην λήψη αποφάσεων σε παγκόσμιο επίπεδο (ΠτΚ, Συμφωνία του Παρισιού) αναδεικνύεται σε πρωτοπόρο όσον αφορά την δράση για την αναχαίτιση της κλιματικής αλλαγής. Ο βασικότερος πυλώνας πάνω στον οποίο χτίζονται και οι πολιτικές της ΕΕ είναι το Σύστημα Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών (ΣΕΔΕ/EU ETS). Μέσω του συστήματος αυτού ουσιαστικά πραγματώνεται ο έλεγχος και η διαρκής παρακολούθηση των εκπομπών ΑτΘ εντός της Ένωσης. Αδιαμφισβήτητα το σύστημα αυτό επηρεάζει και την ηλεκτροπαραγωγή που είναι ο τομέας που ευθύνεται για το μεγαλύτερο ποσοστό εκπομπών.

Το Σύστημα εμπορίας δικαιωμάτων εκπομπών (ΣΕΔΕ) ξεκίνησε την λειτουργία του το 2005. Η διάρθρωσή του βασίστηκε στην Οδηγία 2003/87/ΕΚ της ΕΕ η οποία τέθηκε σε λειτουργία τον Οκτώβρη του 2003. Το σύστημα δημιουργείται ως μέτρο μείωσης των εκπομπών μετά και την υπογραφή του ΠτΚ από την ΕΕ. Όπως αναφέρθηκε η λειτουργία του ξεκίνησε το 2005, και έχει περάσει από 3 φάσεις λειτουργίας (2005-2007, 2008-2012, 2013-2021) οι οποίες το μετάλλαξαν και το εκσυγχρόνισαν (απόφαση (ΕΕ) 2015/1814, Οδηγία 2008/101/ΕΚ, Οδηγία 2009/29/ΕΚ, Οδηγία 2018/410/ΕΕ, .

Εν γένει, το σύστημα λειτουργεί με άδειες εκπομπών (1 άδεια= εκπομπές 1 τόνου ΑτΘ), οι οποίες αποτελούν εμπορικό προϊόν καθώς συναλλάσσονται μεταξύ των συμμετεχόντων δημιουργώντας έτσι μια πανευρωπαϊκή αγορά εκπομπών (EU ETS). Το σύστημα αφορά μεγάλο μέρος της βιομηχανίας και κυριότερα της ηλεκτροπαραγωγής καλύπτοντας και ελέγχοντας ποσοστό εκπομπών περίπου 50% εντός της ΕΕ. Η ποσότητα των αδειών που μπορούν να δοθούν ή να δημοπρατηθούν ορίζεται ρητά από τη συνολική επιτρεπτή ποσότητα εκπομπών. Για τα επόμενα χρόνια προβλέπεται σταθερή μείωση της ποσότητας εκπομπών από την ΕΕ με στόχο την επίτευξη ανθρακικής ουδετερότητα.

Ο αριθμός των αδειών ορίζεται σε πανευρωπαϊκό επίπεδο και η κατανομή τους γίνεται στα κράτη μέλη ως αποτέλεσμα κεντρικού σχεδιασμού. Οι άδειες, ούσες εμπορικό προϊόν, μπορούν να συναλλάσσονται μεταξύ των παικτών της αγοράς. Με τον τρόπο αυτό η τιμή του άνθρακα διαμορφώνεται από τους νόμους που διέπουν την ελεύθερη αγορά. Η

κεντρική ιδέα πίσω από την τιμολόγηση των εκπομπών είναι προφανώς η αύξηση του τελικού κόστους των προϊόντων που για την παραγωγή τους απαιτείται εκπομπή CO<sub>2</sub>. Ασφαλώς η συλλογιστική αυτή βρίσκει εφαρμογή στην παραγωγή της ηλεκτρικής ενέργειας. Η διαμόρφωση τιμής άνθρακα επηρεάζει άμεσα την ηλεκτροπαραγωγή καθώς προσθέτει κόστος στην παραγόμενη ηλεκτρική ενέργεια από ορυκτά καύσιμα. Επομένως οι δυνατότητες παραγωγής ενέργειας από συμβατικές μονάδες ορυκτών καυσίμων στενεύουν, δίνοντας χώρο στην πράσινη ανάπτυξη.



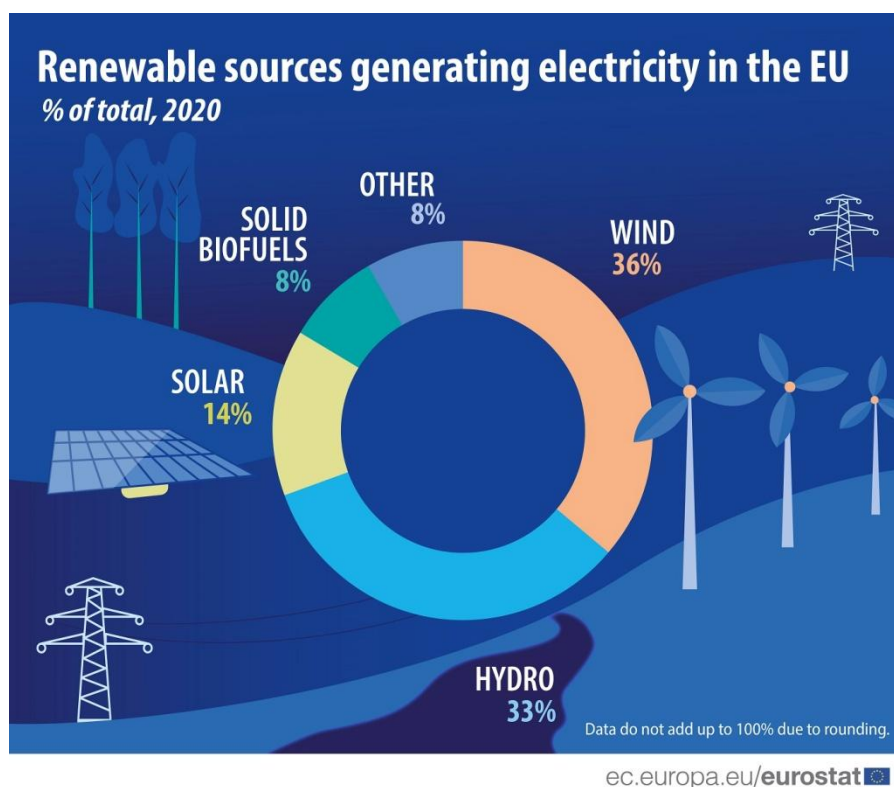
Εικόνα 5 Τιμή άνθρακα (2021-2022) [16]

Παρόλο που το σύστημα λειτουργεί 15 και πλέον έτη, η επίδρασή του στην ηλεκτροπαραγωγή γίνεται περισσότερο αισθητή τα τελευταία χρόνια χάρη στη φιλόδοξη ενεργειακή πολιτική της ΕΕ που προσβλέπει στην ανθρακική ουδετερότητα (European Green Deal). Η τιμή του άνθρακα βρίσκεται στα υψηλότερα επίπεδα από ποτέ δημιουργώντας έτσι πίεση για την ταχύτερη πράσινη μετάβαση σε ένα σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας ευέλικτο αποδεδουλευμένο από εξωτερικούς παράγοντες και οικονομικά επωφελές για τους πολίτες της Ένωσης.

Ολοκληρώνοντας, αξίζει να αναφερθεί πως ένα σημαντικό ζήτημα που προκύπτει από την εφαρμογή αυστηρής πολιτικής σχετικά με τις εκπομπές CO<sub>2</sub> εντός της ΕΕ είναι η «**διαρροή άνθρακα**». Ο όρος εκφράζει την εισαγωγή στην ΕΕ προϊόντων που παράγονται σε χώρες εκτός ΕΕ με χαμηλότερο κόστος λόγω χαλαρότερης ενεργειακής πολιτικής. Για παράδειγμα εάν κάποιο προϊόν κοστίζει ακριβιά εντός ΕΕ λόγω του ΣΕΔΕ τότε η αγορά βρίσκει διέξοδο στην εισαγωγή αγαθών από χώρες εκτός ΕΕ. Η λύση που προκρίνεται από την ΕΕ για την επίλυση τέτοιων ζητημάτων είναι ο Μηχανισμός Συνοριακής Προσαρμογής Άνθρακα (**Carbon Border Adjustment Mechanism- CBAM**). Με τον μηχανισμό αυτό η ΕΕ υποχρεώνει εμμέσως τρίτα μέλη, τα οποία εξάγουν στην ΕΕ, να σεβαστούν την ενεργειακή πολιτική σχετικά με τις εκπομπές ΑτΘ. Κατ' αυτόν τον τρόπο διαφαιίνεται και η δημιουργία βάσης για μια ευρύτερη παγκόσμια συνεργασία ανθρακικής τιμολόγησης. Γίνεται προφανές πως η διαρροή άνθρακα και τα αντίμετρα της ΕΕ βρίσκουν άμεσα εφαρμογή και την περίπτωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας καθώς για παράδειγμα κάποιο κράτος μέλος της ΕΕ θα μπορούσε κάλλιστα να προμηθεύεται φθηνή ΗΕ από γειτονική τρίτη χώρα.

## 5.2 Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας

Οι ΑΠΕ με τη μορφή που εμφανίζονται σήμερα και τις αναγνωρίζουμε, δεν είναι κάτι πρωτοφανές. Ο άνθρωπος στην ιστορία του, από αρχαιοτάτων χρόνων, είχε δημιουργήσει την τεχνολογία που του επέτρεπε την εκμετάλλευση της ενέργεια που υπάρχει γύρω του στη φύση σε διάφορες μορφές, όπως το τρεχούμενο νερό ή ο αέρας. Τα δύο αυτά παραδείγματα δεν είναι τυχαία αφού οι νερόμυλοι και οι ανεμόμυλοι που εμφανίστηκαν πολλά χρόνια πριν, ουσιαστικά δε διαφέρουν σα λογική η από τους σημερινούς υδροηλεκτρικούς (Υ/Η) σταθμούς ή τις ανεμογεννήτριες. Η μόνη σημαντική διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι πλέον η φυσικοί ενεργειακοί πόροι χρησιμοποιούνται κυρίως για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, ενώ στο παρελθόν, εν απουσία ηλεκτρισμού, εξυπηρετούσαν γεωργικές κυρίως εργασίες όπως το άλεσμα σιτηρών.



Εικόνα 6 Παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από ΑΠΕ στην ΕΕ (πηγή: Eurostat)

Τα τελευταία χρόνια, με αφορμή τους περιβαλλοντικούς προβληματισμούς που αναφέρθηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, οι τεχνολογίες παραγωγής ενέργειας εκείνες που στον κύκλο ζωής τους εκπέμπουν τα μικρότερα δυνατά ή και καθόλου ποσά ΑτΘ προωθούνται κεντρικά από την ΕΕ. Όλες αυτές οι τεχνολογίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας αναφέρονται πλέον ως Ανανεώσιμες Πηγές Ενέργειας (ΑΠΕ). Σύμφωνα με τον ευρωπαϊκό φορέα εμπορίας καυσίμων (EU ETS) [17], ενέργεια από Ανανεώσιμες Πηγές θεωρείται η ενέργεια που προκύπτει από πηγές που δεν εμπλέκουν ορυκτά καύσιμα και είναι μία από τις ακόλουθες:

- Αέρας (Αιολική ενέργεια)
- Ήλιος (Θερμική ή φωτοβολταϊκή ενέργεια)
- Γεωθερμική ενέργεια
- Παλίρροια, κύματα και άλλες μορφές ενέργειας των ωκεανών
- Υδροηλεκτρική ενέργεια
- Βιομάζα
- Ενέργεια από επεξεργασία απορριμμάτων

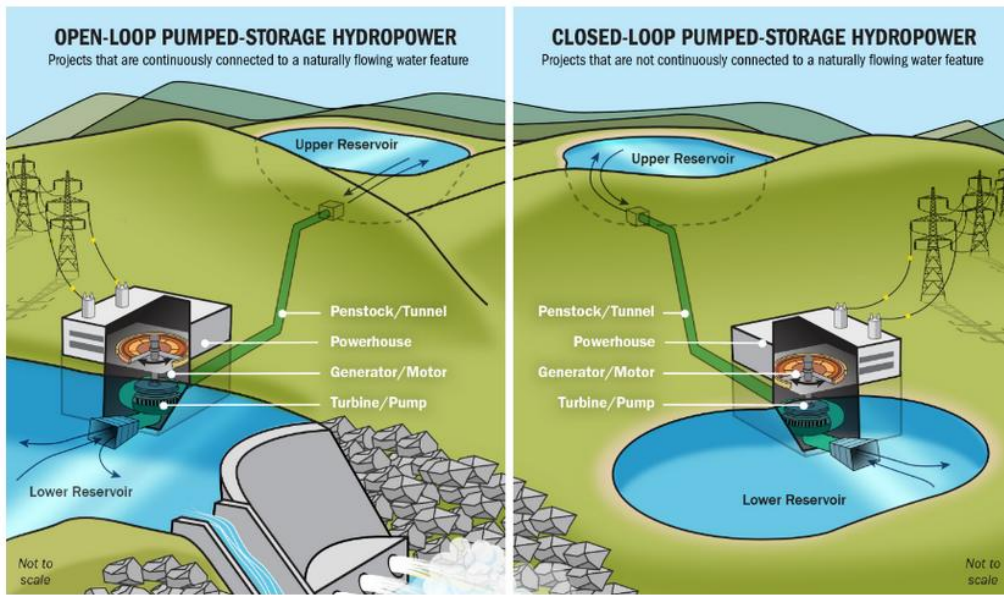
Οι επικρατέστερες εξ αυτών, που έχουν την μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ παγκοσμίως, είναι η αιολική, η Υ/Η και η ηλιακή ενέργεια.

Οι αναφορές σχετικά με τις ΑΠΕ στη βιβλιογραφία την τελευταία δεκαετία είναι αμέτρητες. Αυτό δηλώνει σαφώς, την καθιέρωση των ΑΠΕ ως το μέσο προς την ανθρακική ουδετερότητα και παράλληλα αναδεικνύει τη δυσκολία αφομοίωσης των τεχνολογιών αυτών. Ο κυριότερος προβληματισμός των ερευνητών είναι η μεταβλητότητα αυτών των πηγών ενέργειας (ΠΕ) και κατά συνέπεια η διερεύνηση τρόπων με τους οποίους αυτή μπορεί να ενσωματωθεί η μεταβλητότητα αυτή, ούτως ώστε να μην αποτελεί πλέον αγκάθι για την μετάλλαξη του ΣΗΕ.

Πιο συγκεκριμένα, η απάντηση στο γιατί ο τομέας της έρευνας και ανάπτυξης επικεντρώνεται στις ΑΠΕ, απαντάται από την ίδια την φύση των πηγών αυτών, καθώς πρόκειται για ΠΕ οι οποίες εξαρτώνται κατά πολύ από τις καιρικές και κλιματολογικές συνθήκες. Άλλες περισσότερο, άλλες λιγότερο.

Η **υδροηλεκτρική ενέργεια** για παράδειγμα, εξαρτάται από τα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα που μετατρέπονται σε υδάτινους πόρους στην επιφάνεια της Γής. Η ΠΕ αυτή ωστόσο παρά την εξάρτηση της από το νερό, λειτουργεί με την διαχείριση μεγάλων ταμιευτήρων νερού που επιτρέπουν έναν εποχιακό σχεδιασμό. Στους ταμιευτήρες νερού συσσωρεύονται υδάτινοι πόροι, δηλαδή ένα μεγάλο ενεργειακό δυναμικό. Από την άλλη στη διαχείριση των υδάτινων πόρων θέτονται περιβαλλοντικοί περιορισμοί που ορίζουν εν πολλοίς την διαθεσιμότητα των Υ/Η μονάδων και την διαχείριση των ταμιευτήρων.

Σημειώνεται πως η δυνατότητα αυτή των υδάτινων πόρων να εκφράζουν ενεργειακό δυναμικό όταν συσσωρεύονται σε έναν ταμιευτήρα, πλέον χρησιμοποιείται σε πολλές περιπτώσεις για την αποθήκευση πλεονάσματος ενέργειας ή ακόμη και για την βέλτιστη οικονομική λειτουργία του συστήματος. Οι λογική αυτή ονομάζεται **αντλησιοταμίευση**, και αφορά την άντληση υδάτων από έναν χαμηλότερο ταμιευτήρα σε έναν που βρίσκεται σε ψηλότερο σημείο. Όταν υπάρχει πλεόνασμα φθηνής ενέργειας νερό αποθηκεύεται υπό την μορφή ενεργειακού δυναμικού από τον χαμηλότερο ταμιευτήρα στον ανώτερο(εικόνα 6). Επιπρόσθετα επισημαίνεται πως υπάρχουν και Υ/Η εγκαταστάσεις που δεν διαθέτουν αποθηκευτική ικανότητα καθώς βασίζονται στην **ροή του ποταμού**. Οι εγκαταστάσεις αυτές εκμεταλλεύονται ορισμένη μόνο από την ροή των ποταμών ανακατευθύνοντας το νερό σε τουρμπίνες που παράγουν ΗΕ επί τούτου.



Εικόνα 7 Εγκαταστάσεις αντλιοσταμείωσης ανοιχτού (αριστερά) και κλειστού (δεξιά) βρόχου [18]

Από την άλλη υπάρχουν και ΑΠΕ όπου δεν διαθέτουν δυνατότητες διαχείρισης της παραγόμενης ΗΕ. Η **ηλιακή ενέργεια**, για παράδειγμα που συλλέγεται κυρίως μέσω των φωτοβολταϊκών (ΦΒ) κυψελών, και η **αιολική ενέργεια** που συλλέγεται μέσω των ανεμογεννητριών (ΑΓ), δεν διαθέτουν καμία ικανότητα αποθήκευσης συγκριτικά με τις Υ/Η εγκαταστάσεις. Αυτό σημαίνει πως η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει στην επιφάνεια των ΦΒ πανέλων ή αντίστοιχα η αιολική ενέργεια που δημιουργεί ροπή στους έλικες της ΑΓ μετατρέπεται σε ηλεκτρική και διαχέεται απευθείας στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Με παρόμοιο τρόπο οι υπόλοιπες μορφές ΑΠΕ έχουν μικρότερη ή μεγαλύτερη δυνατότητα ελέγχου της παραγωγής, ωστόσο συγκριτικά με τις ΑΠΕ που αναφέρθηκαν δεν καταλαμβάνουν μεγάλο μερίδιο παραγωγής, στην αγορά (Εικόνα 6). Η αναφορά και η επεξήγηση περαιτέρω τεχνολογιών ΑΠΕ, παραλείπεται στα πλαίσια της εργασίας καθώς η σκοπιά από την οποία ερευνάτε το ενεργειακό ζήτημα είναι μεγάλης κλίμακας. Τονίζεται πως βασικό στοιχείο των πηγών αυτών είναι η μεταβλητότητα και περιορισμένη δυνατότητα ελέγχου τους. Η μεταβλητότητα στην παραγωγή ΗΕ που οφείλεται στην στοχαστικότητα των καιρικών συνθηκών.



## 6 Μετάλλαξη του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος και Ευελιξία

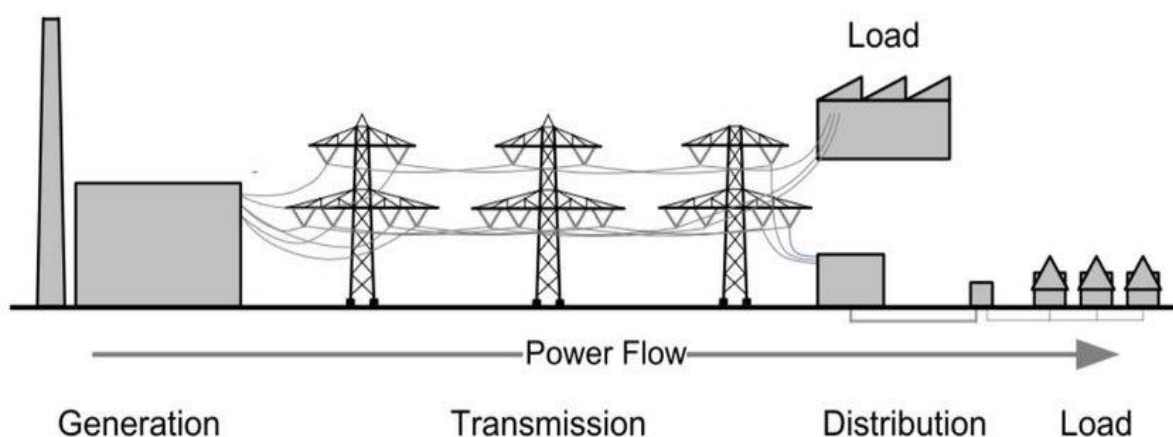
Σε αυτό το κεφάλαιο και αφού οι λόγοι για τους οποίους η παραγωγή ΗΕ στρέφεται προς τις «πράσινες» ΜΠΕ είναι σαφείς, αξίζει να γίνει αναφορά στη διάρθρωση και τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας (ΣΗΕ). Αυτό θεωρείται σκόπιμο έτσι ώστε

- να είναι πλήρως κατανοητή η διαδικασία που ακολουθείται από την παραγωγή έως και την κατανάλωση της ενέργειας στα φορτία.
- να γίνουν κατανοητές οι δυσκολίες που προκύπτουν από την στροφή του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος σε ΑΠΕ

Το ΣΗΕ μπορεί να διαχωριστεί άτυπα σε δύο επίπεδα, τεχνικό και οικονομικό. Οι δύο αυτές εκφράσεις του συστήματος είναι αλληλοεξαρτώμενες και επηρεάζονται άμεσα από τις πολιτικές που προωθούνται αναφορικά με τα ενεργειακά ζητήματα.

### *Βασικά χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού δικτύου*

Για να εξυπηρετηθούν τα φορτία που είναι συνδεδεμένα στο σύστημα απαιτείται μια φυσική δομή που θα μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τα σημεία παραγωγής στον καταναλωτή. Η φυσική αυτή δομή είναι ένα ηλεκτρικό δίκτυο. Ένα διασυνδεδεμένο σύστημα στο οποίο εγχέεται ενέργεια η οποία μέσω του δικτύου μεταφοράς και διανομής φτάνει στα τελικά σημεία κατανάλωσης. Οι παραγωγοί, με τις εγκαταστάσεις που διαθέτουν, είναι αυτοί που προσφέρουν την απαιτούμενη ισχύς στο σύστημα και τα φορτία ευθύνονται για την κατανάλωση της.



Εικόνα 8 Ροή ισχύος στο ηλεκτρικό δίκτυο [18]

Η ροή που ακολουθεί η ισχύς, σε γενικές γραμμές, είναι η εξής:

- Παραγωγοί ενέργειας, παράγουν ενέργεια στις εγκαταστάσεις που διαθέτουν (συμβατικές μονάδες, ΑΠΕ, βιομάζα κλπ)
- Εγχέουν την ενέργεια αυτή στο διασυνδεδεμένο ηλεκτρικό δίκτυο
- Μέσω του συστήματος μεταφοράς η ΗΕ φτάνει υπό υψηλή /υπερυψηλή τάση στους Υ/Σ υποβιβασμού τάσης
- Η ΗΕ υπό χαμηλότερη πλέον τάση διανέμεται στα τελικά φορτία
  - Εξαίρεση αποτελούν καταναλωτές υψηλής τάσης, που τροφοδοτούνται απευθείας από το δίκτυο μεταφοράς ΗΕ

Η ροή που περιγράφηκε υπόκειται σε ορισμένους κανόνες και κατανέμεται κυρίως βάσει φυσικών νόμων. Η απρόσκοπτη λειτουργία του συστήματος είναι μείζονος σημασίας καθώς ο ηλεκτρισμός πλέον αποτελεί αγαθό, αναπόσπαστο από την καθημερινότητα μας. Τα παρακάτω δύο στοιχεία αποτελούν την βάση για την λειτουργία του διασυνδεδεμένου συστήματος:

- Η ζήτηση πρέπει να συναντάτε από την παραγωγή. Η ισορροπία αυτή είναι θεμελιώδης για την λειτουργία του ΣΗΕ και πρέπει να τηρείται διαρκώς.
- Η ροή της εγχεόμενης στο δίκτυο ισχύος γίνεται μέσω του συστήματος μεταφοράς και διανομής, τα οποία αποτελούν τους φυσικούς δρόμους προς τα φορτία. Το δίκτυο αυτό υπόκειται στους νόμους του Ohm και του Kirchhoff, αναγκάζοντας έτσι το ρεύμα να ακολουθήσει μια πορεία ελάχιστης αντίστασης.

Το δεύτερο σημείο εμπεριέχει επί της ουσίας την αποτυχία πρόβλεψης της πηγής από την οποία προέρχεται η ενέργεια που καταναλώνεται. Σύμφωνα με τη παραπάνω περιγραφή είναι αδύνατον να προσδιοριστεί η πορεία της ηλεκτρικής ενέργειας καθώς εγχέεται στο δίκτυο σε μεγάλες ποσότητες από τους παραγωγούς σε διάφορα σημεία και ύστερα μέσω του δικτύου μεταφοράς και διανομής διοχετεύεται στα σημεία κατανάλωσης. Για παράδειγμα είναι σαν ένα ποτάμι να διοχετεύεται με νερό από πολλές πηγές κι εμείς να προσπαθούμε στις εκβολές του να βρούμε από πού προέρχεται το νερό που χρησιμοποιήσαμε. Η περιγραφή αυτή του συστήματος αναδεικνύει τον τρόπο με τον οποίο έχει δομηθεί η αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, καθώς η ενέργεια μπορεί μονάχα να μετρηθεί στην είσοδο (παραγωγή) και στην έξοδο (κατανάλωση), δίχως να υπάρχει γνώση της ενδιάμεσης διαδρομής.

Το πρώτο σημείο ωστόσο εμπεριέχει την βασική ιδέα γύρω από την οποία το σύστημα λειτουργεί και ρυθμίζεται. Μια ενδεχόμενη ανισορροπία μεταξύ παραγωγής και ζήτησης δύναται να φέρει την κατάρρευση του ηλεκτρικού δικτύου, ή μέρους του, και την απώλεια ισχύος για μεγάλο κομμάτι, αν όχι ολόκληρο, των καταναλωτών. Έτσι σε αυτό το σημείο, αναγνωρίζοντας τις επιπτώσεις μη σωστής διαχείρισης του ΣΗΕ, τονίζεται η βαρύτητα με την οποία επιφορτίζεται ο διαχειριστής του συστήματος, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον



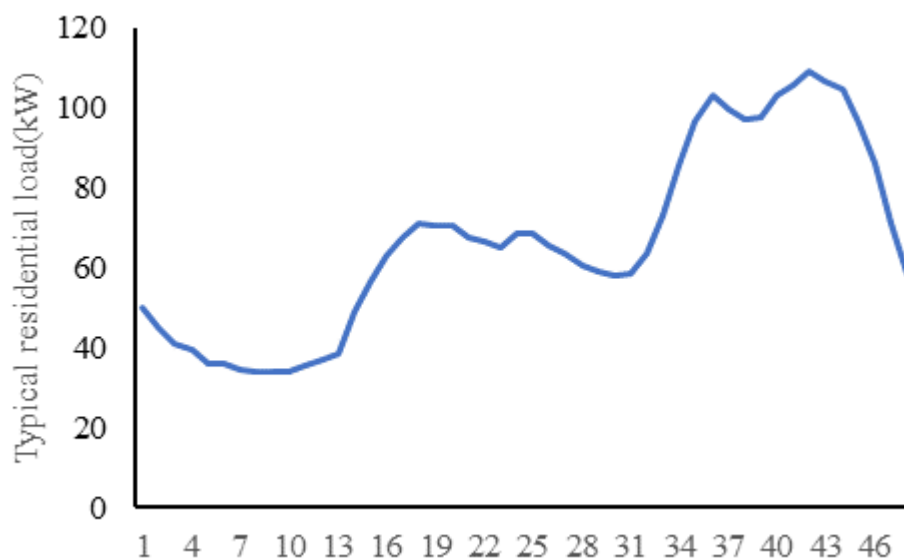
μακροχρόνιο σχεδιασμό του ΣΜΗΕ καθώς επίσης και όλων εκείνων των μηχανισμών και ρυθμίσεων που απαιτούνται ώστε το σύστημα να λειτουργεί ομαλά. Χρέος του εκάστοτε διαχειριστή είναι η διάρθρωση ενός ρυθμιστικού πλαισίου που τυποποιεί και αυτοματοποιεί ουσιαστικά τις απαραίτητες ρυθμίσεις εξασφαλίζοντας την ευστάθεια του συστήματος. Οι κυριότερες εξ αυτών είναι:

- Ρύθμιση συχνότητας
  - Αλληλεξάρτηση ενεργού ισχύος με ζήτηση, μέσω συχνότητας συστήματος
  - Σταθερή συχνότητα αποτελεί προϋπόθεση λειτουργίας συστήματος (50 Hz)
  - Αυστηρά όρια διακύμανσης
- Ρύθμιση τάσης
  - Σταθερή τάσης εξόδου συστημάτων παραγωγής
  - Μεγαλύτερη ανοχή στην διακύμανση
- Αποκατάσταση του συστήματος σε περίπτωση μερικής σβέσης ή επανεκκίνηση του σε περίπτωση ολικής σβέσης
  - Επικουρικές υπηρεσίες
  - Εφεδρείες

Τα ΣΗΕ ως επί το πλείστον λειτουργούν με εναλλασσόμενη τάση (AC) σταθερής συχνότητας. Εξάιρεση αποτελούν ορισμένα κομμάτια του δικτύου που συνδέονται με καλώδια (υπέρ-) υψηλής συνεχούς τάσης (HVDC). Η σταθεροποίηση της συχνότητας και της τάσης είναι προϋπόθεση για την λειτουργία του συστήματος. Στα πλαίσια της εργασίας δεν γίνεται περαιτέρω ανάλυση των ρυθμίσεων αυτών, παρά τονίζεται πως ο έλεγχος του συστήματος όπως περιγράφηκε επιγραμματικά και οι λεπτοί χειρισμοί που απαιτούνται ειδικά σε περιπτώσεις απρόβλεπτων βλαβών, συνδυαστικά με την αυξημένη διείσδυση των μεταβλητών ΑΠΕ, αναδεικνύουν και πάλι την πολυπλοκότητα του ζητήματος της μετάλλαξης του ηλεκτροπαραγωγικού τομέα.

## 6.1 Υδροθερμική συνεργασία

Η εξισορρόπηση ζήτησης και παραγωγής όπως εξηγήθηκε είναι η βασική αρχή γύρω από την οποία πραγματοποιείται ο συντονισμός της λειτουργίας του συστήματος. Την ευθύνη για την τήρηση της αρχής αυτής κατέχει ο διαχειριστής του συστήματος, ο οποίος γνωρίζοντας περίπου το προφίλ ζήτησης της επόμενης μέρας πραγματοποιεί τον προγραμματισμό της ένταξης των μονάδων παραγωγής. Η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και το χρηματιστήριο ενέργειας συντονίζουν την οικονομική διάσταση του ζητήματος του προγραμματισμού παραγωγής ΗΕ. Η οικονομική διάσταση ωστόσο θα αναλυθεί σε επόμενο κεφάλαιο. Στο σημείο αυτό αρκεί να αναφερθεί ότι λόγω ιστορικού, και λόγω της καθημερινής ρουτίνας που έχει ο άνθρωπος, το προφίλ ζήτησης ανάλογα την μέρα (καθημερινή, σαββατοκύριακα, αργίες, χειμώνας, καλοκαίρι) μπορεί να προβλεφθεί με σχετική ακρίβεια. Πάντοτε υπάρχουν αποκλίσεις άλλα σε γενικές γραμμές, γίνεται η παραδοχή σε αυτό το σημείο ότι η ζήτηση προβλέπεται ως έναν βαθμό.



Εικόνα 9 Τυπικό προφίλ ζήτησης με χρονικό βήμα μισής ώρας[16]

Στο παρελθόν, γνωρίζοντας ο διαχειριστής του συστήματος (ΔΕΗ) αυτό το προφίλ, προγραμματίζε την ένταξη των μονάδων με τον βέλτιστο τρόπο. Τα μέσα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας μέχρι την εξάπλωση των ΑΠΕ και της μεγάλης διεύθυνσής τους ήταν:

- Θερμικές μονάδες διαφόρων τύπων (ποικιλία στον χρόνο ένταξης, ελάχιστη ισχύς λειτουργίας)
- Υ/Η σταθμοί παραγωγής

Ο προγραμματισμός ένταξης επομένως περιελάμβανε αρχικά μεγάλες θερμικές μονάδες γαιάνθρακα, ο οποίος αποτελούσε φθηνή λύση. Οι μονάδες αυτές έμεναν εντός για μεγάλη διάρκεια της μέρας ή και ολόκληρη, λόγω και της δυσκολίας επανέναρξής τους. Οι κορυφώσεις στην ζήτηση καθώς και οι αποκλίσεις από την πρόβλεψη εξυπηρετούνταν από την ρύθμιση των πιο ευέλικτων Υ/Η σταθμών με την προσαρμογή της αποδιδόμενης ισχύος των μεγάλων θερμικών μονάδων βάσης ή με την ένταξη μικρότερων πιο ευέλικτων θερμικών μονάδων. Το ζήτημα προγραμματισμού της παραγωγής προφανώς και δεν είναι τόσο απλό όσο στη συμπυκνωμένη μορφή που παρουσιάζεται, ωστόσο η βασική ιδέα είναι αυτή.

Βασικό στοιχείο του συστήματος το οποίο δεν πρέπει να παραλείπεται είναι οι επικουρικές υπηρεσίες που το σύστημα απαιτεί έτσι ώστε να υπάρχει αξιοπιστία, δηλαδή να μην υπάρχει κίνδυνος απώλειας φορτίου σε ενδεχόμενη βλάβη ή μεγάλη απόκλιση από την πρόβλεψη ζήτησης. Ορισμένες επικουρικές υπηρεσίες είναι:

- Στρεφόμενη εφεδρεία
- Εφεδρεία επαναφοράς συχνότητας

Οι παραπάνω επικουρικές υπηρεσίες αυξάνουν τις απαιτήσεις παραγωγής και εγγυώνται την ασφάλεια εφοδιασμού του φορτίου.

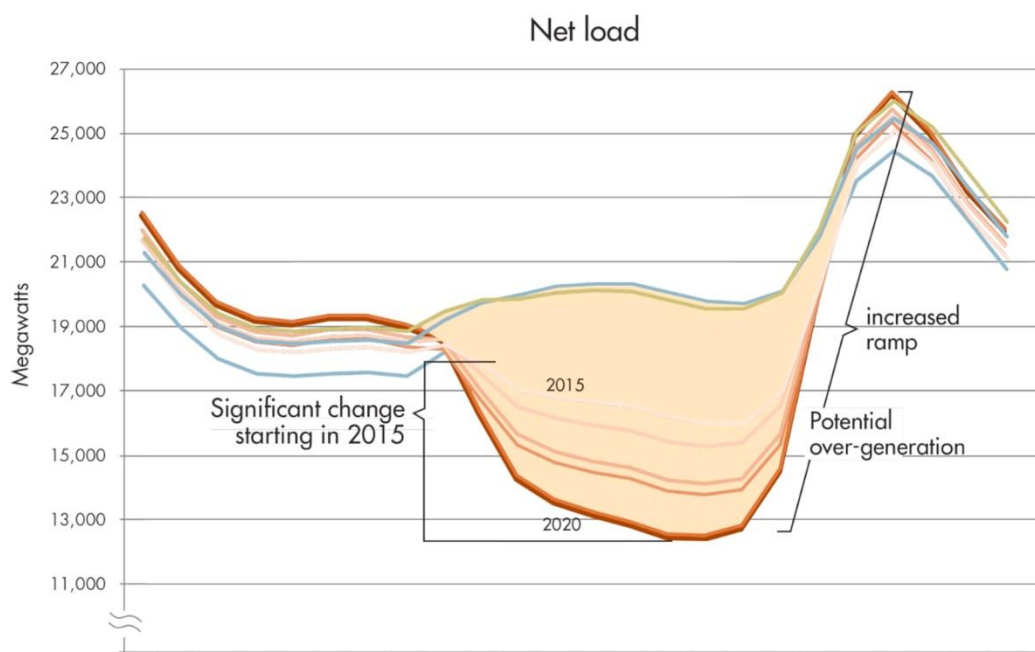
Το σύστημα όπως παρουσιάστηκε, αποτελεί πλέον παρελθόν για τις περισσότερες χώρες της Ευρώπης. Αυτό οφείλεται βέβαια στην διείσδυση των ΑΠΕ στο ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα και τις συνέπειες που φέρνει σε αυτό η διαχείριση της μεταβλητότητας τους. Στην επόμενη ενότητα αναλύεται η πολυπλοκότητα της ενσωμάτωσης των ΑΠΕ και οι τρόποι με τους οποίους αυτό επιδιώκεται να επιτευχθεί.

## 6.2 Διείσδυση ΑΠΕ και ευελιξία

### Διείσδυση ΑΠΕ

Σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε για την κλιματική αλλαγή και τις εκπομπές ΑτΘ, γίνεται σαφές για ποιούς λόγους προωθούνται οι τεχνολογίες μηδενικών εκπομπών. Μικρή αναφορά σε τέτοιες τεχνολογίες ΑΠΕ, έγινε σε προηγούμενο κεφάλαιο όπου παρουσιάστηκε επιγραμματικά η λειτουργία τους και τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά. Το χαρακτηριστικό που ξεχωρίζει και επηρεάζει άμεσα τον προγραμματισμό της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας είναι η στοχαστικότητα των ΜΠΕ. Όπως αναφέρεται και στην μελέτη [19], οι συμβατικές μονάδες μέχρι πρότινος προγραμματίζονταν και λειτουργούσαν βάσει των αναγκών της ζήτησης. Με τις ΜΑΠΕ, όπως οι ΑΓ και τα ΦΒ, ο προγραμματισμός δεν είναι τόσο απλή διαδικασία λόγω της στοχαστικότητας των καιρικών φαινομένων, των αποκλίσεων στην πρόβλεψή τους και κατά συνέπεια την μεταβολή της καθαρής ζήτησης.

Όπως αναφέρεται και στις μελέτες, [19],[20] παλαιότερα σε συστήματα υδροθερμικής συνεργασίας οι ανάγκες ευελιξίας και εφεδρείας του συστήματος καλύπτονταν από τις υπάρχουσες (λειτουργούσες) θερμικές μονάδες με την συμβολή και των Υ/Η σταθμών παραγωγής (υδροθερμική συνεργασία). Η αβεβαιότητα και μεταβλητότητα του συστήματος οφειλόταν ως επί το πλείστον στις μεταβολές του φορτίου και σε τυχόν βλάβες. Πλέον με την αυξανόμενη διείσδυση των μεταβλητών ΠΕ, όπως η αιολική και η ηλιακή ενέργεια, **η αβεβαιότητα εισάγεται και στην πλευρά της παραγωγής**. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει την ανάγκη αναπροσδιορισμού του τρόπου λειτουργίας και δομής του συστήματος και των κριτηρίων αξιοπιστίας του.



Εικόνα 10 Αυξημένη διείσδυση ΦΒ και βύθιση καθαρής ζήτησης [21]

Για παράδειγμα, ένα από τα πρώτα ζητήματα που προέκυψαν και φανέρωσαν τις αλλαγές που επρόκειτο να φέρουν οι ΑΠΕ στο ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα ήταν η μεταβολή της

καθαρής ζήτησης σε συστήματα με αυξημένη διείσδυση ΦΒ (duck curve). Υπό κανονικές συνθήκες, οι συμβατικές μονάδες που βρίσκονταν σε λειτουργία εξυπηρετούσαν την πρωινή αιχμή φορτίου αυξάνοντας τα επίπεδα παραγωγής. Ύστερα με την σταθεροποίηση της ζήτησης τις μεσημεριανές ώρες οι μονάδες μείωναν αντίστοιχα το επίπεδο παραγωγής, το οποίο και πάλι το απόγευμα αυξανόταν για να εξυπηρετηθεί η βραδινή αιχμή ζήτησης. Το βράδυ πολλές μονάδες παραμένουν εντός στα χαμηλότερα δυνατά επίπεδα παραγωγής ώστε να είναι έτοιμες και πάλι το πρωί να αντιμετωπίσουν την πρωινή αιχμή φορτίου[21].

Η αυξημένη διείσδυση ΦΒ έχει ως αποτέλεσμα σημαντικές μεταβολές στην καμπύλη καθαρής ζήτησης. Λόγω του προφίλ παραγωγής τους, τις πρωινές-μεσημεριανές ώρες αυξάνεται σημαντικά η παραγωγή ΗΕ με αποτέλεσμα την βύθιση της καμπύλης καθαρής ζήτησης (Εικόνα 10). Τα προβλήματα που προέκυψαν από αυτή τη διαδικασία είναι:

- Δημιουργία πλεονάσματος σε περίπτωση που συμβατικές μονάδες κρατούνται εντός τις ώρες που υπάρχει ηλιοφάνεια
- Αυξημένη ανάγκη ισχύος με τη δύση του ηλίου για την εξυπηρέτηση της απογευματινής αιχμής

Το παραπάνω παράδειγμα ουσιαστικά επισημαίνει την κυκλικότητα και την διακύμανση της παραγωγής των ΦΒ αναλόγως την ηλιοφάνεια. Παράλληλα τονίζει τις προκλήσεις που προκύπτουν με την αύξηση της διείσδυσης ΦΒ, και γενικότερα των ΑΠΕ. Οι ΑΓ, για παράδειγμα, έχουν μεταβλητή παραγωγή ΗΕ που δεν ακολουθεί κυκλικότητα μόνο μπορεί να προβλεφθεί σε κάποιον βαθμό από τις μετεωρολογικές προβλέψεις. Προφανώς, αυτό είναι ένα ζήτημα που δυσχεραίνει τον προγραμματισμό της παραγωγής. Οι αποκλίσεις στις προβλέψεις παραγωγής των αιολικών πάρκων είναι σαφώς μεγαλύτερες από τις αποκλίσεις στην πρόβλεψη των ΦΒ. Αν συνυπολογίσουμε πως την πρωτοκαθεδρία σε επίπεδο εγκατεστημένης ισχύς καταλαμβάνουν η αιολική και ηλιακή ενέργεια, το πρόβλημα προγραμματισμού παραγωγής διογκώνεται ακόμη περισσότερο.

Σε αυτό το σημείο αξίζει να γίνουν και ορισμένες παρατηρήσεις σχετικά με τις συμβατικές μονάδες ορυκτών καυσίμων. Το ζήτημα που περιγράφηκε παραπάνω επηρέασε και την χρήση των συμβατικών μονάδων με τον εξής τρόπο: η μεταβλητότητα παραγωγής σε μεγάλη κλίμακα (μεγάλη διείσδυση ΑΠΕ), απαιτεί γρήγορη απόκριση από συμβατικές μονάδες των οποίων η παραγωγή μπορεί να μεταβληθεί γρήγορα. Το γεγονός αυτό αποτελεί μια ακόμη πηγή πίεσης για την εγκατάλειψη συμβατικών μονάδων άνθρακα, οι οποίες ως επί το πλείστον δεν ενδείκνυνται για τις ταχείες μεταβολές στην παραγωγή ΗΕ.

Συνοψίζοντας, η μεταβλητότητα και η άμεση διάχυση της παραγόμενης ενέργειας των ΑΠΕ στο δίκτυο αποτελούν τον βασικό προβληματισμό όσον αφορά τον προγραμματισμό της παραγωγής. Παράλληλα πρόκληση, σε δομικό επίπεδο, αποτελεί για το δίκτυο μεταφοράς το γεγονός ότι οι εγκαταστάσεις ΑΠΕ και ειδικά οι μεγάλης κλίμακας εγκαταστάσεις απαιτούν την επέκταση του δικτύου. Όπως διαφαίνεται το κλειδί για την αφομοίωση και την καλύτερη διαχείριση των ΑΠΕ είναι η ευελιξία.

## Ευελιξία

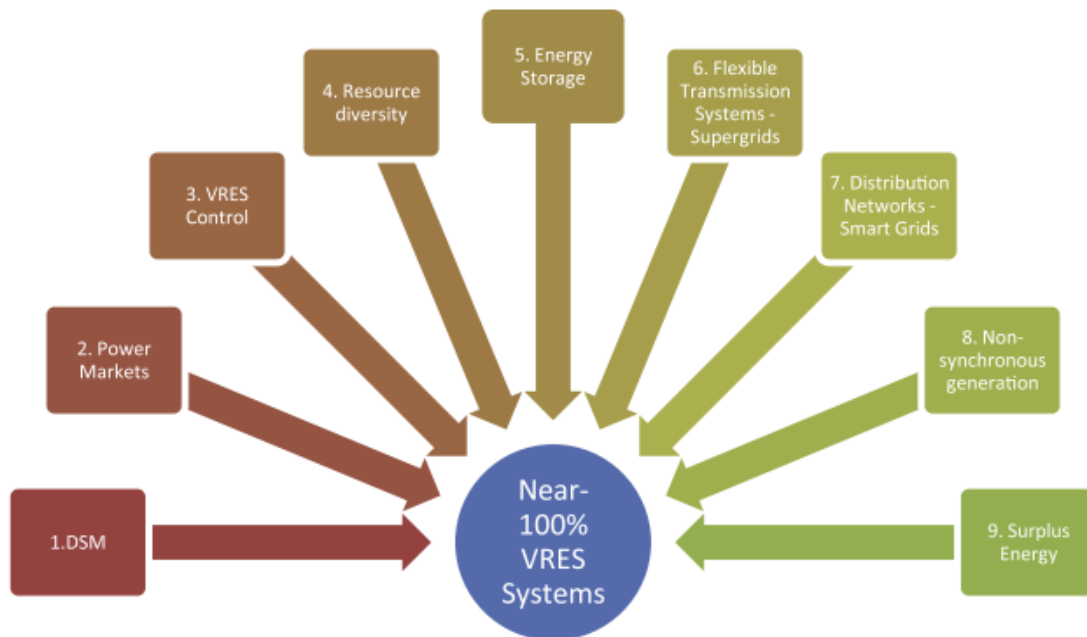
Όλα τα παραπάνω αποτελούν ενδείξεις για την ανάγκη αναπροσδιορισμού του συστήματος ΗΕ και αναδεικνύουν την σημασία της ευελιξίας του συστήματος. Σύμφωνα με τους E. Lannoye et al[22] «η ευελιξία ορίζεται ως η ικανότητα του συστήματος να χρησιμοποιεί τους διαθέσιμους πόρους, με σκοπό την ανταπόκριση στις μεταβολές της καθαρής ζήτησης». Ένας άλλος ορισμός της ευελιξίας είναι «η ικανότητα των στοιχείων του συστήματος να προσαρμόζουν την λειτουργία τους, έγκαιρα και με αρμονικό τρόπο, για την αντιμετώπιση προσδοκώμενων και μη αλλαγών στις λειτουργικές συνθήκες του συστήματος»[23]. Σύμφωνα με την IEA (International Energy Agency) ευελιξία ορίζεται ως «η δυνατότητα ενός συστήματος με σημαντική διείσδυση ΑΠΕ να λειτουργεί με αξιοπιστία». Αυτός ο τελευταίος ορισμός ταιριάζει καλύτερα στη σκοπιά από την οποία αντλεί κίνητρο η παρούσα εργασία.

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία και την μελέτη των A. Akrami, M.Doostizadeh et al [19], η ευελιξία μπορεί να χωρισθεί σε 2 κατηγορίες:

- Φυσική ευελιξία: αφορά την ικανότητα του συστήματος να ακολουθεί τις αλλαγές ζήτησης ή παραγωγής
- Δομική ευελιξία: ικανότητα του συστήματος να χρησιμοποιεί την φυσική ευελιξία μέσω λειτουργικών οδηγιών ή διαδικασιών της αγοράς

Με αυτό τον διαχωρισμό τονίζεται πως παροχές ευελιξίας δεν αφορούν μόνο τεχνικές υποδομές αλλά κυριότερα αφορούν τους τρόπους με τους οποίους γίνεται η διαχείριση των υποδομών και των πόρων. Για την καλύτερη κατανόηση του όρου αναφέρονται επιγραμματικά παροχές ευελιξίας που συναντώνται στην βιβλιογραφία. Σύμφωνα με τις μελέτες [19], [20], [24],[25] τέτοιες παροχές είναι:

- Demand side management
  - Load shifting
  - Peak shaving
- Διεσπαρμένη παραγωγή
- Αποθήκευση
  - Αντλιοσταμείωση
  - P2G (υδρογόνο)
  - Μπαταρίες
  - Vehicle-to-grid (V2G)
- Ενίσχυση ηλεκτρικού δικτύου
  - Έξυπνα δίκτυα (Smart grids)
  - Ενίσχυση διασυνδέσεων ( Supergrids)
- Αλλαγές στην αγορά που να προωθούν τις παροχές φυσικής ευελιξίας



Εικόνα 11 Ένα ιδανικό μελλοντικό ΣΗΕ[26]

Όπως αναφέρουν στην ερευνα τους οι G. Papaefthymiou και K. Dragoon [26], τα ΣΗΕ του μέλλοντος θα είναι εγγενώς ευέλικτα. Στην μελέτη τονίζεται πως η μετάβαση σε ένα σύστημα πράσινης ενέργειας με σχεδόν μηδενικές εκπομπές, πρόκειται να συμβεί μονάχα με τον επαναπροσδιορισμό και τον συνδυασμό των εικονιζόμενων 9 πτυχών του συστήματος (Εικόνα 11). Ο έλεγχος των μεταβλητών ΑΠΕ, οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας, η αποθήκευση, ευέλικτα συστήματα μεταφοράς και στρατηγικές συνεργασίας, η ποικιλία των πηγών ενέργειας είναι μερικά από τα στοιχεία που πρόκειται να περιλαμβάνουν τα ΣΗΕ όπως πρόκειται να διαμορφωθούν στο μέλλον.

Όπως διαφαίνεται λοιπόν η ανάγκη περιορισμού των εκπομπών CO<sub>2</sub> οδηγεί στην καθιέρωση μιας πολιτικής πράσινης μετάβασης προς ένα ευέλικτο ΣΗΕ, απλωμένο γεωγραφικά πέραν των εθνικών συνόρων. Σε τεχνικό επίπεδο αυτό απαιτεί την καλύτερη διασύνδεση των απομακρυσμένων περιοχών της Ευρώπης, και σε οικονομικό απαιτεί την οργάνωση της αγοράς ώστε οι τεχνικές απαιτήσεις να είναι αποδεκτές και να αντικατοπτρίζονται στην αγορά.

### 6.3 Ενδυνάμωση διασυνδέσεων

Η παρούσα εργασία ουσιαστικά επικεντρώνεται στην διασυνοριακή ενεργειακή συνεργασία. Στον τρόπο, δηλαδή, με τον οποίο η ενίσχυση του δικτύου μεταφοράς και συγκεκριμένα των διασυνοριακών γραμμών μεταφοράς μπορεί να συνεισφέρει στην αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ, δεδομένης της κατάστασης των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και των αλλαγών στις οποίες αυτές υποβάλλονται λόγω πολιτικών και οδηγιών της ΕΕ.

Η ενδυνάμωση των επιμέρους συστημάτων με στοιχεία ευελιξίας όπως η εξισορρόπηση της παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε μια ευρύτερη περιοχή πέραν των εθνικών συνόρων, διευκολύνοντας την μεταφορά μεταξύ γειτονικών χωρών και είναι παράγοντας-κλειδί για την ενσωμάτωση ΑΠΕ συνδέοντας διεθνείς αγορές ΗΕ[27]. Όσο μεγαλώνει η περιοχή εξισορρόπησης, μειώνεται η μεταβλητότητα των ΑΠΕ επιτρέποντας την αύξηση της ευελιξίας του συστήματος και την εξισορρόπηση[28].

Σύμφωνα με την μελέτη των D. Newbery et al. [29], η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύς των μεταβλητών ΑΠΕ, ενδυναμώνει την επιχειρηματολογία σχετικά με την ενίσχυση της διασυνοριακής συνεργασίας και αναδεικνύει την σημασία της καλύτερης διασύνδεσης της Ευρώπης. Οι διασυνδέσεις μπορούν να παρέχουν βοηθητική ισχύς όταν οι τοπικές μονάδες ΑΠΕ είναι μη διαθέσιμες. Συνδέοντας περιοχές όπου ο αέρας έχει αρνητική συσχέτιση, μειώνεται η μεταβλητότητα στην προμήθεια ενέργειας και μειώνεται η αστάθεια των τιμών ενέργειας.

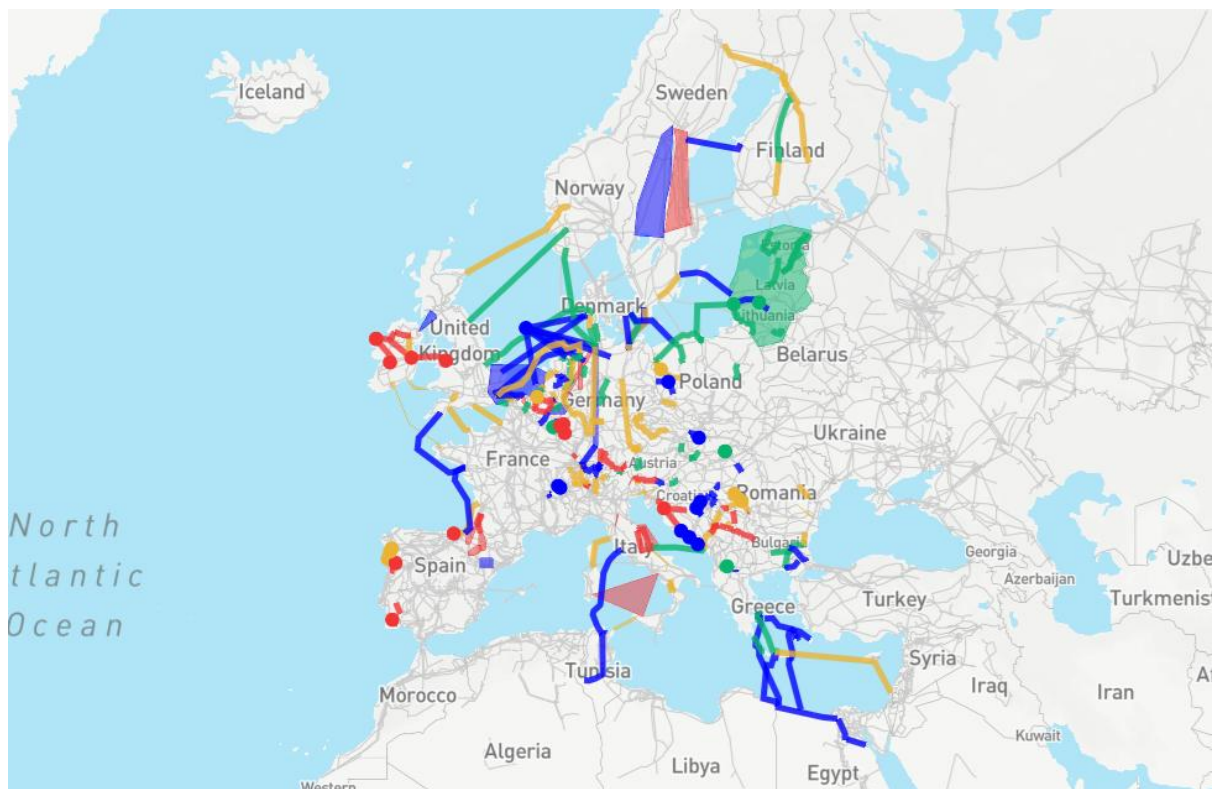
Συνεχίζοντας στην προαναφερθείσα έρευνα[29], τονίζεται πως η καλύτερη λειτουργία των υπαρχόντων διασυνδέσεων και η επένδυση στην διεύρυνση της ικανότητας τους αυξάνει την ευελιξία του Ευρωπαϊκού συστήματος δίνοντάς του την δυνατότητα εκμετάλλευσης των φυσικών πόρων του ως μια ολότητα. Τα πλεονεκτήματα αυτά περιλαμβάνουν, λόγω χάριν, την πρόσβαση σε

- Υδάτινα αποθέματα (όπως αυτά της Νορβηγίας)
- Μεγάλες ποσότητες προβλέψιμης παραγωγής ηλιακής ενέργειας (Ελλάδα, Ιταλία, Ισπανία)
- Συχνά αρνητική συσχέτιση μεταξύ των τιμών της ταχύτητας του αέρα σε περιοχές που απέχουν αρκετές χιλιάδες χιλιόμετρα μεταξύ τους

Έτσι με την αυξημένη διείσδυση των μεταβλητών ΑΠΕ, η εξισορρόπηση παραγωγής και ζήτησης σε πραγματικό χρόνο εντός εθνικών ΣΗΕ ανά την Ευρώπη φαίνεται πως πλέον σε οικονομικό επίπεδο δεν έχει νόημα.

Τα προτερήματα της ενοποίησης των αγορών ΗΕ στο εγγύς μέλλον πηγάζουν από την αποτελεσματικότερη χρήση του υπάρχοντος δικτύου, και συγκεκριμένα των διασυνδέσεων μέσω της σύζευξης των αγορών. Η διαφορά στην τιμή γειτονικών ζωνών προσφοράς μπορεί να λειτουργήσει ως σήμα αναγνώρισης διασυνδέσεων που υπόκεινται σε συμφόρηση. Η σύζευξη των αγορών αυξάνει την χρήση και την αξία των διασυνδέσεων, ενθαρρύνοντας παράλληλα την επένδυση σε νέες διασυνδετικές ικανότητες στα πλαίσια ενός μακρόπνοου σχεδιασμού.





Εικόνα 12 Έργα επέκτασης δικτύου στην Ευρώπη [30]

Πλέον τα τελευταία χρόνια, δεδομένων των προτερημάτων που έχει η ισχυρή διασύνδεση απλωμένων γεωγραφικά περιοχών, γίνονται κινήσεις προς την ενίσχυση των διασυνδεδετικών ικανοτήτων. Βασικότερο εργαλείο είναι η επένδυση σε καλώδια συνεχούς υψηλή/υπερυψηλής τάσης (HVDC). Εφαρμογές μακροχρόνιου σχεδιασμού σε επίπεδο μεταφοράς ενέργειας είναι ο 10ετής σχεδιασμός του ENTSO-E (TYNDP), η συζευγμένη λειτουργία των αγορών ενέργειας Ευρώπη, η πρωτοβουλία ASEAN power grid στην νοτιοανατολική Ασία κ.α.



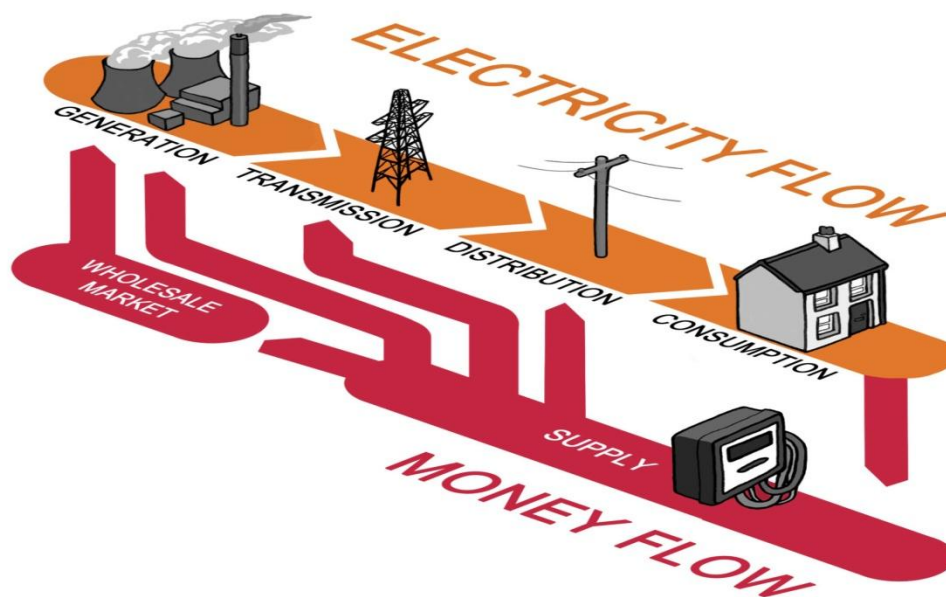
## 7 Σύζευξη αγορών ηλεκτρικής ενέργειας

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται περιγραφή της κατάστασης που επικρατεί στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα γίνεται και μια σύντομη ανασκόπηση των αποφάσεων και οδηγιών βάσει των οποίων εφαρμόζεται η ενεργειακή πολιτική σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Πιο συγκεκριμένα γίνεται αναφορά στις προσπάθειες σχηματισμού της Εσωτερικής Αγοράς Ενέργειας (ΕΑΕ) που προωθείται από την ΕΕ. Επιπλέον στο δεύτερο μέρος του κεφαλαίου παρουσιάζεται η επικρατούσα κατάσταση στην Ευρώπη και στην ΝΑ Ευρώπη, γεωγραφική περιοχή που αφορά την παρούσα εργασία.

### 7.1 Βασικές αρχές της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Αρχικά επιδιώκεται η σύντομη περιγραφή των βασικών αρχών λειτουργίας της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένα στην περιγραφή του ηλεκτρικού δικτύου, ο τελικός καταναλωτής εν γένει δεν είναι δυνατόν να πληρώσει απευθείας κάποιον παραγωγό διότι δεν γνωρίζει από ποιόν παραγωγό προμηθεύτηκε την ενέργεια. Η χρηματική αμοιβή του συστήματος, και των όποιων συντελεστών του, ρυθμίζεται μέσω της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Σε γενικές γραμμές, η ροή των χρημάτων έχει ως εξής:

- Καταναλωτές προμηθεύονται και αγοράζουν ΗΕ από προμηθευτές
- Τα έξοδα για την διαχείριση του δικτύου μεταφοράς και διανομής καλύπτονται επίσης από τους καταναλωτές
- Προμηθευτές αγοράζουν ΗΕ από το χρηματιστήριο ενέργειας
- Παραγωγοί που πωλούν ενέργεια στο χρηματιστήριο

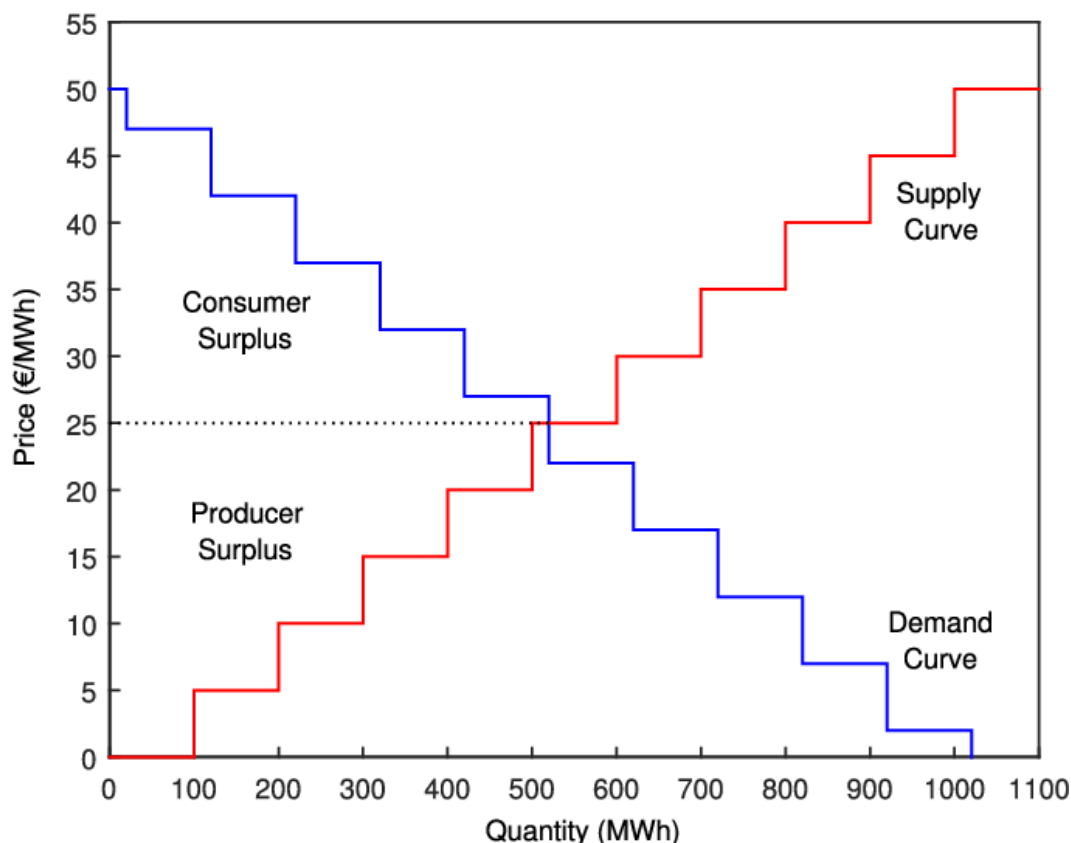


Εικόνα 13 Χρηματική ροή και ροή ηλεκτρικής ισχύος[31]

Οι καταναλωτές εν ολίγοις μέσω των παραπάνω οικονομικών σχέσεων εξυπηρετούν, με την ροή χρημάτων που περιγράφηκε, τις αμοιβές που απαιτούνται για την λειτουργία του συστήματος σε όλα τα επίπεδα.

Η αγορά όπως θα αναλυθεί αργότερα είναι διαχωρισμένη σε διάφορα επίπεδα. Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται κυρίως επειδή ο σχεδιασμός της παραγωγής δομείται βάσει προβλέψεων ζήτησης, καιρικών συνθηκών κ.α. Επομένως για να μπορέσει η παραγωγή ΗΕ να ανταποκριθεί στην πραγματική ζήτηση πρέπει να γίνουν διορθωτικές κινήσεις σε διαφορετικούς χρονικούς ορίζοντες. Η διαδικασία πλέον δεν αφορά μια μόνη καθετοποιημένη εταιρία η οποία μπορεί κατά βούληση να ρυθμίζει τα επίπεδα παραγωγής. Η διαδικασία αφορά πληθώρα παικτών τόσο στην παραγωγή όσο και στην προμήθεια και όπως αναφέρθηκε οι οικονομικές τους συναλλαγές γίνονται μέσω των χρηματιστηρίων ενέργειας.

Προφανώς οι συναλλαγές αυτές λειτουργούν σύμφωνα με τους νόμους της προσφοράς και της ζήτησης. Επομένως οι προμηθευτές πρώτα αγοράζουν ΗΕ σε χαμηλότερη τιμή και σταδιακά ακριβότερη ΗΕ (πάντα με την υποχρέωση φυσικής παράδοσης), μέχρις ότου η ενέργεια που πουλήθηκε συναντήσει την πρόβλεψη ζήτησης για την επόμενη μέρα. Με τον τρόπο αυτό, προκύπτει και η τιμή εκκαθάρισης (clearing price) ως η τομή της καμπύλης ζήτησης και της καμπύλης προσφοράς.



Εικόνα 14 Τιμή εκκαθάρισης αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας [32]

## 7.2 Εσωτερική Αγορά Ενέργειας και Μοντέλο Στόχος

### *Εσωτερική αγορά και δέσμες μέτρων για την ενέργεια*

Η αγορά ενέργειας ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του 90 έχει ξεκινήσει να μεταλλάσσεται. Η ΕΕ υιοθετώντας το μοντέλο της ελεύθερης αγοράς μέσω διαφόρων οδηγιών επιδιώκει να εφαρμόσει την ενεργειακή της πολιτική αλλάζοντας το τοπίο των μέχρι πρότινος μονοπωλιακών δημόσιων εταιριών ηλεκτρισμού. Στόχος της ΕΕ σε βάθος χρόνου είναι η δημιουργία μια εσωτερικής αγοράς ενέργειας (Internal Energy Market), η οποία αφορά τον ηλεκτρισμό και το φυσικό αέριο, δύο από τις πιο βασικές, και αλληλοεξαρτώμενες, πηγές ενέργειας. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας.

Η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στο παρελθόν είχαν μονοπωλιακό χαρακτήρα, που σημαίνει πως διαχειρίζονταν συνολικά από μια και μόνο καθετοποιημένη δημόσια εταιρεία. Πιο συγκεκριμένα ολόκληρη η διαδικασία από την παραγωγή έως την διανομή τελούνταν από μία εταιρία δίχως ο καταναλωτής να έχει δυνατότητα επιλογής ανάμεσα σε διαφορετικούς προμηθευτές [33]. Για παράδειγμα στην Ελλάδα η διαχείριση του ΣΗΕ γινόταν από το 1950 έως και το 2001 εξ ολοκλήρου από την ΔΕΗ. Πολλές φορές ωστόσο υπό αυτό το μοντέλο σημαντικές αποφάσεις αναφορικά με την προμήθεια ηλεκτρισμού λαμβάνονταν από κλειστούς κύκλους τεχνοκρατών, κυβερνήσεις και ισχυρούς πελάτες. Τέτοια διοικητική δομή σε συνδυασμό με το μονοπωλιακό χαρακτήρα, είχαν ως αποτέλεσμα ισχυροποίηση των εταιρειών ηλεκτρισμού σε ισχυρούς οργανισμούς με δική τους πολιτική και οικονομική ατζέντα[33].

Η πορεία της ΕΕ προς μια κοινή ενεργειακή αγορά βρίσκει νομική βάση στο άρθρο 194 της ιδρυτικής συμφωνίας της ΕΕ. Πρακτικά όμως η αρχή της μετάλλαξης της αγοράς ξεκινά το Δεκέμβριο του 1996 με την Οδηγία 96/92/ΕΚ «σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας» («Πρώτη Δέσμη μέτρων για την Ενέργεια»). Η οδηγία αυτή προωθεί την φιλελευθεροποίηση των αγορών σκοπεύοντας στην αύξηση της απόδοσης, στην μείωση των τιμών ηλεκτρισμού, στην βελτίωση των δημόσιων υπηρεσιών, στην καλύτερη διαχείριση των πόρων δίνοντας την επιλογή στους πελάτες να επιλέξουν τον προμηθευτή της αρεσκείας τους. Βασικότερα, η Οδηγία είχε ως την απελευθέρωση της αγοράς ΗΕ (unbundling). Η ανταγωνιστικότητα εισάγεται στην παραγωγή και την προμήθεια, ενώ η μεταφορά και διανομή διατηρούν τον μονοπωλιακό τους χαρακτήρα.

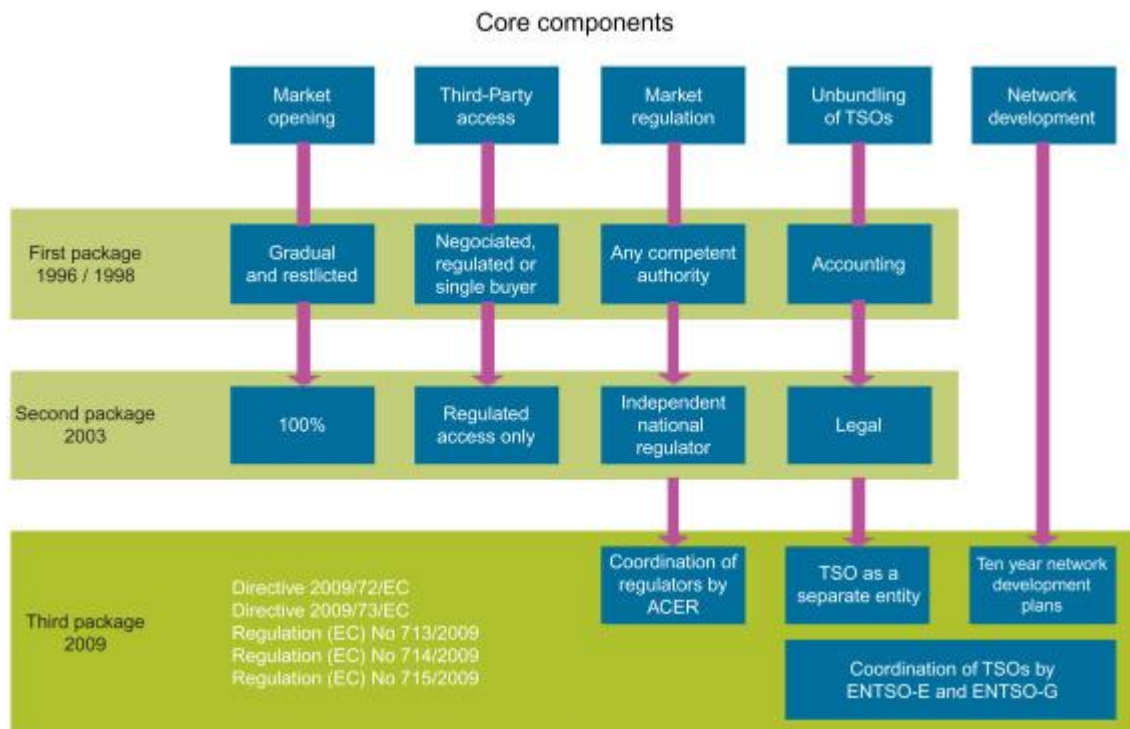
Η οδηγία του 1996 επέτρεψε στις συμβαλλόμενες χώρες την επιλογή του καθεστώτος υπό το οποίο καλούνταν να εφαρμόσουν τις προτεινόμενες αλλαγές, το οποίο επρόκειτο να ταιριάζει καλύτερα με την κατάσταση της εκάστοτε χώρας. Όντας η πρώτη οδηγία και χαλαρή αναφορικά με τον τρόπο εφαρμογής της δεν έφερε δραστικά αποτελέσματα. Το σταδιακό άνοιγμα που εισήγαγε η οδηγία είχε ως αποτέλεσμα σημαντικές διαφορές ανάμεσα στα κράτη-μέλη όσον αφορά το επίπεδο εφαρμογής της οδηγίας.

Η Οδηγία 96/92/ΕΚ αντικαταστάθηκε από την κοινοτική Οδηγία 2003/54/ΕΚ σχετικά με τους κοινούς κανόνες για την εσωτερική αγορά ηλεκτρικής ενέργειας («Δεύτερη Δέσμη μέτρων για την Ενέργεια») συνδυαστικά με τον κανονισμό (ΕΚ) 1228/2003 «σχετικά με τους όρους πρόσβασης στο δίκτυο για τις διασυνοριακές ανταλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας». Η Οδηγία αυτή έθεσε νέους κοινούς και σαφέστερους ρόλους όσον αφορά

- την παραγωγή και την είσοδο νέων παικτών
- την μεταφορά, την διανομή και την ανεξαρτητοποίηση των διαχειριστικών τους αρχών
- την ασφάλεια εφοδιασμού
- την προστασία των καταναλωτών

Πρωτοπορία της οδηγίας αποτελεί επίσης και το άρθρο 23 που υποχρεώνει τα κράτη μέλη να δημιουργήσουν μια ανεξάρτητη ρυθμιστική αρχή η οποία είναι υπεύθυνη για τη διασφάλιση της αμεροληψίας, του ουσιαστικού ανταγωνισμού και της εύρυθμης λειτουργίας της αγοράς. Όπως αναφέρει και η **Ρυθμιστική Αρχή Ενέργειας (ΡΑΕ)**, ανεξάρτητη ρυθμιστική αρχή στην Ελλάδα, κύρια αρμοδιότητά της είναι να εποπτεύει την εγχώρια αγορά ενέργειας, σε όλους τους τομείς της, εισηγούμενη προς τους αρμόδιους φορείς της πολιτείας και λαμβάνοντας η ίδια μέτρα για την επίτευξη του στόχου της απελευθέρωσης των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου.

#### Development of the three energy packages



Εικόνα 15 Οι τρεις δέσμες μέτρων της ΕΕ για την ενέργεια[32]

Από την άλλη με τον κανονισμό(ΕΚ) 1228/2003 («σχετικά με τους όρους πρόσβασης στο δίκτυο για τις διασυνοριακές ανταλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας») η ΕΕ, όπως αναφέρεται και στον κανονισμό, σκοπεύει στον καθορισμό δικαιων κανόνων για τις διασυνοριακές ανταλλαγές ηλεκτρικής ενέργειας και στην ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας εντός της ΕΑΕ, λαμβάνοντας υπόψη τις ιδιαιτερότητες των εθνικών και περιφερειακών αγορών. Ο κανονισμός αυτός αποτέλεσε την βάση για την εκτενέστερη συνεργασία μεταξύ γειτονικών αγορών ηλεκτρικής ενέργειας. Παράλληλα δημιούργησε και ένα μοχλό πίεσης για τις «καθυστερημένες» αγορές προς την εφαρμογή και εναρμόνιση με τις κοινοτικές οδηγίες

σχετικά με την δημιουργία κοινής ΕΑΕ, εισάγοντας τον ανταγωνισμό από άλλες αγορές που ενδεχομένως να βρίσκονταν σε υψηλότερο επίπεδο πραγματοποίησης της απελευθέρωσης.

Τον Απρίλιο του 2009 εγκρίθηκε «*Τρίτη δέσμη μέτρων για την ενέργεια*» που τροποποιούσε τη δεύτερη, επιδιώκοντας περαιτέρω απελευθέρωση της ΕΑΕ. Η Τρίτη δέσμη μέτρων μαζί με τρεις ακόμη κανονισμούς (ΕΚ/715/2009, ΕΚ /714/2009, ΕΚ/713/2009) συμπυκνώνεται σε πέντε βασικά σημεία:

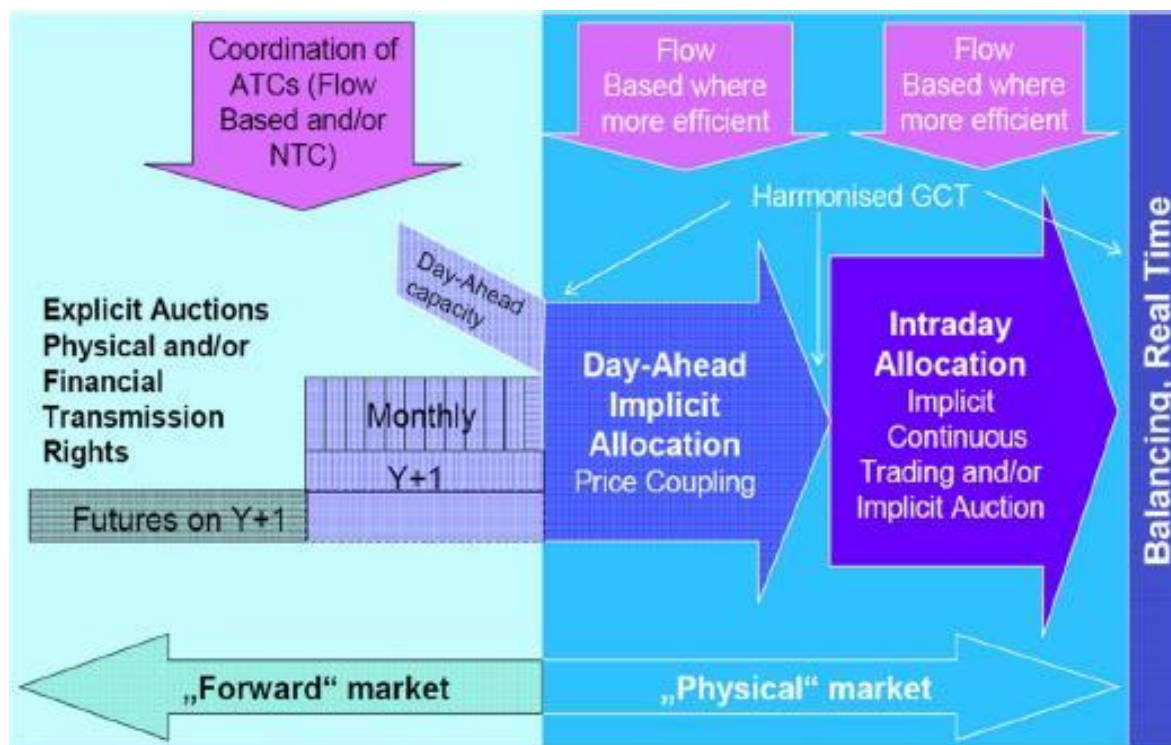
- Περαιτέρω διαχωρισμός προμηθευτών ενέργειας από τους διαχειριστές δικτύων
- Ενδυνάμωση της ανεξαρτησία των ρυθμιστικών αρχών
- Ίδρυση του Οργανισμού Συνεργασίας των Ρυθμιστικών Αρχών Ενέργειας (ACER)
  - Συντονισμός ΡΑ και συνεργασία μεταξύ ΡΑ αναφορικά με τις διασυνοριακές ανταλλαγές ενέργειας
  - Εποπτική εικόνα των εθνικών ρυθμιστικών αρχών, και πρέπει να συμπληρώνει και να συντονίζει το έργο τους
- Ενδυνάμωση της διασυνοριακής συνεργασίας μεταξύ διαχειριστών (ίδρυση του ENTSO-E)
  - Επίκεντρο των ζητημάτων σχετικά με τεχνικά θέματα, με την αγορά και την πολιτική που αφορούν τους διαχειριστές του ευρωπαϊκού δικτύου
  - Εκπόνηση ενός δεκαετούς προγράμματος επενδύσεων στο δίκτυο ανά διετία που επανεξετάζονται από τον ACER
- Ενδυνάμωση της διαφάνειας των λιανικών αγορών

Τα άρθρα 6 και 8 του κανονισμού ΕΚ /714/2009 της τρίτης δέσμης μέτρων δημιουργούν το αναγκαίο πλαίσιο για την ανάπτυξη Κωδικών δικτύου (Network Codes) και κατευθυντήριων γραμμών (guidelines) που αποσκοπούν στην ομαλή εφαρμογή κανονισμών που αφορούν τεχνικά και λειτουργικών ζητήματα της ενιαίας αγοράς ΗΕ. Οι κώδικες και οι κατευθυντήριες γραμμές προκύπτουν από την συνεργασία των ACER, ENTSO-E και της Ευρωπαϊκής Επιτροπής και στοχεύουν στην απαλοιφή νομικών και τεχνικών εμποδίων που προκύπτουν από τους διαφορετικούς εθνικούς νόμους και κανόνες σχετικά με την μεταφορά ενέργειας. Επίσης οι δύο νέοι αυτοί φορείς επιφορτίζονται με την αρμονική λειτουργία του διασυνοριακού εμπορίου ηλεκτρικής ενέργειας διασφαλίζοντας την ασφαλή και σταθερή λειτουργία του ενοποιημένου Ευρωπαϊκού δικτύου.

## Μοντέλο Στόχος

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή με την «*Τρίτη δέσμη μέτρων*» του 2009 θέτει τις βάσεις για την δημιουργία του **Μοντέλου Στόχου (EU Target Model)**, ενός πλαισίου που στόχος του είναι η δημιουργία βασικών αρχών για την λειτουργία των επιμέρους αγορών ηλεκτρικής ενέργειας των κρατών μελών κατά τρόπο τέτοιο που να διευκολύνεται η μεταφορά ενέργειας μεταξύ των επιμέρους αγορών ΗΕ. Η διασυνοριακή εμπορία ηλεκτρισμού αρχικά λαμβάνει χώρα σε τοπικό επίπεδο στοχεύοντας στην επίτευξη της πανευρωπαϊκής σύζευξη των αγορών και κατά συνέπεια στην σύγκλιση σε μία ενιαία εσωτερική αγορά ΗΕ[34]. Οι δύο βασικοί πυλώνες του Μοντέλου Στόχου είναι:

1. Η ανάπτυξη τοπικών χονδρεμπορικών αγορών, στις οποίες οι τιμές παρέχουν σημαντικά οικονομικά σήματα για την λειτουργία και τις επενδύσεις σε παραγωγικό επίπεδο
2. Η σύζευξη των αγορών που βασίζεται στις οδηγίες τις ΕΕ σχετικά με την διασυνοριακή κατανομή δυναμικότητας



Εικόνα 16 Το Μοντέλο Στόχος της ΕΕ

Η σημαντικότερη κατευθυντήρια γραμμή για την υλοποίηση του Μοντέλου Στόχου τέθηκε με τον κανονισμό (ΕΚ) 2015/1222 «*σχετικά με τον καθορισμό κατευθυντήριων γραμμών για την κατανομή της δυναμικότητας και τη διαχείριση της συμφόρησης*». Με τον συγκεκριμένο κανονισμό η ΕΕ υποχρεώνει τα μέλη της να θεσπίσουν Ορισθείς Διαχειριστές Αγοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας (ΟΔΑΗΕ, Nominated Electricity Market Operator (NEMO)). Οι NEMOs κάθε ζώνης αποτελούν την οντότητα που είναι υπεύθυνη για την από κοινού λειτουργία



της αγοράς ΗΕ στα διάφορα στάδια της (Day ahead coupling, Intraday Coupling). Άλλοι κανονισμοί που προσέφεραν στην διάρθρωση της αγοράς είναι:

- Κανονισμός (ΕΕ) 2016/1719 «*σχετικά με τον καθορισμό κατευθυντήριας γραμμής για τη μελλοντική κατανομή δυναμικότητας*»
  - Δυνατότητα μακροπρόθεσμων εμπορικών συναλλαγών διαζωνικού εμπορίου για την εξασφάλιση δικαιωμάτων μεταφοράς
- Κανονισμός (ΕΕ) 2017/2195 «*σχετικά με τον καθορισμό κατευθυντήριας γραμμής για την εξισορρόπηση ηλεκτρικής ενέργειας*»
- Κανονισμός (ΕΕ) 2017/1485 «*σχετικά με τον καθορισμό κατευθυντήριων γραμμών για τη λειτουργία του συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας*»

Το πλαίσιο του Μοντέλου Στόχου της ΕΕ περιλαμβάνει τέσσερα επιμέρους στάδια χονδρικής αγοράς (wholesale market) για διαφορετικό χρονικό προγραμματισμό. Τα τέσσερα στάδια σύμφωνα με την περιγραφή του ΑΔΜΗΕ είναι:

- Αγορά μελλοντικής παράδοσης ενέργειας/Αγορά προθεσμιακών προϊόντων (EXE)
  - Ηλεκτρική ενέργεια ανταλλάσσεται σε μεσοπρόθεσμο ορίζοντα. Σε μια μελλοντική ή προθεσμιακή σύμβαση, τα μέρη συμφωνούν σε μια τιμή για την πώληση ηλεκτρικής ενέργειας στο μέλλον (π.χ. έτος  $x + 1$  ή  $x + 2$ )
- Προ-ημερήσια αγορά (EXE)
  - Εντολές συναλλαγών ΗΕ με υποχρέωση φυσικής παράδοσης την επόμενη ημέρα. Στην αγορά επόμενης ημέρας δηλώνονται επίσης και οι ποσότητες ενέργειας που έχουν δεσμευτεί μέσω διενέργειας συναλλαγών επί προθεσμιακών προϊόντων, που έχουν πραγματοποιηθεί είτε μέσω της χονδρικής αγοράς προθεσμιακών προϊόντων, είτε εκτός αυτής. Παράλληλα, θα πραγματοποιείται έμμεση κατανομή (implicit allocation) της μεταφορικής ικανότητας στις διασυνδέσεις, μέσω σύζευξης των αγορών επόμενης ημέρας των Ευρωπαϊκών χωρών.
- Ενδοημερήσια αγορά (EXE)
  - Εντολές συναλλαγών για φυσική παράδοση την ημέρα εκπλήρωσης φυσικής παράδοσης, μετά τη λήξη της προθεσμίας υποβολής εντολών συναλλαγών στην αγορά επόμενης ημέρας, λαμβάνοντας υπόψη τις ποσότητες ενέργειας που έχουν δεσμευτεί μέσω διενέργειας συναλλαγών επί προθεσμιακών προϊόντων ηλεκτρικής ενέργειας τις οποίες έχουν πραγματοποιήσει, τα αποτελέσματα της αγοράς επόμενης ημέρας, καθώς και τυχόν περιορισμούς που έχουν προκύψει από την αγορά εξισορρόπησης. Οι συμμετέχοντες δύνανται να προβαίνουν σε συναλλαγές προκειμένου να ελαχιστοποιήσουν την απόκλιση της καθαρής θέσης τους που προκύπτει από τις συναλλαγές σε όλες τις αγορές, από τις πωλούμενες/αγορασθείσες ποσότητες σε πραγματικό χρόνο.

- Αγορά εξισορρόπησης (ΑΔΜΗΕ)
  - περιλαμβάνει την αγορά εξισορρόπησης ισχύος, την αγορά εξισορρόπησης ενέργειας, καθώς και τη διαδικασία εκκαθάρισης αποκλίσεων. Οι Συμμετέχοντες έχουν υποχρέωση υποβολής προσφορών με υποχρέωση φυσικής παράδοσης για το σύνολο της διαθέσιμης ισχύος τους, τόσο στην αγορά ενέργειας εξισορρόπησης όσο και στην αγορά ισχύος εξισορρόπησης

Τον Ιούνιο του 2019, εγκρίθηκε μια «*Τέταρτη δέσμη μέτρων για την ενέργεια*», που αποτελείται από μία οδηγία (οδηγία για την ηλεκτρική ενέργεια 2019/944/ΕΕ) και τρεις κανονισμούς: τον κανονισμό για την ηλεκτρική ενέργεια (2019/943/ΕΕ), τον κανονισμό για την ετοιμότητα αντιμετώπισης κινδύνων (2019/941/ΕΕ) και τον κανονισμό για τον Οργανισμό Συνεργασίας των Ρυθμιστικών Αρχών Ενέργειας (ACER) (2019/942/ΕΕ). Η τέταρτη δέσμη μέτρων για την ενέργεια, εισάγει νέους κανόνες για την αγορά ΗΕ προκειμένου να ανταποκριθεί στις ανάγκες ένταξης ακόμη περισσότερων ΑΠΕ και να προσελκύσει επενδύσεις. Ουσιαστικά με την τέταρτη δέσμη μέτρων η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας στην Ευρώπη απελευθερώνεται και φιλελευθεροποιείται οριστικά, υποχρεώνοντας τα κράτη μέλη και τις επιμέρους περιοχές ελέγχου να συμμορφωθούν με τις αποφάσεις σχετικά με την κατανομή δυναμικότητας και σύζευξης των αγορών.

## 7.3 Σύζευξη αγορών

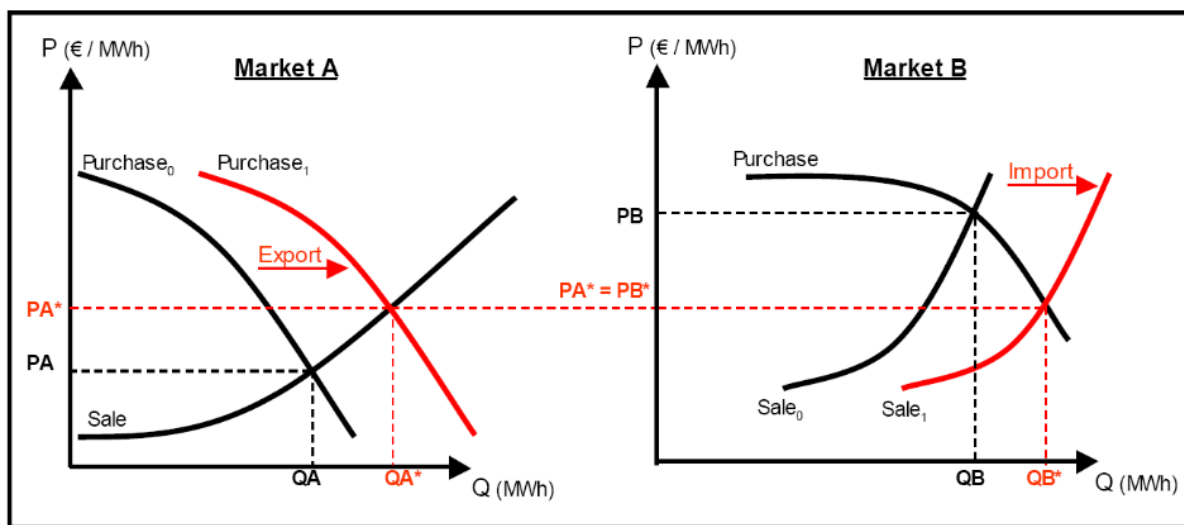
### Βασική ιδέα

Βασικό συστατικό του Μοντέλου Στόχου για την επίτευξη της ΕΑΕ όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω αποτελεί η βελτιστοποίηση της συνεργασίας μεταξύ των επιμέρους ηλεκτρικών δικτύων της Ευρώπης. Το εργαλείο με το οποίο η συνεργασία αυτή πραγματώνεται είναι η σύζευξη των αγορών ή αλλιώς η ενοποιημένη λειτουργία δύο ή περισσότερων ζωνών ελέγχου σαν να ήταν μία. Στόχος είναι η οργάνωση και εξισορρόπηση της ευρύτερης αγοράς για τα διαφορετικά στάδια της. Η σύζευξη των αγορών όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενα κεφάλαια σε τεχνικό επίπεδο γίνεται μέσω των ισχυρών διασυνδέσεων που διευρύνουν τα εθνικά δίκτυα.

Η γενικότερη ιδέα και βάση της σύζευξης των αγορών επισημαίνεται με το ακόλουθο παράδειγμα. Εάν θεωρήσουμε δύο περιοχές/αγορές την **A** και την **B** με:

- τιμές εκκαθάρισης  $P_A$  και  $P_B$ , όπου  $P_A < P_B$
- πλεόνασμα ενέργειας στην περιοχή **A**

Τότε η περιοχή **A** μπορεί να εξάγει από το πλεόνασμα της (σε χαμηλότερη τιμή) στην περιοχή **B** μειώνοντας έτσι την τιμή εκκαθάρισης της. Με τον τρόπο αυτό έχουμε πως  $P_B' < P_B$ , όμως  $P_A' > P_A$ .



Εικόνα 17 Παράδειγμα σύζευξη δύο αγορών ΗΕ[35]

Όπως φαίνεται και στο παραπάνω γράφημα η τιμή εκκαθάρισης για τις δύο περιοχές θα είναι κοινή ( $P_A' = P_B'$ ). Αυτό ισχύει μόνο στην περίπτωση όπου η διασυνδετική ικανότητα μεταξύ των αγορών δεν εξαντλείται. Σε άλλη περίπτωση, όταν δηλαδή παρατηρείται **συμφόρηση** των γραμμών, η οποία δεν επιτρέπει την πραγματοποίηση ολόκληρης της ροής, τότε συμβαίνει απόζευξη των αγορών καθώς η τιμή εκκαθάρισης της κάθε περιοχής είναι διαφορετική ( $P_A' \neq P_B'$ ).

Εκ πρώτης όψευς φαίνεται πως η περιοχή Α βρίσκεται σε δυσμενέστερη κατάσταση. Θα ήταν άδικο να σταθούμε σε αυτό. Λαμβάνοντας υπόψη την γενικότερη στρατηγική της ΕΕ για την διαμόρφωση ενιαίας εσωτερικής αγοράς ΗΕ η παραπάνω λογική δεν φαίνεται και τόσο παράλογη. Όπως έχει αναφερθεί η ενεργειακή πολιτική της η ΕΕ προωθεί

- την ανάπτυξη ΑΠΕ σε κλίμακα
- την αυξημένη δυνατότητα διασύνδεσης
- τεχνολογίες αποθήκευσης ενέργειας

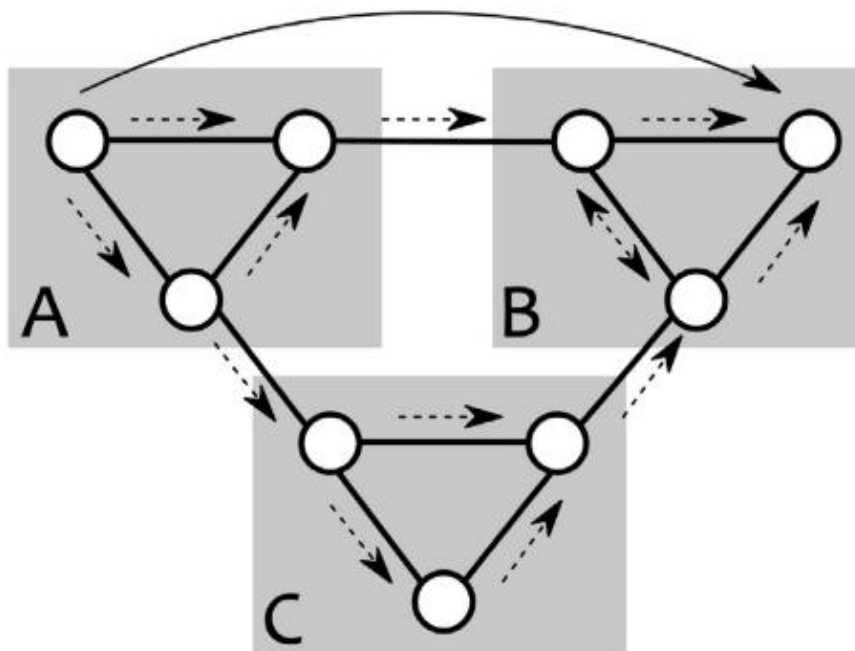
Το γεγονός που συνδέει και επί της ουσίας δίνει νόημα στα παραπάνω είναι το σχεδόν μηδενικό κόστος της ενέργειας από ΑΠΕ. Κατ' αυτή την λογική η αύξηση της εγκατεστημένης ισχύς των ΑΠΕ σε ένα πανευρωπαϊκό σύστημα με ισχυρές διασυνδεδεμένες ικανότητες και ικανότητα αποθήκευσης δύναται να εξυπηρετήσει τις ενεργειακές ανάγκες της Ευρώπης απεξαρτώντας την από ορυκτά καύσιμα και εξωτερικές ενεργειακές εξαρτήσεις. Προφανώς δεν αρκούν μόνο αυτά καθώς το σύστημα πλέον παίρνει μια πιο πολύπλοκη μορφή. Απαιτούνται και πολλές ακόμα υπηρεσίες εξισορρόπησης που προηγούμενα συγκεντρώσαμε στον όρο της ευελιξίας του συστήματος.

Επομένως η ΕΕ επενδύει στην ανάπτυξη των αναγκαίων υποδομών που θα της επιτρέψουν την ολοκλήρωση της Εσωτερικής Ενεργειακής Αγοράς. Παράλληλα αναδιαμορφώνει διαρκώς τις οικονομικές λειτουργίες της αγοράς ώστε να συμβαδίζει με τις τεχνικές απαιτήσεις διασφαλίζοντας τον ανταγωνισμό μεταξύ των παικτών με όρους διαφάνειας και αμεροληψίας, στοχεύοντας πάντα στην επίτευξη των περιβαλλοντικών στόχων, την αύξηση του κοινωνικού πλεονάσματος και στην προστασία του καταναλωτή.

### 7.3.1 Συμφόρηση και διαχείριση διασυνδέσεων

Η συμφόρηση περιγράφει την κατάσταση κατά την οποία μια διασυνδεδετική γραμμή μεταξύ εθνικών δικτύων δεν μπορεί να ικανοποιήσει όλες τις ροές που οφείλονται σε διεθνείς εμπορικές συμφωνίες, λόγω της περιορισμένης ικανότητας των διασυνδέσεων. Παράλληλα η συμφόρηση αποτελεί ουσιαστικά και το τεχνικοοικονομικό σήμα που δίνει τις επαρκείς ενδείξεις στους επιμέρους διαχειριστές είτε για την καλύτερη διαχείριση των παραγωγικών μονάδων και του δικτύου, είτε για την επένδυση και ενδυνάμωση γραμμών μεταφοράς μεταξύ των εθνικών δικτύων, για την ενίσχυση της μεταφορικής ικανότητας.

Ένα άλλο εμπόδιο που αφορά την κατανομή δυναμικότητας μεταξύ γειτονικών ζωνών είναι η τοπολογία του δικτύου και η φύση των ΣΗΕ. Η δυσκολία έγκειται στο διαχωρισμό μεταξύ εμπορικών ροών (δηλ. το συντομότερο μονοπάτι μεταξύ παραγωγού και καταναλωτή) και των φυσικών ροών (δηλ. ροή μέσω παράλληλων διαδρομών σύμφωνα με τον νόμο του Kirchhoff). Σύμφωνα με την μελέτη των K. Van den Bergh et al [36], η εμπορική ροή μεταξύ δύο ζωνών έχει ως αποτέλεσμα την φυσική ροή σε όλο το σύστημα. Όπως φαίνεται στην εικόνα μια εμπορική ροή από την ζώνη A στην ζώνη B (συμπαγές βέλος) πραγματοποιείται με την φυσική ροή μεταξύ των τριών ζωνών A,B,C (διακεκομμένα βέλη).



Εικόνα 18 Εμπορική ροή ισχύος μεταξύ A και B, προκαλεί ροή από A σε B διαμέσων του C

Η κατανομή δυναμικότητας γίνεται με δημοπρατήσεις ικανότητας μεταφοράς. Οι δύο παραδοσιακοί τρόποι καθορισμού της χρήσης και κατανομής της μεταφορικής ικανότητας των διασυνδεδετικών ικανοτήτων μεταξύ ανταγωνιζόμενων επιχειρήσεων είναι οι άμεσες δημοπρασίες (explicit auction) και οι έμμεσες δημοπρασίες (implicit auction). Στις άμεσες δημοπρασίες γίνεται δημοπράτηση μόνο του δικαιώματος μεταφορικής ικανότητας σε ένα σύνορο ή γραμμή μεταφοράς, χωρίς η κατανομή να συσχετίζεται με την αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και την παραγωγή των μονάδων στις δύο πλευρές των συνόρων. Στις έμμεσες

δημοπρασίες, τα δικαιώματα μεταφοράς ενέργειας δεν δημοπρατούνται αλλά προσδιορίζονται από τις οικονομικές συναλλαγές στην αγορά ενέργειας και τις ροές ενέργειας μεταξύ των συνόρων που προκύπτουν από τις αγορές.

Για τον προσδιορισμό των τεχνικών περιορισμών επί των διαζωνικών γραμμών μεταφοράς χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο δύο μεθοδολογίες. Οι δύο αυτοί τρόποι κατανομής διασυνδεδετικής ικανότητας είναι:

1. Προσέγγιση «**διαθέσιμης ικανότητας μεταφοράς**» (**Available Transfer Capacity-ATC**)

- Απλοϊκή προσέγγιση. Αναπαράσταση ολόκληρου του δικτύου μιας ζώνης ως 1 μόνο συγκεντρωμένο κόμβο. Αναπαράσταση της συνολικής ικανότητας διασύνδεσης μεταξύ κόμβων ζωνών ως 1 ακμή.
- Πρόκειται για κατανομή που προκύπτει πριν την εκκαθάριση της αγοράς και υπολογίζεται ως η μέγιστη εμπορική ανταλλαγή μεταξύ 2 ζωνών συνυπολογίζοντας τεχνικούς περιορισμούς και τυποποιημένα μέτρα ασφαλούς λειτουργίας
- *Μεγάλα περιθώρια ασφάλειας → Περιορισμένη ικανότητα μεταφοράς*

2. Προσέγγιση «**με βάση την ροή ενέργειας**» (**Flow Based- FB**)

- Πιο περίπλοκη προσέγγιση. Λαμβάνει υπόψη την τοπολογία του δικτύου, καταστρώνονται οι νόμοι του Kirchhoff.
- Κατανομή που επιδιώκει των συγχρονισμό του υπολογισμού της ικανότητας μεταφοράς με την εκκαθάριση της αγοράς.
- *Μικρότερα περιθώρια ασφάλειας → Μεγαλύτερη ικανότητα μεταφοράς*

Στην FB μέθοδο οι ροές σε όλες τις γραμμές μεταφοράς επηρεάζουν την καθαρή θέση της κάθε περιοχής. Ακόμη η κατανομή διασυνδεδετικής ικανότητας στο FB μοντέλο συμβαίνει εν μέρει πριν την πραγματοποίηση των εμπορικών συναλλαγών όπως και στην περίπτωση του ATC μοντέλου, και εν μέρει κατά τον πραγματικό χρόνο. Αντίθετα, στη μέθοδο ATC η ανταλλαγή ενέργειας σε ένα σύνορο αγνοεί τις υπόλοιπες ροές και τους νόμους του Kirchhoff, θεωρώντας πως οι ροές ενέργειας μπορούν πλήρως να ελεγχθούν.

Σε γενικές γραμμές το FB μοντέλο παρόλο που είναι πιο πολύπλοκο, καθώς λαμβάνονται υπόψη πολλά διαφορετικά στοιχεία του δικτύου (Generation Shift Keys, Power Transfer Distribution Factors), η χρήση του σε αντίθεση με το ATC μοντέλο προσφέρει την καλύτερη διαχείριση της συμφόρησης και κατ' επέκταση τον βέλτιστο υπολογισμό της κατανομής διασυνδεδετικής ικανότητας. Προφανώς και η βελτιστοποίηση της χρήσης των διασυνδέσεων, προκαλεί και την βελτιστοποίηση της οικονομικής λειτουργίας του συστήματος όπως επιβεβαιώνουν και οι I. Aravena et al[35] στην μελέτη τους συγκρίνοντας τις δύο προαναφερθείσες μεθόδους.

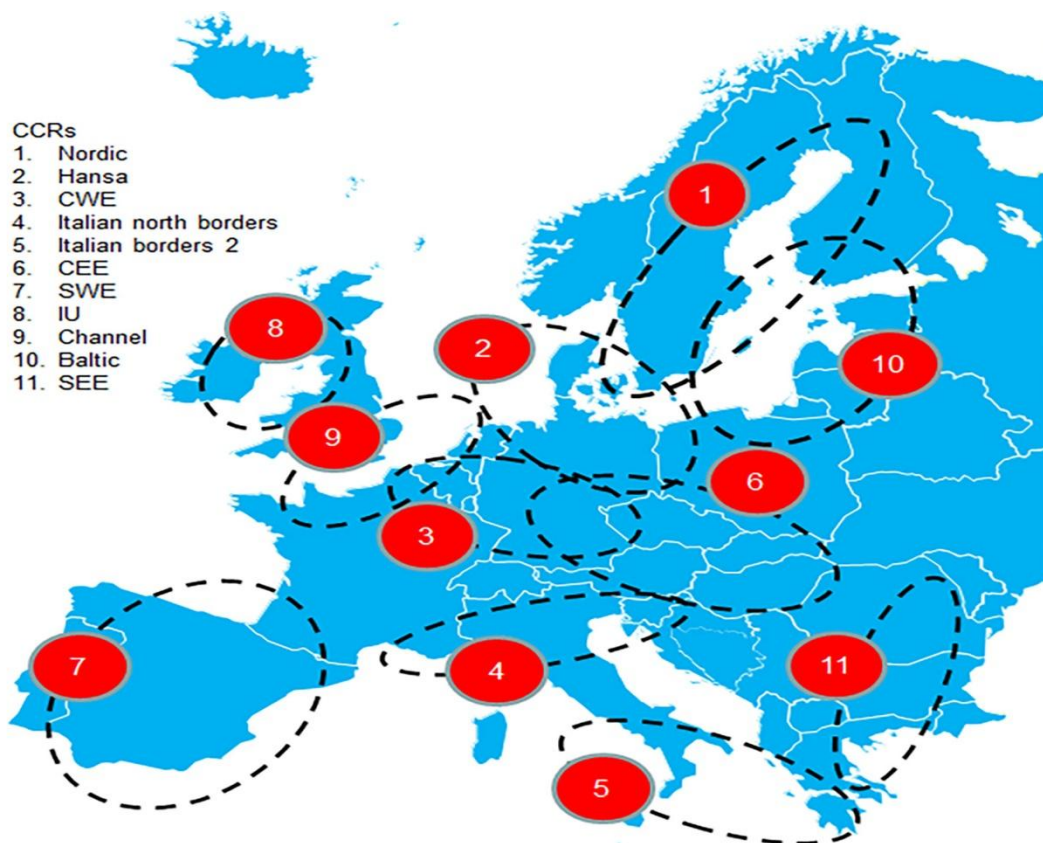
### 7.3.2 Σύζευξη αγορών στην Ευρώπη

Στο ενότητα αυτή γίνεται μια μικρή μνεία στην ιστορική εξέλιξη της σύζευξης των αγορών στην Ευρώπη, η οποία θα καταλήξει στην κατάσταση που επικρατεί σήμερα στην ΕΕ σχετικά με την πραγμάτωση της ΕΑΕ. Επίσης το παρόν μέρος του κεφαλαίου επικεντρώνεται στην «γειτονία» της Ελλάδας, δηλαδή τη ΝΑ Ευρώπη που αποτελεί εξάλλου και περιοχή ελέγχου για το πρακτικό μέρος της εργασίας.

Αρχικά πρέπει να γίνει σαφές ότι η σύζευξη των αγρών αφορά την ενοποιημένη λειτουργία ορισμένων σταδίων της αγοράς (προ ημερησίας και ενδοημερήσια αγορά). Γίνεται μέσω κοινά αποδεκτών εργαλείων, με έμμεσες δημοπρατήσεις και έναν από τις δύο μεθοδολογίες υπολογισμού δυναμικότητας που προαναφέρθηκαν (ATC, FB). Επιγραμματικά το ιστορικό της σύζευξης των αγορών στην Ευρώπη:

- 2006: Τριμερής σύζευξη αγορών Γαλλίας, Βελγίου, Ολλανδίας
- 2010: Συμμετοχή της Γερμανίας και Λουξεμβούργου στην Τριμερή σύζευξη και ολοκλήρωση της Κεντροδυτικής σύζευξης αγορών γνωστή ως CWE (Central Western Europe) Market Coupling
- 2014: Δημιουργία του Multi Regional Coupling (MRC), δηλαδή σύζευξη αγορών ΒΔ και ΝΔ Ευρώπης μέσω του εργαλείου «Σύζευξη Τιμών των Περιφερειών» (Price Coupling of Regions-PCR)
  - Συμμετοχή Βελγίου, Δανίας, Εσθονίας, Φινλανδίας, Γαλλίας, Γερμανίας/ Αυστρίας, Μεγάλης Βρετανίας, Λετονίας, Λιθουανίας, Λουξεμβούργου, Ολλανδίας, Νορβηγίας, Πολωνίας, Σουηδίας, Πορτογαλίας, Ισπανίας
- 2014: 4M σύζευξη αγορών Τσεχίας, Σλοβακίας, Ουγγαρίας, Ρουμανίας
- 2015: Ιταλία και Σλοβενία συνδέονται με το MRC
- 2018: Κροατία συνδέεται με MRC
- 2020: Ελλάδα συνδέεται με MRC
- 2021: Βουλγαρία συνδέεται με MRC

Ουσιαστικά με την συμμετοχή των NEMOs, που διαχειρίζονται τις διάφορες περιοχές προσφοράς, την συμμετοχή των ΔΣΜ των επιμέρους χωρών δημιουργείται μια **Ενιαία Προ Ημερησίας Σύζευξη Αγοράς (Single Day-Ahead Coupling -SDAC)**. Σύμφωνα με το άρθρο 2 του κανονισμού (ΕΚ) 2015/1222 «*σχετικά με τον καθορισμό κατευθυντήριων γραμμών για την κατανομή της δυναμικότητας και τη διαχείριση της συμφόρησης*» ορίζονται Περιοχές Υπολογισμού Δυναμικότητας (**Capacity Calculation Regions- CCR**) οι οποίες αφορούν 2 ή περισσότερες ζώνες προσφοράς. Οι ΔΣΜ, οι NEMOs και οι ρυθμιστικές αρχές των CCR είναι επιφορτισμένες με την ανάπτυξη κοινής μεθοδολογίας για την κατανομή δυναμικότητας και γενικότερα όλων εκείνων των διαδικασιών και κανόνων που περιβάλλουν αυτή τη βασική διαδικασία.



Εικόνα 19 Περιοχές υπολογισμού κατανομής διασυνδετικής ικανότητας (CCRs)[35]

Η μεθοδολογία υπό την οποία τελείται η διαδικασία αυτή είναι η **Σύζευξη Τιμών των Περιφερειών (Price Coupling of Regions-PCR)**. Σύμφωνα με το Ελληνικό Χρηματιστήριο ενέργειας η PCR αποτελεί μία ενιαία λύση σύζευξης τιμών που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας σε όλη την Ευρώπη με σεβασμό των περιορισμών στη χωρητικότητα δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε καθημερινή βάση. Το PCR βασίζεται σε τρεις βασικές αρχές: έναν αλγόριθμο, στιβαρή λειτουργία και δυνατότητα αποσυζευγμένων ανταλλαγών ενέργειας. Ο κοινός αλγόριθμος εν προκειμένω ονομάζεται EURHEMIA (Pan-European Hybrid Electricity Market Integration Algorithm) και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της κατανομής δυναμικότητας μέσω έμμεσων δημοπρατήσεων, των καθαρών θέσεων και των τιμών ηλεκτρικής ενέργειας σε ολόκληρη την Ευρώπη. Η διαδικασία αυτή τελείται υπό αυστηρούς όρους διαφάνειας ώστε να εξασφαλίζεται η ανταγωνιστικότητα μεταξύ των παικτών και η βέλτιστη οικονομική λειτουργία της αγοράς.

Επόμενο στάδιο που δύναται να φέρει την ΕΕ ακόμη πιο κοντά στην εφαρμογή του Μοντέλου Στόχου και την Εσωτερική Αγορά Ηλεκτρικής Ενέργειας είναι η **Ενιαία Σύζευξη των Ενδοημερήσιων Αγορών (Single Intraday Coupling- SIDC)** των επιμέρους ζωνών προσφοράς. Με τον τρόπο αυτό οι συμμετέχοντες στην αγορά μπορούν να διαπραγματεύονται και να βελτιώνουν ανισορροπίες της θέσης τους επωφελούμενοι από την ενδοημερίσια ρευστότητα σε εθνικό αλλά πλέον και διεθνές επίπεδο. Η SIDC λειτουργεί στις περισσότερες χώρες όπου λειτουργεί και η SDAC, πέραν ορισμένων ζωνών προσφοράς που πρόκειται να ενταχθούν και αυτές τα προσεχή έτη. Η SIDC λειτουργεί υπό κοινά

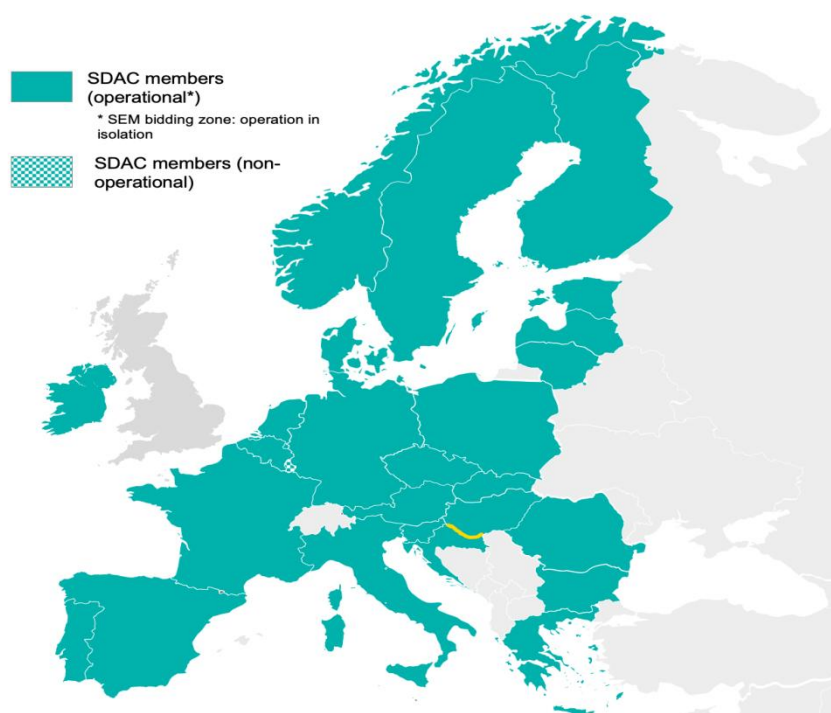


αποδεκτό πλαίσιο από όλες τις συμβαλλόμενες ζώνες, το οποίο βασίζεται σε ένα κοινό πληροφοριακό σύστημα που αποτελεί τη ραχοκοκαλιά της ευρωπαϊκής λύσης, το οποίο συνδέει τα τοπικά συστήματα συναλλαγών που λειτουργούν από τα Χρηματιστήρια Ενέργειας, καθώς και τη διαθέσιμη ικανότητα διασυνοριακής μεταφοράς που παρέχεται από τους ΔΣΜ. Οι εντολές που εισάγονται από συμμετέχοντες στην αγορά σε μια χώρα μπορούν να αντιστοιχιστούν με εντολές που έχουν υποβληθεί παρόμοια από τους συμμετέχοντες στην αγορά σε οποιαδήποτε άλλη χώρα εντός της εμβέλειας των πληροφοριακών συστημάτων, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει διαθέσιμη διασυνοριακή χωρητικότητα.

### 7.3.3 Η κατάσταση στην ΝΑ Ευρώπη

#### Ελλάδα & λοιπά κράτη μέλη της ΕΕ

Στα προηγούμενα κεφάλαια έγινε εκτενής αναφορά και επεξήγηση της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ. Επίσης παρουσιάστηκε και το Μοντέλο Στόχος για την αγορά ΗΕ το οποίο με την σύζευξη των προ ημερησίας αγοράς και ενδοημερήσιας αγοράς φέρνει την ΕνΕ και τα συμβαλλόμενα μέρη πιο κοντά στην επίτευξη της ΕΑΗΕ. Υπό αυτό το πλαίσιο στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η κατάσταση που επικρατεί στην Ελλάδα και γενικότερα στην ΝΑ Ευρώπη.



Εικόνα 20 Κράτη μέλη που συμμετέχουν στην σύζευξη της προ ημερησίας αγοράς[37]

Όσον αφορά την Ελλάδα, η εναρμόνιση της με τους κανονισμούς και τις οδηγίες της ΕΕ («Δέσμες μέτρων για την ενέργεια») έφερε μια σειρά νομοθετικών πράξεων (2773/1999, 3426/2005, 4001/2011) οι οποίες απελευθέρωσαν την αγορά ΗΕ. Η φιλελευθεροποίηση και το άνοιγμα της αγοράς ουσιαστικά ολοκληρώθηκε με τον νόμο 4425/2016 που επί της ουσίας εισήγαγε το ευρωπαϊκό Μοντέλο Στόχος στην Ελλάδα. Μετά από αυτές τις διεργασίες η αγορά ανοίγεται σε πληθώρα παικτών (παραγωγών και προμηθευτών) και εγκαταλείπει το μονοπωλιακό καθετοποιημένο μοντέλο της Δημόσιας Επιχείρησης Ηλεκτρισμού. Οι πλέον πρόσφατες εξελίξεις αφορούν τον νόμο 4512/2018 ο οποίος όρισε τις τέσσερις αγορές που αναφέρθηκαν προηγούμενα (Προθεσμιακή αγορά, Προ ημερησίας αγορά, Ενδοημερήσια αγορά, Αγορά εξισορρόπησης) και έφερε τη δημιουργία του Ελληνικού Χρηματιστηρίου Ενέργειας (όμιλος ΗΕπΕΧ) που επιφορτίζεται με την λειτουργία της αγοράς ΗΕ (η αγορά εξισορρόπησης λειτουργεί υπό τον ΑΔΜΗΕ).

Η ελληνική αγορά ΗΕ πλέον αποτελεί μέρος της SDAC. Η σύζευξη της στην ενιαία προ ημερησίας αγορά πραγματοποιείται μέσω του εργαλείου της σύζευξης τιμών περιφερειών (PCR) και του αλγόριθμου EURHEMIA που έχει ενοποιήσει την λειτουργία της προ ημερησίας αγοράς με τις αντίστοιχες της Ιταλίας (Δεκέμβριος 2020) και της Βουλγαρίας (Μάιος 2021).

Οι NEMOs και οι ΔΣΜ Βουλγαρίας και Ιταλίας ήδη από το 2019 και το 2020 αντίστοιχα συμμετέχουν στην ενιαία σύζευξη ενδοημερήσιων αγορών (SIDC). Από το 2 Τον Σεπτέμβρη του 2021 η ελληνική αγορά ΗΕ έκανε ένα βήμα παραπάνω για την επίτευξη του Μοντέλου Στόχου καθώς ολοκληρώθηκε η σύζευξη της ενδοημερήσιας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας με την γειτονική Ιταλία και την γειτονική της Σλοβενία. Η ενδοημερήσια αγορά της Ελλάδας αναμένεται να εναρμονιστεί πλήρως με την SIDC το 2022.

Ανακεφαλαιώνοντας, λοιπόν, οι χώρες των Βαλκανίων, που ανήκουν στην ΕΕ, των οποίων οι αγορές λειτουργούν συζευγμένα είναι :

	SDAC	SIDC
<b>Βουλγαρία</b>	✓	✓
<b>Ελλάδα</b>	✓	
<b>Ιταλία</b>	✓	✓
<b>Κροατία</b>	✓	✓
<b>Ουγγαρία</b>	✓	✓
<b>Ρουμανία</b>	✓	✓
<b>Σλοβακία</b>	✓	
<b>Σλοβενία</b>	✓	✓

Πίνακας 1 Συμμετοχή των χωρών της ΝΑΕ στην σύζευξη των αγορών ΗΕ

## *Δυτικά Βαλκάνια και Τουρκία*

Η ΝΑ Ευρώπη αποτελεί περιοχή ιδιαίτερου ενδιαφέροντος σε γεωπολιτικό επίπεδο και σε επίπεδο ενεργειακής πολιτικής λόγω των ευρωπαϊκών προσδοκιών για ενσωμάτωση των δυτικών Βαλκανικών (ΔΒ) χωρών και τη θέση της περιοχής στα περιθώρια της ευρωπαϊκής ΕΑΗΕ. Πέραν των χωρών που αναφέρθηκαν προηγουμένως, και ανήκουν στην ΕΕ, την γειτονιά των Βαλκανίων συμπληρώνουν ακόμα έξι χώρες: Αλβανία, Βοσνία Ερζεγοβίνη, Βόρεια Μακεδονία, Μαυροβούνιο, Κόσοβο και Σερβία.

Η γέφυρα που συνδέει ενεργειακά σε επίπεδο πολιτικής αυτές τις χώρες των Βαλκανίων και ορισμένες ακόμα (Μολδαβία, Ουκρανία, Γεωργία) είναι η Ενεργειακή Κοινότητα(ΕνΚ) (Energy Community). Ο διεθνής οργανισμός αυτός, ιδρύθηκε το 2005 με την υπογραφή σχετικής συνθήκης στην Αθήνα. Στόχος της ΕνΚ είναι η επέκταση των αρχών και κανονισμών της ευρωπαϊκής ΕΑΗΕ στις χώρες της ΝΑ Ευρώπης και της Μαύρης Θάλασσας. Με την πρωτοβουλία των Δυτικών Βαλκανίων 6 (Western Balkans 6 Initiative) και τα Μνημόνια Κατανόησης (Memorandum of Understanding) τα συμβαλλόμενα μέρη συμφώνησαν για την εφαρμογή «χαλαρών ενεργειακών μέτρων» που πρόκειται να εξομαλύνουν νομοθετικά και ρυθμιστικά εμπόδια και να ενδυναμώσουν τις απαραίτητες θεσμικές δομές για την λειτουργία μια αγοράς ΗΕ στην περιοχή σύμφωνα με τα ενεργειακά κκτημένα της ΕΕ.

Όπως αναφέρουν στην μελέτη τους οι S. Borozan et al [38], η ΝΑΕ είναι ένα ποικιλόμορφο μέρος της Ευρώπης που αποτελείται από χώρες που βρίσκονται σε διαφορετικά στάδια δομικών αλλαγών σχετικά με την εφαρμογή της ΕΑΗΕ. Η εξάπλωση των ενεργειακών πολιτικών της ΕΕ προς τα ΔΒ καταδεικνύει πως η κοινή πρόοδος των χωρών προς την εφαρμογή των απαιτούμενων ρυθμίσεων οδηγεί προς την ανάπτυξη των τομέων της ηλεκτρικής ενέργειας στην περιοχή. Πιο συγκεκριμένα η καθυστέρηση του ανοίγματος της αγοράς, η έλλειψη ρευστότητας και ανταγωνιστικότητας των αγορών των ΔΒ συνδέονται άμεσα με την περιορισμένη πρόοδο της πράσινης ανάπτυξης και των στόχων σχετικά με τις ΑΠΕ. Κατά συνέπεια η ενίσχυση των αγορών, η δημιουργία κινήτρων για περαιτέρω επενδύσεις στο δίκτυο και την ανάπτυξη τεχνολογιών ΑΠΕ πρόκειται να δημιουργήσουν τις αναγκαίες συνθήκες για την ενίσχυση της ανταγωνιστικότητας των παικτών της περιοχής που θα επιφέρει την καθιέρωση του διασυνοριακού εμπορίου και την σταδιακή εναρμόνιση της περιοχής των ΔΒ με τις γειτονικές χώρες μέλη της ΕΕ.

Η Τουρκία ολοκληρώνει το σετ των χωρών που γειτονεύουν με την Ελλάδα και περιλαμβάνονται στην μοντελοποίηση του πρακτικού μέρους της παρούσας εργασίας. Λόγω της θέσης της συνεργάζεται στενά με την ευρωπαϊκή ένωση. Διασυνοριακές γραμμές μεταφοράς την συνδέουν με την Ευρώπη μέσω της Ελλάδας και της Βουλγαρίας. Η αγορά ΗΕ της Τουρκίας δεν έχει απελευθερωθεί πλήρως όπως έχει γίνει με τα κράτη μέλη της ΕΕ. Η διαχείριση του συστήματος μέχρι και σήμερα τελείται από δημόσια εταιρεία. Για τον λόγω αυτό δεν θεωρείται ακόμη μέλος του ENTSO-E. Φυσικά δε μπορεί να παραβλεφθεί το γεγονός ότι πολιτικές διαμάχες για καιρό τώρα δεν έχουν επιτρέψει την ακόμη στενότερη συνεργασία με την ΕΕ.

Τέλος επισημαίνεται ότι η κατανομή δυναμικότητας μεταξύ των χωρών της ΝΑΕ γίνεται με την ATC προσέγγιση. Στην περίπτωση των συζευγμένων χωρών της ΕΕ της ΝΑΕ όπως είδαμε

η κατανομή δυναμικότητας γίνεται με έμμεσες δημοπρατήσεις τόσο στην προ ημερησίας αγορά (κοινά αποδεκτό αλγόριθμό EURHEMIA), όσο και στην ενδοημερήσια αγορά πάντα με την συνεργασία των επιμέρους χρηματιστηρίων ενέργειας που έχουν ορισθεί ως NEMOs. Στην περίπτωση των υπολοίπων χωρών (ΔΒ τα σύνορα τους) η κατανομή δυναμικότητας γίνεται με εμφανείς άμεσες δημοπρατήσεις που πραγματοποιούνται από το Coordinated Auction Office in South East Europe (SEE CAO).

Η μελλοντική κατανομή δυναμικότητας (Forward Capacity Allocation) γίνεται με την απόδοση μακροχρόνιας διαζωνικής δυναμικότητας μέσω δημοπρατήσεων δικαιωμάτων μεταφοράς (long term transmission rights) πριν την εκκαθάριση της προ ημερησίας αγοράς. Η εταιρεία Joint Allocation Office (JAO) έχει ορισθεί ως Ενιαίος Μηχανισμός Κατανομής (Single Allocation Platform) και πραγματοποιεί την εκχώρηση της μακροχρόνιας διασυνοριακής δυναμικότητας για όλους τους ΔΣΜ εντός της ΕΕ μέσω άμεσων δημοπρατήσεων (explicit auctions).

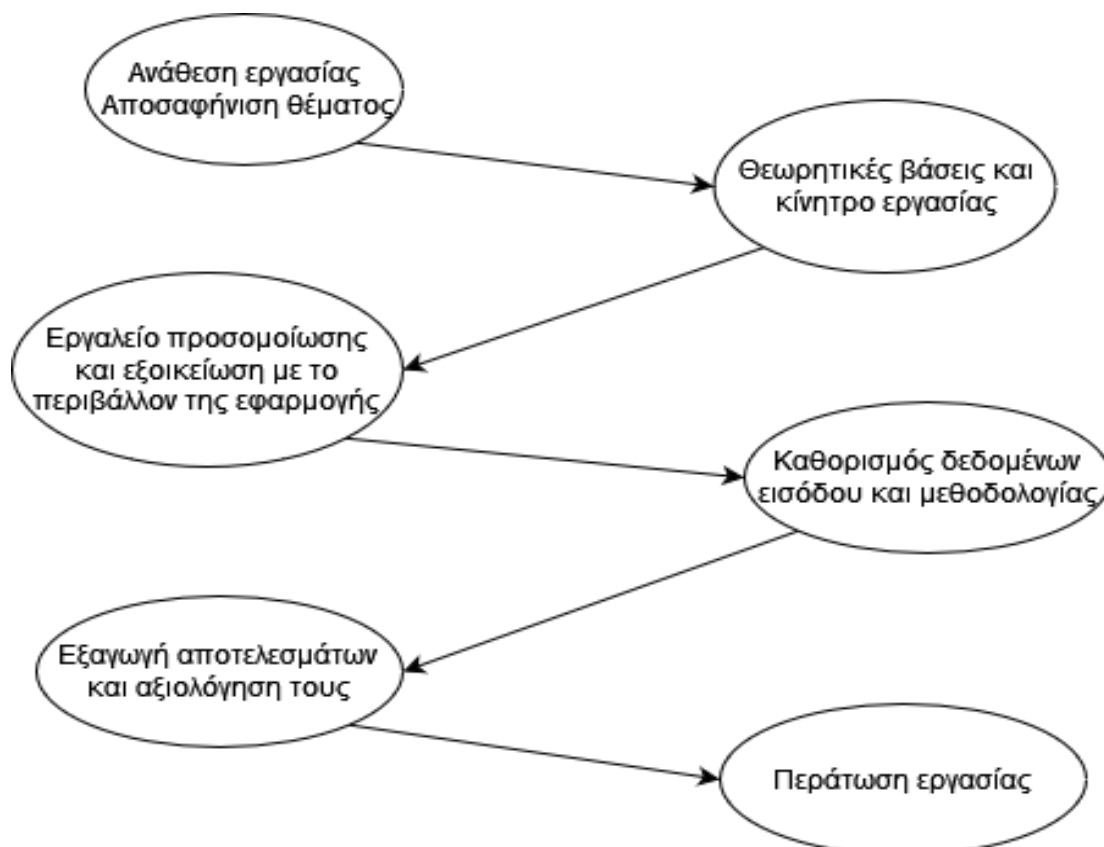


## 8 Πρακτικό μέρος- Μοντελοποίηση

Στο παρόν μέρος της εργασίας παρουσιάζεται το πρακτικό κομμάτι της εργασίας που όπως υποδεικνύεται από προηγούμενες αναφορές αφορά την πρόβλεψη της συμπεριφοράς της ενοποιημένης αγοράς ΗΕ της ΝΑΕ. Η πρόβλεψη γίνεται με την μοντελοποίηση του συστήματος ΗΕ της εν λόγω γεωγραφικής περιοχής για διάφορα κλιμακωτά επίπεδα διεύθυνσης των ΑΠΕ. Σε συμφωνία με την πολιτική της ΕΕ το μοντέλο που αναπτύχθηκε ακολουθεί τον γεωγραφικό διαχωρισμό των χωρών που συμπίπτουν με επιμέρους ζώνες προσφοράς. Στόχος της εργασίας αποτελεί η μελέτη ενός συστήματος με κέντρο την Ελλάδα και τις χώρες που εκείνη συνορεύει.

### Βασική διάρθρωση

Το πρακτικό μέρος της εργασίας λοιπόν αφορά την πρόβλεψη λειτουργίας ενός συστήματος που εκτείνεται στη ΝΑΕ, δηλαδή τα βαλκάνια συν ορισμένα κράτη που συνορεύουν με αυτά. Η πορεία που ακολουθήθηκε για την διαμόρφωση του ερευνητικού μέρους της εργασίας παρουσιάζεται επιγραμματικά και σχηματικά στο ακόλουθο διάγραμμα.



Εικόνα 21 Σχεδιάγραμμα διπλωματικής εργασίας

Αρχικά σε συνεννόηση με τον αρμόδιο επιβλέποντα καθηγητή ορίσαμε το πλαίσιο της εργασίας και τις βασικές κατευθυντήριες γραμμές. Κεντρική θέση και κίνητρο για τη

διαμόρφωση της εργασίας αποτελεί το πρόσφατο άνοιγμα της αγοράς ΗΕ στην Ελλάδα και η σύζευξή της, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένα, με γειτονικές χώρες. Ύστερα ακολούθησε απαραίτητη αναζήτηση και βιβλιογραφική ανασκόπηση ούτως ώστε να αποσαφηνιστεί το αναγκαίο θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας. Η διαδικασία αυτή είχε ως αποτέλεσμα την ανάδειξη του κινήτρου και των βασικών ερωτημάτων που αυτή καλείται να απαντήσει.

Εν συνεχεία αποφασίστηκε με την καθοδήγηση του καθηγητή το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση του συστήματος. Το εργαλείο είναι ένας προσομοιωτής βελτιστοποίησης που ονομάζεται ANTARES Simulator και έχει αναπτυχθεί από τον γαλλικό ΔΣΜ RTE (Réseau de Transport d'Électricité). Την επιλογή της εφαρμογής ακολούθησε μια περίοδος εξοικείωσης και διερεύνησης των δυνατοτήτων της. Το εργαλείο και οι λειτουργίες του αναλύονται στην συνέχεια.

Η εξοικείωση με το περιβάλλον της εφαρμογής επέφερε επί της ουσίας την σύνδεση της αγοράς και του συστήματος ως πραγματική φυσική οντότητα με την εφαρμογή και τις λειτουργίες που αυτή επιτρέπει. Το γεγονός αυτό επέτρεψε τον προσδιορισμό όλων των στοιχείων εισόδου που απαιτούνται για την ανάπτυξη του μοντέλου. Τα δεδομένα εισόδου συλλέχθηκαν από έγκυρες πηγές όπως ο ENTSO-E προσαρμόστηκαν στις ανάγκες της εργασίας και τροφοδοτήθηκαν στο μοντέλο. Καταυτόν τον τρόπο ολοκληρώνεται η διεργασία της μοντελοποίησης και εξάγονται τα επαρκή αποτελέσματα.

Από μια πληθώρα δεδομένων εξόδου τα οποία προκύπτουν από τη μοντελοποίηση, προσδιορίστηκαν αυτά που απαιτούνται για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Για να καταστεί κάτι τέτοιο δυνατό και να γίνει ευκολότερα η ποιοτική εκτίμηση των δεδομένων έγινε η συγκέντρωση και αναπαράσταση των δεδομένων με κατάλληλα εργαλεία (RStudio, Matlab).

Τέλος το πρακτικό μέρος της εργασίας ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των ανωτέρω αποτελεσμάτων και την αξιολόγηση τους.



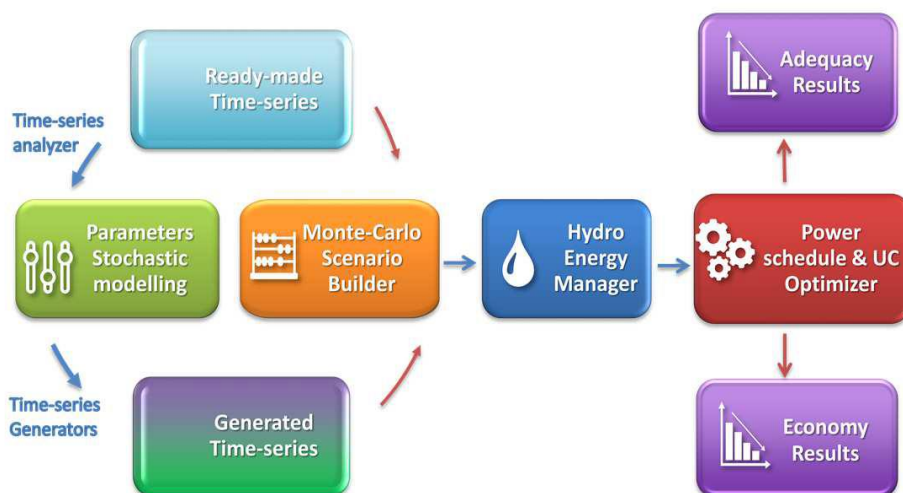
## 8.1 Μεθοδολογία

### 8.1.1 Εργαλείο

Το εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την μοντελοποίηση του συστήματος της NAE είναι ο προσομοιωτής ANTRES (A New Tool for Adequacy Reporting of Electric Systems – ANTARES). Η εφαρμογή αυτή αναπτύχθηκε γύρω στο 2007 από την εταιρεία RTE, ΔΣΜ του γαλλικού δικτύου. Μετά από κοινοτικές οδηγίες (2003/54/EC, 2005/89/EC) προέκυψαν δεσμεύεις προς τα κράτη μέλη της ΕΕ σχετικά με την εκπόνηση αναφορών, με σκοπό την αξιολόγηση της επάρκειας των επιμέρους συστημάτων καθώς επίσης και της αποδοτικότητας τους. Υπό το πλαίσιο αυτό λοιπόν η RTE δημιούργησε το λογισμικό προσομοιώσεων ANTARES αρχικά για την διεκπεραίωση των αξιολογήσεων σε επίπεδο γαλλικού συστήματος και στη συνέχεια διέθεσε το εργαλείο δωρεάν στο διαδίκτυο. Από τη δημιουργία και έπειτα το εργαλείο αυτό έχει χρησιμοποιηθεί σε πλήθος μελετών:

- (RTE) γαλλικός ΔΣΜ : Αναφορές επάρκειας παραγωγής Γαλλικού συστήματος
- (ELIA) βέλγικο ΔΣΜ: ανάλυση επάρκειας βέλγικου συστήματος
- (ENTSO-E): Ten Years Network Development Plan (TYNDP), Midterm Adequacy Forecast(MAF)

#### Βασικές αρχές



Εικόνα 22 Προσομοιωτής ANTARES[37]

Το ANTARES λοιπόν είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα το οποίο χρησιμοποιείται για την προσομοίωση ΣΗΕ με σκοπό την ποσοτικοποίηση της επάρκειας ή της οικονομικής απόδοσης διασυνδεδεμένων δικτύων για σύντομο αλλά και πιο μακρόπνοο χρονικό ορίζοντα. Επισημαίνεται πως το ANTARES δεν είναι προσομοιωτής πραγματικού χρόνου. Επομένως τα φυσικά φαινόμενα και τα χαρακτηριστικά του συστήματος που σχετίζονται με βραχυπρόθεσμες σταθερές (μηχανική αδράνεια κινητήρων, ασφάλειες δικτύου, σφάλματα

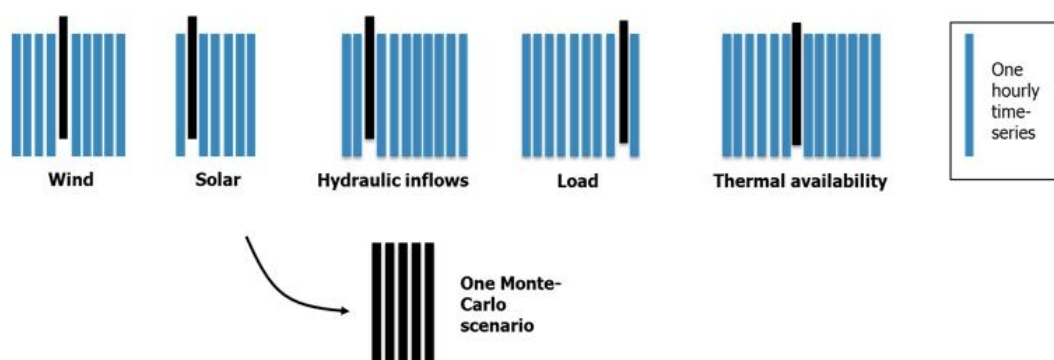
και υπηρεσίες επαναφοράς, αναλυτική τοπολογία) δεν αναπαρίστανται και δεν λαμβάνονται υπόψη στην επίλυση του αλγορίθμου.

Το ANTARES είναι ένας σειριακός προσομοιωτής Μόντε-Κάρλο. Με τον όρο σειριακός επισημαίνεται στην ουσία πως οι προσομοιώσεις ακολουθούν μια χρονική συνέχεια, η οποία ορίζεται από μεταβλητές όπως για παράδειγμα η διαθεσιμότητα των μονάδων παραγωγής για συνεχή σειριακά χρονικά βήματα. Από την άλλη μια προσομοίωση Μόντε-Κάρλο περιγράφει εν γένει μια στοχαστική διαδικασία όπου με χρήση γεννήτριας τυχαίων αριθμών λύνεται πιθανοτικά ένα πρόβλημα. Πρόκειται για μια ανάλυση ρίσκου κατά την οποία όλες οι μεταβλητές που ενέχουν στοχαστικότητα λαμβάνουν τυχαίες τιμές βάσει μιας συγκεκριμένης κατανομής πιθανότητας.

Οι πέντε μεταβλητές εισόδου που μπορούν να σχηματιστούν ως τυχαίες μεταβλητές είναι:

1. Διαθεσιμότητα θερμικών μονάδων παραγωγής
2. Φορτίο
3. Παραγωγή αιολικής ενέργειας
4. Παραγωγή ηλιακής ενέργειας
5. Υδραυλικές εισροές

Την δημιουργία των στοχαστικών μεταβλητών και των καθορισμό των απαιτούμενων χρονοσειρών ακολουθεί ο υπολογισμός των αποτελεσμάτων βάσει αλγορίθμου επαναληπτικά ξανά και ξανά κάθε φορά με διαφορετικό σετ τυχαίων τιμών (σενάριο/έτος Μόντε Κάρλο). Πιο συγκεκριμένα για κάθε προσομοίωση χρειάζεται να προσδιοριστεί πόσα ΜΚ έτη θα προσομοιωθούν. Τα έτη αυτά αντικατοπτρίζουν ουσιαστικά πόσες διαφορετικές και ποιές χρονοσειρές (8760 ωρών) θα χρησιμοποιήσει ο προσομοιωτής. Αφού προσδιοριστούν οι χρονοσειρές λοιπόν για όλα τα ΜΚ σενάρια, ως ξεχωριστό βήμα επιτελείται η διαχείριση των Υ/Η σταθμών και τέλος ο αλγόριθμος της εφαρμογής λύνει ένα πρόβλημα βελτιστοποίησης επαναληπτικά για τα απαιτούμενα έτη. Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται γραφικά ο σχηματισμός ενός σεναρίου/έτους ΜΚ.



Εικόνα 23 Μόντε Κάρλο κλιματικά έτη όπως προσομοιώνονται στον ANTARES [37]

Ο ANTARES διαθέτει έναν αλγόριθμο βελτιστοποίησης για τον αποδοτικότερο προγραμματισμό και κατανομή των μονάδων παραγωγής με στόχο την ικανοποίηση της

ζήτησης στο χαμηλότερο δυνατό κόστος. Κάθε έτος ΜΚ είναι μια διαδοχή από εβδομαδιαία υποπροβλήματα βελτιστοποίησης σκοπός των οποίων είναι η ελαχιστοποίηση του κόστους προμήθειας ΗΕ. Τα προβλήματα αυτά ορίζονται για ολόκληρη την χωρική κλίμακα που καταλαμβάνει το διασυνδεδεμένο σύστημα που αναπαρίσταται. Το λογισμικό χρησιμοποιεί γραμμική επίλυση υπολογίζοντας βέλτιστη εβδομαδιαία κατανομή θερμικών μονάδων, υδροθερμικό προγραμματισμό και ροές ισχύος σε ωριαία ανάλυση.

Για την αντιμετώπιση δυσκολιών σχετικά με την βέλτιστη υδροθερμική συνεργασία, τον προγραμματισμό και την κατανομή των παραγωγικών μονάδων, υπάρχουν ρυθμίσεις που επιτρέπουν διαφορετικούς σχηματισμούς του προβλήματος βελτιστοποίησης με διάφορους συμβιβασμούς ανάμεσα σε χρόνο και ακρίβεια υπολογισμού. Οι πιο απαιτητικές προσομοιώσεις περιλαμβάνουν αρκετές μεταβλητές σχετικά με την κατανομή των μονάδων, όπως λειτουργικά όρια ισχύος, ελάχιστο χρόνο λειτουργίας/κράτησης (Minimum UP/Down Time) κ.α.

Με την επανάληψη και το «τρέξιμο» πολλών ΜΚ ετών προκύπτουν πιθανοτικά αποτελέσματα που από την μία δείχνουν τι μπορεί να συμβεί αλλά και πόσο πιθανό είναι να συμβεί κάτι τέτοιο. Η λογική είναι πως όσο μεγαλύτερη στοχαστικότητα των μεταβλητών έχουμε θα χρειαστούμε περισσότερα τρεξίματα Μόντε Κάρλο ετών για να έχουν τα αποτελέσματα στατιστική σημασία.

Συνοψίζοντας καταλήγουμε στο εξής:

1. Προσομοίωση αποτελείται από πολλά ΜΚ έτη
2. Για κάθε έτος ΜΚ επιλέγονται τυχαία ή μη, έτοιμες ή δημιουργούμενες χρονοσειρές των ανωτέρω 5 μεταβλητών
3. Γίνεται οι διαχείριση των υδάτινων πόρων και ο επιμερισμός της παραγωγής Υ/Η σταθμών
4. Αλγόριθμος επίλυσης
5. Αποτελέσματα

Πρωτοπορία του ANTARES σε σχέση με άλλα αντίστοιχα εργαλεία προσομοίωσης είναι το γεγονός πως μπορεί να μοντελοποιήσει μεγάλες, απλωμένες γεωγραφικά περιοχές. Αυτό εκφράζεται από το γεγονός ότι παρέχεται η δυνατότητα ρύθμισης της «χωρικής συσχέτισης» των μεταβλητών όπως η παραγωγή από αιολικές τεχνολογίες ΑΠΕ, το φορτίο, η παραγωγή ΗΕ από Υ/Η σταθμούς.

## 8.1.2 Σενάρια

Βασικός σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση της συμπεριφοράς ενός ενοποιημένου συστήματος στην ΝΑΕ Ευρώπη. Η βασική αυτή ιδέα συνάδει με την επικαιρότητα και την αναγκαιότητα της ενσωμάτωσης των ΔΒ στην ΕΑΗΕ της ΕΕ και στο πανευρωπαϊκό δίκτυο. Σκοπός είναι ο εκσυγχρονισμός των επιμέρους ΣΗΕ των αναπτυσσόμενων ΔΒ χωρών με στόχο πάντα την προσέγγιση της ανθρακικής ουδετερότητας του ηλεκτροπαραγωγικού συστήματος. Το πρακτικό μέρος της παρούσας εργασίας επιδιώκει:

- Πρόβλεψη λειτουργίας και επάρκειας του συστήματος με ορίζοντα το 2030
- Αξιολόγηση του συστήματος
- Καθορισμό περιορισμών στην πλήρη ενοποίηση της αγοράς

Εφόσον ορίστηκε η περιοχή ελέγχου και η σκοπιά υπό την οποία θα αξιολογηθούν τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων, επόμενο βήμα προς την συνέχιση της εργασίας αποτέλεσε η δημιουργία του μοντέλου. Είναι σαφές πως ένα μοντέλο προσομοίωσης προσβλέπει στην καλύτερη δυνατή αναπαράσταση του πραγματικού συστήματος. Στην προκείμενη περίπτωση το μοντέλο αναπτύχθηκε λαμβάνοντας υπόψη τις δυνατότητες του εργαλείου που χρησιμοποιείται (ANTARES) καθώς επίσης και την διαθεσιμότητα και η ποιότητα δεδομένων εισόδου. Μετά και την επιλογή εργαλείου και δεδομένων ουσιαστικά ορίζονται ρητά οι παραδοχές και απλοποιήσεις που γίνονται για την αναπαράσταση του συστήματος.

Σενάρια	2030 Interconnectors	Σενάρια	2025 Interconnectors
1	1xRES	6	1xRES
2	1.1xRES	7	1.1xRES
3	1.2xRES	8	1.2xRES
4	1.3xRES	9	1.3xRES
5	1.4xRES	10	1.4xRES

Πίνακας 2 Σενάρια προσομοιώσεων

Η ραχοκοκαλιά του πρακτικού ερευνητικού μέρους της εργασίας συμπυκνώνεται στο σχέδιο πραγματοποίησης των προσομοιώσεων. Στο βασικό σενάριο χρησιμοποιούνται δεδομένα για το 2030 και έχει δυο παραλλαγές:

1. Μία που χρησιμοποιεί τις προβλεπόμενες διασυνοριακές ικανότητες για το έτος 2025
2. Μία άλλη παραλλαγή με διασυνοριακές ικανότητες για το 2030.

Προφανώς σύμφωνα με τα πλάνα διεύρυνσης του πανευρωπαϊκού δικτύου, προκύπτει άμεσα πως η διασύνδεση μεταξύ των ζωνών για το 2030 θα είναι βελτιωμένη. Προφανώς η

πρώτη παραλλαγή εκφράζει την καθυστερημένη εφαρμογή ή πραγματοποίηση μακροχρόνιων πλάνων ανάπτυξης.

Για κάθε μία από τις δύο παραλλαγές του βασικού σεναρίου που αναφέρθηκε πραγματοποιήθηκαν άλλα 4 σενάρια αυξημένες διείσδυσης ΑΠΕ. Συγκεκριμένα παραμένουν σταθερά όλα τα δεδομένα εισόδου εκτός από την **αιολική και ηλιακή παραγωγή ΗΕ**, η οποία **αυξάνεται κλιμακωτά 10%, 20%, 30% και 40%**. Για κάθε ένα από τα σενάρια, γίνεται προσομοίωση οικονομικής λειτουργίας του συστήματος και προσομοίωση επάρκειας. Ανακεφαλαιώνοντας οι προσομοιώσεις που έγιναν είναι συνολικά είκοσι (20). Δέκα εκ των οποίων για τις διασυνδεδετικές ικανότητες που προβλέπονται για το 2025 και δέκα για αυτές που προβλέπονται για το 2030. Οι δέκα αυτές με τη σειρά τους χωρίζονται σε 5 ζευγάρια προσομοιώσεων (Οικονομίας και Επάρκειας) για κάθε επίπεδο παραγωγής ΑΠΕ (βασικό σενάριο, +10%, +20%, +30%, +40%).

## 8.2 Περιοχή ελέγχου & αναπαράσταση

Όπως έχει γίνει σαφές και από την εισαγωγή και το θεωρητικό κομμάτι το κίνητρο της εργασίας πηγάζει από την πράσινη ανάπτυξη και γενικότερα την ενεργειακή πολιτική της Ευρώπης. Η ΕΕ, πιο συγκεκριμένα προωθεί την εκτενή συνεργασία μεταξύ κρατών μελών σε θέματα ενέργειας. Όσον αφορά την ΗΕ μέσω του Μοντέλου Στόχου η ΕνΕ προσβλέπει στη δημιουργία μιας ΕΑΗΕ, μιας ενιαίας αγοράς δηλαδή στην οποία κεντρικό ρόλο έχουν η ανταγωνιστικότητα και η αυτορρύθμιση συνδυαστικά με ένα στιβαρό ρυθμιστικό διαφανές πλαίσιο.

Οι λόγοι και τα γεγονότα που έχουν διαμορφώσει αυτή την κατεύθυνση της ΕΕ αναλύθηκαν στο θεωρητικό μέρος της εργασίας. Επίσης σαφές έγινε το γεγονός πως οι ΔΒ χώρες αποτελούν σημείο ενδιαφέροντος για την Ευρώπη καθώς περικυκλώνονται ουσιαστικά από κράτη μέλη της ΕΕ. Η περιοχή αυτή είναι σε σχέση με την υπόλοιπη Ευρώπη ακόμη σε νεαρά στάδια ανάπτυξης. Το γεγονός αυτό αναμφισβήτητα επηρεάζει την ΕΕ και τα φιλόδοξα πλάνα της σχετικά με την δημιουργία ενός πανευρωπαϊκού δικτύου. Πιο συγκεκριμένα τα τελευταία χρόνια επιχειρείτε η ενίσχυση των ΔΒ χωρών και η καθοδήγησή τους ώστε να μπορέσουν να «προφτάσουν» τις ταχείες εξελίξεις και να εναρμονιστούν ενεργειακά με την υπόλοιπη Ευρώπη.

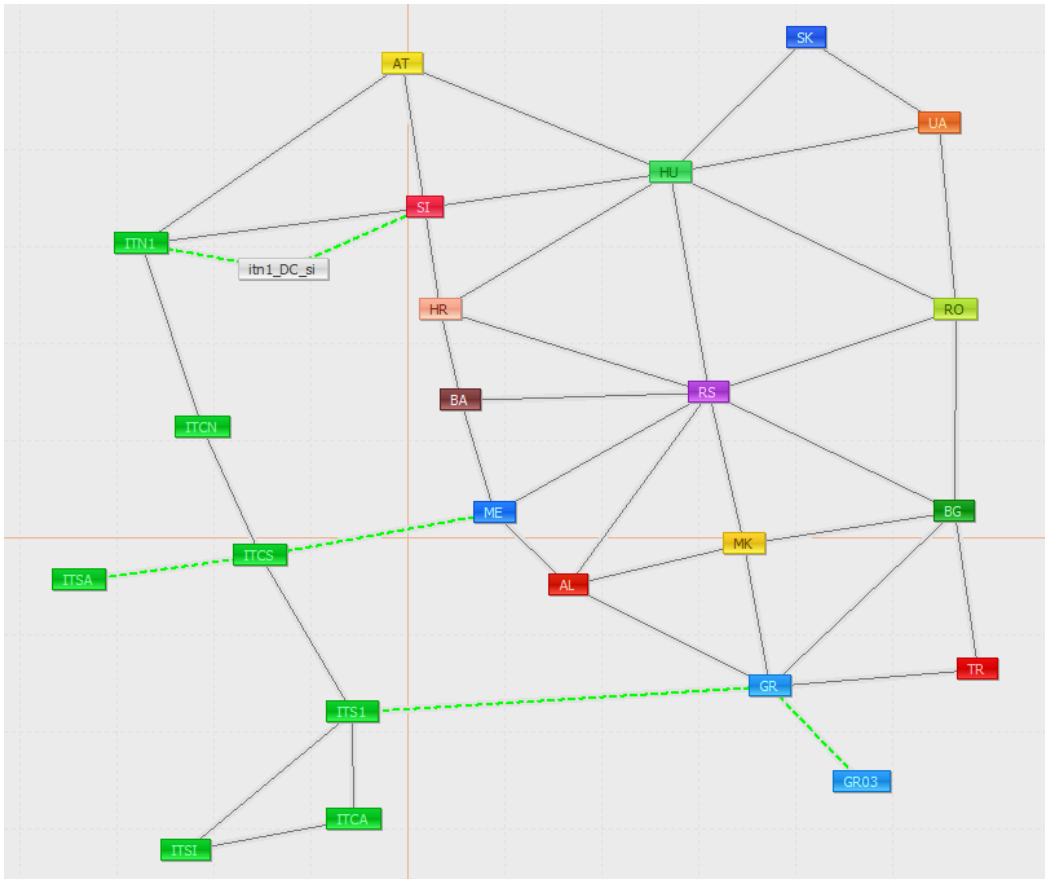


Εικόνα 24 Χώρες της ΝΑΕ που μοντελοποιούνται

Σε αυτό το πλαίσιο λοιπόν η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην περιοχή της ΝΑΕ. Γίνεται στην ουσία μια μελέτη πρόβλεψης των χαρακτηριστικών μιας ενοποιημένης αγοράς στην περιοχή. Οι χώρες που λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο που αναπτύχθηκε παρουσιάζονται στην εικόνα 24.

## Αναπαράσταση Συστήματος

Το ΣΗΕ στο ANTARES γραφικά αναπαρίστανται ως γράφος που περιλαμβάνει μέχρι και ορισμένες εκατοντάδες κόμβους που αντιπροσωπεύουν είτε χώρες (ζώνες) είτε μικρότερες σε έκταση περιοχές. Οι κόμβοι συνδέονται μεταξύ τους με ακμές των οποίων τα χαρακτηριστικά εκφράζουν την συνολική ικανότητα μεταφοράς μεταξύ των ζωνών και σχηματοποιούν κατ' αυτό τον τρόπο το ΣΗΕ. Κάθε κόμβος περιλαμβάνει μια περιγραφή της εκάστοτε ζώνης (ζήτηση και εφεδρείες, παραγωγικό μείγμα).



Εικόνα 25 Αναπαράσταση συστήματος στον ANTARES

Οι ροές ισχύος μπορούν να πραγματοποιούνται είτε με την ATC μέθοδο είτε με μια συμβατική DC προσέγγιση ροής συν κάποια δεδομένα όπως PTDFs (FB model) και αντιδράσεις γραμμών. Και στις δύο περιπτώσεις περεταίρω περιορισμοί των ροών μπορούν να εφαρμοστούν ώστε να εκφράσουν συγκεκριμένες πτυχές της αγοράς (FB market coupling) ή στοιχεία του συστήματος (phase-shifting devices, DC γραμμές).

Οι ζώνες-κόμβοι που συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο είναι σε συμφωνία με τα δεδομένα του ENTSO-E. Με **πράσινο** χρώμα επισημαίνονται οι διασυνδέσεις των οποίων η **ικανότητα πρόκειται να αυξηθεί** το 2030 σε σχέση με το 2025. Ενώ με **κόκκινο** επισημαίνονται οι διασυνδέσεις οι οποίες **δεν υπάρχουν** καν το 2025 και **αναμένεται να λειτουργήσουν από το 2030 κι έπειτα**.

Συγκεκριμένα συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο:

A/α	Κόμβοι	Ζώνες	Διασυνδέσεις
1	(AL)	Αλβανία	GR, ME, MK,RS
2	(AT)	Αυστρία	HU, ITN1, SI
3	(BA)	Βοσνία Ερζεγοβίνη	HR, ME, RS
4	(BG)	Βουλγαρία	GR, MK, RO,RS,TR
5	(GR)	Ελλάδα	AL,BG,GR03,ITS1,MK,TR
6	(GR03)	Κρήτη, Ελλάδα	GR
7	(HR)	Κροατία	BA,HU,RS,SI
8	(HU)	Ουγγαρία	AT,HR,RO,RS,SI,SK,UA
9	(ITCA)	Καλαβρία, Ιταλία	ITS1,ITSI
10	(ITCN)	Κεντρική & Βόρεια Ιταλία	ITCS,ITN1
11	(ITCS)	Κεντρική & Νότια Ιταλία	ITCN,ITS1,ITSA,ME
12	(ITN1)	Βόρεια Ιταλία	AT,ITCN,SI,SI(dc)
13	(ITS1)	Νότια Ιταλία	GR,ITCA,ITCS,ITSI
14	(ITSA)	Σαρδηνία, Ιταλία	ITCS
15	(ITSI)	Σικελία, Ιταλία	ITCA,ITS1
16	(ME)	Μαυροβούνιο	AL,BA,ITCS,RS
17	(MK)	Βόρεια Μακεδονία	AL,BG,GR,RS
18	(RO)	Ρουμανία	BG,HU,RS,UA
19	(RS)	Σερβία	AL,BA,BG,HR,HU,ME,MK,RO
20	(SI)	Σλοβενία	AT,HR,HU,ITN1,ITN1(dc)
21	(SK)	Σλοβακία	HU,UA
22	(TR)	Τουρκία	BG,GR
23	(UA)	Ουκρανία (Burshtyn Island)	RO,SK

Πίνακας 3 Κόμβοι μοντελοποιούμενου συστήματος

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει πως η Ελλάδα και η Ιταλία είναι οι μόνες δύο χώρες που αναπαρίστανται από παραπάνω του ενός κόμβου. Τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα για όλη την επικράτεια της Ελλάδας παρουσιάζονται αργότερα υπό την συντομογραφία **GR** και της Ιταλίας αντίστοιχα υπό την συντομογραφία **IT**. Αξίζει επίσης να αναφερθεί πως το σύστημα είναι ένα κλειστό σύστημα. Αυτό σημαίνει πως οι ακριτικές περιοχές δεν ανταλλάσσουν ενέργεια με άλλες ζώνες εκτός του συστήματος που αναπαρίσταται. Το γεγονός αυτό αποτελεί μια αναγκαία παραδοχή για την μοντελοποίηση του συστήματος.



## 8.3 Δεδομένα εισόδου

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενα σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωση του μοντέλου κατέχει η ποιότητα και η διαθεσιμότητα των δεδομένων εισόδου. Η παρούσα εργασία κινήθηκε παράλληλα με την κατεύθυνση των μελετών επάρκειας που πραγματοποιούνται από τον ENTSO-E. Κατ' αυτόν τον τρόπο υπήρξε αντιστοιχία μεταξύ δεδομένων εισόδου και εργαλείου προσομοίωσης εφόσον το εργαλείο ANTARES όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιείται από τον ENTSO-E.

Τα δεδομένα εισόδου προκύπτουν από τις βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιεί ο ENTSO-E. Οι βάσεις αυτές είναι:

- PEMMDB (Pan-European Market Modeling Database)
  - Δεδομένα σχετικά με εγκατεστημένη ισχύς, ικανότητες μεταφοράς, μη προγραμματισμένη διαθεσιμότητα μονάδων, χαρακτηριστικά θερμικών μονάδων κλπ
  - Τα δεδομένα αυτά παρέχονται από τους ΔΣΜ των κρατών μελών της ΕΕ, είναι εναρμονισμένα με τα εθνικά πλάνα της εκάστοτε χώρας και αφορούν το χρονικό ορίζοντα 2020- 2030
- TRAPUNTA
  - Πρόβλεψη ωριαίας ζήτησης για όλες τις περιοχές
  - Προκύπτουν συνδυαστικά από ιστορικά δεδομένα ζήτηση και άλλα κλιματικά δεδομένα
- PECD (Pan-European Climate Data)
  - Δεδομένα σχετικά με την παραγωγή των μεταβλητών ΑΠΕ (αέρας, ήλιος)
  - Δεδομένα σχετικά με την παραγωγή Υ/Η σταθμών (εισορές υδάτινων πόρων)
  - Προκύπτουν από ιστορικά και κλιματικά δεδομένα

### *Εργασία*

Οι τρεις βάσεις δεδομένων αυτές παρείχαν τα απαραίτητα δεδομένα που τροφοδοτήθηκαν στις προσομοιώσεις. Σημειώνεται πως οι βάσεις που περιγράφηκαν διαθέτουν δεδομένα για 35 κλιματικά έτη, τα οποία βασίζονται σε ιστορικά, κλιματικά δεδομένα, δεδομένα ζήτησης κλπ. Η ανάλυση πίσω από την δημιουργία των δεδομένων αυτών, σύμφωνα με τα μεθοδολογικά στοιχεία του ENTSO-E, λαμβάνει υπόψη την συσχέτιση μεταξύ καιρικών συνθηκών, γεωγραφικής θέσης, παραγωγής ΑΠΕ και ζήτησης. Επομένως τα δεδομένα των βάσεων έχουν μια σημαντική συνοχή όσον αφορά την παραγωγή ΑΠΕ και την ζήτηση για το λόγο αυτό κάθε σενάριο προσομοιώθηκε για 35 ΜΚ έτη που αντικατοπτρίζουν τα 35 κλιματικά έτη.

Τα βασικά πεδία του ANTARES που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των προσομοιώσεων καθώς και οι βάσεις από τις οποίες συλλέχθηκαν τα δεδομένα είναι τα εξής:

- Ζήτηση/Φορτίο (TRAPUNTA)
- Δεδομένα θερμικών μονάδων (PEMMDB)
  - Κατηγορίες θερμικών μονάδων (Ανθρακικές, ΦΑ, Πεταλοειδών, Ατομικής ενέργειας)
  - Outage rates
  - Minimum Stable Power
  - Minimum Up/Down time
  - Τιμές καυσίμων
  - Αρχικό κόστος εκκίνησης λειτουργίας των μονάδων (start up cost)
  - Εκπομπές CO2 ανά μονάδα παραγόμενης ενέργειας
- Αιολική ενέργεια (PECD)
- Ηλιακή ενέργεια (PECD)
- Χαρακτηριστικά γραμμών μεταφοράς (PEMMDB)
  - Ικανότητα μεταφοράς (Upstream/Downstream)
  - Αντιδράσεις γραμμών

Ορισμένα από τα παραπάνω δεδομένα μπορούν να παραληφθούν γεγονός που οδηγεί σε πιο απλουστευμένο μοντέλο. Αντίθετα για την πιο πιστή μοντελοποίηση του συστήματος μπορούν να προστεθούν δεδομένα εισόδου σχετικά με εφεδρείες, οικονομικά πρόστιμα μη παροχής ενέργειας, πολιτική απόρριψης ενέργειας κ.α.

Η στρατηγική που ακολουθήθηκε για τις μονάδες **αντλησιοταμίευσης** ανοιχτού και κλειστού τύπου πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια εικονικών τιμών για τα διάφορα επίπεδα στάθμης των ταμιευτήρων. Οι εικονικές τιμές των μονάδων αντλησιοταμίευσης για όλες τις περιοχές είναι κοινές και άνω του 70% του επιπέδου στάθμης ρυθμίζονται σε τιμή μικρότερη του ΦΑ, από 30 έως 70% σε τιμή μεγαλύτερη των μονάδων ΦΑ και μικρότερη των μονάδων άνθρακα, μεταξύ 10 και 30% σε τιμή μεγαλύτερη των μονάδων άνθρακα και για στάθμη χαμηλότερη των 10% οι εικονικές τιμές είναι ελαφρώς μεγαλύτερες των τιμών diesel.

Στα πλαίσια τις εργασίας χρησιμοποιούνται όλα τα παραπάνω δεδομένα όσον αφορά την **παραγωγή ΗΕ** και τη **ζήτηση**. Οι **διασυνδέσεις** είναι είτε DC είτε AC αλλά και στις δύο περιπτώσεις προσομοιώνονται απλά με την DC προσέγγιση προσδίδοντας απλά μια ικανότητα ροής ισχύος στις ακμές. Επιπρόσθετα λαμβάνονται υπόψη:

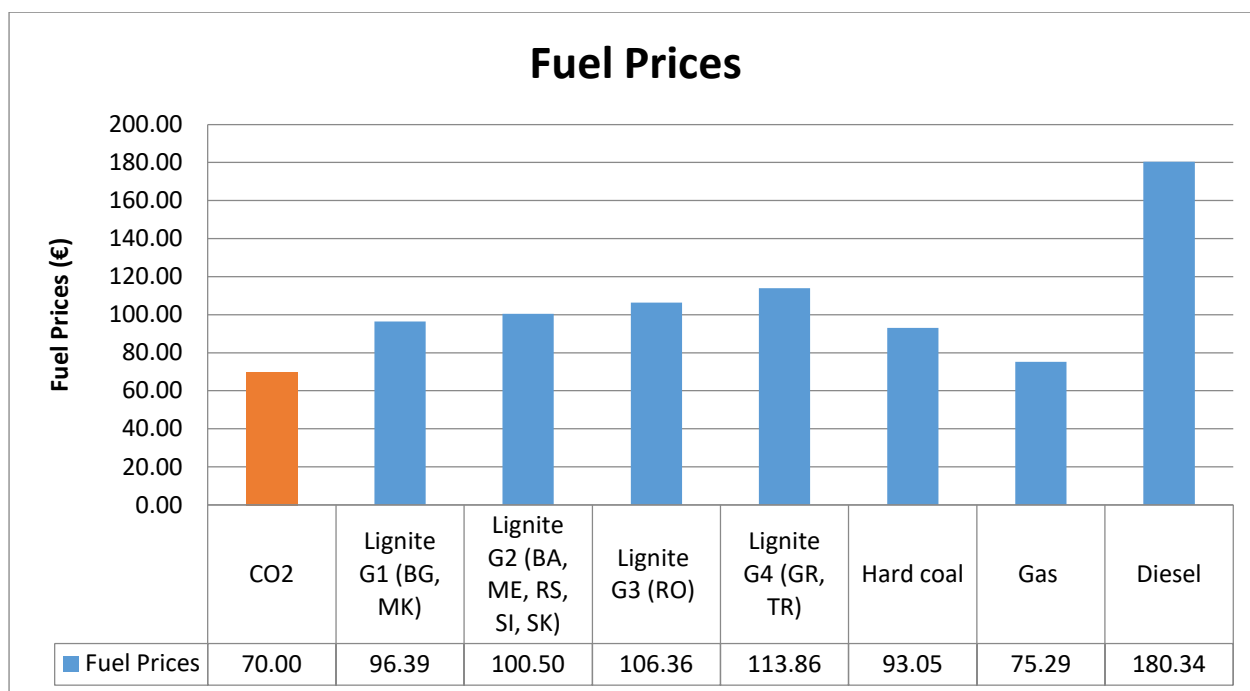
- **Εφεδρείες** που σχετίζονται με την διατήρηση και αποκατάσταση της συχνότητας (FCR, FRR)
- **Οικονομικές ποινές** για την απώλεια ενέργειας, και μη εξυπηρέτηση του φορτίου

## Τιμές καυσίμων

Οι τιμές καυσίμων που χρησιμοποιήθηκαν συμβαδίζουν με τιμές που χρησιμοποιεί ο ENTSO-E και είναι κοινές για όλες τις επιμέρους ζώνες. Μόνο η τιμή του λιγνίτη είναι διαφορετική και χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την απόδοσή τους (περιεκτικότητα σε άνθρακα). Το τελικό κόστος προκύπτει συνδυαστικά από:

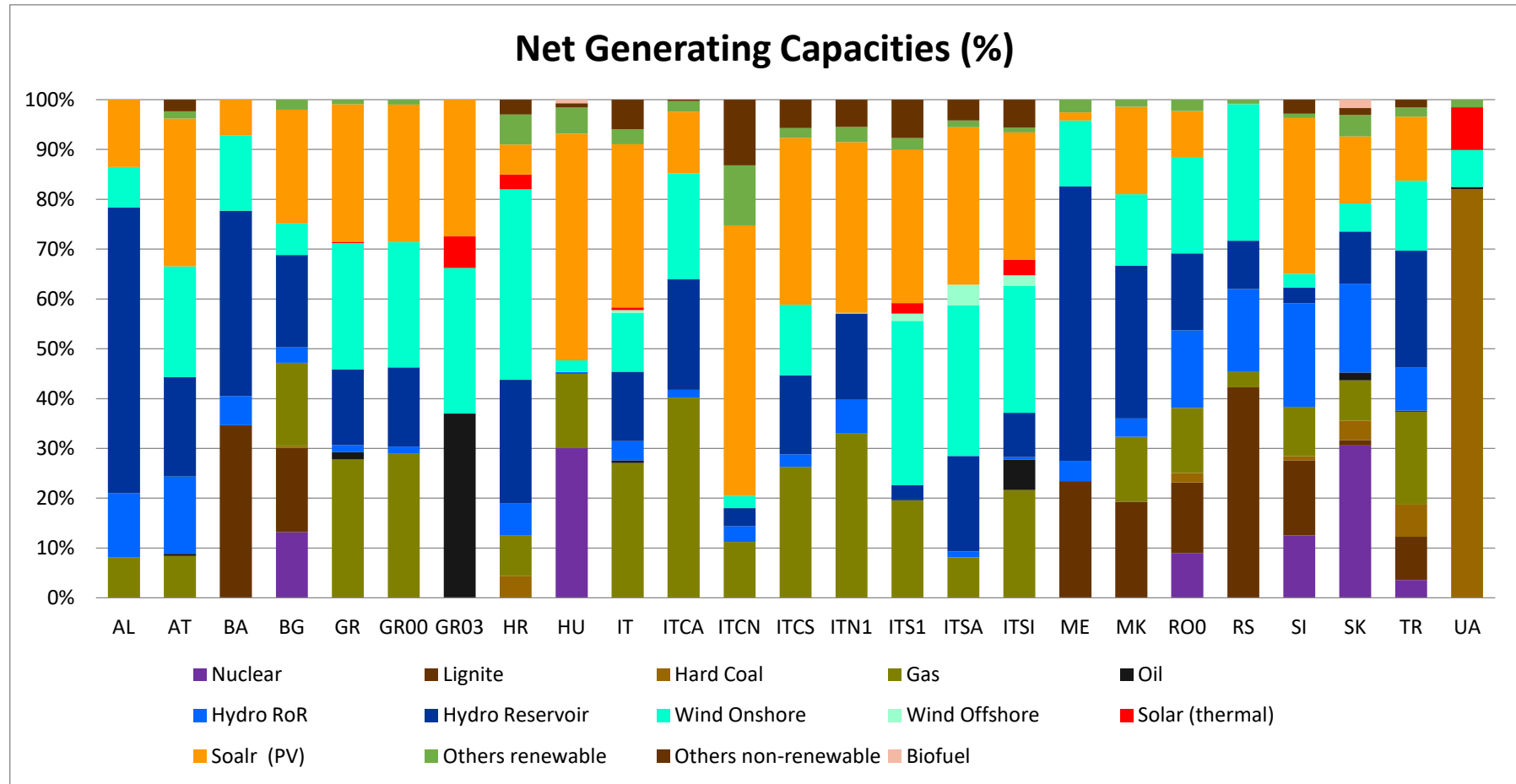
1. Κόστος για την παραγωγή μιας μονάδας ηλεκτρικής ενέργειας (προκύπτει από το κόστος για την παραγωγή μια μονάδας θερμικής ενέργειας + την απόδοση)
2. Κόστος του άνθρακα
3. Κόστος για την λειτουργία και την συντήρηση (Variable O&M cost)

Επισημαίνεται πως η τιμή του άνθρακα που χρησιμοποιήθηκε είναι στα 70€ σύμφωνα πάλι με προβλεπόμενη τιμή που χρησιμοποιεί ο ENTSO-E για το έτος 2030. Η τιμή αυτή παρουσιάζεται στο επόμενο γράφημα ως πληροφορία αλλά επισημαίνεται πως συμπεριλαμβάνεται στην τιμή των υπόλοιπων καυσίμων.



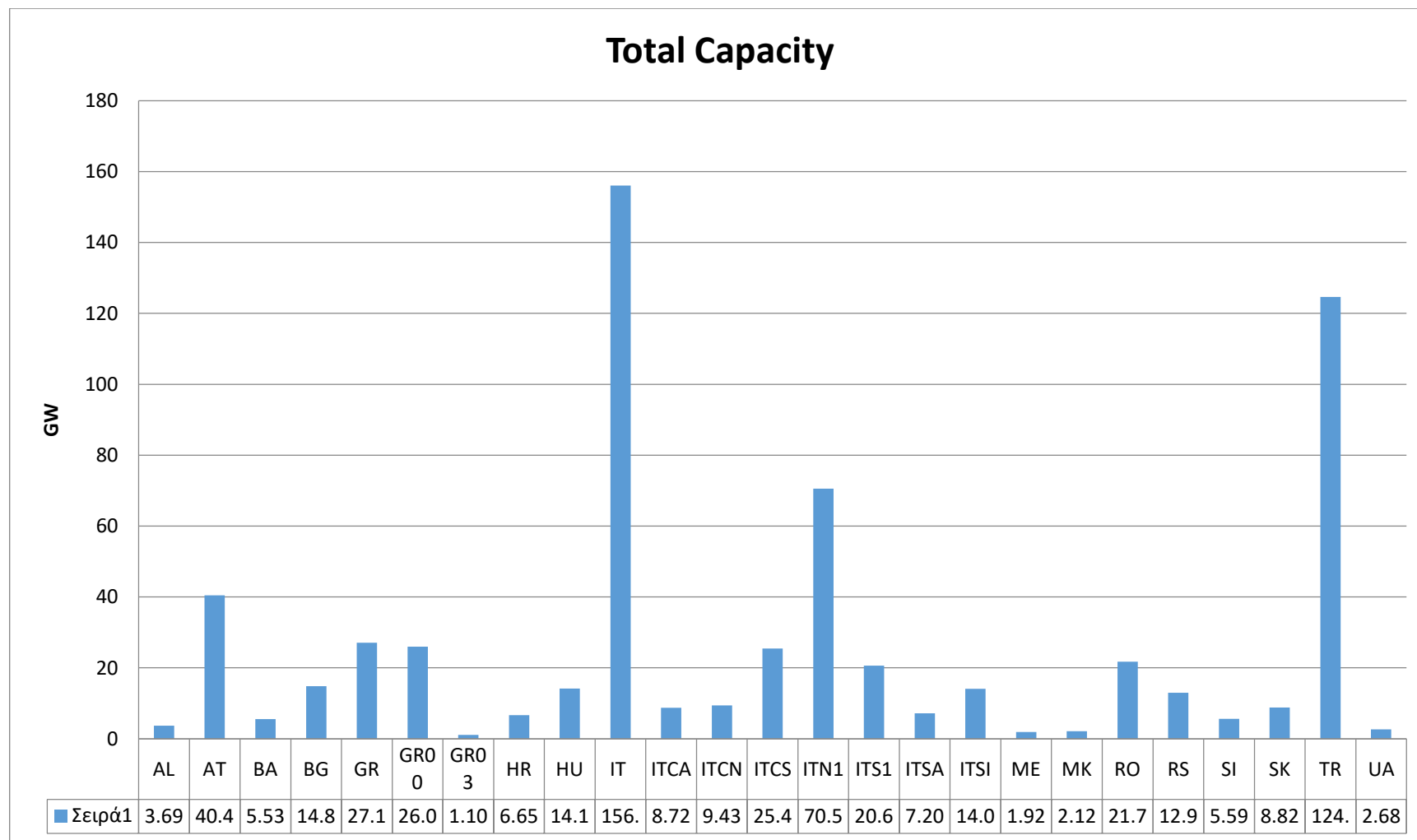
Διάγραμμα 1 Τιμές καυσίμων

Εγκατεστημένη ισχύς



Διάγραμμα 2 Επί τοις εκατό εγκατεστημένη ισχύς των ζωνών που μοντελοποιούνται

Στο παραπάνω Διάγραμμα 2 παρουσιάζεται η κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος ενώ στο Διάγραμμα 3 που ακολουθεί φαίνεται η συνολική εγκατεστημένη ισχύς για κάθε ζώνη.



Διάγραμμα 3 Συνολική εκαντεστημένη ισχύς σε GW

## 8.4 Επεξεργασία αποτελεσμάτων και δείκτες

Τις προσομοιώσεις που έγιναν ακολούθησε η επεξεργασία των δεδομένων εξόδου, ώστε να παρουσιαστούν τα αποτελέσματα με ευανάγνωστο τρόπο. Τα γραφήματα και οι δείκτες λοιπόν που επιλέχθηκαν να σχηματιστούν και να παρουσιαστούν σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων είναι τα ακόλουθα:

Είδος προσομοίωσης	Δείκτες	Χρονικό βήμα	Τύπος γραφήματος
Οικονομική	Εκπομπές CO <sub>2</sub>	Ετήσιο	Boxplot
Οικονομική	Ένταση εκπομπών CO <sub>2</sub>	Ετήσιο	Boxplot
Οικονομική	Διείσδυση ΑΠΕ	Ετήσιο	Boxplot
Οικονομική	Οριακή τιμή	Ωριαίο	Boxplot
Οικονομική	Περικοπές ενέργειας	Ετήσιο	Boxplot
Οικονομική	Περικοπές ενέργειας / Παραγωγή ΗΕ από ΑΠ	Ετήσιο	Boxplot
Οικονομική	Άντληση ενέργειας (Pumped Storage)	Ετήσιο	Boxplot
Οικονομική	Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος	Ωριαίο	Δισδιάστατη καμπύλη
Οικονομική	Διαφορικό τιμής-Ροή ισχύος	Ωριαίο	Σημεία
Οικονομική	Εισαγωγές-εξαγωγές κάθε περιοχής	Ετήσιο	Boxplot
Οικονομική	Συνολική Ετήσια Ροή Ισχύος κάθε διασύνδεσης	Ετήσιο	Boxplot
Οικονομική	Συνολικό (ανά MW) Κόστος Συμφόρησης	Ετήσιο	Boxplot
Επάρκεια	Loss Of Load Expectation (LOLE)	Ετήσιο	Boxplot
Επάρκεια	Expected Energy Not Served (EENS)	Ετήσιο	Boxplot

Πίνακας 4 Δείκτες και οργάνωση αποτελεσμάτων

Η διαλογή των απαιτούμενων δεδομένων από τα δεδομένα εξόδου των προσομοιώσεων έγινε με την χρήση του προγράμματος **Rstudio**. Πρόκειται για μία εφαρμογή ανάλυσης δεδομένων σε περιβάλλον γλώσσας R. Η χρήση της γλώσσας R, καθώς υπάρχουν διαθέσιμες βιβλιοθήκες R στο διαδίκτυο (Github) που έχουν δημιουργηθεί από τους δημιουργούς της εφαρμογής ANTARES με σκοπό την επεξεργασία δεδομένων προσομοιώσεων, αλλαγή ρυθμίσεων προσομοιώσεων, οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων κ.α. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν για ετήσιο χρονικό βήμα, για όλα τα ΜΚ έτη. Εξαιρέση

αποτελούν οι καμπύλες σχετικά με τη ροή φορτίου και η οριακή τιμή κάθε ζώνης. Τα δεδομένα σε αυτές τις 2 περιπτώσεις συλλέχτηκαν σε ωριαίο χρονικό βήμα ώστε να έχει σημασία η αναπαράστασή τους, αφού αν επιλεγεί η λήψη των αποτελεσμάτων για χρονικό βήμα διαφορετικό του ωριαίου επιστρέφεται η μέση τιμή για το βήμα αυτό (π.χ. μηνιαίο ετήσιο).

Τη διαλογή των αποτελεσμάτων για την χρονική ανάλυση που απαιτούνταν, ακολούθησε η περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων εξόδου από το πρόγραμμα **Matlab**. Η εφαρμογή αυτή χρησιμοποιήθηκε για την γραφική αναπαράσταση των ζητούμενων δεικτών. Τα δεδομένα/δείκτες παρουσιάζονται με θηκογράμματα (**Boxplots**). Με τη συγκεκριμένη γραφική αναπαράσταση είναι δυνατή η απεικόνιση όλων των κλιματικών ετών καθώς επίσης και η κατανομή τους. Εξάιρεση αποτελούν οι καμπύλες σχετικά με τη ροή ισχύος καθώς η καμπύλη διάρκειας αναπαρίσταται απλά ως μια καμπύλη 2 διαστάσεων, ενώ η καμπύλη διαφορικού τιμής-ροής ισχύος ως σημεία.





## 9 Αποτελέσματα

Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων του πρακτικού μέρους της διπλωματικής εργασίας. Όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο η μεθοδολογία αφορά τον σχηματισμό του πλάνου των προσομοιώσεων, τον ορισμό και την συλλογή των απαιτούμενων δεδομένων εισόδου και την οριστικοποίηση των ρυθμίσεων του εργαλείου ANTARES. Επόμενο στάδιο, η τέλεση των προσομοιώσεων λειτουργίας και επάρκειας για όλα τα σενάρια που ορίστηκαν. Οι προσομοιώσεις έδωσαν με τη σειρά τους έναν μεγάλο όγκο δεδομένων εξόδου.

Εν συνεχεία ακολούθησε η διαλογή των απαιτούμενων δεδομένων, η οποία βασίστηκε σε δείκτες και γραφήματα ορισμένα επαρκώς για την διευκόλυνση της ανάλυσης των αποτελεσμάτων και της εξαγωγής συμπερασμάτων. Η διαλογή όπως αναφέρθηκε και στο προηγούμενο κεφάλαιο έγινε με τη χρήση του προγράμματος Rstudio και η γραφική αναπαράσταση μέσω του προγράμματος Matlab.

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται αναλυτικά τα δεδομένα μετά από την επεξεργασία τους και επιχειρείτε ανάλυση και εξήγηση τους καθώς επίσης και ένας μικρός σχολιασμός σχετικά με την ποιότητα τους και το κατά πόσο μας βοηθούν να εξαγάγουμε επαρκή συμπεράσματα. Ο τρόπος με τον οποίο αυτά παρουσιάζονται είναι ο εξής:

- Αποτελέσματα σταδιακά για κάθε ορισμένο δείκτη-γράφημα
- Αρχικά αποτελέσματα για το βασικό σενάριο (Διασυνδεδετικές ικανότητες 2030, και προβλεπόμενη παραγωγή ΑΠΕ)
- Αποτελέσματα για τα σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ ως μεταβολή από το βασικό σενάριο
- Αποτελέσματα των δεικτών για το σενάριο των διασυνδεδετικών ικανοτήτων που προβλέπονται για το 2025

Τα γραφήματα παρέχουν πληροφορία για όλες τις χώρες και τις ζώνες προσφοράς. Συγκεκριμένα για την Ελλάδα τα δεδομένα παρουσιάζονται συνολικά για όλη την επικράτεια υπό την συντομογραφία **GR** ενώ παράλληλα παραθέτονται και τα δεδομένα σχετικά με την Κρήτη ξεχωριστά υπό την συντομογραφία **GR03**. Όσον αφορά την Ιταλία τα δεδομένα παρουσιάζονται συνολικά για ολόκληρη την ιταλική επικράτεια υπό την συντομογραφία **IT**, και παράλληλα παραθέτονται και αποτελέσματα για κάθε ζώνη-περιοχή της ξεχωριστά. Επιπρόσθετα σε γραφήματα που είναι δυνατόν (γραφήματα που δεν παρουσιάζονται αθροιστικά αποτελέσματα) υπάρχει ξεχωριστή αναφορά για την συνολική εικόνα της ΝΑ Ευρώπης υπό την συντομογραφία **SE EU**.

## 9.1 Οικονομική λειτουργία

### 9.1.1 Διείσδυση ΑΠΕ

#### Περιγραφή

Τα αποτελέσματα σχετικά με την διείσδυση των ΑΠΕ αφορούν την συνολική παραγωγή ΑΠΕ (αέρας, ήλιος, νερό, γεωθερμία, βιομάζα). Ο δείκτης που παρουσιάζεται υπολογίζεται ως η παραγωγή ενέργειας από ΑΠ εκτός των περικοπών, ως προς την κατανάλωση ενέργειας, σε ετήσια βάση. Σημειώνεται ότι στην παραγόμενη ενέργεια από ΑΠΕ δεν συμπεριλαμβάνεται η παραγωγή από πυρηνική ενέργεια.

#### Σχολιασμός

##### Βασικό σενάριο

Όπως φαίνεται στο Γράφημα 1

- Η διείσδυση ΑΠΕ του συνολικού συστήματος της ΝΑ Ευρώπης κινείται κοντά στο 43%.
- Η διείσδυση στην Ελλάδα κινείται κοντά στο 50%.
- Υψηλά ποσοστά διείσδυσης καταγράφουν Αλβανία, Αυστρία, Κροατία και ορισμένες περιοχές της Ιταλίας.
- Όλες οι υπόλοιπες ζώνες κινούνται μεταξύ 35% και 60%
- Τα μικρότερα ποσοστά καταγράφουν Ουγγαρία, Σλοβακία και Βουλγαρία οι οποίες διαθέτουν μονάδες παραγωγής πυρηνικής ενέργειας και η Βόρεια Μακεδονία η οποία βασίζεται κυρίως στις εισαγωγές ενέργειας. Μικρότερη διείσδυση από όλες τις περιοχές ωστόσο παρουσιάζει η νησίδα του Burshtyn που γεωγραφικά βρίσκεται στην Ουκρανία

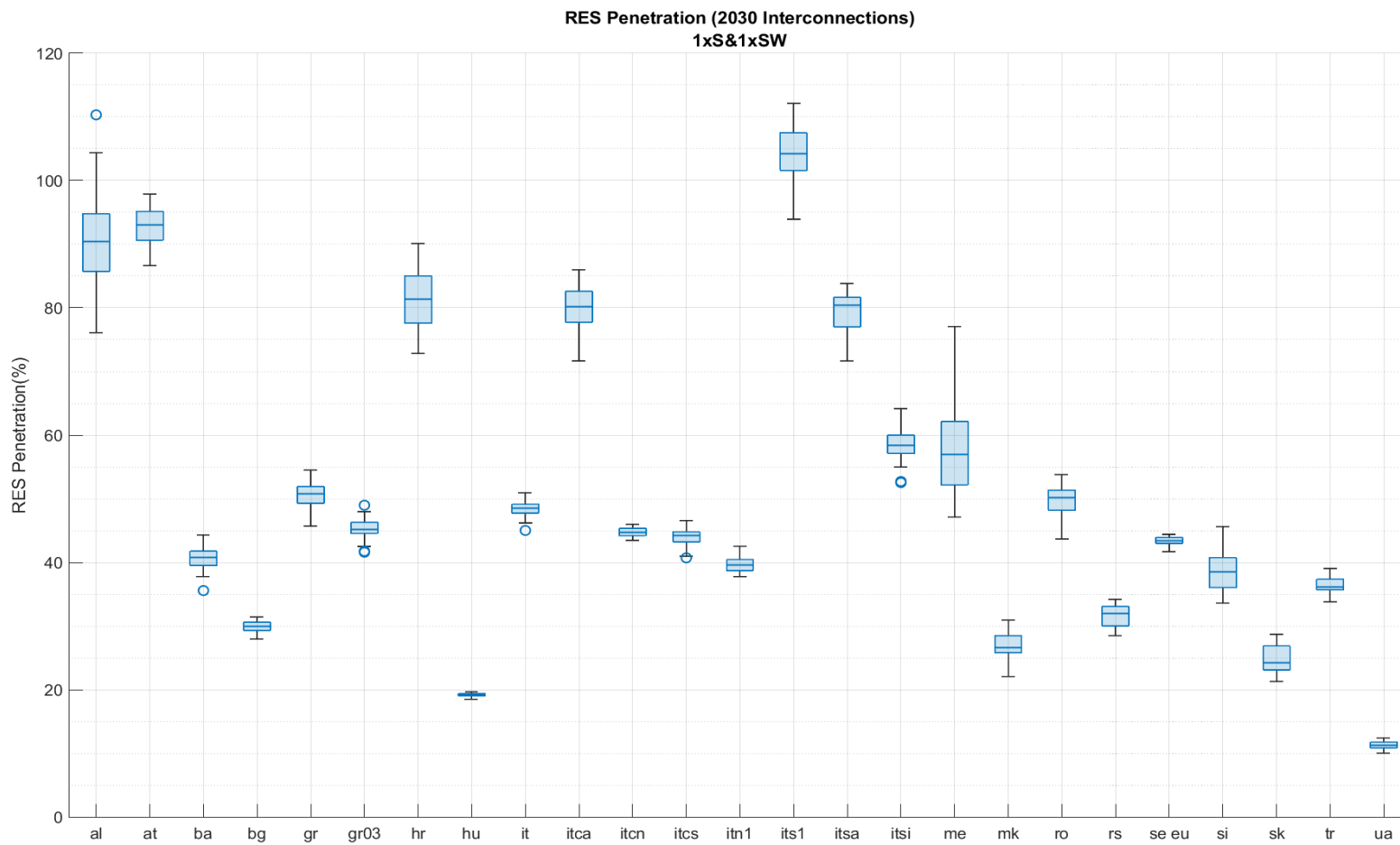
Στο Διάγραμμα 4 που ακολουθεί παρουσιάζεται η ποσοστιαία παραγωγή ΑΠΕ ως προς την μέση ετήσια κατανάλωση. Επί της ουσίας με αυτό γίνεται η ανάλυση της παραγωγής ΑΠΕ στις επιμέρους ΠΕ και το πώς αυτές συνεισφέρουν στην διαμόρφωση των ποσοστών διείσδυσης.

##### Σενάρια αυξημένης παραγωγής

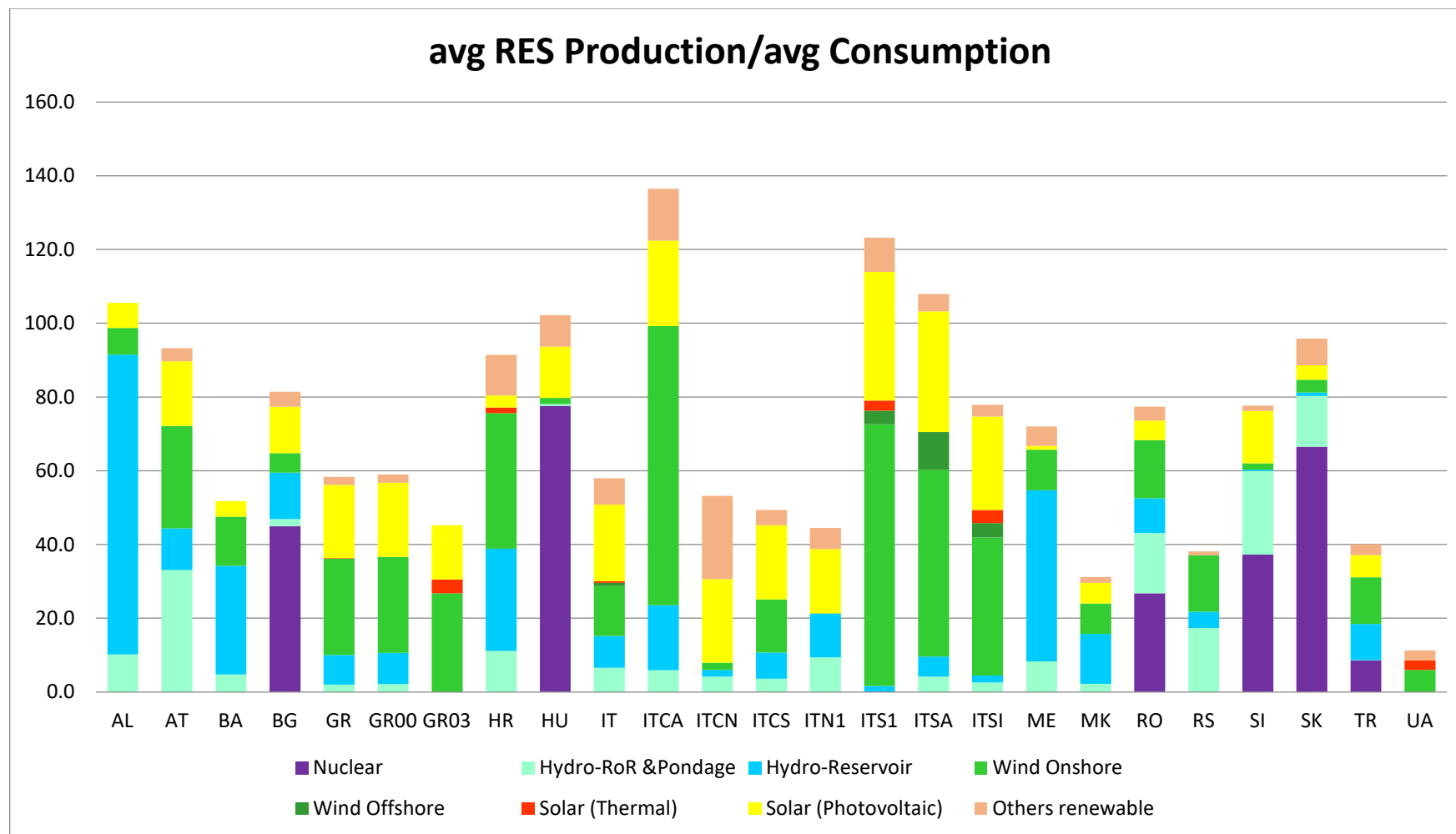
Όσον αφορά τα **σενάρια αυξημένης παραγωγής** από ΑΠΕ (Γράφημα 2) παρατηρείται **αυξητική τάση** των ποσοστών διείσδυσης για την κάθε περιοχή. Η ποσοστιαία μεταβολή που παρατηρείται είναι μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η εγκατεστημένη αιολική και ηλιακή ισχύς, καθώς η ποσοστιαία κλιμακωτή αύξηση παραγωγής αφορά συγκεκριμένα τις δύο αυτές ΑΠΕ.

Μεγαλύτερες θετικές μεταβολές στα ποσοστά διείσδυσης επομένως παρατηρούνται στις περιοχές που έχουν ήδη επενδύσει στην ανάπτυξη ΑΠΕ. Οι περιοχές αυτές είναι η Αυστρία, η Ελλάδα και περιοχές της Ιταλίας (ITCA, ITS1, ITSA, ITSI). Τα ποσοστά αυξάνονται αναλογικά για τα τέσσερα σενάρια, δηλαδή παρατηρείται διπλασιασμός της μεταβολής καθώς η

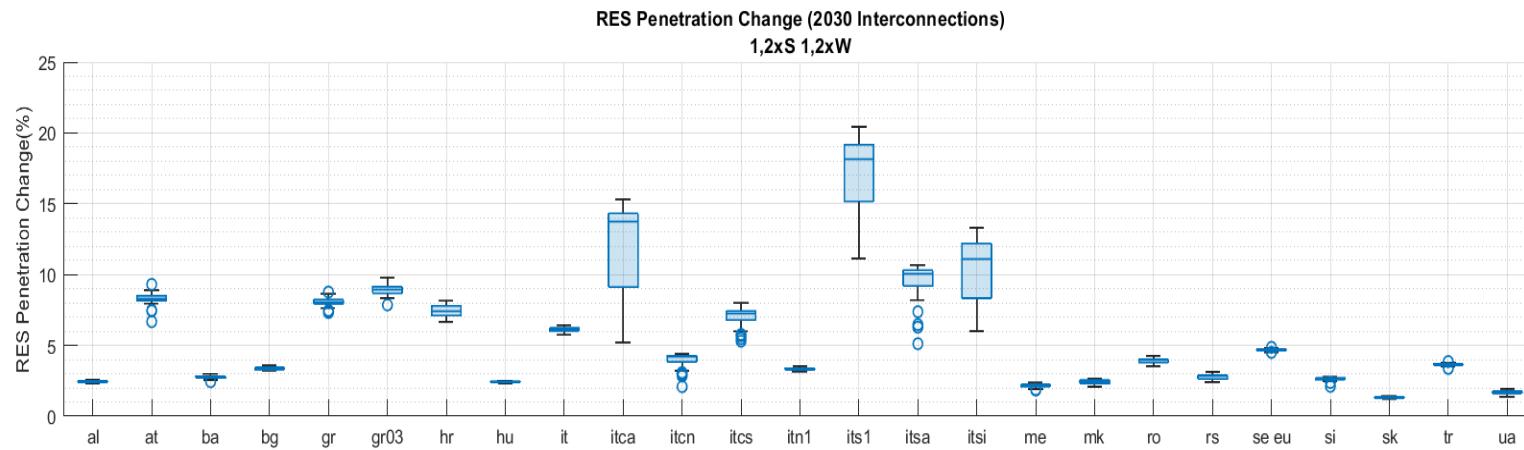
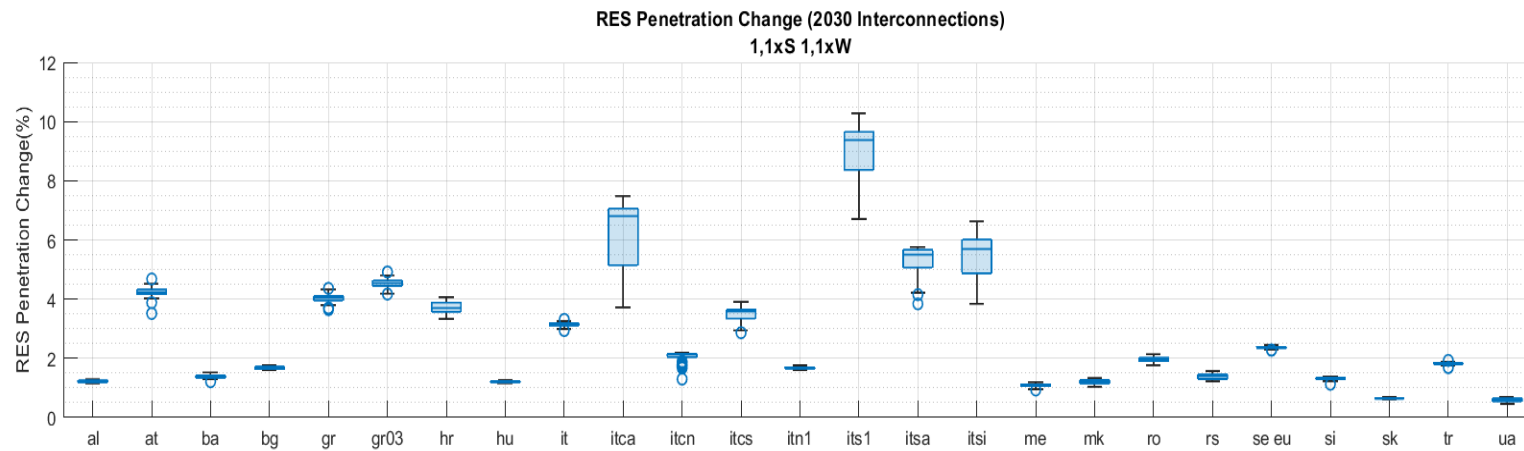
παραγωγή των ΑΠΕ αυξάνεται. Για παράδειγμα το ποσοστό διείσδυσης για την Ελλάδα σταδιακά αυξάνεται κατά 4% για κάθε κλιμακωτό σενάριο.



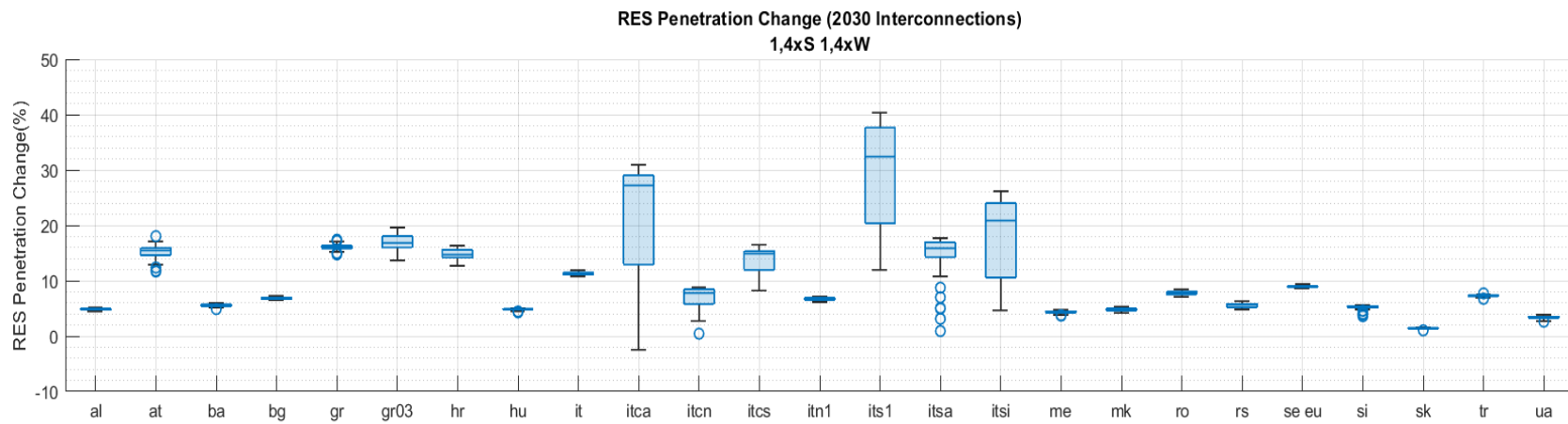
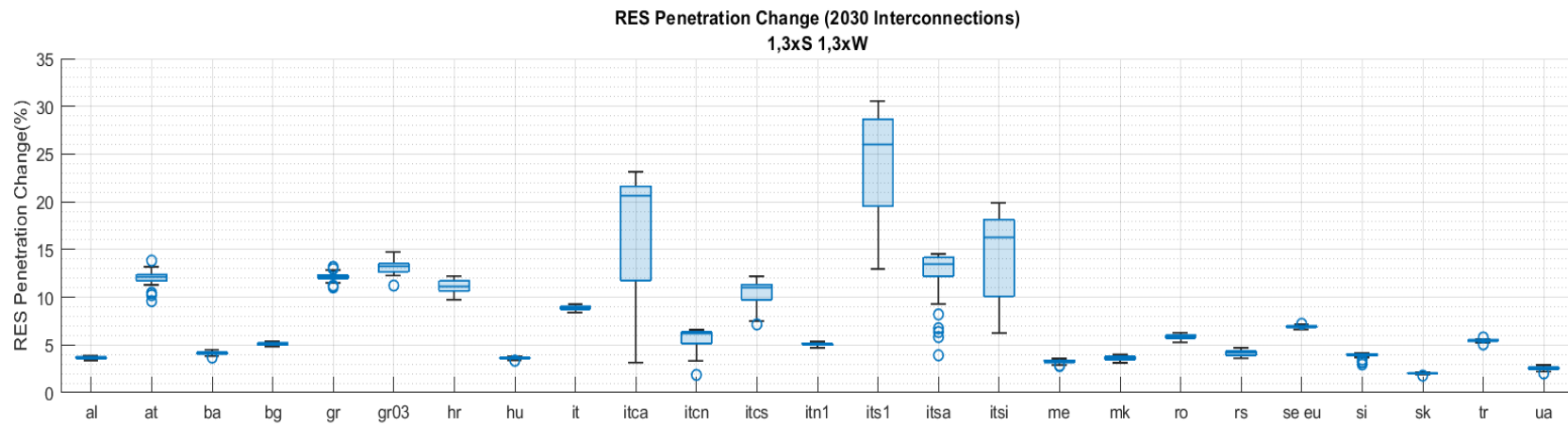
Γράφημα 1 ΑΠΕ για το βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030)



Διάγραμμα 4 Μέση παραγωγή ΑΠΕ προς μέση κατανάλωση (%)



Γράφημα 2 Διείδυση ΑΠΕ για σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ (1.1xRES, 1.2x RES)



Γράφημα 3 Διείδυση ΑΠΕ για σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ (1.3xRES, 1.4x RES)

## 9.1.2 Περικοπές ενέργειας

### Περιγραφή

Οι περικοπές ενέργειας εκφράζουν την ενέργεια η οποία παράγεται, ή θα μπορούσε να παραχθεί, αλλά δεν χρησιμοποιείται. Η ενέργεια αυτή απορρίπτεται κυρίως λόγω τεχνικών-λειτουργικών περιορισμών που δεν της επιτρέπουν να καταναλωθεί. Τα δεδομένα σχετικά με τις περικοπές ενέργειας παρουσιάζονται ποσοστιαία ως προς την παραγωγή ΑΠΕ.

### Σχολιασμός

#### Βασικό σενάριο

Σύμφωνα με τα δεδομένα που παρουσιάζονται για το βασικό σενάριο παραγωγής ΑΠΕ (Γράφημα 4) :

- Οι περισσότερες περιοχές δεν απορρίπτουν ενέργεια.
- Οι περιοχές με μη μηδενικές περικοπές είναι κυρίως οι περιοχές της Ιταλίας και πιο πολύ οι ακριτικές, καθώς επίσης και η Αυστρία.
- Το μεγαλύτερο ποσοστό περικοπών παρατηρείται στην Σαρδηνία η οποία όντας νησί διαθέτει μία μόνο διασύνδεση με την ηπειρωτική Ιταλία. Σε παρόμοια πλεύση κινούνται και οι περιοχές (ITS1,ITSI) της νότιας Ιταλίας και η Αυστρία.

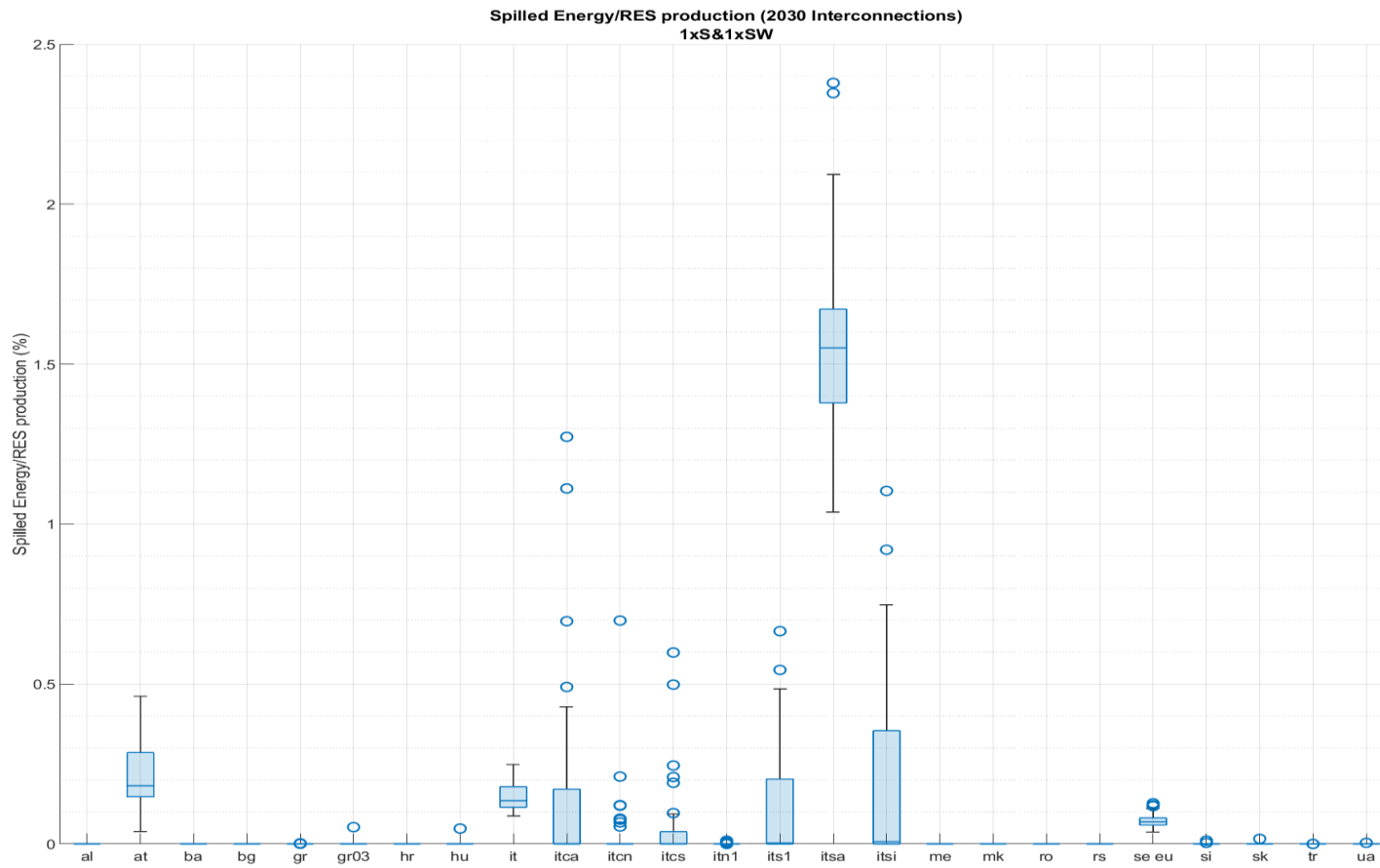
Η ανάλυση των αποτελεσμάτων παραγωγής ΗΕ συνδυαστικά με το [Διάγραμμα 5](#) καθιστά σαφές πως η αιτία των περικοπών για τις περιοχές αυτές είναι η σημαντική ικανότητα ισχύος σε αέρα και ήλιο. Όταν δηλαδή υπάρχει υπερπαραγωγή αιολικής ενέργειας ή/και ηλιακής ενέργειας προκύπτουν επίσης και τιμές περικοπών καθώς παρόλο που πραγματοποιείται άντληση ενέργειας και μεγιστοποιούνται οι εξαγωγές φθηνής πράσινης ενέργειας. Ένας ακόμη παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι το γεγονός ότι γεωγραφικά οι περιοχές που αναφέρθηκαν, και κυρίως αυτές της νότιας Ιταλίας που συνορεύουν. Οπότε όταν η παραγωγή ΑΠΕ συμβαδίζει είναι επόμενο να παρατηρούνται και περικοπές.

#### Σενάρια αυξημένης παραγωγής

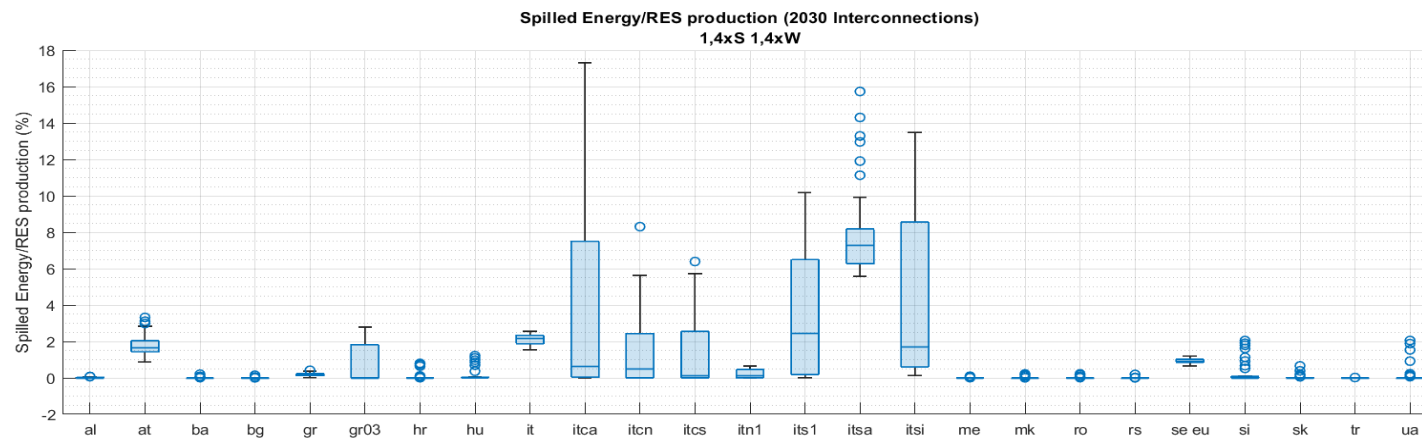
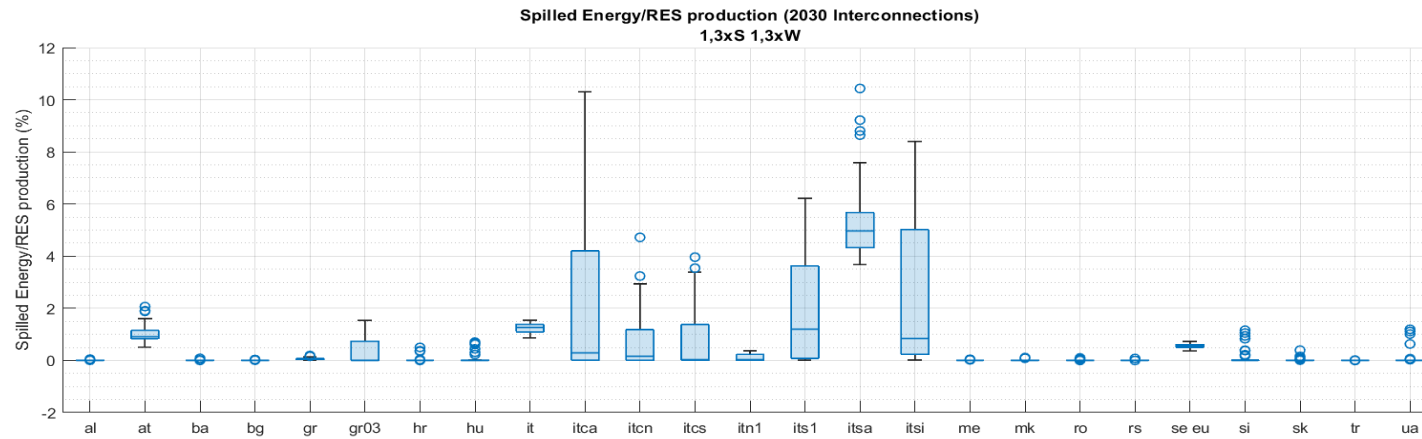
Η μεταβολή των τιμών για τις περικοπές στα σενάρια αυξημένης παραγωγής (Γράφημα 5) ακολουθούν το ίδιο μοτίβο. Οι περιοχές που στο βασικό σενάριο εμφανίζουν σημαντικά ποσοστά περικοπών αυξάνουν κλιμακούμενα τις τιμές περικοπών ΗΕ.

Όσον αφορά την Ελλάδα παρατηρείται πως η αύξηση της παραγωγής των ΑΠΕ σταδιακά φέρνει περικοπές ενέργειας για το νησί της Κρήτης.





Γράφημα 4 Περικοπές ενέργειας για το βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030)



Γράφημα 5 Περικοπές ενέργειας για σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ

### 9.1.3 Άντληση ενέργειας

#### Περιγραφή

Η άντληση ενέργειας είναι ο επόμενος δείκτης που εξετάζεται. Επιλέγεται να παρουσιαστεί σε αυτό το σημείο για την καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας απορρόφησης της ΗΕ που παράγεται από τις ΑΠΕ. Οι δείκτες που παρουσιάζονται είναι ο συντελεστής χρησιμοποίησης των εγκαταστάσεων άντλησης, καθώς επίσης και η άντληση ως προς την παραγωγή ΗΕ από ΑΠΕ.

#### Σχολιασμός

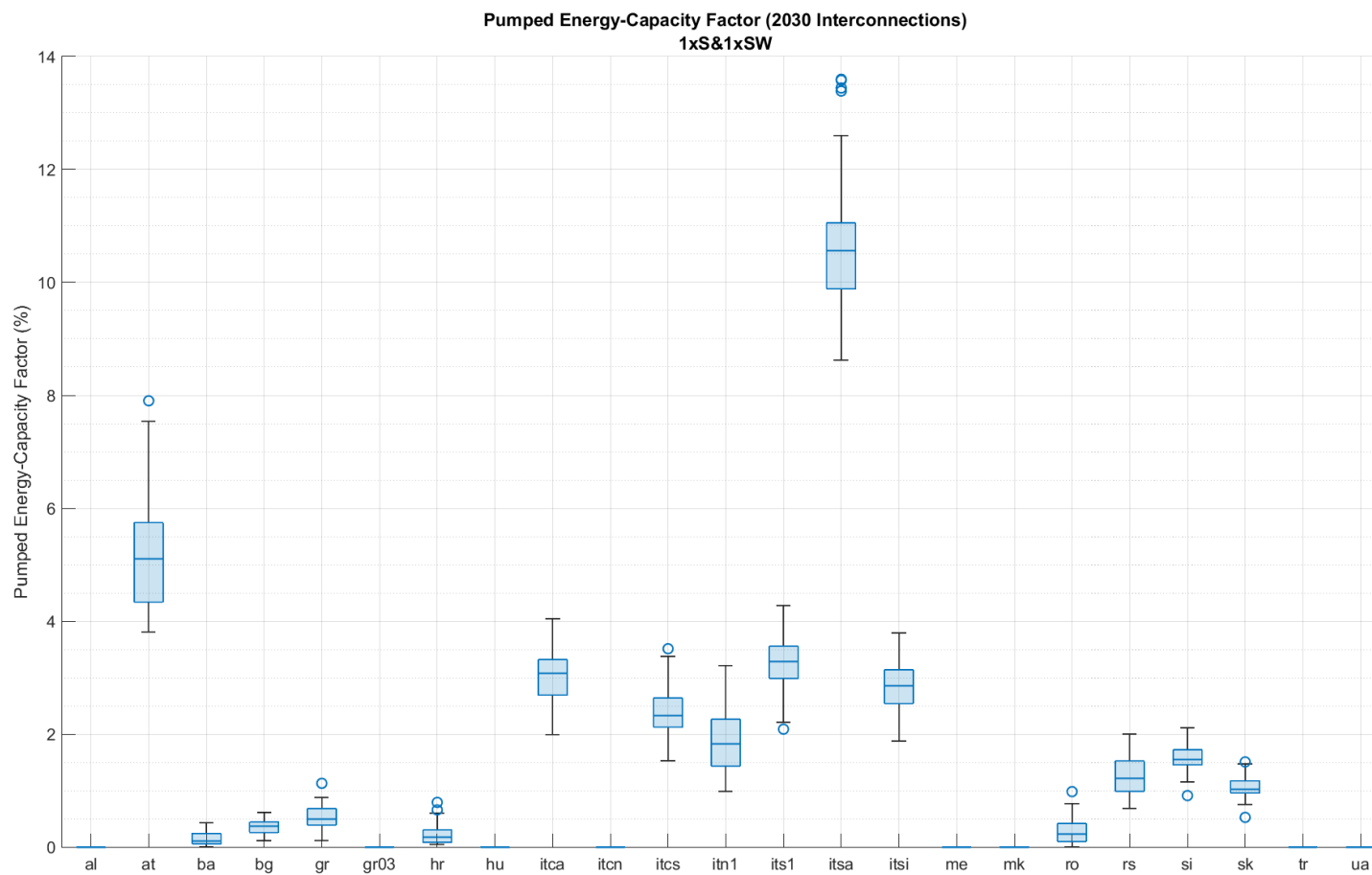
##### Βασικό σενάριο

Τα γραφήματα του βασικού σεναρίου (Γράφημα 6 και 7) για τους δύο δείκτες που προαναφέρθηκαν κινούνται σε παρόμοια πλαίσια.

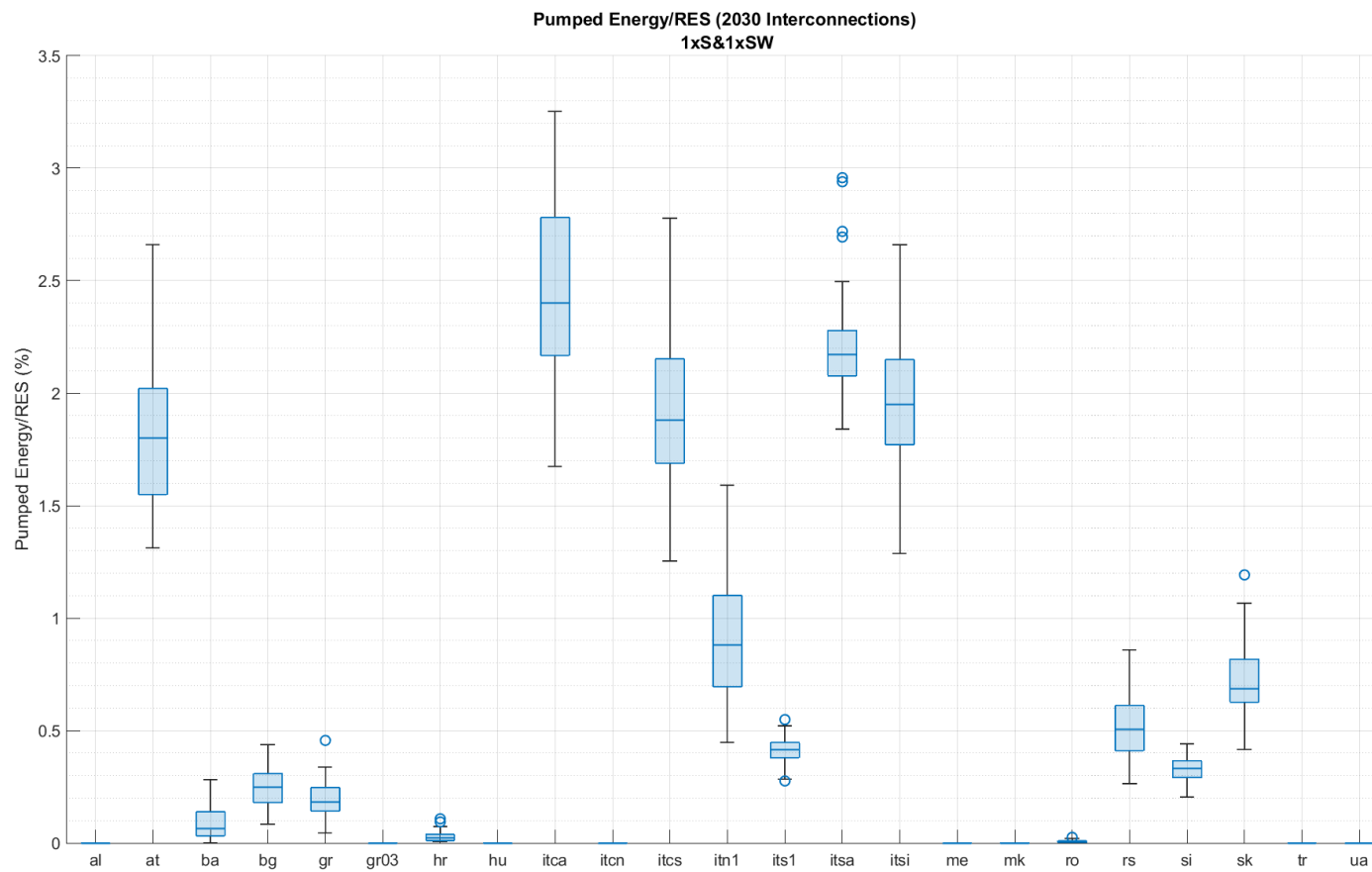
- Οι περιοχές οι οποίες έχουν μηδενικές αντλήσεις ενέργειας είναι εκείνες που δεν διαθέτουν καθόλου εγκαταστάσεις άντλησης σύμφωνα πάντα με τα δεδομένα των βάσεων του ENTSO-E (PECD).
- Στις υπόλοιπες ζώνες παρατηρούνται τιμές για άντληση υδάτων που αντικατοπτρίζουν την αποθήκευση ενέργειας για μελλοντική χρήση.
- Στα βασικά σενάρια που αναπαρίστανται με τα γραφήματα 6 και 7 βλέπουμε πως υπάρχει **συσχέτιση** της **άντλησης** με τις **περικοπές ενέργειας** που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο. Πιο συγκεκριμένα οι περιοχές της Ιταλίας και της Αυστρίας που όπως φάνηκε προηγούμενα αναγκάζονται να απορρίψουν παραγόμενη ενέργεια, εδώ φαίνεται πως είναι οι περιοχές οι οποίες χρησιμοποιούν περισσότερο τις εγκαταστάσεις άντλησης.
- Η σχέση αυτή μεταξύ άντλησης, παραγωγής ΑΠΕ και περικοπών ενέργειας είναι αναμενόμενη. Σύμφωνα και με περαιτέρω ανάλυση της λειτουργίας του συστήματος για ωραίο χρονικό βήμα, όταν συμβαίνει υπερπαραγωγή ΑΠΕ ρώτα εξυπηρετούνται τα τοπικά φορτία, ύστερα αντλείται όση ενέργεια επιτρέπει η αντλητική ικανότητα, διαμοιράζεται μέσω διασυνδέσεων όση φθηνή πράσινη ενέργεια είναι δυνατόν και η υπόλοιπη απορρίπτεται.

##### Σενάρια αυξημένης παραγωγής

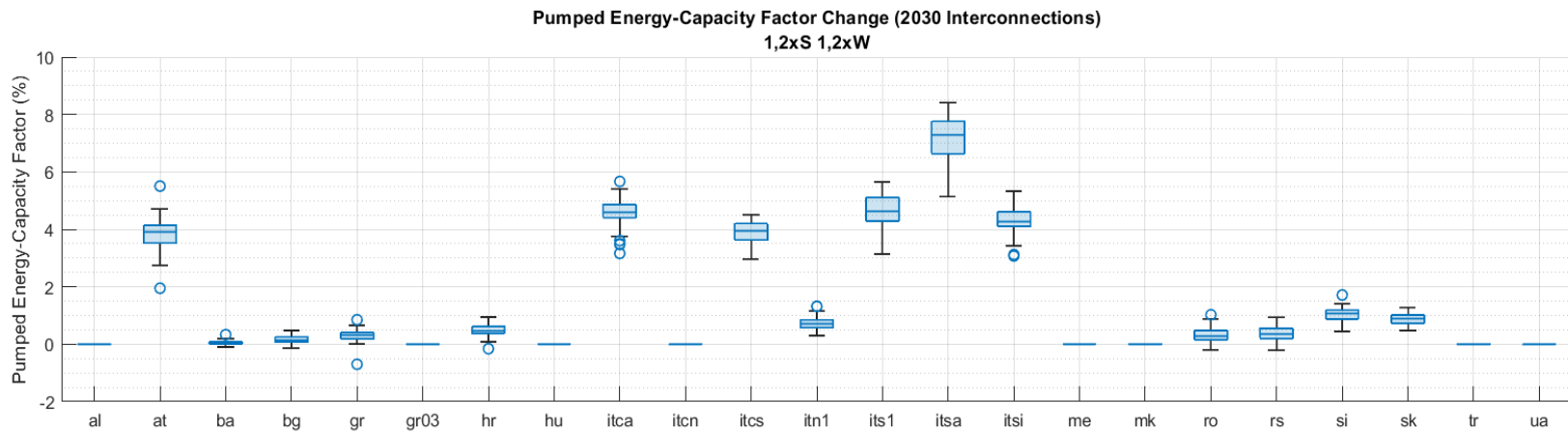
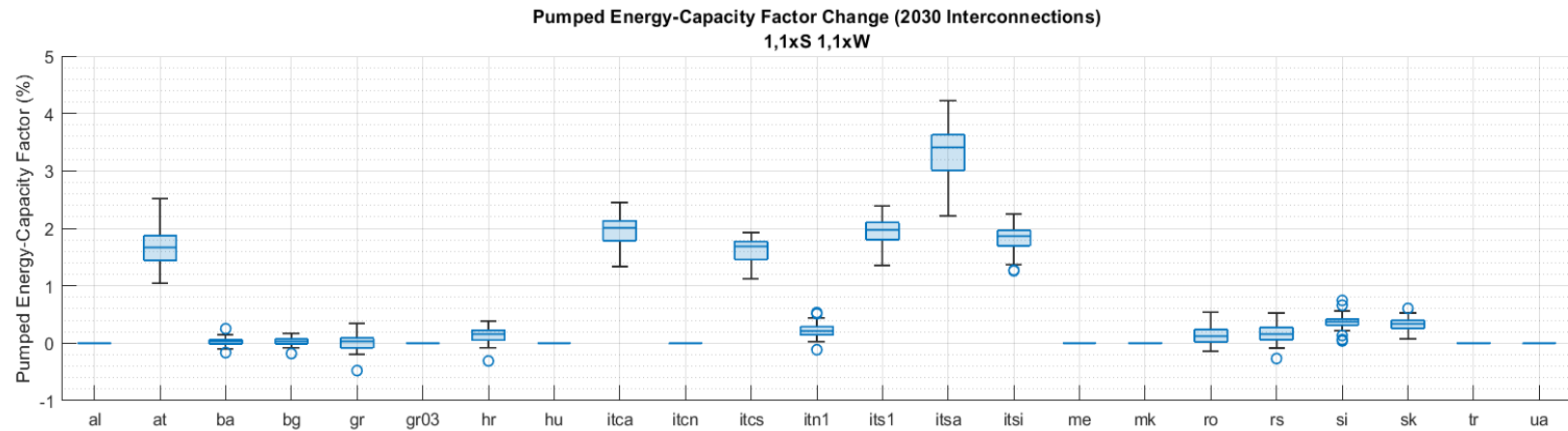
Στο ίδιο αυτό πλαίσιο που περιγράφηκε κινούνται και τα αποτελέσματα των σεναρίων αυξημένης παραγωγής ΗΕ από ΑΠ. Όπως γίνεται φανερό από το Γράφημα 8 η κλιμακωτή αύξηση της παραγωγής φέρνει και την αύξηση της αποθήκευσης ενέργειας. Το μοτίβο των γραφημάτων δεν αλλάζει καθώς οι χρονοσειρές είναι σταθερές και απλά αυξάνονται αναλογικά.



Γράφημα 6 Συντελεστής χρησιμοποίησης αντλητικών μονάδων, βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030)



Γράφημα 7 Άντληση ενέργειας προς παραγόμενη ΗΕ από ΑΠΕ, βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030)



Γράφημα 8 Μεταβολή συντελεστή χρησιμοποίησης αντλητικών μονάδων, σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ (1.1xRES, 1.2xRES)

#### 9.1.4 Ένταση εκπομπών

##### Περιγραφή

Στο σημείο αυτό του κεφαλαίου των αποτελεσμάτων παρουσιάζεται η ένταση εκπομπών CO<sub>2</sub> για το σύστημα της ΝΑ Ευρώπης που μοντελοποιήθηκε. Ο δείκτης αυτός αποτελεί ένα χρήσιμο εργαλείο για την μέτρηση της συνεισφοράς του κλάδου της ηλεκτροπαραγωγής στην εκπομπή ΑτΘ. Πρόκειται για την ποσοτικοποίηση της εκπεμπόμενης ποσότητας ΑτΘ, και κυρίως του CO<sub>2</sub>, για μια κιλοβατώρα παραχθείσας ενέργειας για ετήσιο χρονικό βήμα. Οι τιμές προκύπτουν ως το ηλικό ετήσιων εκπομπών και ετήσιας κατανάλωσης.

##### Σχολιασμός

##### Βασικό σενάριο

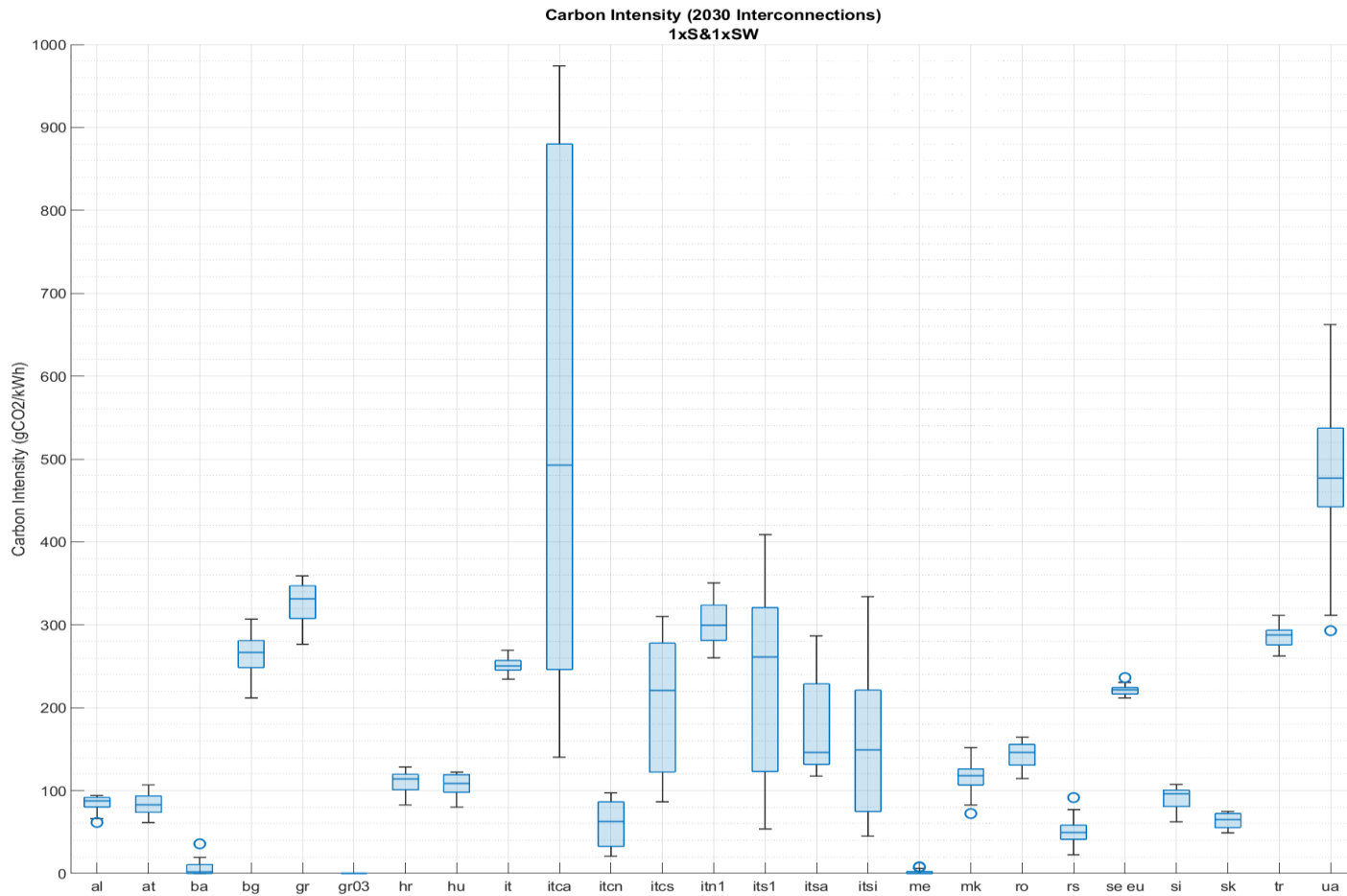
Αρχικά σύμφωνα με το Γράφημα 9, αξίζει να σχολιασθεί η συμπεριφορά της ζώνης ΙΤCA που αφορά την περιοχή της Καλαβρίας. Λαμβάνοντας υπόψη τα παρακάτω:

- Τοπολογία συστήματος (τρίγωνο συνδέσεων μεταξύ ΙΤSI, ΙΤCA και ΙΤS1, με μονή την περιοχή ΙΤS1 να συνδέεται με το υπόλοιπο σύστημα)
- Μικρή κατανάλωση σε σχέση με την παραγωγή ΗΕ από ΑΠ (βλέπε πίνακα τάδε)
- Όλες οι περιοχές της Ιταλίας έχουν το ίδιο ενεργειακό μείγμα (ΦΑ, ΑΠΕ)
- Τιμή ΦΑ κοινή για όλους του κόμβους

Και εφόσον ο αλγόριθμος έχει στόχο την ελαχιστοποίηση του κόστους του συστήματος η ροή ισχύος βασίζεται κατά κύριο λόγο στην μεταβλητή παραγωγή ΑΠΕ. Όπως θα δούμε και παρακάτω το γεγονός αυτό γίνεται περισσότερο κατανοητό από τις καμπύλες διάρκειας της ροής ισχύος των περιοχών της Ιταλίας.

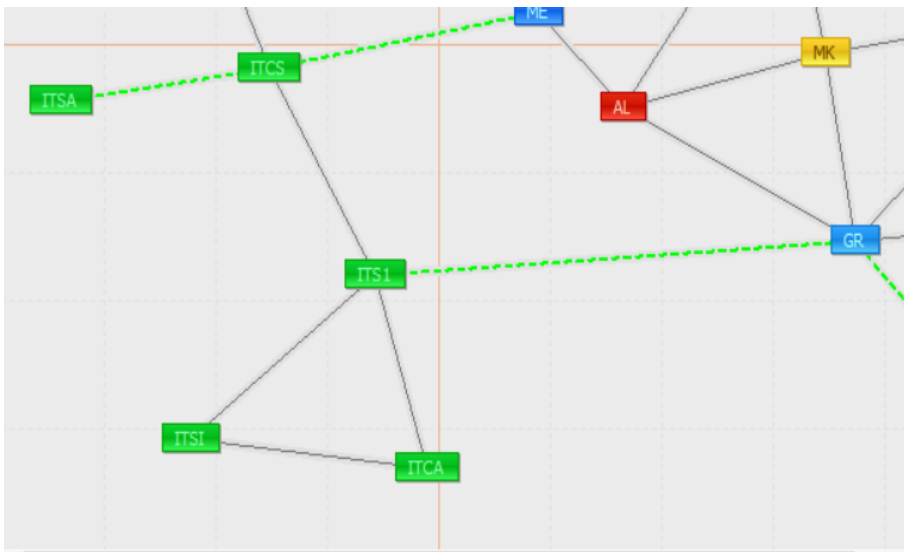
Εν ολίγοις η πολύ μεγάλη εγκατεστημένη ισχύς ΑΠΕ του νότου της Ιταλίας συνδυαστικά με την τοπολογία του συστήματος δημιουργούν ροές ισχύος οι οποίες πολλές φορές είναι κυκλικές και απρόβλεπτες λόγω και της κοινής τιμής για την παραγωγή ΗΕ από ΦΑ. Η μεγάλη αυτή διακύμανση των αποτελεσμάτων έντασης των εκπομπών είναι εμφανής και στις υπόλοιπες περιοχές της Ιταλίας όχι όμως με την ίδια διακύμανση καθώς δεν παρατηρείται τόσο τρανταχτή διαφορά μεταξύ παραγωγής ΑΠΕ και κατανάλωσης.

Παρά την περίεργη συμπεριφορά των επιμέρους περιοχών της, η Ιταλία συνολικά όπως φαίνεται έχει στατιστικά συγκεντρωμένα αποτελέσματα τα οποία κινούνται λίγο πάνω από τις τιμές που λαμβάνει όλο το σύστημα της ΝΑ Ευρώπης. Πάνω από το μέσο όρο του συνολικού συστήματος κινούνται επίσης οι τιμές για Βουλγαρία, Ελλάδα και Τουρκία.



Γράφημα 9 Ένταση εκπομπών CO2 για βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030)





Εικόνα 26 Τριγωνική διασύνδεση των περιοχών της Νότιας Ιταλίας

Κρίνεται χρήσιμο και διαφωτιστικό τα δεδομένα που προέκυψαν σχετικά με τις εκπομπές CO<sub>2</sub> να **συγκριθούν με πραγματικά δεδομένα**. Έτσι στον Πίνακα 5 παρατίθενται δεδομένα από την υπηρεσία EEA (European Environment Agency) και αφορούν τις εκπομπές των χωρών που μοντελοποιήθηκαν και ανήκουν στην ΕΕ για το έτος 2019.

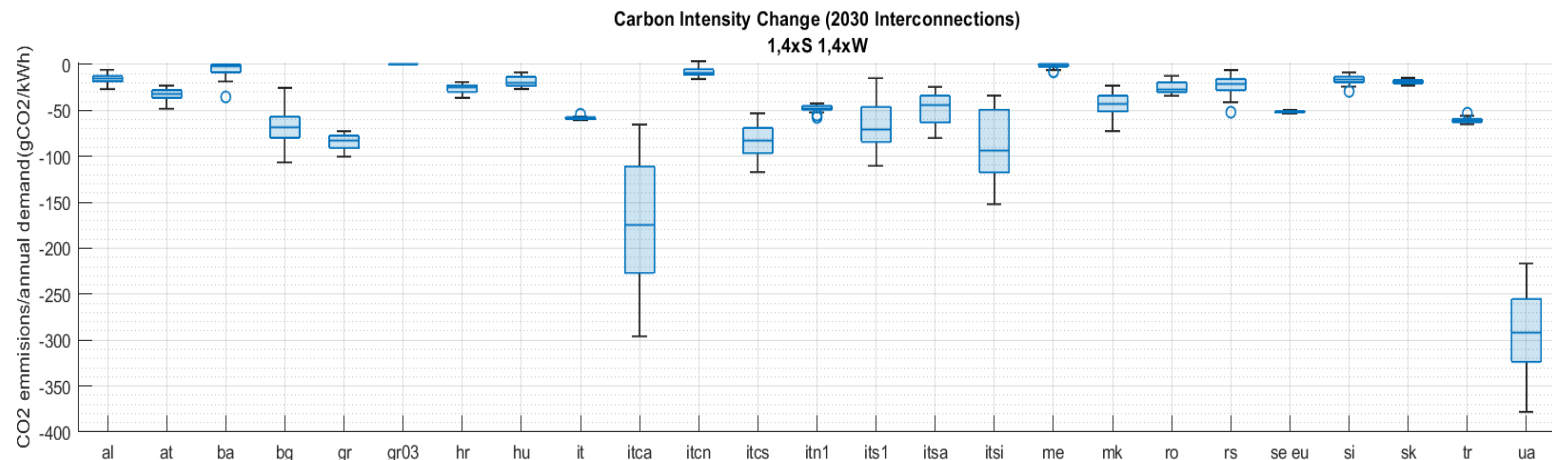
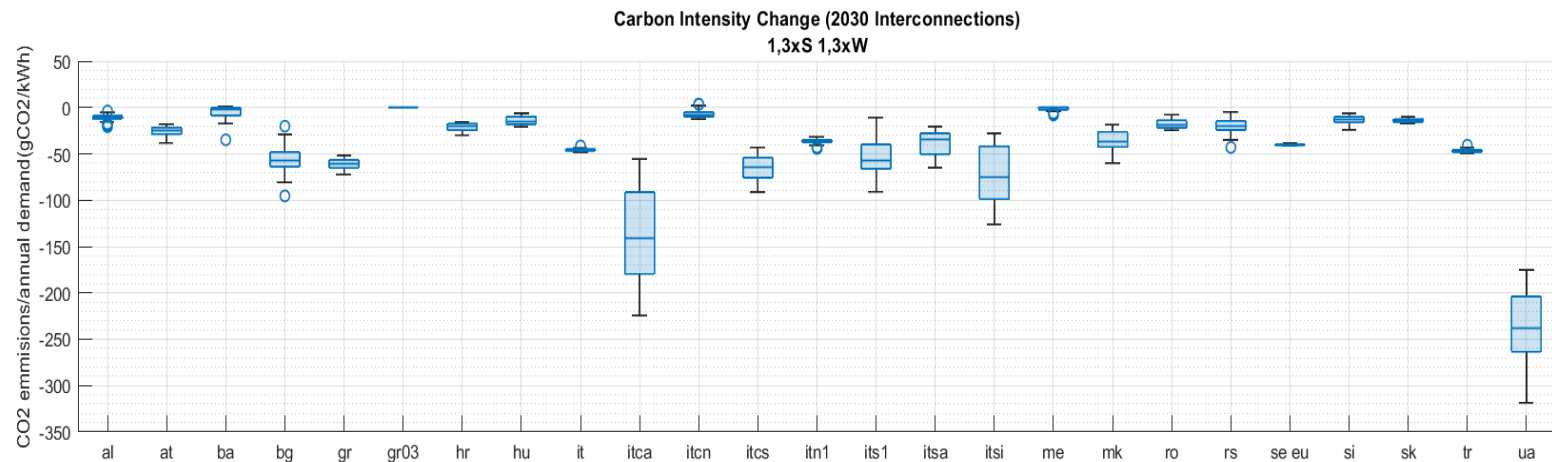
Περιοχή	2019	2030	Μεταβολή
Austria	92	83.6	-8.4
Bulgaria	427	264.7	-162.3
Croatia	163	111.0	-52.0
EU-27	253		
SEE		221.0	
Greece	606	326.0	-280.0
Hungary	227	106.4	-120.6
Italy	234	250.5	16.5
Romania	289	143.3	-145.7
Slovakia	122	63.5	-58.5
Slovenia	238	91.9	-146.1

Πίνακας 5 Σύγκριση έντασης εκπομπών (2019-2030)

Όλες οι περιοχές παρουσιάζουν μείωση της έντασης εκπομπών. Η Ελλάδα συγκεκριμένα έχει την μεγαλύτερη μεταβολή και ακολουθούν Βουλγαρία, Ρουμανία και Σλοβενία. Μοναδική χώρα που αυξάνει τα ποσοστά η Ιταλία η οποία επωμίζεται με περεταίρω παραγωγή ΗΕ από συμβατικές μονάδες ΦΑ, καθώς οι γειτονικές τους χώρες διαθέτουν πιο ακριβά καύσιμα.

### **Σενάρια αυξημένης παραγωγής**

Όπως φανερώνει το Γράφημα 10 η **αύξηση της παραγωγής ΗΕ από ΑΠΕ** προκαλεί μείωση της έντασης εκπομπών σε ζώνες παραγωγούς. Η μείωση δηλαδή παρατηρείται κυρίως σε περιοχές που είτε έχουν αυξημένη διείσδυση ΑΠΕ είτε συνορεύουν με τέτοιες και συνάμα διαθέτουν μονάδες ΦΑ που λόγω της χαμηλής τιμής του οδηγεί κατά τρόπον την αγορά και ορίζει τις ροές ισχύος.



Γράφημα 10 Ένταση εκπομπών CO<sub>2</sub> για σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ (1.3xRES, 1.4xRES)

### 9.1.5 Οριακή τιμή

#### Περιγραφή

Η οριακή τιμή, ορίζεται ως η τιμή για την εξυπηρέτηση φορτίου μίας παραπάνω μονάδας ενέργειας, στην προκείμενη περίπτωση μιας ακόμη MWh φορτίου. Τα αποτελέσματα σχετικά με την οριακή τιμή παρουσιάζονται με την βοήθεια θηκογράμματος (boxplot) και εμπεριέχουν ωριαία δεδομένα εξόδου για 15 κλιματικά έτη. Με κόκκινο αστερίσκο σημειώνεται η μέση τιμή των επιμέρους μέσων τιμών οριακής τιμής κάθε κλιματικού έτους. Με αχνό πορτοκαλί x σημειώνεται η μέση διάμεσος τιμή των επιμέρους κλιματικών ετών.

#### Σχολιασμός

##### Βασικό σενάριο

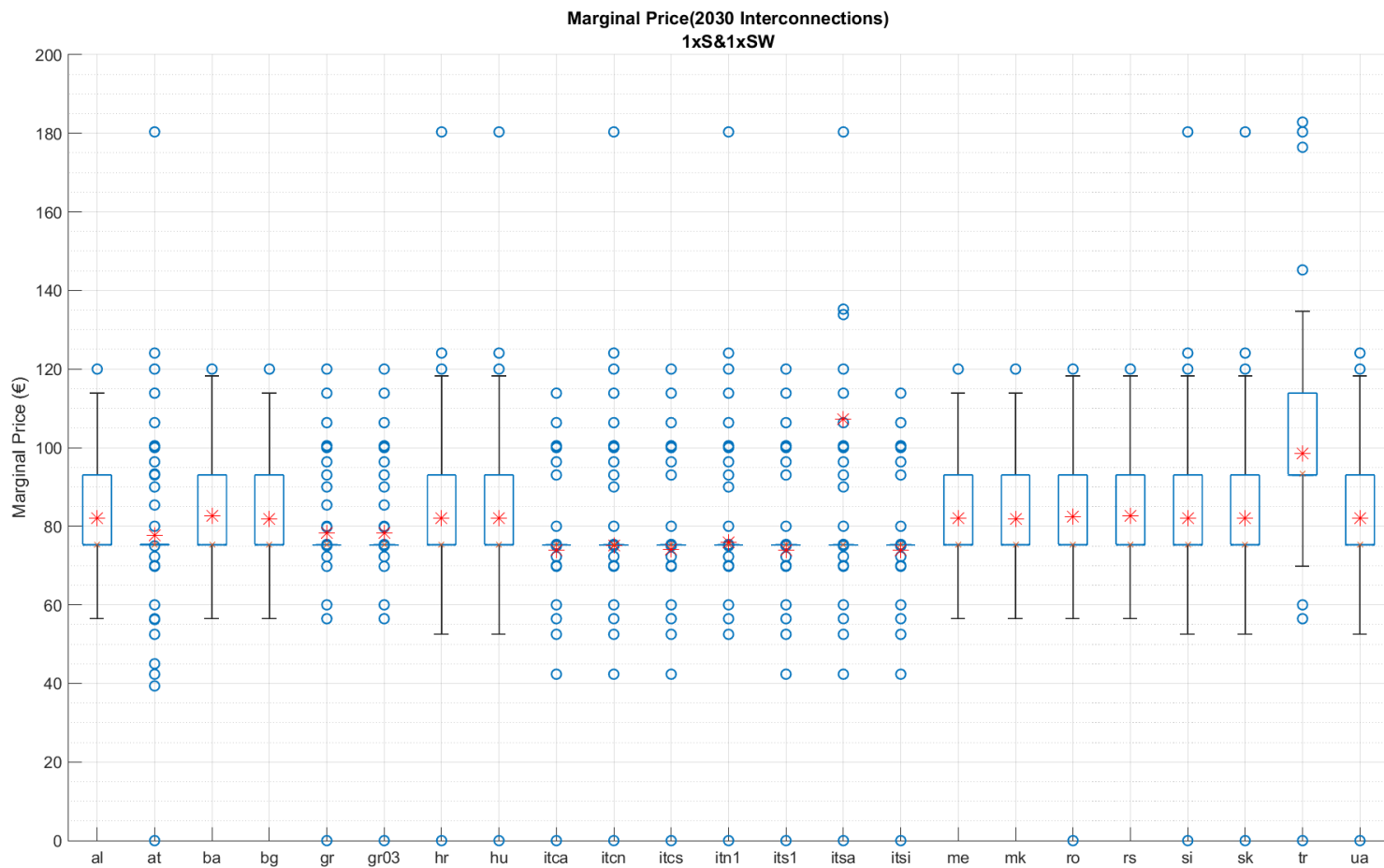
Αρχικά παρατηρώντας το γράφημα γίνεται αμέσως ο διαχωρισμός των χωρών που δεν διαθέτουν στον παραγωγικό τους στόλο ανθρακικές μονάδες.

Οι περιοχές της Ελλάδας, της Ιταλίας και η Αυστρία είναι οι μόνες στις οποίες δεν σχηματίζεται το κουτί του θηκογράμματος. Αυτό σημαίνει πως οι μισές και πλέον παρατηρήσεις οριακών τιμών ταυτίζονται με την τιμή των 75,29€, τιμή δηλαδή του ΦΑ. Αυτή η συμπεριφορά οφείλεται στο γεγονός ότι είναι περιοχές παραγωγοί και επειδή έχουν ικανή εγκατεστημένη ισχύ ΦΑ για λόγους επάρκειας δεν έχουν την ανάγκη εισαγωγής ακριβότερης ενέργειας άνθρακα. Άλλη χώρα που προβλέπεται το 2030 να διαθέτει μονάχα μονάδες ΦΑ είναι η Αλβανία, οι τιμές της οποίας δεν ακολουθούν την ίδια κατανομή καθώς η εγκατεστημένη ισχύς που διαθέτει δε φαίνεται να επαρκεί αναγκάζοντας την να εισάγει από γειτονικές χώρες πέραν της Ελλάδας.

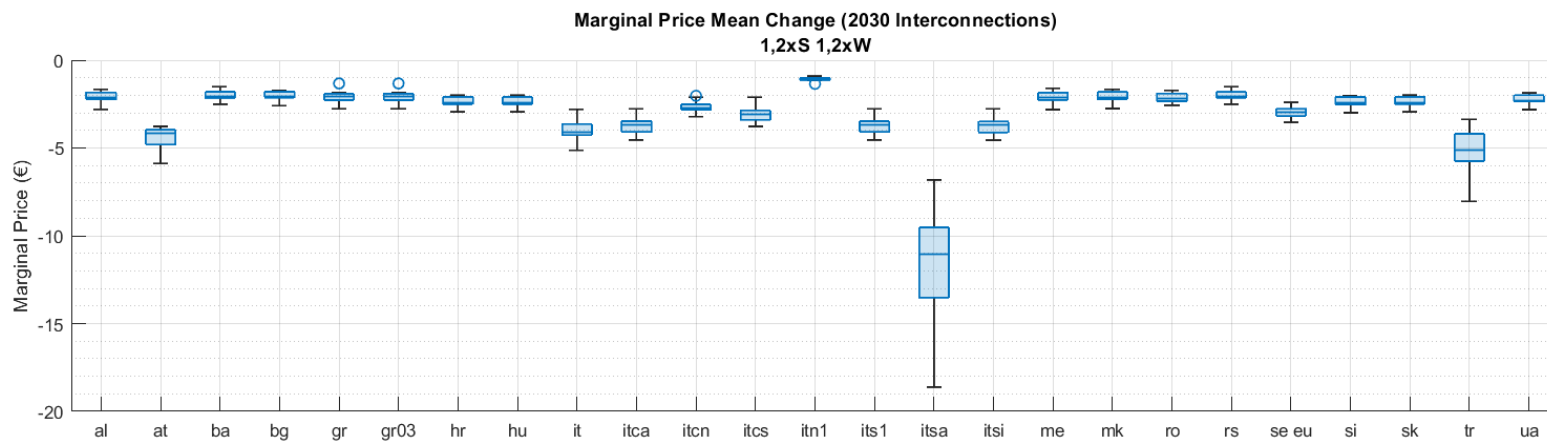
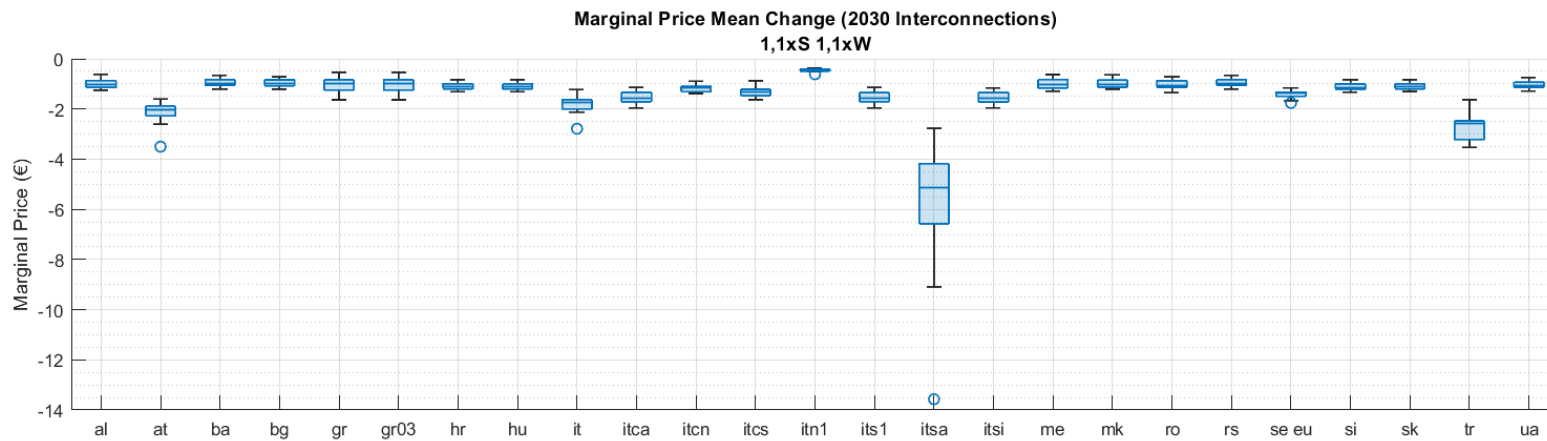
Από την άλλη, όλες οι υπόλοιπες περιοχές έχουν παρόμοια συμπεριφορά αφού ακόμη και ο μέσος όρος των τιμών τους είναι σχεδόν ίδιος. Μόνη εξαίρεση η Τουρκία η οποία όπως αποτυπώνεται στο γράφημα οι τιμές της κυμαίνονται σε υψηλότερες τιμές. Αυτό συμβαίνει διότι έχει περιορισμένες διασυνδέσεις, αναλογικά και με τα επίπεδα ζήτησης της, καθώς επίσης διαθέτει μεγάλη εγκατεστημένη ισχύ ακριβού λιγνίτη χαμηλότερης απόδοσης συγκριτικά με άλλων βαλκανικών περιοχών.

Τέλος επισημαίνεται πως παρατηρούνται και λίγες μηδενικές οριακές τιμές σε πολλές από τις περιοχές που σημαίνει πως ορισμένες ώρες ανά το ΜΚ έτος της προσομοίωσης οι ενεργειακές ανάγκες καλύπτονται πλήρως από την παραγωγή των μεταβλητών ΑΠΕ. Επίσης οι μηδενικές τιμές σημαίνει είτε ότι συνδυάζονται με παραγωγή ΑΠΕ γειτονικών περιοχών, είτε ότι η διασυνδετική ικανότητα της περιοχής που παρατηρείται έχει εξαντληθεί.

Οι τιμές που εμφανίζονται και δεν αντιστοιχούν σε κάποια από τις προαναφερθείσες τιμές καυσίμων απαντώνται σε εικονικές τιμές νερού για τα διαφορετικά επίπεδα πληρότητας των ταμιευτήρων των μονάδων αντλαιοσταμίου.



Γράφημα 11 Οριακή τιμή για βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030)



Γράφημα 12 Οριακή τιμή για σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ (1.3xRES, 1.4xRES)

### **Σενάρια αυξημένης παραγωγής**

Τα γραφήματα για τη μεταβολή στις οριακές τιμές αφορούν την αναπαράσταση με θηκόγραμμα των μέσων οριακών τιμών των περιοχών για τα 15κλιματικά έτη. Οι μεταβολές σε όλες τις περιπτώσεις είναι αρνητικές, δηλαδή όσο η παραγωγή των ΑΠΕ αυξάνεται οι οριακές τιμές εν γένει μειώνονται. Σημαντικότερες μειώσεις, μεταξύ 2 και 12€ (1,1xRES έως 1,4xRES), παρατηρούνται στην Ιταλία και την Αυστρία που συνορεύουν και έχουν και μεγάλη διείσδυση ΑΠΕ. Συγκεκριμένα η περιοχή στην Σαρδηνίας συναντάται η μεγαλύτερη μεταβολή. Όλες οι υπόλοιπες περιοχές καταγράφουν αρνητικές μεταβολές μεταξύ 1 και 5€.

### 9.1.6 Συντελεστής χρησιμοποίησης συμβατικών μονάδων

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην διερεύνηση της λειτουργίας του ενοποιημένου συστήματος ΗΕ της ΝΑ Ευρώπης. Στα πλαίσια της εργασίας δίνεται μεγαλύτερο βάρος στην ανάλυση αποτελεσμάτων που σχετίζονται με την επίτευξη των μακροχρόνιων κλιματικών στόχων της ΕΕ, όπως είναι το ποσοστό διείσδυσης ΑΠΕ, η χρήση των διασυνοριακών γραμμών μεταφοράς και οι υπόλοιποι δείκτες που έχουν παρουσιαστεί προηγούμενα. Επειδή όμως η λειτουργία του συστήματος εξαρτάται κατά πολύ και από τις συμβατικές μονάδες ορυκτών καυσίμων που λειτουργούν σε συνεργασία με τις μεταβλητές ΑΠΕ, για την επίτευξη της ασφάλειας τροφοδοσίας, κρίνεται αναγκαία η αναφορά σχετικά με την χρήση τους.

#### Περιγραφή

Ο δείκτης που χρησιμοποιήθηκε είναι ο συντελεστής χρησιμοποίησης (Capacity Factor), ο οποίος δηλώνει το πόσο χρησιμοποιείται το σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος της εκάστοτε τεχνολογίας θερμικών μονάδων. Πρόκειται, λοιπόν, για την μέση παραγωγή ενέργειας όπως αυτή προέκυψε από τις προσομοιώσεις του μοντελοποιημένου συστήματος ως προς την μέγιστη δυνατή παραγωγή εάν όλες οι μονάδες λειτουργούσαν όλο το χρόνο δίχως βλάβες. Ο πίνακας που ακολουθεί αφορά τα δεδομένα του βασικού σεναρίου και παρουσιάζεται ως ποσοστό επί τοις εκατό.

#### Σχολιασμός

Περιεχόμενο έχουν μόνο τα κελία τα οποία απαντώνται με εγκατεστημένη ισχύ στις βάσεις δεδομένων του ENTSO-E. Άρα όσα κελία είναι κενά σημαίνει πως δεν αντιστοιχούν σε εγκατεστημένη ισχύ της αναφερόμενης ΠΕ για την εκάστοτε ζώνη.

A/α	Ζώνη	Lignite (%)	Hard Coal (%)	Gas (%)	Oil (%)
1	(AL)			83.06	
2	(AT)			54.54	0.00
3	(BA)	0.51			
4	(BG)	7.69	19.37	87.72	
5	(GR)			77.31	
6	(GR03)				0.00
7	(HR)		20.57	81.53	
8	(HU)			80.95	
9	(ITCA)			44.29	
10	(ITCN)			50.18	
11	(ITCS)			50.64	



12	(ITN1)			65.36	
13	(ITS1)			44.43	
14	(ITSA)			49.49	
15	(ITSI)			36.17	0.00
16	(ME)	0.20			
17	(MK)	9.59		81.26	
18	(RO)	0.03	23.32	83.87	
19	(RS)	2.53		86.45	
20	(SI)	0.89	18.43	62.56	
21	(SK)	0.34	20.13	79.55	0.00
22	(TR)	7.28	63.71	94.30	0.02
23	(UA)		19.86		0.00

Πίνακας 6 Συντελεστής χρησιμοποίησης συμβατικών μονάδων

Συμπεράσματα που προκύπτουν από τον πίνακα είναι τα εξής:

- Οι λιγνιτικές μονάδες έχουν συντελεστή χρησιμοποίησης μικρότερο του 10%
  - Οφείλεται στις υψηλές τιμές για την παραγωγή ΗΕ από λιγνίτη
- Ο συντελεστής χρησιμοποίησης των μονάδων ανθρακίτη (Hard Coal) κυμαίνεται κοντά στο 20%
  - Μόνη εξαίρεση η Τουρκία που λόγω περιορισμένων διασυνδεδετικών ικανοτήτων προμηθεύεται περιορισμένη ΗΕ από Ελλάδα και Βουλγαρία οπότε παράγει η ίδια ΗΕ μέσω των συμβατικών μονάδων της ( βλέπε συντελεστή χρησιμοποίησης μονάδων ΦΑ ~95%)
  - Η εκτενής χρήση συμβατικών μονάδων ορυκτών καυσίμων όπως είδαμε αντικατοπτρίζεται και στην οριακή τιμή της Τουρκίας ([Γράφημα 11](#))
- Οι μονάδες ΦΑ διαθέτοντας τη φθηνότερη ενέργεια συγκριτικά με τις υπόλοιπες μονάδες ορυκτών καυσίμων έχουν συντελεστή χρησιμοποίησης μεγαλύτερο του 40%
  - Μικρότερο ποσοστό καταγράφουν οι περιοχές τις Ιταλίας και ειδικά αυτές του νότου (36,17-65,36%), η Αυστρία (54,54%) και ακολουθούν η γειτονική τους Σλοβενία (62,56%) και η Ελλάδα (77,31%)
  - Από την άλλη μεγάλο ποσοστό άνω του 80% καταγράφουν όλες οι υπόλοιπες χώρες με πρωτοπόρο την Τουρκία.

Τέλος όσον αφορά τις μονάδες πετρελαίου που υπάρχουν για να εξυπηρετούν φορτία αιχμής, φαίνεται πως δεν χρησιμοποιούνται καθόλου, με μόνη εξαίρεση και πάλι την Τουρκία της οποίας το ποσοστό είναι ελάχιστο (0.2%).

### 9.1.7 Διασυνδέσεις

Οι διασυνδέσεις, σύμφωνα και με την εκτενή περιγραφή του συστήματος ηλεκτροπαραγωγής που έγινε στο θεωρητικό μέρος, έχουν ιδιαίτερη σημασία για την επίτευξη των ενεργειακών στόχων της ΕΕ. Το Μοντέλο Στόχο η ΕνΕ ουσιαστικά προωθεί αναγκαίες μεταρρυθμίσεις για την επίτευξη της ενεργειακής πολιτικής της ΕΕ με στόχο την αναδιαμόρφωση στο ενεργειακό τοπίο. Συγκεκριμένα η πολιτική που ακολουθεί η ένωση προωθεί την ενοποίηση των επιμέρους αγορών ηλεκτρικής ενέργειας ώστε να διευκολύνεται η ενεργειακή συνεργασία μεταξύ των κρατών μελών. Τα παραπάνω έχουν ως απώτερο σκοπό την μείωση των εκπομπών Ατθ, ή ακόμη και την ανθρακική ουδετερότητα της ένωσης, μέσω της αυξημένης διείσδυσης των ΑΠΕ.

#### *Περιγραφή*

Στο παρόν κεφάλαιο λοιπόν, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα σχετικά με την χρήση των διασυννοριακών γραμμών μεταφοράς. Οι τύποι γραφήματος που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάδειξη του τρόπου με τον οποίο μεταφέρεται η ΗΕ στο σύστημα είναι:

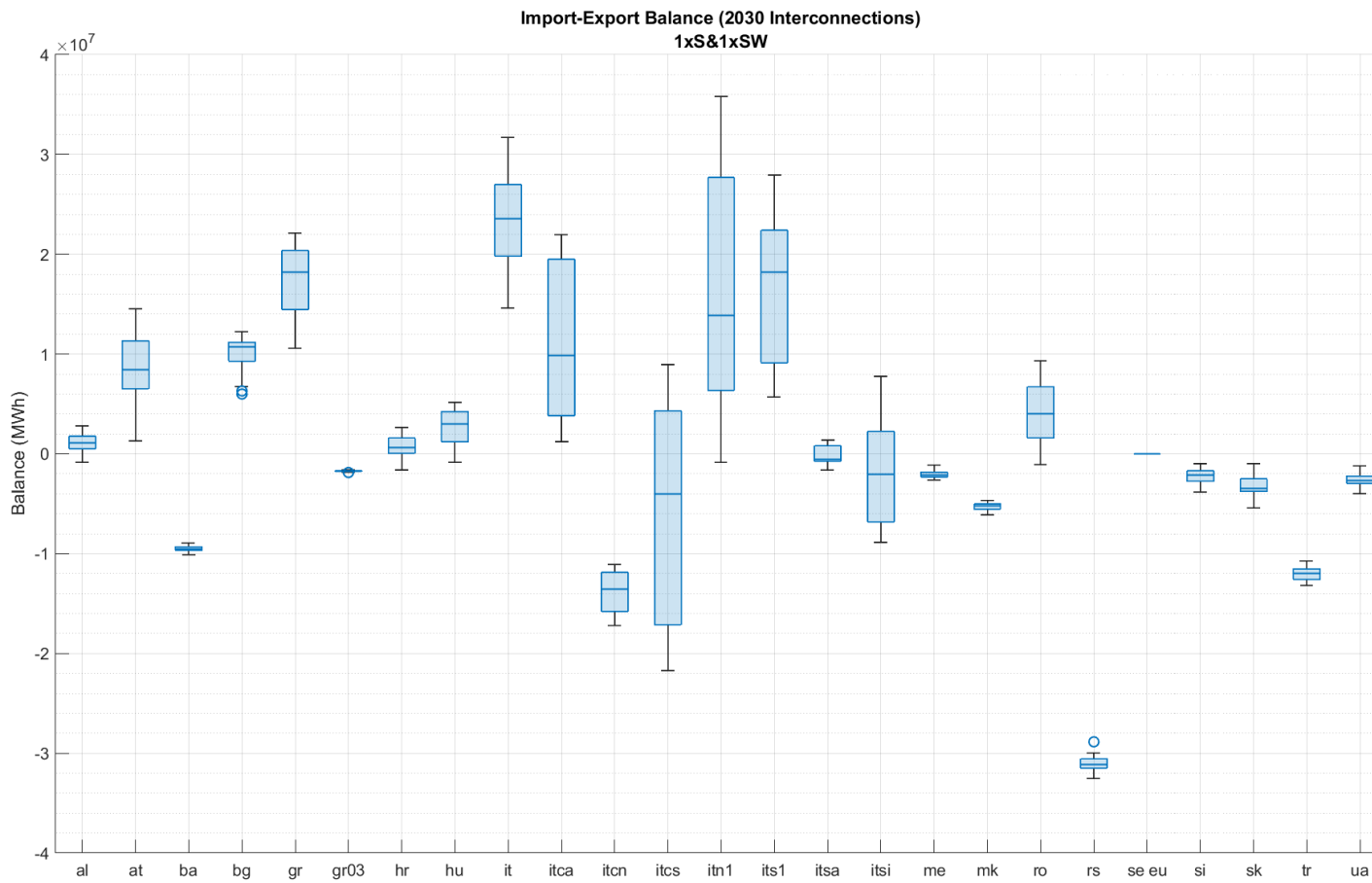
- Εισαγωγική –εξαγωγική θέση κάθε κόμβου
- Αθροιστική ροή ισχύος των διασυνδέσεων
- Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος
  - Μεταβολή της μέσης ροής ισχύος για τα κλιμακωτά σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ
- Κόστος συμφόρησης γραμμής
- Διαφορικό τιμής-Ροή ισχύος

Λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων δεν θα παρουσιαστούν όλες οι καμπύλες ροής φορτίου. Για αυτό τον λόγο γίνεται πρώτα μια μικρή παρουσίαση και ανάλυση των αποτελεσμάτων που αφορούν τους δύο πρώτους τύπους γραφημάτων.

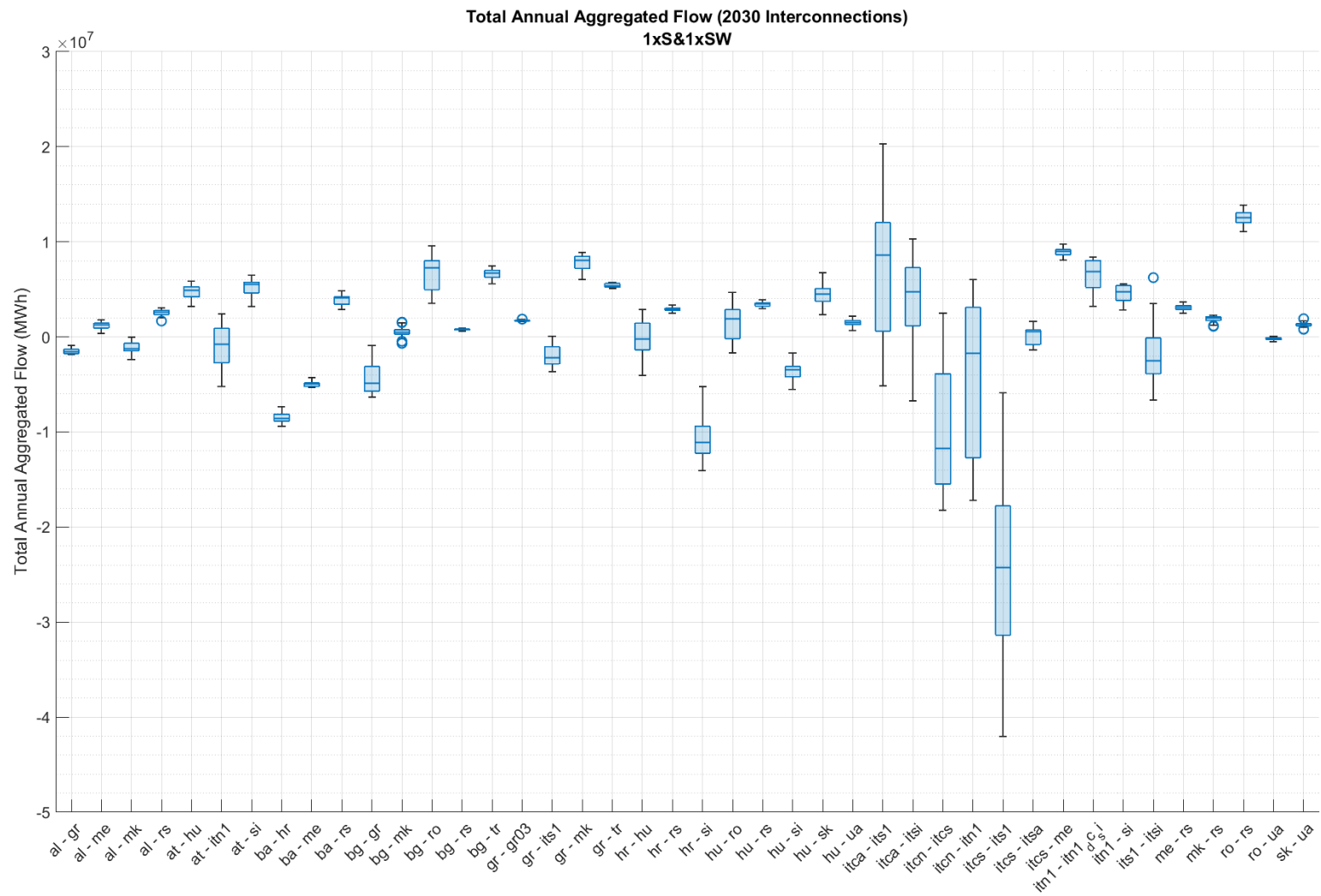
#### *Εισαγωγές-εξαγωγές κάθε κόμβου & συνολική μεταφορά ισχύς κάθε διασύνδεσης*

Για την αποτύπωση της συνολικότερης εικόνας σχετικά με την ροή ενέργειας στο σύστημα παρουσιάζεται από την μία η καθαρή θέση κάθε ζώνης όσον αφορά τις εισαγωγές και της εξαγωγές και από την άλλη η καθαρή θέση αντίστοιχα της διακινούμενης ισχύος σε κάθε διασύνδεση. Όσον αφορά την ανάγνωση των γραφημάτων:

- Θετικές τιμές στο πρώτο γράφημα (17) → Εξαγωγική θέση
- Θετικές τιμές στο δεύτερο γράφημα (18) → Μεγαλύτερη αθροιστική ροή ισχύος από το πρώτο άκρο στο δεύτερο



Γράφημα 13 Συνολικές εισαγωγές-εξαγωγές κάθε ζώνης για το βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030)



Γράφημα 14 Συνολική ροή ισχύος διασυνδέσεων για το βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030)



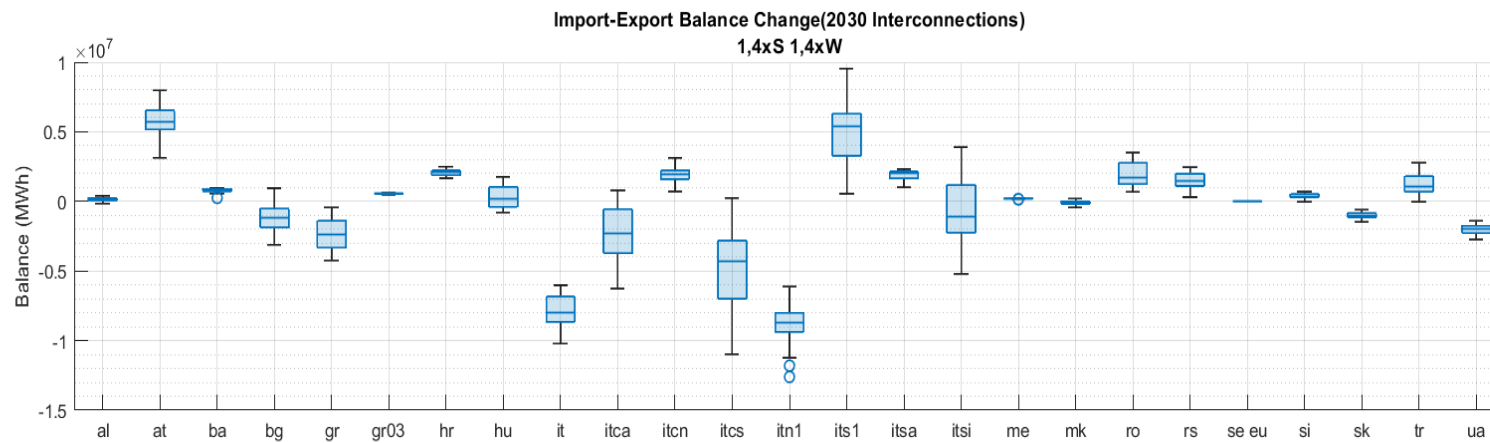
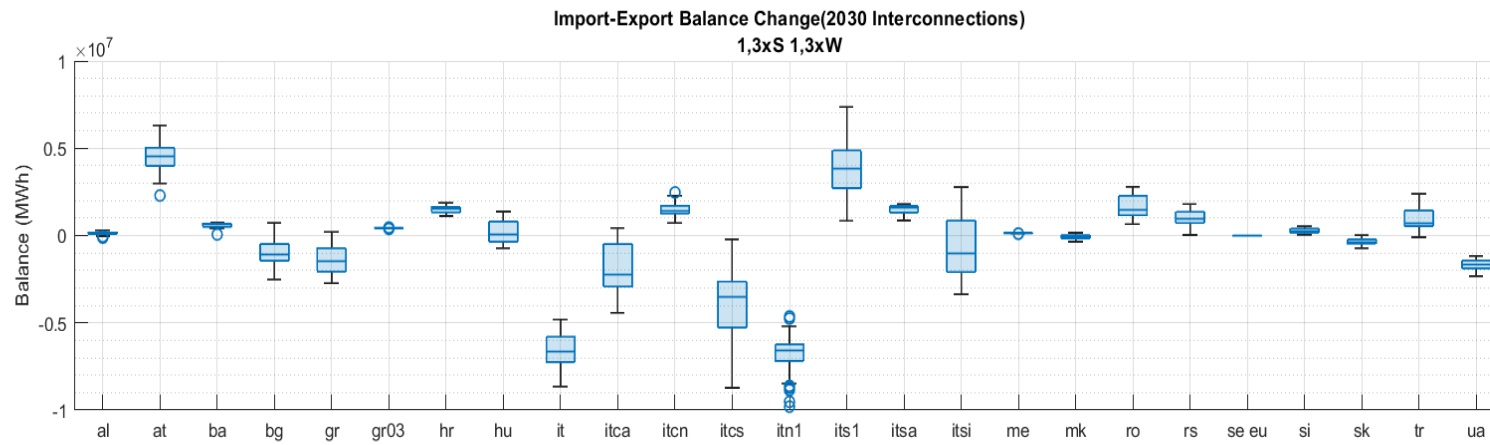
- Ο διαμοιρασμός της ΗΕ γίνεται κατ' αυτόν τον τρόπο λόγω της αυξημένης παραγωγής αιολικής και ηλιακής ενέργειας του νότου καθώς επίσης και επειδή η Ιταλία, Ελλάδα και η Αυστρία είναι οι μόνες χώρες στις οποίες δεν προβλέπεται ύπαρξη συμβατικών μονάδων άνθρακα, που παράγουν ακριβότερη ενέργεια συγκριτικά με το ΦΑ.

### *Σενάρια αυξημένης διείσδυσης*

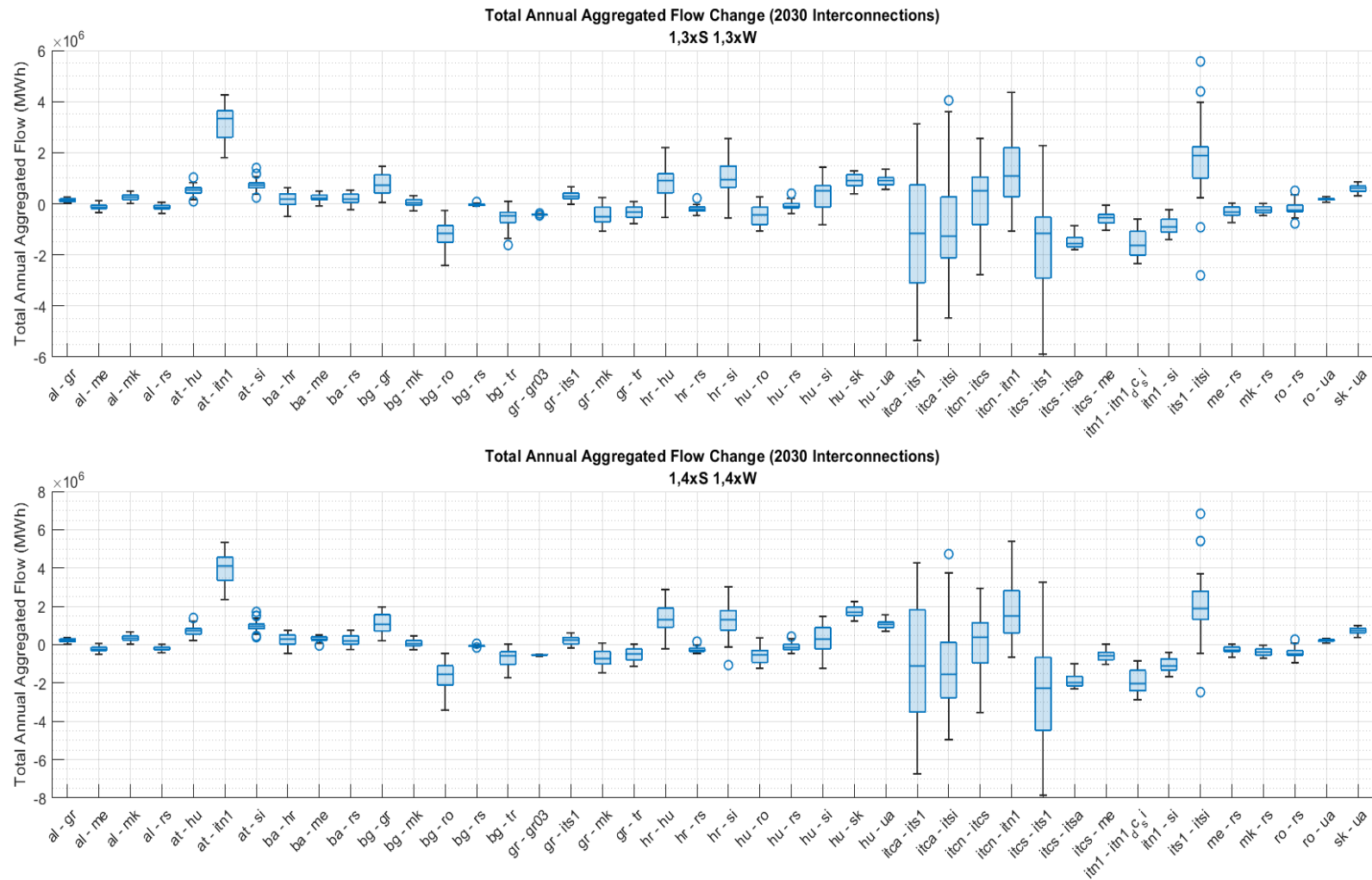
Οι σχετικές μεταβολές των παραπάνω δεικτών προκύπτουν από την σύγκριση των αποτελεσμάτων κάθε έτους των σεναρίων αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ με τα αντίστοιχα έτη του βασικού σεναρίου.

Με την αύξηση της παραγωγής ΑΠΕ γραμμικά και κλιμακωτά σύμφωνα με τα σενάρια αυξημένης παραγωγής παρατηρούμε τα εξής:

- Αυστρία και Ρουμανία ως πλησιέστερες στις εισαγωγικές χώρες των κεντρικών Βαλκανίων αυξάνουν την εξαγωγική τους θέση
- Ιταλία σε μεγάλο βαθμό, Ελλάδα και Βουλγαρία μειώνουν την εξαγωγική τους θέση καθώς
  - Χώρες που εισήγαγαν από αυτές όπως η Τουρκία πλέον διαθέτει μεγαλύτερη παραγωγή από ΑΠΕ
  - Χώρες όπως η Αυστρία και Κροατία παράγουν πλέον περισσότερη ενέργεια αντικαθιστώντας έτσι την ενέργεια που διοχετευόταν μέσω αυτών από την Ιταλία στις κεντρικές Βαλκανικές χώρες



Γράφημα 15 Μεταβολή εισαγωγικής εξαγωγικής θέσης για τα σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ (1.3xRES, 1.4xRES)



Γράφημα 16 Μεταβολή συνολικής ροής ισχύος διασυνδέσεων για σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ(1.3xRES, 1.4xRES)



### 9.1.8 Καμπύλες διάρκειας ροής ισχύος

#### Περιγραφή

Οι καμπύλες διάρκειας φορτίου για τις 42 διασυνδέσεις μεταξύ των ζωνών αφορούν τόσο AC όσο και DC γραμμές μεταφοράς, οι οποίες μοντελοποιούνται με τον ίδιο τρόπο δίχως να λαμβάνονται υπόψη οι απώλειες γραμμών. Για κάθε σενάριο παραγωγής ΑΠΕ λοιπόν δημιουργήθηκαν 42 γραφήματα για τις επιμέρους διασυνδέσεις στα οποία αποτυπώνονται και τα 35 κλιματικά έτη. Λόγω του μεγάλου όγκου δεδομένων στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστεί περιορισμένος αριθμός γραφημάτων, μόνο για το βασικό σενάριο(1xRES, διασυνδέσεις 2030).

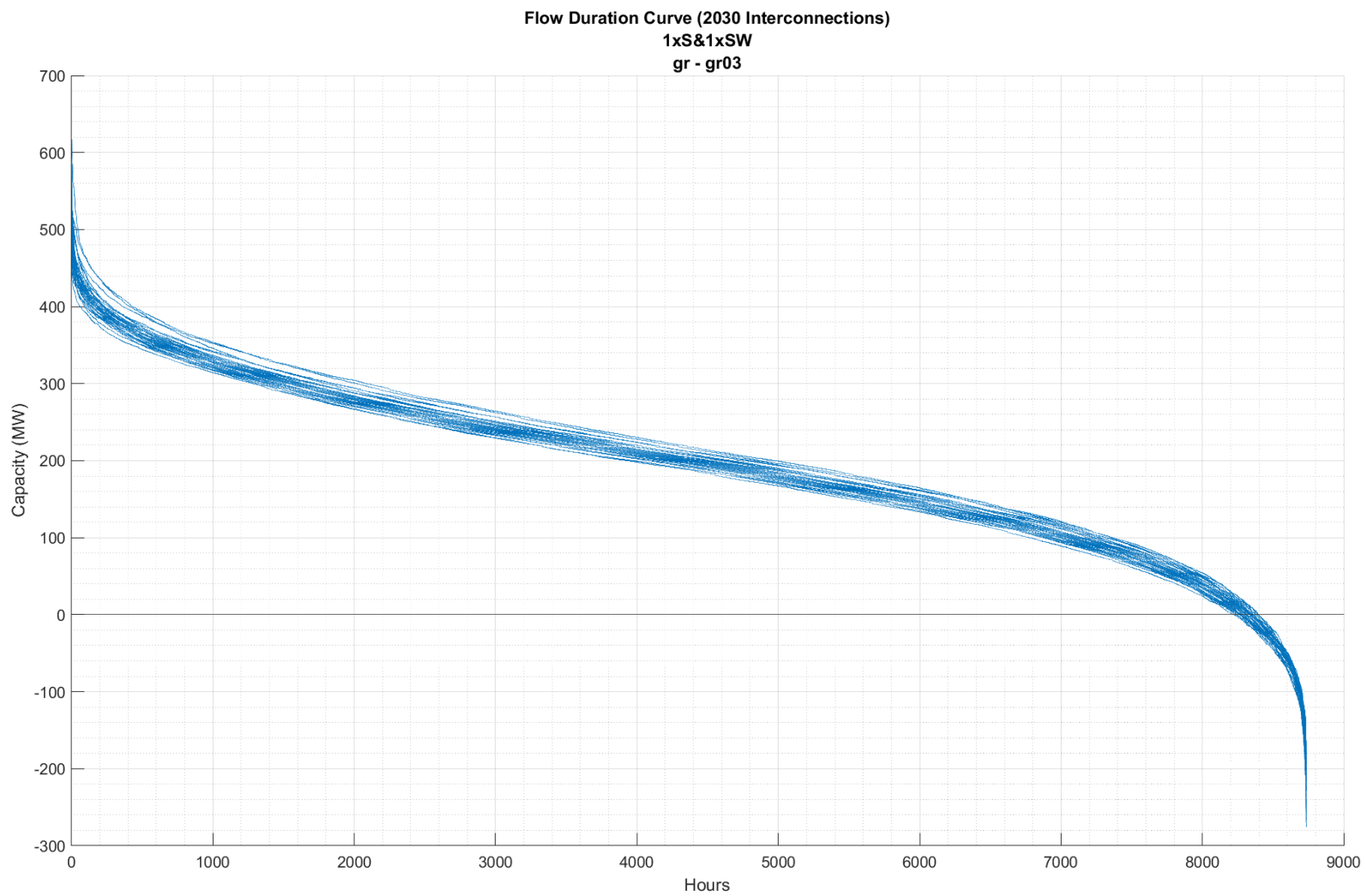
Για την καλύτερη **ανάγνωση** των γραφημάτων θεωρείται σκόπιμο να δοθούν ορισμένες διευκρινίσεις:

- Τα γραφήματα παρουσιάζουν μια διασύνδεση με την κατεύθυνση που αναφέρεται στον τίτλο
- Θετικές τιμές ταυτίζονται με την ροή ενέργειας όπως αυτή αναφέρεται στον τίτλο ενώ αρνητικές τιμές ροής ισχύος αφορούν την ροή ενέργειας κατά αντίθετη φορά από αυτή που δηλώνει ο τίτλος του γραφήματος.

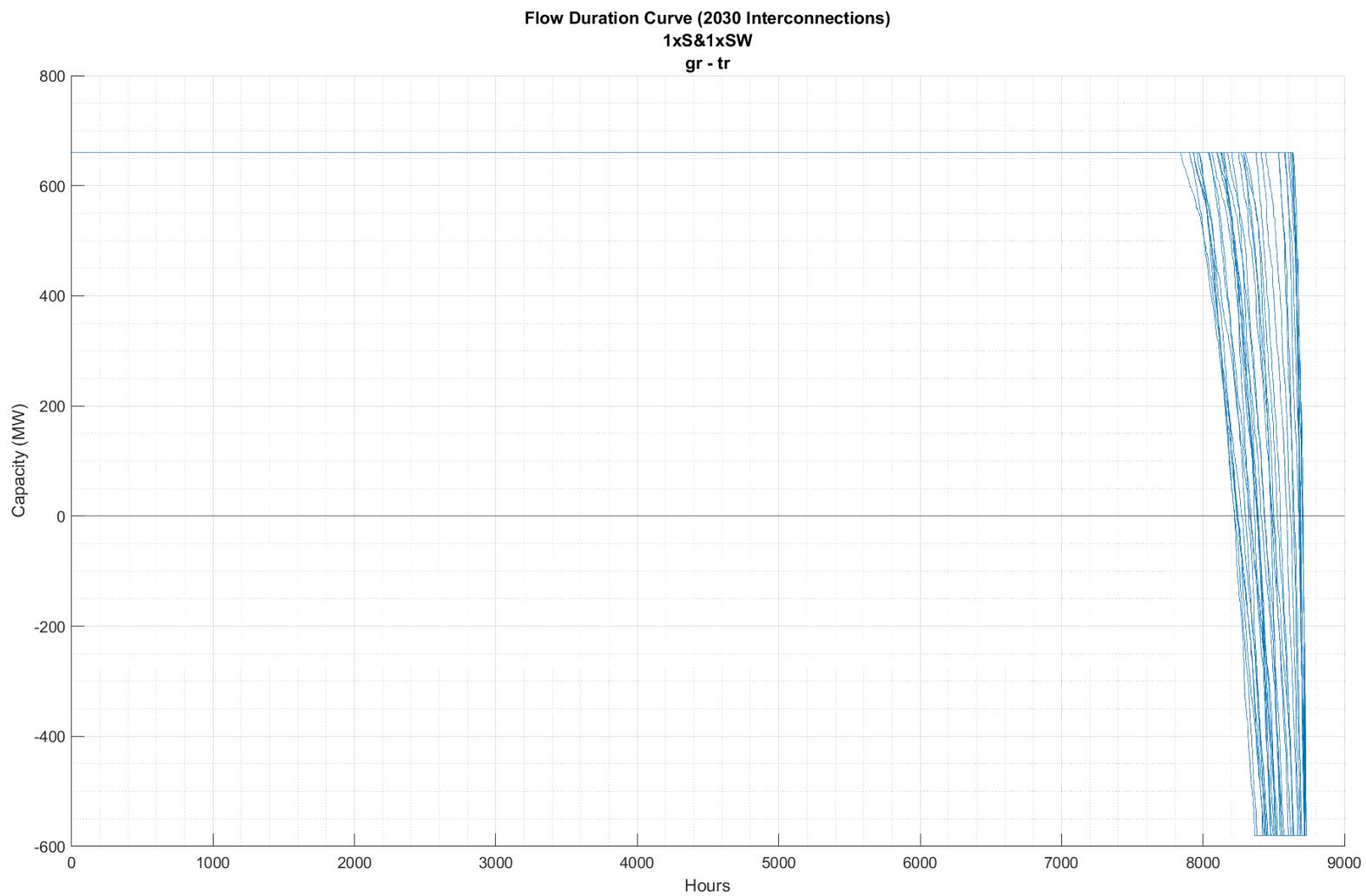
#### Σχολιασμός

Όσον αφορά τις διασυνδέσεις της Ελλάδας:

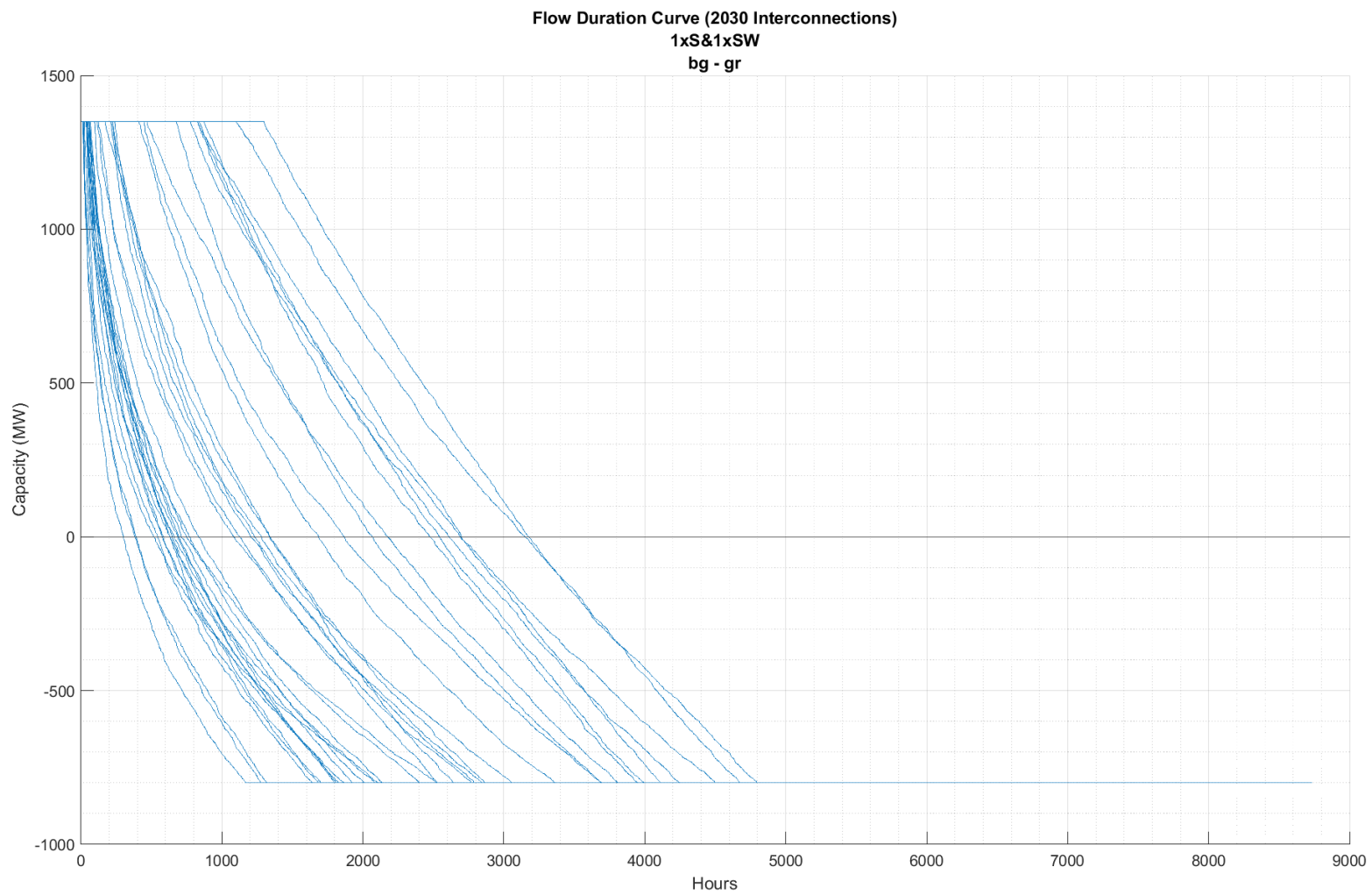
- GR-GR03: φυσιολογική συμπεριφορά, δεν συναντάται κορεσμός στην γραμμή άρα η οριακή τιμή διαμορφώνεται από κοινού στις δύο περιοχές και η ενέργεια ανταλλάσσεται βάσει της ζήτησης
  - Σε παρόμοια πλεύση με την παραπάνω εικόνα κινείται και η καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος μεταξύ Ουγγαρίας και Σλοβακίας
- AL-GR, BG-GR, GR-MK, GR-TR: όλες οι διασυνδέσεις που αναφέρονται προμηθεύουν με ενέργεια που παράγεται στην Ελλάδα (και στην Ιταλία) τις υπόλοιπες γειτονικές χώρες της Ελλάδας
  - Κορεσμός παρατηρείται στις περισσότερες από τις προαναφερθείσες διασυνδέσεις
- GR-ITS1: Η Ελλάδα δέχεται κυρίως ενέργεια από την Ιταλία. Σε μεγάλο χρονικό εύρος η διασύνδεση μεταξύ τους είναι κορεσμένη. Οι καμπύλες για τα διάφορα κλιματικά έτη όπως φαίνεται παρακάτω δεν είναι συγκεντρωμένες κυρίως λόγω του ότι οι περιοχές που συνδέονται έχουν ίδιου τύπου παραγωγικές μονάδες.



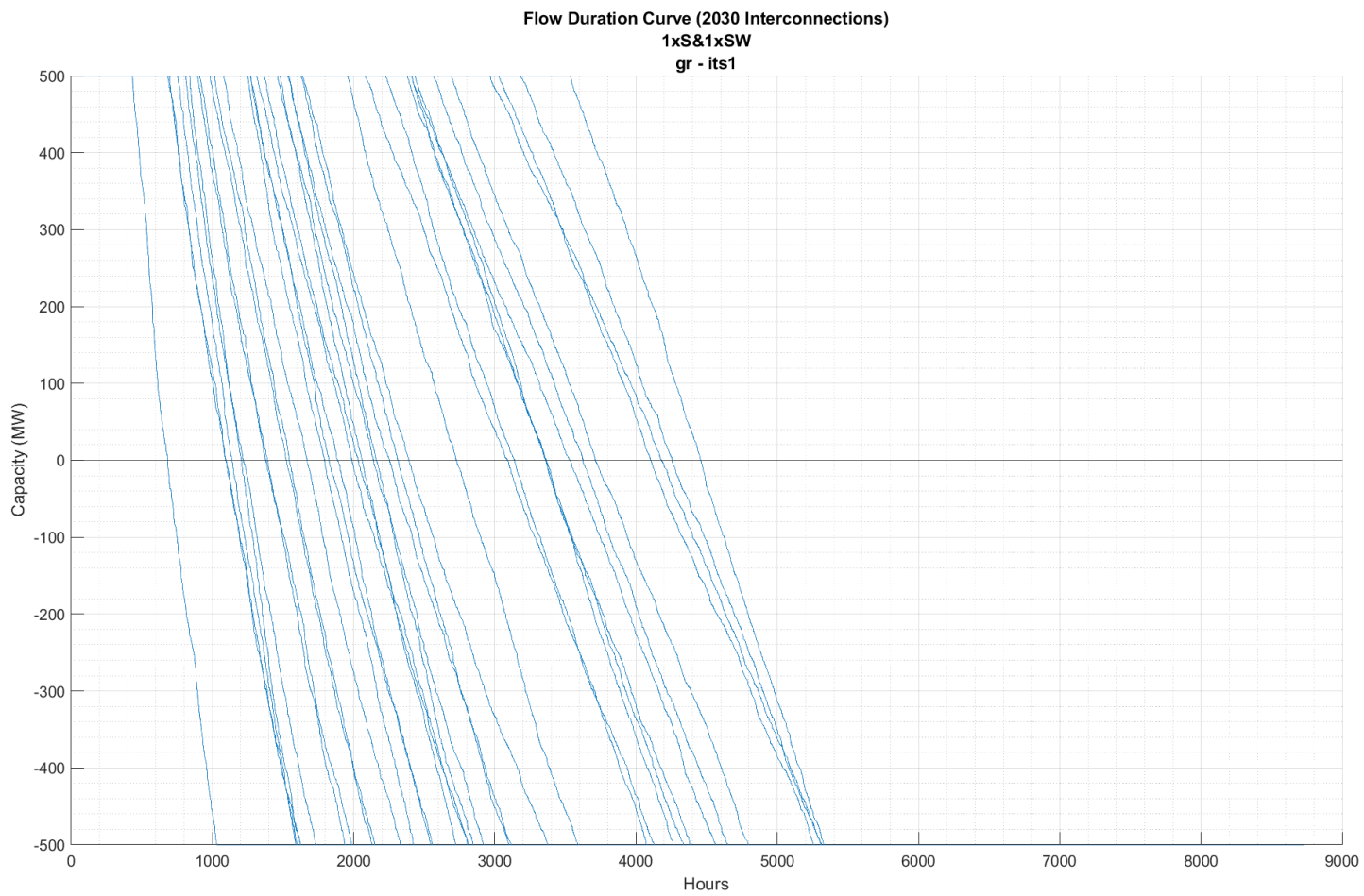
Γράφημα 17 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος GR-GR003



Γράφημα 18 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος GR-TR



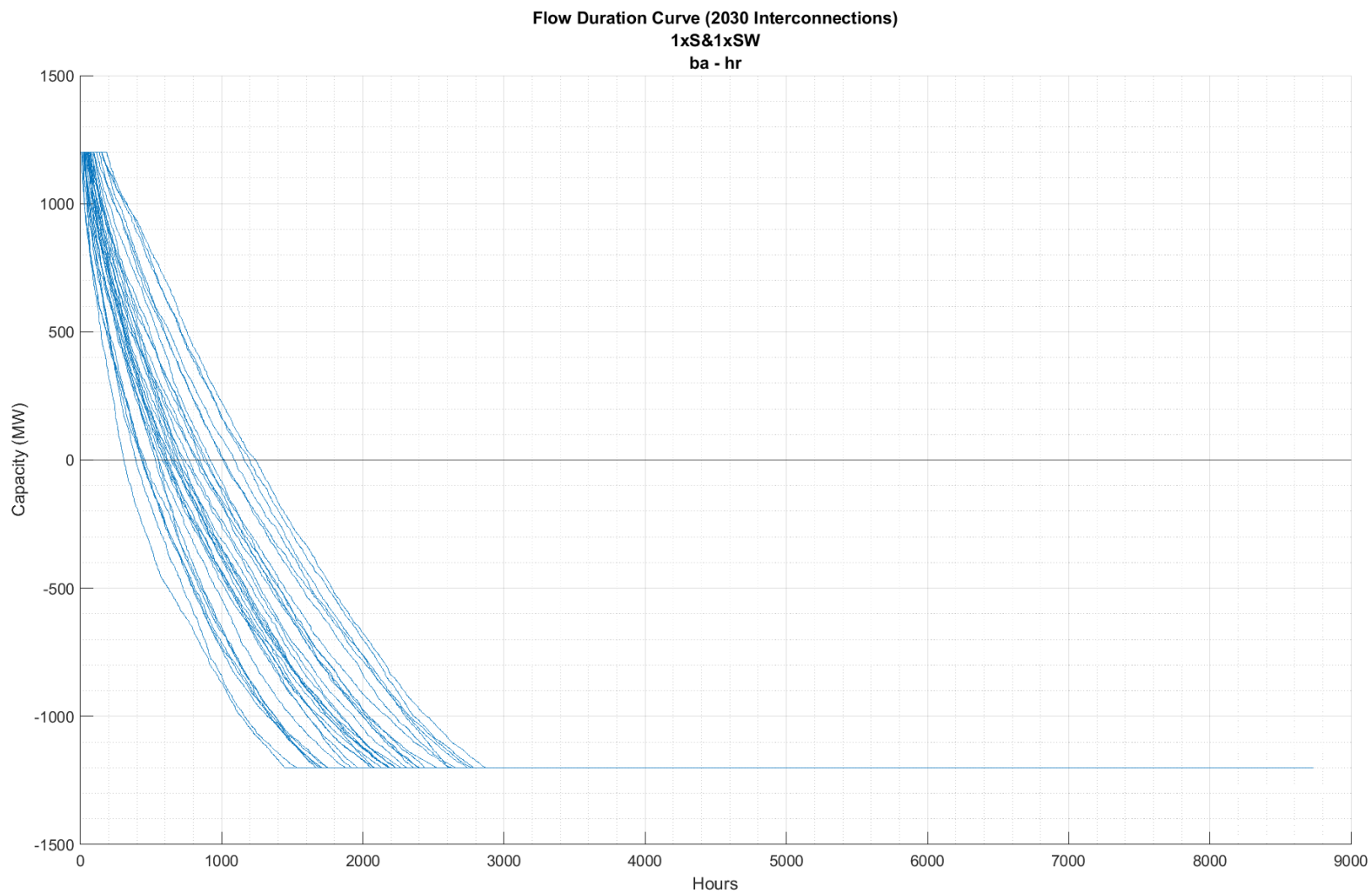
Γράφημα 19 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος BG-GR



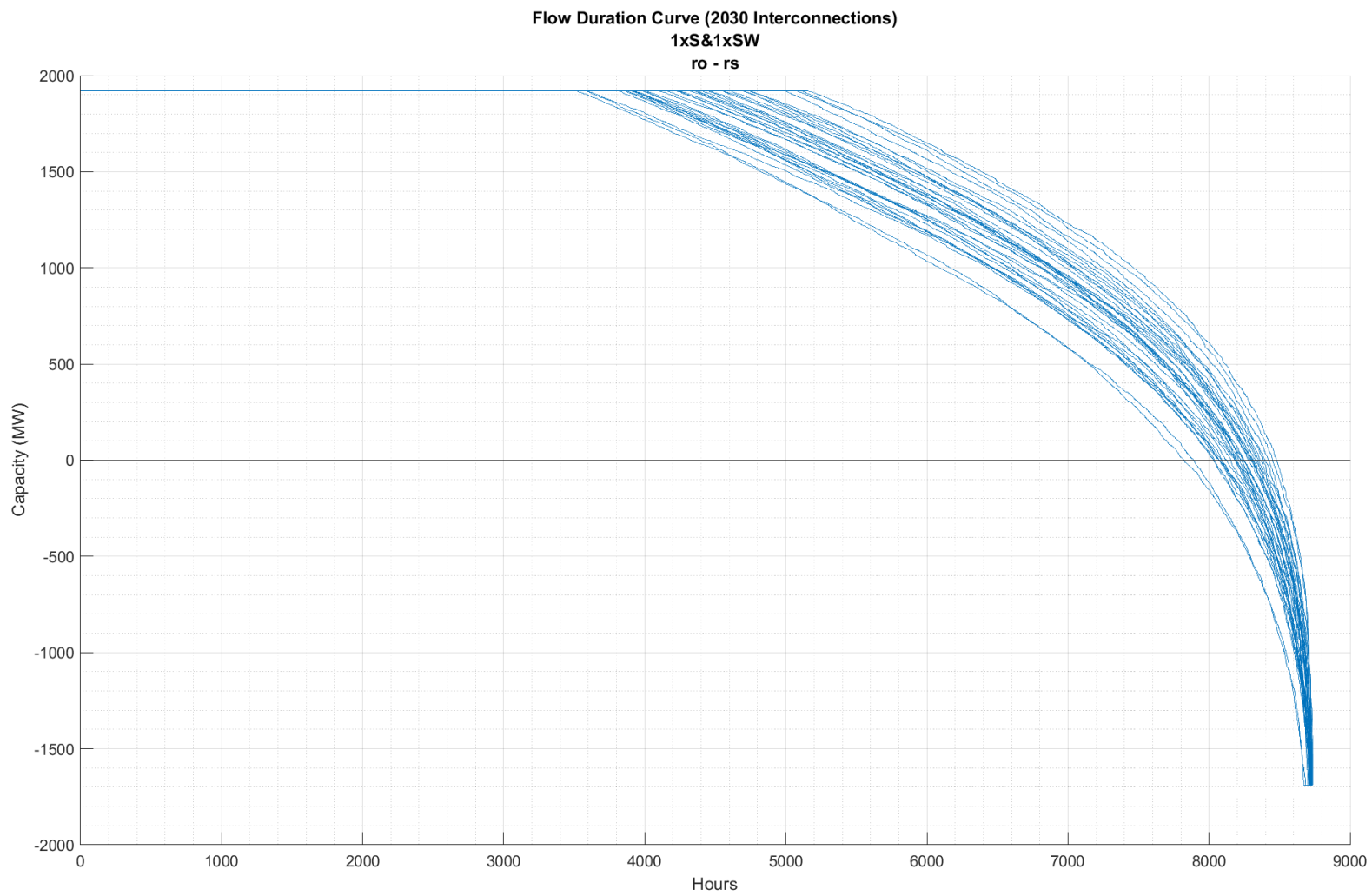
Γράφημα 20 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος GR-ITS1

Όσον αφορά τις κεντρικές βαλκανικές χώρες:

- Βοσνία, Σερβία βασίζονται κυρίως στην ΗΕ από λιγνίτη και μάλιστα ακριβότερου από αυτόν που διαθέτουν οι γύρω περιοχές. Για το λόγο αυτό οι χώρες αυτές είναι εισαγωγείς ΗΕ με διασυνδέσεις κορεσμένες στο μεγαλύτερο εύρος του εκάστοτε έτους. (Γράφημα 21 -22)
- Σλοβενία (SI), Κροατία (HR), Μαυροβούνιο (ME), Αλβανία (AL) και Βόρεια Μακεδονία (MK) αποτελούν περιοχές από όπου ΗΕ διοχετεύεται στη Βοσνία και κυρίως στην Σερβία.
  - Το Γραφήματα 23, 24, 25 δείχνουν την ροή της ενέργειας από την Ιταλία προς Μαυροβούνιο και Σερβία και την ροή ισχύος από την Κροατία προς την Βοσνία αντίστοιχα
- Βουλγαρία, Ουγγαρία και Ρουμανία (Γραφήματα 26, 27, 28) είναι από τις χώρες που διαθέτουν ποικιλία ΠΕ συμπεριλαμβανομένης και της πυρηνικής. Επίσης η εισαγωγική-εξαγωγική τους θέση είναι πιο ισορροπημένη από άλλες ζώνες του συστήματος. Η Βουλγαρία διαφέρει ελαφρώς από τον παραπάνω κανόνα καθώς η θέση της είναι περισσότερο εξαγωγική από τις άλλες δύο. Αν συνυπολογίσουμε όμως πως μεγάλος όγκος εξαγωγών της Βουλγαρίας συμβαίνουν προς την Ρουμανία και εν τέλει καταλήγουν στην Σερβία με την οποία η Βουλγαρία διαθέτει διασυνδέσεις περιορισμένης ικανότητας μεταφοράς (150MW), καταλήγουμε στο ίδιο συμπέρασμα. Πως οι ροές ισχύος κατευθύνονται στο κέντρο των Βαλκανίων. Με τον ίδιο τρόπο η Ουγγαρία διοχετεύει μέσω της Ρουμανίας την Σερβία λόγω περιορισμένης διασυνδετική ικανότητας με την τελευταία σε αντίθεση με αυτή μεταξύ Ρουμανίας και Σερβίας
- Σημειώνεται επίσης πως με την ανάλυση των καμπυλών διαρκείας η Τουρκία δέχεται ενέργεια με κορεσμένες διασυνδέσεις από τις γειτονικές τις χώρες (Ελλάδα και Βουλγαρία), γεγονός που προκαλεί την μεγαλύτερη εσωτερική παραγωγή ΗΕ από ακριβότερα ορυκτά καύσιμα που όπως είδαμε ανεβάζουν την τιμή της ΗΕ για την Τουρκία (Γράφημα 29)

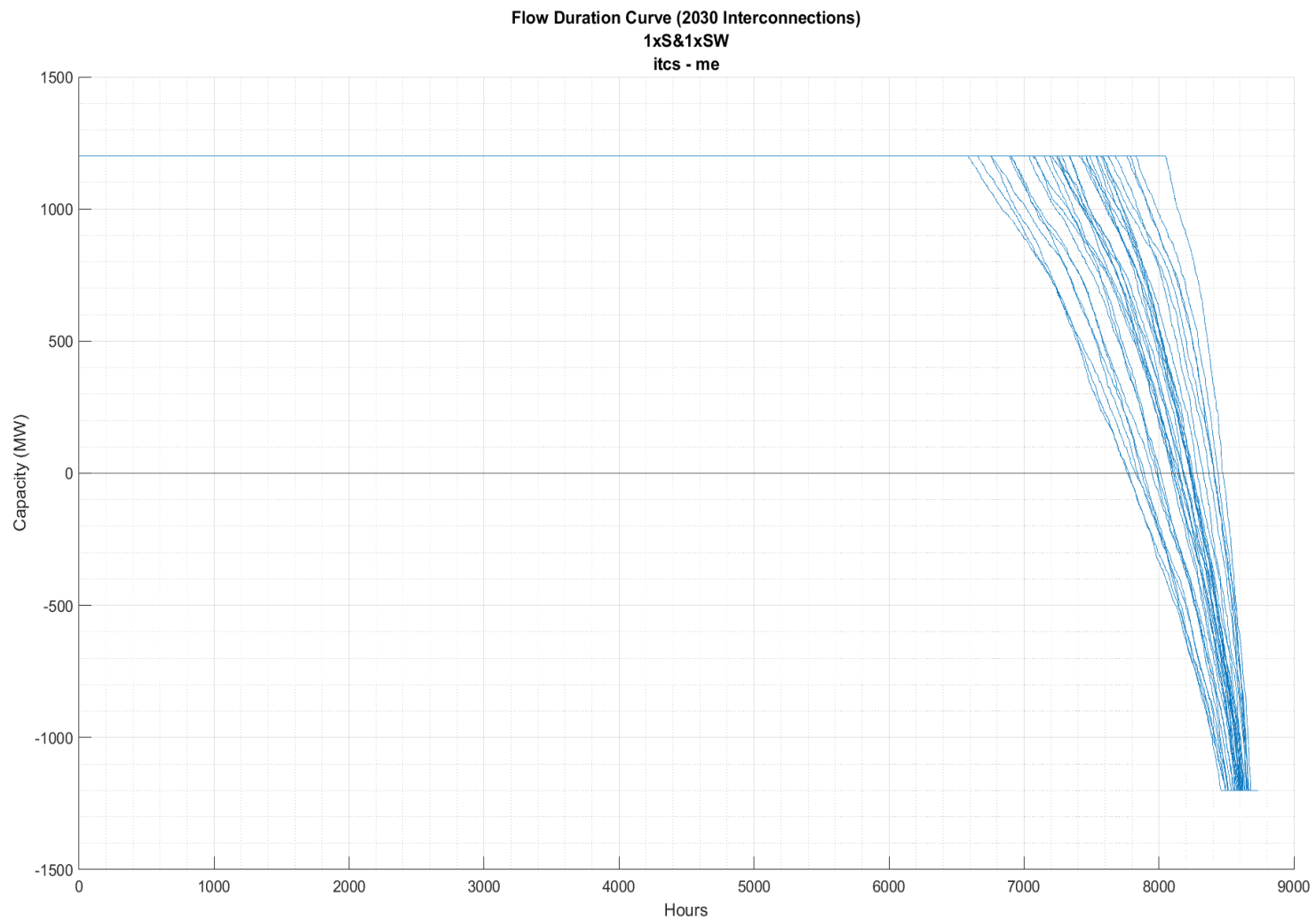


Γράφημα 21 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος ΒΑ-ΗΡ

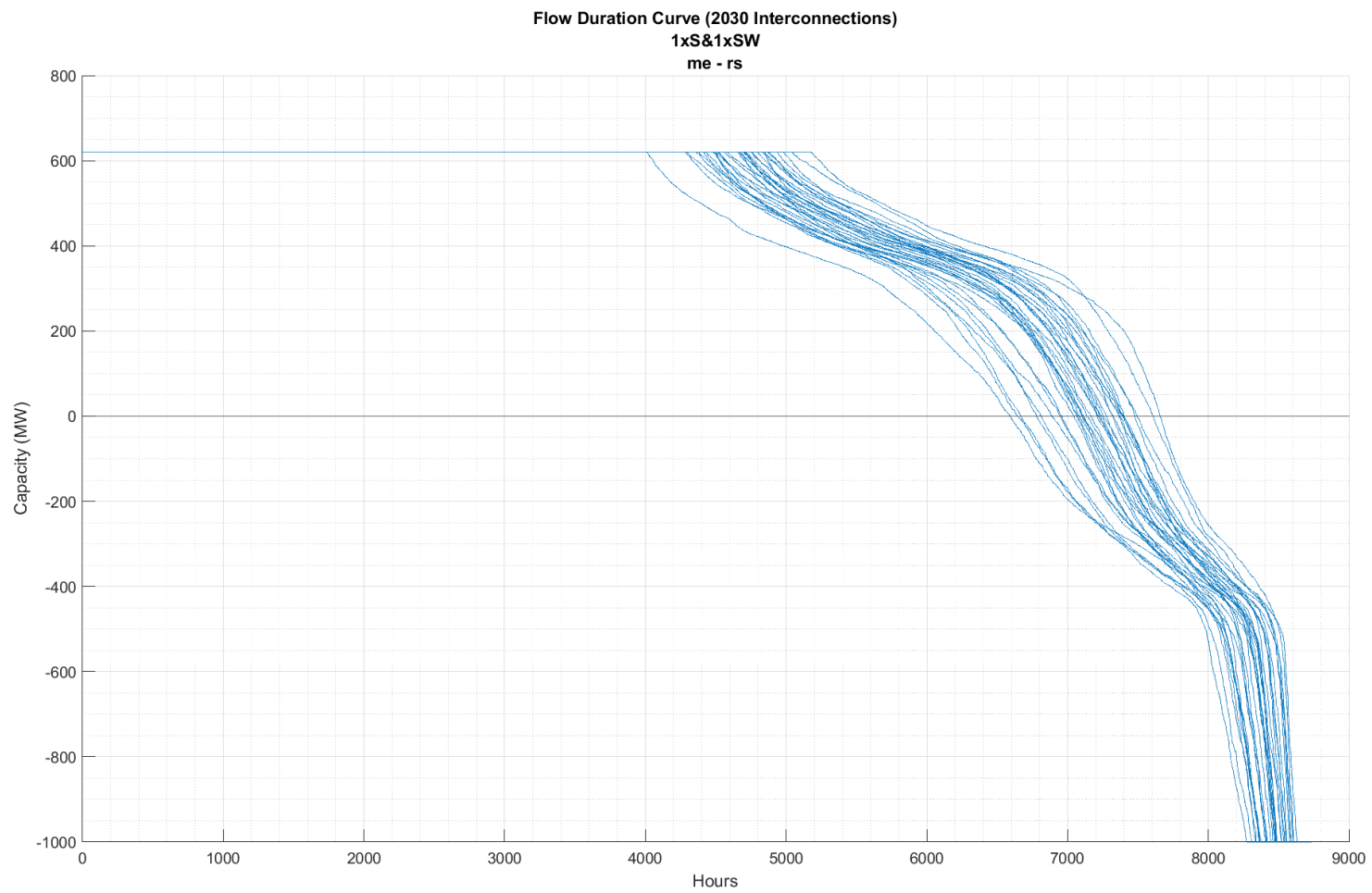


Γράφημα 22 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος RO-RS

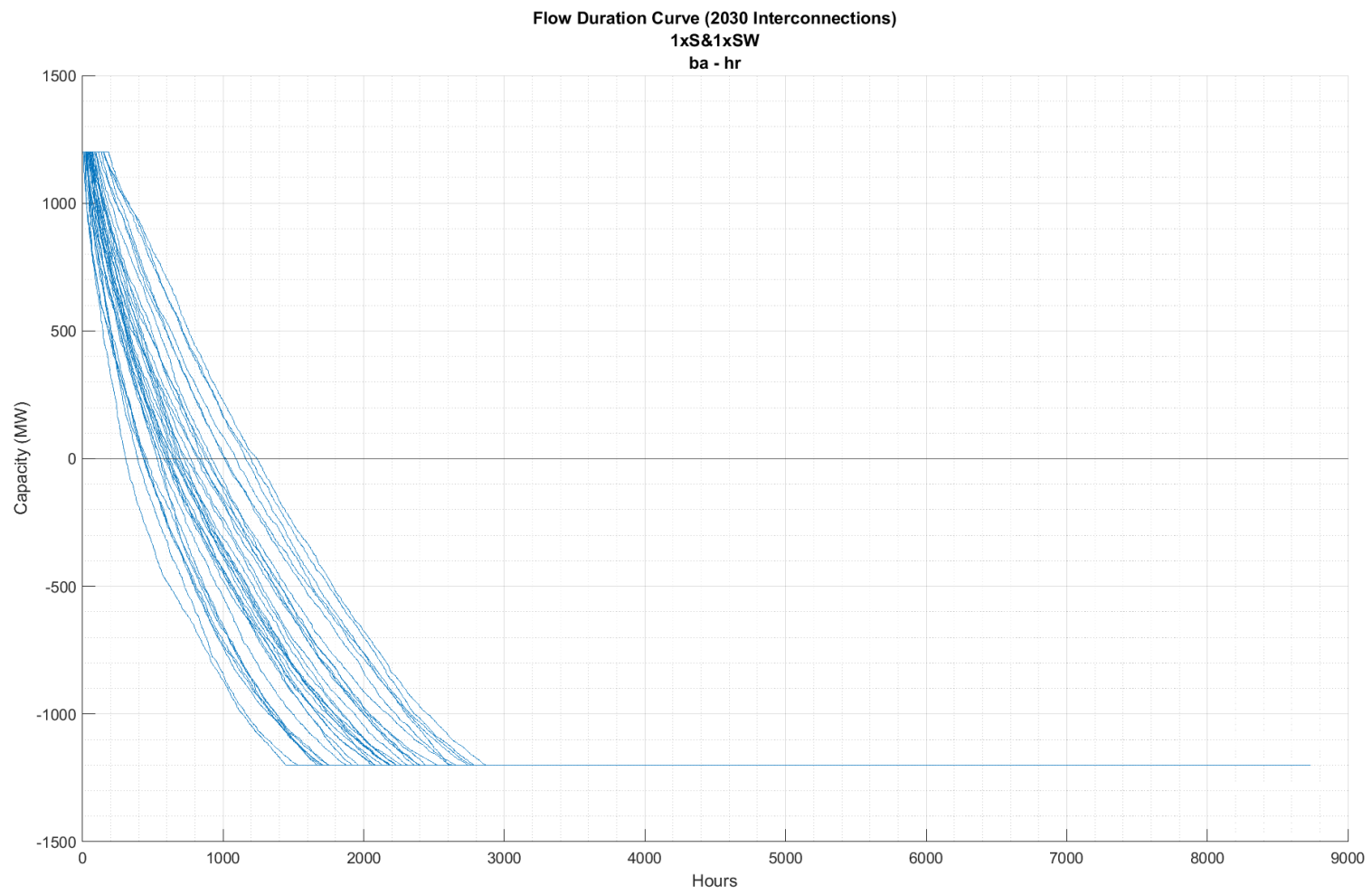




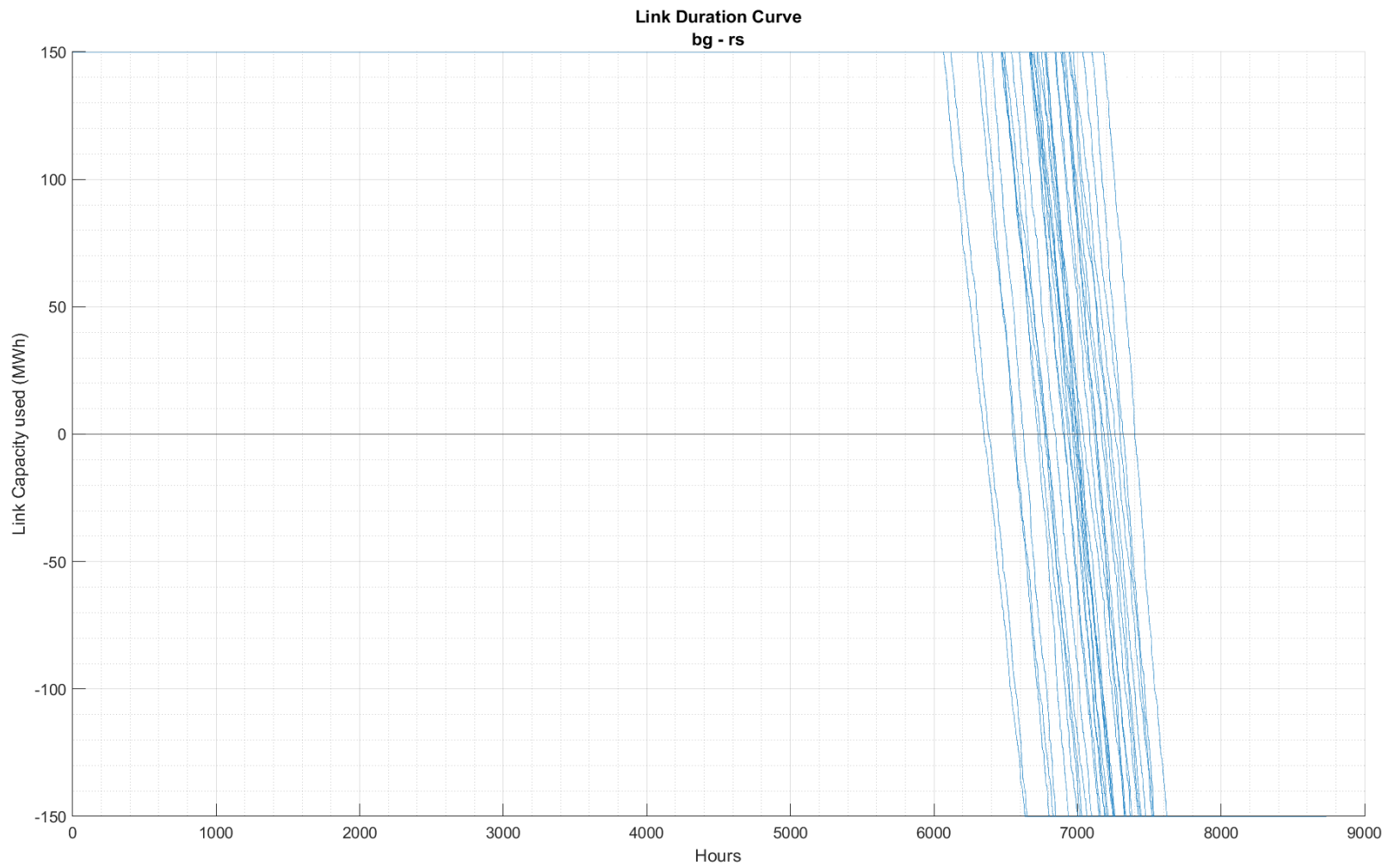
Γράφημα 23 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος ITCS-ME



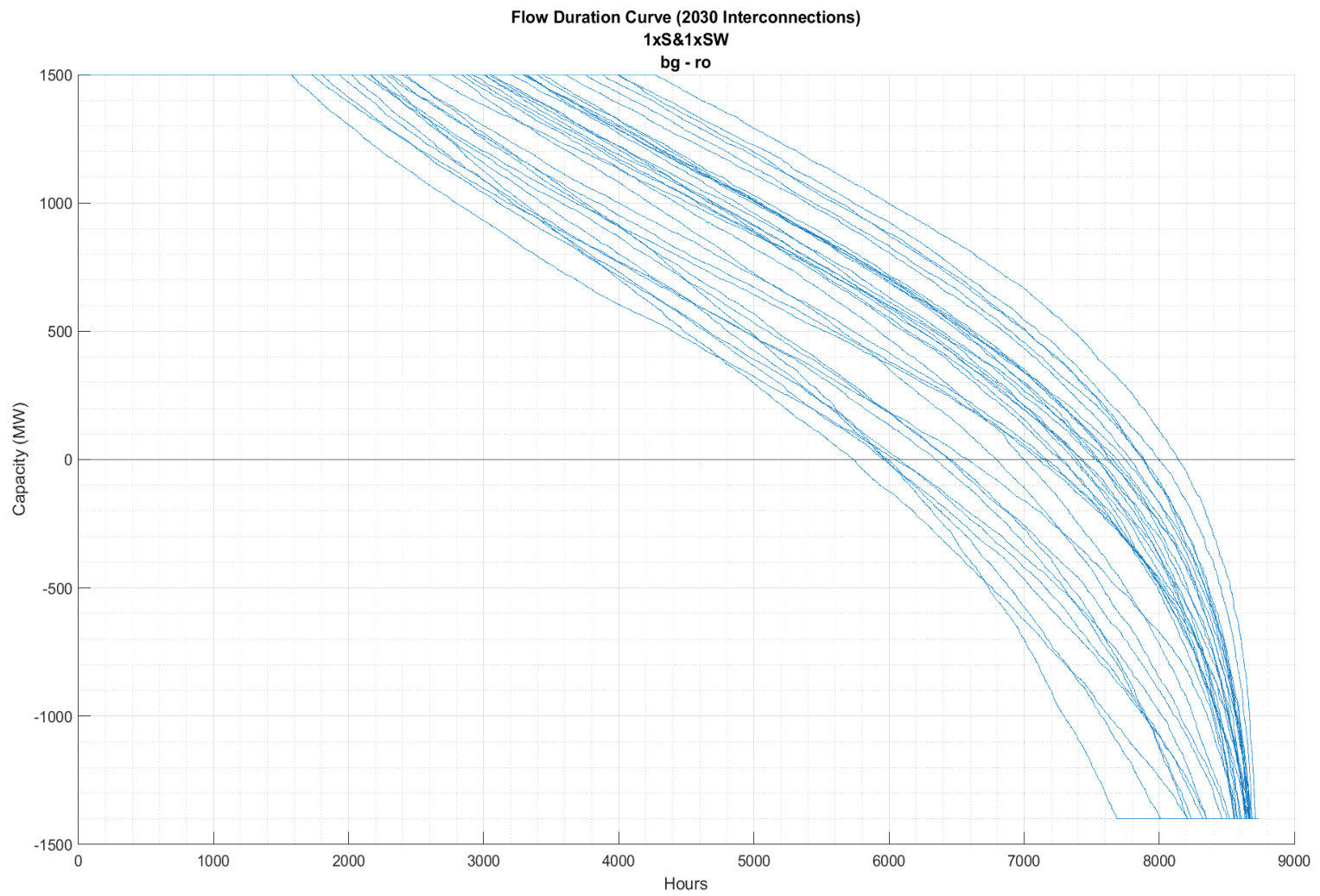
Γράφημα 24 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος ME-RS



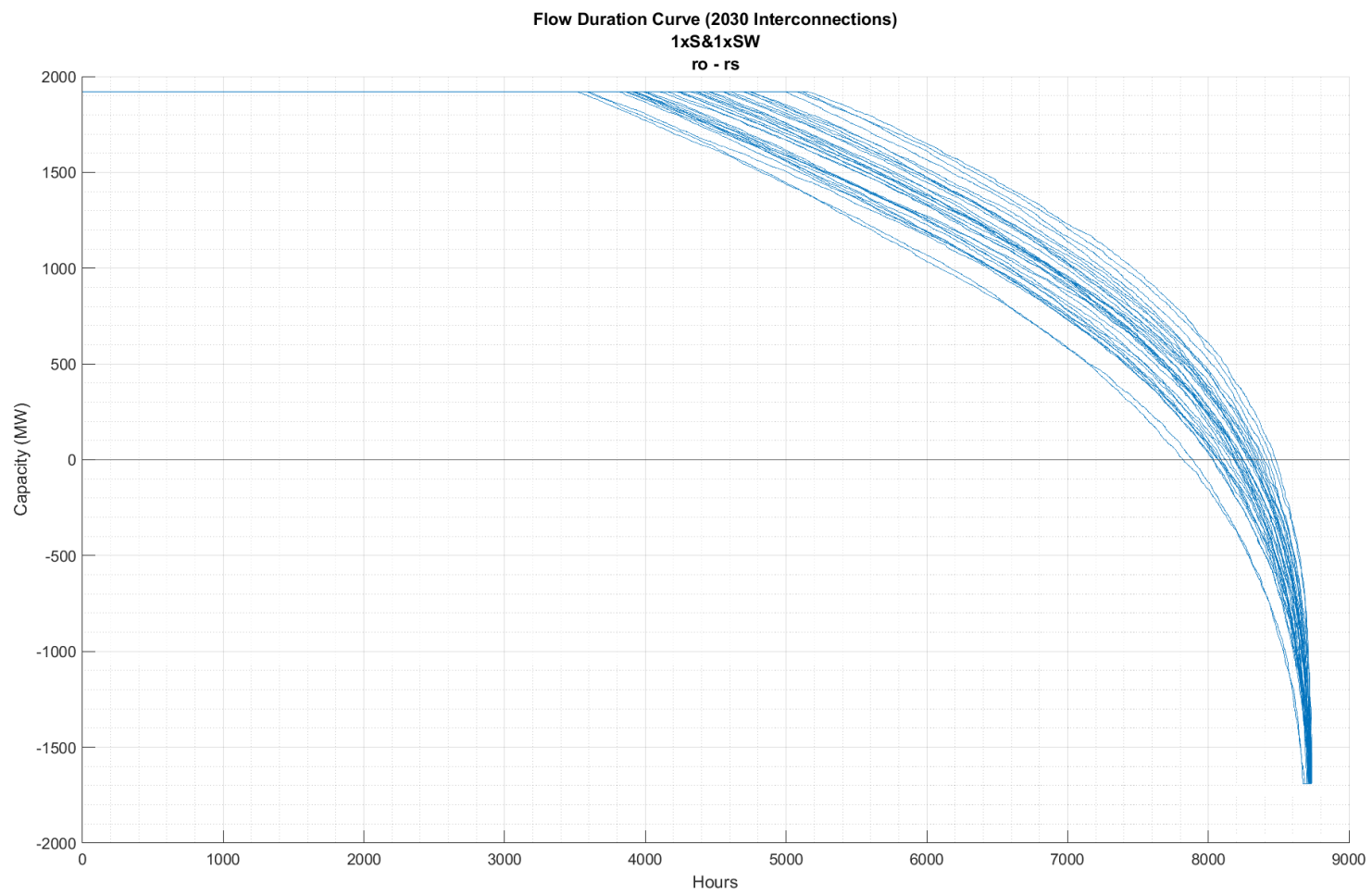
Γράφημα 25 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος BA-HR



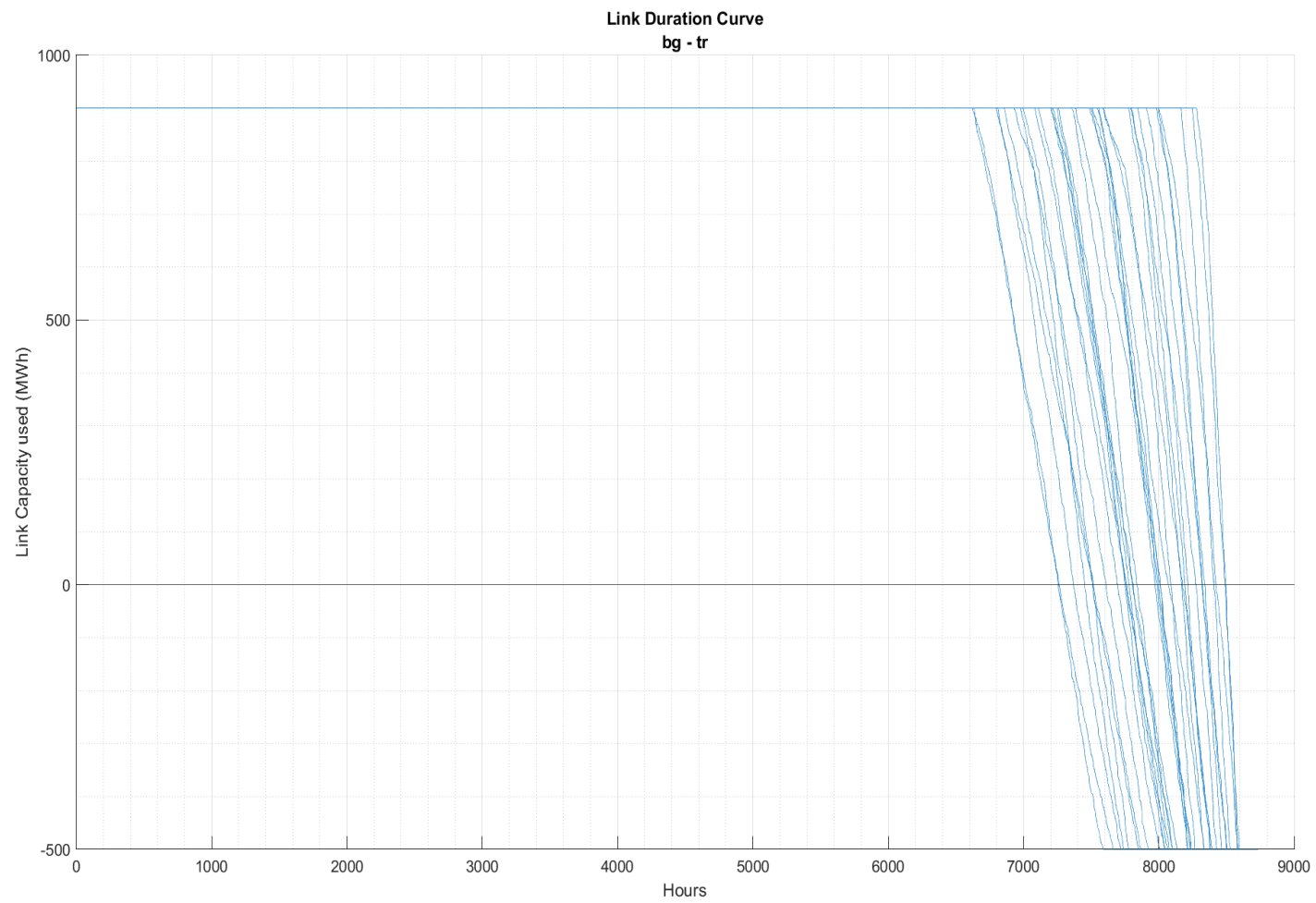
Γράφημα 26 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος BG-RS



Γράφημα 27 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος BG-RO



Γράφημα 28 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος RO-RS



Γράφημα 29 Καμπύλη διάρκειας ροής ισχύος BG-TR

### 9.1.9 Κόστος συμφόρησης

Στην προοπτική μιας πλήρως ενοποιημένης αγοράς ΗΕ, ένα από τα ζητούμενα είναι η οριακή τιμή του συστήματος να είναι κοινή για όλες τις επιμέρους ζώνες ελαχιστοποιώντας έτσι το κόστος λειτουργίας για το συνολικό σύστημα. Σημαντική επομένως καθίσταται η διερεύνηση του κατά πόσο επιτυγχάνεται κάτι τέτοιο στο σύστημα που μοντελοποιήθηκε. Για αυτό το λόγο πραγματοποιήθηκε ανάλυση δεδομένων σχετικά με τη συμφόρηση των γραμμών και τη διαφορά στην οριακή τιμή.

Επισημαίνεται πως συμφόρηση στις γραμμές υφίσταται όταν εξαντλείται η μεταφορική ικανότητά τους. Ακόμη όπως αναφέρθηκε και στο θεωρητικό κομμάτι της εργασίας, τονίζεται εκ νέου πως η ΗΕ ρέει από ζώνη Α με χαμηλότερη τιμή και πλεόνασμα παραγωγής προς ζώνη Β με ζήτηση ΗΕ και υψηλότερη τιμή με σκοπό την μείωση της οριακής τιμής στην δεύτερη περιοχή. Όταν η γραμμή που συνδέει τις δύο αυτές περιοχές φτάσει στα όρια μεταφορικής ικανότητας η υπολειπόμενη ζήτηση της περιοχής Β που δεν εξυπηρετείται από την φθηνότερη ενέργεια που παράγει η ζώνη Α, απαντάται από ακριβότερη παραγόμενη ενέργεια. Αποτέλεσμα της παραπάνω διαφοροποίησης της τιμής είναι η απόζευξη των αγορών. Παρόλα αυτά υπάρχουν ορισμένες περιπτώσεις στο σύστημα όπου διασυνδέσεις μεταξύ δύο περιοχών μπορεί να υφίστανται συμφόρηση αλλά η οριακή τιμή να είναι η ίδια και στις δύο. Αυτό συμβαίνει διότι η περιοχή που προμηθεύεται ενέργεια βρίσκει άλλο μονοπάτι μέσω τρίτης χώρας για να προμηθευτεί την φθηνή ενέργεια.

#### *Περιγραφή*

Ο προσομοιωτής ANTARES στα αποτελέσματα που εξάγει συμπεριλαμβάνει σε περίπτωση συμφόρησης της γραμμής και το διαφορικό της τιμής. Το κόστος αυτό μετράται στον γραφικό περιβάλλον του προσομοιωτή σε €/MW αντικατοπτρίζοντας έτσι το οικονομικό όφελος που θα είχε το σύστημα με την ενίσχυση της διασυνοριακής γραμμής μεταφοράς κατά 1 MW.

Μέσω Rstudio συλλέχθηκαν τα αποτελέσματα του κόστους που αναφέρθηκε σε ετήσια βάση, αθροιστικά δηλαδή, αντικατοπτρίζοντας έτσι το οικονομικό όφελος που θα είχε η ενίσχυση μιας διασύνδεσης κατά 1 MW. Εν ολίγοις το διάγραμμα αυτό αναδεικνύει τις διασυνδέσεις εκείνες οι οποίες είναι οικονομικά επιβλαβέστερες για το σύστημα.

#### *Σχολιασμός*

##### **Βασικό σενάριο**

Σύμφωνα με το γράφημα της εικόνας οι διασυνδέσεις με το μεγαλύτερο κόστος συμφόρησης είναι οι εξής:

- ITCS-ITSA: Η υπερπαραγωγή ενέργειας από μεταβλητές ΑΠΕ που υπερκαλύπτει τη χαμηλή ζήτηση της Σαρδηνίας έχουν ως αποτέλεσμα την εξάντληση της μεταφορικής ικανότητας της γραμμής. Συνδυαστικά με την διαμόρφωση μηδενικής οριακής τιμής στη Σαρδηνία δημιουργεί μεγάλη διαφορά με την



οριακή τιμή στην ζώνη ITCS γι αυτό και βλέπουμε τόσο μεγάλο κόστος συμφόρησης στο γράφημα.

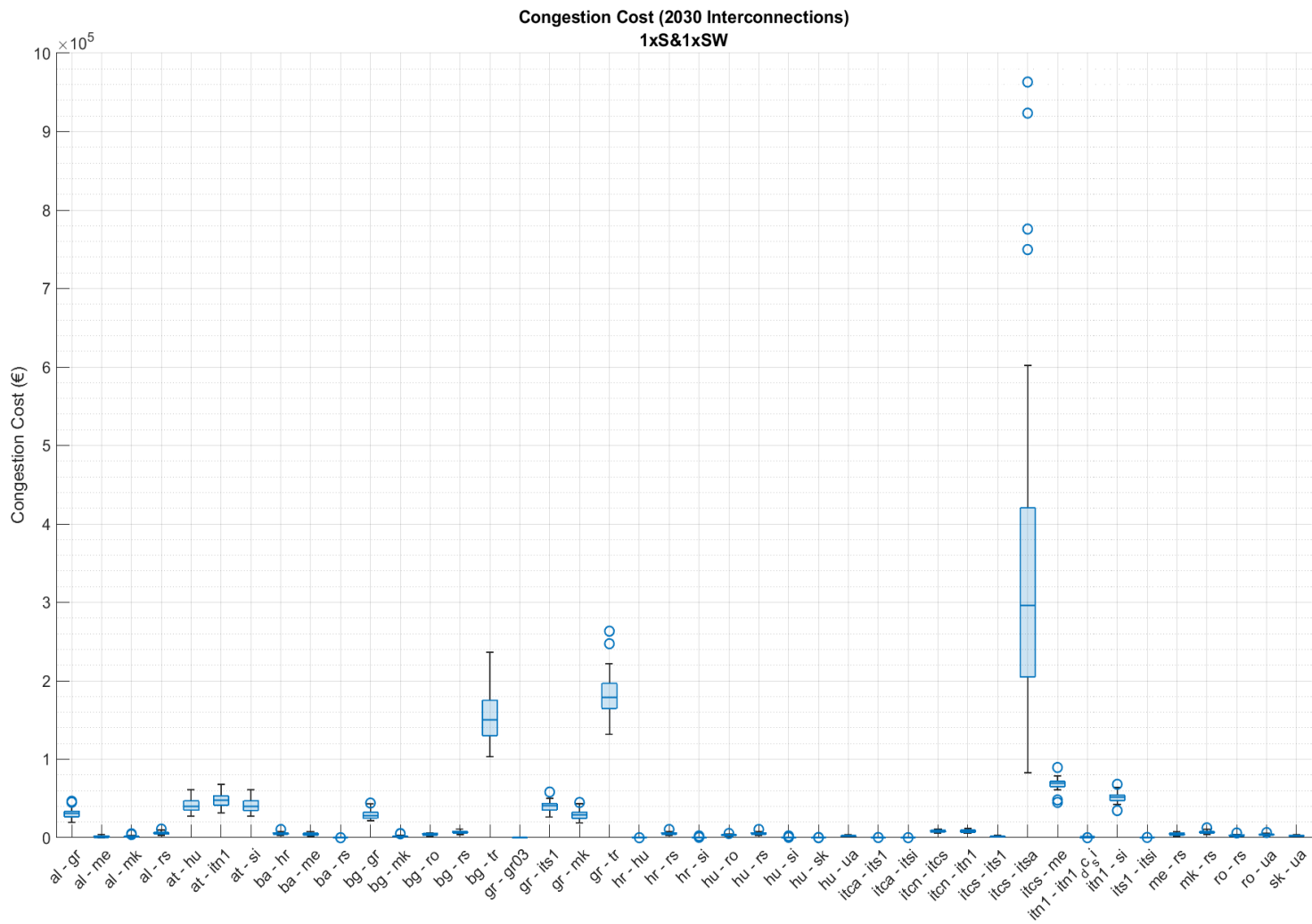
- Το πολύ μεγάλο κόστος αυτό οφείλεται εν μέρει και στο πρόστιμο που έχει ρυθμιστεί για την μη εξυπηρέτηση της ζήτησης. Όπως θα δούμε και παρακάτω η Σαρδηνία έχει προβλήματα επάρκειας.

Οι υπόλοιπες διασυνδέσεις που εμφανίζουν τιμές κόστους συμφόρησης είναι όλες εκείνες που συνδέουν Ιταλία και Αυστρία με βαλκανικές χώρες (AT-HU, AT-ITN1, AT-SI, ITCS-ME, ITN1-SI) καθώς επίσης και οι διασυνδέσεις της Ελλάδας με την Βουλγαρία την Αλβανία και την Τουρκία και τέλος η διασύνδεση Βουλγαρίας-Τουρκίας (AL-GR, BG-GR, BG-TR, GR-TR ).

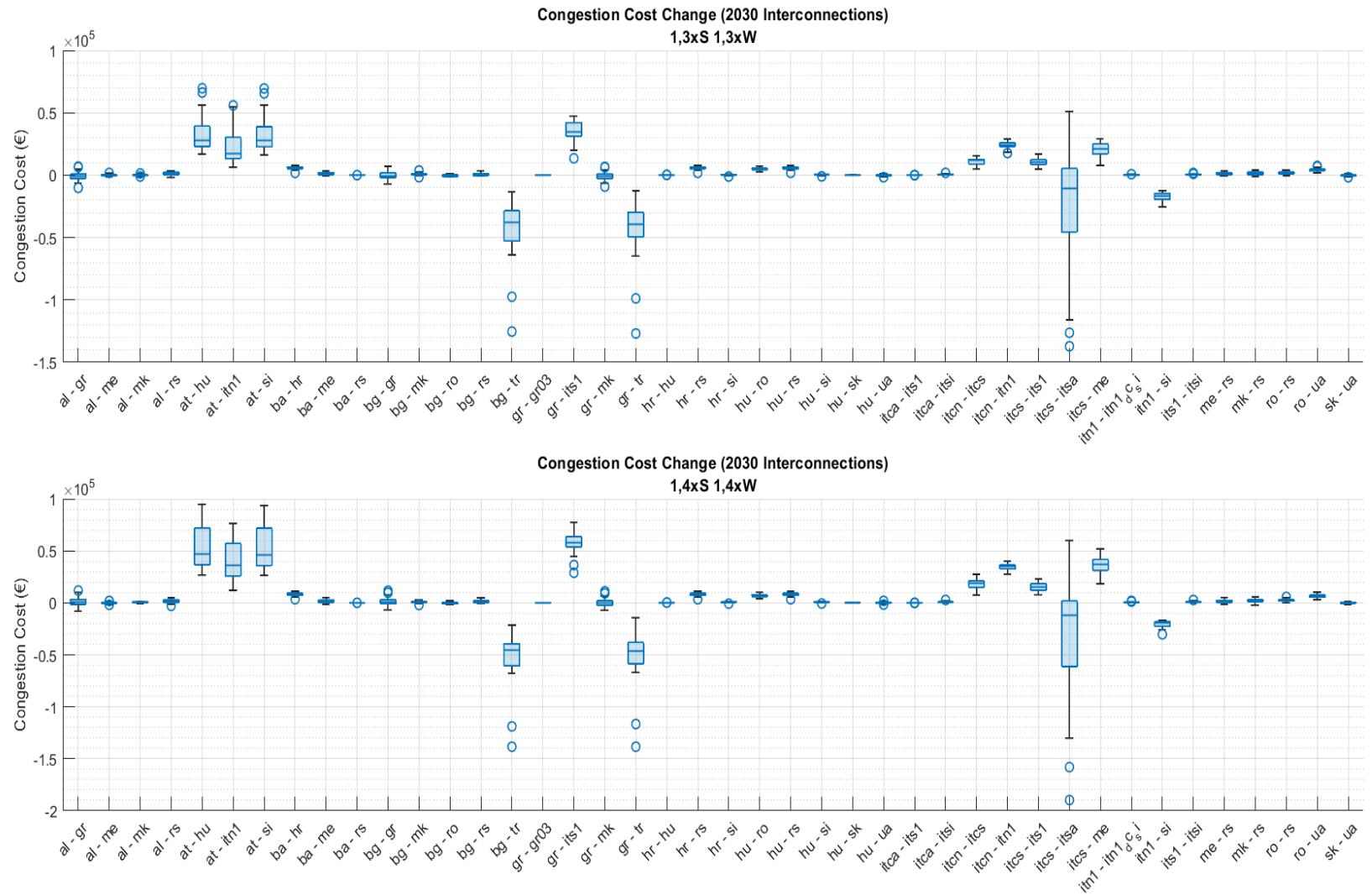
### **Σενάρια αυξημένης παραγωγής**

Όσο αυξάνεται κλιμακωτά η παραγωγή ΗΕ από ΑΠΕ:

- Κόστος αυξάνεται για τις διασυνδέσεις AT-HU, AT-ITN1, AT-SI, GR-ITS1, ITCS-ME
  - Η αύξηση του κόστους συμφόρησης παράλληλα με την αύξηση της διείσδυσης καταδεικνύουν την αδυναμία διαμοιρασμού της φθηνής ανανεώσιμης ενέργειας από χώρες παραγωγούς όπως η Αυστρία και η Ιταλία
- Ενώ μειώνεται για τις διασυνδέσεις BG-TR, GR-TR, ITN1-SI
  - Όσον αφορά τις διασυνδέσεις της Τουρκία τα κόστη μειώνονται λόγω της αύξησης της διείσδυσης ΑΠΕ στη χώρα γεγονός που επιτρέπει μικρότερη χρήση λιγνιτικών μονάδων, και κατά συνέπεια διαμόρφωση της οριακής τιμής από το ΦΑ



Γράφημα 30 Κόστος συμφόρησης των διασυνδέσεων για το βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030)



Γράφημα 31 Μεταβολή κόστους συμφόρησης των διασυνδέσεων για τα σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ (1xRES, διασυνδέσεις 2030)

### 9.1.10 Αποτίμηση του συστήματος

#### Περιγραφή

Η τελευταία αυτή υποενότητα αφορά την συνολική αποτίμηση του συστήματος για τα διάφορα σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ. Πρόκειται για την ανάλυση αποτελεσμάτων που σχετίζονται με τις επιπτώσεις σε περιβαλλοντικό και οικονομικό επίπεδο καθόσον η παραγωγή της αιολικής και ηλιακής ενέργειας αυξάνεται κλιμακωτά. Κρίνεται σκόπιμο, λοιπόν, να αποσαφηνιστεί η γενικότερη εικόνα του συστήματος μέσω της παράθεσης στοιχείων σχετικά με το συνολικό κόστος του συστήματος και τις συνολικές εκπομπές ΑτΘ.

#### Σχολιασμός

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται το μέσο συνολικό κόστος σε εκατομμύρια € και οι μέση συνολική ποσότητα CO<sub>2</sub>, σε χιλιάδες τόνους CO<sub>2</sub>, που εκπέμπει αθροιστικά ολόκληρο το σύστημα της ΝΑ Ευρώπης που μοντελοποιήθηκε. Τα αποτελέσματα αφορούν το βασικό σενάριο και τα κλιμακωτά σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ για το σύστημα που διαθέτει τις διασυνδεδετικές ικανότητες που προβλέπονται για το 2030. Για διευκόλυνση του αναγνώστη καθώς επίσης και για να είναι πιο εμφανή τα ποιοτικά αποτελέσματα στον πίνακα αναγράφονται και οι ποσοστιαία μεταβολή κάθε σεναρίου συγκριτικά με το βασικό.

Στήλη1	1xRES	1.1xRES	1.2xRES	1.3xRES	1.4xRES
Συνολικό Κόστος (εκ. €)	46901.6	44360.7	41908.7	39545.9	37341.3
Μεταβολή(%)		-5.4	-10.6	-15.7	-20.4
Συνολικές Εκπομπές (χιλ. τόνοι CO <sub>2</sub> )	295144	276438.7	258617.7	241692.4	226107.2
Μεταβολή(%)		-6.3	-12.4	-18.1	-23.4

Πίνακας 7 Μεταβολή συνολικού κόστους και συνολικών εκπομπών συστήματος

Σύμφωνα με τον πίνακα προκύπτει πως η αύξηση της παραγωγής ΗΕ από αέρα και ήλιο που εξετάζεται στο πρακτικό κομμάτι της παρούσας εργασίας προκαλεί:

- Μείωση του συνολικού κόστους λειτουργίας του συστήματος
- Και μείωση των εκπομπών CO<sub>2</sub>

Τα συμπεράσματα αυτά αν και αναμενόμενα, επιβεβαιώνουν την συμβολή που έχει η εκτεταμένη χρήση τεχνολογιών ΑΠΕ σε κοινωνικοοικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο. Σε κοινωνικοοικονομικό επίπεδο αυτό γίνεται σαφές από την μείωση του συνολικού κόστους λειτουργίας που αντανακλάται και στην μείωση της οριακής τιμής στις διάφορες, αν όχι σε όλες (απόζευξη), περιοχές του συστήματος. Από την άλλη ο τρόπος με τον οποίο η μείωση των συνολικών εκπομπών CO<sub>2</sub> συμβάλλει στην καταπολέμηση της κλιματικής αλλαγής δεν απαιτεί ιδιαίτερη επεξήγηση καθώς έχει γίνει σαφές από τις πρώτες κιόλας ενότητες του θεωρητικού μέρους πως οι εκπομπές πυροδοτούν την κλιματική αλλαγή.

Καταλήγοντας λοιπόν η αύξηση της παραγόμενης από ΑΠ ενέργειας έχει σημαντικά οφέλη και δύναται να εκπληρώσει τους μακροχρόνιους στόχους που έχουν τεθεί από την ΕνΕ.

## 9.2 Επάρκεια

Για τα σενάρια που καταστρώθηκαν, πέραν της οικονομικής ανάλυσης λειτουργίας του συστήματος, πραγματοποιήθηκαν και προσομοιώσεις επάρκειας. Σκοπός των προσομοιώσεων αυτών είναι η ανάλυση δεικτών σχετικά με την ασφάλεια τροφοδοσίας. Συγκεκριμένα οι προσομοιώσεις επάρκειας τελούνται υπό το πλαίσιο της μέγιστης παραγωγής ΗΕ για όλες τις συμβατικές μονάδες που είναι διαθέσιμες για κάθε χρονικό ωριαίο βήμα.

### Περιγραφή

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα ίδια με αυτά των προσομοιώσεων λειτουργίας και οι δείκτες οι οποίοι σχηματίστηκαν από τα δεδομένα εξόδου για την ανάλυση σχετικά με την ασφάλεια εφοδιασμού είναι:

- Loss Of Load Expectation (LOLE)
  - Ποσοτικός δείκτης με τις ώρες τις οποίες δεν εξυπηρετείται η ζήτηση
- Expected Energy Not Served (EENS)
  - Ποσοτικός δείκτης για το συνολικό φορτίο που δεν εξυπηρετείται

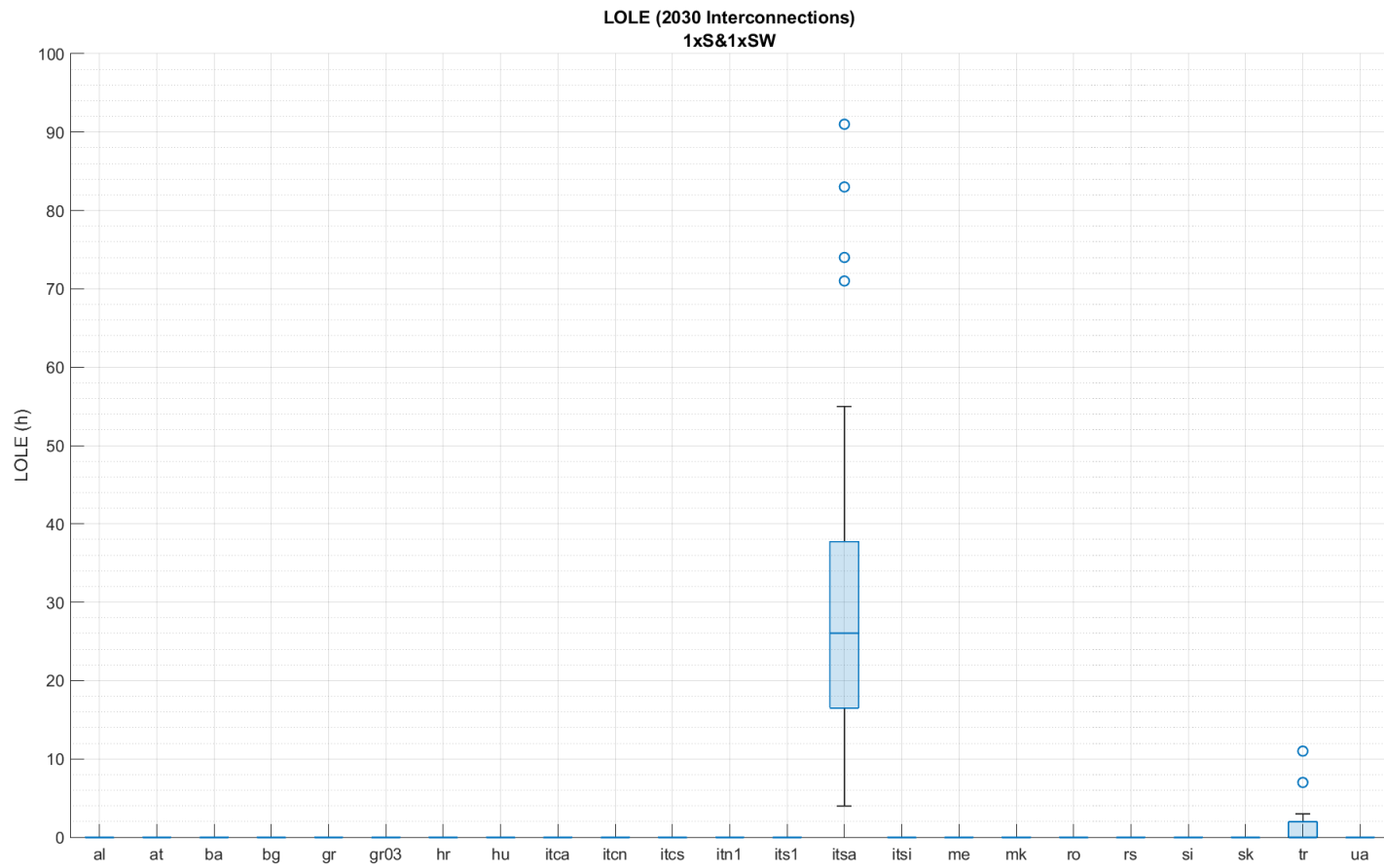
### Σχολιασμός

#### Βασικό σενάριο

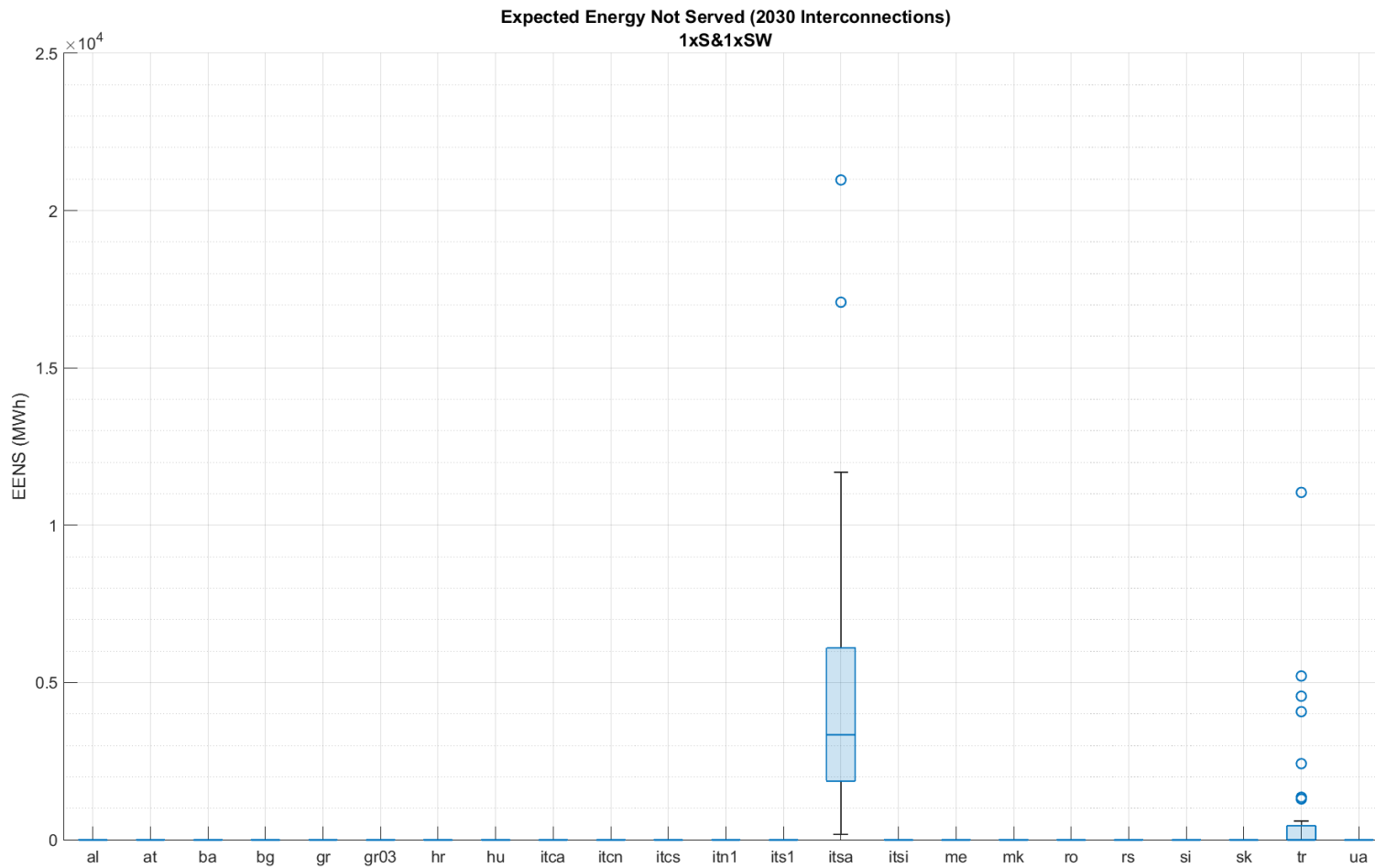
Το Γράφημα 32 αποτυπώνει παρατηρήσεις που έχουν γίνει ήδη από την ανάλυση της οικονομικής λειτουργίας του συστήματος. Οι μόνες περιοχές που ενδέχεται να έχουν προβλήματα σχετικά με την ασφάλεια εφοδιασμού είναι η Τουρκία και η Σαρδηνία. Η δεύτερη όντας νησί και έχοντας περιορισμένη εγκατεστημένη ισχύ συμβατικών μονάδων ΦΑ, συνδυαστικά με το γεγονός πως συνδέεται με την ηπειρωτική Ιταλία μέσω μίας μόνο διασύνδεσης προβλέπεται πως δεν θα είναι σε θέση να ικανοποιήσει την συνολική της ζήτηση της για 35 τουλάχιστον ώρες ανά έτος. Η περιοχή της Τουρκίας από την άλλη ενδέχεται να μην μπορέσει να ικανοποιήσει την συνολική ζήτηση σε μικρότερο βαθμό, της τάξεως των 2 έως 5 ωρών ανά έτος, σε περιπτώσεις ακραίας αιχμής ζήτησης. Κατ' αντιστοιχία κινείται και η ποσότητα του φορτίου που πρόκειται να μην ικανοποιηθεί.

#### Σενάρια αυξημένης παραγωγής

Όσο η παραγωγή ΑΠΕ αυξάνεται κλιμακωτά παρατηρείται μείωση στον δείκτη LOLE και επακόλουθα μείωση και του δείκτη EENS. Το γεγονός αυτό φανερώνει πως η επάρκεια του συστήματος και συγκεκριμένα των περιοχών που πλήττονται βελτιώνεται καθώς αυξάνεται η παραγωγή ΗΕ από μεταβλητές ΑΠΕ.

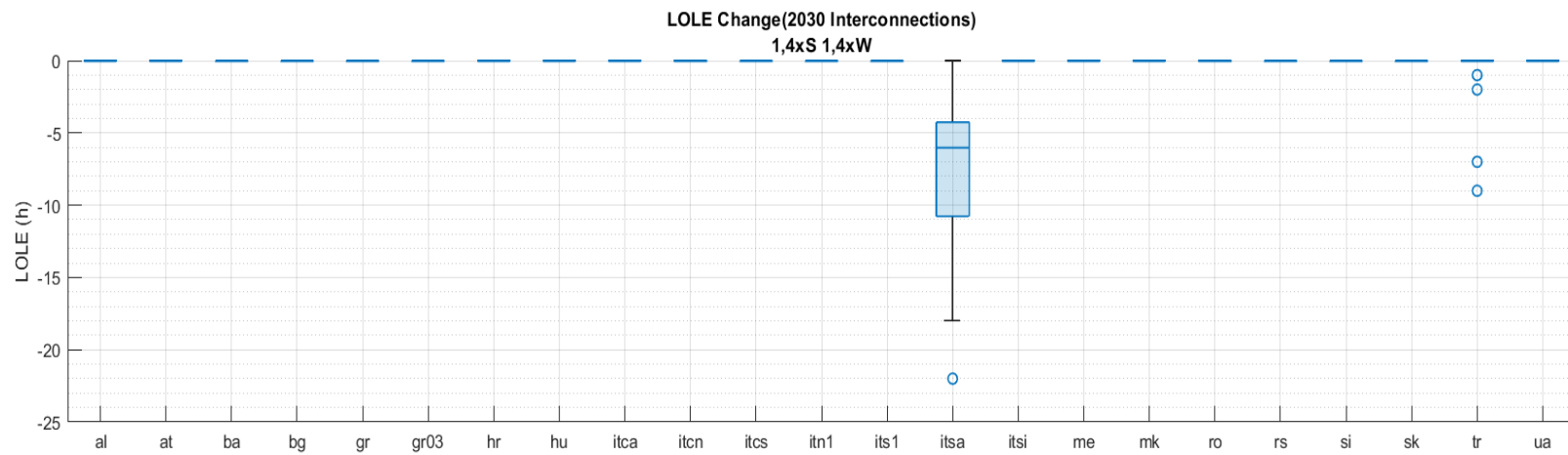
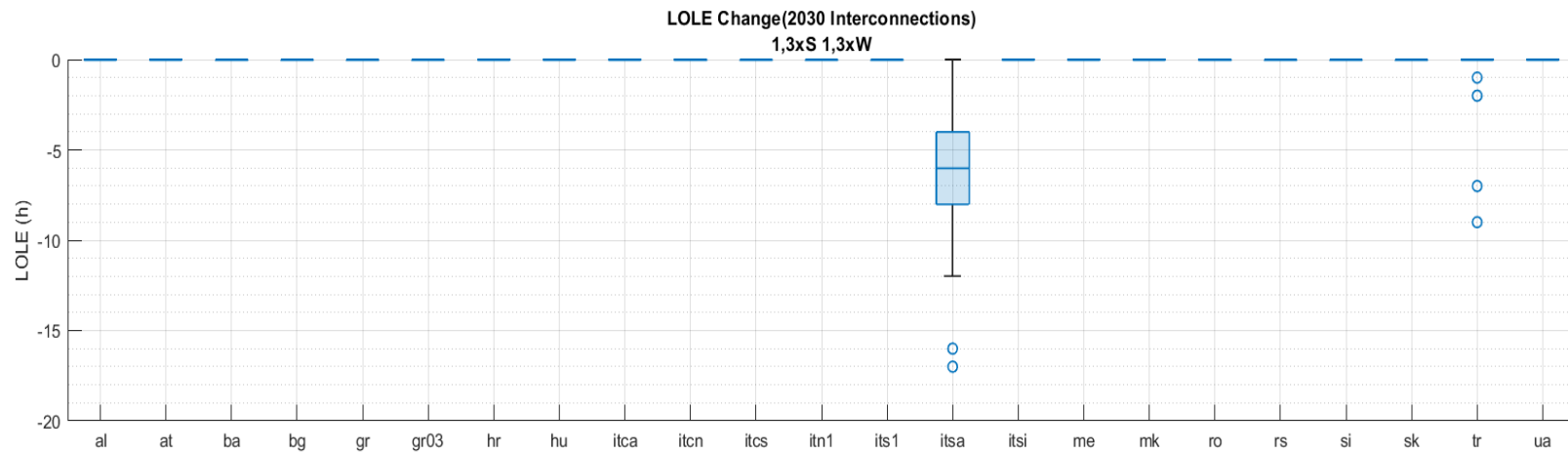


Γράφημα 32 Loss Of Load Expectation (LOLE) για βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030)

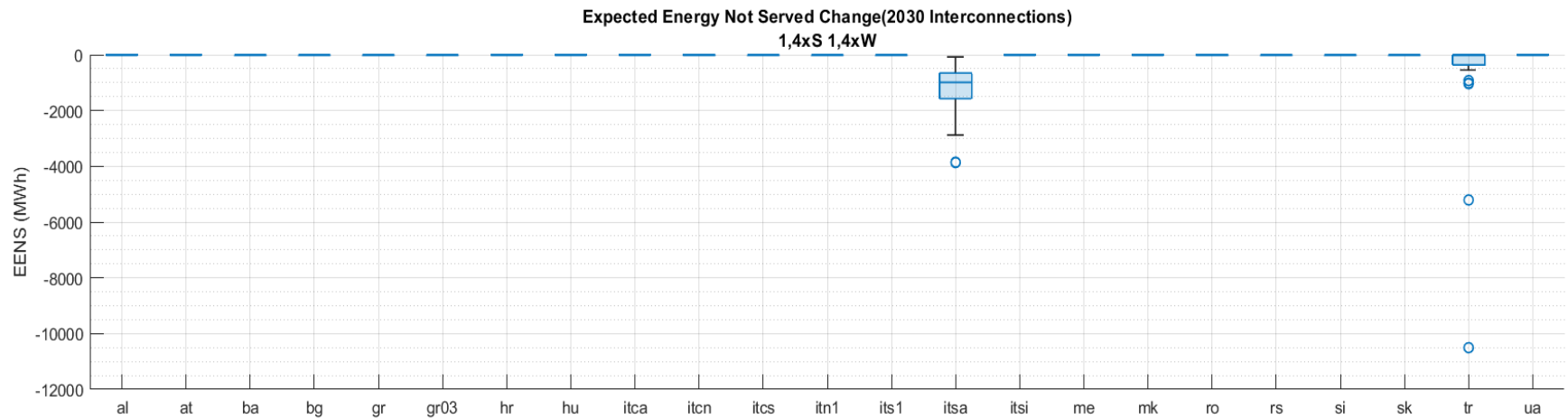
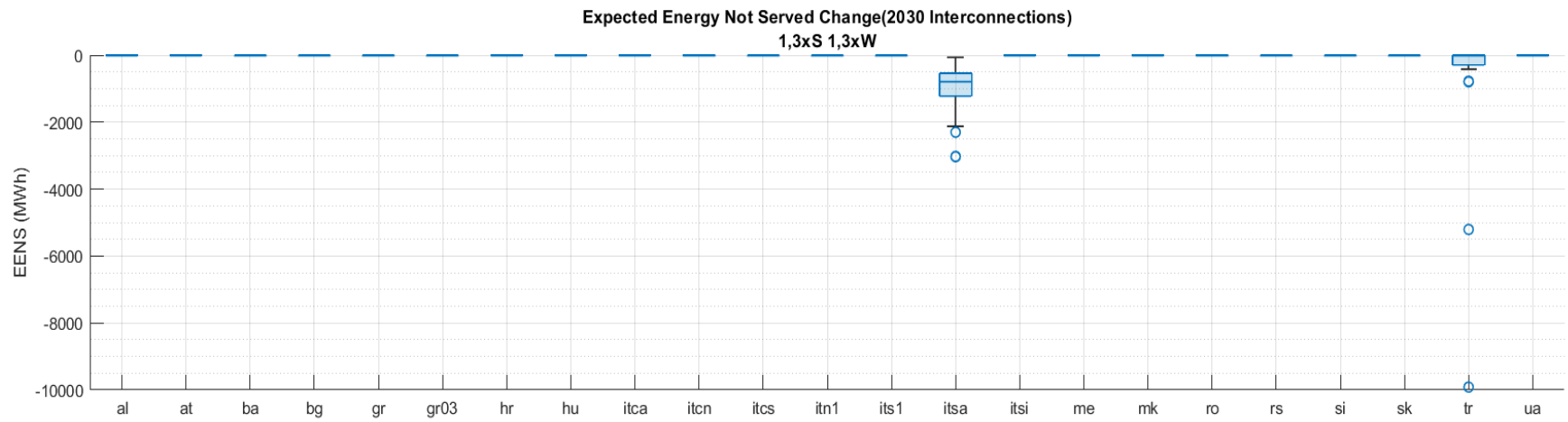


Γράφημα 33 Expected Energy Not Served (EENS) για βασικό σενάριο (1xRES, διασυνδέσεις 2030)





Γράφημα 34 Μεταβολή LOLE για σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ (1.3xRES, 1.4xRES)



Γράφημα 35 Μεταβολή EENS για σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ (1.3xRES, 1.4xRES)

## 9.3 Συγκριτικά αποτελέσματα 2025-2030

### Περιγραφή

Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας πέραν των σεναρίων που εξετάστηκαν, καταστρώθηκαν 5 ακόμα σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ με τα δεδομένα εισόδου που χρησιμοποιήθηκαν για το βασικό σενάριο. Μόνη διαφορά των σεναρίων αυτών, τα δεδομένα εισόδου σχετικά με τις ικανότητες μεταφοράς των γραμμών, τα οποία συλλέχθηκαν από τις βάσεις δεδομένων του ENTSO-E και αφορούν τις γραμμές μεταφοράς όπως αυτές προβλέπονται για το 2025 αντί για το 2030.

Διασυνδέσεις	2025	2030	Μεταβολές
<b>AT00-ITN1</b>	660	1260	600
<b>ITN1-AT00</b>	490	1140	650
<b>BA00-HR00</b>	750	1200	450
<b>HR00-BA00</b>	700	1200	500
<b>BA00-RS00</b>	600	1200	600
<b>RS00-BA00</b>	600	1200	600
<b>HU00-RO00</b>	1000	1300	300
<b>RO00-HU00</b>	1100	1400	300
<b>ITCN-ITCS</b>	2000	2150	150
<b>ITCS-ITCN</b>	2700	2850	150
<b>ITCA-ITS1</b>	2200	2560	360
<b>ITSI-ITS1</b>	0	1500	1500
<b>ITS1-ITSI</b>	0	1500	1500
<b>RS00-ME00</b>	600	1000	400
<b>RO00-RS00</b>	900	1920	1020
<b>RS00-RO00</b>	1050	1690	640
<b>ITCS-ME00</b>	600	1200	600
<b>ME00-ITCS</b>	600	1200	600
<b>ITN1-SI00 (DC)</b>	0	1000	1000
<b>SI00-ITN1(DC)</b>	0	1000	1000

Πίνακας 8 Διασυνδέσεις που μεταβάλλονται (πηγή: ENTSO-E)

Σε αυτή λοιπόν την ενότητα του κεφαλαίου των αποτελεσμάτων πρόκειται να παρουσιαστούν εν συντομία οι διαφοροποιήσεις ανάμεσα στα δύο βασικά σενάρια όπου το ένα αφορά τις διασυνδέσεις του 2025 και το άλλο αυτές του 2030.

Στον πίνακα παρουσιάζονται μόνο οι διασυνδέσεις των οποίων η ικανότητα μεταβάλλεται από το 2025 στο 2030. Τονίζεται πως δύο διασυνδέσεις δεν προβλέπεται να υπάρχουν καν το 2025. Αυτές είναι : ITS1-ITSI και η DC ένωση ITN1-SI.

Σε γενικές γραμμές με μια εποπτική επεξεργασία του πίνακα οι διασυνδέσεις που πρόκειται να ενισχυθούν μελλοντικά είναι:

- Σχεδόν όλες εκείνες που συνδέουν την Ιταλία με γειτονικές χώρες όπως η Αυστρία, το Μαυροβούνιο και η Σλοβενία
- Αρκετές διασυνδέσεις της Σερβίας (με Βοσνία, Μαυροβούνιο, Ρουμανία)
- Διασυνδέσεις Βοσνία-Κροατία και Ουγγαρία-Ρουμανία

### *Γραφήματα και σχολιασμός*

Το σύστημα όπως διαμορφώνεται με τις διασυνδέσεις που αφορούν τις προβλέψεις για το 2025 ουσιαστικά ορίζει ένα διαφορετικό σύστημα από αυτό που προβλέπεται για το 2030. Τα γραφήματα που ακολουθούν αφορούν τις μεταβολές των τιμών των εξεταζόμενων δεικτών, ανάμεσα στα δύο βασικά σενάρια για το 2025 και το 2030.

Αρχικά επισημαίνεται πως η μεταφορική ικανότητα της Ιταλίας προς τα Βαλκάνια είναι σαφώς πιο περιορισμένη γεγονός που αποτυπώνεται στα γραφήματα που ακολουθούν. Στο πρώτο εξ αυτών (Γράφημα 36) αναπαρίσταται γραφικά η μεταβολή στη διείσδυση ΑΠΕ το 2025 συγκριτικά με το 2030.

- Σερβία και Βοσνία αυξάνουν τα ποσοστά διείσδυσης ΑΠΕ, ενώ μικρή αύξηση παρουσιάζει και η Αυστρία
- Από την άλλη οι περιοχές της Ιταλίας παρουσιάζουν μικρή μείωση

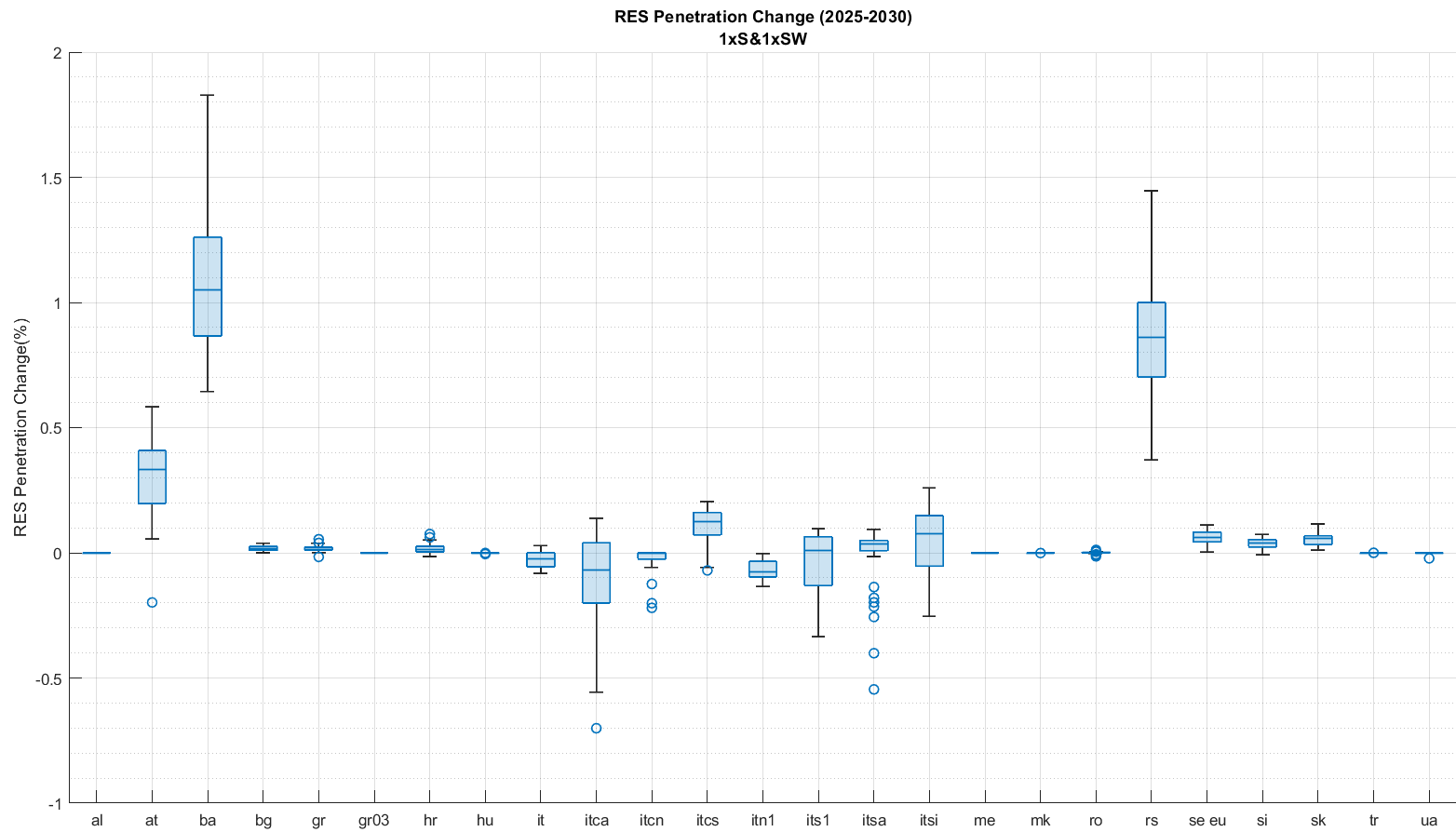
Οι διαφοροποιήσεις στα ποσοστά διείσδυσης επεξηγούνται καλύτερα αν λάβουμε υπόψη και τα γραφήματα 37 και 38 που αφορούν τις μεταβολές στην **άντληση** και στις **περικοπές** ενέργειας από τις υπάρχουσες υποδομές αντλιοσταμίου.

Όσον αφορά την **άντληση** παρατηρούμε τα εξής:

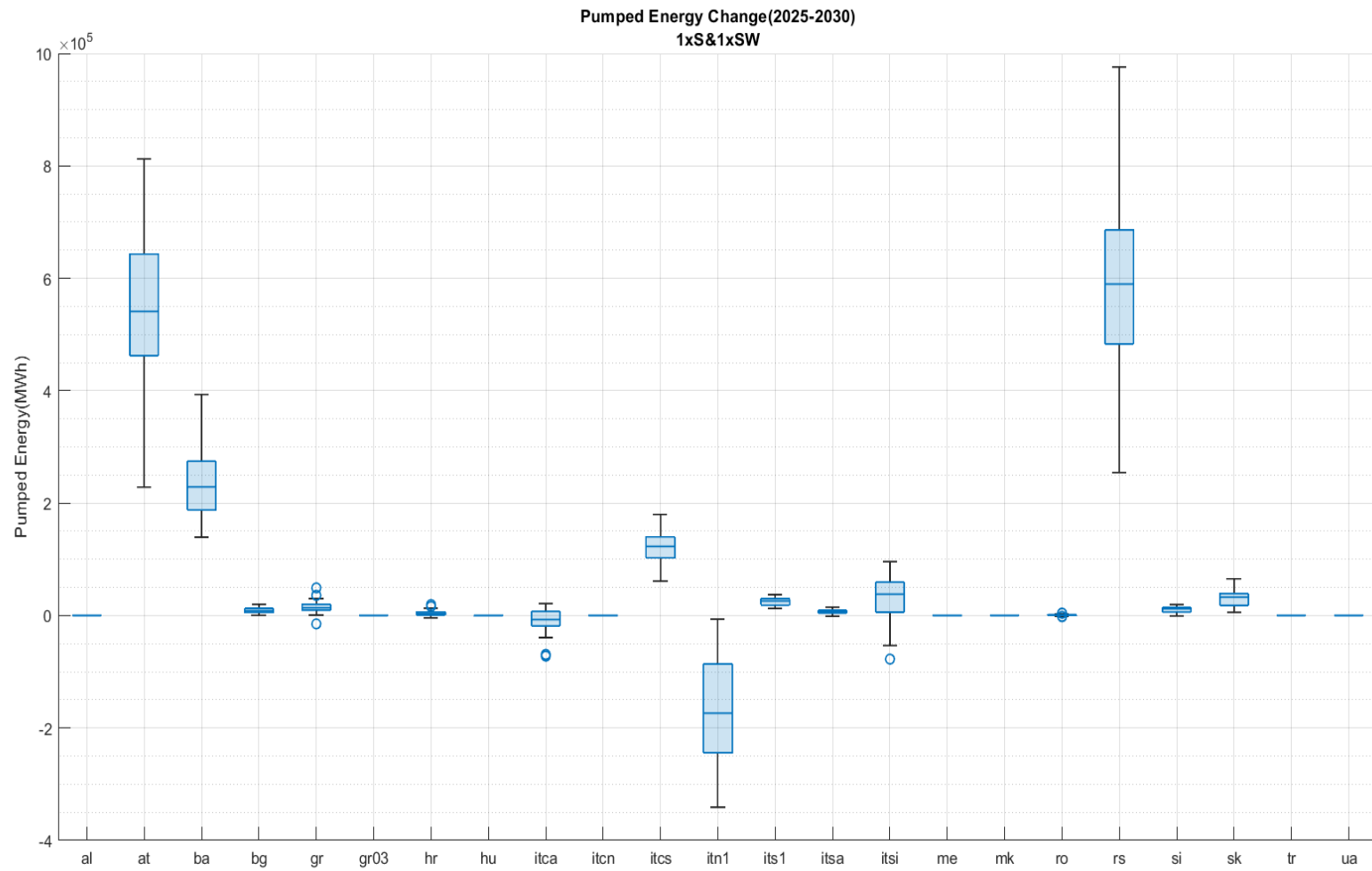
- Αύξηση της αντλούμενης ΗΕ σε Αυστρία, Βοσνία και Σερβία
- Μείωση στην Βόρεια Ιταλία

Όσον αφορά τις **περικοπές**:

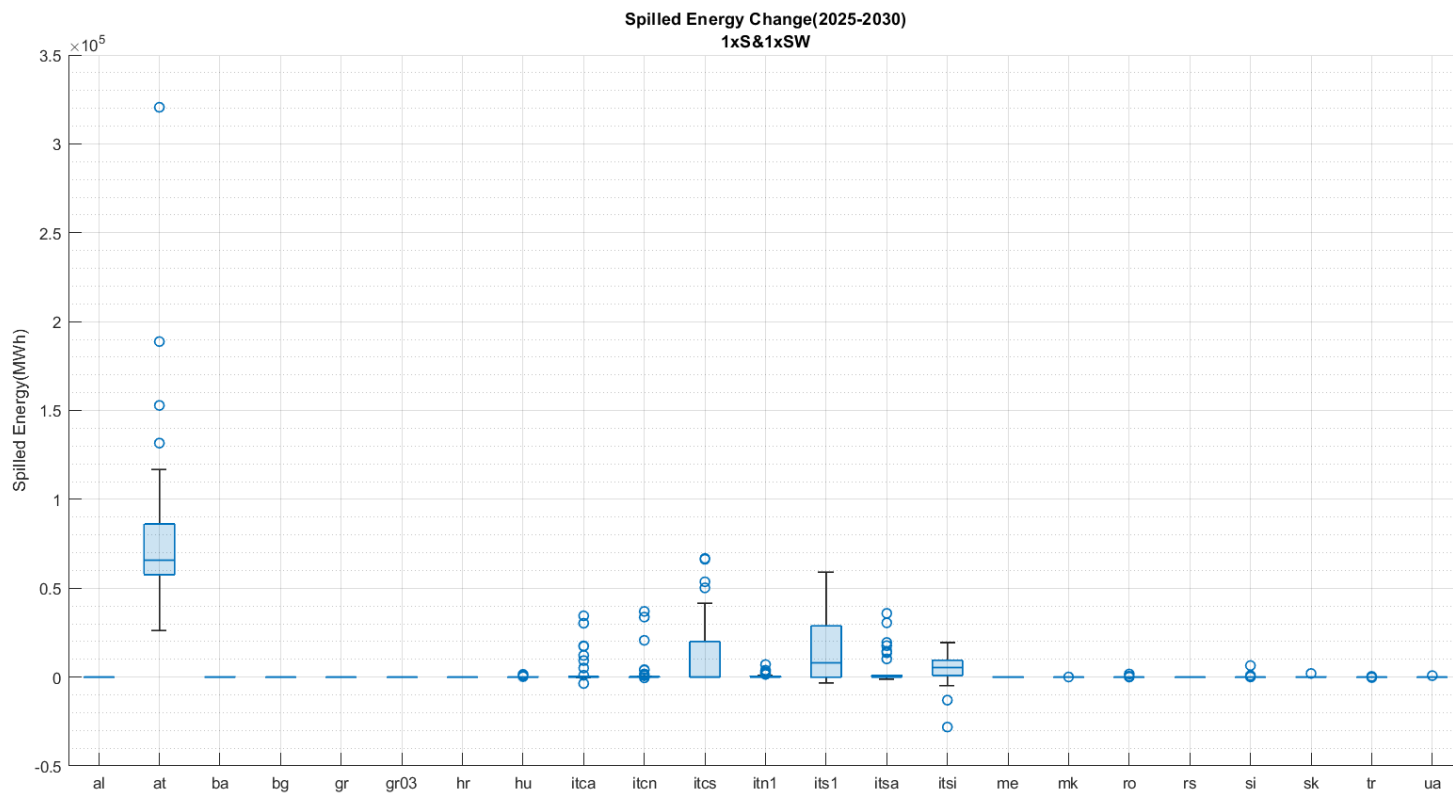
- Αυξημένες περικοπές σε Αυστρία και Ιταλία



Γράφημα 36 Μεταβολή ποσοστού διείσδυσης ΑΠΕ μεταξύ βασικών σεναρίων για διασυνδέσεις 2025-2030



Γράφημα 37 Μεταβολή περικοπών ενέργειας μεταξύ βασικών σεναρίων για διασυνδέσεις 2025-2030



Γράφημα 38 Μεταβολή άντλησης ενέργειας μεταξύ βασικών σεναρίων για διασυνδέσεις 2025-2030

Προφανώς ο περιορισμός των ικανοτήτων μεταφοράς επηρεάζει και την παραγωγή των συμβατικών μονάδων και κατ' επέκταση τις **εκπομπές ΑτΘ** και τις **οριακές τιμές**.

Παρατηρήσεις σχετικά με τις εκπομπές και συγκεκριμένα την ένταση των εκπομπών:

- Βοσνία και Σερβία παράγουν και καταναλώνουν ΗΕ πλέον εντός των συνόρων τους γι αυτό παρατηρούνται και υψηλότερα ποσοστά έντασης εκπομπών
- Μικρή άνοδος παρατηρείται και σε όλες τις υπόλοιπες χώρες πλην της Ιταλίας. Η Ιταλία των διασυνδέσεων του 2025 δεν απαιτείται να παράγει επιπλέον ΗΕ από μονάδες ΦΑ για την τροφοδοσία των βαλκανικών χωρών της Αδριατικής, των οποίων το ενεργειακό μείγμα προβλέπεται να διαθέτει και (είτε μόνο) ανθρακικές μονάδες παραγωγής

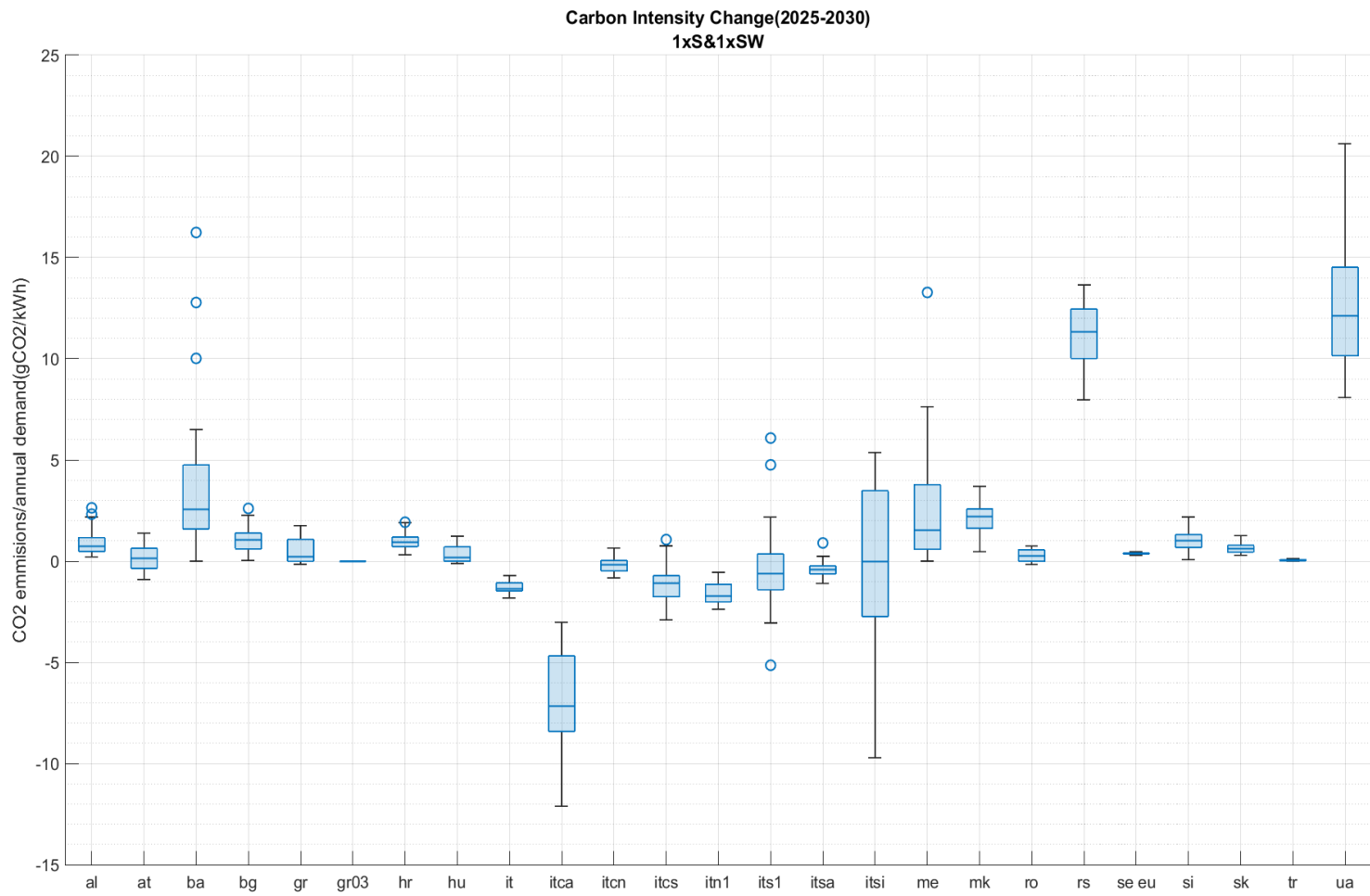
Η σύγκριση των **οριακών τιμών** έγινε μεταξύ των 2 βασικών σεναρίων, βάσει των μέσων οριακών τιμών κάθε έτους ΜΚ, κάθε ζώνης. Προφανώς η σύγκριση των οριακών τιμών για ωριαίο βήμα μία προς μία δεν επρόκειτο να δώσει κάποιο σημαντικό στατιστικό αποτέλεσμα.

Οι παραπάνω διαπιστώσεις αντικατοπτρίζονται και στις μεταβολές των **μέσων οριακών τιμών** των επιμέρους ζωνών. Σε αντιστοιχία με τα δεδομένα σχετικά με την ένταση των εκπομπών προκύπτουν τα εξής:

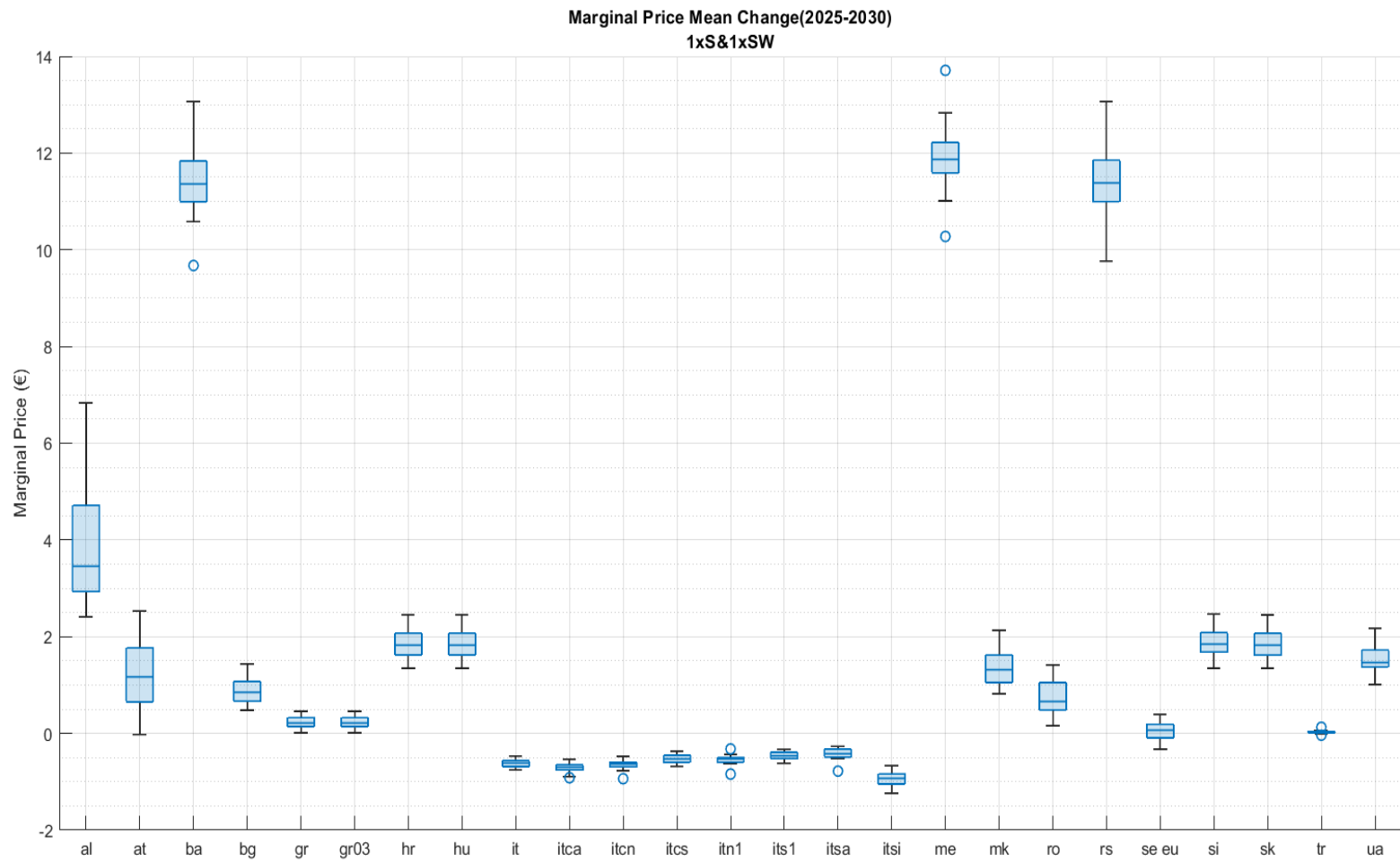
- Μεγάλη αύξηση των τιμών σε Βοσνία, Μαυροβούνιο και Σερβία
- Μικρότερη αύξηση σε όλες τις υπόλοιπες περιοχές πλην της Ελλάδας, της Τουρκίας και της Ιταλίας
  - Η αύξηση στις τιμές της Αυστρίας πιθανότατα οφείλεται στον μικρότερη μεταφορική ικανότητα της διασύνδεσης της με την βόρεια Ιταλία και στην απόζευξη των 2 αγορών

Όσον αφορά τις **διασυνδέσεις** και τις καμπύλες διάρκειας, παρατηρούμε πως ο κορεσμός των γραμμών μεταφοράς γίνεται ακόμη πιο έντονος στους δρόμους που διοχετεύουν ΗΕ τα κεντρικά Βαλκάνια. Ακολουθούν ορισμένα γραφήματα όπου αναπαρίστανται οι καμπύλες διάρκειας ροής ισχύος για το 2025 με κόκκινο χρώμα και οι αντίστοιχες για το 2030 με μπλε χρώμα.

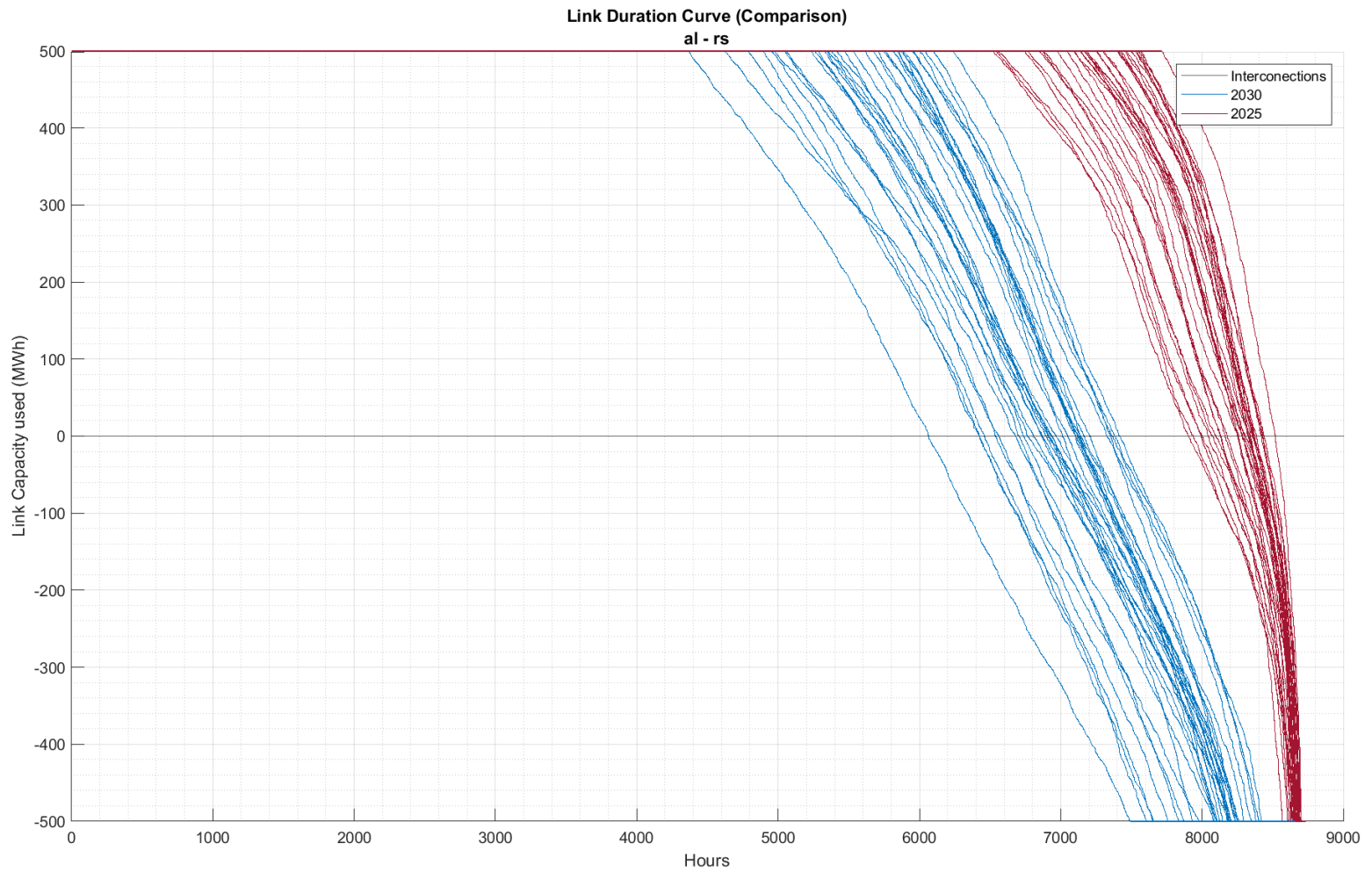




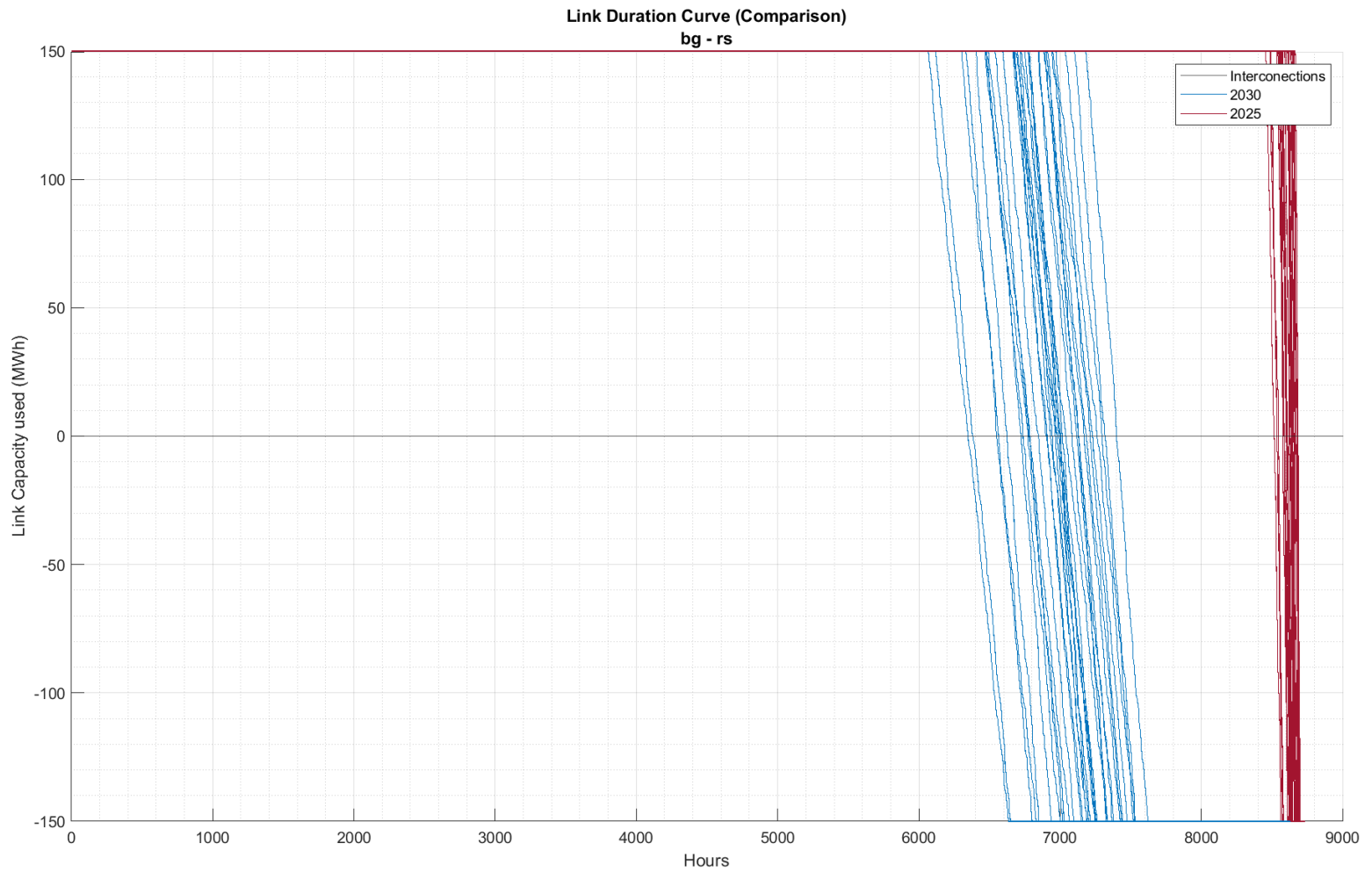
Γράφημα 39 Μεταβολή έντασης εκπομπών μεταξύ βασικών σεναρίων για διασυνδέσεις 2025-2030



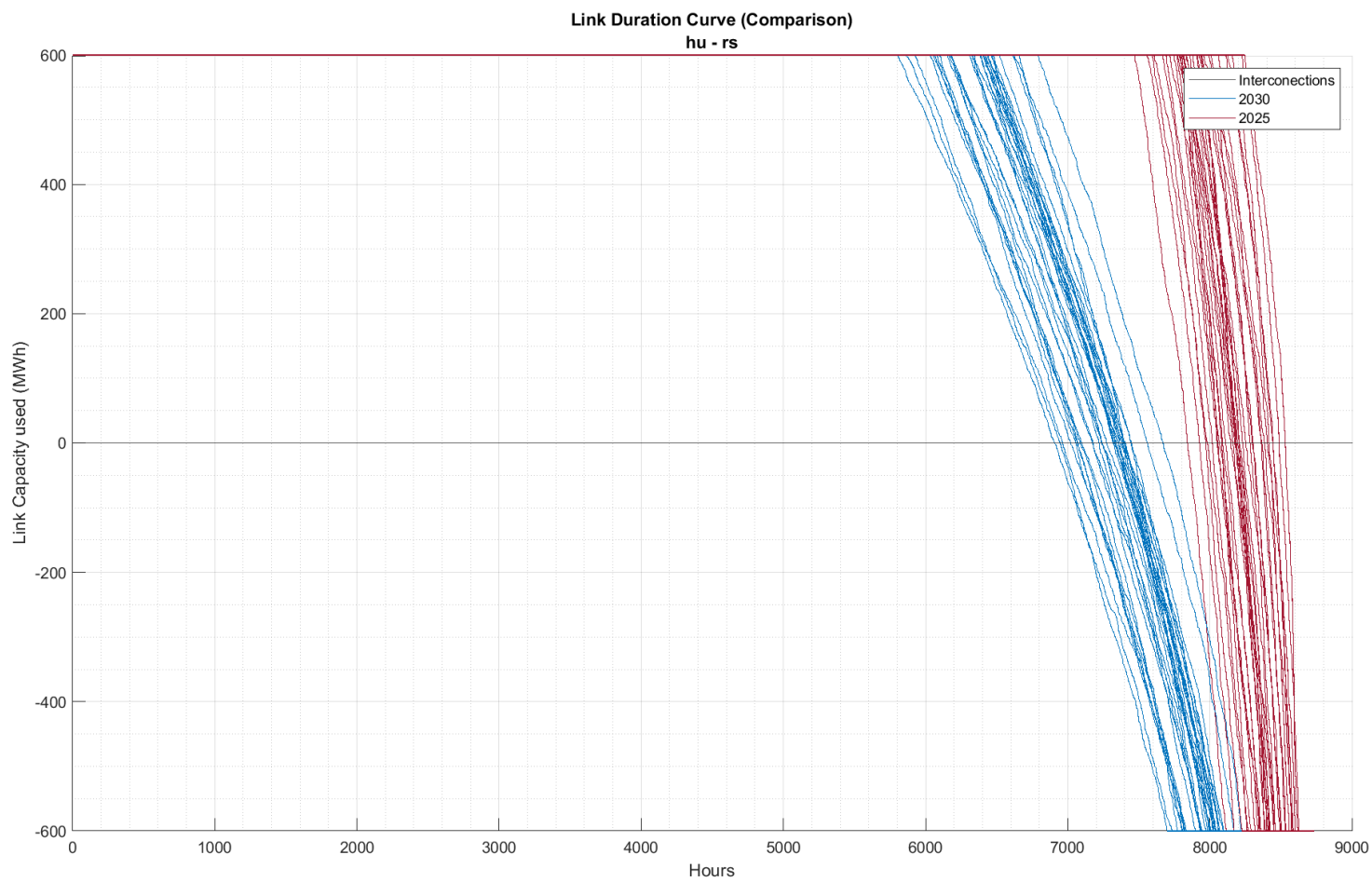
Γράφημα 40 Μεταβολή μέσων οριακών τιμών μεταξύ βασικών σεναρίων για διασυνδέσεις 2025-2030



Γράφημα 41 Σύγκριση καμπυλών διάρκειας ροής ισχύος AL-RS μεταξύ βασικών σεναρίων για διασυνδέσεις 2025-2030



Γράφημα 42 Σύγκριση καμπυλών διάρκειας ροής ισχύος BG-RS μεταξύ βασικών σεναρίων για διασυνδέσεις 2025-2030



Γράφημα 43 Σύγκριση καμπυλών διάρκειας ροής ισχύος HU-RS μεταξύ βασικών σεναρίων για διασυνδέσεις 2025-2030

Ολοκληρώνοντας, οφείλεται να γίνει αναφορά στα αποτελέσματα των σεναρίων αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ, διασυνδεδειγμένων ικανοτήτων του 2025. Οι μεταβολές των σεναρίων αυτών σε σχέση με το βασικό σενάριο του 2025 κινούνται σε σύμπνοια με τις μεταβολές που παρουσιάστηκαν προηγουμένως για τις διασυνδέσεις του 2030. Για τον λόγο αυτό η παρουσίαση τους παραλείπεται.

Συμπερασματικά λοιπόν:

- Αυξάνεται η παραγωγή ΗΕ από συμβατικές και αντλητικές μονάδες στην Σερβία και τη Βοσνία
- Αυξάνεται η άντληση ενέργειας στην Αυστρία οπότε και η διείσδυση ΑΠΕ
- Διασυνδέσεις που μεταφέρουν ΗΕ προς τα κεντρικά βαλκάνια εμφανίζουν ακόμη πιο έντονα κορεσμό

	2025	2030	Μεταβολή(%)
Συνολικό Κόστος (εκ. €)	47132.7	45232.3	-4.03
Συνολικές Εκπομπές (χιλ. τόνοι CO2)	300336	295144	-1.73

Πίνακας 9 Μεταβολή συνολικού κόστους και συνολικών εκπομπών συστήματος για διασυνδέσεις 2025-2030

Στον πίνακα 9 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές και οι μεταβολές του κόστους και των εκπομπών αθροιστικά για ολόκληρο το σύστημα στο βασικό σενάριο. Για το συνολικό σύστημα που μοντελοποιείται προκύπτει πως το κόστος λειτουργίας του και οι συνολικές εκπομπές ΑτΘ μειώνονται με την ενίσχυση των γραμμών, γεγονός που επιβεβαιώνει την σημασία ενίσχυσης των διασυνδέσεων από το 2025 στο 2030. Οι μεταβολές ωστόσο δεν είναι τόσο σημαντικές και είναι λογικό καθώς στα 2 βασικά σεναρία η παραγωγή ΑΠΕ είναι η ίδια. Τα οικονομικά οφέλη είναι σημαντικότερα συγκριτικά με την μείωση των εκπομπών, γεγονός που καταδεικνύει την εξάρτηση του συστήματος από τις συμβατικές μονάδες.

Τέλος επισημαίνεται πως δεν παρατηρούνται διαφορές στους δείκτες επάρκειας. Οι μεταβολές των **LOLE** και **EENS** για τις δύο διαφορετικές περιπτώσεις των μεταφορικών ικανοτήτων είναι μηδενικές. Το γεγονός αυτό εξηγείται από την μη μεταβολή των διασυνδεδειγμένων ικανοτήτων των πληττόμενων περιοχών (Σαρδηνία και Τουρκία) με τις γειτονικές ζώνες προσφοράς σε συνδυασμό με την μη μεταβολή της εγκατεστημένης ισχύος του συστήματος.



## 10 Σύνοψη και σχολιασμός αποτελεσμάτων

### 10.1 Σύνοψη

Η ανάγκη αναχαίτισης της κλιματικής αλλαγής, προκαλεί προβληματισμό στην παγκόσμια κοινότητα. Ο περιορισμός των εκπομπών ΑτΘ έχει φέρει σημαντικές αλλαγές στο ενεργειακό σύστημα. Συγκεκριμένα ο ρυπογόνος ηλεκτροπαραγωγικός τομέας τα τελευταία χρόνια διανύει μια πράσινη μετάβαση, στοχεύοντας σε ένα ευέλικτο ΣΗΕ με αυξημένη διείσδυση ΑΠΕ και πράσινων τεχνολογιών. Ένα από τα χαρακτηριστικά του μελλοντικού αυτού συστήματος αποτελεί η εξισορρόπηση των μεταβλητών ΑΠΕ σε διευρυμένες γεωγραφικά περιοχές. Η εξισορρόπηση και η ομαλοποίηση της παραγωγής των ΑΠΕ επιτυγχάνεται με την σύζευξη των αγορών ΗΕ και την βελτιστοποίηση του τρόπου κατανομής δυναμικότητας.

Η, από χρόνια, ενοποιημένη λειτουργία των αγορών στην κεντροδυτική Ευρώπη, έχει φέρει σημαντικά οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη, διαμέσου των αυξημένων ποσοστών διείσδυσης των φθηνών ΑΠΕ στο ενεργειακό μείγμα των επιμέρους χωρών. Πλέον και τα κράτη-μέλη που βρίσκονται στην ΝΑΕ έχουν ενταχθεί στην από κοινού συζευγμένη λειτουργία της αγοράς ΗΕ τους, σύμφωνα πάντα και με τις οδηγίες της ΕΕ. Παρόλα αυτά οι εγγύς χώρες των δυτικών Βαλκανίων παρουσιάζουν περιορισμένη πρόοδο όσον αφορά την πράσινη μετάβαση. Το γεγονός αυτό προκαλεί το ενδιαφέρον της ΕΕ, η οποία επιδιώκει την σταδιακή ένταξη των χωρών αυτών στην ενεργειακή της πολιτική. Σε αυτό το πλαίσιο η παρούσα διπλωματική διερεύνησε την συμπεριφορά ενός ενοποιημένου ΣΗΕ στην ευρύτερη γειτονιά της Ελλάδας, απαντώντας σε ερωτήματα σχετικά με την αφομοίωση των ΑΠΕ, τις εκπομπές CO<sub>2</sub>, την άντληση και αποθήκευση ενέργειας, τη χρήση των διασυνδέσεων κ.α.

Τέλος δεδομένης της ενεργειακής επικαιρότητας και της Ουκρανικής κρίσης, η ανεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα και ειδικά από το ΦΑ, που καιρό τώρα η ΕΕ επιδιώκει, αποτελεί τον καταλύτη για την επίσπευση των αλλαγών στο ενεργειακό σκηνικό. Η ανεξαρτητοποίηση αυτή δύναται να πραγματοποιηθεί με την περαιτέρω αύξηση της διείσδυσης των ΑΠΕ και την προσθήκη στοιχείων ευελιξίας και αποθήκευσης. Σε αυτή την πλευρά η εργασία ακολουθεί τα γεγονότα ερευνώντας την συμπεριφορά του συστήματος της ΝΑΕ για σενάρια αυξημένης παραγωγής ΑΠΕ.



## 10.2 Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Ελλάδα

### Βασικό σενάριο

- Η διείσδυση των ΑΠΕ στην Ελλάδα είναι στο βασικό σενάριο 50% και με την κλιμακωτή ανά 10% αύξηση της παραγωγής ανανεώσιμης ενέργειας, αυξάνεται κλιμακωτά και ανά 4% η διείσδυση
- Σχεδόν μηδενικές περικοπές στο βασικό σενάριο και μικρές σχετικά τιμές στα σενάρια αυξημένης παραγωγής
- Μεγάλη εξάρτηση από το ΦΑ καθώς το ποσοστό που δεν καλύπτεται από ΑΠΕ εξυπηρετείται από ΦΑ
- Άντληση γίνεται μεταθέτοντας κυρίως το κόστος. Η ανανεώσιμη ενέργεια που παράγεται καλύπτει εσωτερικές ανάγκες ζήτησης. Η υπόλοιπη ενέργεια καλύπτεται από το ΦΑ. Επιπλέον παρατηρούνται εξαγωγές από την Ελλάδα λόγω του χαμηλότερου κόστους του ΦΑ συγκριτικά με τις τιμές καυσίμων των γειτονικών χωρών. Μέρος της παραγωγής ΦΑ αντλείται και αποθηκεύεται. Η ενέργεια αυτή προσφέρεται και πάλι όταν η οριακή τιμή διαμορφώνεται από τρίτες χώρες σε υψηλότερη τιμή από αυτή του ΦΑ.
- Όσα προαναφέρθηκαν σχετικά με το ΦΑ έχουν ως αποτέλεσμα την επιβάρυνση της ηλεκτροπαραγωγής στην Ελλάδα για την τροφοδοσία γειτονικών χωρών. Κατά συνέπεια τα ποσοστά έντασης εκπομπών όπως και της Ιταλία ( και της Τουρκίας) είναι αυτά που ανεβάζουν τον μέσο όρο για την συνολική περιοχή ελέγχου
- Παρόλα αυτά το ποσοστό έντασης των εκπομπών του 2030 συγκριτικά με αυτή του 2019 φανερώνεται σαφώς βελτιωμένη καθώς οι λιγνιτικές μονάδες, που μέχρι πρότινος εξυπηρετούσαν το βασικό φορτίο, είναι σαφώς πολύ πιο ρυπογόνες
- Η οριακή τιμή προφανώς για τους παραπάνω λόγους διαμορφώνεται και ακολουθεί την τιμή του ΦΑ
- Όσον αφορά το προφίλ της ροής ισχύος, η Ελλάδα όπως αναφέρθηκε διοχετεύει με φθηνότερη ΗΕ τις γειτονικές χώρες. Εξαιρέση αποτελούν η διασύνδεση με την νότια Ιταλία που έχει παρόμοιο μείγμα και σημαντική παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας, καθώς επίσης και η διασύνδεση με την Κρήτη η ικανότητα της οποίας επαρκεί για την εξυπηρέτηση του φορτίου του νησιού και την από κοινού διαμόρφωση τιμής
- Τέλος η συμφόρηση στις γραμμές μεταφοράς με τις γειτονικές χώρες αποτυπώνεται και στο κόστος συμφόρησης δίνοντας έτσι ένα οικονομικό σήμα για την ενίσχυση των γραμμών. Κάτι τέτοιο βέβαια αποτελεί κομμάτι μακροχρόνιας στρατηγικής και πρόκειται για απόφαση που λαμβάνεται σε διοικητικό επίπεδο

### Σενάρια αυξημένης παραγωγής

- Τα ποσοστά διείσδυσης της Ελλάδας με το σύστημα όπως διαμορφώνεται μπορεί να αυξηθούν κατά 4% για κάθε 10% αύξησης της παραγωγής της αιολικής και της ηλιακής ενέργειας
- Η αντίστοιχη αύξηση των περικοπών που προκύπτει για κάθε σενάριο 10% αύξησης είναι χαμηλότερη του 1%
- Όσο η παραγωγή ΑΠΕ της Ελλάδας άλλα και των γειτονικών χωρών αυξάνεται η εξαγωγική θέση της Ελλάδας εξασθενεί και συνάμα πέφτουν και τα ποσοστά χρήσης των μονάδων ΦΑ

	1xRES	1.1xRES	1.2xRES	1.3xRES	1.4xRES
Παραγωγή ΦΑ	50797439	47907408	44727205	41259566	37692029
Μεταβολή (MWh)		-2890031	-6070234	-9537873	13105410
Μεταβολή(%)		-5.69	-11.95	-18.78	-25.80

Γράφημα 44 Μεταβολή συντελεστή χρησιμοποίησης μονάδων ΦΑ στην Ελλάδα για τα σενάρια αυξημένης παραγωγής

- Το αθροιστικό ετήσιο κόστος του ελληνικού συστήματος, όπως αναμένεται και από τα προηγούμενα, μειώνεται. Οι παρατηρήσεις μηδενικής οριακής τιμής αυξάνονται

### Σύγκριση διασυνδέσεων 2025-2030

- Τα ποσοστά διείσδυσης ΑΠΕ του 2025 αυξάνονται σε ελάχιστο βαθμό, λόγω μικρής αύξησης της άντλησης
- Ενδυνάμωση της εξαγωγικής θέσης της Ελλάδας το 2025
- Μικρή αύξηση της άντλησης και της έντασης εκπομπών
- Μεγαλύτερος κορεσμός διασυνδέσεων της Ελλάδας με Βαλκάνια και Τουρκία

## Υπόλοιπο Σύστημα

### ΑΠΕ, περικοπές & αποθήκευση

Όσον αφορά την **διείσδυση των ΑΠΕ**:

- οι περισσότερες χώρες μέλη της ΝΑΕ στο βασικό σενάριο επιτυγχάνουν σημαντικά ποσοστά (~50%), πλην της Βουλγαρίας και της Σλοβενίας που παράγουν ΗΕ σε πυρηνικές εγκαταστάσεις που δεν συγκαταλέγεται στις ΑΠΕ.
- Χαμηλότερα ποσοστά διείσδυσης καταγράφουν οι χώρες των δυτικών Βαλκανίων (εκτός της Αλβανίας όπου η παραγωγή ΗΕ βασίζεται κατά πολύ στην Υ/Η ενέργεια) καθώς επίσης η Ουγγαρία, η Σλοβακία και η Τουρκία

Ακόμη, το γεγονός ότι παρατηρείται **υπερπαραγωγή** ΗΕ από ΑΠΕ σε Αυστρία και Ιταλία, οι οποίες συνορεύουν προκαλεί **περικοπές** ενέργειας. Στις ίδιες αυτές περιοχές και για τον ίδιο λόγο παρατηρείται **άντληση** ενέργειας για μελλοντική χρήση, η οποία ωστόσο εκ του αποτελέσματος δεν επαρκεί για την άντληση όλης της παραγόμενης ενέργειας. Το γεγονός αυτό τονίζει την ανάγκη επένδυσης σε τεχνολογίες αποθήκευσης.

### Ροή ισχύος, εκπομπές CO<sub>2</sub> & οριακή τιμή

Όπως έχει γίνει σαφές το ηλεκτροπαραγωγικό σύστημα για την λειτουργία του, την αφομοίωση και εξισορρόπηση των μεταβλητών ΑΠΕ εξαρτάται ακόμη από συμβατικές μονάδες ορυκτών καυσίμων. Οι οικονομικά και ενεργειακά αποδοτικότερες ευέλικτες μονάδες ΦΑ αναπτύσσονται όλο και σε μεγαλύτερη κλίμακα για την υποστήριξη των ΑΠΕ και την εξασφάλιση της επάρκειας και της ασφάλειας εφοδιασμού του συστήματος.

Η εξάρτηση από το ΦΑ γίνεται εμφανής και στην παρούσα εργασία. Το χαμηλότερο κόστος που διαθέτουν οι μονάδες ΦΑ για την παραγωγή ενέργειας, έχει ως αποτέλεσμα την εκτεταμένη χρήση τους. Σύμφωνα με τους συντελεστές χρησιμοποίησης που παρουσιάστηκαν στην ενότητα των αποτελεσμάτων τα ποσοστά χρησιμοποίησης των μονάδων ΦΑ είναι:

- 35 έως 77% για τις περιοχές της Ιταλίας, της Αυστρίας και της Ελλάδας (κατά αύξουσα σειρά)
  - Οι χώρες διαθέτουν μόνο θερμικές μονάδες ΦΑ
  - Διαθέτουν επίσης σημαντική παραγωγή ΗΕ από ΑΠΕ. Η Ιταλία και η Αυστρία παράγουν περισσότερη πράσινη ενέργεια για αυτό και ο συντελεστής χρησιμοποίησης ΦΑ για την Ελλάδα έχει μεγαλύτερη τιμή
- >80% για όλες τις υπόλοιπες ζώνες

Το γεγονός ότι Ελλάδα, Ιταλία, Αυστρία διαθέτουν σημαντική εγκατεστημένη ισχύ ΑΠΕ και φθηνό ΗΕ από ΦΑ, τις καθιστά χώρες με εξαγωγική συμπεριφορά. Εξαγωγική τάση έχει επίσης και η Βουλγαρία. Σύμφωνα και με τα γραφήματα που αφορούν την **ροή ισχύος** προκύπτει πως η φθηνότερη ΗΕ παράγεται στην προαναφερθείσα τριάδα χωρών ρέει μέσω:

- Των διασυνδέσεων της Ιταλίας με τις χώρες της Αδριατικής θάλασσα

- Των διασυνδέσεων της Ελλάδας και της Βουλγαρίας με τις γειτονικές Βαλκανικές τους χώρες προς τις χώρες των δυτικών Βαλκανίων (Βοσνία, Σερβία, Βόρεια Μακεδονία) και την Τουρκία
- Βορειότερων χώρων όπως η Ρουμανία και Ουγγαρία, που διαθέτουν μια πιο ισορροπημένη εξαγωγική θέση(Γράφημα 13), προς την Σερβία.

Η εξάρτηση από το ΦΑ, γίνεται αισθητή και από τη διαμόρφωση της οριακής, η οποία κυμαίνεται από τα 75,29€ (κόστος ΗΕ από ΦΑ) και πάνω, με μέσες τιμές μεταξύ 70 και 80€.

Γενικά, συγκρίνοντας την συμπεριφορά της Ελλάδας με αυτή την Ιταλία, μπορούμε να συμπεράνουμε πως η αύξηση των ποσοστών διείσδυσης ΑΠΕ δύναται να μειώσει την εξάρτηση από το ΦΑ αυξάνοντας ωστόσο τις περικοπές ενέργειας. Η συμβολή μονάδων αποθήκευσης, επομένως, για την χρονική μετάθεση της παραγόμενης ανανεώσιμης ενέργειας κρίνεται απαραίτητη.

Όσον αφορά τις **εκπομπές CO2**: Ελλάδα, Βουλγαρία, Τουρκία και Ιταλία καταγράφουν τις υψηλότερες τιμές έντασης εκπομπών.

### *Αυξημένη παραγωγή ΑΠΕ & Διασυνδέσεις 2025*

Η αύξηση της παραγωγής αιολικών και ηλιακών τεχνολογιών ΑΠΕ αποτελεί σημαντικό κομμάτι της παρούσας εργασίας. Σημαντικά οφέλη προκύπτουν από την αποτίμηση σε οικονομικό και περιβαλλοντικό επίπεδο, καθώς παρατηρείται μείωση του συνολικού κόστους του συστήματος και των συνολικών εκπομπών CO2 αντίστοιχα.

Προφανώς, η αύξηση της παραγωγής ΑΠΕ, αυξάνει τα ποσοστά διείσδυσης, εντείνει τις περικοπές ενέργειας καθώς και την άντληση στις περιοχές όπου παρατηρείται σημαντική επένδυση σε πράσινες μορφές ενέργειας (Ιταλία, Αυστρία, Ελλάδα).

Τέλος όσον αφορά το σύστημα όπως αυτό διαμορφώνεται με τις διασυνδέσεις που προβλέπονται για το 2025 προκύπτει πως η επέκταση των διασυνδέσεων και η ενίσχυση τους έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του συνολικού κόστους και των συνολικών εκπομπών. Η μείωση αυτή δεν είναι τόσο σημαντική δεδομένου ότι στα δύο βασικά σενάρια για τις διασυνδέσεις του 2025 και του 2030 η ζήτηση και η παραγωγική ικανότητα του συστήματος δεν αλλάζει. Διαφορές ωστόσο παρατηρούνται στη χρήση των διασυνδέσεων καθώς με τις διασυνδέσεις του 2025 περιορίζεται η ικανότητα μεταφοράς ΗΕ προς τα δυτικά Βαλκάνια, προκαλώντας :

- Πιο έντονο κορεσμό των γραμμών μεταφοράς που διοχετεύουν τα ΔΒ με φθηνότερη ενέργεια από τις δυτικές και νότιες περιοχές του συστήματος
- Την εντατικότερη χρήση εγκαταστάσεων αντλησιοταμίευσης στις εισαγωγικές περιοχές της Σερβίας, της Βοσνίας και του Μαυροβουνίου

Ακόμη συγκρίνοντας τα αυξημένα σενάρια παραγωγής ΑΠΕ των 2 σεναρίων διασύνδεσης προκύπτει πως ο περιορισμός των διασυνδέσεων της Ιταλίας προκαλεί αύξηση των τιμών σε περικοπές και άντληση ενέργειας.



## 11 Συμπεράσματα και περαιτέρω έρευνα

Εν γένει η μετάλλαξη του ενεργειακού συστήματος τα τελευταία χρόνια αναδεικνύεται σε ένα περίπλοκο ζήτημα. Η απεξάρτηση από το ΦΑ δίνει έδαφος στην περαιτέρω επένδυση σε ανανεώσιμη ενέργεια. Η ωρίμανση των τεχνολογιών ΑΠΕ καθιστά αυτή τη μετάβαση εφικτή ωστόσο η αφομοίωση τους, με σκοπό την επίτευξη της ανθρακικής ουδετερότητας, αποτελεί ένα σημαντικό ζήτημα. Η σύζευξη των αγορών ενέργειας όπως ερευνάτε και από την παρούσα εργασία είναι ένα μέσω εξισορρόπησης της μεταβλητής παραγωγής ΑΠΕ. Ως ένα βαθμό η διεύθυνση των ΑΠΕ στο υπάρχον σύστημα μπορεί να αφομοιωθεί από την ενεργειακή συνεργασία των χωρών.

Η αύξηση, ωστόσο, της εγκατεστημένης ισχύς αιολικών και ηλιακών ΠΕ προκαλεί περικοπές. Επομένως, προκύπτει η αναγκαιότητα ανάπτυξης, σε σύντομο χρονικό διάστημα, βιώσιμων στρατηγικών που θα επιτρέψουν την κατά το δυνατόν αποδοτικότερη εκμετάλλευση των ΑΠΕ. Κάτι τέτοιο είναι εφικτό καθώς στα πλαίσια της έρευνας και ανάπτυξης, η ερευνητική κοινότητα έχει προσφέρει και συνεχίζει να παράγει σημαντικό έργο όσον αφορά τις δυνατότητες ευελιξίας του συστήματος. Σε αυτό το πλαίσιο η έρευνα πρέπει να ενταθεί όσον αφορά τις τεχνολογίες και στρατηγικές αποθήκευσης, την εξοικονόμηση ΗΕ και την ευελιξία στη μεριά της κατανάλωσης (DSM).

Όπως αναφέρθηκε και στα θεωρητικά στοιχεία, η απεξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα εμπλέκει και τομείς όπως οι μεταφορές και η θέρμανση/ψύξη. Βασικότερη λύση αυτού του ζητήματος αποτελεί ο εξηλεκτρισμός των τομέων αυτών. Κάτι τέτοιο ωστόσο προσδίδει βάρος στον ηλεκτρισμό ως βασικό και μοναδικό ενεργειακό φορέα. Τα τελευταία χρόνια ωστόσο, το πράσινο υδρογόνο αναδεικνύεται σε μια ανταγωνιστική εναλλακτική. Η ανάπτυξη αποδοτικών τεχνολογιών ηλεκτρόλυσης σε συνδυασμό με την αυξημένη παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας ρίχνουν την τιμή του πράσινου υδρογόνου. Η ευκολία αποθήκευσης και διαχείρισης του καυσίμου αυτού, καθώς και το γεγονός ότι κατά την παραγωγή και κατανάλωση του οι εκπομπές CO<sub>2</sub> είναι σχεδόν μηδενικές συμβάλλουν περαιτέρω στην καθιέρωση του ως τον βοηθητικό ενεργειακό φορέα που δύναται να υποστηρίξει την αυξημένη παραγωγή ανανεώσιμης ενέργειας.

Συνοψίζοντας προτείνεται περαιτέρω μελέτη σχετικά με την αποθήκευση και την προοπτική διαμόρφωσης ενός πολύ-ενεργειακού συστήματος όπου ηλεκτρισμός και υδρογόνο θα εξυπηρετούν τις ενεργειακές ανάγκες. Όπως διαφαίνεται και στη βιβλιογραφία υπάρχουν πολλές ελπίδες πως η οργάνωση του ενεργειακού συστήματος κατ' αυτόν τον τρόπο πρόκειται να επιφέρει την επιθυμητή απεξάρτηση από το ΦΑ και γενικά τα ορυκτά καύσιμα και συνάμα να επιτρέψει την πολυπόθητη ανθρακική ουδετερότητα.

## 12 Βιβλιογραφία

- [1] M. R. M. Cruz, D. Z. Fitiwi, S. F. Santos, and J. P. S. Catalão, “A comprehensive survey of flexibility options for supporting the low-carbon energy future,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 97, pp. 338–353, Dec. 2018, doi: 10.1016/J.RSER.2018.08.028.
- [2] J. F. B. Mitchell, “The ‘Greenhouse’ effect and climate change,” *Rev. Geophys.*, vol. 27, no. 1, pp. 115–139, Feb. 1989, doi: 10.1029/RG027I001P00115.
- [3] “Discovery Of The Greenhouse Effect - Greenhouse Gases.” <https://www.climate-policy-watcher.org/greenhouse-gases-2/discovery-of-the-greenhouse-effect.html> (accessed Jan. 10, 2022).
- [4] G. S. Callendar, “The artificial production of carbon dioxide and its influence on temperature,” *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, vol. 64, no. 275, pp. 223–240, 1938, doi: 10.1002/QJ.49706427503/ABSTRACT.
- [5] S. Manabe and R. T. Wetherald, “Thermal Equilibrium of the Atmosphere with a Given Distribution of Relative Humidity,” 1966.
- [6] C. D. Keeling *et al.*, “Atmospheric carbon dioxide variations at Mauna Loa Observatory, Hawaii,” *Tellus*, vol. 28, no. 6, pp. 538–551, Dec. 1976, doi: 10.1111/J.2153-3490.1976.TB00701.X/ABSTRACT.
- [7] A. Berger and C. Tricot, “The greenhouse effect,” *Surv. Geophys. 1992 136*, vol. 13, no. 6, pp. 523–549, Nov. 1992, doi: 10.1007/BF01904998.
- [8] D. French, “Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change,” *J. Environ. Law*, vol. 10, no. 1,

- pp. 215–224, 1998, doi: 10.1093/jel/10.1.215.
- [9] R. S. J. Tol, “The Economic Effects of Climate Change,” *J. Econ. Perspect.*, vol. 23, no. 2, pp. 29–51, Mar. 2009, doi: 10.1257/JEP.23.2.29.
- [10] M. Kanellakis, G. Martinopoulos, and T. Zachariadis, “European energy policy—A review,” *Energy Policy*, vol. 62, pp. 1020–1030, Nov. 2013, doi: 10.1016/J.ENPOL.2013.08.008.
- [11] “Completing the Internal Market — White Paper from the Commission to the European Council (Milan, 28-29 June 1985).” .
- [12] “A European Strategy for Sustainable, Competitive and Secure Energy EN EN.”
- [13] K. Szulecki, S. Fischer, A. T. Gullberg, and O. Sartor, “Shaping the ‘Energy Union’: between national positions and governance innovation in EU energy and climate policy,” <https://doi.org/10.1080/14693062.2015.1135100>, vol. 16, no. 5, pp. 548–567, Jul. 2016, doi: 10.1080/14693062.2015.1135100.
- [14] P. Nejat, F. Jomehzadeh, M. M. Taheri, M. Gohari, and M. Z. Mueh, “A global review of energy consumption, CO<sub>2</sub> emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO<sub>2</sub> emitting countries),” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 43, pp. 843–862, Mar. 2015, doi: 10.1016/J.RSER.2014.11.066.
- [15] S. Fawzy, A. I. Osman, J. Doran, and D. W. Rooney, “Strategies for mitigation of climate change: a review,” *Environ. Chem. Lett.* 2020 186, vol. 18, no. 6, pp. 2069–2094, Jul. 2020, doi: 10.1007/S10311-020-01059-W.
- [16] “Carbon Price Viewer - Ember.” <https://ember->



- climate.org/data/carbon-price-viewer/ (accessed Mar. 10, 2022).
- [17] “Renewable Energy Sources (RES) - Emissions-EUETS.com.” <https://www.emissions-euets.com/internal-electricity-market-glossary/1313-renewable-energy-sources-res> (accessed Jan. 13, 2022).
- [18] “Closed-loop pumped hydro on the rise – pv magazine International.” <https://www.pv-magazine.com/2021/10/01/closed-loop-pumped-hydro-on-the-rise/> (accessed Mar. 09, 2022).
- [19] A. Akrami, M. Doostizadeh, and F. Aminifar, “Power system flexibility: an overview of emergence to evolution,” *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*, vol. 7, no. 5, pp. 987–1007, Sep. 2019, doi: 10.1007/S40565-019-0527-4.
- [20] S. Impram, S. Varbak Nese, and B. Oral, “Challenges of renewable energy penetration on power system flexibility: A survey,” *Energy Strateg. Rev.*, vol. 31, p. 100539, Sep. 2020, doi: 10.1016/J.ESR.2020.100539.
- [21] S. Comello, S. Reichelstein, and A. Sahoo, “The road ahead for solar PV power,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 92, pp. 744–756, Sep. 2018, doi: 10.1016/J.RSER.2018.04.098.
- [22] E. Lannoye, D. Flynn, and M. O’Malley, “Evaluation of power system flexibility,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 27, no. 2, pp. 922–931, May 2012, doi: 10.1109/TPWRS.2011.2177280.
- [23] E. Ela, M. Milligan, A. Bloom, A. Botterud, A. Townsend, and T. Levin, “Evolution of Wholesale Electricity Market Design with Increasing Levels of Renewable Generation,” Sep. 2014, doi: 10.2172/1159375.
- [24] P. D. Lund, J. Lindgren, J. Mikkola, and J. Salpakari, “Review of energy system flexibility measures to enable high levels of

- variable renewable electricity,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 45, pp. 785–807, May 2015, doi: 10.1016/J.RSER.2015.01.057.
- [25] B. Mohandes, M. S. El Moursi, N. Hatziargyriou, and S. El Khatib, “A Review of Power System Flexibility with High Penetration of Renewables,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 34, no. 4, pp. 3140–3155, Jul. 2019, doi: 10.1109/TPWRS.2019.2897727.
- [26] G. Papaefthymiou and K. Dragoon, “Towards 100% renewable energy systems: Uncapping power system flexibility,” *Energy Policy*, vol. 92, pp. 69–82, May 2016, doi: 10.1016/J.ENPOL.2016.01.025.
- [27] E. Martinot, “Grid Integration of Renewable Energy: Flexibility, Innovation, and Experience,” <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085725>, vol. 41, pp. 223–251, Oct. 2016, doi: 10.1146/ANNUREV-ENVIRON-110615-085725.
- [28] M. Miller *et al.*, “Status Report on Power System Transformation: A 21st Century Power Partnership Report,” May 2015, doi: 10.2172/1215069.
- [29] D. Newbery, M. G. Pollitt, R. A. Ritz, and W. Strielkowski, “Market design for a high-renewables European electricity system,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 91, pp. 695–707, Aug. 2018, doi: 10.1016/J.RSER.2018.04.025.
- [30] “TYNDP 2020 Project Collection.” <https://tyndp2020-project-platform.azurewebsites.net/projectsheets> (accessed Mar. 10, 2022).
- [31] “Money Flows.” <https://energydemocracyguide.org.uk/contents/money-flows/> (accessed Mar. 11, 2022).

- [32] I. Savelli, A. Giannitrapani, S. Paoletti, and A. Vicino, "An Optimization Model for the Electricity Market Clearing Problem With Uniform Purchase Price and Zonal Selling Prices," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 33, no. 3, pp. 2864–2873, May 2018, doi: 10.1109/TPWRS.2017.2751258.
- [33] L. Trevino, "Liberalization of the Electricity Market in Europe : An overview of the electricity technology and the market place." 2008, Accessed: Jan. 19, 2022. [Online]. Available: <https://infoscience.epfl.ch/record/116483>.
- [34] F. Ioannidis, K. Kosmidou, K. Andriosopoulos, and A. Everkiadi, "Assessment of the Target Model Implementation in the Wholesale Electricity Market of Greece," *Energies*, vol. 14, no. 19, p. 6397, Oct. 2021, doi: 10.3390/en14196397.
- [35] I. Aravena, Q. L  t  , A. Papavasiliou, and Y. Smeers, "Transmission Capacity Allocation in Zonal Electricity Markets," <https://doi.org/10.1287/opre.2020.2082>, vol. 69, no. 4, pp. 1240–1255, Apr. 2021, doi: 10.1287/OPRE.2020.2082.
- [36] K. Van den Bergh, J. Boury, and E. Delarue, "The Flow-Based Market Coupling in Central Western Europe: Concepts and definitions," *Electr. J.*, vol. 29, no. 1, pp. 24–29, Jan. 2016, doi: 10.1016/J.TEJ.2015.12.004.
- [37] "Single Day-ahead Coupling (SDAC)." [https://www.entsoe.eu/network\\_codes/cacm/implementation/sdac/](https://www.entsoe.eu/network_codes/cacm/implementation/sdac/) (accessed Mar. 11, 2022).
- [38] S. Borozan, A. K. Mateska, and P. Krstevski, "Progress of the electricity sectors in South East Europe: Challenges and opportunities in achieving compliance with EU energy policy," *Energy Reports*, vol. 7, pp. 8730–8741, Nov. 2021, doi: 10.1016/J.EGYR.2021.11.203.