



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

**Μελέτη του φαινομένου των παράλληλων ροών (loop flows) στην Κεντρική
Ευρώπη**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φούκη Ευφροσύνη

Επιβλέπων: Παντελής Κάπρος
Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2017



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

**Μελέτη του φαινομένου των παράλληλων ροών (loop flows) στην
Κεντρική Ευρώπη**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Φούκη Ευφροσύνη

Επιβλέπων: Παντελής Κάπρος
Καθηγητής ΕΜΠ

Εγκρίθηκε από τριμελή επιτροπή εξεταστική επιτροπή (ημερομηνία)

.....
Παντελής Κάπρος

.....
Κωνσταντίνος Βουρνάς

.....
Πάυλος Σ. Γεωργιλάκης

Αθήνα, Ιούλιος 2017

.....
Φούκη Ευφροσύνη

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Ηλεκτρονικών Υπολογιστών

Copyright © Φούκη Ευφροσύνη, 2017

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 παρούσα διπλωματική εργασία μελετά μία από τις προκλήσεις που συνδέονται με τη μετάβαση σε ένα ολοκληρωμένο, χωρίς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ευρωπαϊκό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής, τις παράλληλες ροές (loop flows) και πως αυτές επηρεάζονται από διάφορες παραμέτρους του δικτύου. Η μελέτη μας επικεντρώνεται στα loop flows της Κεντρικής Ευρώπης και συγκεκριμένα κυρίως στα σύνορα της Γερμανίας, καθώς η Γερμανία διαθέτει υψηλό αιολικό πλεόνασμα στο Βορρά, το οποίο επηρεάζει σημαντικά το φαινόμενο των loop flows, και επιπλέον παίζει ιδιαίτερα σημαντικό ρόλο στην ανάλυση, δεδομένου ότι έχει αναλάβει ηγετικό ρόλο στην ενεργειακή μετάβαση και βρίσκεται στην καρδιά της Ευρώπης. Για να πραγματοποιηθεί η μελέτη μας υπήρξε η ανάγκη δημιουργίας ενός μοντέλου προσομοίωσης του Ευρωπαϊκού συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας αποτελούμενο από 216 κόμβους το οποίο θα παρέχει λεπτομέρειες όχι μόνο για τις διεθνείς διασυνδέσεις, αλλά και τις διασυνδέσεις στο εσωτερικό των χωρών. Για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο μελετήθηκαν και επεξεργάστηκαν δεδομένα του δικτύου ενώ για να έχουμε μια ολοκληρωμένη προσομοίωση του, χρειάστηκε να γίνει κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στους διαθέσιμους κόμβους του δικτύου, χρησιμοποιώντας πληροφορίες διαθέσιμες από τον Entso-e και των βάσεων δεδομένων της Eurostat και του Platts. Προκειμένου η παρούσα μελέτη να πραγματοποιηθεί και για μελλοντικό χρόνο, χρησιμοποιήθηκε το σενάριο εξέλιξης του ενεργειακού συστήματος EUCO27 της Ε.Ε., το οποίο προβλέπει σημαντική διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ε.Ε. στα πλαίσια της επίτευξης των ενεργειακών στόχων της Ε.Ε. για το 2030. Επιπλέον, κρίθηκε απαραίτητο να ενσωματωθούν οι μελλοντικές επενδύσεις στο δίκτυο, οι οποίες προβλέπεται να έχουν ολοκληρωθεί την χρονιά των προσομοιώσεων με βάση το Δεκαετές Πρόγραμμα Ανάπτυξης Δικτύου για το 2016 (TYNDP). Στη συνέχεια η λεπτομερής αποτύπωση του δικτύου και του ενεργειακού συστήματος ενσωματώθηκε στο μοντέλο προσομοίωσης “Primes”, ένα μοντέλο το οποίο προσομοιώνει την λειτουργία ολόκληρου του Ευρωπαϊκού ηλεκτρικού συστήματος, συμπεριλαμβανομένων των εισαγωγών/εξαγωγών ηλεκτρικής ενέργειας χρησιμοποιώντας DC ροή φορτίου. Για να μπορέσει να παρατηρηθεί η συμπεριφορά των loop flows σε διαφορετικές συνθήκες χρησιμοποιήσαμε σενάρια τα οποία διαφοροποιούνται ως προς το έτος και συνεπώς ως προς την εγκατεστημένη ισχύ από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τις επενδύσεις στο δίκτυο και την καθαρή μεταφορική ικανότητα (NTC). Μέσα από τα αποτελέσματα των σεναρίων εξάγουμε κάποια συμπεράσματα για το πώς επηρεάζονται τα loop flows στο εκάστοτε σενάριο, ενώ εξετάζεται και η συσχέτιση τους με παραμέτρους όπως η αιολική ενέργεια.

Λέξεις κλειδιά: Ροές βρόγχου, Ευρωπαϊκό δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, Γερμανία, γραμμές συμφόρησης, TYNDP, Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, αιολική ενέργεια.

Abstract:

This diploma thesis concerns one of the challenges related to the transition to an integrated, decarbonised European power system, namely the parallel flows (loop flows) and how these flows are affected by different network parameters. Our study focuses on the loop flows of Central Europe, mainly those observed in the borders of Germany with the neighbouring Member States, as Germany has a high wind surplus in the North, which considerably contributes to the loop flows in the area, and also plays a particularly important role in the analysis as it has assumed a leading role in the energy transition and lies in the heart of Europe. This study required the creation of a simulation model of the European electricity transmission system consisting of 216 nodes, providing details not only on international interconnections but also on interconnections within countries. To achieve this, detailed data on the network as well as on the geographical distribution of power plants and demand centers was collected and processed, using information available from Entso-e, Eurostat and Platts databases. In order to study the loop flows phenomenon in a future context, the EUCO27 scenario of the EU has been utilised as a projection of the developments in the European energy system; this scenario assumes significant penetration of renewable energy sources in the context of achieving the EU's energy targets of 2030. Moreover, it has been considered necessary to integrate the future network investments that are expected to be completed in the year of simulations based on the Ten Year Network Development Plan of 2016 (TYNDP). The detailed network and energy system data was then integrated into the "Primes" power generation simulation model, a linear programming model that simulates the operation of the entire European power generation system, including imports/exports of electricity using DC load flow. In order to study the loop flows in different circumstances, we used multiple scenarios that differentiate each other relative to the year, installed renewable energy, network investment and net transfer capacity (NTC). Through the results of the scenarios, conclusions are drawn on how parallel flows are affected but also how they are related to variables such as wind power.

Key words: loop flows, European electricity transmission network, Germany, congestions, TYNDP, Renewable energy sources, wind power.

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Παντελή Κάπρο για τη δυνατότητα που μου έδωσε να ασχοληθώ με το ενδιαφέρον παρόν αντικείμενο μελέτης. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω θερμά την υποψήφια διδάκτωρ κυρία Μαριλένα Ζαμπάρα για την πολύτιμη και στοχευμένη βοήθεια που παρείχε καθ' όλη της διάρκεια της εκπόνησης. Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του Εργαστηρίου Υποδειγμάτων Ενέργειας-Οικονομίας-Περιβάλλοντος του ΕΜΠ για τη βοήθεια και την στήριξη τους, και ιδιαίτερα το συμφοιτητή Αλέξανδρο Μακρυσόπουλο για την εξαιρετική συνεργασία που είχαμε. Τέλος ένα ιδιαίτερο ευχαριστήσω στην οικογένεια μου για τη στήριξη της και σε όλους τους φίλους που πορευθήκαμε μαζί σε αυτά τα όμορφα φοιτητικά χρόνια.

Πίνακας περιεχομένων

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	25
1.1 Εισαγωγή	25
1.2 Στόχος διπλωματικής εργασίας	26
1.3 Δομή διπλωματικής εργασίας.....	27
Κεφάλαιο 2. Φαινόμενο των παράλληλων ροών -loop flows	29
2.1 Περιγραφή του φαινομένου loop flow	29
2.1.1 Το πρόβλημα των loop flows στο πλαίσιο της αγοράς	31
2.1.2 Παράγοντες που συμβάλλουν στη δημιουργία του φαινομένου.....	32
2.1.3 Συνέπειες του φαινομένου	32
2.1.4 Μέτρα αντιμετώπισης των loop flows	33
2.1.5 Σημαντικοί τομείς ανάπτυξης για τα loop flows.....	35
2.2 Αιολική ενέργεια και loop flows	37
2.3 Κύρια loop flows στην Κεντρική Ευρώπη	38
2.4 Κύριες γραμμές συμφόρησης στη Γερμανία	40
Κεφάλαιο 3. Το ενεργειακό μοντέλο Primes και περιγραφή του μοντέλου.....	42
3.1 Ενεργειακό μοντέλο Primes	42
3.1.1 Περιγραφή μοντέλου.....	42
3.1.2 Εξισώσεις του μοντέλου Primes για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας 43	
3.2 Τροποποιήσεις στο μοντέλο Primes για την παρούσα εργασία	45
3.3 Προσομοίωση της DC ροής φορτίου.....	47
Κεφάλαιο 4. Δημιουργία αποτύπωσης του Ευρωπαϊκού συστήματος μεταφοράς	49

4.1	Αναγκαιότητα λεπτομερούς αποτύπωσης ευρωπαϊκού συστήματος μεταφοράς	49
4.2	Αποτύπωση του ευρωπαϊκού συστήματος μεταφοράς στη βιβλιογραφία	50
4.3	Ανάλυση λεπτομερούς δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας	50
4.3.1	Περιγραφή δημιουργίας δικτύου μεταφοράς	50
4.3.2	Υπολογισμός αντίδρασης X και μεταφορικής ικανότητας	54
4.3.3	Επέκταση δικτύου στο μέλλον	56
4.3.4	Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στους κόμβους του δικτύου	57
4.3.5	Κατανομή της ζήτησης στους κόμβους του δικτύου	58
4.4	Επαλήθευση του μοντέλου	59
Κεφάλαιο 5. Εξέλιξη ενεργειακού συστήματος		61
5.1	Περιγραφή σεναρίου decarb	61
5.2	Παρουσίαση της κατανομής εγκατεστημένης ισχύος στις χώρες της κεντρικής Ευρώπης	62
5.2.1	Γερμανία.....	62
5.2.2	Τσεχία.....	64
5.2.3	Πολωνία	65
5.2.4	Αυστρία.....	66
5.2.5	Γαλλία	67
5.2.6	Ολλανδία	68
5.2.7	Βέλγιο.....	69
5.2.8	Ουγγαρία	70
5.2.9	Σλοβακία	71
Κεφάλαιο 6. Αποτελέσματα Σεναρίων		72

6.1	Γενική περιγραφή σεναρίων	72
6.2	Decarb 2015.....	73
6.2.1	Περιγραφή.....	73
6.2.2	Loop flow GE→CZ→GE.....	74
6.2.3	Loop flow GE→PD→CZ→AU→GE	77
6.2.4	Loop flow GE→PD→SK→HU→AU	80
6.2.5	Loop flow FR→GE→SW→FR	82
6.2.6	Loop flow GE→NL→BE→FR.....	84
6.2.7	Μη προγραμματισμένες ροές.....	86
6.2.8	Υπολογισμός κόστους.....	88
6.3	Σενάριο NoNTC 2015	90
6.3.1	Περιγραφή.....	90
6.3.2	Loop flow GE→CZ→GE.....	90
6.3.3	Loop flow GE→PD→CZ→AU→GE	93
6.3.4	Loop flow GE→PD→SK→HU→AU	95
6.3.5	Loop flow FR→GE→SW→FR.....	97
6.3.6	Loop flow GE→NL→BE→FR.....	99
6.4	Σενάριο Relax 2015	100
6.4.1	Περιγραφή.....	100
6.4.2	Loop flow GE→CZ→GE.....	101
6.4.3	Loop flow GE→PD→CZ→AU→GE	104
6.4.4	Loop flow GE→PD→SK→HU→AU	108
6.5	Decarb 2030.....	111
6.5.1	Περιγραφή.....	111

6.5.2	Loop flow GE→CZ→GE.....	112
6.5.3	Loop flow GE→PD→CZ→AU→GE	116
6.5.4	Loop flow GE→PD→SK→HU→AU	120
6.5.5	Loop flow FR→GE→SW→FR	122
6.5.6	Loop flow GE→NL→BE→FR.....	124
6.6	Σενάριο No NTC 2030	126
6.6.1	Περιγραφή.....	126
6.6.2	Loop flow GE→CZ→GE.....	126
6.6.3	Loop flow GE→PD→CZ→AU→GE	128
6.6.4	Loop flow GE→PD→SK→HU→AU	129
6.6.5	Loop flow FR→GE→SW→FR.....	131
6.6.6	Loop flow GE→NL→BE→FR.....	132
6.7	Σενάριο INV GE 2030.....	133
6.7.1	Περιγραφή.....	133
6.7.2	Loop flow GE→CZ→GE.....	134
6.7.3	Loop flow GE→PD→CZ→AU→GE	135
6.7.4	Loop flow GE→PD→SK→HU→AU	137
6.7.5	Loop flow FR→GE→SW→FR	139
6.7.6	Loop flow GE→NL→BE→FR.....	140
Κεφάλαιο 7.	Συμπεράσματα.....	142
Κεφάλαιο 8.	Επίλογος	150
8.1	Σύνοψη εργασίας	150
8.2	Επεκτάσεις.....	152
Παράρτημα Α.	Κόμβοι του αναλυθέντος δικτύου	154

Παράρτημα Β. Τιμές NTC για διάφορες κατηγορίες σεναρίων.....	160
Παράρτημα Γ. Στοιχεία για το Ευρωπαϊκό δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας 167	

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Ορισμός μη προγραμματισμένης ροής (unplanned flow).....	30
Εικόνα 2: Γραφική αναπαράσταση εμπορικών ροών(προγραμματισμένων), φυσικών ροών και ροών βρόγχου (loop flows).....	30
Εικόνα 3:Γεωγραφική κατανομή της αιολικής ενέργειας στη Γερμανία.	38
Εικόνα 4: Χάρτης με τις κύριες παράλληλες ροές στην Κεντρική Ευρώπη	40
Εικόνα 5: Χάρτης με τις κύριες γραμμές συμφόρησης στο εσωτερικό της Γερμανίας	41
Εικόνα 6: Χάρτης των κόμβων του μοντέλου που δημιουργήθηκε από την Energynautics GmbH ..	51
Εικόνα 7: Παράδειγμα υπολογισμού μέγιστης μεταφορικής ικανότητας γραμμών μεταφοράς	55
Εικόνα 8: Σύγκριση αποτελεσμάτων ροών ενέργειας στο λεπτομερές δίκτυο με τις πραγματικές ροές με βάση τον Entso-e	60
Εικόνα 9: Κατανομή εγκατεστημένη ισχύος στις περιοχές της Γερμανίας το 2015	62
Εικόνα 10: Κατανομή εγκατεστημένη ισχύος στις περιοχές της Γερμανίας το 2030	62
Εικόνα 11:Σύγκριση εγκατεστημένης ισχύος της Γερμανίας για το 2015 και το 2030	63
Εικόνα 12: Κατανομή εγκατεστημένη ισχύος στις περιοχές της Τσεχίας το 2015	64
Εικόνα 13 Κατανομή εγκατεστημένη ισχύος στις περιοχές της Τσεχίας το 2030	64
Εικόνα 14: Κατανομή εγκατεστημένη ισχύος στις περιοχές της Πολωνίας το 2015	65
Εικόνα 15: Κατανομή εγκατεστημένη ισχύος στις περιοχές της Πολωνίας το 2030	65
Εικόνα 16: Κατανομή εγκατεστημένη ισχύος στις περιοχές της Αυστρίας το 2015.....	66
Εικόνα 17: Κατανομή εγκατεστημένη ισχύος στις περιοχές της Αυστρίας το 2030.....	66
Εικόνα 18: Κατανομή εγκατεστημένη ισχύος στις περιοχές της Γαλλίας το 2015	67
Εικόνα 19: Κατανομή εγκατεστημένη ισχύος στις περιοχές της Γαλλίας το 2030.....	67
Εικόνα 20: Κατανομή εγκατεστημένη ισχύος στις περιοχές της Ολλανδίας το 2015.....	68
Εικόνα 21: Κατανομή εγκατεστημένη ισχύος στις περιοχές της Ολλανδίας το 2030.....	68

Εικόνα 22: Κατανομή εγκατεστημένη ισχύος στις περιοχές του Βελγίου το 2015	69
Εικόνα 23: Κατανομή εγκατεστημένη ισχύος στις περιοχές του Βελγίου το 2030	69
Εικόνα 24: Κατανομή εγκατεστημένη ισχύος στις περιοχές της Ουγγαρίας το 2015.....	70
Εικόνα 25: Κατανομή εγκατεστημένη ισχύος στις περιοχές της Ουγγαρίας το 2030.....	70
Εικόνα 26: Κατανομή εγκατεστημένη ισχύος στις περιοχές της Σλοβακίας το 2015.....	71
Εικόνα 27: Κατανομή εγκατεστημένη ισχύος στις περιοχές της Σλοβακίας το 2030.....	71
Εικόνα 28: Διάγραμμα διασποράς παράλληλων ροών του loop flow και παραγωγής ενέργειας από αιολικά της περιοχής GE_Sachsen Thuringia.	76
Εικόνα 29: Διάγραμμα διασποράς των παράλληλων ροών του loop flow με την παραγωγή ενέργειας από αιολικά της περιοχής CZ_Praha.	76
Εικόνα 30: Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής περιοχών που διασχίζει το loop flow GE-CZ-GE.	77
Εικόνα 31: Διάγραμμα διασποράς των παράλληλων ροών του loop flow με την παραγωγή ενέργειας από αιολικά της περιοχής GE_Brandenburg_North1	79
Εικόνα 32:Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών που διασχίζει το loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.	80
Εικόνα 33: Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών που διασχίζει το loop flow GE-PD-SK-HU-AU.	82
Εικόνα 34: Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών που διασχίζει το loop flow FR-GE-SW-FR.	84
Εικόνα 36: Σύγκριση κόστους των loop flows για το 2015	89
Εικόνα 37: Διάγραμμα διασποράς των παράλληλων ροών του loop flow με την παραγωγή ενέργειας από αιολικά της περιοχής GE_SachsenThuringia.	92
Εικόνα 38: Διάγραμμα διασποράς των τιμών της παράλληλης ροής GE_SachsenThuringia-CZ_Praha με την παραγωγή ενέργειας από αιολικά της περιοχής CZ_Praha.	93
Εικόνα 39: Διάγραμμα διασποράς των παράλληλων ροών του loop flow με την παραγωγή ενέργειας από αιολικά της περιοχής GE_Brandenburg_North1.	95
Εικόνα 40: Διάγραμμα διασποράς των παράλληλων ροών του loop flow με την παραγωγή ενέργειας από αιολικά της περιοχής GE_Sachsen Thuringia.	115
Εικόνα 41: Διάγραμμα διασποράς των παράλληλων ροών του loop flow με την παραγωγή ενέργειας από αιολικά της περιοχής CZ_Praha.	115
Εικόνα 42: Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών που διασχίζει το loop flow GE-CZ-GE.	116
Εικόνα 43: Διάγραμμα διασποράς των παράλληλων ροών του loop flow με την παραγωγή ενέργειας από αιολικά της περιοχής GE_Brandenburg_North1.	119

Εικόνα 44: Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών που διασχίζει το loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.....	119
Εικόνα 45: Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών που διασχίζει το loop flow GE-PD-SK-HU-AU.....	122
Εικόνα 46: Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών που διασχίζει το loop flow FR-GE-SW-FR.....	124
Εικόνα 47: Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών που διασχίζει το loop flow GE-NL-BE-FR.....	126

Υπόμνημα πινάκων

Πίνακας 1: Παρουσίαση των loop flows Ανατολικά της Γερμανίας	39
Πίνακας 2: Παρουσίαση των loop flows Δυτικά της Γερμανίας	39
Πίνακας 3: Σύντομογραφία των ονομάτων των Ευρωπαϊκών χωρών που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του δικτύου.....	52
Πίνακας 4: Σύντομογραφία των ονομάτων των χωρών εκτός Ευρώπης που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του δικτύου.....	53
Πίνακας 5: Τυπικές τιμές των χαρακτηριστικών των γραμμών που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της μέγιστης μεταφορικής ικανότητας των ισοδύναμων γραμμών.....	54
Πίνακας 6: Γενική περιγραφή σεναρίων.....	73
Πίνακας 7: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-CZ-GE.....	74
Πίνακας 8: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-CZ-GE.....	74
Πίνακας 9: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-CZ-GE.	75
Πίνακας 10: Συσχέτιση παράλληλων ροών με τις παραμέτρους της αιολικής ενέργειας και της ζήτησης.....	76
Πίνακας 11: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-CZ-AU-GE.	77
Πίνακας 12: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.	78
Πίνακας 13: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE	78
Πίνακας 14: Συσχέτιση παράλληλων ροών με τις παραμέτρους της αιολικής ενέργειας και της ζήτησης.....	79
Πίνακας 15: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-SK-HU-AU.....	80
Πίνακας 16: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-SK-HU-AU.....	81

Πίνακας 17: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-SK-HU-AU.	81
Πίνακας 18: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών FR-GE-SW-FR.	82
Πίνακας 19: Ενέργεια και ισχύς παράλληλων ροών του loop flow FR-GE-SW-FR.	83
Πίνακας 20: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow FR-GE-SW-FR.	83
Πίνακας 21: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-NL-BE-FR.	84
Πίνακας 22: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-NL-BE-FR.	85
Πίνακας 23: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-NL-BE-FR.	85
Πίνακας 24: Φυσικές, προγραμματισμένες και μη προγραμματισμένες ροές Ευρωπαϊκών χωρών.	88
Πίνακας 25: Κόστος των μη προγραμματισμένων ροών Ευρωπαϊκών χωρών.	89
Πίνακας 26: Κόστος των loop flows για το 2015	89
Πίνακας 27: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-CZ-GE.	91
Πίνακας 28: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-CZ-GE.	91
Πίνακας 29: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-CZ-GE	91
Πίνακας 30: Συσχέτιση παράλληλων ροών με τις παραμέτρους του ανέμου και της ζήτησης.	92
Πίνακας 31: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-CZ-AU-GE.	93
Πίνακας 32: Ενέργεια και ισχύς παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.	94
Πίνακας 33: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.	94
Πίνακας 34: Συσχέτιση παράλληλων ροών με τις παραμέτρους της αιολικής ενέργειας και της ζήτησης.	95
Πίνακας 35: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-SK-HU-AU.	96
Πίνακας 36: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-SK-HU-AU.	97
Πίνακας 37: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών FR-GE-SW-FR.	97
Πίνακας 38: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow FR-GE-SW-FR.	98
Πίνακας 39: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow FR-GE-SW-FR.	98

Πίνακας 40:Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-NL-BE-FR.....	99
Πίνακας 41:Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών ενέργειας του loop flow GE-NL-BE-FR.	100
Πίνακας 42: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-NL-BE-FR.	100
Πίνακας 43: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-CZ-GE για κάθε σενάριο Relax.	101
Πίνακας 44: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-CZ-GE για κάθε σενάριο Relax.....	102
Πίνακας 45: Ποσοστό ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow GE-CZ-GE για κάθε σενάριο Relax.	103
Πίνακας 46: Ενέργεια και ισχύς της παράλληλης ροής GE-CZ κα των ροών ενέργειας στο εσωτερικό της Γερμανίας.	104
Πίνακας 47: Συχνότητα εμφάνισης loop flow GE-CZ-GE για κάθε σενάριο Relax.....	104
Πίνακας 48:Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-CZ-AU-GE για κάθε σενάριο Relax.	105
Πίνακας 49: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE για κάθε σενάριο Relax.	107
Πίνακας 50: Ποσοστό ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow GE-PD-CZ-AU-GE για κάθε σενάριο Relax.....	107
Πίνακας 51: Συχνότητα loop flow GE-PD-CZ-AU-GE για κάθε σενάριο Relax	108
Πίνακας 52: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-SK-HU-AU.....	108
Πίνακας 53: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-SK-HU-AU για κάθε σενάριο Relax.	110
Πίνακας 54: Ποσοστό ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow GE-PD-SK-HU-AU για κάθε σενάριο Relax.\	111
Πίνακας 55: Συχνότητα loop flow GE-PD-SK-HU-AU για κάθε σενάριο Relax.....	111
Πίνακας 56:Επενδύσεις Under Construction για το 2030.....	109
Πίνακας 57:Επενδύσεις design and permitting για το 2030.....	112
Πίνακας 58:Επενδύσεις Base Investments για το 2030.....	112
Πίνακας 59: DC επενδύσεις για το 2030	112
Πίνακας 60:Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-CZ-GE.....	113
Πίνακας 61:Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-CZ-GE.....	113

Πίνακας 62: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-CZ-GE.	113
Πίνακας 63:Συσχέτιση παράλληλων ροών με τις παραμέτρους της αιολικής ενέργειας και της ζήτησης	114
Πίνακας 64:Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-CZ-AU-GE	116
Πίνακας 65:Ενέργεια και ισχύς παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.	117
Πίνακας 66: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.	118
Πίνακας 67:Συσχέτιση παράλληλων ροών με τις παραμέτρους της αιολικής ενέργειας και της ζήτησης.....	118
Πίνακας 68:Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-SK-HU-AU.....	120
Πίνακας 69:Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών ενέργειας του loop flow GE-PD-SK-HU-AU.	120
Πίνακας 70: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-SK-HU-AU.	121
Πίνακας 71: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών FR-GE-SW-FR.	122
Πίνακας 72: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow FR-GE-SW-FR.	123
Πίνακας 73: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow FR-GE-SW-FR.	123
Πίνακας 74: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-NL-BE-FR.....	124
Πίνακας 75:Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-NL-BE-FR.....	125
Πίνακας 76: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-NL-BE-FR.	125
Πίνακας 77:Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-CZ-GE.....	126
Πίνακας 78:Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-CZ-GE.....	127
Πίνακας 79: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-CZ-GE.	127
Πίνακας 80: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-CZ-AU-GE.	128
Πίνακας 81: Ενέργεια και ισχύς παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE	128
Πίνακας 82: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.	129
Πίνακας 83:Φυσικές ροές ενέργειας στα σύνορα GE-PD-SK-HU-AU.	129
Πίνακας 84:Ενέργεια και ισχύς παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-SK-HU-AU.....	130

Πίνακας 85: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-SK-HU-AU.	130
Πίνακας 86: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών FR-GE-SW-FR.	131
Πίνακας 87: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow FR-GE-SW-FR.	131
Πίνακας 88: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow FR-GE-SW-FR.....	132
Πίνακας 89: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-NL-BE-FR.....	132
Πίνακας 90: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-NL-BE-FR.....	133
Πίνακας 91: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-NL-BE-FR	133
Πίνακας 92: DC γραμμές επένδυσης στο εσωτερικό της Γερμανίας έως το 2030.....	134
Πίνακας 93: Επενδύσεις στο εσωτερικό της Γερμανίας έως το 2030.....	134
Πίνακας 94: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-CZ-GE.....	134
Πίνακας 95: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-CZ-GE.....	135
Πίνακας 96: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-CZ-GE	135
Πίνακας 97: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-CZ-AU-GE	136
Πίνακας 98: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.	136
Πίνακας 99: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.	137
Πίνακας 100: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-SK-HU-AU	138
Πίνακας 101: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-SK-HU-AU	138
Πίνακας 102: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-SK-HU-AU.	138
Πίνακας 103: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών FR-GE-SW-FR	139
Πίνακας 104: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow FR-GE-SW-FR	140
Πίνακας 105: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow FR-GE-SW-FR... ..	140
Πίνακας 106: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-NL-BE-FR.....	140
Πίνακας 107: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-NL-BE-FR.....	141
Πίνακας 108: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-NL-BE-FR. ..	141

Πίνακας 109: Συχνότητες των loop flows για κάθε σενάριο	146
Πίνακας 110: Παρουσίαση παράλληλων ροών του loop flow $GE \rightarrow CZ \rightarrow GE$ για κάθε σενάριο. ...	147
Πίνακας 111: Παρουσίαση παράλληλων ροών του loop flow $GE \rightarrow PD \rightarrow CZ \rightarrow AU \rightarrow GE$ για κάθε σενάριο	147
Πίνακας 112: Παρουσίαση παράλληλων ροών του loop flow $GE \rightarrow PD \rightarrow SK \rightarrow HU \rightarrow AU$ για κάθε σενάριο	148
Πίνακας 113: Παρουσίαση παράλληλων ροών του loop flow $FR \rightarrow GE \rightarrow SW \rightarrow FR$ για κάθε σενάριο.	148
Πίνακας 114: Παρουσίαση παράλληλων ροών του loop flow $GE \rightarrow NL \rightarrow BE \rightarrow FR$ για κάθε σενάριο	149
Πίνακας 115: Αναλυτικά στοιχεία για όλους του κόμβους του δικτύου.....	154
Πίνακας 116: Τιμές NTC (MW) για τις διάφορες κατηγορίες σεναρίων.....	160
Πίνακας 117: Γραμμές που προστέθηκαν στο υπάρχον δίκτυο για να δημιουργηθεί το δίκτυο βάσης	165

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Η απελευθέρωση της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας και η αναδιάρθρωση της βιομηχανίας της, η οποία οφείλεται στην ανάγκη να προκληθεί ανταγωνισμός και αποδοτικότητα, οδήγησε στην ανάπτυξη πολλών μοντέλων αγοράς και έχει δημιουργήσει πολλές νέες προκλήσεις στην ερευνητική κοινότητα αναφορικά με την μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ κρατών . Παρουσιάστηκαν νέα προβλήματα και νέοι όροι που ήταν άγνωστοι μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '80, όπως η τιμολόγηση διασυνοριακών μεταφορών και η διαχείριση συμφορήσεων, που μέχρι τότε δεν απαιτούσαν ειδική επεξεργασία. Στην Ευρώπη, η μεγάλη αύξηση του αριθμού και του μεγέθους των διασυνοριακών μεταφορών στη δεκαετία του '90 έχει φέρει στο προσκήνιο τα προβλήματα της διαχείρισης των ενεργειακών συμφορήσεων. Η λύση που απαιτείται οφείλει πέρα από το να είναι αποτελεσματική για τις αγορές, να διατηρεί και την ασφάλεια του συστήματος.

Καθώς οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας σε ολόκληρο τον κόσμο ωριμάζουν, συνεχώς γίνονται διάφορες αλλαγές κανόνων για την αντιμετώπιση των τεχνικών και εμπορικών προκλήσεων. Όλοι αυτοί οι νέοι μηχανισμοί της αγοράς και οι τεχνικές διαδικασίες πρέπει να είναι συνεπείς κατά τις συνήθεις περιόδους εμπορίας και να διασφαλίζουν την ακεραιότητα του συστήματος. Ένα πετυχημένο σχέδιο αγοράς οφείλει να συνδυάζει φαινομενικά ανεξάρτητα θέματα, όπως εμπορικά κίνητρα, κανόνες αξιοπιστίας και αλληλεπιδράσεις του δικτύου. Η πιο σημαντική πρόκληση όμως είναι να εξασφαλίζει βραχυπρόθεσμα μια δίκαιη και αποδοτική αγορά αλλά και να μπορεί να μεταφέρει με σαφήνεια μηνύματα για μακροπρόθεσμες αποφάσεις επενδύσεων. Οι αγορές ηλεκτρικής ενέργειας παγκοσμίως εξελίσσονται επί του παρόντος προς την κατεύθυνση της εφαρμογής κάποιας μορφής τυποποιημένου σχεδιασμού της αγοράς, με στόχο την παροχή μεγαλύτερης ευελιξίας και αποτελεσματικότητας στην αγορά για την επίτευξη της απαλλαγής του φαινομένου της συμφόρησης. (Choo, Nair and Chakrabarti, 2007)

Η διαθεσιμότητα των διασυνοριακών ικανοτήτων μεταφοράς ενέργειας (NTC) είναι μια σημαντική συνιστώσα της αγοράς ενέργειας. Μεγιστοποίηση των εμπορεύσιμων ικανοτήτων συμβάλλει σε μια αποτελεσματικότερη λειτουργία των μονάδων παραγωγής. Ωστόσο, αναλύσεις έχουν δείξει ότι παρά τις επενδύσεις που γίνονται στο δίκτυο και τις βελτιώσεις στους υπολογισμούς των ικανοτήτων μεταφοράς, σε ορισμένα ευρωπαϊκά σύνορα ο όγκος των διασυνοριακών μεταφορών ενέργειας παραμένει περιορισμένος ενώ ένα μικρό μέρος των φυσικών ικανοτήτων προσφέρονται στην αγορά. Αυτό το χαμηλό ποσοστό διαθεσιμότητας μπορεί εν μέρει να εξηγηθεί από την απρόβλεπτη φύση των παράλληλων ροών. (Luickx *et al.*, 2011)

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που δημιουργείται από τη μεταφορά ενέργειας στο Ευρωπαϊκό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας είναι η ύπαρξη των παράλληλων ροών (φαινόμενο loop flow). Χωρίς εξωτερικές επιδράσεις το φυσικό

δυναμικό της διασύνδεσης θα μπορούσε να προσφέρεται στην αγορά. Στην πραγματικότητα όμως υπάρχουν εξωτερικά φαινόμενα που προκαλούν αποκλίσεις μεταξύ εμπορικών ροών (που ορίζονται από την αγορά) και φυσικών ροών (οι πραγματικές ροές στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας). Οι αποκλίσεις αυτές δημιουργούν το φαινόμενο των loop flows, δηλαδή ανεπιθύμητων ροών μέσω μιας συμβατικής, παράλληλης διαδρομής.

Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται με την εκμετάλλευση διαφόρων πρωτογενών πηγών ενέργειας και παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις από χώρα σε χώρα, ανάλογα με τους διαθέσιμους εγχώριους ενεργειακούς πόρους, την ενεργειακή πολιτική της χώρας, τις γεωλογικές, γεωφυσικές και κλιματολογικές ιδιαιτερότητες αυτής. Οι πηγές παραγωγής ενέργειας διακρίνονται στις συμβατικές που βασίζονται σε ορυκτά στερεά, υγρά ή αέρια καύσιμα, όπως το πετρέλαιο, ο άνθρακας, το φυσικό αέριο, στην πυρηνική ενέργεια και στις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) που χρησιμοποιούν ανεξάντλητες πηγές (άνεμος, ήλιος, νερό κλπ) και δεν καταναλώνουν τα περιορισμένα ενεργειακά ορυκτά αποθέματα, οι οποίες χάρη στη βελτιωμένη τεχνολογία τους και σε συνδυασμό με τις μηδαμινές επιπτώσεις τους στο περιβάλλον, προσφέρουν «καθαρές» λύσεις στον τομέα της ηλεκτροπαραγωγής.

Οι ενεργειακοί στόχοι της Ευρώπης αναμένεται να οδηγήσουν σε μια αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας μέχρι το 2020 και πολύ περισσότερο ως το 2050. Ένα από τα σημαντικότερα εμπόδια για την ενσωμάτωση μεγάλης ποσότητας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην Ευρώπη είναι τα προβλήματα συμφόρησης στο δίκτυο και η ανεπάρκεια μεταφορικής ικανότητας. Μεταξύ αυτών, το φαινόμενο των παράλληλων ροών, το οποίο είναι το αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας, αποτελεί μία από τις κύριες προκλήσεις του δικτύου που συνδέονται με τη μετάβαση σε ένα ολοκληρωμένο, χωρίς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ευρωπαϊκό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής. Το φαινόμενο αυτό χρήζει ιδιαίτερης προσοχής και μελέτης καθώς φαίνεται να εξαρτάται πολύ από την διείσδυση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, κυρίως αιολικής λόγω της μεταβλητής και απρόβλεπτης φύσης της.

Η πλειοψηφία των ήδη υπάρχοντων υποδομών ενέργειας στην Ευρώπη έχουν κατασκευαστεί παλαιότερα με βάση τις ενεργειακές πολιτικές της κάθε χώρας ξεχωριστά και όχι την Ευρωπαϊκή Ένωση σαν σύνολο. Οι αλλαγές στον τομέα της ενέργειας τα τελευταία χρόνια καθιστούν επιτακτική ανάγκη το εθνικό συμφέρον να συνδυαστεί με το Ευρωπαϊκό για να επιτευχθούν οι στόχοι που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση. Αναγκαίες για το σκοπό αυτό είναι οι επενδύσεις στο δίκτυο, ώστε να ενσωματωθεί η μελλοντική αυξημένη ισχύς από τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

1.2 Στόχος διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά μία από τις προκλήσεις που συνδέονται με τη μετάβαση σε ένα ολοκληρωμένο, χωρίς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ευρωπαϊκό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής, τις παράλληλες ροές (loop flows). Ορίζουμε τα προβλήματα που σχετίζονται με τις παράλληλες ροές και τις επιπτώσεις τους στην

αγοράς ενέργειας της Ευρώπης. Σε πρώτο στάδιο, στόχος της εργασίας ήταν η δημιουργία ενός λεπτομερούς μοντέλου αποτύπωσης του Ευρωπαϊκού συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο θα αποτελέσει το εργαλείο μας για την μελέτη των παράλληλων ροών. Η μελέτη αυτή εστιάζει στα loop flows που παρατηρούνται στην Κεντρική Ευρώπη και συγκεκριμένα στην Γερμανία και στις γύρω χώρες, ενώ πραγματοποιείται για το παρόν (σύστημα 2015) αλλά και για το μέλλον (σύστημα 2030). Έχοντας ως κύριο αντικείμενο μελέτης τη συμπεριφορά των παράλληλων ροών σε διαφορετικές συνθήκες χρησιμοποιήσαμε σενάρια τα οποία διαφοροποιούνται ως προς το έτος και άρα την εγκατεστημένη ισχύ από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας, τις επενδύσεις και την καθαρή μεταφορική ικανότητα (NTC). Μέσα από τα αποτελέσματα των σεναρίων παρατηρούμε αναλυτικά την συμπεριφορά των παράλληλων ροών και εξάγουμε συμπεράσματα για τη συσχέτιση τους με διάφορες παραμέτρους του συστήματος.

1.3 Δομή διπλωματικής εργασίας

Στο Κεφάλαιο 2 ορίζεται η έννοια των loop flows και αναφέρονται οι παράγοντες που συμβάλουν στη δημιουργία τους, οι επιπτώσεις τους στην αγορά καθώς και προτεινόμενοι τρόποι αντιμετώπισης του φαινομένου. Γίνεται μια ειδική αναφορά στη συσχέτιση της αιολικής ενέργειας με τις παράλληλες ροές και παρουσιάζονται τα κύρια loop flows που εμφανίζονται στην κεντρική Ευρώπη και τα οποία μελετάμε στην παρούσα εργασία.

Στο Κεφάλαιο 3 περιγράφεται συνοπτικά το ενεργειακό μοντέλο PRIMES που χρησιμοποιήσαμε για την πραγματοποίηση των προσομοιώσεων και οι τροποποιήσεις που έγιναν στις εξισώσεις για την υλοποίηση του λεπτομερούς μας δικτύου.

Στο Κεφάλαιο 4 περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία για τη δημιουργία του λεπτομερούς μοντέλου αποτύπωσης του Ευρωπαϊκού συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και η μεθοδολογία που ακολουθήσαμε για την κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στους διαθέσιμους κόμβους του δικτύου. Τέλος γίνεται μια επαλήθευση του μοντέλου για να βεβαιωθούμε ότι ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα.

Στο Κεφάλαιο 5 ορίζεται το σενάριο εξέλιξης του ενεργειακού συστήματος «decarb» που χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση και γίνεται μια παρουσίαση για το πώς κατανέμεται η εγκατεστημένη ισχύς στις χώρες της Κεντρικής Ευρώπης τις οποίες διασχίζουν τα loop flows που μελετάμε. Η παρουσίαση γίνεται για τα έτη 2015 και 2030.

Στο Κεφάλαιο 6 περιγράφονται τα διάφορα σενάρια που έχουμε επιλέξει να μελετήσουμε ως προς τις παράλληλες ροές και γίνεται πλήρης ανάλυση των αποτελεσμάτων τους.

Στο Κεφάλαιο 7 γίνεται μια σύνοψη των συμπερασμάτων που προέκυψαν και προτείνονται ορισμένες επεκτάσεις της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

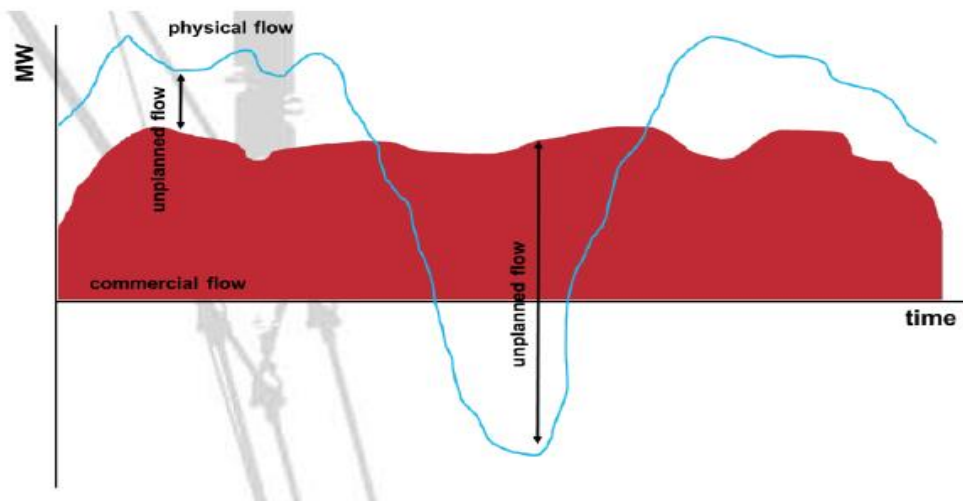
Κεφάλαιο 2. Φαινόμενο των παράλληλων ροών - loop flows

2.1 Περιγραφή του φαινομένου loop flow

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που δημιουργείται από τη μεταφορά ενέργειας στο Ευρωπαϊκό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και γενικότερα σε ένα δίκτυο μεταφοράς κλειστού βρόχου που διασυνδέεται με άλλα συστήματα, είναι η ύπαρξη των ροών βρόχου ή παράλληλων ροών (φαινόμενο loop flow). Οι λύσεις της αγοράς στην αγορά ηλεκτρικής ενέργειας καθορίζουν τις προγραμματισμένες ροές της αγοράς καθώς και τις τιμές ηλεκτρικής ενέργειας, συνδυάζοντας τη ζήτηση και τις προσφορές που υποβάλλουν οι συμμετέχοντες στην αγορά στις ζώνες υποβολής προσφορών. Αυτές οι ζώνες υποβολής προσφορών καθορίζονται συχνά από τα εθνικά σύνορα.

Ως προς το κομμάτι της αγοράς αυτό που μας ενδιαφέρει είναι η συνολική ικανότητα μεταφοράς μιας διασύνδεσης, η οποία ισούται με το άθροισμα της δυναμικότητας των επιμέρους γραμμών. Χωρίς εξωτερικές επιδράσεις το φυσικό δυναμικό της διασύνδεσης θα μπορούσε να προσφέρεται στην αγορά. Στην πραγματικότητα όμως υπάρχουν εξωτερικά φαινόμενα που προκαλούν αποκλίσεις μεταξύ εμπορικών ροών (που ορίζονται από την αγορά) και φυσικών ροών (οι πραγματικές ροές στο δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας). Αυτό συμβαίνει επειδή στο δίκτυο οι ροές κατανομονται με βάση το νόμο του Kirchhoff, σύμφωνα με τις διαδρομές ελάχιστης αντίστασης μεταξύ δυο περιοχών, ενώ η ενέργεια που ρέει μεταξύ μιας γεννήτριας και ενός καταναλωτή κινείται μέσω όλων των γραμμών που συνδέουν τους δύο και όχι μόνο κατά μήκος της συντομότερης απόστασης. Αν η διαδρομή είναι κορεσμένη θα χρειαστεί μια παράκαμψη μεταξύ άλλων τμημάτων του δικτύου. Οι διαχειριστές του δικτύου οφείλουν να σταθμίσουν την ενέργεια που προσφέρεται στο σύστημα με την ενέργεια που χρησιμοποιούν οι καταναλωτές, έτσι ώστε οι μεμονωμένες γραμμές να μην υπερφορτώνονται.

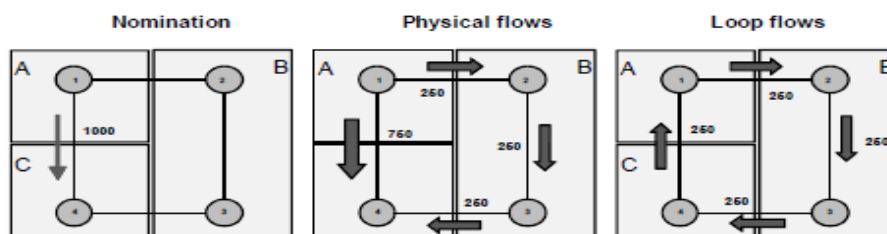
Οι αποκλίσεις μεταξύ προγραμματισμένων ροών και φυσικών ροών ορίζονται ως μη προγραμματισμένες ροές. Οι παράλληλες ροές (loop flows) είναι μη προγραμματισμένες ροές που συμβαίνουν σε περιοχές που δεν αποτελούν μέρος της συναλλαγής. Ορίζουμε λοιπόν τα loop flows ως μη προγραμματισμένες ροές που προέρχονται από προγραμματισμένες ροές εντός μιας γειτονικής ζώνης υποβολής προσφορών ή περιοχής ελέγχου. (THEMA Consulting Group, 2013)



Εικόνα 1: Ορισμός μη προγραμματισμένης ροής (unplanned flow)
 Πηγή:(CEPS, 2013)

Στη συνέχεια γίνεται ένας διαχωρισμός των ροών στις οποίες θα αναφερόμαστε στην παρούσα εργασία.

- Προγραμματισμένες ροές (scheduled market flows): Οι εμπορικές συναλλαγές σύμφωνα με τη λύση της αγοράς καθορίζουν τις ροές που θα προγραμματιστούν από την αγορά, δηλαδή μεταξύ καταναλωτών και προμηθευτών. Οι ροές αυτές περιγράφουν τις εισαγωγές-εξαγωγές μεταξύ και εντός των καθορισμένων περιοχών του συστήματος.
- Φυσικές ροές: Οι φυσικές ροές είναι οι πραγματικές μετρούμενες ροές στο φυσικό δίκτυο όπως προκύπτουν από το μοντέλο του δικτύου μας.
- Μη προγραμματισμένες ροές (unscheduled flows): Οι ροές αυτές είναι η απόκλιση των προγραμματισμένων ροών από τις φυσικές και δημιουργούν το φαινόμενο των loop flow.
- Loop flows: Τα loop flows είναι οι μη προγραμματισμένες ροές που συμβαίνουν σε περιοχές εξωτερικού ελέγχου που προκαλούνται από την προέλευση και τον προορισμό μιας προγραμματισμένης ροής εντός μιας περιοχής ελέγχου.



Εικόνα 2: Γραφική αναπαράσταση εμπορικών ροών(προγραμματισμένων), φυσικών ροών και ροών βρόγχου (loop flows).

Πηγή : (Luickx et al., 2011)

2.1.1 Το πρόβλημα των loop flows στο πλαίσιο της αγοράς

Σε οικονομικούς όρους τα loop flows είναι εξωτερικές επιδράσεις που αντιμετωπίζουν οι περιοχές υποδοχής. Ως έκτακτες ροές προκαλούν εξωτερικά κόστη στην περιοχή που καταλήγουν, όταν το δίκτυο δεν είναι σε θέση να φιλοξενήσει τη ροή. Υπάρχουν δύο τύποι εξωτερικού κόστους:

- Οι δαπάνες που σχετίζονται με την ασφάλεια των υπηρεσιών τροφοδοσίας και το σύστημα της χώρας υποδοχής.
- Οι δαπάνες που απορρέουν από τη μειωμένη ικανότητα για εμπόριο αγοράς στο εσωτερικό της χώρας υποδοχής ή μεταξύ της χώρας υποδοχής και άλλων περιοχών.

Οι εξωτερικές αυτές επιδράσεις δημιουργούν κίνητρα για εφαρμογή μέτρων που θα μειώσουν τις απρογραμμάτιστες ροές στις περιοχές υποδοχής, ενώ οι περιοχές από όπου οι ροές προέρχονται δεν έχουν επαρκή κίνητρα για να ανακουφίσουν τα προβλήματα καθώς δεν επηρεάζονται αρνητικά.

Για να κατανοήσει κάποιος καλύτερα το πρόβλημα των loop flows θα πρέπει να καταλάβει πως λειτουργεί η αγορά ηλεκτρικής ενέργειας και τη σχέση μεταξύ των λύσεων της αγοράς και των πραγματικών φυσικών χαρακτηριστικών του συστήματος. Για το λόγο αυτό θα επισημάνουμε κάποιες πτυχές της ηλεκτρικής ενέργειας ως εμπορικό αγαθό.

- Δεν υπάρχει άμεση σύνδεση αγοραστή-πωλητή. Η λύση της αγοράς ορίζει την κατανομή της παραγωγής και της κατανάλωσης, βασικά χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η διαμόρφωση του δικτύου σε μια περιοχή της αγοράς.
- Η μετάδοση της ενέργειας γίνεται σύμφωνα με τους νόμους της φυσικής. Η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται από τους παραγωγούς στους καταναλωτές μέσω του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας. Οι ροές κατανέμονται σύμφωνα με το δεύτερο νόμο του Kirchhoff και ακολουθούν το μονοπάτι της μικρότερης αντίστασης. Ως εκ τούτου οι φυσικές ροές δεν συνάδουν με το χρονοδιάγραμμα της αγοράς.
- Οργάνωση δικτύου και κατανομή κόστους. Η κατανομή του κόστους στο δίκτυο γίνεται σύμφωνα με τα εθνικά σύνορα και τις καθορισμένες περιοχές ελέγχου των TSOs, ενώ ο νόμος του Kirchhoff δεν υπακούει σε τέτοιους ορισμούς. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι εμπορικές συναλλαγές να επηρεάζουν τις ροές σε διάφορες περιοχές ελέγχου δημιουργώντας εξωτερικές επιδράσεις.

Σημαντικές αποκλίσεις μπορεί να μειώσουν την ασφάλεια του συστήματος και να προσθέσουν το κόστος λειτουργίας του συστήματος σε άλλες περιοχές ελέγχου. Επιπλέον, διαστρεβλώνουν τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την τιμολόγηση, κάτι που αποτελεί προϋπόθεση για την αποτελεσματικότητα της αγοράς σε όλες τις αγορές.

2.1.2 Παράγοντες που συμβάλλουν στη δημιουργία του φαινομένου

Το πρόβλημα των ροών βρόγχου εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την τοπολογία του δικτύου. Ωστόσο, αν και αποτελούν τη βασική πρόκληση για ένα αποτελεσματικό δίκτυο, είναι φυσιολογικό αποτέλεσμα των φυσικών νόμων αφού οι εμπορικές συναλλαγές οδηγούν στη μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας σε διαφορετική πορεία από την άμεση γεωγραφική. Επίσης η σύνθετη αντίσταση των γραμμών, η οποία καθορίζει το πόσο εύκολα περνάει η ενέργεια από τη γραμμή, επηρεάζει την ύπαρξη των loop flows.

Έχουμε εντοπίσει κάποιους βασικούς παράγοντες που συμβάλλουν στην κλιμάκωση των παράλληλων ροών:

- **Ανεπαρκείς ενδείξεις τιμών :** Οι τιμές της αγοράς δεν αντικατοπτρίζουν σωστά το φυσικό δίκτυο και δεν λαμβάνουν πλήρως υπόψη τις εσωτερικές συμφορήσεις. Το πρόβλημα λοιπόν των μη προγραμματισμένων ροών, αποτελεί προτεραιότητα στην τρέχουσα λύση της αγοράς, καθώς οι δυνατότητες μεταφοράς που γίνονται διαθέσιμες στην αγορά (τιμές ATC) μειώνονται εκ των προτέρων για να μπορούν να φιλοξενήσουν τις αναμενόμενες παράλληλες ροές.
- **Οι αυξημένες ενεργειακές ανισοροπίες:** Η μετάβαση σε ένα ενεργειακό σύστημα χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα συνεπάγεται την αναδιάταξη του εφοδιασμού και των φορτίων στο ενεργειακό σύστημα και ως εκ τούτου στο δίκτυο μεταφοράς. Η μετάβαση στην ενέργεια δημιουργεί συχνότερες και μεγαλύτερες αποκλίσεις των φυσικών ροών από προγραμματισμένες ροές. Η παραγωγή θερμότητας αντικαθίσταται από γενεσιουργούς ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Ταυτόχρονα, η δομή του δικτύου αναπτύχθηκε για να εξυπηρετήσει πιο ισορροπημένη εθνική παραγωγή και φορτίο. Η αναμόρφωση του ευρωπαϊκού ηλεκτρικού δικτύου με τα μελλοντικά πρότυπα παραγωγής και φόρτωσης είναι μια μακροπρόθεσμη διαδικασία.
- **Αυξημένη παραγωγή ενέργειας από Ανανεώσιμες πηγές:** Το ποσό της ενέργειας από ανανεώσιμες πηγές που παράγεται σε μια χώρα δεν είναι προγραμματισμένη, αλλά κυμαίνεται ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες. Μια καταιγίδα μπορεί να σημαίνει μια τεράστια και ξαφνική παροχή ενέργειας από αιολικά πάρκα. Καθώς λοιπόν δεν είναι δυνατόν όλη η ηλεκτρική ενέργεια να καταναλωθεί σε περιφερειακό επίπεδο ,το δίκτυο τη διαμοιράζει σε γειτονικές περιοχές.

2.1.3 Συνέπειες του φαινομένου

Όταν αναφερόμαστε στο πρόβλημα των loop flows εννοούμε την κατάσταση όπου μη προγραμματισμένες ροές δημιουργούν συμφορήσεις, αυξάνουν τις δαπάνες του συστήματος και θέτουν σε κίνδυνο την ασφάλεια του συστήματος στην περιοχή υποδοχής. Αποτελούν δηλαδή αρνητικές εξωτερικές επιδράσεις σε μια εμπορική συναλλαγή. Οι πιθανές αρνητικές επιπτώσεις που προκύπτουν από την ύπαρξη τους είναι:

- Μειωμένη αποτελεσματικότητα της αγοράς: Το δίκτυο και η παραγωγή δεν αποζημιώνονται αποτελεσματικά για το τι μεταφέρουν, και οι καταναλωτές δεν εκτίθενται στο πραγματικό κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν. Επιπλέον, εάν οι ροές βρόγχου κυριαρχούν στο σύστημα, οι υπολογιζόμενες χωρητικότητες μπορεί να έχουν μικρή συνάφεια. Έτσι, οι πόροι που χρησιμοποιούνται στο σύστημα ισχύος μπορεί να μην αξιοποιούνται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο.
- Μειωμένη ασφάλεια εφοδιασμού: Η αγορά δεν είναι πάντα σε θέση να αντιστοιχεί τις ανάγκες του φυσικού συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας με την κατάλληλη τιμή του προϊόντος για τους παραγωγούς, τους καταναλωτές και τους ιδιοκτήτες δικτύου. Μερικές φορές δεν υπάρχουν επαρκή διορθωτικά μέτρα και δεν είναι δυνατή η αποκατάσταση της λειτουργίας του συστήματος σύμφωνα με τα κατάλληλα κριτήρια ασφαλείας. Οι αποτυχίες θα μπορούσαν συνεπώς να οδηγήσουν σε σφάλματα.
- Δυσμενείς επιπτώσεις διανομής: Οι περιοχές οι οποίες φιλοξενούν τις φυσικές ροές του συστήματος αντιμετωπίζουν και τις αντίστοιχες δαπάνες, ενώ οι περιοχές που χρησιμοποιούν άλλες ζώνες προσφοράς για να υλοποιήσουν τις προγραμματισμένες ροές τους μειώνουν το κόστος τους δημιουργώντας έτσι μια ανισόρροπη κατάσταση στο σύστημα. Μειώνοντας τις τιμές της διαθέσιμης δυναμικής μεταφοράς, μειώνονται και τα έσοδα διασύνδεσης, και επιπλέον οι μη προγραμματισμένες ροές οι οποίες παραβιάζουν τα κριτήρια ασφαλείας του συστήματος απαιτούν δαπανηρά διορθωτικά μέτρα στις περιοχές υποδοχής τους.

Υπάρχουν ωστόσο και περιπτώσεις που οι παράλληλες ροές δεν δημιουργούν πρόβλημα και επιπλέον κόστη στις περιοχές υποδοχής. Είναι δυνατό οι ροές βρόγχου να εξουδετερώσουν τις προγραμματισμένες ροές και να οδηγήσουν σε μείωση του κόστους στην περιοχή. Η έρευνα μας όμως εστιάζει στις περιπτώσεις που οι παράλληλες ροές επιφέρουν δυσμενείς επιπτώσεις στο σύστημα.

2.1.4 Μέτρα αντιμετώπισης των loop flows

Υπάρχει μια ποικιλία πιθανών μέτρων που μπορούν να εφαρμοστούν για τον περιορισμό των προβλημάτων που δημιουργούνται από τις παράλληλες ροές, στοχεύοντας όμως όλα στην αντιμετώπιση του ίδιου βασικού προβλήματος: τη διασφάλιση ότι το δίκτυο είναι σε θέση να χειριστεί αποτελεσματικά τις φυσικές ροές που δημιουργεί η λύση της αγοράς. Ένα μέτρο είναι αποτελεσματικό αν χειρίζεται το πρόβλημα με οικονομικά αποδοτικό τρόπο, δηλαδή επιφέρει το μικρότερο δυνατό κόστος και προωθεί και συμπεράσματα για μακροχρόνιες επενδύσεις.

Τα μέτρα αυτά μπορούν να ταξινομηθούν ανάλογα με το χρονικό πλαίσιο στο οποίο εφαρμόζονται (βραχυπρόθεσμα, μεσοπρόθεσμα ή μακροπρόθεσμα) και αν είναι μονομερή ή πολυμερή. Τα αποτελέσματα από την ποιοτική ανάλυση των επιπτώσεων της αγοράς αποκαλύπτουν:

- Μέτρα τοπολογίας και εγκατάσταση μετασχηματιστών μετατόπισης φάσης (PST) επηρεάζουν απευθείας τις φυσικές ροές στο δίκτυο. Τέτοια είδους μέτρα μπορούν να ανακουφίσουν ως ένα βαθμό το πρόβλημα, αλλά η

εμβέλεια τους είναι περιορισμένη. Καθώς οι φυσικές ροές εκτρέπονται και τα μέτρα δεν είναι ευρέως συντονισμένα μπορεί να δημιουργήσουν πρόβλημα σε άλλα σημεία του δικτύου.

- Τυχόν αναδιανομή μπορεί να είναι πολύ δαπανηρή για τη χώρα υποδοχής και δεν αποτελεί και τη βέλτιστη λύση από τη σκοπιά του συστήματος. Συμφωνίες μεταξύ των φορέων του ευρωπαϊκού συστήματος μεταφοράς (TSOs) οδηγούν σε μεταβολή της παραγωγής και των φορτίων σε διάφορες ζώνες προσφοράς . Με τον τρόπο αυτό τα κόστη είναι ευρύτερα κατανεμημένα αλλά η βέλτιστη λύση είναι απίθανο να υλοποιηθεί. Επίσης δεν μπορούν να εξαχθούν μακροπρόθεσμα συμπεράσματα από την τιμολόγηση.
- Μονομερής μείωση των τιμών για τη διαθέσιμη ικανότητα μεταφοράς (ATC) στις διασυνδέσεις μπορεί να μειώσει το κόστος του συστήματος στη χώρα υποδοχής αλλά να μειώσει την αποδοτικότητα της αγοράς.
- Οριοθέτηση της ζώνης υποβολής προσφορών θα μπορούσε να μετριάσει το πρόβλημα εκθέτοντας την αγορά σε πιο αποτελεσματικά σήματα τιμών. Προκειμένου να είναι αποτελεσματική η οριοθέτηση θα πρέπει να θεωρηθεί από μια ευρύτερη αγορά και με συντονισμένες τις τιμές των ATC. Ωστόσο κάτι τέτοιο θα επηρεάσει κυρίως τις προγραμματισμένες ροές και θα εξακολουθεί να θέτει ως μείζον πρόβλημα το φαινόμενο των loop flows. Αν η οριοθέτηση αυτή γίνεται μόνο ανάλογα με το που λαμβάνει χώρα η συμφόρηση δεν θα είναι επαρκής. Ο πιο αποτελεσματικός τρόπος μείωσης της συμφόρησης στην περιοχή υποδοχής είναι η μείωση των προγραμματισμένων ροών σε μια μη κορεσμένη σύνδεση.
- Επέκταση του δικτύου που επικεντρώνεται στις συνδέσεις όπου παρατηρείται συμφόρηση, δε θα μειώσει αναγκαστικά την ύπαρξη βρόχων. Η ανάπτυξη του δικτύου πρέπει να συντονιστεί σε ολοκληρωμένες περιοχές ελέγχου και λαμβάνοντας υπόψη την εξάρτηση των ροών σε διαφορετικές συνδέσεις του δικτύου. Ένα μακροπρόθεσμο μέτρο είναι να γίνουν επενδύσεις σε συστήματα που περιορίζουν/αφαιρούν τα σημεία συμφόρησης. Προκειμένου να διασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα, οι επενδύσεις αυτές θα πρέπει να συντονίζονται σε περιφερειακό ή και ευρωπαϊκό επίπεδο
- Ένα επιπλέον μέτρο θα ήταν να τεθεί ως βασική προτεραιότητα η αξιοποίηση της ενέργειας από τις ανανεώσιμες πηγές. Εκθέτοντας την παραγωγή των ανανεώσιμων πηγών στην αγορά και στα κράτη, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος εξισορρόπησης της διαλείπουσας παραγωγής, θα δημιουργούσε πιο αποτελεσματικό ανταγωνισμό αλλά και καλύτερη χρησιμοποίηση των πηγών στο ενεργειακό σύστημα.

Η αποτελεσματικότητα των μέτρων αυτών προϋποθέτει την ενεργοποίηση των μέτρων χαμηλότερου κόστους στη βραχυχρόνια περίοδο, ενώ πρέπει παράλληλα να παρέχει κατάλληλα συμπεράσματα από την τιμολόγηση για την παραγωγή, το φορτίο και το δίκτυο προκειμένου να υλοποιηθούν οι βέλτιστες μακροπρόθεσμες λύσεις. Για να χαρακτηριστεί ένα μέτρο ως αποτελεσματικό θα πρέπει να θέτει ως προτεραιότητα την αντιμετώπιση της πρόκλησης των βρόχων ροής στο ηλεκτρικό δίκτυο.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον θεωρείται ότι πρέπει να δοθεί στα ακόλουθα μέτρα τα οποία αφορούν τη Γερμανία στην οποία εστιάζουμε στην παρούσα εργασία.

- Ο διαχωρισμός της ζώνης αγοράς Αυστρίας-Γερμανίας. Στην έκθεση που δημοσιεύτηκε στο (ACER, 2015) συνέστησε τον περιορισμό της ποσότητας ενέργειας που ανταλλάσσεται μεταξύ της Αυστρίας και της Γερμανίας με την ικανότητα των συνδέσεων μεταξύ των δυο χωρών. Αυτό θα σήμαινε ουσιαστικά το τέλος της κοινής αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας μεταξύ των δυο χωρών. Η γερμανική ρυθμιστική αρχή του δικτύου εργάζεται ήδη σε αυτό το σενάριο ώστε να συμβεί στα επόμενα χρόνια, αλλά η Αυστρία-η οποία θα χάσει τη φθηνή ανανεώσιμη ενέργεια από τη Γερμανία αντιτίθεται σθεναρά στο σχέδιο.
- Ο διαχωρισμός του γερμανικού δικτύου. Ένας εναλλακτικός τρόπος για την πρόληψη της πολύ μεγάλης αιολικής ενέργειας που ρέει από το βόρειο τμήμα της Γερμανίας νότια, θα είναι να χωριστεί το γερμανικό δίκτυο στα δύο. Αυτό θα διευκολύνει όχι μόνο τις συμφορήσεις στις συνδέσεις αλλά θα βοηθήσει να αντέξει τους αυστηρούς περιορισμούς δυναμικότητας των συνδέσεων στο Βόρειο-Νότιο κομμάτι της Γερμανίας.
- Ένα σημαντικό μέρος της λύσης πρέπει να είναι η ανάπτυξη του δικτύου τόσο στη Γερμανία όσο και στην Πολωνία. Μεγαλύτερη ικανότητα μεταφοράς είναι απαραίτητη για να διευκολύνει την πίεση στο εσωτερικό δίκτυο της Γερμανίας και να επιτρέπει περισσότερη ανταλλαγή ενέργειας σε διεθνές επίπεδο. Κάτι τέτοιο όμως απαιτεί χρόνο ενώ η Νότια Γερμανία αντιτίθεται στην κατασκευή γραμμών ηλεκτρικής ενέργειας κοντά σε κατοικημένες περιοχές.
- Συντονισμένη ανάπτυξη του δικτύου. Ένα μακροπρόθεσμο σχέδιο είναι να γίνουν επενδύσεις στο ενεργειακό σύστημα με στόχο να περιορίσουν ή να μετατοπίσουν τα σημεία συμφόρησης. Για να μπορέσει να εξασφαλιστεί η αποτελεσματικότητα, οι εξελίξεις αυτές στο δίκτυο πρέπει να είναι συντονισμένες σε Ευρωπαϊκό επίπεδο. (THEMA Consulting Group, 2013)

2.1.5 Σημαντικοί τομείς ανάπτυξης για τα loop flows

Το ευρωπαϊκό σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας και οι αγορές είναι στη μέση μας βαθιάς μετάβασης. Τα ηλεκτρικά συστήματα στην Ευρώπη έχουν λειτουργήσει και αναπτυχθεί ως ολοκληρωμένα εθνικά συστήματα. Η κατανάλωση, η παραγωγή και το δίκτυο έχουν αναπτυχθεί παράλληλα και με ένα ισορροπημένο τρόπο ώστε να μπορούν να φιλοξενήσουν μια σταθερή αύξηση της κατανάλωσης. Οι διασυνδέσεις και οι ανταλλαγές ενέργειας μεταξύ των περιοχών ελέγχου είναι γενικά περιορισμένες. Ως εκ τούτου η διαμόρφωση των εθνικών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας αντανακλά διαφορές των εθνικών ενεργειακών πόρων, των δομών της βιομηχανίας, των μοτίβων των οικισμών κλπ. Η κατάσταση αυτή τείνει να αλλάξει σημαντικά.

Η τρέχουσα συζήτηση σχετικά με τις ροές βρόχου μπορεί να θεωρηθεί ως σύμπτωμα της μετάβασης του συστήματος ηλεκτρικής ενέργειας σε μια οικονομία χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και την ενσωμάτωση των εθνικών και

περιφερειακών αγορών σε μια εσωτερική ευρωπαϊκή αγορά. Παρακάτω έχουμε εντοπίσει κάποιους τομείς της ανάπτυξης που είναι σημαντικοί για τις ροές βρόχου.

- **Ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) :** Ο ευρωπαϊκός ενεργειακός εφοδιασμός πλέον κινείται προς ένα σύστημα χαμηλών εκπομπών και η διαμόρφωση της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας αλλάζει βαθύτατα. Η παραγωγή πλέον πρέπει να βρίσκεται εκεί όπου είναι διαθέσιμες οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας οι οποίες εξαρτώνται κυρίως από τις καιρικές συνθήκες και βασίζονται σε ένα μοτίβο διαλείπουσας ηλεκτροπαραγωγής. Επιπλέον οι ανανεώσιμες πηγές ποικίλουν ανάλογα με τη γεωγραφική θέση, αυξάνοντας τη ζήτηση για διασυνοριακές συναλλαγές σε διάφορα χρονικά πλαίσια της αγοράς.
- **Συντονισμός πολιτικών ως προς τις ανανεώσιμες πηγές ενέργειας:** Οι επενδύσεις στον τομέα των ΑΠΕ καθορίζονται κυρίως από εθνικά και πολιτικά συστήματα στήριξης. Οι πολιτικές και τα συστήματα στήριξης έχουν μεταβληθεί σημαντικά με την πάροδο του χρόνου και μεταξύ των κρατών μελών δημιουργώντας διαφορετικά κίνητρα για επενδύσεις σε διάφορες χώρες και σε διαφορετικούς χρόνους. Στο μέλλον αναμένουμε ότι οι πολιτικές αυτές θα είναι πιο συντονισμένες.
- **Η ολοκλήρωση της αγοράς:** Η ολοκλήρωση της αγοράς και οι βελτιωμένες λύσεις της στις περιφέρειες αλλά και σε ευρωπαϊκό επίπεδο έχουν οδηγήσει σε αύξηση της αποδοτικότητας. Το γεγονός αυτό διευκολύνει την αξιοποίηση των πόρων σε όλο το σύστημα τροφοδοσίας και δημιουργεί ένα αποτελεσματικότερο σύστημα.
- **Ανάπτυξη του δικτύου:** Η υπάρχουσα διαμόρφωση του δικτύου δεν ταιριάζει με τις ραγδαίες αλλαγές στην κατανομή και τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού εφοδιασμού. Το κάθε σύστημα έχει χρησιμοποιηθεί και αναπτυχθεί από εθνική σκοπιά. Έτσι η ευρωπαϊκή δομή του δικτύου αντανακλά την εθνική βάση από την οποία έχει αναπτυχθεί, πράγμα που σημαίνει ότι η δομή αυτή είναι ασθενέστερη. Η ενδο-ευρωπαϊκή αυτή προοπτική αναμένεται να ενισχυθεί στο μέλλον.
- **Συνεργασία των μελών του TSO:** Εφόσον τα δίκτυα μεταφοράς λειτουργούν σε εθνική βάση, η οργάνωση των τομέων του συστήματος καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τα κρατικά σύνορα. Όσο οι ροές της ηλεκτρικής ενέργειας ακολουθούν τους νόμους της φυσικής και όχι τα πολιτικά σύνορα, τόσο η συνεργασία των μελών του TSO, η κατανομή του κόστους και του οφέλους της ροής ηλεκτρικής ενέργειας θα αποτελούν αμφιλεγόμενα ζητήματα μεταξύ των μελών της Ευρώπης. Τα θέματα αυτά πρέπει να αντιμετωπιστούν για την εσωτερική ανάπτυξη της αγοράς και για να είναι πετυχημένη μετάβαση του ενεργειακού συστήματος.
- **Αποτελεσματικότερη κατανομή κόστους:** Καθώς οι αγορές και τα συστήματα ηλεκτρικής ενέργειας γίνονται πιο ολοκληρωμένα, αναμένεται μια αυξημένη ζήτηση των κατάλληλων μέσων για την αποτελεσματική κατανομή του κόστους και του οφέλους σε περιφέρειες ή σε ολόκληρη της Ευρώπη. Κάτι τέτοιο είναι ζωτικής σημασίας κυρίως όταν οι επενδύσεις υποκινούνται από ευρωπαϊκές ή περιφερειακές ανάγκες.

Σε κάποιο βαθμό, το φαινόμενο των loop flows μπορεί να θεωρηθεί ως ένα βραχυπρόθεσμο πρόβλημα. Πιο μακροπρόθεσμα θα μπορούσε κανείς να υποθέσει

πρόοδο σε αρκετές από τις παραπάνω εξελίξεις, όπως η πιο ολοκληρωμένη και αποδοτική αγορά, καθώς και βελτιωμένη προσαρμογή της δομής του δικτύου για τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του συστήματος. Επιπλέον, είναι πιθανόν ότι η ζήτηση θα γίνει ισχυρότερος παράγοντας στην ισοσκελίση του μελλοντικού συστήματος. Οι εξελίξεις αυτές μπορούν να χρησιμεύσουν για να περιορίσουν τις προκλήσεις που σχετίζονται με τις ροές βρόχου.

2.2 Αιολική ενέργεια και loop flows

Ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την εκάστοτε ροή ενέργειας είναι η διείσδυση και η κατανομή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην κάθε χώρα. Οι ΑΠΕ μπορούν να συμβάλουν στην ενεργειακή αυτόρκεια των χωρών καθώς είναι ευέλικτες εφαρμογές με μεγάλη διάρκεια ζωής που μπορούν να παράγουν ενέργεια ανάλογη με τις ανάγκες του επί τόπου πληθυσμού καταργώντας την ανάγκη για τεράστιες μονάδες παραγωγής αλλά και για μεταφορά της ενέργειας σε μεγάλες αποστάσεις. Ωστόσο επειδή έχουν αρκετά μικρό συντελεστή απόδοσης, της τάξης του 30% , γεγονός που απαιτεί αρκετά μεγάλο αρχικό κόστος εφαρμογής σε μεγάλη επιφάνεια της γης, χρησιμοποιούνται ως συμπληρωματικές πηγές ενέργειας. Η παραγωγή των ΑΠΕ σε κάθε χώρα αλλάζει με την πάροδο των χρόνων καθώς εξαρτάται από τις κλιματικές συνθήκες , το γεωγραφικό πλάτος αλλά και την εξέλιξη της τεχνολογίας στους τομείς εκμετάλλευσης τέτοιων πηγών ενέργειας

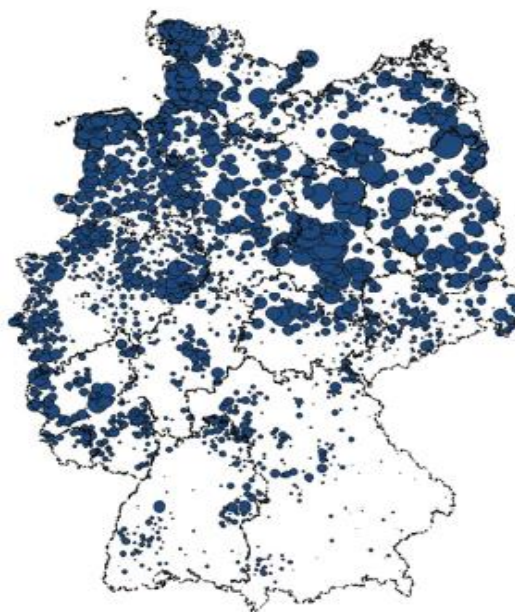
Η αιολική ενέργεια είναι μια από τις βασικότερες παραμέτρους που επηρεάζουν τις παράλληλες ροές, κάτι που αποδεικνύεται και στην μελέτη μας παρακάτω. Η αιολική ενέργεια θεωρείται μια διαλείπουσα πηγή ενέργειας λόγω της ποικιλίας και απρόβλεπτης φύσης της. Οι παράλληλες ροές έχουν σημαντική επίδραση στο εμπορικό δυναμικό που προσφέρεται στην αγορά και συνεπώς στην αποτελεσματική λειτουργία της αγοράς. Η αιολική ενέργεια είναι μια από τις τρεις κύριες πηγές αβεβαιότητας, σε συνδυασμό με την αβεβαιότητα της ζήτησης και την αποτυχία σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η αύξηση της ικανότητας παραγωγής αιολικής ενέργειας στην Ευρώπη θα οδηγήσει αναπόφευκτα σε αυξημένες διασυνοριακές ανταλλαγές ενέργειας. Αυτό συνεπάγεται ότι τα σημερινά σημεία συμφόρησης των διασυνοριακών μεταφορών θα γίνουν σοβαρότερα. Ειδικά με τα αναμενόμενα δυναμικά μεγέθη αιολικής ενέργειας το 2020 και το 2030, η συμφόρηση αναμένεται να αυξηθεί στα σύνορα της Γαλλίας, μεταξύ Μεγάλης Βρετανίας και Ιρλανδίας και σε ορισμένα από τα σουηδικά, γερμανικά και ελληνικά σύνορα. Το γεγονός ότι η αιολική ενέργεια δεν μπορεί να προβλεφθεί με ακρίβεια 100% οδηγεί σε αποκλίσεις μεταξύ της αναμενόμενης και της πραγματικής διασυνοριακής ροής ισχύος στις περισσότερες διασυνδέσεις κατά τη διάρκεια ενός σημαντικού μέρους του χρόνου και αυτό θα επιδεινώσει περαιτέρω τις συμφόρησηση. (TradeWind, 2009)

Οι οικονομικές συνέπειες αυτών των περιορισμών στη μετάδοση είναι η περιορισμένη πρόσβαση σε φθηνότερους πόρους παραγωγής (όπως η αιολική ενέργεια

που έχει μηδενικό οριακό κόστος παραγωγής επειδή το καύσιμο είναι ελεύθερο) και κατά συνέπεια υψηλότερες τιμές ηλεκτρικής ενέργειας. Τα μειούμενα περιθώρια μεταφορικής ικανότητας μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε προβλήματα αξιοπιστίας.

Οι μελλοντικές ενισχύσεις μετάδοσης που σχεδιάζονται επί του παρόντος από τα σχέδια των TSOs είναι ανεπαρκείς για την αποφυγή επιδείνωσης των σημείων συμφόρησης και για την ανακούφιση της συμφόρησης. Κατά συνέπεια, χωρίς αναβαθμίσεις μετάδοσης πέραν αυτών που έχουν προγραμματιστεί, ακόμη και μια μέτρια αύξηση της αιολικής χωρητικότητας θα προκαλέσει άσκοπα υψηλό λειτουργικό κόστος παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας το 2020 και το 2030.



Εικόνα 3: Γεωγραφική κατανομή της αιολικής ενέργειας στη Γερμανία.
Πηγή: (Dittmar, Systems and Erdmann, 2013)

2.3 Κύρια loop flows στην Κεντρική Ευρώπη

Αναλύοντας τα δεδομένα των ροών ενέργειας και της αγοράς βρίσκουμε ισχυρές ενδείξεις παράλληλων ροών στις περιοχές γύρω από τη Γερμανία (Δυτικά και Ανατολικά) οι οποίες προφανώς σχετίζονται με το υψηλό αιολικό της πλεόνασμα στο Βορρά. Παρόλο που παράγει όλο και περισσότερη ανανεώσιμη ενέργεια, η ανάπτυξη αυτή δε συμβαδίζει με την ανάπτυξη του δικτύου. Το πλεόνασμα της ηλεκτρικής της ενέργειας κατευθύνεται προς τις γειτονικές τις χώρες δημιουργώντας προβλήματα στο δίκτυο.

Η ποσοτική ανάλυση σε μεγάλο βαθμό επικεντρώνεται λοιπόν στη Γερμανία και τα γειτονικά της κράτη, ενώ οι προκλήσεις που σχετίζονται με τα loop flows μπορεί να είναι σημαντικές και για άλλες περιοχές στην Ευρώπη. Η Γερμανία παίζει ιδιαίτερα

σημαντικό ρόλο στην ανάλυση, δεδομένου ότι έχει αναλάβει ηγετικό ρόλο στην ενεργειακή μετάβαση, βρίσκεται στο κέντρο της Ευρώπης και έχει συνδέσει σημαντικές ποσότητες ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στο δίκτυο, γεγονός που έχει οδηγήσει και σε αυξημένη ύπαρξη παράλληλων ροών στις περιοχές γύρω της.

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζονται τα βασικά loop flows που μελετάμε σύμφωνα και με το (THEMA Consulting Group, 2013) και οι περιοχές που αυτά διασχίζουν.

- **CEE REGION** (Κεντρική-Ανατολική Ευρώπη)

Χώρες	Περιοχές Χωρών
$GE \rightarrow CZ \rightarrow GE$	$GE_{SachsenThuringia} \rightarrow CZ_{Praha} \rightarrow GE_{Oberpfalz}$
$GE \rightarrow PD \rightarrow CZ \rightarrow AU \rightarrow GE$	$GE_{BrandenburgNorth1} \rightarrow PD_{Zachodniopomorskie}$ $\rightarrow PD_{Malopolskie} \rightarrow CZ_{StredniMorava}$ $\rightarrow CZ_{Severovychod} \rightarrow AU_{LowerAustria}$ $\rightarrow AU_{UpperAustria} \rightarrow GE_{Niederbayern}$
$GE \rightarrow PD \rightarrow SK \rightarrow HU \rightarrow AU$	$GE_{BrandenburgNorth1} \rightarrow PD_{Zachodniopomorskie}$ $\rightarrow PD_{Podkarpackie} \rightarrow SK_{Presov}$ $\rightarrow SK_{Nitra} \rightarrow HU_{NorthCentral}$ $\rightarrow HU_{NorthWest} \rightarrow AU_{LowerAustria}$

Πίνακας 1: Παρουσίαση των loop flows Ανατολικά της Γερμανίας

- **CWE REGION** (Κεντρική-Δυτική Ευρώπη)

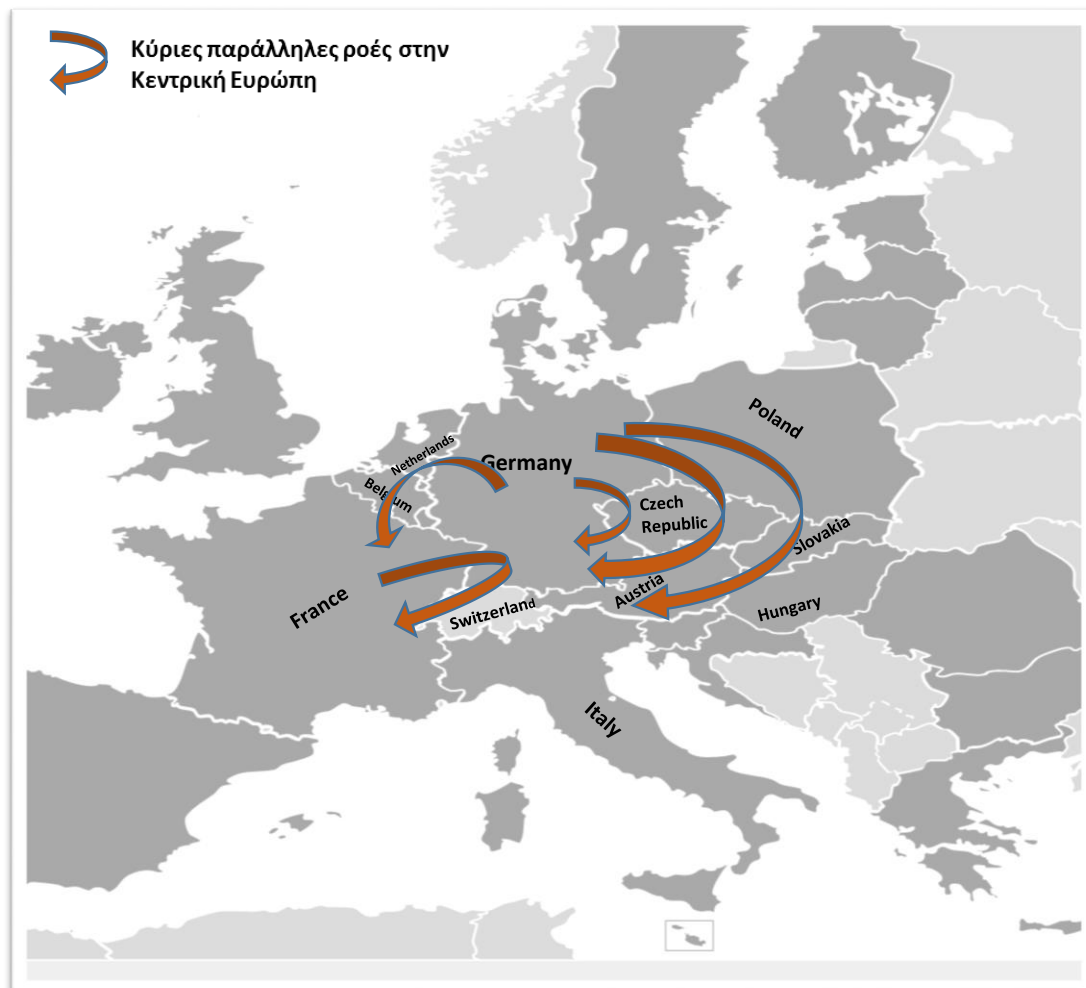
Χώρες	Περιοχές Χωρών
$FR \rightarrow GE \rightarrow SW \rightarrow FR$	$FR_{Alsace} \rightarrow GE_{Freiburg} \rightarrow GE_{Stuttgart} \rightarrow SW$ $\rightarrow FR_{FrancheComte}$
$GE \rightarrow NL \rightarrow BE \rightarrow FR$	$GE_{WeserErmSouth} \rightarrow NL_{Gelderland} \rightarrow NL_{Limburg}$ $\rightarrow BE_{Flanders}$ $\rightarrow FR_{PicardieNordPasDeCalais}$

Πίνακας 2: Παρουσίαση των loop flows Δυτικά της Γερμανίας

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι υπάρχουν σοβαρές ενδείξεις παράλληλων ροών ανατολικά της Γερμανίας σε Πολωνία, Τσεχία και Αυστρία αλλά και δυτικά σε Ολλανδία, Βέλγιο, Γαλλία. Οι παράλληλες ροές από την Γερμανία θέτουν σε ρίσκο την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και αποτρέπουν τη διεθνή αγορά ενέργειας από το να λειτουργεί σωστά.

Μελετώντας την παράλληλη ροή στα σύνορα Γερμανίας-Αυστρίας διαπιστώνουμε ότι η αφθονία της ηλεκτρικής ενέργειας κάποιες στιγμές στο Βορρά της Γερμανίας ωθεί τις τιμές προς τα κάτω στην κοινή γερμανο-αυστριακή ζώνη συναλλαγών. Η ζήτηση έτσι αυξάνεται, με τους βιομηχανικούς καταναλωτές να αξιοποιούν στο έπακρο τις χαμηλές τιμές. Οι εξαγωγές επίσης αυξάνονται καθώς οι διεθνείς έμποροι κάνουν μέγιστη χρήση των δυνατοτήτων εισαγωγής. Αυτό σημαίνει ότι οι τεράστιες ποσότητες

ηλεκτρικού ρεύματος θα πρέπει να μεταφερθούν από Βορρά προς το Νότο τόσο μέσω της Γερμανίας όσο και της Αυστρίας. Επειδή όμως οι συνδέσεις του δικτύου κατά μήκος αυτής της διαδρομής δεν έχουν επαρκή χωρητικότητα η ενέργεια θα πρέπει να κάνει μια παράκαμψη ρέοντας στα δίκτυα γειτονικών χωρών.

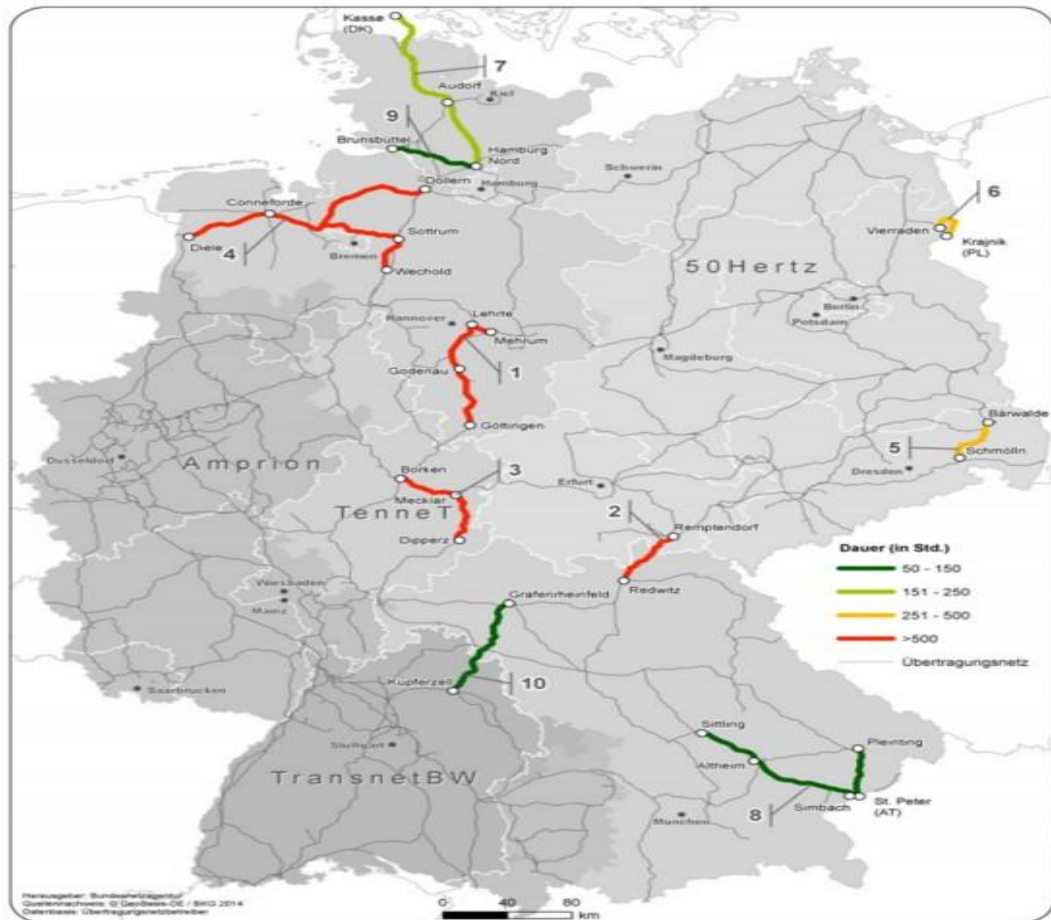


Εικόνα 4: Χάρτης με τις κύριες παράλληλες ροές στην Κεντρική Ευρώπη

2.4 Κύριες γραμμές συμφόρησης στη Γερμανία

Η συμφόρηση (congestion) αντιπροσωπεύει την περίπτωση που τεχνικοί περιορισμοί (θερμικά όρια γραμμών και περιορισμοί ευστάθειας τάσης) ή οικονομικοί περιορισμοί είναι δεσμευτικοί και κατά συνέπεια περιορίζουν την μεταφορά ισχύος μεταξύ περιοχών.

Ο παρακάτω χάρτης απεικονίζει τις κύριες γραμμές συμφόρησης στο εσωτερικό της Γερμανίας, που προφανώς επηρεάζουν τις ροές ενέργειας στις γύρω περιοχές. Ένα από τα πιο ισχυρά congestions το οποίο δημιουργεί και το πρόβλημα στο εσωτερικό δίκτυο της Γερμανίας είναι η γραμμή που συνδέει τις περιοχές $GE_{SachsenThuringia}$ → $GE_{Oberfranken}$ στην οποία εστιάζουμε σε παρακάτω κεφάλαια στην ανάλυση μας.



Εικόνα 5: Χάρτης με τις κύριες γραμμές συμφόρησης στο εσωτερικό της Γερμανίας
 Πηγή: Bundesnetzagentur

Κεφάλαιο 3. Το ενεργειακό μοντέλο Primes και περιγραφή του μοντέλου

3.1 Ενεργειακό μοντέλο Primes

3.1.1 Περιγραφή μοντέλου

Το μοντέλο το οποίο αποτέλεσε τη βάση μας στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι το μοντέλο Primes, και συγκεκριμένα το υπο-μοντέλο το οποίο αφορά την προσομοίωση της παραγωγής ενέργειας.

Το μοντέλο ενεργειακού συστήματος αναπτύχθηκε στο Εργαστήριο μοντελοποίησης Ενεργειακής Οικονομίας στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, στο πλαίσιο μιας σειράς ερευνητικών προγραμμάτων που συγχρηματοδοτούνται από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή. Το μοντέλο έχει αξιολογηθεί με επιτυχία από ομότιμους στο πλαίσιο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής το 1997 και το 2011.

Το ενεργειακό μοντέλο PRIMES προσομοιώνει ολόκληρο το Ευρωπαϊκό σύστημα, για κάθε μια από τις χώρες της Ευρώπης. Επιπλέον παρέχει λεπτομερείς προβολές για την ενεργειακή ζήτηση, την προσφορά, τις τιμές και τις επενδύσεις στο μέλλον, διείσδυση νέων τεχνολογιών ενέργειας, τιμές και κόστη καλύπτοντας ολόκληρο το ενεργειακό σύστημα συμπεριλαμβανομένων των εκπομπών για κάθε μεμονωμένη ευρωπαϊκή χώρα και για το εμπόριο ενεργειακών βασικών προϊόντων σε όλη την Ευρώπη.

Ο σχεδιασμός μοντέλου PRIMES είναι κατάλληλος για μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες προβολές ενεργειακού συστήματος και αναδιάρθρωσης του έως το 2050, τόσο στις πλευρές ζήτησης όσο και στην προσφορά. Το μοντέλο μας, μας δίνει τις αναμενόμενες τιμές ανά 5 έτη από το 2015 έως το 2050 με στοιχεία της Eurostat για τα έτη 2000-2010 για όλες τις χώρες της Ευρώπης. Δηλαδή προσομοιώνει το ισοζύγιο ενέργειας παραγωγής και ζήτησης για πολλαπλές αγορές. Το μοντέλο μπορεί να υποστηρίξει την εκτίμηση των επιπτώσεων συγκεκριμένων πολιτικών και μέτρων για την ενέργεια και το περιβάλλον που εφαρμόζονται σε επίπεδο κράτους μέλους ή ΕΕ, συμπεριλαμβανομένων σημείων τιμών όπως φορολογία, επιδοτήσεις, πολιτικές προώθησης της τεχνολογίας, πολιτικές υποστήριξης ΑΠΕ. Το PRIMES είναι αρκετά λεπτομερές ώστε να αντιπροσωπεύει συγκεκριμένα μέτρα πολιτικής σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των επιλογών σχεδιασμού της αγοράς για τις εσωτερικές αγορές ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου της ΕΕ. Η προσομοίωση της συμπεριφοράς κάθε τομέα βασίζεται σε μικροοικονομικό μοντέλο το οποίο περιέχει περιορισμούς τεχνικής και μηχανικής φύσεως. (E3Mlab/NTUA, 2016)

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, στο υπο-μοντέλο του Primes που αφορά την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας ενσωματώθηκε πλήρως το λεπτομερές δίκτυο της Ευρώπης και το μοντέλο επεξεργάστηκε ούτως ώστε να προσομοιώνει πλέον την λειτουργία του συστήματος όχι σε επίπεδο χώρας αλλά σε επίπεδο περιφερειακό,

δίνοντας λύση για την παραγωγή ενέργειας και τις ροές φορτίου ξεχωριστά για κάθε κόμβο στο εσωτερικό κάθε χώρας.

Πρέπει σε αυτό το σημείο να σημειωθεί ότι το βασικό μοντέλο Primes αποφασίζει ενδογενώς επενδύσεις σε εγκατεστημένη ισχύ. Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας ωστόσο, η εγκατεστημένη ισχύς θεωρήθηκε δεδομένη, προερχόμενη από σενάρια που έχουν αναπτυχθεί με το βασικό μοντέλο Primes. Η ισχύς αυτή αφορά την κάθε χώρα και κατανεμήθηκε στις περιοχές με βάση την μεθοδολογία που έχει περιγράψει στο κεφάλαιο 3.3. Ως δεδομένα θεωρήθηκαν επίσης η εξέλιξη της ζήτησης, καθώς και οι εισαγωγές/εξαγωγές με χώρες εκτός της Ε.Ε.

3.1.2 Εξισώσεις του μοντέλου Primes για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας

Οι παρακάτω εξισώσεις στοχεύουν στην παρουσίαση του προβλήματος βελτιστοποίησης που επιλύεται από το PRIMES.

$$MIN_{G,K,P,F,H,S} z(G_{(i,n,f,s,t)}, K_{(i,n,t)}, F_{i,n,f,s,t}, H_{(i,s,t)}, S_{i,t}) \quad (1)$$

Αντικειμενική :

$$\sum_n \sum_f G_{(i,n,f,s,t)} = C_{(i,s,t)} + \sum_b \{M_{(i,b)} P_{(b,s,t)}\} + H_{(i,s,t)} \quad \forall i, s, t \quad (2)$$

$$P_{(b,s,t)} = \sum_i \left\{ Y_{(b,i)} \left[\sum_n \sum_f G_{(i,n,f,s,t)} - C_{(i,s,t)} - H_{(i,s,t)} \right] \right\} \quad \forall b, s, t \quad (3)$$

$$F_{(i,n,f,s,t)} = hr_{(i,n,t)} G_{(i,n,f,s,t)} \quad \forall i, n, f, s, t \quad (4)$$

$$0 \leq \sum_f G_{(i,n,f,s,t)} \leq ur_{(i,n,s,t)} K_{(i,n,t)} \quad \forall i, n, f, s, t \quad (5)$$

$$P_{(b,s,t)}^{min} \leq P_{(b,s,t)} \leq P_{(b,s,t)}^{max} \quad \forall b, s, t \quad (6)$$

$$\sum_{n,s} F_{(i,n,f,s,t)} \leq F_{(i,f,t)}^{max} \quad \forall i, f, t \quad (7)$$

$$0 \leq H_{(i,s,t)} \leq S_{(i,t)} \quad \forall i, s, t \quad (8)$$

$$0 \leq \sum_s \{H_{(i,s,t)} : H_{(i,s,t)} \geq 0\} \leq H_{(i,t)}^{max} \quad \forall i, t \quad (9)$$

$$\sum_n \min_s ur_{(i,n,s,t)} K_{(i,n,t)} \geq rm_{(i,t)} \max_s \left\{ C_{(i,s,t)} + \sum_b \{M_{(i,b)} P_{(b,s,t)}\} + H_{(i,s,t)} \right\} \forall i, t \quad (10)$$

$$\Delta_s \sum_f G_{(i,n,f,s,t)} \leq rr_{(i,n,t)} \sum_f G_{(i,n,f,s,t)} \quad \forall i, n, s, t \quad (11)$$

$$\sum_{f,n} ef_{(i,n,f,s,t)} \sum_s F_{(i,n,f,s,t)} \leq E_{(i,t,j)}^{max} \quad \forall i, t, j \quad (12)$$

Οι δείκτες i, n, f, s, t, b και j αναφέρονται στις χώρες, σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής, τύπος καυσίμου, load segments (ώρες), έτος, διασυνδέσεις μεταξύ χωρών και τύπος εκπομπών.

Άγνωστες μεταβλητές είναι η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας G , η εγκατεστημένη ισχύς των σταθμών παραγωγής K , η ροή ισχύος μεταξύ των χωρών P , η κατανάλωση καυσίμων F , η έγχυση ή εξαγωγή αποθηκευμένης ενέργειας H και η εγκατεστημένη ισχύς σταθμών αποθήκευσης ενέργειας S .

Η εξίσωση (1) είναι η αντικειμενική συνάρτηση που περιγράφει το συνολικό διαχρονικό κόστος του συστήματος.

Η εξίσωση (2) επιβάλλει το ισοζύγιο παραγωγής-ζήτησης, συμπεριλαμβάνοντας την αποθήκευση ενέργειας ή χρησιμοποίηση της αποθηκευμένης ενέργειας και τις ροές ισχύος πάνω στις γραμμές διασύνδεσης μεταξύ χωρών.

Η εξίσωση (3) περιγράφει τις ροές ισχύος πάνω στις γραμμές διασύνδεσης μεταξύ χωρών, όπου ο πίνακας Y είναι ο πίνακας των PTDF, συνδέοντας το καθαρό πλεόνασμα ή έλλειμμα ενέργειας κάθε χώρας με τις ροές ισχύος μεταξύ των χωρών.

Η παράμετρος $hr_{(i,n,t)}$ αφορά την ειδική κατανάλωση θερμότητας και η εξίσωση (4) περιγράφει την ποσότητα των καυσίμων που καταναλώνονται.

Η εξίσωση (5) θέτει τους περιορισμούς εγκατεστημένης ισχύς των σταθμών παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας.

Η εξίσωση (6) θέτει τα άνω και κάτω όρια των ροών ισχύος για τις γραμμές διασύνδεσης μεταξύ χωρών που αντιπροσωπεύουν τεχνικού και ρυθμιστικούς περιορισμούς αξιοπιστίας.

Η εξίσωση (7) διασφαλίζει ότι η κατανάλωση καυσίμου δεν ξεπερνά την μέγιστη ποσότητα διαθέσιμου καυσίμου, αν υπάρχει.

Οι εξισώσεις (8) και (9) θέτουν τα όρια για την αποθήκευση ενέργειας και την κατανάλωση αποθηκευμένης ενέργειας.

Οι εξισώσεις (10) και (11) αφορούν το περιθώριο αποθεματικού και περιορισμούς ευελιξίας αντίστοιχα, όπου gm και gr είναι τεχνικές παράμετροι συστήματος και σταθμών αντίστοιχα.

Η εξίσωση (12) θέτει το ανώτατο όριο εκπομπών.

3.2 Τροποποιήσεις στο μοντέλο Primes για την παρούσα εργασία

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι δείκτες, οι παράμετροι, οι μεταβλητές αλλά και οι εξισώσεις όπως διαμορφώθηκαν για το μοντέλο της παρούσας εργασίας.

➤ Δείκτες

i : περιοχή

b : γραμμή διασύνδεσης μεταξύ κόμβων

s : χρονική διάρκεια (ώρες)

t : έτος

c : χώρα

➤ Παράμετροι

$Tb(b,t)$: Θερμικό όριο

$NTC(i,ii,t)$: Net Transfer Capacity από την περιοχή i στην περιοχή ii

$Xi(b,i,ii)$: Αντίδραση γραμμής με i : περιοχή προέλευσης ii : περιοχή άφιξης

$mapntc(c,cc,b)$: 0 ή 1 με c : χώρα προέλευσης και cc : χώρα άφιξης

$M(i,b)$: 1 ή -1

Οι τρεις τελευταίες παράμετροι ουσιαστικά χρησιμοποιούνται για συνδέσουν 2 sets μεταξύ τους. Ο πίνακας $M(i,b)$ έχει τα στοιχεία 1 και -1 αναλόγως την τοπολογία του δικτύου. Ομοίως και ο πίνακας $mapntc(c,cc,b)$ έχει τα στοιχεία 0 ή 1.

➤ Μεταβλητές

$P(b,s,t)$: ροή ισχύος

$NI(i,s,t)$: καθαρές εισαγωγές ενέργειας

$TH(i,s,t)$: γωνία

➤ **Εξισώσεις**

$$TH(i_{swing}, s, t) = 0 \quad (13)$$

$$P(b_{AC}, s, t) = \sum_{i:M(i,b)} (-\Omega(b, t) * TH(i, s, t) * M(i, b)) \quad (14)$$

$$P(b, s, t) \leq T_b(b, t) \quad (15)$$

$$P(b, s, t) \geq -T_b(b, t) \quad (16)$$

$$NI(i, s, t) = \sum_{ii,b: M(i,b) \text{ and } M(ii,b)} -P(b, s, t) * M(i, b) \quad (17)$$

$$\text{if } P(b, s, t) \geq 0 \text{ then } P(b, s, t) = P^+(b, s, t) \quad (18)$$

$$\text{if } P(b, s, t) \leq 0 \text{ then } -P(b, s, t) = P^-(b, s, t) \quad (19)$$

$$P^+(b, s, t) - P^-(b, s, t) = P(b, s, t) \quad (20)$$

$$\sum_{b:mapntc(c,cc,b)} P^+(b, s, t) + \sum_{b:mapntc(cc,c,b)} P^-(b, s, t) \leq NTC(c, cc, t) \quad (21)$$

$$\text{sum}(i, NI(i, s, t)) = 0 \quad (22)$$

Στην αντικειμενική συνάρτηση προσθέτουμε τον όρο:

$$e(P^+(b, s, t) + P^-(b, s, t)) = \min \quad (23)$$

Η εξίσωση (13) επιβάλλει την γωνία του ζυγού αναφοράς να είναι ίση με 0.

Η εξίσωση (14) περιγράφει τη ροή ισχύος για κάθε AC διασύνδεση.

Οι εξισώσεις (15) και (16) επιβάλλουν τους άνω και κάτω περιορισμούς για τη μεταφορά ενέργειας κάθε γραμμής.

Η εξίσωση (17) υπολογίζει τις καθαρές εισαγωγές ενέργειας για κάθε περιοχή.

Στις εξισώσεις (18), (19), (20) το $P(b,s,t)+$ και $P(b,s,t)-$ λαμβάνουν τιμές αν το $P(b,s,t)$ είναι θετικό ή αρνητικό αντίστοιχα, ούτως ώστε τελικά ένα από τα δυο να αποτελεί την απόλυτη τιμή της ροής και το άλλο να είναι μηδέν.

Η εξίσωση (21) θέτει τον περιορισμό της μεταφοράς ενέργειας (NTC) μεταξύ δύο χωρών.

Η εξίσωση (22) περιγράφει το ισοζύγιο ενέργειας.

3.3 Προσομοίωση της DC ροής φορτίου

Στο μοντέλο μας για λόγους απλότητας χρησιμοποιήσαμε μοντέλο ροής ισχύος DC, έτσι ώστε οι απαιτούμενες πληροφορίες δικτύου να περιλάμβαναν την αντίδραση, τα επίπεδα τάσης και τις τοπολογίες των γραμμών μεταφοράς. Σε αντίθεση με το πλήρως συζευγμένο μοντέλο AC που έχει μη γραμμικές αλγεβρικές εξισώσεις και απαιτεί επαναληπτικές διαδικασίες λύσης, η λύση μοντέλου DC είναι άμεση και υποστηρίζει την αρχή της υπέρθεσης. Αυτό βοηθά στην επίτευξη ταχύτερης λύσης για τα μοντέλα βελτιστοποίησης της τιμολόγησης του ηλεκτρικού ρεύματος, τα οποία είναι απαραίτητα για τη λειτουργία μιας αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε πραγματικό χρόνο.

Η D.C. ροή φορτίου είναι μια απλούστευση των εξισώσεων ροών φορτίου σε AC δίκτυο. Η απλούστευση αυτή οδηγεί σε ένα μοντέλο που περιγράφει τη ροή ενεργούς ισχύος. Το DC μοντέλο βασίζεται στις εξής παραδοχές:

- Δεν λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της αέργου ισχύος.
- Δεδομένου ότι η αντίσταση γραμμής R_{ij} είναι συνήθως μικρότερη σε σύγκριση με την αντίδραση γραμμής X_{ij} , παραβλέπεται στο δίκτυο. Με λίγα λόγια η απώλεια μετάδοσης δεν λαμβάνεται υπόψη στο μοντέλο.
- Η διαφορά γωνίας φάσης κατά μήκος της γραμμής $(\theta_i - \theta_j)$ είναι γενικά μικρή, μπορεί να απλοποιηθεί περαιτέρω έτσι ώστε

$$\sin(\theta_i - \theta_j) \cong (\theta_i - \theta_j)$$

- Με την παραμέληση των αντιδραστικών ροών στο σύστημα, είναι λογικό να υποθέσουμε $V_i \approx V_j = 1$ pu

Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά οι εξισώσεις για το μοντέλο DC ροής ισχύος.

- $R_{ij} \ll X_{ij} \rightarrow R_{ij} = 0 \rightarrow g_{ij} = \frac{R_{ij}}{R_{ij}^2 + X_{ij}^2} \rightarrow 0$
- $\delta_{ij} = \delta_i - \delta_j \approx 0 \rightarrow \sin \delta_{ij} \approx \delta_{ij}, \cos \delta_{ij} \approx 1$
- Με τα μέτρα των τάσεων να παραμένουν σταθερά οι εξισώσεις ροής φορτίου είναι:

$$a_{ij} \approx b_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) \approx b_{ij} (\delta_i - \delta_j)$$

$$P_i = -V_i \sum_{j \in \alpha(i)} a_{ij} V_j = -V_i \sum_{j \in \alpha(i)} b_{ij} (\delta_i - \delta_j) V_j$$

Ορίζουμε ως:

$$C_{ij} = V_i V_j b_{ij}$$

$$C_{ii} = - \sum_{j \in a(i)} C_{ij}$$

Η ροή P_{ij} σε ένα κύκλωμα μεταξύ των ζυγών i και j δίνεται από την εξίσωση:

$$P_{ij} = -C_{ij} (\delta_i - \delta_j)$$

Για ένα σύστημα n ζυγών μπορεί να γραφεί η εξίσωση της ροής ισχύος P_i για κάθε ζυγό, εκτός από το ζυγό ταλάντωσης. Οι $n - 1$ εξισώσεις μπορεί να γραφούν με την ακόλουθη μητρική μορφή:

$$P = C \delta$$

Όπου

$$P = \begin{bmatrix} P_2 \\ P_3 \\ \vdots \\ P_n \end{bmatrix} \quad \delta = \begin{bmatrix} \delta_2 \\ \delta_3 \\ \vdots \\ \delta_n \end{bmatrix}$$

Και

$$C = \begin{pmatrix} C_{22} & \cdots & C_{2n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ C_{n2} & \cdots & C_{nn} \end{pmatrix}$$

Η λύση της μητρικής εξίσωσης δίνει το διάνυσμα δ και άρα με αντικατάσταση προκύπτουν οι πραγματικές ροές ισχύος P πάνω στο κύκλωμα. (Κονταξής & Χατζηαργυρίου 2003).

Κεφάλαιο 4. Δημιουργία αποτύπωσης του Ευρωπαϊκού συστήματος μεταφοράς

4.1 Αναγκαιότητα λεπτομερούς αποτύπωσης ευρωπαϊκού συστήματος μεταφοράς

Η αύξηση του μεγέθους των διασυνοριακών συναλλαγών έφερε στο προσκήνιο προβλήματα τιμολόγησης των διασυνοριακών μεταφορών καθώς και τη διαχείριση τυχόν συμφόρησης. Απαιτείται λοιπόν μια λύση που θα διασφαλίζει την ασφάλεια της αγοράς και θα είναι και η αποτελεσματικότερη για αυτήν.

Το πρόβλημα των διασυνοριακών συναλλαγών έχει αναγνωριστεί από την ακαδημαϊκή κοινότητα. Ωστόσο η αδυναμία δημοσιοποίησης στοιχείων του Ευρωπαϊκού μοντέλου ροής φορτίου καθιστά αδύνατη τη σύγκριση και δοκιμή διαφορετικών προτεινόμενων προσεγγίσεων. Συχνά χρησιμοποιούνται πολύ απλοποιημένα μοντέλα τα οποία δεν αντιμετωπίζουν το πρόβλημα των παράλληλων ροών (loop flows), δηλαδή τις ροές που αποκλίνουν από την κύρια γραμμή του συμβολαίου.

Προσπαθήσαμε λοιπόν να δημιουργήσουμε ένα αναλυτικό προσεγγιστικό μοντέλο του Ευρωπαϊκού συστήματος μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας σε περιφερειακό επίπεδο. Ενσωματώνοντας το στο μοντέλο Primes, που χρησιμοποιείται για την παρούσα εργασία, έχουμε τη δυνατότητα να μελετήσουμε τη συμπεριφορά των παράλληλων ροών. Να σημειωθεί ότι η δημιουργία ενός λεπτομερούς δικτύου βάσης, που θα παρέχει πληροφορίες για τη ροή ισχύος στο εσωτερικό της χώρας, ήταν επιτακτική ανάγκη καθώς η ανάλυση του βασικού μοντέλου Primes είναι σε επίπεδο χώρας. Αυτό σημαίνει ότι κάθε χώρα αντιστοιχεί σε έναν κόμβο, στον οποίο αθροίζεται όλη η παραγωγή και η ζήτηση της εκάστοτε χώρας ενώ οι εισαγωγές και εξαγωγές ενέργειας μεταξύ των χωρών προκύπτουν από την ροή ισχύος των κλάδων που συνέδεαν του κόμβους.

Χρησιμοποιώντας λοιπόν μόνο δημόσια διαθέσιμες πηγές πληροφόρησης δημιουργήσαμε ένα ερευνητικό εργαλείο, το οποίο αναπαράγει κύρια φυσικά χαρακτηριστικά του πραγματικού δικτύου. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζουμε την διατήρηση της ασφάλειας του συστήματος και μπορούμε να διεξάγουμε την μελέτη μας πάνω στις παράλληλες ροές.

4.2 Αποτύπωση του ευρωπαϊκού συστήματος μεταφοράς στη βιβλιογραφία

Η μεθοδολογία για την αποτύπωση του Ευρωπαϊκού συστήματος μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας εντοπίστηκε στην βιβλιογραφία (Zhou and Bialek, 2005) και με βάση προηγούμενες μελέτες είναι η εξής:

- Προσδιορισμός σημαντικών περιοχών του δικτύου, οι οποίες θα αποτελούν τους αντιπροσωπευτικούς κόμβους κάθε περιοχής για το δίκτυο.
- Υπολογισμός των χαρακτηριστικών της ισοδύναμης γραμμής που ενώνει τους αντιπροσωπευτικούς κόμβους.
- Κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στους αντιπροσωπευτικούς κόμβους.

Στη μεθοδολογία αυτή βασίστηκε και η παρούσα διπλωματική για τη δημιουργία του μοντέλου μας η οποία περιγράφεται αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

4.3 Ανάλυση λεπτομερούς δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

4.3.1 Περιγραφή δημιουργίας δικτύου μεταφοράς

Το δίκτυο μεταφοράς είναι το πιο βασικό κομμάτι στη δημιουργία του μοντέλου ροής φορτίου. Η μεθοδολογία η οποία αναπτύξαμε βασίζεται σε μια παλαιότερη μελέτη, την European Grid Study 2030/2050 που είχε γίνει από την Energynautics GmbH για την Greenpeace (Energynautics; Greenpeace, 2011), η οποία αποτυπώνει τον χάρτη του ευρωπαϊκού δικτύου μεταφοράς με 216 διασυνδεδεμένους κόμβους. Ο χάρτης των κόμβων αυτών στον οποίο βασίστηκε και το δικό μας μοντέλο απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 6: Χάρτης των κόμβων του μοντέλου που δημιουργήθηκε από την Energynautics GmbH
 Πηγή: Tröster et al. n.d.

Στο μοντέλο μας το πραγματικό φυσικό δίκτυο έχει απλοποιηθεί αναπαριστώντας το άθροισμα των γραμμών μεταφοράς ως συνδέσεις μεταξύ των 216 κόμβων. Γενικότερα όσο πιο λεπτομερές είναι το μοντέλο του δικτύου, τόσο πιο ρεαλιστική θα είναι και η προσομοίωση της ροής φορτίου. Ωστόσο, σε μία ευρεία μελέτη του ευρωπαϊκού δικτύου ένα μοντέλο πολύ υψηλής λεπτομέρειας θα δυσκόλευε ίσως την αποτελεσματική μελέτη κάποιας περιοχής που θέλουμε να εστιάσουμε. Για το λόγο αυτό το μοντέλο του Energynautics είναι ιδανικό γιατί διατηρεί ένα αποτελεσματικό επίπεδο ακρίβειας για τον υπολογισμό της πραγματικής ροής φορτίου, ενώ ταυτόχρονα διατηρεί το μοντέλο αρκετά απλό ώστε να είναι εφικτό να μελετηθεί μια συγκεκριμένη περιοχή ή γραμμή μεταφοράς.

AL	<i>Albania</i>
AU	Austria
BE	Belgium
BO	Bosnia
BG	Bulgaria
HR	Croatia
CZ	Czech Republic
DK	Denmark
ES	Estonia
FI	Finland
FR	France
GE	Germany
GR	Greece
HU	Hungary
IR	Ireland
IT	Italy
LA	Latvia
LI	Lithuania
MA	Malta
MJ	Montenegro
NL	Netherlands
NO	Norway
PD	Poland
PL	Portugal
RO	Romania
RS	Serbia
FY	Fyrom
SK	Slovakia
SN	Slovenia
SP	Spain
SV	Sweden
SW	Switzerland
UK	United Kingdom
RU	Russia
LX	Luxemburg

Πίνακας 3:Συντομογραφία των ονομάτων των Ευρωπαϊκών χωρών που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του δικτύου.

Πέρα από τις ευρωπαϊκές χώρες χρησιμοποιήθηκαν και κάποιες ακόμα για να προσομοιωθεί η αλληλεπίδραση ολόκληρου του ευρωπαϊκού συστήματος με γειτονικές χώρες. Ωστόσο μόνο οι χώρες εντός της Ε.Ε. μελετώνται αναλυτικά. Οι κόμβοι εκτός Ε.Ε. χρησιμοποιούνται μόνο για να αποτυπώσουν τις εισαγωγές-εξαγωγές της Ε.Ε. με χώρες εκτός της Ένωσης.

TU	Turkey
AF	Africa

ME	Middle East
----	-------------

Πίνακας 4: Συνομογραφία των ονομάτων των χωρών εκτός Ευρώπης που χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του δικτύου

Ακολουθεί αναλυτική περιγραφή της διαδικασίας που ακολουθήσαμε και των παραδοχών που χρησιμοποιήθηκαν στην οικοδόμηση του μοντέλου μας :

- Αρχικά έχοντας ως βάση τον χάρτη του 'Energynautics' με τους 216 κόμβους δόθηκε στον κάθε κόμβο μια τυπική ονομασία , αναλόγως τη χώρα στην οποία άνηκε και τον αριθμό των κόμβων που βρίσκονταν εντός των συνόρων της χώρας (π.χ GR1, GR2 , GR3 είναι οι τρεις κόμβοι της Ελλάδας).
- Πραγματοποιήθηκε λεπτομερής αντιστοίχιση των κόμβων σε περιοχή της χώρας, δηλαδή σε κάθε κόμβο δόθηκε μια διεύθυνση(node address). Η αντιστοίχιση αυτή έγινε με τη βοήθεια του αναλυτικού χάρτη του δικτύου μεταφοράς του Entso-e (Transmission System Map) ο οποίος είναι διαθέσιμος στη ιστοσελίδα του Entso-e (<https://www.entsoe.eu/map/Pages/default.aspx>). Να σημειωθεί πως όταν ξεκίνησε αυτή η διαδικασία υπήρχε διαθέσιμος ο χάρτης με τελευταία ενημέρωση για την τοπολογία του δικτύου το 2014, ενώ στη συνέχεια ενημερώθηκε ο χάρτης για τη μορφή του δικτύου το 2016, οπότε ελέγχθηκαν ξανά και ενημερώθηκαν όλες οι συνδέσεις με βάση τον καινούριο χάρτη. Φροντίσαμε η κάθε περιοχή που αντιπροσωπεύει ο κόμβος να περιλαμβάνει σημαντικά κέντρα παραγωγής (μεγάλες μονάδες που βρίσκονται κοντά στον κόμβο) καθώς και σημαντικά κέντρα ζήτησης (πόλεις με μεγάλο πληθυσμό). Στενά συνδεδεμένα κέντρα ζήτησης και παραγωγής συγχωνεύονται και αντιστοιχούν σε έναν κόμβο. Κάτι τέτοιο κρίνεται απαραίτητο καθώς πολύ μικρές γραμμές μεταφοράς στο δίκτυο θα μπορούσαν να προκαλέσουν κακή κλιμάκωση στον υπολογισμό της ροής ισχύος. Αναλυτικά όλοι οι κόμβοι , με τις τυπικές τους ονομασίες και τις διευθύνσεις , παρατίθενται στον Πίνακα 91 στο Παράρτημα Α.
- Χρησιμοποιώντας τον χάρτη του Entso-e αποτυπώθηκαν όλες οι συνδέσεις μεταξύ των κόμβων και αναγνωρίστηκε το επίπεδο τάσης της κάθε σύνδεσης καθώς και το πλήθος των γραμμών.
- Απαραίτητη πληροφορία ήταν η χιλιομετρική απόσταση της εκάστοτε σύνδεσης, η οποία και υπολογίστηκε με λεπτομέρεια με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού εργαλείου μέτρησης της απόστασης (www.distancecalculator.net).
- Για τις DC συνδέσεις του δικτύου δε χρειάστηκε να γίνουν προσεγγίσεις αφού είναι γνωστή η μέγιστη μεταφορική ικανότητα ισχύος άρα σημειώθηκαν τα αντίστοιχα MW για κάθε γραμμή. Σε περίπτωση που στην ίδια σύνδεση υπήρχαν και DC και AC γραμμή, τότε η καταγραφή τους γινόταν ξεχωριστά.
- Να σημειωθεί ότι επειδή χρησιμοποιούμε τη DC μέθοδο ροής φορτίου πρέπει να υπολογίσουμε την αντίδραση (X) και τη μέγιστη μεταφορική ικανότητα κάθε γραμμής. Αν και οι ηλεκτρικές παράμετροι των γραμμών μεταφοράς δεν είναι δημόσια διαθέσιμες, εκτιμήθηκαν από το μήκος και το επίπεδο τάσης των γραμμών γνωρίζοντας τις τυπικές τιμές των αντιδράσεων ανά

χιλιομετρική απόσταση. Η διαδικασία αυτή περιγράφεται αναλυτικά στην επόμενη ενότητα.

4.3.2 Υπολογισμός αντίδρασης X και μεταφορικής ικανότητας

Όπως προαναφέραμε οι ηλεκτρικές παράμετροι των γραμμών μεταφοράς εκτιμήθηκαν από το μήκος και το επίπεδο τάσης των γραμμών, γνωρίζοντας τις τυπικές τιμές των αντιδράσεων ανά χιλιομετρική απόσταση. Πιο συγκεκριμένα σε κάθε επίπεδο τάσης αντιστοιχίζεται μια τυπική τιμή αντίδρασης ανά χιλιόμετρο και μια τυπική μέγιστη μεταφορική ικανότητα ισχύος όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα. Οι τιμές αυτές για την Γερμανία βρέθηκαν από παλιότερη μελέτη (Egerer *et al.*, 2014). Για την Αυστρία και το Βέλγιο οι αντίστοιχοι TSOs παρείχαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία των γραμμών, από τα οποία υπολογίστηκε και χρησιμοποιήθηκε ο μέσος όρος ως τυπική τιμή για τις τάσεις 380kV και 220kV που επικρατούν. Ομοίως για τη Γαλλία που έχει επιπλέον επίπεδο τάσης 225kV και τη Δανία με επίπεδα τάσης 132kV και 165kV. Για τα υπόλοιπα επίπεδα τάσης έγινε εκτίμηση με βάση τις τιμές που υπήρχαν διαθέσιμες.

Επίπεδο Τάσης (kV)	Τυπική τιμή X/km	Μέγιστη μεταφορική ικανότητα (MVA)
132	0,58	202
150	0,52	298
165	0,46	394
220	0,4	490
225	0,37	490
275	0,36	792,5
300	0,35	1095
330	0,34	1397,5
380	0,33	1700
400	0,3	1850
110	0,62	350

Πίνακας 5: Τυπικές τιμές των χαρακτηριστικών των γραμμών που χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της μέγιστης μεταφορικής ικανότητας των ισοδύναμων γραμμών.

Για κάθε σύνδεση που υπάρχει στο δίκτυο μας, έχουμε σημειώσει το επίπεδο τάσης και το πλήθος των γραμμών. Η αντίδραση λοιπόν κάθε ισοδύναμης γραμμής η οποία μπορεί να περιλαμβάνει γραμμές σε διαφορετικά επίπεδα τάσης, υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο.

$$\frac{1}{X_{\tau\epsilon\lambda}} = \sum_{i=1}^{10} \frac{\text{πλήθος γραμμών επιπέδου τάσης } V_i}{\frac{X_i * l}{V_i^2 / 1000}}$$

Για τους υπολογισμούς θεωρήσαμε: $S_B = 1000MVA$ $V_B = 380kV$

V_i : τάση επιπέδου i

X_i : τυπική τιμή αντίδρασης για κάθε επίπεδο τάσης

l : χιλιομετρική απόσταση μεταξύ των δυο κόμβων

$X_{τελ}$: η αντίδραση της ισοδύναμης γραμμής ανά μονάδα

S_B : βάση ισχύος

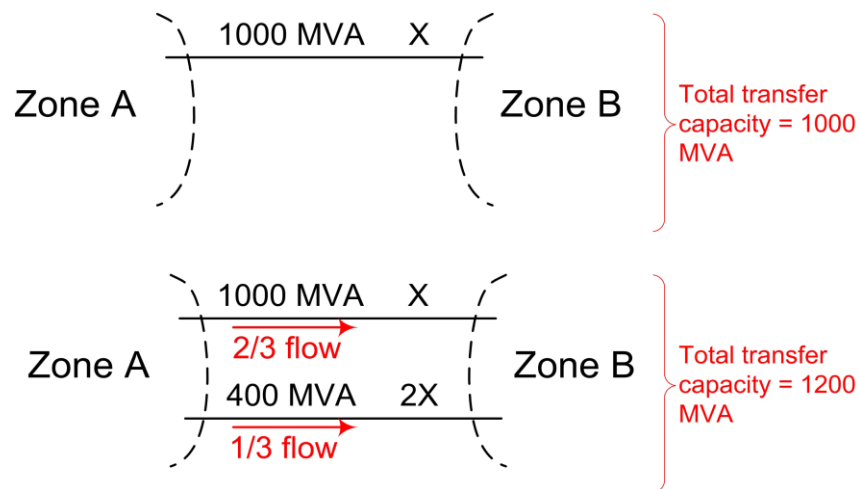
V_B : βασική τάση

Η ροή ισχύος της κάθε γραμμής διασύνδεσης υπολογίζεται ως εξής :

$$Flow\ limit_{επιπέδου\ τάσης} = 0,9 * MVA_{τυπικά} * \frac{\text{πλήθος γραμμών στο επίπεδο τάσης } V_i}{X_i X_{τελ}}$$

$$Flow\ limit_{γραμμής} = \min(Flow\ limit_{επιπέδου\ τάσης1}, Flow\ limit_{επιπέδου\ τάσης2} \dots)$$

Ο τρόπος υπολογισμού της μέγιστης μεταφορικής ικανότητας που περιγράψαμε παραπάνω απεικονίζεται και σχηματικά με ένα παράδειγμα στην Εικόνα 5.



Εικόνα 7: Παράδειγμα υπολογισμού μέγιστης μεταφορικής ικανότητας γραμμών μεταφοράς
Πηγή: (Bekaert et al., 2009)

Με τη διαδικασία αυτή λοιπόν, δημιουργήσαμε μια βάση δεδομένων όπου για όλες τις συνδέσεις κόμβων που υπάρχουν στο δίκτυο μας έχει υπολογιστεί η αντίδραση(X_i) και η μέγιστη μεταφορική ικανότητα($flow\ limit$)

4.3.3 Επέκταση δικτύου στο μέλλον

Ένας από τους βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν την κατάσταση του Ευρωπαϊκού δικτύου τα επόμενα έτη είναι οι αποφάσεις επενδύσεων από τους διαχειριστές του δικτύου της κάθε χώρας, με στόχο την αναβάθμιση και επέκταση των δικτύων τους. Ένα μακροπρόθεσμο σχέδιο ανάπτυξης του δικτύου είναι μία από τις βασικές αποστολές του κάθε διαχειριστή συστήματος μεταφοράς. Αυτό τους επιτρέπει να προσαρμόσουν δίκτυα για την εξέλιξη της ζήτησης και της παραγωγής, εξασφαλίζοντας μια προσιτή παροχή ενέργειας για τους πελάτες κατά τις επόμενες δεκαετίες. Σύμφωνα με το Ten Year Network Development Plan (TYNDP), οι κύριοι παράγοντες που καθορίζουν τις επενδύσεις του δικτύου είναι η ενεργειακή ασφάλεια, η ενσωμάτωση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και η ανάπτυξη των εσωτερικών αγορών. Δεδομένου ότι στην παρούσα εργασία μελετάμε και μελλοντικά έτη οι επενδύσεις αυτές κρίνεται απαραίτητο να ληφθούν υπόψη στην ανάλυση του δικτύου στο μέλλον.

Για την μελέτη των επενδύσεων του δικτύου βασιστήκαμε στο Δεκαετές Πρόγραμμα Ανάπτυξης του Δικτύου για το 2016 (TYNDP). Το TYNDP αποτελεί το κλειδί για πολλούς από τους οικονομικούς, κλιματικούς και ενεργειακούς στόχους της Ευρώπης. Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δύο ετών οι ειδικοί ENTSO-E από όλη την Ευρώπη, συνεργάστηκαν για την ανάπτυξη του ευρωπαϊκού σχεδίου. Το TYNDP 2016 επικεντρώνεται σε δύο χρονικούς ορίζοντες: το 2020 και το 2030 χρησιμοποιώντας ως πλαίσιο το πώς θα μοιάζει το ενεργειακό τοπίο στα έτη αυτά ενώ για το 2015 έχουν επανεξεταστεί. Οι εκθέσεις λοιπόν αυτές, περιλαμβάνουν τις κύριες προκλήσεις, υποδομές και τις ανάγκες της κάθε περιοχής στην Ευρώπη μέχρι το 2030.

Έχοντας στη διάθεση μας την τελευταία έκδοση του TYNDP για το 2016 έγινε μια λεπτομερής μελέτη όσον αφορά τις επενδύσεις ή τις ενισχύσεις γραμμών στο μέλλον. Οι επενδύσεις αυτές χωρίζονται σε 4 κατηγορίες με βάση το TYNDP.

Οι 2 πρώτες κατηγορίες αφορούν τις δεδομένες επενδύσεις, με έτος πραγματοποίησης τους αυτό που αναγράφεται στη λίστα του TYNDP.

- Under construction
- Design and permitting

Οι άλλες δυο κατηγορίες θεωρούνται υποψήφιες για επένδυση και όχι δεδομένες.

- Under consideration
- Planning

Έχοντας μελετήσει λοιπόν αναλυτικά την λίστα με τις δεδομένες και υποψήφιες επενδύσεις ξεχωρίσαμε εκείνες που αφορούν γραμμές σύνδεσης του δικτύου μας ή επενδύσεις που έμμεσα επηρεάζουν γραμμές του δικτύου. Σε κάθε έτος στη βάση δεδομένων που είχαμε δημιουργήσει εάν υπήρχε κάποια καινούργια επένδυση ή

κάποια γραμμή υπό κατασκευή η οποία ολοκληρωνόταν την χρονιά αυτή, γινόντουσαν οι κατάλληλες αλλαγές στις υπάρχουσες συνδέσεις και προσθήκες νέων γραμμών.

Επιπλέον το TYNDP παρέχει πληροφορίες και για την αναβάθμιση μετασχηματιστών σε διάφορες γραμμές διασύνδεσης με στόχο να επιτευχθεί η ονομαστική μεταφορική ικανότητα στις γραμμές που συνδέονται σε αυτούς. Στις γραμμές αυτές λοιπόν, περιορίσαμε την μεταφορική ικανότητα ώστε να είναι λίγο μικρότερη από την ονομαστική και να γίνεται ίση το έτος που πραγματοποιείται η επένδυση στον μετασχηματιστή. Τέλος στη λίστα διακρίναμε γραμμές οι οποίες δεν χρησιμοποιούνται πλήρως το έτος 2016, αλλά μπορούν να αξιοποιήσουν μελλοντικά την πλήρη μεταφορική τους ικανότητα. Ακολουθώντας παρόμοια διαδικασία περιορίσαμε τη μεταφορική τους ικανότητα να είναι μικρότερη από τη μέγιστη τιμή της και να γίνεται ίση το έτος που αναγράφεται από το TYNDP.

Αποτέλεσμα της μελέτης αυτής ήταν η δημιουργία μιας βάσης δεδομένων που υπολογίζει την αντίδραση και την μέγιστη μεταφορική ικανότητα των γραμμών για το 2015 και το 2030 περιλαμβάνοντας όλες τις δεδομένες και πιθανές επενδύσεις του ευρωπαϊκού δικτύου. Τα δεδομένα αυτά αποτελούν τα βασικά μας εργαλεία για την υλοποίηση των σεναρίων που θα μελετήσουμε στο επόμενο κεφάλαιο.

4.3.4 Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στους κόμβους του δικτύου

Επόμενο βήμα στην οικοδόμηση του μοντέλου μας ήταν η κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος στους διαθέσιμους κόμβους του δικτύου. Οι τύποι καυσίμου των μονάδων παραγωγής ενέργειας και η παραγωγική τους ικανότητα σχετίζονται στενά με τις εξόδους τους και ως εκ τούτου επηρεάζουν τις ροές ενέργειας. Αυτά τα δεδομένα όμως είναι ευαίσθητα, επειδή μπορεί να αντανακλούν το οριακό κόστος παραγωγής των γεννητριών. Στο μοντέλο μας έχει γίνει μια ταξινόμηση των μονάδων σε πυρηνικές μονάδες (nuclear), μονάδες φυσικού αερίου(gas), στερεών καυσίμων (solids) και σε ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (ΑΠΕ) που περιλαμβάνουν αιολικά πάρκα, φωτοβολταϊκά, υδροηλεκτρικά κλπ.

Από τη βάση δεδομένων των εγκατεστημένων μονάδων παραγωγής ενέργειας PLATTS έχουμε την πληροφορία για τη γεωγραφική θέση του κάθε σταθμού παραγωγής αλλά και την εγκατεστημένη ισχύ του. Όπως αναφέραμε στην αρχή του κεφαλαίου, κάθε κόμβος έχει αντιστοιχηθεί σε κάποια περιοχή (node address), επομένως ήταν εύκολο να γίνει μια γεωγραφική αντιστοίχιση της εγκατεστημένης ισχύος σε κάθε κόμβο. Έχοντας ολοκληρωθεί η διαδικασία αυτή, έχουμε την κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος στους κόμβους του λεπτομερούς μας δικτύου για το 2015, η οποία μας επιτρέπει πιθανό έλεγχο και αναβάθμιση στο μέλλον.

Δεδομένου ότι το δίκτυο μας μελετάται και για μελλοντικά χρόνια (2030) , πρέπει να γίνει κατανομή και των μελλοντικών μονάδων παραγωγής. Όσον αφορά τους σταθμούς παραγωγής, έχοντας στη διάθεση μας από τα διάφορα σενάρια του PRIMES την πληροφορία για την εγκατεστημένη ισχύ τους, αντιστοιχήθηκαν γεωγραφικά στον

κατάλληλο κόμβο. Πιο αναλυτικά η διαδικασία κατανομής για κάθε κατηγορία μονάδων παραγωγής του μέλλοντος περιγράφεται παρακάτω.

- Πυρηνικές μονάδες : Για τις περισσότερες μελλοντικές πυρηνικές μονάδες είχαμε γνωστά δεδομένα για τη γεωγραφική τους θέση.
- Μονάδες φυσικού αερίου: Η κατανομή των μονάδων φυσικού αερίου στο μέλλον έγινε με βάση της κατανομή του πληθυσμού. Δηλαδή, η πλειοψηφία των νέων μονάδων φροντίσαμε να βρίσκεται κοντά στα μεγάλα κέντρα ζήτησης ενέργειας.
- Μονάδες στερεών καυσίμων: Η κατανομή των στερεών ακολούθησε την ήδη υπάρχουσα κατανομή, ενώ λήφθηκε υπόψιν και η απόσυρση παλαιών μονάδων.
- ΑΠΕ: Η κατανομή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας μέχρι το 2020 έγινε με βάση την πληροφορία που μας παρείχαν τα δεδομένα του PLATTS. Μετά το 2020, η κατανομή τους έγινε ανάλογα με τις δυνατότητες της κάθε περιοχής, οι οποίες μελετήθηκαν από τον χάρτη ή άλλες διαθέσιμες μελέτες και από τη βάση δεδομένων IRENA. Για κάποιες χώρες υπήρχε ειδική πληροφορία για την κατανομή των ΑΠΕ όπως για τη Γερμανία όπου λάβαμε τις πληροφορίες μας από τη μελέτη (Egerer *et al.*, 2014) και για την Ιταλία από τη μελέτη (Terna, 2016) Αν δεν είχαμε στη διάθεση μας καμία από τις παραπάνω πληροφορίες η κατανομή σταθμών παραγωγής από ΑΠΕ ακολουθούσε την κατανομή που προβλέπεται εάν ληφθούν υπόψη όλες οι υποψήφιες μελλοντικές επενδύσεις που περιλαμβάνει η βάση δεδομένων PLATTS.

4.3.5 Κατανομή της ζήτησης στους κόμβους του δικτύου

Τελευταίο βήμα είναι η κατανομή της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στους κόμβους του δικτύου μας. Με βάση τα στοιχεία της Eurostat η ζήτηση χωρίζεται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Οικιακή (νοικοκυριά)
- Βιομηχανία
- Τριτογενής τομέας (υπηρεσίες)

Έχοντας ως πηγή δεδομένων τη Eurostat για το 2015 έχουμε στη διάθεση μας αναλυτικά στοιχεία ζήτησης, όπως το μέγεθος της ζήτησης, το είδος (οικιακή, βιομηχανική, τριτογενής τομέας), και την περιοχή στην οποία υπάρχει η συγκεκριμένη ζήτηση ενέργειας. Με τη βοήθεια των δεδομένων αυτών λοιπόν, αφού έγινε μια γεωγραφική αντιστοίχιση των περιοχών της Eurostat με τις περιοχές που αντιπροσωπεύουν οι κόμβοι, στη συνέχεια ήταν εύκολο για κάθε κόμβο του δικτύου μας να προκύψει η αντίστοιχη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για το 2015. Σε περίπτωση που η αντιστοίχιση αυτή δεν ήταν απόλυτη, δηλαδή κάποια περιοχή της Eurostat άνηκε γεωγραφικά σε δυο κόμβους, η ζήτηση της περιοχής διαμοιραζόταν στον κάθε κόμβο με βάση τον εκάστοτε πληθυσμό.

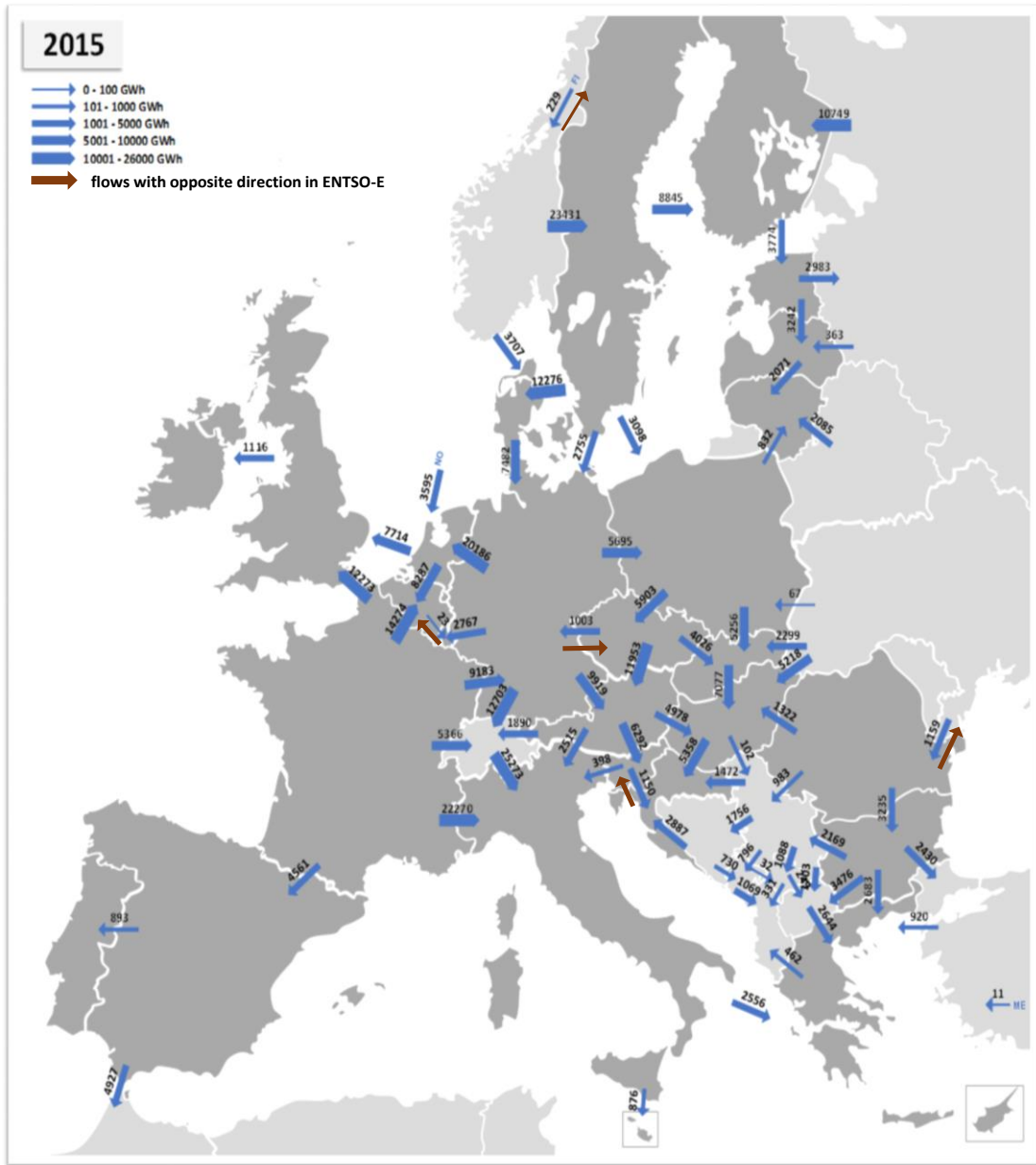
Σχετικά με τη μελλοντική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας στους κόμβους, πηγή δεδομένων ήταν τα σενάρια του PRIMES από τα οποία έχουμε την απαραίτητη

πληροφορία για τη ζήτηση των μελλοντικών ετών. Έγινε και πάλι μια αντιστοίχιση των κόμβων με την αντίστοιχη ζήτηση της περιοχής σε αναλογία με την κατανομή της ζήτησης του 2015.

4.4 Επαλήθευση του μοντέλου

Για να επιβεβαιωθούμε ότι το λεπτομερές δίκτυο που υλοποιήσαμε ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, έγιναν αρκετές δοκιμές χρησιμοποιώντας το ως δίκτυο μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας στο μοντέλο Primes. Περαιτέρω τροποποιήσεις μπορούν να γίνουν για να φέρουν το δίκτυο δοκιμών πιο κοντά στο πραγματικό σύστημα έτσι ώστε στην τελική μορφή του δικτύου οι ροές ενέργειας που προκύπτουν από το δίκτυο μας να μπορούν να συγκριθούν με πραγματικές. Δυνατόν μικροαλλαγές στο μοντέλο μπορεί να είναι η αύξηση / μείωση της παραγωγής σε ορισμένες περιοχές εντός των ορίων ή αύξηση / μείωση του φορτίου σε ορισμένη θέση ώστε να ταιριάζει με τον τοπικό πληθυσμό με μεγαλύτερη ακρίβεια. Μέτρο σύγκρισης των ροών που προκύπτουν από το μοντέλο μας για το 2015 ήταν οι αντίστοιχες ροές του 2015 σύμφωνα με τον Entso-e.

Η σύγκριση αυτή των ροών αποτυπώνεται στην Εικόνα 6 . Οι ροές ενέργειας με μπλε χρώμα παριστάνουν αυτές που προέκυψαν από την προσομοίωση του δικτύου που δημιουργήσαμε και είναι σύμφωνες με εκείνες του Entso-e, ενώ με κόκκινο χρώμα παριστάνονται οι ροές ενέργειας του Entso-e στις περιπτώσεις που έχουν διαφορετική κατεύθυνση από αυτές του μοντέλου μας. Όπως είναι λογικό οι ροές του δικτύου μας έχουν κάποια απόκλιση στις τιμές τους από τις αντίστοιχες του Entso-e, ωστόσο τα αποτελέσματα κρίνονται ικανοποιητικά ώστε το μοντέλο να μπορεί χρησιμοποιηθεί για τον σκοπό της παρούσας εργασίας.



Εικόνα 8: Σύγκριση αποτελεσμάτων ροών ενέργειας στο λεπτομερές δίκτυο με τις πραγματικές ροές με βάση τον Entso-e

Κεφάλαιο 5. Εξέλιξη ενεργειακού συστήματος

5.1 Περιγραφή σεναρίου decarb

Οι πολιτικές και τα μέτρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την επίτευξη των ενεργειακών στόχων το 2030 είναι φιλόδοξες. Η ΕΕ έχει δεσμευθεί να μειώσει τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου σε ποσοστό 90% το 2050 σε σχέση με τα επίπεδα του 1990, με στόχο τη μετάβαση σε μια ανταγωνιστική οικονομία χαμηλών επιπέδων ανθρακούχων εκπομπών. Οι προκλήσεις που θέτει η επίτευξη του στόχου της ΕΕ για την απαλλαγή από τις εκπομπές διοξειδίων του άνθρακα διερευνώνται εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα την ασφάλεια του ενεργειακού εφοδιασμού και την ανταγωνιστικότητα.

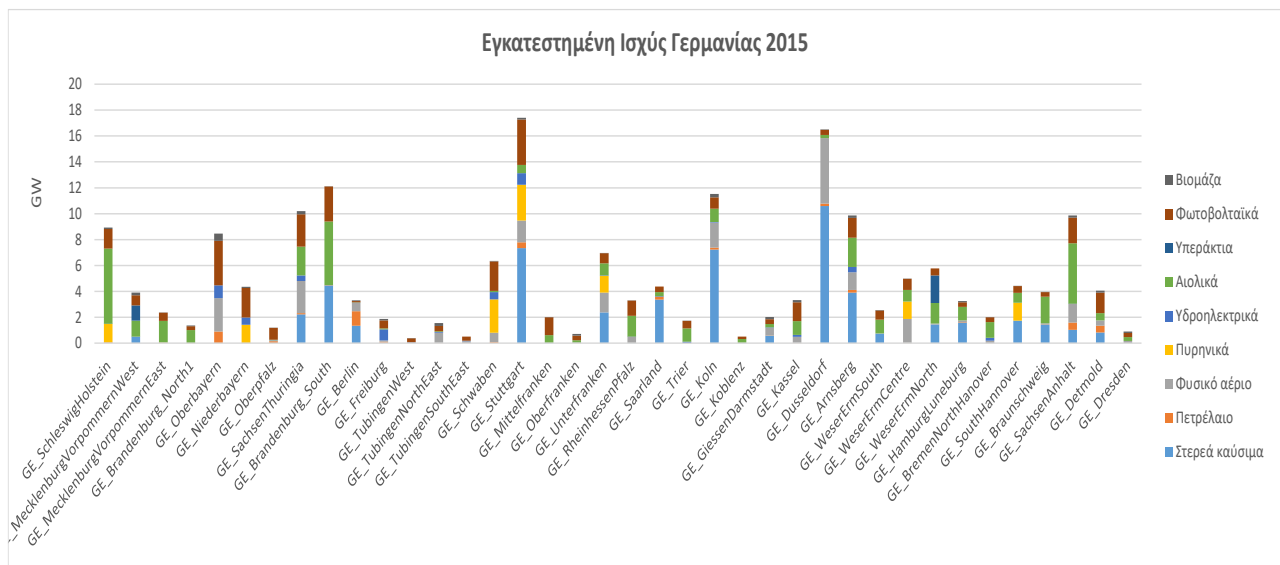
Το σενάριο decarb (DEC) αντιστοιχεί στο σενάριο EUCO27 της Ε.Ε (E3mlab/NTUA and IIASA 2016). Είναι ουσιαστικά ένα σενάριο χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, το οποίο έχει σχεδιαστεί για να καλύψει το μερίδιο των ΑΠΕ σε ποσοστό 27%, την ενεργειακή απόδοση κατά 27% και τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 40% το 2030 (σε σχέση με το 1990), τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 30% (σε σχέση με το 2005) και τη μείωση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα κατά 43% (από το 2005). Ο στόχος για το 2050 ορίζεται να είναι 90% μείωση εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σε σχέση με το 1990.

Στην παρούσα εργασία τα σενάρια που εξετάζουμε είναι decarb συνεπώς στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μια παρουσίαση και σύγκριση της εγκατεστημένης ισχύος των χωρών που μελετάμε για το 2015 και 2030. Οι πηγές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας τις οποίες εξετάζουμε για κάθε χώρα είναι:

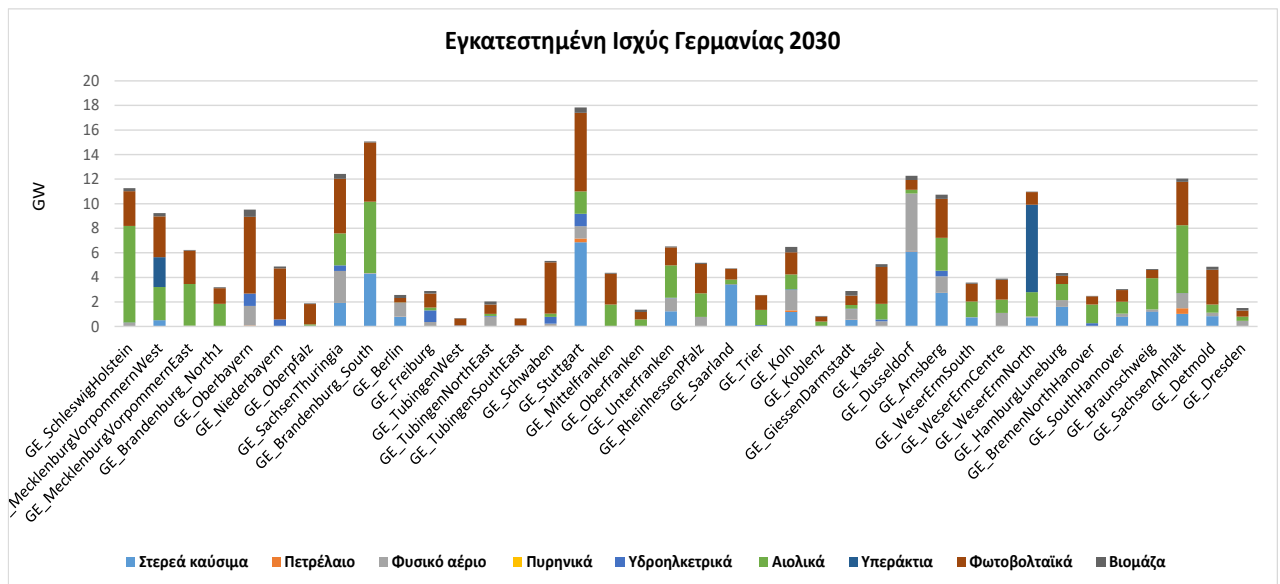
- Στερεά καύσιμα
- Πετρέλαιο
- Φυσικό αέριο
- Πυρηνικά
- Υδροηλεκτρικά
- Αιολικά
- Υπεράκτια
- Φωτοβολταϊκά
- Βιομάζα

5.2 Παρουσίαση της κατανομής εγκατεστημένης ισχύος στις χώρες της κεντρικής Ευρώπης

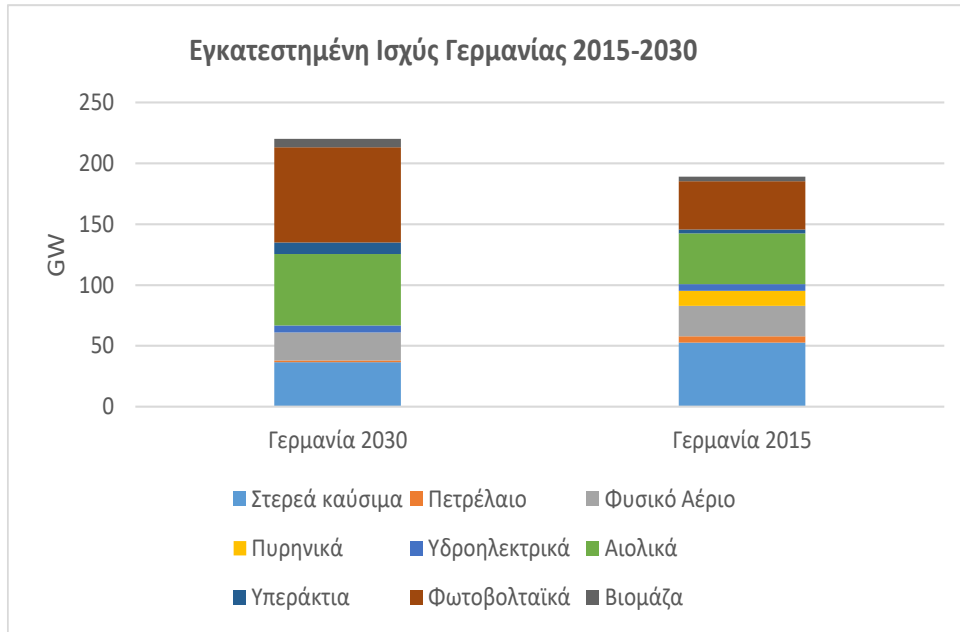
5.2.1 Γερμανία



Εικόνα 9: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στις περιοχές της Γερμανίας το 2015



Εικόνα 10: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στις περιοχές της Γερμανίας το 2030

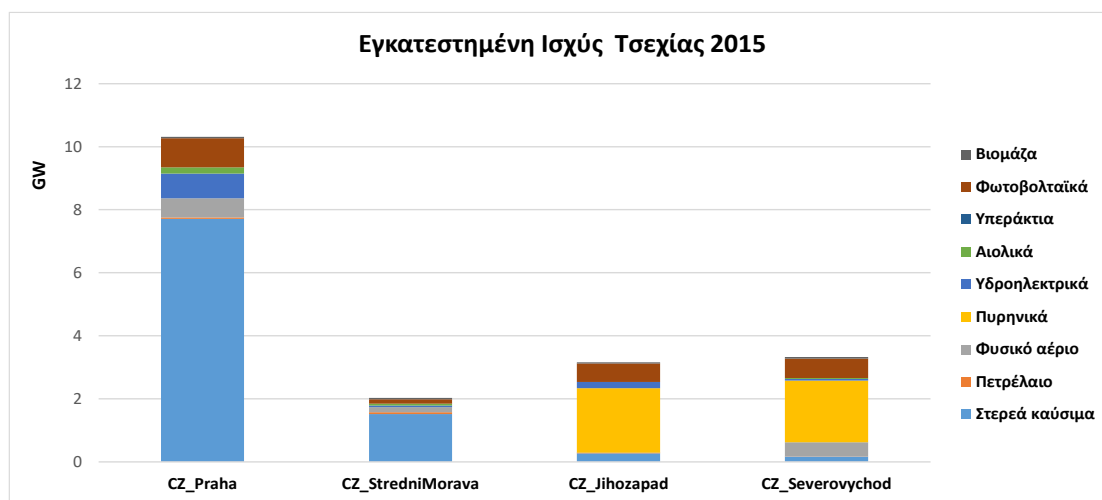


Εικόνα 11: Σύγκριση εγκατεστημένης ισχύος της Γερμανίας για το 2015 και το 2030

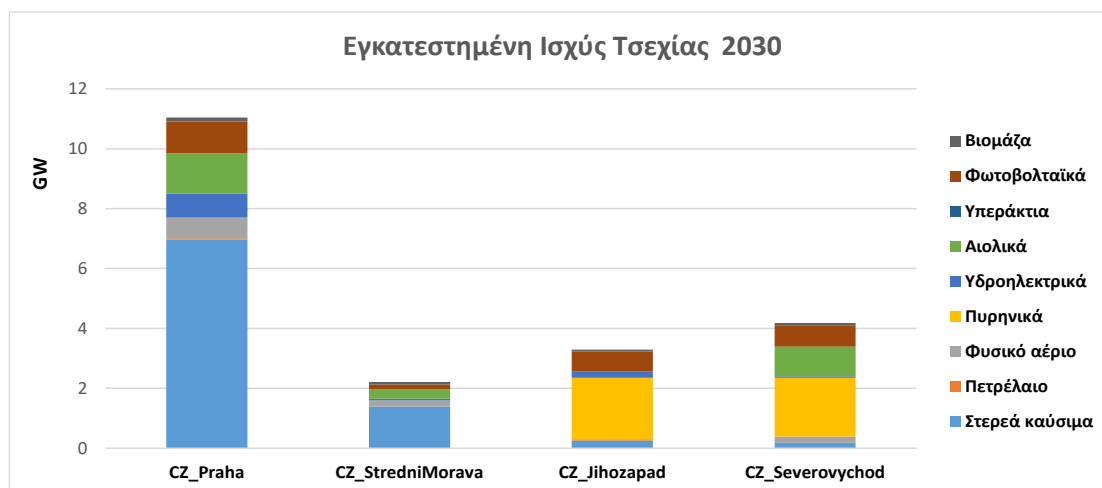
Μελετώντας τα παραπάνω διαγράμματα και εστιάζοντας στις κύριες πηγές ενέργειας της χώρας, κάνουμε μια σύγκριση της εγκατεστημένης ισχύος της Γερμανίας για τα σενάρια decarb2015 και decarb2030 (σενάριο decarb για τα έτη 2015 και 2030 αντίστοιχα). Από τα αποτελέσματα λοιπόν διακρίνουμε μια αύξηση των αιολικών κατά 40% και των φωτοβολταϊκών κατά 97% το 2030. Μείωση κατά 30% παρουσιάζει η ισχύς από στερεά καύσιμα ενώ το φυσικό αέριο παρουσιάζει μη αξιοσημείωτη μεταβολή.

Από τις περιοχές της Γερμανίας υψηλότερη εγκατεστημένη ισχύ διαθέτει η GE_Stuttgart προερχόμενη κυρίως από στερεά καύσιμα, φωτοβολταϊκά και αιολικά τα οποία αυξάνει σημαντικά το 2030. Υψηλή ισχύ διαθέτει και η περιοχή GE_Brandenburg_South εξαπλασιάζοντας το 2030 τα φωτοβολταϊκά, όπως και η GE_SachsenThuringia, από την οποία ξεκινά και ένα από τα σημαντικότερα loop flows. Τέλος μια από τις περιοχές στις οποίες παρατηρείται μείωση της εγκατεστημένης ισχύος από στερεά καύσιμα το 2030 είναι το GE_Dusseldorf εμφανίζοντας μια πτώση της τάξης του 42%, ενώ κάτι ανάλογο συμβαίνει και με την περιοχή GE_Koln.

5.2.2 Τσεχία



Εικόνα 12: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στις περιοχές της Τσεχίας το 2015

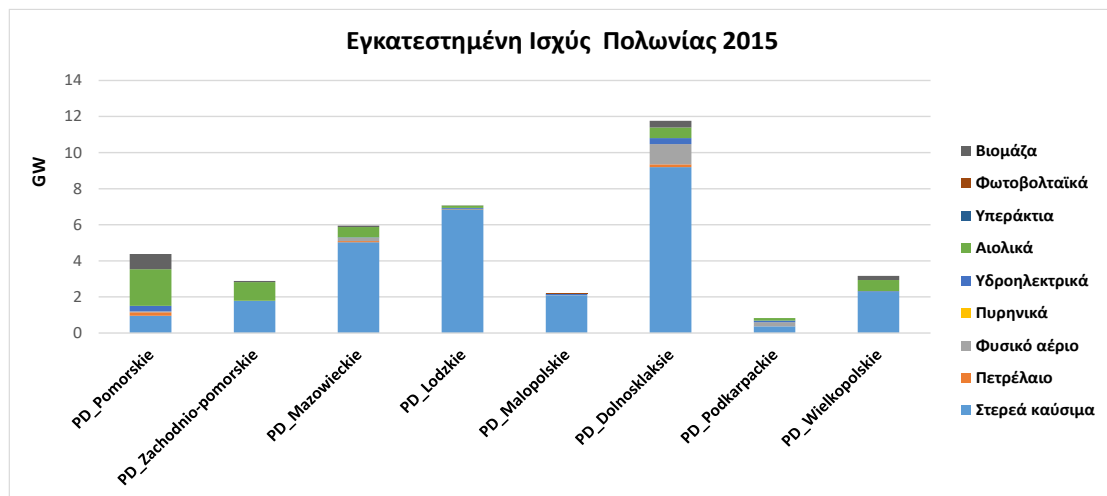


Εικόνα 13 Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στις περιοχές της Τσεχίας το 2030

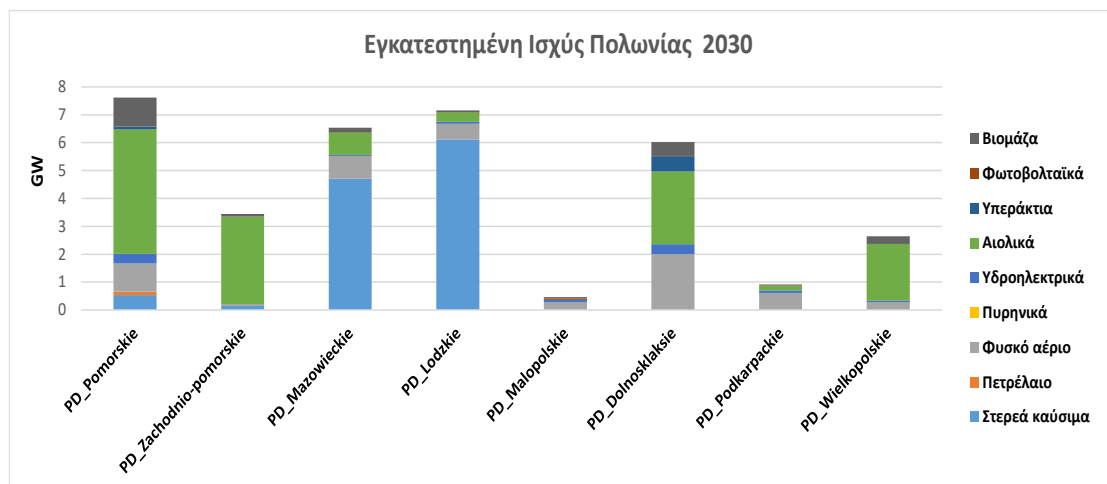
Μελετώντας την εγκατεστημένη ισχύ της Τσεχίας για το 2015 και το 2030 δεν παρατηρούμε κάποια σημαντική αλλαγή στο σύνολο της χώρας. Αύξηση παρουσιάζει μόνο η εγκατεστημένη ισχύς από αιολικά τα οποία είναι ελάχιστα το 2015, ενώ οι υπόλοιπες πηγές ενέργειας διατηρούν σταθερές τις ισχύς τους.

Ως προς τις περιοχές μεγαλύτερη εγκατεστημένη ισχύ, όπως ήταν αναμενόμενο, διαθέτει η CZ_Praha προερχόμενη κατά βάση από στερεά καύσιμα ενώ μικρή αύξηση λόγω ανέμου παρουσιάζει η περιοχή CZ_Severovychod το 2030.

5.2.3 Πολωνία



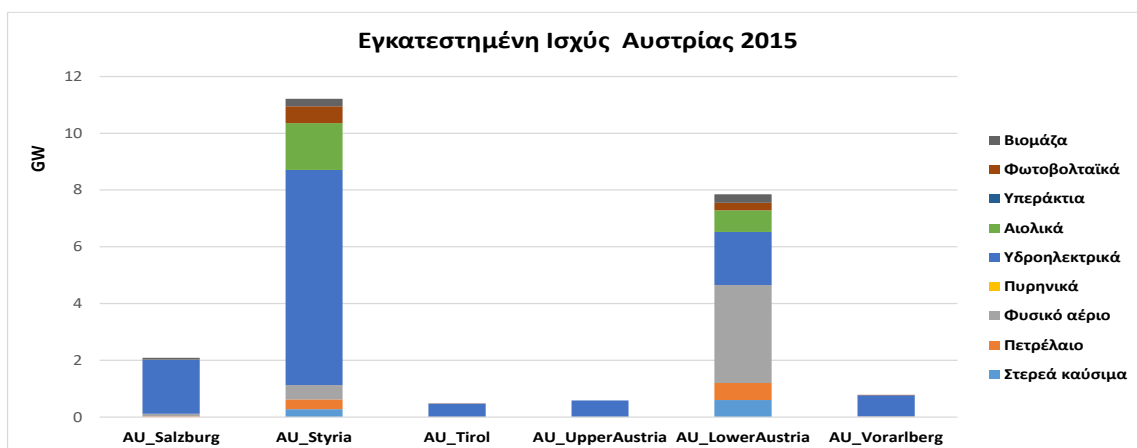
Εικόνα 14: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στις περιοχές της Πολωνίας το 2015



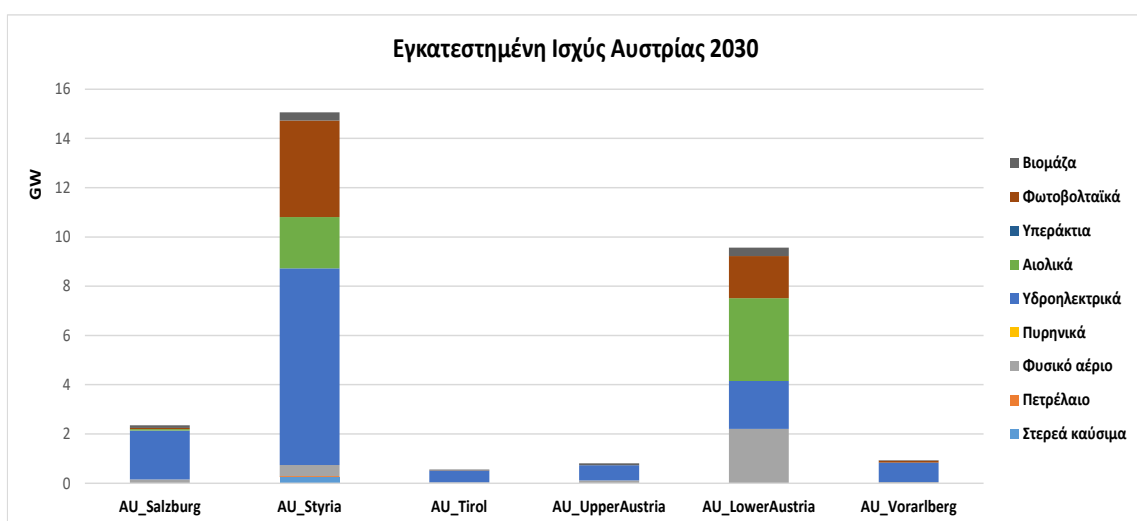
Εικόνα 15: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στις περιοχές της Πολωνίας το 2030

Από την εγκατεστημένη ισχύ της Πολωνίας το 2030 βλέπουμε να αυξάνονται τα αιολικά, τα οποία σχεδόν διπλασιάζονται ενώ μειώνεται στο 30% η ισχύς από στερεά καύσιμα. Μελετώντας τις περιοχές στις οποίες έχουμε χωρίσει την Πολωνία, διακρίνουμε αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά στις PD_Romorskie και PD_Lodzkie, ενώ μείωση που προέρχεται από τα στερεά καύσιμα παρατηρείται στη PD_Dolnoslaskie.

5.2.4 Αυστρία



Εικόνα 16: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στις περιοχές της Αυστρίας το 2015

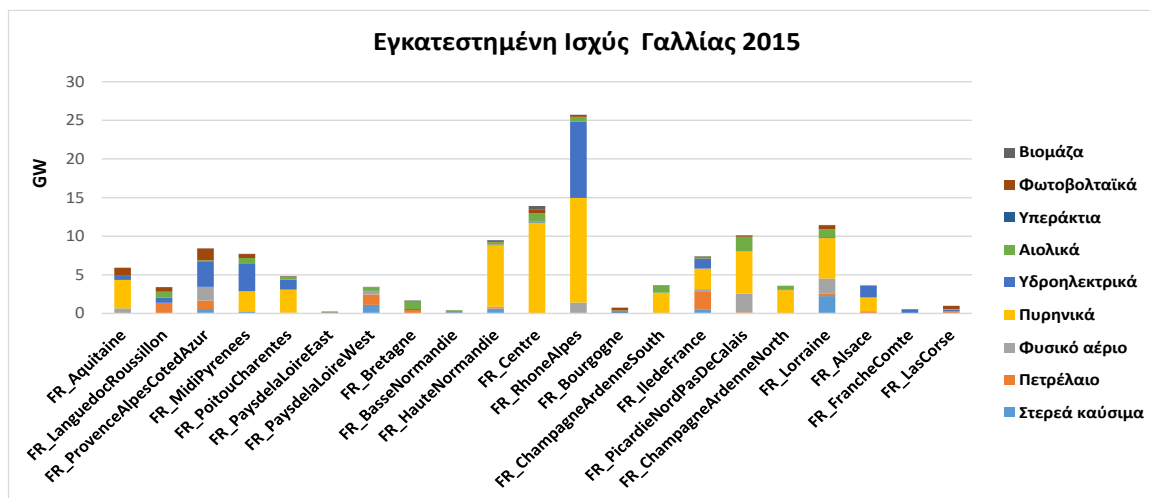


Εικόνα 17: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στις περιοχές της Αυστρίας το 2030

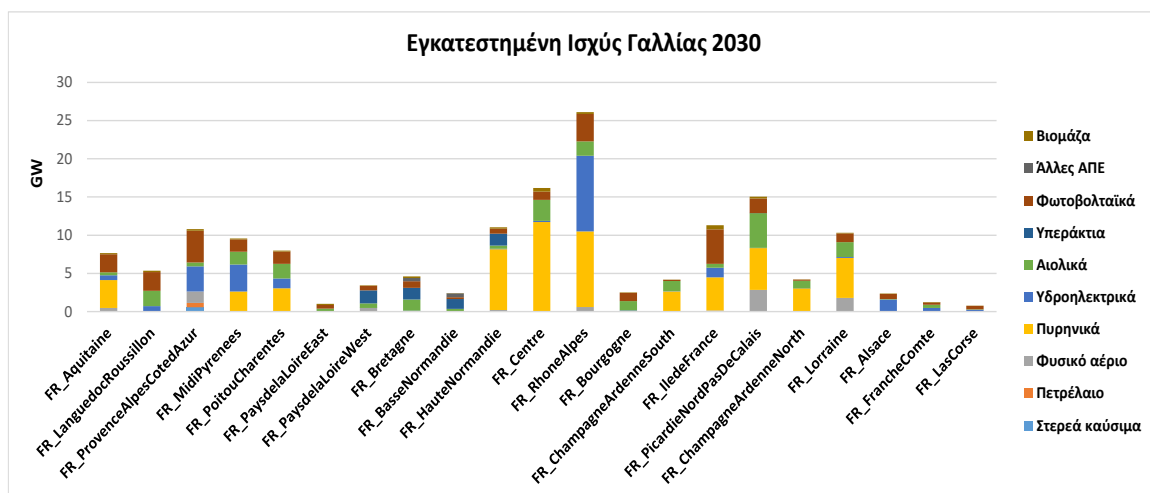
Όπως φαίνεται και από τα διαγράμματα, η εγκατεστημένη ισχύς από ΑΠΕ στην Αυστρία δεν παρουσιάζει μεγάλες αλλαγές για το 2015 και 2030. Αύξηση παρατηρείται στα αιολικά που διπλασιάζονται και στα φωτοβολταϊκά, τα οποία πενταπλασιάζονται αφού το 2015 ήταν σε αρκετά χαμηλά επίπεδα. Στην Αυστρία παρατηρούμε το μεγαλύτερο μέρος της ενέργειας από ΑΠΕ να προέρχεται από υδροηλεκτρικά αφού προσφέρουν το 1/3 της συνολικής ισχύος και για τις δυο χρονιές.

Από τις περιοχές της Αυστρίας αύξηση της εγκατεστημένης της ισχύος από φωτοβολταϊκά παρουσιάζει AU_Styria και από αιολικά η AU_LowerAustria.

5.2.5 Γαλλία



Εικόνα 18: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στις περιοχές της Γαλλίας το 2015

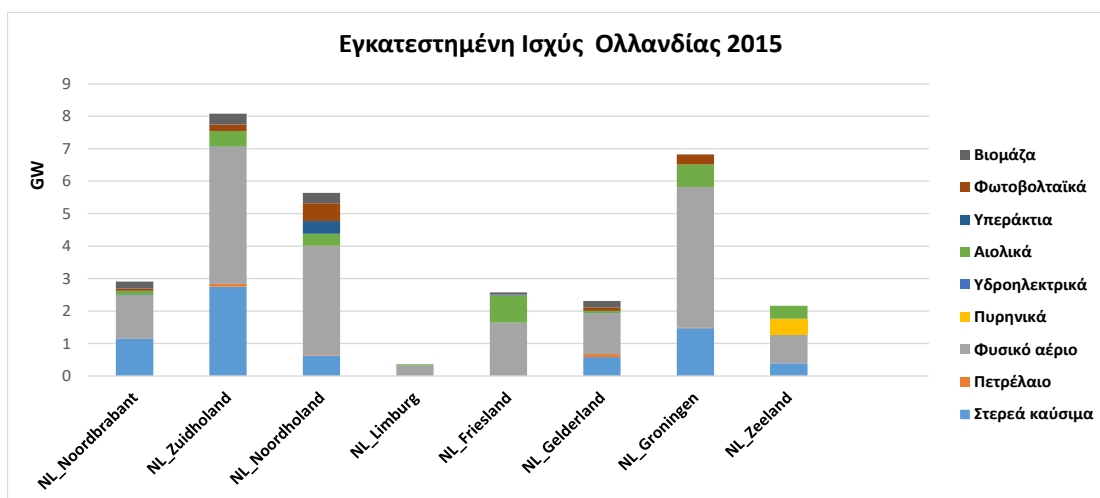


Εικόνα 19: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στις περιοχές της Γαλλίας το 2030

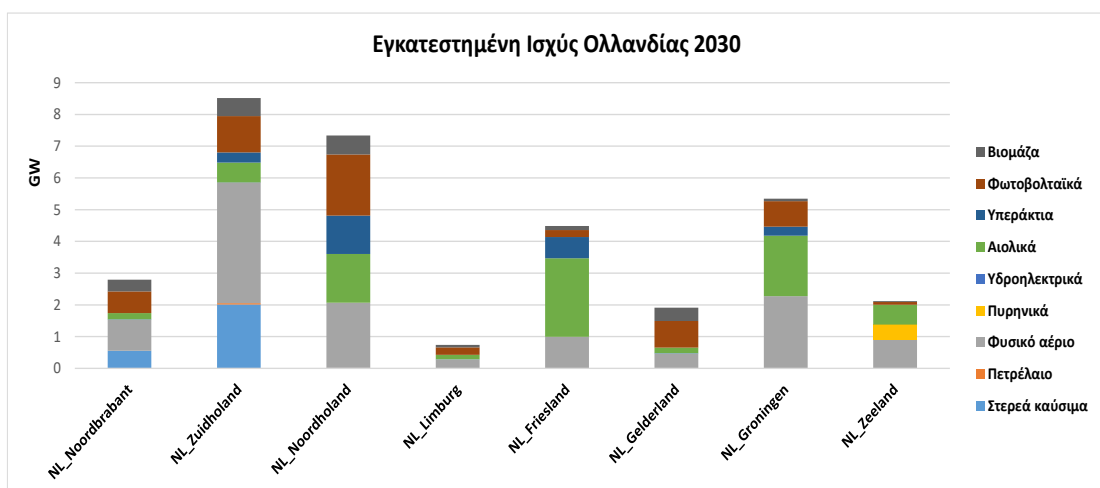
Μελετώντας τα διαγράμματα της Γαλλίας για το 2015 και 2030 παρατηρούμε μια αύξηση της εγκατεστημένης ισχύος από αιολικά και φωτοβολταϊκά ενώ μικρή μείωση παρατηρείται στην ισχύ από πετρελαιοειδή και πυρηνικά.

Εστιάζοντας στις περιοχές της Γαλλίας στις περισσότερες δεν βλέπουμε ιδιαίτερες διαφορές της ισχύος ανάμεσα στο 2015 και 2030. Στην περιοχή FR_PicardieNordPasDeCalais παρατηρούμε μια αύξηση της ισχύος από τον άνεμο και τα φωτοβολταϊκά ενώ στην FR_IledeFrance έχουμε αύξηση της ισχύος από πυρηνικά και υδροηλεκτρικά.

5.2.6 Ολλανδία



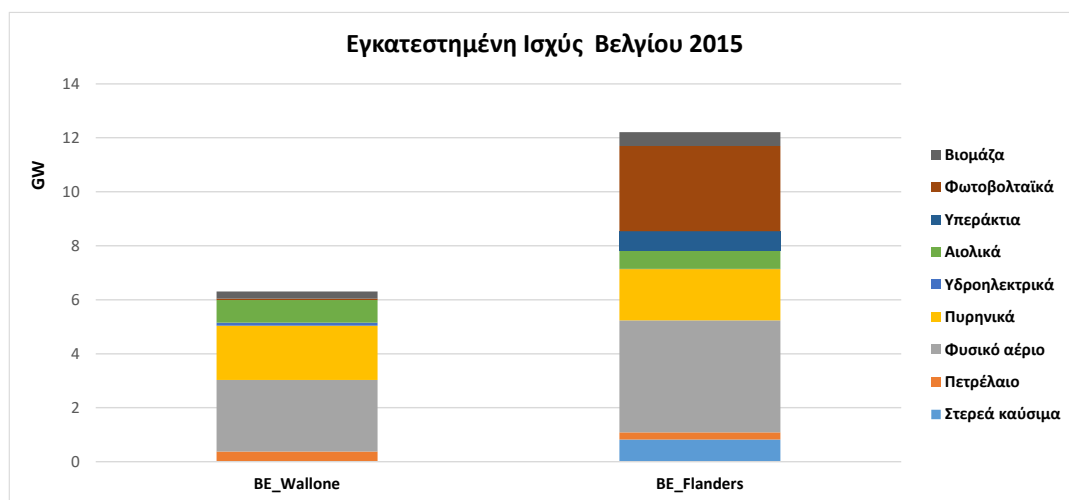
Εικόνα 20: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στις περιοχές της Ολλανδίας το 2015



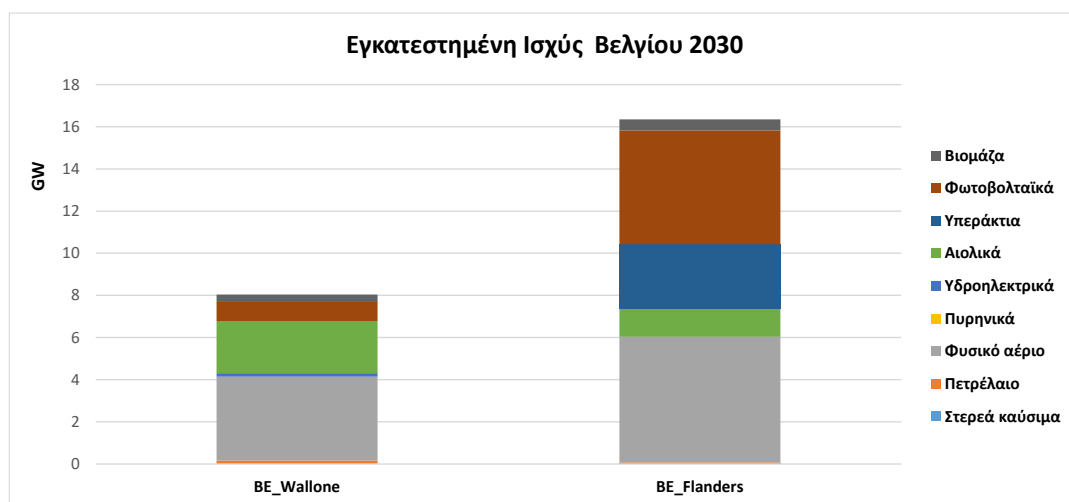
Εικόνα 21: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στις περιοχές της Ολλανδίας το 2030

Η συνολική εγκατεστημένη ισχύς από ΑΠΕ στην Ολλανδία το 2030 παρουσιάζει μια μικρή αύξηση της τάξης του 17% συγκριτικά με το 2015. Η αύξηση αυτή προέρχεται κυρίως από αιολικά και φωτοβολταϊκά. Μελετώντας τώρα τις περιοχές της Ολλανδίας, σε αυτές που παρατηρείται και άρα οφείλεται η συνολική αύξηση ισχύος της χώρας είναι οι NL_Noordholland και NL_Friesland.

5.2.7 Βέλγιο



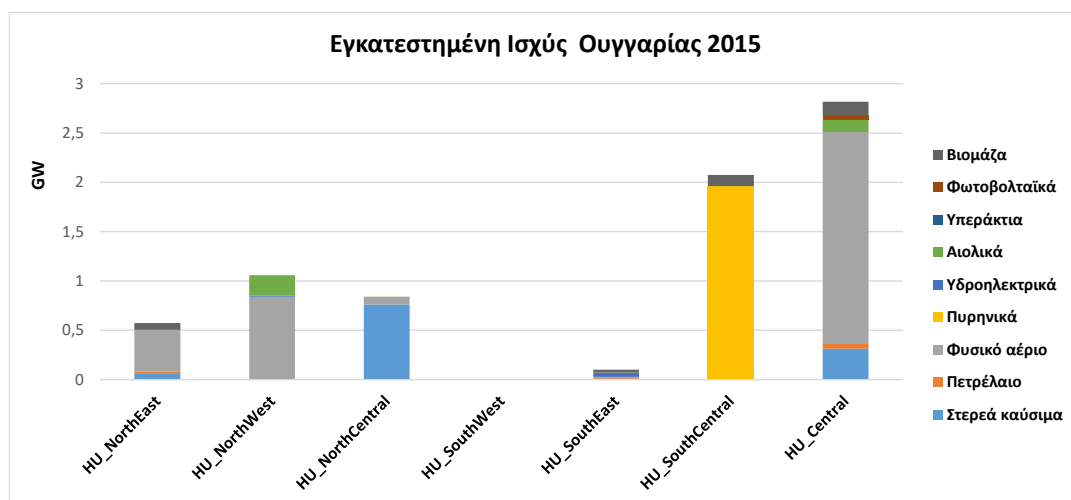
Εικόνα 22: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στις περιοχές του Βελγίου το 2015



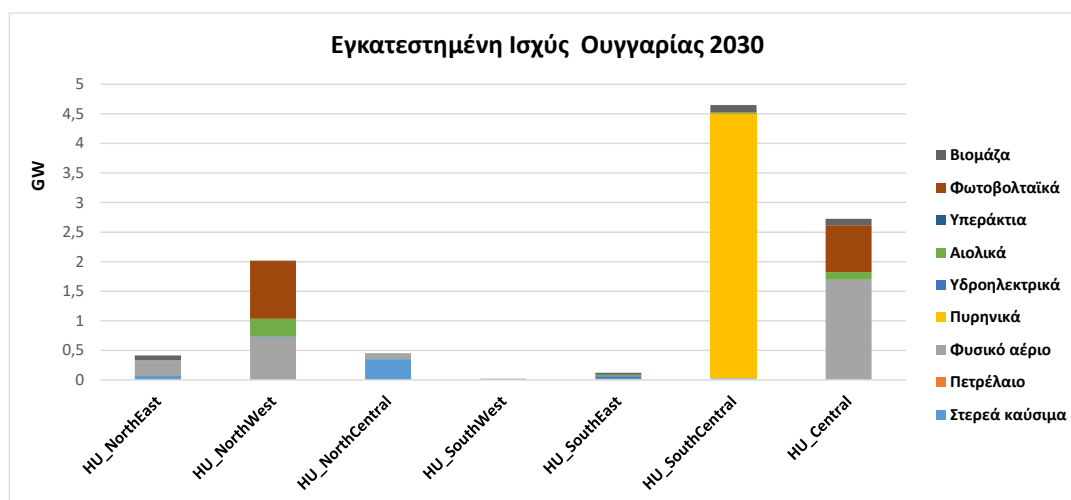
Εικόνα 23: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στις περιοχές του Βελγίου το 2030

Στο σύνολο της εγκατεστημένης ισχύος του Βελγίου διακρίνουμε μια αύξηση της τάξης του 33% η οποία οφείλεται σε αιολικά, υπεράκτια και φωτοβολταϊκά. Και οι δυο περιοχές στις οποίες έχουμε χωρίσει την Ολλανδία παρουσιάζουν μια αύξηση της ισχύος τους, η BE_Wallone κατά 30% και η BE_Flanders κατά 50%.

5.2.8 Ουγγαρία



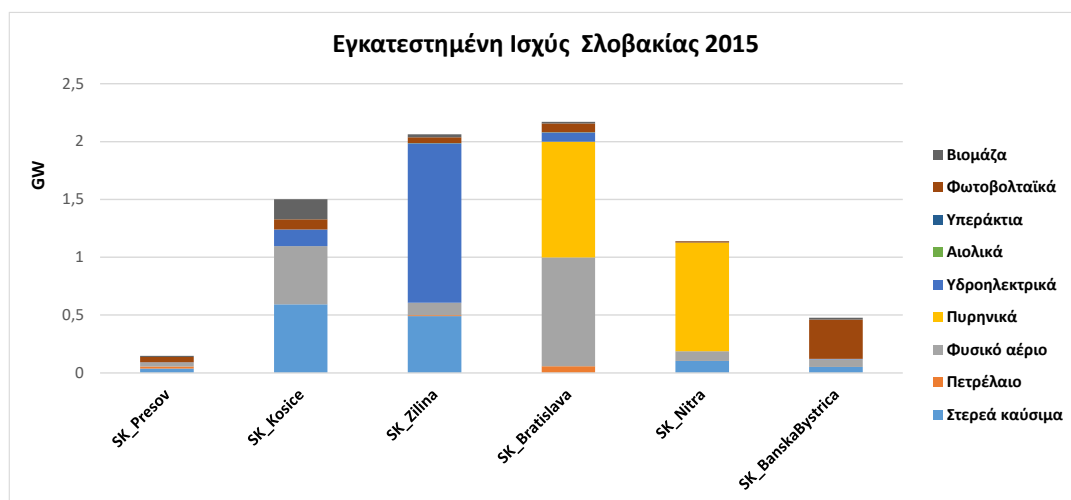
Εικόνα 24: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στις περιοχές της Ουγγαρίας το 2015



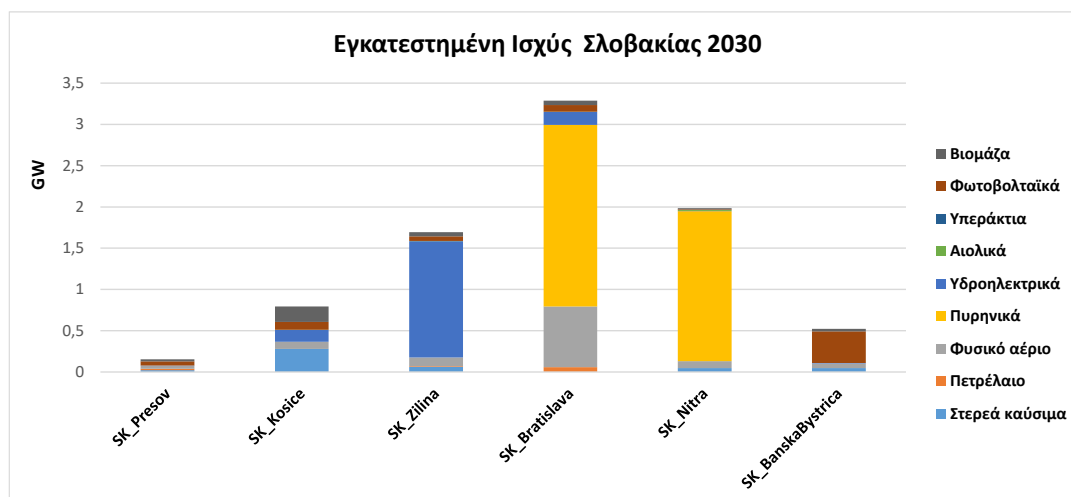
Εικόνα 25: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στις περιοχές της Ουγγαρίας το 2030

Στην εγκατεστημένη ισχύ από ΑΠΕ της Ολλανδίας έχουμε συνολική αύξηση 33% η οποία προέρχεται από πυρηνικά και φωτοβολταϊκά. Μελετώντας τις περιοχές που είναι χωρισμένη η Ουγγαρία αυτές που παρουσιάζουν της αύξηση της ισχύος τους είναι οι HU_NorthWest και HU_SouthCentral.

5.2.9 Σλοβακία



Εικόνα 26: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στις περιοχές της Σλοβακίας το 2015



Εικόνα 27: Κατανομή εγκατεστημένης ισχύος στις περιοχές της Σλοβακίας το 2030

Στο σύνολο της εγκαταστημένης ισχύος της η Σλοβακία κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα παρουσιάζοντας 14% αύξηση το 2030, με μια μικρή μείωση της ισχύος από στερεά καύσιμα και αύξηση από πυρηνικά. Μελετώντας τις περιοχές της Σλοβακίας, αυτή που παρουσιάζει την μεγαλύτερη ισχύ είναι η SK_Bratislava με μια αύξηση 50% των πυρηνικών το 2030. Μικρή μείωση διακρίνουμε στην SK_Zilina το 2030 και μικρή αύξηση στην SK_Nitra.

Κεφάλαιο 6. Αποτελέσματα Σεναρίων

6.1 Γενική περιγραφή σεναρίων

Στην παρούσα εργασία θα εξετάσουμε έξι διαφορετικά σενάρια στα οποία θα μελετηθεί η συμπεριφορά των παράλληλων ροών. Τα σενάρια αυτά διαφοροποιούνται ως προς την εγκατεστημένη ισχύ από ΑΠΕ, το έτος, τις τιμές των NTC και τις επενδύσεις του δικτύου.

Τα 2 έτη για τα οποία θα μελετηθούν τα διάφορα σενάρια είναι το 2015 (παρόν) και το 2030 (μέλλον). Για το ύψος των NTC έχουμε το σενάριο με τις τιμές για το 2015, το αντίστοιχο για το 2030 με αυξημένες τις τιμές ενώ θα τρέξουμε ένα ακόμη σενάριο χωρίς NTC ώστε να μην υπάρχουν περιορισμοί στις ανταλλαγές ενέργειας μεταξύ των χωρών. Σχετικά με τις επενδύσεις έχουμε εκείνες που θα πραγματοποιηθούν έως το 2030 σύμφωνα με το TYNDP, και ένα ακόμη σενάριο λαμβάνοντας υπόψη επιπλέον επενδύσεις στο εσωτερικό της Γερμανίας. Για κάθε σενάριο θα γίνει μια μελέτη της συμπεριφοράς των παράλληλων ροών εξετάζοντας και τα ακόλουθα :

- Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών
- Παράλληλες ροές
- Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής

Ο Πίνακας 6 περιλαμβάνει όλα τα σενάρια της παρούσας μελέτης παρουσιάζοντας τα βασικά τους χαρακτηριστικά. Το Δίκτυο βάσης το οποίο αναφέρουμε, αντιπροσωπεύει το βασικό μας πλάνο του δικτύου με τις επενδύσεις όπως περιγράφονται από το TYNDP για τα έτη 2015 και 2030.

<i>Σενάριο</i>	<i>Περιγραφή</i>	<i>Έτος</i>	<i>Συνθήκες</i>
Decarb	Είναι ένα σενάριο χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα το οποίο έχει σχεδιαστεί για να καλύψει το μερίδιο των ΑΠΕ σε ποσοστό 27%, το 27% της ενεργειακής απόδοσης, τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου κατά 30%.	2015	Δίκτυο βάσης 2015 <ul style="list-style-type: none">• NTC του 2015• Εγκατεστημένη ισχύς του 2015
No NTC	Είναι το σενάριο του decarb2015 χωρίς τους περιορισμούς των NTC έτσι ώστε οι ανταλλαγές ενέργειας μεταξύ των χωρών να μην δεσμεύονται.	2015	Δίκτυο βάσης 2015 <ul style="list-style-type: none">• Χωρίς περιορισμούς NTC• Εγκατεστημένη ισχύς του 2015

Relax	Στο σενάριο αυτό έγινε μια σταδιακή αύξηση του θερμοκινού ορίου γραμμής που παρουσίαζε συμφύρηση στο εσωτερικό της Γερμανίας.	2015	<p>Δίκτυο βάσης 2015</p> <ul style="list-style-type: none"> • NTC του 2015 • Εγκατεστημένη ισχύς του 2015 • Αύξηση θερμοκινού ορίου γραμμής στο εσωτερικό της Γερμανίας
Decarb	Είναι ένα σενάριο χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα το οποίο έχει σχεδιαστεί για να καλύψει το μερίδιο των ΑΠΕ σε ποσοστό 27%, το 27% της ενεργειακής απόδοσης, τη μείωση των εκπομπών αερίων θερμοκινίου κατά 30%.	2030	<p>Δίκτυο βάσης 2030</p> <ul style="list-style-type: none"> • NTC του 2030 • Εγκατεστημένη ισχύς του 2030 • Επενδύσεις στο δίκτυο με βάση το TYNDP
No NTC	Είναι το σενάριο του decarb2030 χωρίς τους περιορισμούς των NTC.	2030	<p>Δίκτυο βάσης 2030</p> <ul style="list-style-type: none"> • Χωρίς περιορισμούς NTC • Εγκατεστημένη ισχύς του 2030 • Επενδύσεις στο δίκτυο με βάση το TYNDP
INV GE	Είναι το σενάριο του decarb2030 λαμβάνοντας υπόψη επιπλέον επενδύσεις που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό της Γερμανίας.	2030	<p>Δίκτυο - - 2030</p> <ul style="list-style-type: none"> • NTC του 2030 • Εγκατεστημένη ισχύς του 2030 • Επενδύσεις στο δίκτυο με βάση το TYNDP και επιπλέον επενδύσεις στο εσωτερικό της Γερμανίας

Πίνακας 6: Γενική περιγραφή σεναρίων

6.2 Decarb 2015

6.2.1 Περιγραφή

Είναι ένα σενάριο χαμηλών εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα που αφορά το παρόν. Ως δίκτυο βάσης χρησιμοποιούμε αυτό του 2015, λαμβάνοντας υπόψη τους περιορισμούς των NTC, ενώ η εγκατεστημένη ισχύς για κάθε χώρα είναι αυτή που παρουσιάστηκε αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο.

6.2.2 Loop flow GE→CZ→GE

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 7, εξετάζουμε σε πρώτο στάδιο την ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ των χωρών στις οποίες παρατηρούνται οι παράλληλες ροές. Μεγαλύτερη τιμή παρατηρούμε στη ροή από τη Τσεχία στη Γερμανία.

<i>Σύνορα</i>	<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>
<i>Γερμανία-Τσεχία</i>	5332,06	608,68
<i>Τσεχία-Γερμανία</i>	9789,75	1117,55

Πίνακας 7: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-CZ-GE.

➤ Παράλληλες ροές

Ως loop flow στην παρούσα ανάλυση θεωρούμε την ταυτόχρονη ροή ενέργειας στις περιοχές όπου έχει παρατηρηθεί η ύπαρξη των παράλληλων ροών. Δηλαδή για το συγκεκριμένο loop flow την ταυτόχρονη ύπαρξη ροής ενέργειας και στο σύνορο GE_SachsenThuringia -CZ_Praha και στο CZ_Praha-GE_Oberpfalz, έτσι ώστε να δημιουργείται ο βρόγχος στον οποίο ρέει η ενέργεια. Το συγκεκριμένο loop flow στα σύνορα Γερμανίας-Τσεχίας είναι ένα από τα πιο ισχυρά και αυτό αντικατοπτρίζεται και από το μέγεθος της ενέργειας που ρέει στο βρόγχο, αλλά και από το ποσοστό ωρών ανά έτος κατά τις οποίες εμφανίζεται το loop flow.

Τα στοιχεία αυτά απεικονίζονται στον Πίνακα 8 όπως προέκυψαν από το σενάριο του decarb2015, όπου παρουσιάζουμε την συνολική ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ των περιοχών αλλά και πόση από την ενέργεια αυτή αντιστοιχεί στο loop flow η οποία μεταφράζεται σε ποσοστό στον Πίνακα 9. Έτσι είναι δυνατό να συμπεράνουμε εύκολα πόσο ισχυρή είναι η εκάστοτε παράλληλη ροή. Όπως φαίνεται έχουμε μεγαλύτερη ροή ενέργειας στην κατεύθυνση Τσεχίας-Γερμανίας.

<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)</i>	<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>
<i>GE_SachsenThuringia-CZ_Praha</i>	5242,87	4882,37	598,49	557,35
<i>CZ_Praha-GE_Oberpfalz</i>	9666,86	8277,72	1103,52	944,95

Πίνακας 8: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-CZ-GE

<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>
<i>GE_SachsenThuringia-CZ_Praha</i>	90%
<i>CZ_Praha-GE_Oberpfalz</i>	86%

Πίνακας 9: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-CZ-GE.

Αθροίζοντας όλες τις στιγμές στις οποίες παρατηρείται το φαινόμενο του loop flow (κάθε time segment έχει διαφορετική διάρκεια) καταλήγουμε ότι το 2015 εμφανίζεται 7080 ώρες. Δηλαδή το 81% του χρόνου παρατηρούμε μια παράλληλη ροή που ξεκινά από τη Γερμανία διασχίζει την Τσεχία και επιστρέφει στη Γερμανία.

$$\text{Συχνότητα loop flow(ανά έτος)} = \frac{7080 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,81$$

Να σημειωθεί ότι στη μελέτη μας έχουμε χρησιμοποιήσει 56 χρονικά τμήματα(time segments) το καθένα με διαφορετική διάρκεια. Συνεπώς ο υπολογισμός της συχνότητας δεν είναι απόλυτα ακριβής, καθώς για να ήταν θα έπρεπε να έχουμε 8760 χρονικά τμήματα το καθένα με την ίδια διάρκεια μιας ώρας.

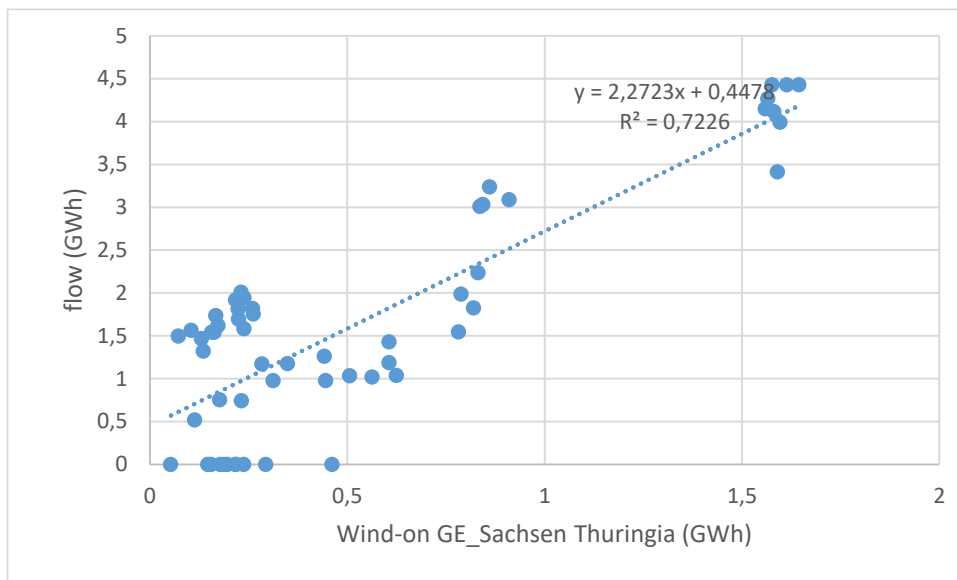
Σε κάθε loop flow υπολογίστηκε η συσχέτιση των παράλληλων ροών στο βρόγχο του loop flow με την αιολική ενέργεια των περιοχών από όπου ξεκινάει η παράλληλη ροή, αλλά και με τη ζήτηση των περιοχών που καταλήγει, χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση CORREL του excel. Ο συντελεστής συσχέτισης μας δείχνει πόσο έντονα συσχετίζονται οι δυο μεταβλητές μεταξύ τους. Συντελεστής 1 μας δείχνει μια τέλεια θετική συσχέτιση. Στόχος είναι να επιβεβαιώσουμε ότι η αιολική ενέργεια είναι ένας από τους πιο βασικούς παράγοντες που επηρεάζουν την ύπαρξη των loop flows.

Για το συγκεκριμένο βρόγχο παράλληλης ροής μεταξύ Γερμανίας και Τσεχίας βρήκαμε ότι υπάρχει πολύ ισχυρή συσχέτιση της τάξης του 0,9 με την αιολική ενέργεια στην περιοχή έναρξης του loop flow (GE_SachsenThuringia) και τη ροή ενέργειας στα σύνορα GE_SachsenThuringia-CZ_Praha αλλά και με το σύνολο του loop flow. Αρκετά ισχυρή είναι και η συσχέτιση της αιολικής ενέργειας ανάμεσα στην περιοχή CZ_Praha και τη ροή ενέργειας στα σύνορα GE_Brandenburg_South- CZ_Praha. Τέλος, χαμηλή είναι η συσχέτιση των παράλληλων ροών με τη ζήτηση.

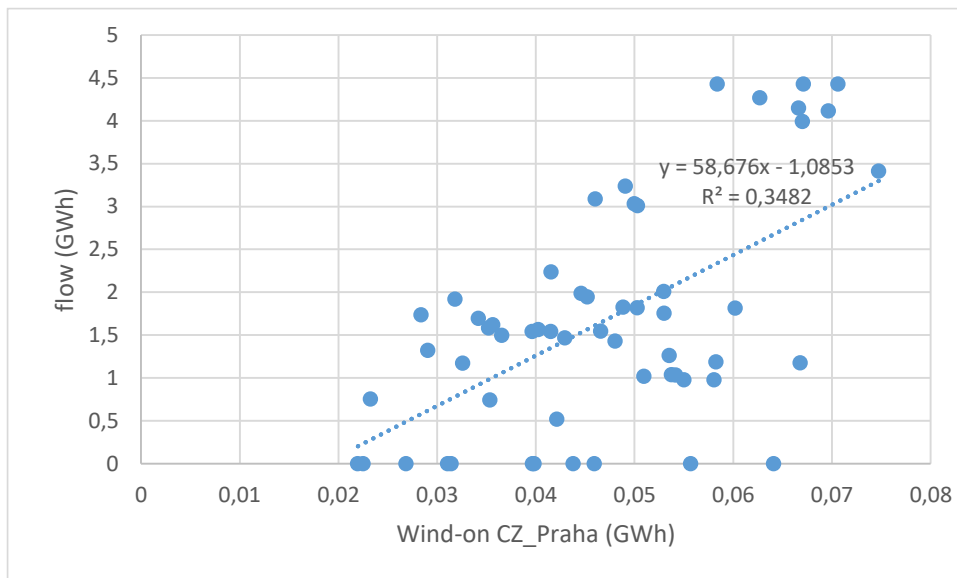
Αναλυτικά παρουσιάζονται όλα στον Πίνακα 10, ενώ στις εικόνες 26, 27 φαίνονται τα διαγράμματα διασποράς για τις μεταβλητές της ροής ενέργειας των παράλληλων ροών και της παραγωγής ενέργειας από αιολικά. Στα διαγράμματα απεικονίζεται η συνάρτηση γραμμικής παλινδρόμησης και ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 ο οποίος δείχνει το ποσοστό της μεταβολής της y (παράλληλες ροές) που οφείλεται στην μεταβολή της x (αιολική ενέργεια) και μεταβάλλεται από 0 μέχρι 1.

Συσχέτιση	GE_SachsenThuringia - CZ_Praha	CZ_Praha-GE_Oberpfalz	Loop flow
Αιολική ενέργεια GE_SachsenThuringia	0,9	0,6	0,85
Αιολική ενέργεια CZ_Praha	0,7	0,4	0,6
Ζήτηση CZ_Praha	0,1	0,4	0,3
Ζήτηση GE_Oberpfalz	-0,2	0,5	0,3

Πίνακας 10: Συσχέτιση παράλληλων ροών με τις παραμέτρους της αιολικής ενέργειας και της ζήτησης



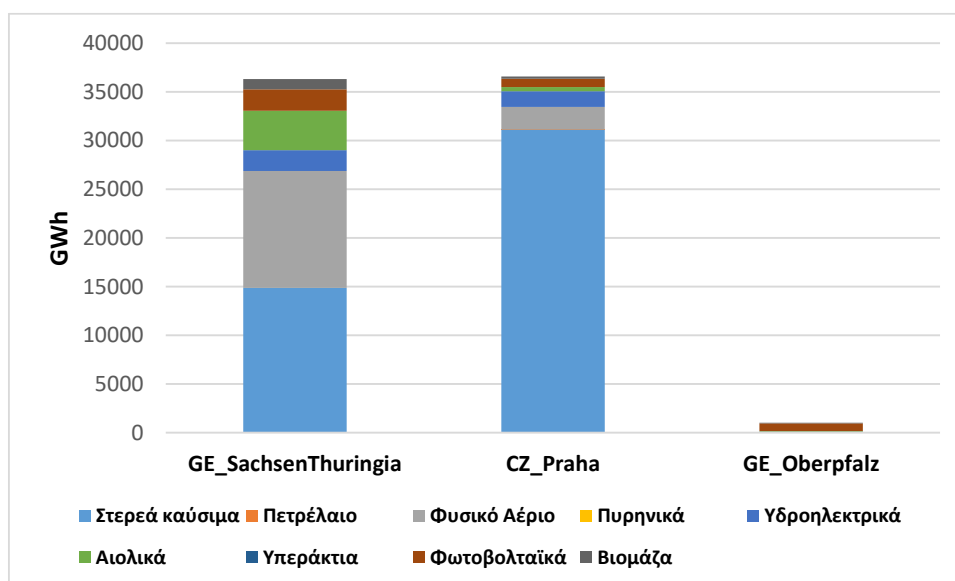
Εικόνα 28: Διάγραμμα διασποράς παράλληλων ροών του loop flow και παραγωγής ενέργειας από αιολικά της περιοχής GE_Sachsen Thuringia.



Εικόνα 29: Διάγραμμα διασποράς των παράλληλων ροών του loop flow με την παραγωγή ενέργειας από αιολικά της περιοχής CZ_Praha.

➤ Μείγμα Ηλεκτροπαραγωγής

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιάζεται το μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών τις οποίες διασχίζει το loop flow. Από τα παρακάτω διαγράμματα διακρίνουμε μια μεγάλη διαφορά της ηλεκτροπαραγωγής στο κομμάτι της Γερμανίας από το οποίο ξεκινάει το loop flow (GE_SachsenThuringia) και στο κομμάτι της Γερμανίας στο οποίο καταλήγει (GE_Oberpfalz). Ιδιαίτερα υψηλά είναι και τα ποσοστά ενέργειας στην CZ_Praha. Η περιοχή GE_SachsenThuringia διαθέτει υψηλά ποσοστά ενέργειας από στερεά καύσιμα, φυσικό αέριο και αιολικά. Αντίθετα η περιοχή CZ_Praha της Τσεχίας διαθέτει πολύ υψηλότερα ποσοστά στερεού καυσίμου και λιγότερα φυσικού αερίου και αιολικών. Τέλος στην περιοχή GE_Oberpfalz η κύρια πηγή ενέργειας είναι τα φωτοβολταϊκά.



Εικόνα 30: Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής περιοχών που διασχίζει το loop flow GE-CZ-GE.

6.2.3 Loop flow GE→PD→CZ→AU→GE

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Στα σύνορα των χωρών του συγκεκριμένου loop flow όπως φαίνεται από τον Πίνακα 11, παρατηρούμε μεγαλύτερη ροή ενέργειας στα σύνορα Γερμανίας-Πολωνίας.

Σύνορα	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς –Φυσικές ροές (MW)
Γερμανία-Πολωνία	7397,79	844,50
Πολωνία-Τσεχία	1934,13	220,79
Τσεχία-Αυστρία	7272,16	830,16
Αυστρία-Γερμανία	2398,48	273,8

Πίνακας 11: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-CZ-AU-GE.

➤ Παράλληλες ροές

Στην περιοχή αυτή το loop flow αντιπροσωπεύει την ταυτόχρονη ύπαρξη ροής ενέργειας στα σύνορα των περιοχών GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodniopomorskie, PD_Malopolskie-CZ_StredniMorava,CZ_Severovychod-AU_LowerAustria, AU_UpperAustriaGE_Niederbayern. Είναι οι περιοχές που συνοριακά συνδέονται οι εκάστοτε χώρες Παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη ροή ενέργειας εμφανίζεται στο σύνορο Γερμανίας-Πολωνίας. Συγκρίνοντας με το προηγούμενο loop flow διαπιστώνουμε ότι είναι πιο αδύναμο καθώς οι παράλληλες ροές ενέργειας ήταν πολύ μεγαλύτερες.

<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)</i>	<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>
<i>GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodniopomorskie</i>	6559,96	1129,3	748,85	128,88
<i>PD_Malopolskie-CZ_StredniMorava</i>	1934,13	715,09	220,79	81,63
<i>CZ_Severovychod-AU_LowerAustria</i>	3192,36	500,74	364,42	57,16
<i>AU_UpperAustria-GE_Niederbayern</i>	511,03	473,51	58,34	54,05

Πίνακας 12: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.

<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>
<i>GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodniopomorskie</i>	17%
<i>PD_Malopolskie-CZ_StredniMorava</i>	37%
<i>CZ_Severovychod-AU_LowerAustria</i>	16%
<i>AU_UpperAustria-GE_Niederbayern</i>	92%

Πίνακας 13: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE

Αθροίζοντας όλες τις ώρες στις οποίες εμφανίζεται το συγκεκριμένο loop flow, υπολογίζεται ότι το 2015 είναι συνολικά 1607 ώρες . Δηλαδή το 18% του χρόνου παρατηρούμε μια παράλληλη ροή που ξεκινά από τη Γερμανία διασχίζει την Πολωνία, Τσεχία, Αυστρία και επιστρέφει στη Γερμανία.

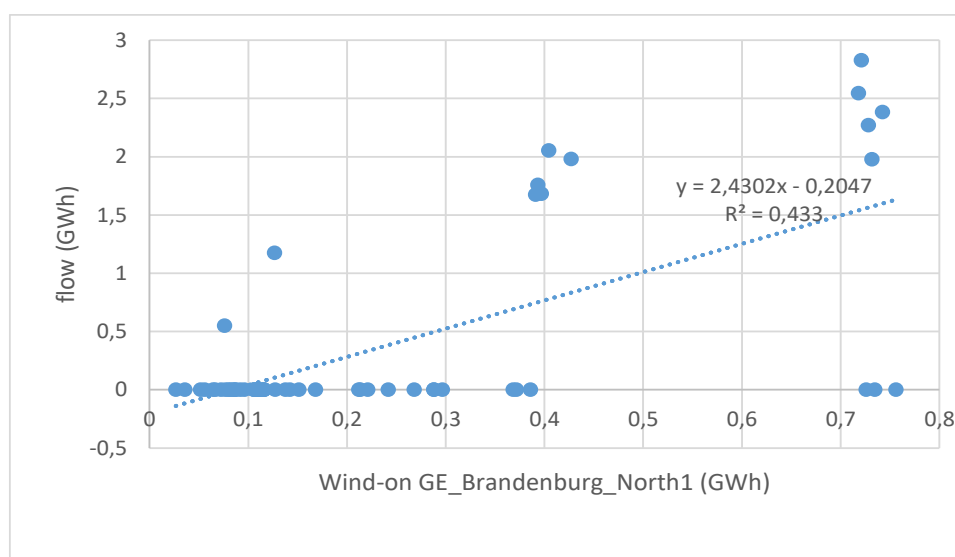
$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{1607 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,18$$

Στα πλαίσια της μελέτης της συσχέτισης των loop flows με παραμέτρους του δικτύου, καταλήγουμε ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση της τάξης του 0,7 ανάμεσα στην αιολική ενέργεια της περιοχής GE_Brandenburg_North και στις παράλληλες ροές. Αντίθετα χαμηλή είναι η συσχέτιση ανάμεσα στη ζήτηση του GE_Niederbayern που καταλήγει το loop flow και στις παράλληλες ροές. Στα διαγράμματα απεικονίζεται και

πάλι η συνάρτηση γραμμικής παλινδρόμησης και ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 που μετρά το ποσοστό της διακύμανσης των παράλληλων ροών που οφείλεται στην αιολική ενέργεια.

Συσχέτιση	GE_Brandenburg_North1- PD_Zachodnio-pomorskie	PD_Malopolskie- CZ_StredniMorava	Loop flow
Αιολική ενέργεια GE_Brandenburg_North1	0,7	0,7	0,65
Αιολική ενέργεια PD_ZachodniPomorskie	0,6	0,6	0,6
Ζήτηση GE_Niederbayern	0,3	0,3	0,3

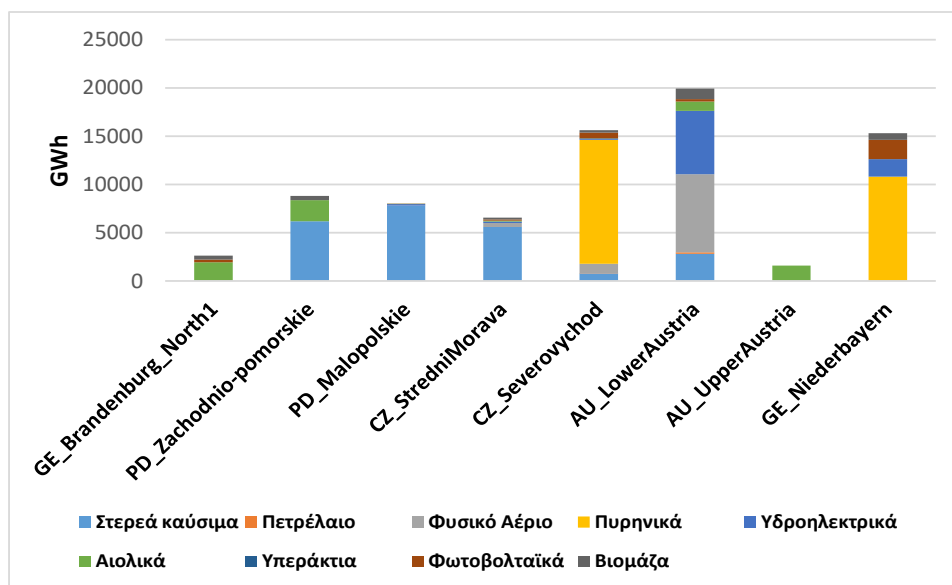
Πίνακας 14: Συσχέτιση παράλληλων ροών με τις παραμέτρους της αιολικής ενέργειας και της ζήτησης.



Εικόνα 31: Διάγραμμα διασποράς των παράλληλων ροών του loop flow με την παραγωγή ενέργειας από αιολικά της περιοχής GE_Brandenburg_North1

➤ Μείγμα Ηλεκτροπαραγωγής

Μελετώντας το ενεργειακό μείγμα των περιοχών τις οποίες διασχίζει το loop flow βλέπουμε ότι πρώτη σε παραγωγή ενέργειας από μονάδες ΑΠΕ είναι η περιοχή AU_LowerAustria της οποίας η παραγωγή προέρχεται κυρίως από υδροηλεκτρικά, φυσικό αέριο και στερεά καύσιμα. Σε υψηλά επίπεδα κυμαίνεται και η παραγωγή της CZ_Severonoychod από πυρηνικά, φυσικό αέριο και στερεά καύσιμα.



Εικόνα 32: Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών που διασχίζει το loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.

6.2.4 Loop flow GE→PD→SK→HU→AU

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Στη συνέχεια παρουσιάζεται η φυσική ροή στα σύνορα των χωρών τις οποίες διασχίζει το loop flow. Παρατηρούμε μεγαλύτερη ροή ενέργειας στην κατεύθυνση Γερμανίας-Πολωνίας. Αρκετά μικρότερα ποσά ενέργειας παρατηρούμε στα υπόλοιπα σύνορα με ελάχιστη προσφορά ενέργειας από την Πολωνία στη Σλοβακία.

Σύνορα	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)
Γερμανία-Πολωνία	7397,79	844,50
Πολωνία-Σλοβακία	10,63	1,21
Σλοβακία-Ουγγαρία	293,89	27,38
Ουγγαρία-Αυστρία	603,33	68,87

Πίνακας 15: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-SK-HU-AU.

➤ Παράλληλες ροές

Στις περιοχές αυτές το loop flow ορίζεται ως η ταυτόχρονη ροή ενέργειας στα σύνορα GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodnio-pomorskie, PD_Podkarpackie-SK_Presov, SK_Nitra-HU_NorthCentral, HU_NorthWest-AU_LowerAustria. Παρατηρούμε τη μεγαλύτερη ροή ενέργειας να εμφανίζεται στα σύνορα Γερμανίας-Πολωνίας, ενώ στα υπόλοιπα σύνορα οι ροές είναι πολύ χαμηλότερες. Το συγκεκριμένο loop flow είναι από τα πιο αδύναμα όπως φαίνεται και από το μέγεθος της παράλληλης ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow αλλά και από το σύνολο των ωρών ανά έτος που εμφανίζεται το loop flow.

<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)</i>	<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>
<i>GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodnio-pomorskie</i>	6559,96	111,80	748,85	12,76
<i>PD_Podkarpackie-SK_Presov</i>	10,63	3,02	1,21	0,34
<i>SK_Nitra-HU_NorthCentral</i>	28,55	14,74	3,26	1,68
<i>HU_NorthWest-AU_LowerAustria</i>	603,33	3,75	68,87	0,43

Πίνακας 16: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-SK-HU-AU.

<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>
<i>GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodniopomorskie</i>	2%
<i>PD_Podkarpackie-SK_Presov</i>	30%
<i>SK_Nitra-HU_NorthCentral</i>	52%
<i>HU_NorthWest-AU_LowerAustria</i>	1%

Πίνακας 17: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-SK-HU-AU.

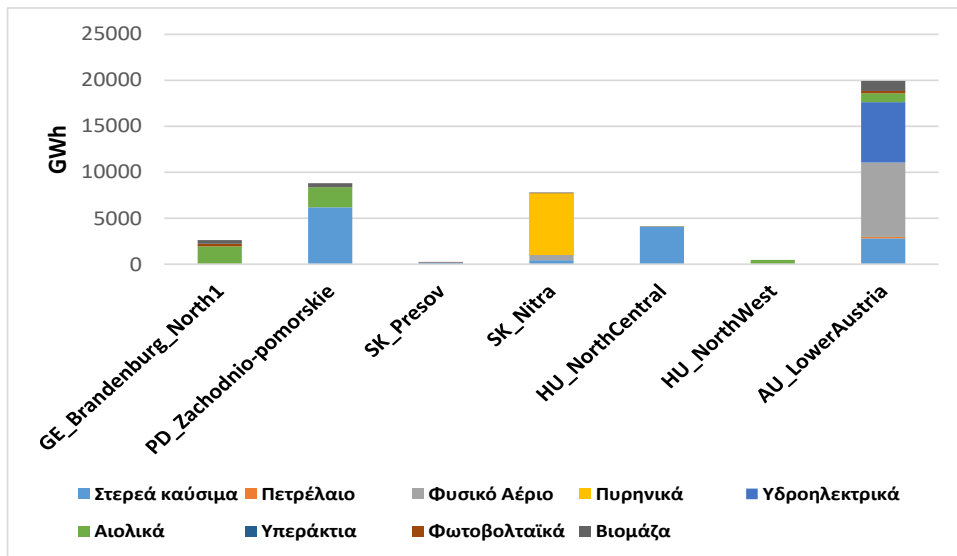
Αθροίζοντας όλες τις ώρες στις οποίες παρατηρείται το loop flow καταλήγουμε ότι το 2015 εμφανίζεται 112 ώρες δηλαδή το 1% του χρόνου.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{112 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,01$$

Επειδή ο βρόχος παράλληλης ροής στα συγκεκριμένα σύνορα εμφανίζεται για πολύ μικρό χρονικό διάστημα του έτους δεν έχει νόημα να υπολογιστεί η συσχέτιση του.

- **Μείγμα Ηλεκτροπαραγωγής**

Μελετώντας το ενεργειακό μείγμα των περιοχών τις οποίες διασχίζει το loop flow διακρίνουμε μια υπεροχή της AU_LowerAustria λόγω υδροηλεκτρικών και φυσικού αερίου, ενώ οι υπόλοιπες περιοχές κυμαίνονται σε αρκετά χαμηλότερα επίπεδα.



Εικόνα 33: Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών που διασχίζει το loop flow GE-PD-SK-HU-AU.

6.2.5 Loop flow FR→GE→SW→FR

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Μελετώντας τη φυσική ροή στα σύνορα των χωρών στα οποία εμφανίζεται το loop flow, μεγαλύτερη ροή ενέργειας παρατηρείται στα σύνορα Γαλλίας-Γερμανίας.

Σύνορα	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)
Γαλλία-Γερμανία	12865,25	1468,61
Γερμανία-Ελβετία	8051,36	919,06
Ελβετία-Γαλλία	5821,15	664,51

Πίνακας 18: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών FR-GE-SW-FR.

➤ Παράλληλες ροές

Το συγκεκριμένο loop flow είναι από τα πιο ισχυρά στο δυτικό κομμάτι όπως αποδεικνύεται στη συνέχεια και από το μέγεθος της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο, αλλά και από το σύνολο των ωρών ανά έτος που εμφανίζεται. Παρότι στο επίπεδο των χωρών μεγαλύτερα ποσά στην ανταλλαγή ενέργειας είδαμε μεταξύ Γαλλίας-Γερμανία, στις παράλληλες ροές μεγαλύτερη ροή παρατηρούμε στα σύνορα Ελβετίας-Γαλλίας και Γερμανίας-Ελβετίας.

<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)</i>	<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>
<i>FR_Alsace-GE_Stuttgart</i>	2621,11	1929,73	299,21	220,29
<i>GE_Stuttgart_SW</i>	3294,21	3116,75	376,05	355,79
<i>SW-FR_FrancheComte</i>	5067,62	3717,33	578,49	424,35

Πίνακας 19: Ενέργεια και ισχύς παράλληλων ροών του loop flow FR-GE-SW-FR.

<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>
<i>FR_Alsace-GE_Stuttgart</i>	74%
<i>GE_Stuttgart_SW</i>	95%
<i>SW-FR_FrancheComte</i>	73%

Πίνακας 20: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow FR-GE-SW-FR.

Αθροίζοντας όλες τις στιγμές στις οποίες παρατηρείται το φαινόμενο του loop flow καταλήγουμε ότι το 2015 εμφανίζεται 6670 ώρες δηλαδή το 76% του χρόνου .

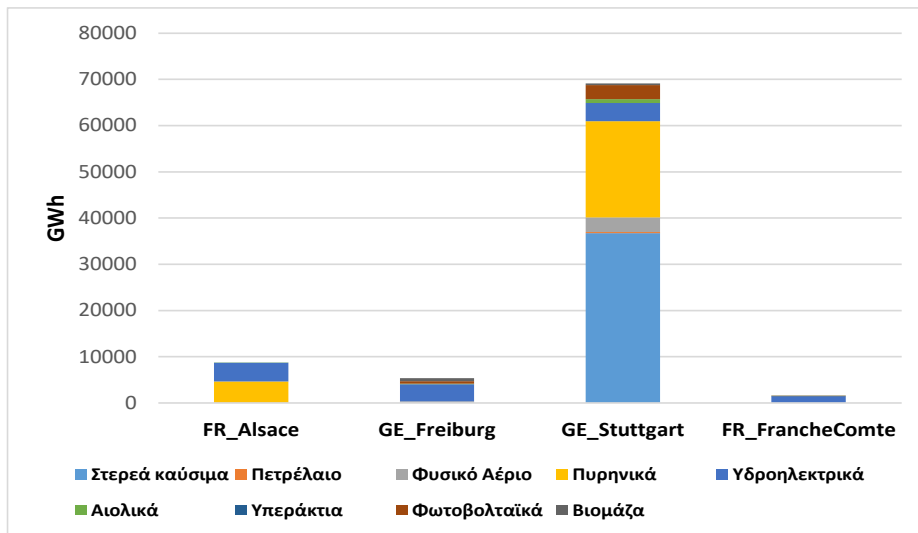
$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{6670 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,76$$

Μελετώντας τη συσχέτιση των παράλληλων ροών με τις παραμέτρους που εξετάζουμε δεν βρίσκουμε κάποια ισχυρή συσχέτιση. Προκύπτει θετική μεν, αλλά αδύναμη συσχέτιση με την αιολική ενέργεια στην περιοχή της Γερμανίας και τις παράλληλες ροές. Με μια περαιτέρω διερεύνηση διαπιστώνουμε ότι οι μη προγραμματισμένες ροές στη ροή του βρόχου είναι σχετικά συσχετισμένες μεταξύ τους, με τις ροές στα σύνορα Γερμανίας-Ελβετίας και Ελβετίας-Γαλλίας να έχουν την πιο υψηλή συσχέτιση της τάξης του 0,5.

Ο προσδιορισμός των αιτιών που δημιουργούν τα συγκεκριμένα loop flows γενικά στις περιοχές Δυτικά της Γερμανίας είναι δύσκολος, ίσως λόγω του γεγονότος ότι οι εμπλεκόμενοι TSOs εφαρμόζουν ήδη κάποια μέτρα αντιμετώπισης, δηλαδή οι παρατηρούμενες φυσικές ροές έχουν ήδη επηρεαστεί από διορθωτικά μέτρα

➤ Μείγμα Ηλεκτροπαραγωγής

Μελετώντας το ενεργειακό μείγμα των περιοχών τις οποίες διασχίζει το loop flow παρατηρούμε μια σημαντική ενεργειακή υπεροχή της GE_Stuttgart με την παραγωγή της να βασίζεται κυρίως σε πυρηνικές μονάδες, υδροηλεκτρικές και μονάδες στερεού καυσίμου.



Εικόνα 34: Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών που διασχίζει το loop flow FR-GE-SW-FR.

6.2.6 Loop flow GE→NL→BE→FR

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Στις χώρες τις οποίες διασχίζει το loop flow, παρατηρούμε μεγαλύτερη ροή ενέργειας στα σύνορα Γερμανίας-Ολλανδίας.

Σύνορα	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)
Γερμανία-Ολλανδία	21900	2500
Ολλανδία-Βέλγιο	8286,96	946
Βέλγιο-Γαλλία	100,71	11,50

Πίνακας 21: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-NL-BE-FR..

➤ Παράλληλες ροές

Στην περιοχή αυτή ως loop flow ορίζουμε την ταυτόχρονη ροή ενέργειας στις περιοχές των χωρών GE_WeserErmSouth- NL_Gelderland, NL_Limburg-BE_Flanders, BE_Flanders-FR_PicardieNordPasDeCalais. Παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη ροή ενέργειας εμφανίζεται στο σύνορο GE_WeserErmSouth-NL_Gelderland ενώ στα υπόλοιπα σύνορα οι ροές είναι λίγο χαμηλότερες. Συγκριτικά με τη συνολική ενέργεια που ανταλλάσσουν οι περιοχές, παρατηρούμε ότι μικρό ποσοστό αυτής ρέει στο βρόγχο του loop flow με εξαίρεση τη ροή Βελγίου-Γαλλίας όπως φαίνεται στους Πίνακες 22,23.

<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)</i>	<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>
<i>GE_WeserErmSouth-NL_Gelderland</i>	9748,99	600,29	1112,90	68,53
<i>NL_Limburg-BE_Flanders</i>	2921,68	228,99	333,53	26,14
<i>BE_Flanders-FR_PicardieNordPasDeCalais</i>	99,74	99,74	11,39	11,39

Πίνακας 22: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-NL-BE-FR..

<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>
<i>GE_WeserErmSouth- NL_Gelderland</i>	6%
<i>NL_Limburg-BE_Flanders</i>	8%
<i>BE_Flanders-FR_PicardieNordPasDeCalais</i>	100%

Πίνακας 23: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-NL-BE-FR.

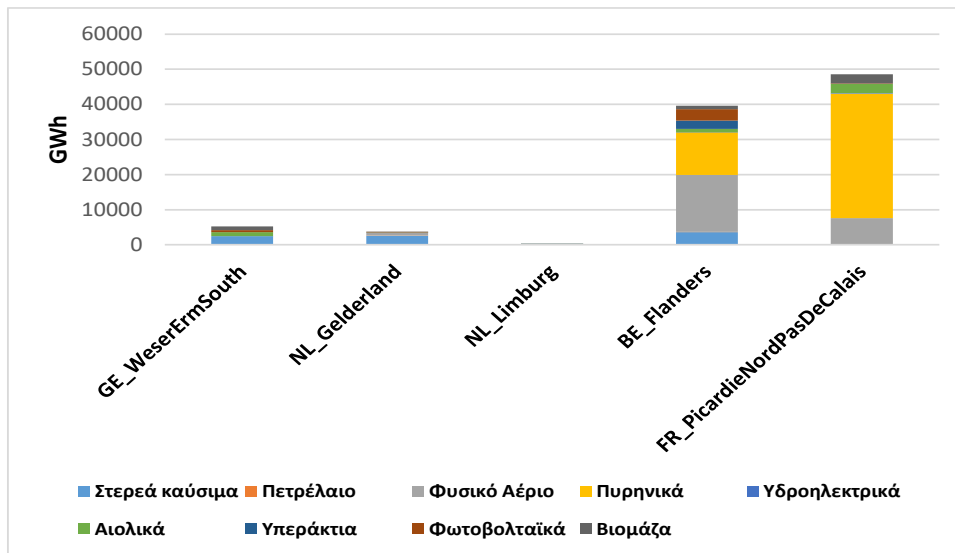
Αθροίζοντας όλες τις στιγμές στις οποίες παρατηρείται το φαινόμενο του loop flow καταλήγουμε ότι το 2015 εμφανίζεται 642 ώρες δηλαδή το 7% του χρόνου.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{642 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,07$$

Η συγκεκριμένη παράλληλη ροή όπως προαναφέραμε επειδή ανήκει στα δυτικά σύνορα της Γερμανίας είναι δύσκολο να υπολογιστεί ο συσχετισμός της. Επιπλέον συμβαίνει για μικρό χρονικό διάστημα του έτους γεγονός που το κάνει πιο δύσκολο. Θετική λοιπόν αλλά αδύναμη είναι η συσχέτιση της με την τροφοδότηση ανέμου της Γερμανίας, ενώ σε περαιτέρω ανάλυση βρίσκουμε μια μέτρια συσχέτιση της τάξης του 0,5 με τη ζήτηση στην περιοχή της Γαλλίας που καταλήγει το loop flow.

➤ Μείγμα Ηλεκτροπαραγωγής

Μελετώντας το ενεργειακό μείγμα των περιοχών τις οποίες διασχίζει το loop flow βλέπουμε τις περιοχές BE_Flanders και FR_PicardieNordPasDeCalais να έχουν σημαντική διαφορά ενεργειακά από τις υπόλοιπες περιοχές με παραγωγή που βασίζεται σε πυρηνικές μονάδες κυρίως αλλά και φυσικό αέριο.



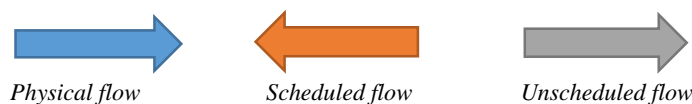
Εικόνα 35 Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών που διασχίζει το loop flow GE-NL-BE-FR.

6.2.7 Μη προγραμματισμένες ροές

Στην ενότητα αυτή θα γίνει μια εκτίμηση των μη προγραμματισμένων ροών ενέργειας για διάφορες χώρες της Ευρώπης το 2015. Οι φυσικές ροές που ανταλλάσσονται μεταξύ των χωρών έχουν προκύψει από το μοντέλο μας και το σενάριο του decarb 2015. Από τη μελέτη του (ACER, 2015) λάβαμε την πληροφορία των μη προγραμματισμένων ροών ενέργειας μεταξύ των χωρών.

Σύμφωνα με τον ορισμό οι μη προγραμματισμένες ροές προκύπτουν ως η διαφορά των προγραμματισμένων ροών από τις φυσικές ροές. Τα αποτελέσματα αυτά φαίνονται στον Πίνακα 25 για το 2015. Το αρνητικό πρόσημο σημαίνει ότι η ροή ακολουθεί αντίθετη κατεύθυνση. Στη συνέχεια περιγράφεται πιο αναλυτικά η μεθοδολογία υπολογισμού των μη προγραμματισμένων ροών για κάθε περίπτωση.

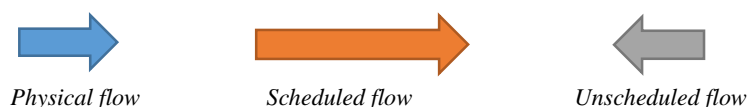
- Φυσική ροή και προγραμματισμένη ακολουθούν αντίθετες κατευθύνσεις. Τότε η μη προγραμματισμένη ροή ακολουθεί την κατεύθυνση της φυσικής ροής.



- Φυσική ροή και προγραμματισμένη έχουν ίδια κατεύθυνση αλλά διαφορετικό μέγεθος ροής ενέργειας με τη φυσική ροή να υπερτερεί σε μέγεθος. Τότε η μη προγραμματισμένη ροή ακολουθεί την κατεύθυνση της φυσικής ροής.



- Φυσική ροή και προγραμματισμένη έχουν ίδια κατεύθυνση αλλά διαφορετικό μέγεθος ροής ενέργειας με την προγραμματισμένη ροή να υπερτερεί σε μέγεθος. Τότε η μη προγραμματισμένη ροή ακολουθεί την αντίθετη κατεύθυνση της φυσικής ροής.



Σύνορα	Φυσική ροή(GWh)	Προγραμματισμένη ροή κατά ACER2015(GWh)	Μη προγραμματισμένη ροή ενέργειας (GWh)	Μη προγραμματισμένη ισχύς (MW)	Μέση ισχύς (MW)
SW-AU	1738,3	432	1306	149	491
AU-SW	1646	4640	-2994	-342	-491
SW-GE	2461	2471	-10	-1	-88
GE-SW	8051	7287	764	87	88
SW-FR	5821	1061	4760	543	1394
FR-SW	7781	15236	-7455	-851	-1394
SW-IT	18649	23398	-4749	-542	-1487
IT-SW	8280	1	8279	945	1487
AU-SN	2794	5392	-2598	-297	-420
SN-AU	1151	21	1130	129	420
FR-BE	14426	16344	-1918	-219	-212
BE-FR	101	164	-63	-7	212
FR-GE	12865	2052	10813	1234	2542
GE-FR	70	11529	-11459	-1308	-2542
FR-IT	16432	19791	-3359	-383	-584
IT-FR	1821	60	1761	201	584
IT-AU	47	3	44	5	103
AU-IT	1320	2177	-857	-98	-103
IT-SN	1032	91	941	107	340
SN-IT	1943	3981	-2038	-233	-340
BE-NL	0	1034	-1034	-118	-404
NL-BE	8287	5781	2506	286	404
GE-NL	21900	16230	5670	647	481
NL-GE	1522	64	1458	166	-481
GE-PD	7398	119	7279	831	1074
PD-GE	574	2701	-2127	-243	-1074
GE-CZ	5332	1164	4168	476	-96
CZ-GE	9790	4780	5010	572	96
GE-AU	7181	28814	-21633	-2470	-2723
AU-GE	2398	183	2215	253	2723
AU-CZ	61	1434	-1373	-157	-892

<i>CZ-AU</i>	7272	835	6437	735	892
<i>AU-HU</i>	450	3504	-3054	-349	-410
<i>HU-AU</i>	603	66	537	61	410
<i>PD-CZ</i>	1934	359	1575	180	179,5
<i>CZ-PD</i>	10	14	-4	0,5	-179,5
<i>PD-SK</i>	11	296	-285	-33	-414
<i>SK-PD</i>	4020	680	3340	381	414
<i>CZ-SK</i>	3833	10271	-6438	-735	-1077
<i>SK-CZ</i>	3016	22	2994	342	1077
<i>SK-HU</i>	294	7569	-7275	-830	-1064
<i>HU-SK</i>	2079	27	2052	234	1064

Πίνακας 24: Φυσικές, προγραμματισμένες και μη προγραμματισμένες ροές Ευρωπαϊκών χωρών.

Μελετώντας τα αποτελέσματα του Πίνακα 24 παρατηρούμε ότι σε όλα τα σύνορα η προγραμματισμένη ροή ακολουθεί την ίδια κατεύθυνση με τη φυσική. Μεγαλύτερη απόκλιση της φυσικής ροής από την προγραμματισμένη διακρίνουμε στα σύνορα Γερμανίας-Αυστρίας και Γαλλίας-Γερμανίας ενώ αντίθετα μικρότερη, συγκριτικά με τα υπόλοιπα σύνορα, είναι η απόκλιση στα σύνορα Ελβετίας-Γαλλίας και Γερμανίας-Τσεχίας.

Αυτό που γενικά παρατηρούμε είναι ότι όταν υπάρχει μεγάλη φυσική ροή ενέργειας από μια χώρα σε μια άλλη, τότε οι προγραμματισμένες ροές πιθανόν λόγω εμπορικών συμφωνιών, τείνουν να ακολουθήσουν την αντίθετη κατεύθυνση, όπως π.χ. στα σύνορα Γερμανίας -Πολωνίας όπου η συνολική φυσική ροή είναι 6824GWh με κατεύθυνση από τη Γερμανία στην Πολωνία ενώ η προγραμματισμένη ροή είναι 2582 με αντίθετη κατεύθυνση.

6.2.8 Υπολογισμός κόστους

Η ύπαρξη των παράλληλων ροών επιφέρει κάποιο κόστος στο δίκτυο. Ως έκτακτες ροές προκαλούν εξωτερικά κόστη στην περιοχή που καταλήγουν, όταν το δίκτυο δεν είναι σε θέση να φιλοξενήσει τη ροή. Υπάρχουν δύο τύποι εξωτερικού κόστους: Οι δαπάνες που σχετίζονται με την ασφάλεια των υπηρεσιών τροφοδοσίας και το σύστημα της χώρας υποδοχής και οι δαπάνες που απορρέουν από τη μειωμένη ικανότητα για εμπόριο αγοράς στο εσωτερικό της χώρας υποδοχής ή μεταξύ της χώρας υποδοχής και άλλων περιοχών.

Το κόστος αυτό στο δίκτυο σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφεται στη μελέτη του (ACER, 2016) υπολογίζεται πολλαπλασιάζοντας την μη προγραμματισμένη ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ των χωρών με τη θετική διαφορά τιμής ανάμεσα στις δυο χώρες.

$$\text{Κόστος} = \text{Μη προγραμματισμένη ροή} * \text{διαφορά τιμής (θετική)}$$

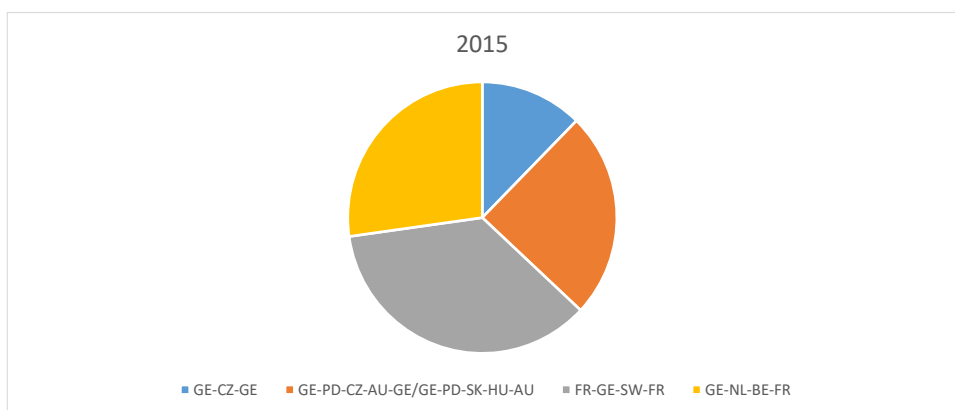
<i>Σύνορα</i>	<i>Μη προγραμματισμένες ροές (MWh)</i>	<i>Διαφορά οριακού κόστους (Euro/MWh)</i>	<i>Κόστος (million Euros)</i>
GE-CZ	4168000	0,00280	11,670
CZ-GE	5010000	0,00298	14,930
GE-PD	7279000	0,00097	7,060
PD-CZ	1575000	0,00157	2,473
CZ-AU	6437000	0,00080	5,150
AU-GE	2215000	0,00167	3,700
PD-SK	285000	0,00130	0,371
SK-HU	7275000	0,00469	34,120
HU-AU	537000	0,00031	0,167
GE-NL	5670000	0,00714	40,484
NL-BE	2506000	0,00719	18,018
BE-FR	63000	0,00239	0,151
FR-GE	10813000	0,00714	77,205

Πίνακας 25: Κόστος των μη προγραμματισμένων ροών Ευρωπαϊκών χωρών.

Στον παρακάτω πίνακα εμφανίζεται κόστος των συνολικών μη προγραμματισμένων ροών που επικρατούν σε κάθε loop flow. Επειδή στα σύνορα Γερμανίας-Πολωνίας περνάνε 2 loop flows υπολογίζεται ένα ενιαίο κόστος.

<i>Loop Flow</i>	<i>Cost (million Euros)</i>
GE-CZ-GE	26,600
GE-PD-CZ-AU-GE -SK-HU-AU	53,041
FR-GE-SW-FR	77,205
GE-NL-BE-FR	58,653

Πίνακας 26: Κόστος των loop flows για το 2015



Εικόνα 35: Σύγκριση κόστους των loop flows για το 2015

6.3 Σενάριο NoNTC 2015

6.3.1 Περιγραφή

Σε έναν αποτελεσματικό σχεδιασμό της αγοράς ο μόνος περιοριστικός παράγοντας για το εμπόριο μεταξύ δύο περιοχών θα έπρεπε να είναι η ικανότητα των στοιχείων του δικτύου στις γραμμές διασύνδεσης. Ως εκ τούτου, η διαφορά μεταξύ του καθαρού δυναμικού μεταφοράς (NTC) και του θερμικού δυναμικού μπορεί να αποτελέσει έναν τρόπο αξιολόγησης της τρέχουσας οριοθέτησης των περιοχών. Η σχέση αυτή μπορεί να δείξει το δυναμικό πεδίο για την αύξηση των NTC τιμών εάν τα στοιχεία του δικτύου δεν είχαν τη δυνατότητα να περιορίζουν τις διασυνοριακές συναλλαγές. (Luickx *et al.*, 2011)

Παρατηρείται ότι οι DC διασυνδέσεις έχουν αναλογικά υψηλότερες τιμές NTC, κάτι που εξηγείται από το γεγονός ότι οι συνδέσεις αυτές δεν επηρεάζονται από τις παράλληλες ροές και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες (υπόγεια ή υποθαλάσσια καλώδια). Χαμηλές τιμές NTC σε διάφορες AC συνδέσεις μπορεί να σημαίνει ότι το καλώδιο δεν ήταν λειτουργικό για μεγάλο χρονικό διάστημα (π.χ. λόγω συντήρησης) ή ότι η δυναμικότητα της γραμμής περιορίστηκε για την αποφυγή συμφορήσεων στις διασυνδεδεμένες περιοχές. Οι διαθέσιμες ικανότητες σε διασυνδέσεις υψηλής τάσης εναλλασσόμενου ρεύματος επηρεάζονται από ποικίλους παράγοντες, όπως οι ύπαρξη παράλληλων ροών.

Στο σενάριο αυτό έχοντας ως βάση το δίκτυο του 2015 αφαιρέσαμε τους περιορισμούς των NTC, ώστε να μην δεσμεύονται οι ανταλλαγές ενέργειας μεταξύ των χωρών, και παρατηρήσαμε τη συμπεριφορά των παράλληλων ροών. Η εγκατεστημένη ισχύς και το μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών προφανώς παραμένουν τα ίδια με το σενάριο του decarb2015 που παρουσιάστηκε προηγουμένως. Η μελέτη θα γίνει και πάλι για κάθε loop flow ξεχωριστά.

6.3.2 Loop flow GE→CZ→GE

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών για το τρέχον σενάριο και συγκρίνονται με τις αντίστοιχες του σεναρίου decarb2015. Παρατηρούμε ότι στην κατεύθυνση Γερμανίας-Τσεχίας δεν υπάρχει κάποια ιδιαίτερη διαφορά στη ροή ενέργειας, σε αντίθεση με τη ροή από τη Τσεχία στη Γερμανία όπου παρατηρούμε μια αύξηση συγκριτικά με το σενάριο του decarb2015.

Σενάριο	NoNTC 2015	No NTC 2015	Decarb 2015	Decarb 2015
Σύνορα	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)
Γερμανία-Τσεχία	5353,14	611,09	5332,06	608,68
Τσεχία-Γερμανία	11004,06	1256,16	9789,75	1117,55

Πίνακας 27: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-CZ-GE.

➤ Παράλληλες ροές

Ο συγκεκριμένος βρόγχος παράλληλης ροής ενέργειας στα σύνορα Γερμανίας-Τσεχίας όπως αποδείχθηκε για το σενάριο του decarb2015 είναι από τους πιο ισχυρούς. Παρακάτω παρουσιάζονται τα στοιχεία όπως υπολογίστηκαν για το σενάριο NoNTC 2015. Η παράλληλη ροή με κατεύθυνση από την περιοχή της Γερμανίας στη Τσεχία δεν παρουσιάζει μεγάλη αύξηση, ενώ στην αντίθετη κατεύθυνση από την περιοχή της Τσεχίας στη Γερμανία έχουμε μια αύξηση της παράλληλης ροής κατά 30% στο τρέχον σενάριο , συγκριτικά με το decarb2015.

Σενάριο	NoNTC 2015	NoNTC 2015	Decarb 2015	NoNTC 2015	NoNTC 2015
Περιοχές χωρών	Συνολική ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)	Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)
GE_SachsenThuringia-CZ_Praha	5353,14	5353,14	4882,37	611,09	611,09
CZ_Praha-GE_Oberpfalz	11004,06	11004,06	8277,72	1256,17	1256,17

Πίνακας 28: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-CZ-GE.

Σενάριο	NoNTC 2015	Decarb 2015
Περιοχές χωρών	Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)	Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)
GE_SachsenThuringia-CZ_Praha	100%	90%
CZ_Praha-GE_Oberpfalz	100%	86%

Πίνακας 29: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-CZ-GE

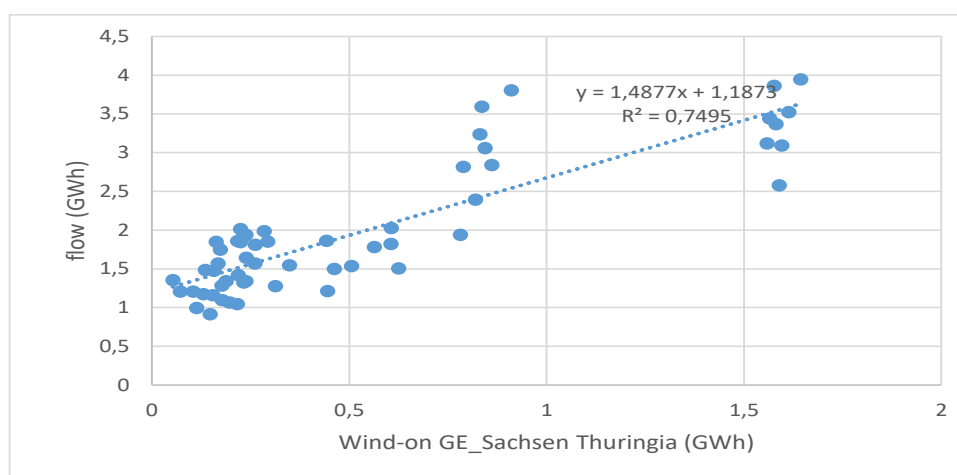
Αθροίζοντας όλες τις ώρες στις οποίες παρατηρείται το φαινόμενο του loop flow καταλήγουμε ότι εμφανίζεται καθ'όλη τη διάρκεια του χρόνου. Στο σενάριο decarb2015 εμφανιζόταν το 81% του χρόνου, συνεπώς έχουμε ενίσχυση του φαινομένου στα συγκεκριμένα σύνορα. Να σημειωθεί, όπως έχουμε προαναφέρει, ότι στη μελέτη μας έχουμε χρησιμοποιήσει 56 χρονικά τμήματα (time segments) το καθένα με διαφορετική διάρκεια. Συνεπώς ο υπολογισμός της συχνότητας δεν είναι απόλυτα ακριβής, καθώς για να ήταν θα έπρεπε να έχουμε 8760 χρονικά τμήματα το καθένα με την ίδια διάρκεια μιας ώρας.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{8760 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 1$$

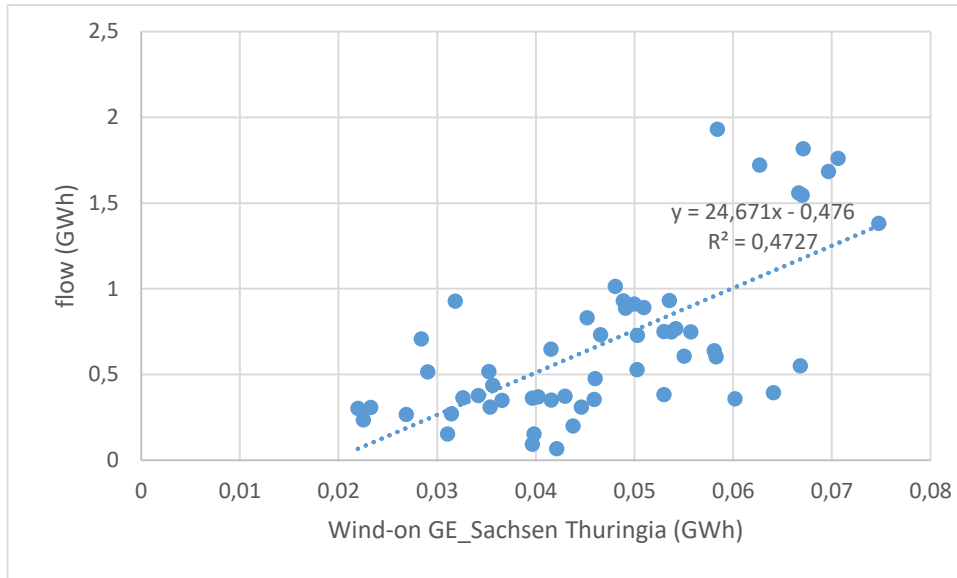
Μελετώντας τη συσχέτιση της παράλληλης ροής με τις παραμέτρους που εξετάζουμε, βρίσκουμε μια πολύ ισχυρή συσχέτιση ανάμεσα στην αιολική ενέργεια της περιοχής Brandenburg_South της Γερμανίας και στη ροή ενέργειας τόσο στα σύνορα Brandenburg_South- CZ_Praha όσο και στη ροή ενέργειας στο σύνολο του παράλληλου βρόγχου. Υψηλή είναι και η συσχέτιση με την αιολική ενέργεια της CZ_Praha. Τέλος χαμηλή είναι η συσχέτιση των ροών με τη ζήτηση των περιοχών CZ_Praha και GE_Oberpfalz με εξαίρεση τη ζήτηση της CZ_Praha. Αναλυτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στον παρακάτω πίνακα και διάγραμμα.

Συσχέτιση	GE_SachsenThuringia-CZ_Praha	CZ_Praha-GE_Oberpfalz	GE_SachsenThuringia-CZ_Praha-GE_Oberpfalz
Αιολική ενέργεια GE_SachsenThuringia	0,9	0,5	0,9
Αιολική ενέργεια CZ_Praha	0,7	0,3	0,6
Ζήτηση GE_Oberpfalz	-0,2	0,3	0,1
Ζήτηση CZ_Praha	0,1	0,5	0,4

Πίνακας 30: Συσχέτιση παράλληλων ροών με τις παραμέτρους του ανέμου και της ζήτησης.



Εικόνα 36: Διάγραμμα διασποράς των παράλληλων ροών του loop flow με την παραγωγή ενέργειας από αιολικά της περιοχής GE_SachsenThuringia.



Εικόνα 37: Διάγραμμα διασποράς των τιμών της παράλληλης ροής GE_SachsenThuringia-CZ_Praha με την παραγωγή ενέργειας από αιολικά της περιοχής CZ_Praha.

6.3.3 Loop flow GE→PD→CZ→AU→GE

- Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Σενάριο	NoNTC 2015	NoNTC 2015	Decarb 2015	Decarb 2015
Σύνορα	Ενέργεια - Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς- Φυσικές ροές (MW)	Ενέργεια- Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς- Φυσικές ροές (MW)
Γερμανία- Πολωνία	6377,17	727,99	7397,79	844,50
Πολωνία-Τσεχία	3340,29	381,31	1934,13	220,79
Τσεχία-Αυστρία	6391,70	729,65	7272,16	830,16
Αυστρία- Γερμανία	1386,03	158,22	2398,48	273,8

Πίνακας 31: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-CZ-AU-GE.

Συγκρίνοντας με τις ανταλλαγές ενέργειας των χωρών για το σενάριο decarb2015 παρατηρούμε ότι σε όλα τα σύνορα έχουμε μια μείωση της ροής ενέργειας κατά 10% περίπου. Μόνη εξαίρεση αποτελεί το σύνορο Πολωνίας-Τσεχίας όπου έχουμε μια αύξηση κατά 70%.

- Παράλληλες ροές

Παρατηρούμε ότι στο τρέχον σενάριο μεγαλύτερη ροή ενέργειας εμφανίζεται στις περιοχές των συνόρων Πολωνίας-Τσεχίας όπου παρατηρείται και αύξηση της ενέργειας κατά 10% από το σενάριο decarb2015. Σημαντική μείωση εμφανίζει η ενέργεια στις περιοχές GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodnio-Pomorskie αγγίζοντας το 58% , ενώ στις υπόλοιπες περιοχές οι διαφορές είναι μικρές.

Σενάριο	NoNTC 2015	NoNTC 2015	Decarb 2015	NoNTC 2015	NoNTC 2015
<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)</i>	<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>
<i>GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodnio-pomorskie</i>	5995,29	468,80	1129,3	684,39	53,52
<i>PD_Malopolskie-CZ_StredniMorava</i>	3340,29	794,55	715,09	381,31	90,70
<i>CZ_Severovychod-AU_LowerAustria</i>	2707,29	279,97	500,74	309,05	33,90
<i>AU_UpperAustria-GE_Niederbayern</i>	466,71	402,04	473,51	53,28	45,89

Πίνακας 32: Ενέργεια και ισχύς παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.

Σενάριο	NoNTC 2015	Decarb 2015
<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>
<i>GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodnio-pomorskie</i>	8%	17%
<i>PD_Malopolskie-CZ_StredniMorava</i>	24%	37%
<i>CZ_Severovychod-AU_LowerAustria</i>	10%	16%
<i>AU_UpperAustria-GE_Niederbayern</i>	86%	92%

Πίνακας 33: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.

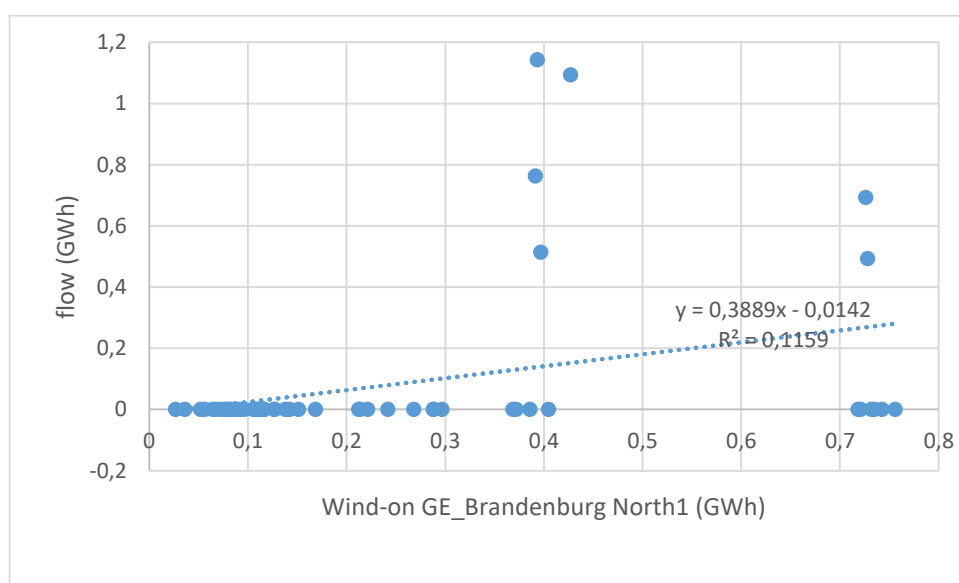
Αθροίζοντας όλες τις ώρες στις οποίες παρατηρείται να κλείνει αυτός ο βρόγχος παράλληλων ροών, υπολογίστηκαν σε 912 ώρες στη διάρκεια του 2015. Δηλαδή το 10% του χρόνου παρατηρούμε το loop flow ενώ στο σενάριο του decarb2015 εμφανιζόταν το 18% του χρόνου. Έχουμε λοιπόν μια εξασθένηση του φαινομένου στα συγκεκριμένα σύνορα.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{912 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,10$$

Μελετώντας τον Πίνακα 34, συμπεραίνουμε ότι δεν υπάρχει πλέον ισχυρή συσχέτιση με την τροφοδότηση ανέμου η οποία το 2015 έφτανε το 0,8. Επιπλέον χαμηλή εξακολουθεί να είναι η συσχέτιση των παράλληλων ροών με τη ζήτηση.

Συσχέτιση	GE_Brandenburg_North1- PD_Zachodnio-Pomorskie	PD_Malopolskie- CZ_StredniMorava	Loop flow
Αιολική ενέργεια GE_Brandenburg_North1	0,4	0,5	0,5
Αιολική ενέργεια PD_Zachodnio-pomorskie	0,5	0,4	0,5
Ζήτηση GE_Niederbayern	-0,1	0,3	0,4

Πίνακας 34: Συσχέτιση παράλληλων ροών με τις παραμέτρους της αιολικής ενέργειας και της ζήτησης.



Εικόνα 38: Διάγραμμα διασποράς των παράλληλων ροών του loop flow με την παραγωγή ενέργειας από αιολικά της περιοχής GE_Brandenburg_North1.

6.3.4 Loop flow GE→PD→SK→HU→AU

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Μεγαλύτερη ροή ενέργειας μεταξύ των χωρών παρατηρείται, όπως και στο σενάριο του decarb2015, στα σύνορα Γερμανίας-Πολωνίας, παρουσιάζοντας όμως στο σενάριο NoNTC 2015 μια μείωση 14%. Μείωση έχουμε και στα υπόλοιπα σύνορα με εξαίρεση τα σύνορα Γερμανίας-Σλοβακίας όπου στο σενάριο του decarb2015 περνούσε ελάχιστη ποσότητα ενέργειας ενώ τώρα περνάει σημαντικά μεγαλύτερη.

<i>Σενάριο</i>	<i>No NTC</i>	<i>No NTC</i>	<i>Decarb 2015</i>	<i>Decarb 2015</i>
<i>Σύνορα</i>	<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>	<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>
<i>Γερμανία-Πολωνία</i>	6377,17	727,99	7397,79	844,50
<i>Πολωνία-Σλοβακία</i>	361,34	41,25	10,63	1,21
<i>Σλοβακία-Ουγγαρία</i>	221,05	25,23	293,89	27,38
<i>Ουγγαρία-Αυστρία</i>	203,94	23,28	603,33	68,87

Πίνακας 35: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-SK-HU-AU.

- Παράλληλες ροές

Όπως είχαμε προαναφέρει το συγκεκριμένο loop flow είναι από τα πιο αδύναμα. Σε αντίθεση με το σενάριο του decarb2015, στο τρέχον σενάριο μεγαλύτερη ροή ενέργειας εμφανίζεται στο σύνορο PD_Podkarpackie- SK_Presov όπου έχουμε μια σημαντική αύξηση της ροής, ενώ μείωση παρατηρείται στα σύνορα GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodnio-Pomorskie.

<i>Σενάριο</i>	<i>NoNTC 2015</i>	<i>NoNTC 2015</i>	<i>Decarb 2015</i>	<i>NoNTC 2015</i>	<i>NoNTC 2015</i>
<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)</i>	<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>
<i>GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodnio-Pomorskie</i>	5995,29	36,23	12,76	684,39	4,14
<i>PD_Podkarpackie-SK_Presov</i>	361,34	165,50	0,34	41,25	18,89
<i>SK_Nitra-HU_NorthCentral</i>	221,05	28,87	1,68	25,23	3,30
<i>HU_NorthWest-AU_LowerAustria</i>	203,94	1,16	0,43	23,28	0,13

Πίνακας 35: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-SK-HU-AU.

<i>Σενάριο</i>	<i>NoNTC 2015</i>	<i>Decarb 2015</i>
<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>
<i>GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodnio-Pomorskie</i>	1%	2%
<i>PD_Podkarpackie-SK_Presov</i>	46%	30%
<i>SK_Nitra-HU_NorthCentral</i>	13%	52%
<i>HU_NorthWest-AU_LowerAustria</i>	1%	1%

Πίνακας 36: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-SK-HU-AU.

Το συγκεκριμένο loop flow εξακολουθεί να εμφανίζεται για μικρό χρονικό διάστημα του έτους και συγκεκριμένα για 186 ώρες.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{186 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,02$$

Επειδή ο βρόχος παράλληλης ροής στα συγκεκριμένα σύνορα εμφανίζεται όπως είδαμε για μικρό χρονικό διάστημα του έτους δεν έχει νόημα να υπολογιστεί η συσχέτιση του με τις παραμέτρους που εξετάζουμε.

6.3.5 Loop flow FR→GE→SW→FR

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Παρατηρώντας τις φυσικές ροές στα σύνορα των χωρών δυτικά της Γερμανίας βλέπουμε τη μεγαλύτερη ροή ενέργειας στα σύνορα Γαλλίας-Γερμανίας, η οποία μάλιστα μειώνεται συγκριτικά με το σενάριο decarb2015 κατά 25%. Στα σύνορα Γερμανίας-Ελβετίας έχουμε μια 18% αύξηση της ροής, ενώ στα σύνορα Ελβετίας-Γαλλίας έχουμε μια αμελητέα μείωση.

<i>Σενάριο</i>	<i>No NTC</i>	<i>No NTC</i>	<i>Decarb 2015</i>	<i>Decarb 2015</i>
<i>Σύνορα</i>	<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>	<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>
<i>Γαλλία-Γερμανία</i>	9592,55	1095,04	12865,25	1468,61
<i>Γερμανία-Ελβετία</i>	9492,15	1083,58	8051,36	919,06
<i>Ελβετία-Γαλλία</i>	5763,11	657,89	5821,15	664,51

Πίνακας 37: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών FR-GE-SW-FR..

- Παράλληλες ροές

Το συγκεκριμένο loop flow είναι από τα πιο ισχυρά στο δυτικό κομμάτι. Για το τρέχον σενάριο μεγαλύτερη ροή ενέργειας έχουμε στα σύνορα SW-FR_FrancheComte και GE_Stuttgart-SW παρουσιάζοντας μια μείωση 8% σε σύγκριση με το decarb2015, ενώ η ροή στις περιοχές των συνόρων Γαλλίας-Γερμανίας παρουσιάζει μια αύξηση 30%.

Σενάριο	NoNTC 2015	NoNTC 2015	Decarb 2015	NoNTC 2015	NoNTC 2015
<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)</i>	<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>
<i>FR_Alsace-GE_Freiburg</i>	2865,80	2513,25	1929,73	327,15	286,90
<i>GE_Stuttgart-SW</i>	4082,36	2835,84	3116,75	466,02	323,73
<i>SW-FR_FrancheComte</i>	4953,96	3430,08	3717,33	565,52	391,56

Πίνακας 38: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow FR-GE-SW-FR.

Σενάριο	NoNTC 2015	Decarb 2015
<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>
<i>FR_Alsace-GE_Freiburg</i>	88%	74%
<i>GE_Stuttgart-SW</i>	70%	95%
<i>SW-FR_FrancheComte</i>	69%	73%

Πίνακας 39: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow FR-GE-SW-FR.

Αθροίζοντας όλες τις ώρες στις οποίες παρατηρείται το συγκεκριμένο loop flow στο σενάριο μας, βρίσκουμε ότι αντιστοιχούν σε 6394 ώρες δηλαδή το 73% του έτους . Συγκρίνοντας με την αντίστοιχη συχνότητα στο σενάριο decarb2015 που ήταν 76% συμπεραίνουμε ότι αφαιρώντας τους περιορισμούς των NTC έχουμε μια ελάχιστη μείωση στη συχνότητα αλλά και στην ενέργεια των ροών στο βρόγχο.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{6394 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,73$$

Μελετώντας τη συσχέτιση βρίσκουμε θετική μεν αλλά αδύναμη συσχέτιση με την αιολική ενέργεια στην περιοχή FR_Alsace και τις παράλληλες ροές που προκύπτουν.

6.3.6 Loop flow GE→NL→BE→FR

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Συγκρίνοντας τις ροές ενέργειας στα σύνορα των χωρών που προκύπτουν από το σενάριο NoNTC 2015 με τις αντίστοιχες ροές για το decarb2015, παρατηρούμε μια αύξηση όλων των ροών. Πολύ μεγάλη διαφορά σε σχέση με τα υπόλοιπα σύνορα εντοπίζουμε στην ενέργεια από τη Γερμανία στην Ολλανδία η οποία παρουσιάζει και τη μεγαλύτερη αύξηση στο τρέχον σενάριο. Σημαντική είναι και η αύξηση που παρατηρείται στα σύνορα Βελγίου-Γαλλίας καθώς στο σενάριο του decarb2015 βλέπουμε να περνάει ελάχιστη ποσότητα ενέργειας η οποία ενισχύεται σημαντικά.

Συγκρίνοντας τις τιμές των NTC για το 2015 με τις αντίστοιχες ροές στα σύνορα των χωρών αυτών το 2015, παρατηρούμε στα σύνορα Γερμανίας-Ολλανδίας και Ολλανδίας-Βελγίου να ταυτίζονται οι τιμές. Συνεπώς στο σενάριο μας που δεν υπάρχει η δέσμευση των NTC είναι λογικό να έχουμε αύξηση της ενέργειας.

<i>Σενάριο</i>	<i>NoNTC 2015</i>	<i>NoNTC 2015</i>	<i>Decarb 2015</i>	<i>Decarb 2015</i>
<i>Σύνορα</i>	<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>	<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>
<i>Γερμανία-Ολλανδία</i>	34654,49	3955,99	21900	2500
<i>Ολλανδία-Βέλγιο</i>	16022,22	1829,02	8286,96	946
<i>Βέλγιο-Γαλλία</i>	3265,414	372,76	100,71	11,50

Πίνακας 40: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-NL-BE-FR.

- Παράλληλες ροές

Όπως προκύπτει από τον Πίνακα 41, στο τρέχον σενάριο έχουμε μια πολύ μεγάλη αύξηση των παράλληλων ροών σε όλα τα σύνορα συγκριτικά με το σενάριο decarb2015, με μεγαλύτερη την αύξηση στις περιοχές των συνόρων Γερμανίας-Ολλανδίας. Μπορούμε λοιπόν με σιγουριά να πούμε ότι η απουσία των NTC ενισχύει σημαντικά το συγκεκριμένο loop flow και ως προς τη ροή ενέργειας αλλά και στη συχνότητα εμφάνισης του φαινομένου η οποία φτάνει από το 7% στο 26%.

Σενάριο	NoNTC 2015	NoNTC 2015	Decarb 2015	NoNTC 2015	NoNTC 2015
Περιοχές χωρών	Συνολική ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)	Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)
GE_WeserErmSout h-NL_Gelderland	13787,30	4496,75	600,29	1573,89	513,32
NL_Limburg- BE_Flanders	6740,59	3347,26	228,99	769,47	382,11
BE_Flanders- FR_PicardieNordPas DeCalais	2880,01	2880,05	99,74	328,77	328,77

Πίνακας 41: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών ενέργειας του loop flow GE-NL-BE-FR.

Σενάριο	NoNTC 2015	Decarb 2015
Περιοχές χωρών	Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)	Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)
GE_WeserErmSouth- NL_Gelderland	33%	6%
NL_Limburg-BE_Flanders	50%	8%
BE_Flanders- FR_PicardieNordPasDeCalais	100%	100%

Πίνακας 42: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-NL-BE-FR.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{642 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,26$$

Η συγκεκριμένη παράλληλη ροή όπως προαναφέραμε επειδή ανήκει στα δυτικά σύνορα της Γερμανίας είναι δύσκολο να υπολογιστεί ο συσχετισμός της. Επιπλέον συμβαίνει για μικρό χρονικό διάστημα του έτους γεγονός που το κάνει πιο δύσκολο. Θετική λοιπόν αλλά αδύναμη είναι η συσχέτιση της με την αιολική ενέργεια της Γερμανίας ενώ σε περαιτέρω ανάλυση βρίσκουμε μια μέτρια συσχέτιση της τάξης του 0,5 με τη ζήτηση στην περιοχή της Γαλλίας FR_PicardieNordPasDeCalais όπου καταλήγει το loop flow.

6.4 Σενάριο Relax 2015

6.4.1 Περιγραφή

Στο δίκτυο μας υπάρχουν γραμμές στο εσωτερικό της Γερμανίας που κάποιες χρονικές στιγμές εμφανίζουν ενεργειακή συμφόρηση. Στο παρόν σενάριο εστίασαμε στη γραμμή που συνδέει τις περιοχές GE_SachsenThuringia- GE_Oberfranken της Γερμανίας, η οποία αποτελεί μια από τις πιο έντονες γραμμές συμφόρησης, συνδέοντας το βόρειο με το νότιο κομμάτι της Ανατολικής Γερμανίας. Αυξάνουμε λοιπόν σταδιακά το θερμικό όριο της συγκεκριμένης γραμμής και άρα μειώνουμε την

επαγωγική της αντίδραση, με σκοπό να επιτρέπεται, σύμφωνα με τους νόμους του Kirchhoff, η ροή παραπάνω ενέργειας. Στη συνέχεια μελετάμε τη συμπεριφορά των παράλληλων ροών στα ανατολικά μόνο σύνορα της Γερμανίας τα οποία επηρεάζονται από την γραμμή αυτή, καθώς προφανώς οι ροές στα δυτικά σύνορα δεν επηρεάζονται. Η αύξηση του θερμικού ορίου των γραμμών πραγματοποιήθηκε σε 4 στάδια διπλασιάζοντας σε κάθε στάδιο το πλήθος γραμμών της συγκεκριμένης σύνδεσης.

Στο σενάριο μας η εγκατεστημένη ισχύς από ΑΠΕ, το μείγμα ηλεκτροπαραγωγής καθώς και οι τιμές των NTC παραμένουν ίδιες με το σενάριο του decarb2015, αφού δεν επηρεάζονται από τυχόν αλλαγές σε γραμμές του δικτύου.

6.4.2 Loop flow GE→CZ→GE

- Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι ανταλλαγές ενέργειας μεταξύ των χωρών για κάθε επανάληψη του σεναρίου Relax, αλλά και για το decarb2015 που είναι το αρχικό μας σενάριο ώστε να γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις.

<i>Σενάριο</i>	<i>Σύνορα Γερμανία-Τσεχία</i>	<i>Σύνορα Τσεχία-Γερμανία</i>
Decarb 2015		
<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	5332,06	9789,75
<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>	608,68	1117,55
Relax 2		
<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	3880,64	8543,29
<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>	442,99	975,26
Relax 3		
<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	3283,56	7885,83
<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>	374,84	900,21
Relax 4		
<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	2976,79	7539,91
<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>	339,82	860,73
Relax 5		
<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	2790,74	7326,98
<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>	318,58	836,41

Πίνακας 43: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-CZ-GE για κάθε σενάριο Relax.

Παρατηρούμε μια σταδιακή μείωση των ροών και στις δυο κατευθύνσεις για κάθε επανάληψη του σεναρίου Relax, ενώ εξακολουθεί να ρέει αρκετά μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας από τη Τσεχία στη Γερμανία όπως συνέβαινε και στο σενάριο decarb2015. Μεγαλύτερη μείωση παρατηρούμε στη ροή ενέργειας από τη Γερμανία

στη Τσεχία, ενώ αντίθετα στις ροές από τη Τσεχία στη Γερμανία έχουμε μια μικρότερη πτώση της ενέργειας.

- Παράλληλες ροές

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε πως συμπεριφέρονται οι παράλληλες ροές ξεκινώντας από το πρώτο loop flow που εμφανίζεται στις περιοχές GE_SachsenThuringia - CZ_Praha -GE_Oberpfalz. Από τον Πίνακα 44 παρατηρούμε μια σταδιακή μείωση όλων των παράλληλων ροών. Στην πρώτη επανάληψη του σεναρίου Relax, στις περιοχές GE_SachsenThuringia-CZ_Praha, η ενέργεια μειώνεται κατά 27% και στις περιοχές CZ_Praha-GE_Oberpfalz έχουμε μια αντίστοιχη μείωση 26%, ενώ στη συνέχεια στα ίδια σύνορα έχουμε μια πτώση 20% και 37% αντίστοιχα, Σε κάθε επανάληψη έχουμε μια πτώση του ποσοστού μείωσης της ενέργειας και στην τελευταία επανάληψη η ροή και στα δυο σύνορα παρουσιάζει μια μείωση της τάξης του 13%.

Σενάριο	Περιοχές χωρών GE_SachsenThuringia - CZ_Praha	Περιοχές χωρών CZ_Praha- GE_Oberpfalz
Decarb 2015		
<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	5242,87	9666,85
<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	4882,37	8277,72
<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>	557,35	944,95
Relax 2		
<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	3799,13	8299,06
<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	3573,97	6056,13
<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>	407,99	691,34
Relax 3		
<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	3204,34	7477,91
<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	2849,66	3807,78
<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>	325,30	434,68
Relax 4		
<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	2877,32	6979,65
<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	2053,53	3165,13
<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>	234,42	361,32
Relax 5		
<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	2665,94	6647,08
<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	1792,32	2770,59
<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>	204,60	316,28

Πίνακας 44: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-CZ-GE για κάθε σενάριο Relax.

<i>Σενάριο</i>	<i>Περιοχές χωρών GE_SachsenThuringia - CZ_Praha</i>	<i>Περιοχές χωρών CZ_Praha- GE_Oberpfalz</i>
Decarb 2015		
<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>	93%	86%
Relax 2		
<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>	94%	73%
Relax 3		
<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>	89%	51%
Relax 4		
<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>	71%	45%
Relax 5		
<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>	67%	42%

Πίνακας 45: Ποσοστό ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow GE-CZ-GE για κάθε σενάριο Relax.

Στόχος του σεναρίου Relax είναι να αποδυναμώσει τις παράλληλες ροές και να ενισχύσει τις ροές στο εσωτερικό της Γερμανίας από το Βορρά προς το Νότο, οι οποίες περιορίζονται λόγω της συμφόρησης στη γραμμή GE_SachsenThuringia-GE_Oberfranken. Στο παρακάτω πίνακάκι φαίνεται λοιπόν πως οι ροές προς τη Τσεχία μειώνονται ενώ οι αντίστοιχες ροές ενέργειας στο εσωτερικό της Γερμανίας αυξάνονται.

Σενάριο	<i>GE_SachsenThuringia -CZ_Praha</i>	<i>GE_SachsenThuringia-GE_Oberfranken</i>	<i>GE_Brandenburg_South-GE_SachsenThuringia</i>
Decarb 2015			
<i>Ενέργεια (GWh)</i>	4882,37	8385,67	6928,39
<i>Μέση ισχύς (MW)</i>	557,35	957,27	790,91
Relax 2			
<i>Ενέργεια (GWh)</i>	3573,97	11710,81	8838,24
<i>Μέση ισχύς (MW)</i>	407,99	1336,76	1008,93
Relax 3			
<i>Ενέργεια (GWh)</i>	2849,66	13601,94	9356,98

Μέση ισχύς (MW)	325,30	1552,73	1068,15
Relax 4			
Ενέργεια (GWh)	2053,53	14793,22	9680,49
Μέση ισχύς (MW)	234,42	1688,72	1105,08
Relax 5			
Ενέργεια (GWh)	1792,32	15609,45	9900,99
Μέση ισχύς (MW)	204,60	1781,9	1130,25

Πίνακας 46: Ενέργεια και ισχύς της παράλληλης ροής GE-CZ και των ροών ενέργειας στο εσωτερικό της Γερμανίας.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται για κάθε σενάριο relax οι συνολικές ώρες ανά έτος που εμφανίζεται το loop flow και έτσι επιβεβαιώνεται και χρονικά η αποδυνάμωση του.

Σενάριο	Διάρκεια loop flow (ώρες /έτος)	Συχνότητα εμφάνισης loop GE-CZ-GE (% έτους)
Decarb 2015	7080	81%
Relax 2	6646	76%
Relax 3	5268	61%
Relax 4	4830	55%
Relax 5	4538	52%

Πίνακας 47: Συχνότητα εμφάνισης loop flow GE-CZ-GE για κάθε σενάριο Relax

6.4.3 Loop flow GE→PD→CZ→AU→GE

- Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Από τον Πίνακα 48 παρατηρούμε μια σταδιακή μείωση της ενέργειας στα περισσότερα σύνορα των χωρών για κάθε επανάληψη του σεναρίου Relax, με εξαίρεση τη ροή Αυστρίας-Γερμανίας που παρουσιάζει μικρές προσαυξήσεις. Σε όλα τα σενάρια μεγαλύτερη ροή ενέργειας έχουμε στα σύνορα Γερμανίας-Πολωνίας και Τσεχίας-Αυστρίας στα οποία συνολικά έχουμε και την μεγαλύτερη μείωση συγκριτικά με το σενάριο decarb 2015 καθώς φτάνει το 10% και 6% αντίστοιχα, ποσοστά μικρά ωστόσο σε σχέση με τις μειώσεις στο προηγούμενο loop flow που μελετήσαμε.

Σενάριο	Γερμανία- Πολωνία	Πολωνία- Τσεχία	Τσεχία- Αυστρία	Αυστρία- Γερμανία
Decarb 2015				
<i>Ενέργεια- Φυσικές ροές (GWh)</i>	7397,79	1934,13	7272,16	2398,48
<i>Μέση ισχύς- Φυσικές ροές (MW)</i>	844,50	220,79	830,16	273,8
Relax 2				
<i>Ενέργεια- Φυσικές ροές (GWh)</i>	6946,12	1921,98	6910,62	2582,62
<i>Μέση ισχύς- Φυσικές ροές (MW)</i>	792,94	219,4	788,88	294,82
Relax 3				
<i>Ενέργεια- Φυσικές ροές (GWh)</i>	6733,91	1896,11	6855,57	2547,91
<i>Μέση ισχύς- Φυσικές ροές (MW)</i>	768,71	216,45	782,60	290,86
Relax 4				
<i>Ενέργεια- Φυσικές ροές (GWh)</i>	6625,91	1851,22	6807,41	2488,42
<i>Μέση ισχύς- Φυσικές ροές (MW)</i>	756,38	211,33	777,10	284,07
Relax 5				
<i>Ενέργεια- Φυσικές ροές (GWh)</i>	6563,64	1810,01	6768,27	2449,45
<i>Μέση ισχύς- Φυσικές ροές (MW)</i>	749,27	206,62	772,63	279,62

Πίνακας 48: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-CZ-AU-GE για κάθε σενάριο Relax.

- Παράλληλες ροές

Από τον Πίνακα 49 παρατηρούμε μια σταδιακή μείωση των παράλληλων ροών σε όλα τα σύνορα. Στα σύνορα GE_Brandenburg_South- CZ_Praha μέχρι την τελική επανάληψη του σεναρίου μας, βλέπουμε μια μείωση της παράλληλης ροής κατά 42% ενώ εξίσου υψηλή είναι και η μείωση της ενέργειας στα σύνορα CZ_Praha-GE_Oberpfalz όπου αγγίζει το 46%. Ωστόσο η μεγαλύτερη πτώση εμφανίζεται στην ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ των περιοχών CZ_Severovychod-AU_LowerAustria φτάνοντας το 71%.

<i>Σενάριο</i>	<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Περιοχές χωρών</i>
Decarb 2015	<i>GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodniopomorskie</i>	<i>PD_Malopolskie-CZ_StredniMorava</i>	<i>CZ_Severovychod-AU_LowerAustria</i>	<i>AU_UpperAustria-GE_Niederbayern</i>
<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	6559,96	1934,13	3192,36	511,03
<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	1129,3	715,09	500,74	473,51
<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>	128,88	81,63	57,16	54,05
Relax 2				
<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	6313,73	1981,98	2987,38	540,67
<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	852,13	450,48	239,74	459,90
<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>	97,26	51,42	27,37	52,5
Relax 3				
<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	6152,61	1896,11	2939,30	508,60
<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	756,64	423,07	264,49	438,92
<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>	86,37	48,30	30,19	50,11
Relax 4				
<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	6072,10	1851,22	2900,96	483,30
<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	732,45	414,55	262,02	421,26
<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>	83,61	47,32	29,91	48,43
Relax 5				
<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	6024,92	1810,01	2872,92	474,05
<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	651,24	388,63	143,33	415,12

Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)	74,34	44,36	16,36	47,39
---------------------------------	-------	-------	-------	-------

Πίνακας 49: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE για κάθε σενάριο Relax.

Σενάριο	Περιοχές χωρών	Περιοχές χωρών	Περιοχές χωρών	Περιοχές χωρών
Decarb 2015	GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodniopomorskie	PD_Malopolskie-CZ_StredniMorava	CZ_Severovychod-AU_LowerAustria	AU_UpperAustria-GE_Niederbayern
Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)	17%	37%	16%	93%
Relax 2				
Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)	13%	23%	8%	85%
Relax 3				
Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)	12%	22%	8%	85%
Relax 4				
Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)	12%	22%	9%	86%
Relax 5				
Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)	11%	21%	5%	86%

Πίνακας 50: Ποσοστό ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow GE-PD-CZ-AU-GE για κάθε σενάριο Relax.

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται για κάθε σενάριο Relax οι συνολικές ώρες ανά έτος που εμφανίζεται το loop flow. Παρότι λοιπόν στις ροές ενέργειας έχουμε μια σημαντική μείωση, χρονικά δεν βλέπουμε κάποια αξιοσημείωτη εξασθένηση του συγκεκριμένου loop flow, το οποίο έτσι και αλλιώς εμφανίζεται για μικρό χρονικό διάστημα του έτους.

Σενάριο	Διάρκεια loop flow (ώρες/έτος)	Συχνότητα εμφάνισης loop flow (% έτους)
Decarb 2015	1607	18%
Relax 2	1147	13%
Relax 3	1319	15%
Relax 4	1319	15%

<i>Relax 5</i>	1124	13%
----------------	------	-----

Πίνακας 51: Συχνότητα loop flow GE-PD-CZ-AU-GE για κάθε σενάριο Relax

6.4.4 Loop flow GE→PD→SK→HU→AU

- Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι φυσικές ροές ενέργειας στα σύνορα των χωρών που συμμετέχουν στο συγκεκριμένο loop flow για κάθε σενάριο Relax.

<i>Σενάριο</i>	<i>Γερμανία-Πολωνία</i>	<i>Πολωνία-Σλοβακία</i>	<i>Σλοβακία-Ουγγαρία</i>	<i>Ουγγαρία-Αυστρία</i>
<i>Decarb 2015</i>				
<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	7397,79	10,63	293,89	603,33
<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>	844,50	1,21	33,55	68,87
<i>Relax 2</i>				
<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	6946,12	199,27	283,22	525,95
<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>	792,94	22,75	32,33	60,04
<i>Relax 3</i>				
<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	6733,91	282,74	316,42	413,18
<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>	768,71	32,28	36,12	47,17
<i>Relax 4</i>				
<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	6625,91	313,61	327,32	390,11
<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>	756,38	35,80	37,37	44,53
<i>Relax 5</i>				
<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	6563,64	306,77	325,81	388,61
<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>	749,27	35,02	37,19	44,36

Πίνακας 52: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-SK-HU-AU.

Παρατηρώντας την ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ των χωρών για κάθε σενάριο ,δεν βλέπουμε μια κοινή συμπεριφορά. Στα σύνορα Γερμανίας-Πολωνίας, όπου περνάει και η μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας , και στα σύνορα Ουγγαρίας-Αυστρίας έχουμε μια σταδιακή μείωση της ενέργειας κατά 10% και 4% αντίστοιχα. Αντίθετα στα σύνορα Πολωνίας-Σλοβακίας , όπου στο σενάριο decarb2015 περνά πολύ μικρή ποσότητα ενέργειας , παρατηρούμε μια σημαντική αύξηση, ενώ μικρή είναι η αύξηση στα σύνορα Ουγγαρίας-Αυστρίας.

- Παράλληλες ροές

Από τον Πίνακα 53 παρατηρούμε ότι έχουμε μια ενίσχυση του loop flow αφού οι παράλληλες ροές ενέργειας αυξάνονται σε όλα τα σύνορα. Η μεγαλύτερη και πιο απότομη αύξηση εμφανίζεται με την πρώτη επανάληψη του σεναρίου , δηλαδή στο Relax2, και ειδικά στα σύνορα SK_Nitra - HU_NorthCentral και HU_NorthWest-AU_LowerAustria όπου η παράλληλη ροή ήταν μηδαμινή.

<i>Σενάριο</i>	<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Περιοχές χωρών</i>
Decarb 2015	GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodniopomorskie	PD_Podkarpackie-SK_Presov	SK_Nitra-HU_NorthCentral	HU_NorthWest-AU_LowerAustria
<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	6559,96	10,63	28,55	603,33
<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	111,80	3,02	14,74	1,68
<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>	12,76	0,34	3,75	0,43
Relax 2				
<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	6313,73	199,27	42,91	525,95
<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	320,29	152,48	31,41	36,45
<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>	97,26	51,42	27,37	52,5
Relax 3				
<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	6152,61	282,74	56,97	413,18
<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	125,75	64,29	9,15	16,23
<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>	86,37	48,30	30,19	50,11

Relax 4				
Συνολική ροή ενέργειας (GWh)	6072,10	313,61	65,13	390,11
Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	221,95	113,76	14,79	23,96
Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)	83,61	47,32	29,91	48,43
Relax 5				
Συνολική ροή ενέργειας (GWh)	6024,93	306,77	64,50	388,61
Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	223,10	112,90	12,23	24,76
Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)	74,34	44,36	16,36	47,39

Πίνακας 53: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-SK-HU-AU για κάθε σενάριο Relax.

Σενάριο	Περιοχές χωρών	Περιοχές χωρών	Περιοχές χωρών	Περιοχές χωρών
Decarb 2015	GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodniopomorskie	PD_Podkarpackie-SK_Presov	SK_Nitra-HU_NorthCentral	HU_NorthWest-AU_LowerAustria
Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)	2%	28%	52%	1%
Relax 2				
Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)	5%	77%	74%	7%
Relax 3				
Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)	2%	23%	16%	4%
Relax 4				
Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)	4%	36%	22%	6%
Relax 5				

Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)	4%	37%	19%	6%
---	----	-----	-----	----

Πίνακας 54: Ποσοστό ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow GE-PD-SK-HU-AU για κάθε σενάριο Relax.

Σενάριο	Διάρκεια loop flow(ώρες/έτος)	Συχνότητα εμφάνισης loop flow(% έτους)
Decarb 2015	112	1,3%
Relax 2	280	3%
Relax 3	112	1,3%
Relax 4	196	2,2%
Relax 5	196	2,2%

Πίνακας 55: Συχνότητα loop flow GE-PD-SK-HU-AU για κάθε σενάριο Relax

Τα αποτελέσματα του Πίνακα 55 μας δείχνουν μια μικρή αύξηση στη συχνότητα του φαινομένου. Συμπερασματικά λοιπόν στο σενάριο μας έχουμε μια ενίσχυση του συγκεκριμένου loop flow, αφού εμφανίζεται περισσότερες ώρες μέσα στο χρόνο και περνάει σημαντικά περισσότερη ενέργεια.

6.5 Decarb 2030

6.5.1 Περιγραφή

Μια από τις βασικότερες αλλαγές του 2030 με το 2015 είναι ότι έχουν πραγματοποιηθεί κάποιες επενδύσεις στο δίκτυο. Οι επενδύσεις οι οποίες έχουν συμπεριληφθεί στο σενάριο μας και αφορούν τις περιοχές τις οποίες μελετάμε, παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

- **Under construction**

Περιοχή 1	Περιοχή 2	Έτος	Επένδυση(πλήθος γραμμών*Volt)
Vierraden GE	Krajnik PD	2020	2*380
Rohrsdorf GE	Wurgau GE	2020	2*380
Poppinghausen GE	Diele GE	2020	2*380
Krimpen NL	Diemen NL	2020	1*380
Diemen NL	Ens NL	2030	2*380

Πίνακας 56: Επενδύσεις under construction 2030

- **Design and permitting**

Περιοχή 1	Περιοχή 2	Έτος	Επένδυση(πλήθος γραμμών*Volt)
St Peter AU	Plaiting GE	2020	2*400

Hradec Zapad CZ	Kocin CZ	2030	1*400
Grohnde GE	Wahle GE	2020	2*380
God HU	Levice SK	2020	1*400
Geertruidenberg NL	Krimpen NL	2020	3*380
Geertruidenberg NL	Maasbracht NL	2020	4*380
Krimpen NL	Diemen NL	2020	1*380
Diemen NL	Ens NL	2030	2*380
Maasbracht NL	Hengelo NL	2020	2*380
Ens NL	Hengelo NL	2020	2*380
Hengelo NL	Meeden NL	2020	1*380

Πίνακας 57: Επενδύσεις design and permitting 2030

- **Base investments**

<i>Περιοχή 1</i>	<i>Περιοχή 2</i>	<i>Έτος</i>	<i>Επένδυση(πλήθος γραμμών*Volt)</i>
Burs AU	Laufenburg SW	2020	2*400
Mercator BE	Les Attaques FR	2020	1*400
Genissiat FR	St. Triphon SW	2030	1*400
Gronau GE	Hengelo NL	2020	1*400
Wahle GE	Wolmirstedt GE	2025	2*400
Gyor HU	P.Biskupice SK	2020	2*380
Slupk Wietbiecino PD	Oltarzew PD	2020	2*380
Plewiska PD	Slupk Wietbiecino PD	2020	2*380

Πίνακας 58:Επενδύσεις Base Investments για το 2030

- **DC γραμμές επένδυσης**

<i>Περιοχή 1</i>	<i>Περιοχή 2</i>	<i>Χρονιά</i>	<i>Επένδυση (MW)</i>
Gramme BE	Niederstedem GE	2020	650

Πίνακας 59: DC επενδύσεις για το 2030

Στη συνέχεια λοιπόν θα γίνει μια ανάλυση όπως έγινε και για το decarb 2015 ώστε να δούμε τη συμπεριφορά των παράλληλων ροών με την κατάσταση του δικτύου το 2030.

6.5.2 Loop flow GE→CZ→GE

- Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Από τον Πίνακα 60 όπως και το 2015 έτσι και το 2030 βλέπουμε μεγαλύτερη ροή ενέργειας από τη Τσεχία στη Γερμανία, η οποία παρουσιάζει και μεγάλη αύξηση στο τρέχον σενάριο. Αύξηση παρατηρείται και στην ενέργεια από τη Γερμανία στη Τσεχία. Η Γερμανία το 2030 εξακολουθεί να είναι εισαγωγική από τη Τσεχία και μάλιστα

σχεδόν διπλασιάζει τις εισαγωγές της αφού το 2015 η συνολική ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ τους είναι 509 MW και το 2030 1061 MW.

Σενάριο	<i>Decarb 2030</i>	<i>Decarb 2030</i>	<i>Decarb 2015</i>	<i>Decarb 2015</i>
Σύνορα	<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>	<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>
<i>Γερμανία-Τσεχία</i>	7110,76	811,73	5332,06	608,68
<i>Τσεχία-Γερμανία</i>	16405,91	1872,82	9789,75	1117,55

Πίνακας 60: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-CZ-GE.

➤ Παράλληλες ροές

Στην ενότητα αυτή θα μελετήσουμε τη συμπεριφορά του πρώτου loop flow το 2030 συγκριτικά με το 2015. Η συγκεκριμένη παράλληλη ροή ενέργειας στα σύνορα Γερμανίας-Τσεχίας για το 2015 όπως έχουμε αναφέρει είναι μια από τις πιο ισχυρές οπότε μένει να δούμε εάν ενισχύεται ή όχι το 2030. Από τον Πίνακα 61 διακρίνουμε μια αύξηση και τω δυο παράλληλων ροών συγκριτικά με το σενάριο decarb2015. Ωστόσο πολύ μεγαλύτερη είναι η αύξηση της ροής CZ_Praha-GE_Oberpfalz η οποία αγγίζει το 92%, δηλαδή σχεδόν διπλασιάζεται η ενέργεια, ενώ στα σύνορα GE_SachsenThuringia-CZ_Praha η ενέργεια αυξάνει κατά 46%.

Σενάριο	<i>Decarb 2030</i>	<i>Decarb 2030</i>	<i>Decarb 2015</i>	<i>Decarb 2030</i>	<i>Decarb 2030</i>
Περιοχές χωρών	<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)</i>	<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>
<i>GE_SachsenThuringia-CZ_Praha</i>	7110,76	7110,76	4882,37	811,73	811,73
<i>CZ_Praha-GE_Oberpfalz</i>	16391,18	16030,94	8277,72	1871,14	1830,02

Πίνακας 61: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-CZ-GE.

Σενάριο	<i>Decarb 2030</i>	<i>Decarb 2015</i>
Περιοχές χωρών	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>
<i>GE_SachsenThuringia-CZ_Praha</i>	100%	90%
<i>CZ_Praha-GE_Oberpfalz</i>	97%	86%

Πίνακας 62: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-CZ-GE.

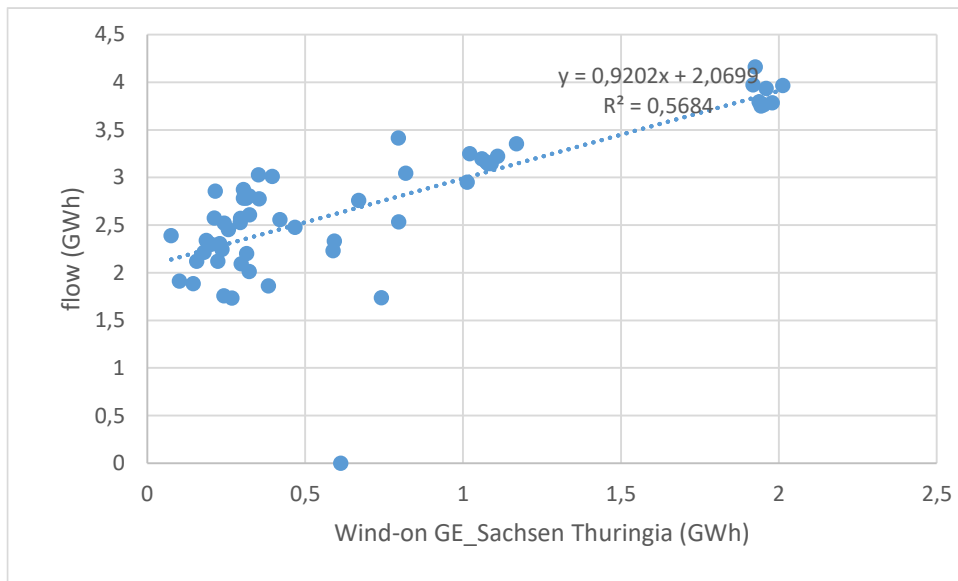
Αθροίζοντας όλες τις ώρες στις οποίες παρατηρείται το φαινόμενο του loop καταλήγουμε ότι εμφανίζεται 8592 ώρες , δηλαδή το 98% του χρόνου. Συμπερασματικά λοιπόν το 2030 έχουμε μια σημαντική ενίσχυση του loop flow σε σύγκριση με το 2015.

$$\text{Συχνότητα loop flow(ανά έτος)} = \frac{7080 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,98$$

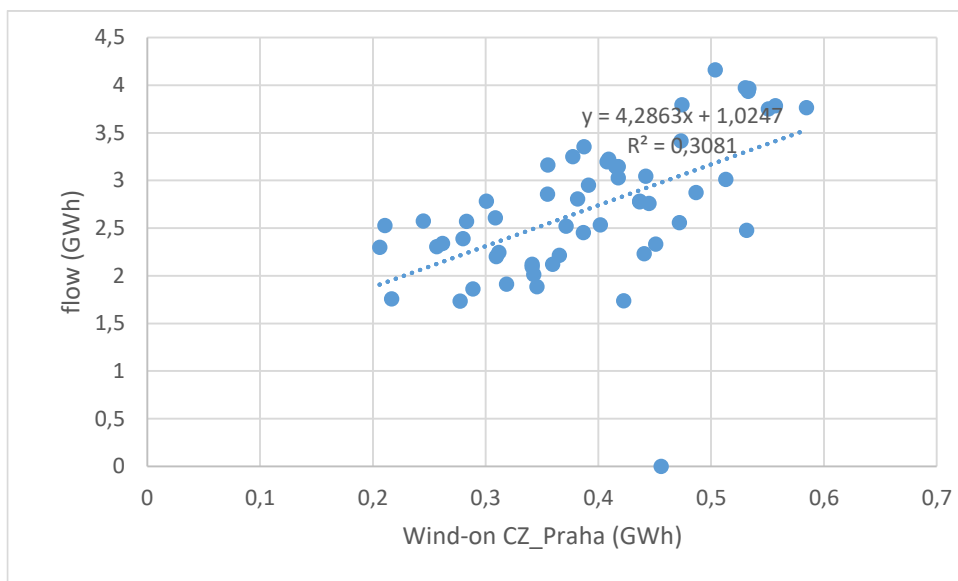
Για το συγκεκριμένο loop flow λοιπόν βρήκαμε ότι εξακολουθεί να υπάρχει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ της αιολικής ενέργειας στην περιοχή έναρξης του loop flow (GE_SachsenThuringia) και την παράλληλη ροή ενέργειας στα σύνορα GE_SachsenThuringia - CZ_Praha, αλλά και με τις παράλληλες ροές ενέργειας στο σύνολο του loop flow. Σχετικά ισχυρή παραμένει και η συσχέτιση ανάμεσα στην αιολική ενέργεια της CZ_Praha και τη ροή ενέργειας στο σύνολο του loop flow ενώ μειώνεται με τα σύνορα GE_SachsenThuringia - CZ_Praha. Αναλυτικά εμφανίζονται όλα στον Πίνακα 63 και στο διάγραμμα της εικόνας 64 όπου απεικονίζονται τα διαγράμματα διασποράς για τις μεταβλητές της ροής ενέργειας των παράλληλων ροών και της παραγωγής ενέργειας από αιολικά. Στα διαγράμματα παρουσιάζεται επίσης η συνάρτηση γραμμικής παλινδρόμησης και ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 ο οποίος δείχνει το ποσοστό της μεταβολής της y (παράλληλες ροές) που οφείλεται στην μεταβολή της x (αιολική ενέργεια) και μεταβάλλεται από 0 μέχρι 1.

<i>Συσχέτιση</i>	<i>GE_SachsenThuringia - CZ_Praha</i>	<i>CZ_Praha- GE_Oberpfalz</i>	<i>Loop flow</i>
<i>Αιολική ενέργεια GE_SachsenThuringia</i>	0,8	0,4	0,8
<i>Αιολική ενέργεια CZ_Praha</i>	0,6	0,2	0,7
<i>Ζήτηση CZ_Praha</i>	0,1	0,5	0,3
<i>Ζήτηση GE_Oberpfalz</i>	-0,1	0,4	0,2

Πίνακας 63:Συσχέτιση παράλληλων ροών με τις παραμέτρους της αιολικής ενέργειας και της ζήτησης



Εικόνα 39: Διάγραμμα διασποράς των παράλληλων ροών του loop flow με την παραγωγή ενέργειας από αιολικά της περιοχής GE_Sachsen Thuringia.

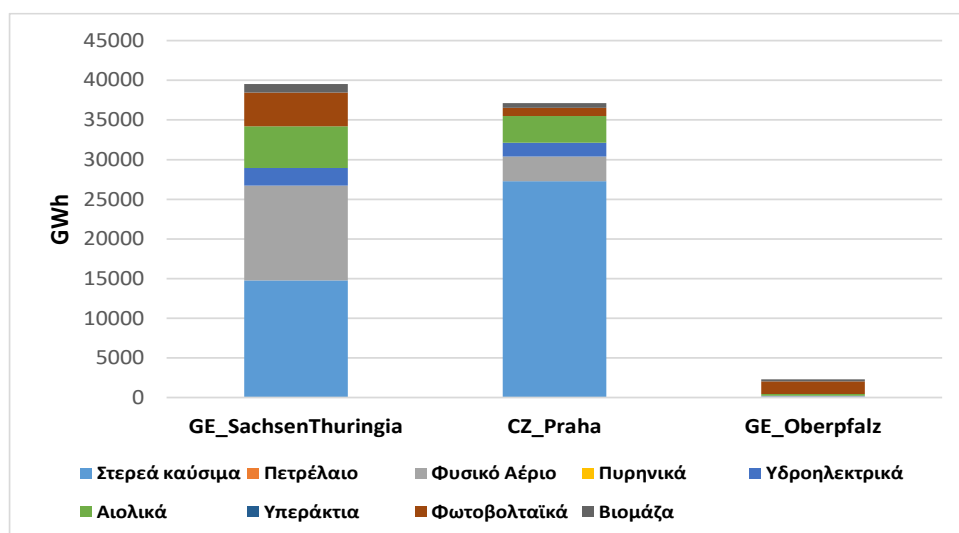


Εικόνα 40: Διάγραμμα διασποράς των παράλληλων ροών του loop flow με την παραγωγή ενέργειας από αιολικά της περιοχής CZ_Praha.

➤ Μείγμα Ηλεκτροπαραγωγής

Μελετώντας το ενεργειακό μείγμα των περιοχών τις οποίες διασχίζει το loop flow διαπιστώνουμε ότι διατηρείται όπως και το 2015 η μεγάλη διαφορά της ηλεκτροπαραγωγής στο κομμάτι της Γερμανίας από το οποίο ξεκινάει το loop flow GE_SachsenThuringia και το κομμάτι της Γερμανίας στο οποίο καταλήγει GE_Oberpfalz. Συγκριτικά με το decarb 2015 στην περιοχή GE_SachsenThuringia έχουμε μεγάλη αύξηση των φωτοβολταϊκών η οποία φτάνει το 95% ενώ αύξηση

παρατηρείται και στην αιολική ενέργεια κατά 30%. Στην περιοχή CZ_Praha έχουμε μια γενικότερη αύξηση του μείγματος ηλεκτροπαραγωγής με μεγαλύτερη όμως αύξηση στην αιολική ενέργεια η οποία οχταπλασιάζεται. Τέλος και στην περιοχή GE_Oberpfalz έχουμε μια αύξηση του μείγματος ενέργειας κατά 120% παρότι η συνολική ενέργεια παραμένει χαμηλή σε σχέση με τις άλλες δυο περιοχές που διασχίζει το loop flow.



Εικόνα 41: Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών που διασχίζει το loop flow GE-CZ-GE.

6.5.3 Loop flow GE→PD→CZ→AU→GE

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Από τον Πίνακα 64 παρατηρούμε μεγαλύτερη ροή ενέργειας μεταξύ των χωρών Γερμανίας-Πολωνίας και Τσεχίας-Αυστρίας.

Σενάριο	Decarb 2030	Decarb 2030	Decarb 2015	Decarb 2015
Σύνορα	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)
Γερμανία-Πολωνία	9765,70	1114,81	7397,79	844,50
Πολωνία-Τσεχία	2147,15	245,11	1934,13	220,79
Τσεχία-Αυστρία	6600,42	753,47	7272,16	830,16
Αυστρία-Γερμανία	10641,53	1214,79	2398,48	273,8

Πίνακας 64: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-CZ-AU-GE

Συγκρίνοντας τις ροές στα σύνορα των χωρών που συμμετέχουν σε αυτό το loop flow έχουμε μια γενική αύξηση της ενέργειας στο τρέχον σενάριο, με εξαίρεση τη ροή ενέργειας από τη Τσεχία στην Αυστρία όπου παρατηρείται μια μικρή μείωση. Η Τσεχία

το 2030 αυξάνει κατά πολύ τις εξαγωγές της προς τη Γερμανία, όπως σχολιάσαμε και στο προηγούμενο loop flow, ενώ τις μειώνει προς την Αυστρία και τη Σλοβακία. Όπως φαίνεται και από το πινακάκι η μεγαλύτερη αύξηση στην ενέργεια παρατηρείται στη ροή της Αυστρίας προς τη Γερμανία η οποία σχεδόν τριπλασιάζεται. Μάλιστα ενώ η Αυστρία το 2015 είναι εισαγωγική ως προς τη Γερμανία το 2030 γίνεται εξαγωγική.

➤ Παράλληλες ροές

Ελέγχοντας τη συμπεριφορά των παράλληλων ροών για το σενάριο decarb2030 βλέπουμε μια σημαντική αύξηση, συγκριτικά με το 2015, και κυρίως στην παράλληλη ροή στις περιοχές GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodniopomorskie, γεγονός που πιθανόν σχετίζεται με την επένδυση που γίνεται στη γραμμή αυτή το 2020 και επιτρέπει έτσι τη ροή παραπάνω ενέργειας. Σημαντική επένδυση γίνεται και στα σύνορα AU_UpperAustria-GE_Niederbayern δικαιολογώντας την μεγάλη αύξηση της ροής από την Αυστρία στη Γερμανία.

<i>Σενάριο</i>	<i>Decarb 2030</i>	<i>Decarb 2030</i>	<i>Decarb 2015</i>	<i>Decarb 2030</i>	<i>Decarb 2030</i>
<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)</i>	<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>
<i>GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodniopomorskie</i>	8820,17	7167,77	1129,30	1006,87	818,24
<i>PD_Malopolskie-CZ_StredniMorava</i>	2147,14	2144,18	715,09	245,11	244,77
<i>CZ_Severovychod-AU_LowerAustria</i>	4319,37	3910,31	500,74	493,08	446,38
<i>AU_UpperAustria-GE_Niederbayern</i>	6314,20	5997,29	473,51	720,80	684,62

Πίνακας 65: Ενέργεια και ισχύς παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.

<i>Σενάριο</i>	<i>Decarb 2030</i>	<i>Decarb 2015</i>
<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>
<i>GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodniopomorskie</i>	81%	17%

<i>PD_Malopolskie-CZ_StredniMorava</i>	98%	37%
<i>CZ_Severovychod-AU_LowerAustria</i>	90%	16%
<i>AU_UpperAustria-GE_Niederbayern</i>	95%	92%

Πίνακας 66: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του *loop flow* GE-PD-CZ-AU-GE.

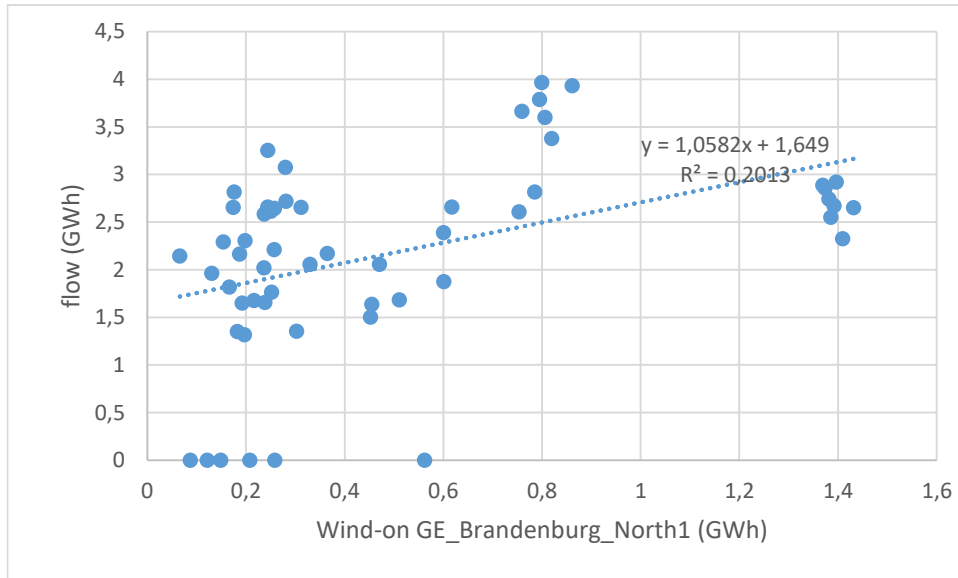
Οι ώρες στις οποίες παρατηρείται το *loop flow* για το 2030 υπολογίζονται σε 7686 ώρες, τεράστια διαφορά σε σχέση με τις 1607 ώρες που εμφανίζονται το 2015. Να σημειωθεί, όπως έχουμε προαναφέρει, ότι στη μελέτη μας έχουμε χρησιμοποιήσει 56 χρονικά τμήματα (time segments) το καθένα με διαφορετική διάρκεια. Συνεπώς ο υπολογισμός της συχνότητας δεν είναι απόλυτα ακριβής, καθώς για να ήταν θα έπρεπε να έχουμε 8760 χρονικά τμήματα το καθένα με την ίδια διάρκεια μιας ώρας.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{7686 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,88$$

Από τον Πίνακα 67 καταλήγουμε ότι υπάρχει μέτρια συσχέτιση ανάμεσα στην τροφοδότηση ανέμου της περιοχής *GE_Brandenburg_North1* της Γερμανίας και στην παράλληλη ροή *GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodniopomorskie* αλλά και *PD_Malopolskie-CZ_StredniMorava*. Όπως φαίνεται και από το διάγραμμα διασποράς της εικόνας 42 ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 ο οποίος δείχνει το ποσοστό της μεταβολής της y (παράλληλες ροές) που οφείλεται στην μεταβολή της x (αιολική ενέργεια) και μεταβάλλεται από 0 μέχρι 1, είναι σχετικά χαμηλός.

Συσχέτιση	<i>GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodniopomorskie</i>	<i>PD_Malopolskie-CZ_StredniMorava</i>	<i>Loop flow</i>
<i>Αιολική ενέργεια GE_Brandenburg_North1</i>	0,5	0,6	0,5
<i>Αιολική ενέργεια PD_ZachodniPomorskie</i>	0,3	0,6	0,4
<i>Ζήτηση GE_Niederbayern</i>	0,1	-0,3	0,6

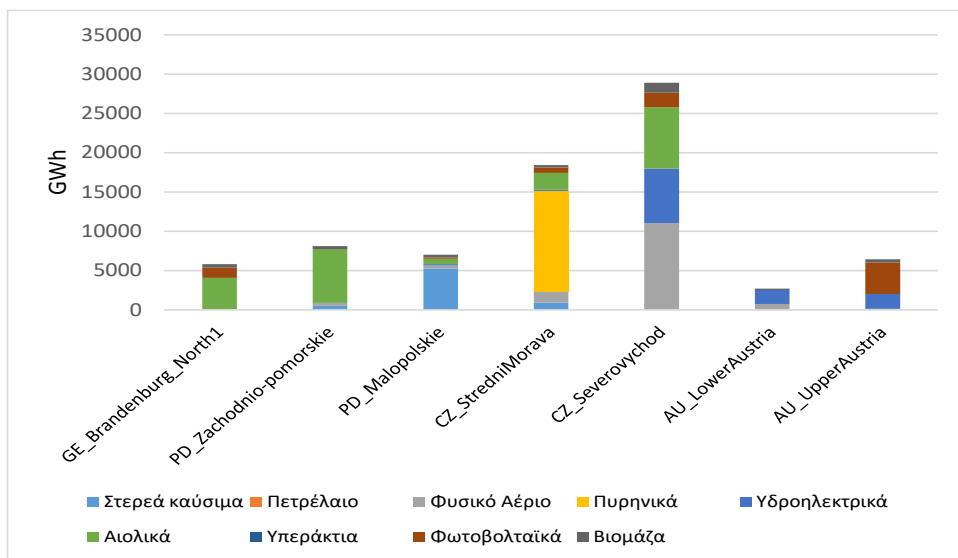
Πίνακας 67: Συσχέτιση παράλληλων ροών με τις παραμέτρους της αιολικής ενέργειας και της ζήτησης.



Εικόνα 42: Διάγραμμα διασποράς των παράλληλων ροών του loop flow με την παραγωγή ενέργειας από αιολικά της περιοχής GE_Brandenburg_North1.

• Μείγμα Ηλεκτροπαραγωγής

Συγκρίνοντας το μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών που διασχίζει το loop flow το 2030 με το 2015 στην περιοχή GE_Brandenburg_North1 βλέπουμε να αυξάνει σημαντικά η παραγωγή ενέργειας από αιολικές μονάδες και φωτοβολταϊκά, ενώ στις περιοχές της Πολωνίας διακρίνουμε μια μεγάλη μείωση της παραγωγής από στερεά καύσιμα και αύξηση από αιολικές μονάδες. Συγκρίνοντας τις περιοχές της Τσεχίας για τις δυο χρονιές δεν παρατηρούμε ιδιαίτερες διαφορές στο μείγμα ηλεκτροπαραγωγής πέρα από κάποια αύξηση των αιολικών μονάδων. Τέλος στις περιοχές της Αυστρίας το 2030 παρατηρείται μία μείωση της ενέργειας από στερεά καύσιμα και φυσικό αέριο και μια πολύ μεγάλη αύξηση από αιολικές μονάδες και φωτοβολταϊκά.



Εικόνα 43: Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών που διασχίζει το loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.

6.5.4 Loop flow GE→PD→SK→HU→AU

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Από τον Πίνακα 68 διακρίνουμε μια αύξηση σε όλες τις ανταλλαγές ενέργειας μεταξύ των χωρών στο τρέχον σενάριο συγκριτικά με το 2015. Μεγαλύτερη ροή ενέργειας όπως και το 2015 έχουμε στα σύνορα Γερμανίας-Πολωνίας, η οποία αυξάνει κατά 32%. Μεγάλη είναι και η αύξηση που παρατηρούμε στις ανταλλαγές ενέργειας μεταξύ Σλοβακίας-Ουγγαρίας και Ουγγαρίας-Αυστρίας, οι οποίες παρότι το 2015 έχουν μικρές ροές ενέργειας το 2030 τις πολλαπλασιάζουν σημαντικά.

Σενάριο	Decarb 2030	Decarb 2030	Decarb 2015	Decarb 2015
<i>Σύνορα</i>	<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>	<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>
<i>Γερμανία-Πολωνία</i>	9765,70	1114,81	7397,79	844,50
<i>Πολωνία-Σλοβακία</i>	83,01	9,48	10,63	1,21
<i>Σλοβακία-Ουγγαρία</i>	2727,11	311,31	293,89	27,38
<i>Ουγγαρία-Αυστρία</i>	2935,71	335,13	603,33	68,87

Πίνακας 68: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-SK-HU-AU.

• Παράλληλες ροές

Σενάριο	Decarb 2030	Decarb 2030	Decarb 2015	Decarb 2030	Decarb 2030
<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)</i>	<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>
<i>GE_Brandenburg_North1- PD_Zachodnio-pomorskie</i>	8820,17	412,57	111,80	1006,85	47,10
<i>PD_Podkarpackie-SK_Presov</i>	83,01	54,10	3,02	9,48	6,18
<i>SK_Nitra-HU_NorthCentral</i>	2609,10	49,05	14,74	297,84	5,60
<i>HU_NorthWest-AU_LowerAustria</i>	2935,71	64,58	3,75	335,13	7,37

Πίνακας 69: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών ενέργειας του loop flow GE-PD-SK-HU-AU.

<i>Σενάριο</i>	<i>Decarb 2030</i>	<i>Decarb 2015</i>
<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>
<i>GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodnio-pomorskie</i>	5%	2%
<i>PD_Podkarpackie-SK_Presov</i>	65%	30%
<i>SK_Nitra-HU_NorthCentral</i>	2%	52%
<i>HU_NorthWest-AU_LowerAustria</i>	2%	1%

Πίνακας 70: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-SK-HU-AU.

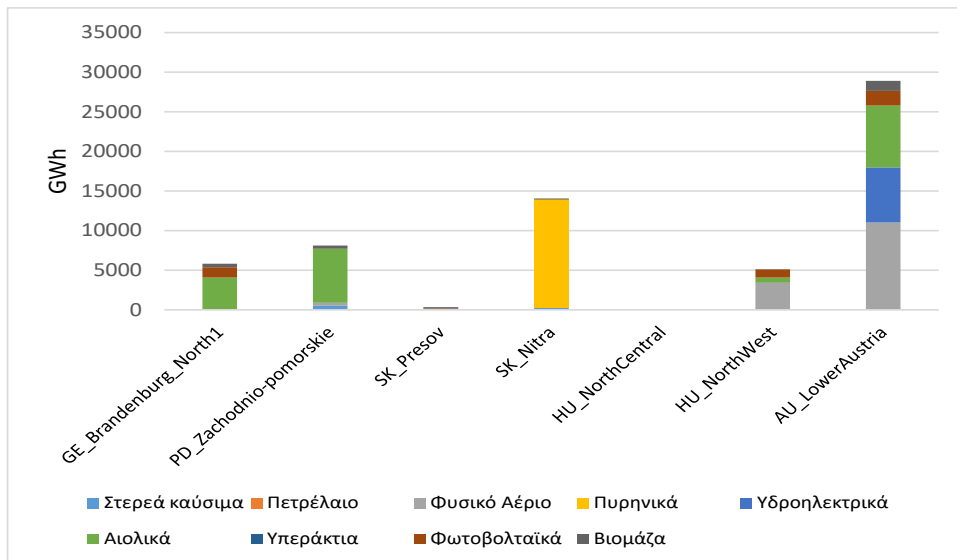
Από τους παραπάνω πίνακες και συγκρίνοντας τα δυο σενάρια του Decarb 2015 και Decarb 2030, παρατηρούμε το 2030 μια αύξηση όλων των παράλληλων ροών γεγονός που σχετίζεται με τις επενδύσεις που γίνονται μέχρι τη χρονιά αυτή. Η μεγαλύτερη ροή ενέργειας εξακολουθεί να εμφανίζεται στο σύνορο Γερμανίας-Πολωνίας.

Αθροίζοντας όλες τις ώρες στις οποίες παρατηρείται το loop flow υπολογίζονται σε 448 ώρες , δηλαδή το 5% του χρόνου ενώ για το 2015 η συχνότητα του ήταν 1%.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{448 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,05$$

➤ Μείγμα Ηλεκτροπαραγωγής

Μελετώντας το ενεργειακό μείγμα των περιοχών όπως αναφέραμε και για το προηγούμενο loop flow το 2030 η περιοχή GE_Brandenburg_North1 βλέπουμε να αυξάνει σημαντικά η παραγωγή ενέργειας από αιολικές μονάδες και φωτοβολταϊκά ενώ στις περιοχές της Πολωνίας διακρίνουμε μια μεγάλη μείωση της παραγωγής από στερεά καύσιμα και αύξηση από αιολικές μονάδες. Στην περιοχή SK_Nitra έχουμε μια αύξηση της ενέργειας από πυρηνικές μονάδες ενώ πολύ μεγάλη είναι η μείωση από στερεά καύσιμα το 2030 στην περιοχή HU_NorthCentral. Τέλος αύξηση της ενέργειας από μονάδες φωτοβολταϊκών έχουμε στις HU_NorthWest και AU_LowerAustria ενώ στην τελευταία διακρίνουμε και μία πτώση της παραγωγής από στερεά καύσιμα και φυσικό αέριο αλλά και μια πολύ μεγάλη αύξηση από αιολικές μονάδες.



Εικόνα 44: Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών που διασχίζει το loop flow GE-PD-SK-HU-AU.

6.5.5 Loop flow FR→GE→SW→FR

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Μελετώντας τις φυσικές ροές στα σύνορα των χωρών που συμμετέχουν σε αυτό το loop flow για το 2030 δεν παρατηρούμε αύξηση όπως συνέβαινε στις ροές ανατολικά της Γερμανίας. Πέρα από την ενέργεια στα σύνορα Γαλλίας-Γερμανίας η οποία αυξάνει κατά 90% συγκριτικά με το σενάριο decarb2015, οι υπόλοιπες ροές μειώνονται περίπου κατά 23%. Να αναφέρουμε ότι η Γαλλία είναι πλήρως εξαγωγική το 2015 όπως και το 2030 αυξάνοντας και σημαντικά τις εξαγωγές της προς Γερμανία, Βέλγιο και Ελβετία.

Σενάριο	<i>Decarb</i> 2030	<i>Decarb</i> 2030	<i>Decarb</i> 2015	<i>Decarb</i> 2015
<i>Σύνορα</i>	<i>Ενέργεια- Φυσικές ροές (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς- Φυσικές ροές (MW)</i>	<i>Ενέργεια- Φυσικές ροές (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς- Φυσικές ροές (MW)</i>
<i>Γαλλία-Γερμανία</i>	24175,55	2759,77	12865,25	1468,61
<i>Γερμανία-Ελβετία</i>	5961,29	680,51	8051,36	919,06
<i>Ελβετία-Γαλλία</i>	4529,52	517,07	5821,15	664,51

Πίνακας 71: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών FR-GE-SW-FR.

• Παράλληλες ροές

Μελετώντας τις παράλληλες ροές σε αυτό το βρόγχο του loop flow διακρίνουμε στο τρέχον σενάριο μια αύξηση της ενέργειας στα σύνορα FR_Alsace-GE_Freiburg, σε σύγκριση με το σενάριο decarb2015, και μια μείωση στα υπόλοιπα σύνορα, με αποτέλεσμα να περνάει από εκεί η μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας για το 2030 σε αντίθεση με το 2015 που περνούσε από τα σύνορα SW- FR_FrancheComte.

<i>Σενάριο</i>	<i>Decarb 2030</i>	<i>Decarb 2030</i>	<i>Decarb 2015</i>	<i>Decarb 2030</i>	<i>Decarb 2030</i>
<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)</i>	<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>
<i>FR_Alsace-GE_Freiburg</i>	4149,75	3406,88	1929,73	473,72	388,91
<i>GE_Stuttgart-SW</i>	1912,50	1676,34	3116,75	218,32	191,36
<i>SW-FR_FrancheComte</i>	4165,23	2803,91	3717,33	475,48	320,08

Πίνακας 72: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow FR-GE-SW-FR.

<i>Σενάριο</i>	<i>Decarb 2030</i>	<i>Decarb 2015</i>
<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>
<i>FR_Alsace-GE_Freiburg</i>	82%	74%
<i>GE_Stuttgart-SW</i>	88%	95%
<i>SW-FR_FrancheComte</i>	67%	73%

Πίνακας 73: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow FR-GE-SW-FR.

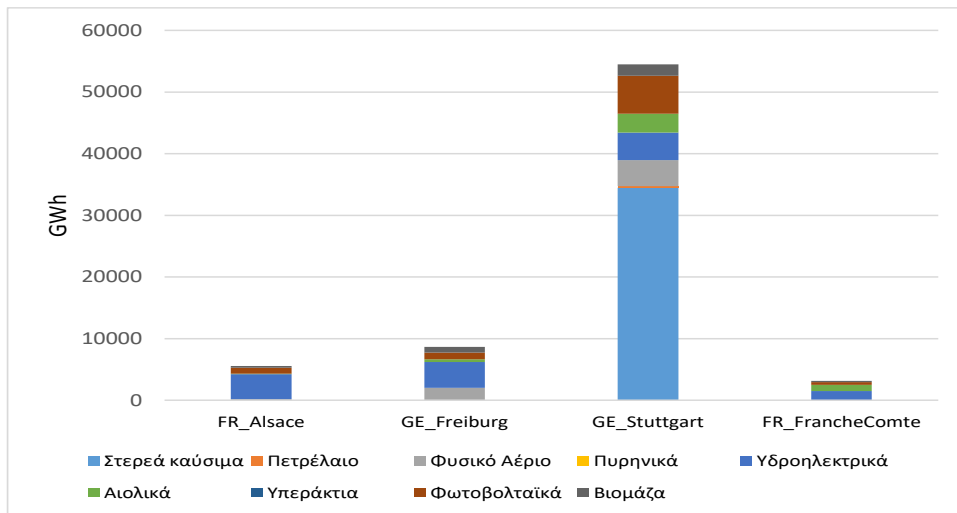
Αθροίζοντας όλες τις ώρες στις οποίες παρατηρείται το loop flow καταλήγουμε ότι το 2030 εμφανίζεται 6658 ώρες, δηλαδή το 76% του χρόνου. Το 2015 είχαμε υπολογίσει ότι εμφανίζεται 6670 ώρες, συνεπώς και από θέμα συχνότητας και από ροή ενέργειας δε βλέπουμε κάποια ιδιαίτερη διαφορά με το 2015.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{6658 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,76$$

Όπως αναφέραμε και για το 2015 δεν υπάρχει καμία ισχυρή συσχέτιση των ροών ενέργειας με τις παραμέτρους που εξετάζουμε. Βρίσκουμε αρνητική τη συσχέτιση της τροφοδότησης ανέμου με τις παράλληλες ροές που προκύπτουν.

➤ Μείγμα Ηλεκτροπαραγωγής

Μελετώντας το ενεργειακό μείγμα των περιοχών τις οποίες διασχίζει το loop flow και συγκρίνοντας με το αντίστοιχο του 2015, στην περιοχή FR_Alsace από την οποία ξεκινά το loop flow, διακρίνουμε μια μεγάλη μείωση της παραγωγής ενέργειας από πυρηνικές μονάδες και μια αύξηση από φωτοβολταϊκά. Στις περιοχές της Γερμανίας παρατηρούμε μια γενικότερη αύξηση του μείγματος ηλεκτροπαραγωγής και κυρίως στην παραγωγή αιολικές μονάδες και φωτοβολταϊκά. Τέλος στην περιοχή FR_FrancheComte και το 2030 η παραγωγή ενέργειας από ΑΠΕ κυμαίνεται σε χαμηλά επίπεδα παρουσιάζοντας μικρή αύξηση της ενέργειας της και αυτή από τις αιολικές μονάδες και τα φωτοβολταϊκά.



Εικόνα 45: Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών που διασχίζει το loop flow FR-GE-SW-FR.

6.5.6 Loop flow GE→NL→BE→FR

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Στα σύνορα των χωρών για το σενάριο decarb2030 διακρίνουμε μια μείωση της ενέργειας, συγκριτικά με το 2015, με εξαίρεση την ανταλλαγή ενέργειας Βελγίου-Γαλλίας όπου παρατηρούμε μια πολύ μικρή αύξηση. Η μείωση της ενέργειας στα σύνορα Γερμανίας-Ολλανδίας το 2030 φτάνει το 80% ενώ στα σύνορα Ολλανδίας-Βελγίου μειώνεται κατά 63%.

Σενάριο	Decarb 2030	Decarb 2030	Decarb 2015	Decarb 2015
Σύνορα	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)
Γερμανία-Ολλανδία	4279,22	488,50	21900	2500
Ολλανδία-Βέλγιο	3077,85	351,35	8286,96	946
Βέλγιο-Γαλλία	120,25	13,73	100,71	11,50

Πίνακας 74: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-NL-BE-FR.

➤ Παράλληλες ροές

Μελετώντας τον Πίνακα 75 και συγκρίνοντας τα δυο σενάρια του 2015 και 2030, το 2030 βλέπουμε μια μείωση όλων των παράλληλων ροών. Η μείωση αυτή πιθανόν σχετίζεται με το πλήθος επενδύσεων που πραγματοποιούνται μέχρι το 2030 στο εσωτερικό της Ολλανδίας, αφού η ροή ενέργειας στο εσωτερικό της αυξάνεται κατά 80% από το 2015. Μάλιστα το 2015 ενώ η Ολλανδία εισάγει μεγάλη ποσότητα ενέργειας από τη Γερμανία το 2030 βλέπουμε να είναι εξαγωγική ως προς τη Γερμανία μειώνοντας γενικά κατά πολύ μεγάλο ποσοστό τις εισαγωγές.

Σενάριο	<i>Decarb</i> 2030	<i>Decarb</i> 2030	<i>Decarb</i> 2015	<i>Decarb</i> 2030	<i>Decarb</i> 2030
Περιοχές χωρών	Συνολική ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)	Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)
<i>GE_WeserErmSouth-NL_Gelderland</i>	1857,44	44,24	600,29	211,99	5,05
<i>NL_Limburg-BE_Flanders</i>	384,49	133,89	228,99	43,89	15,28
<i>BE_Flanders-FR_PicardieNordPasDeCalais</i>	47,56	47,56	99,74	5,43	5,43

Πίνακας 75: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-NL-BE-FR.

Σενάριο	<i>Decarb</i> 2030	<i>Decarb</i> 2015
Περιοχές χωρών	Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)	Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)
<i>GE_WeserErmSouth-NL_Gelderland</i>	2%	6%
<i>NL_Limburg-BE_Flanders</i>	35%	8%
<i>BE_Flanders-FR_PicardieNordPasDeCalais</i>	100%	100%

Πίνακας 76: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-NL-BE-FR.

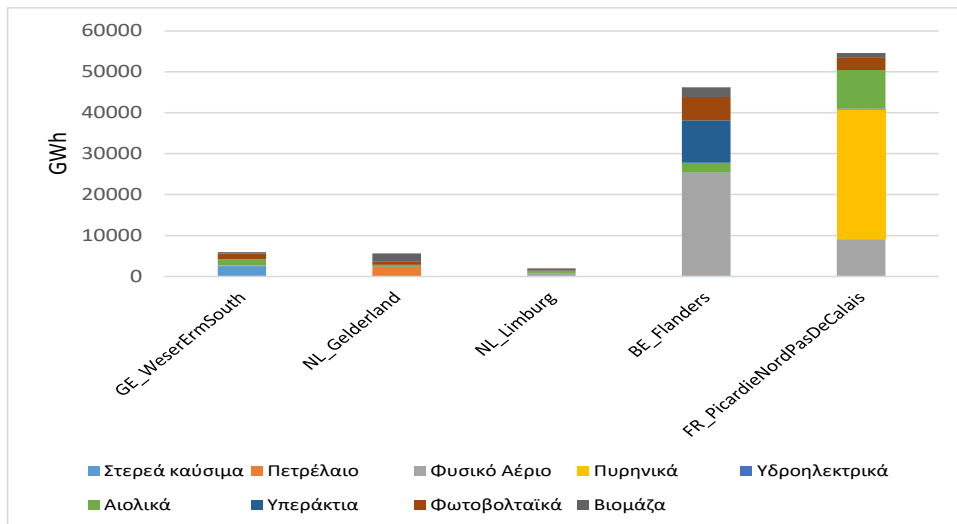
Αθροίζοντας όλες τις ώρες στις οποίες παρατηρείται το συγκεκριμένο loop flow καταλήγουμε ότι το 2030 εμφανίζεται 168 ώρες δηλαδή το 2% του χρόνου έναντι 7% που ήταν η συχνότητα του το 2015.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά ετος)} = \frac{168 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,02$$

Προφανώς και η συχνότητα του loop flow είναι εξαιρετικά χαμηλή ώστε έχει νόημα ο συσχετισμός του με τις παραμέτρους που μελετάμε.

➤ Μείγμα Ηλεκτροπαραγωγής

Μελετώντας το μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών το 2030 στην περιοχή GE_WeserErmSouth από την οποία ξεκινά το loop flow διακρίνουμε μια αύξηση της παραγωγής ενέργειας από αιολικές μονάδες και φωτοβολταϊκά. Στις περιοχές της Ολλανδίας που διασχίζει το loop flow συγκριτικά με το 2015 διακρίνουμε μια αύξηση της ενέργειας από βιομάζα και μονάδες φυσικού αερίου. Τέλος στην περιοχή BE_Flanders, η οποία διαθέτει μεγάλο ποσοστό ενέργειας από μονάδες ΑΠΕ, το 2030 παρατηρούμε μια μείωση της ενέργειας από πυρηνικές μονάδες και στερεά καύσιμα και μια αύξηση από μονάδες φυσικού αερίου, αιολικές, υπεράκτιες και φωτοβολταϊκά.



Εικόνα 46: Μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών που διασχίζει το loop flow GE-NL-BE-FR.

6.6 Σενάριο No NTC 2030

6.6.1 Περιγραφή

Στο τρέχον σενάριο χρησιμοποιούμε το δίκτυο βάσης για το 2030 έχοντας αφαιρέσει τους περιορισμούς των NTC. Η εγκατεστημένη ισχύς και το μείγμα ηλεκτροπαραγωγής των περιοχών προφανώς παραμένουν ίδια με το σενάριο του decarb 2030 αφού δεν επηρεάζονται από την τιμή των NTC. Η μελέτη θα γίνει και πάλι για κάθε loop ξεχωριστά.

6.6.2 Loop flow GE→CZ→GE

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Από τον Πίνακα 77 παρατηρούμε ότι στο σενάριο NoNTC 2030 και στις δυο κατευθύνσεις της ανταλλαγής ενέργειας των χωρών, έχουμε μια πολύ μικρή μείωση της ενέργειας σε σχέση με το decarb2030, εξακολουθώντας να περνάει πολύ μεγαλύτερη ποσότητα από τη Τσεχία στη Γερμανία. Συμπεραίνουμε λοιπόν, ότι οι τιμές των NTC δεν είναι δεσμευτικές ως προς τη ροή ενέργειας αφού δεν παρατηρείται κάποια σημαντική αλλαγή στα σύνορα αυτά.

Σενάριο	NoNTC 2030	NoNTC 2030	Decarb 2030	Decarb 2030
Σύνορα	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)
Γερμανία-Τσεχία	6825,29	779,15	7110,76	811,73
Τσεχία-Γερμανία	16318,97	1862,87	16405,91	1872,82

Πίνακας 77: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-CZ-GE

➤ Παράλληλες ροές

Παρατηρώντας τα αποτελέσματα για τις παράλληλες ροές όπως φαίνονται στον Πίνακα 78 δεν διακρίνουμε κάποια ιδιαίτερη διαφορά ανάμεσα στα δυο σενάρια. Η παράλληλη ροή με κατεύθυνση από την περιοχή της Γερμανίας στη Τσεχία παρουσιάζει μια μικρή μείωση της τάξης του 4% από το decarb2015, ενώ στην κατεύθυνση από την περιοχή της Τσεχίας στη Γερμανία έχουμε μια μικρή αύξηση της τάξης του 2%. Στο τρέχον σενάριο λοιπόν δεν βλέπουμε σημαντική διαφορά στις παράλληλες ροές, ενώ στο σενάριο του NoNTC 2015 είχαμε μια αύξηση της ενέργειας συγκριτικά με το 2015.

Σενάριο	NoNTC 2030	NoNTC 2030	Decarb 2030	NoNTC 2030	NoNTC 2030
Περιοχές χωρών	Συνολική ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)	Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)
GE_SachsenThuringia- CZ_Praha	6825,29	6825,29	7110,76	779,14	779,14
CZ_Praha-GE_Oberpfalz	16318,97	16318,96	16030,94	1862,89	1862,89

Πίνακας 78: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-CZ-GE

Σενάριο	NoNTC 2030	Decarb 2030
Περιοχές χωρών	Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)	Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)
GE_SachsenThuringia- CZ_Praha	100%	100%
CZ_Praha-GE_Oberpfalz	100%	97%

Πίνακας 79: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-CZ-GE.

Έχοντας στη διάθεση μας 56 χρονικά τμήματα με διαφορετική χρονική διάρκεια το καθένα, γεγονός που επιφέρει κάποιο σφάλμα στην ακρίβεια, αθροίσαμε όλες τις ώρες στις οποίες παρατηρείται το φαινόμενο του loop flow. Καταλήξαμε λοιπόν ότι εξακολουθεί να εμφανίζεται καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου όπως συνέβαινε και στο σενάριο του decarb 2030.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{8760 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 1$$

6.6.3 Loop flow GE→PD→CZ→AU→GE

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Σενάριο	No NTC 2030	No NTC 2030	Decarb 2030	Decarb 2030
Σύνορα	Ενέργεια- Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς- Φυσικές ροές (MW)	Ενέργεια- Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς- Φυσικές ροές (MW)
Γερμανία-Πολωνία	9372,02	1069,86	9765,70	1114,81
Πολωνία-Τσεχία	2144,56	244,81	2144,19	244,77
Τσεχία-Αυστρία	6493,55	741,287	6600,42	753,47
Αυστρία-Γερμανία	10531,57	1202,23	10641,53	1214,79

Πίνακας 80: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-CZ-AU-GE.

Συγκρίνοντας με τις αντίστοιχες ροές ενέργειας για τα δύο σενάρια του 2030 παρατηρούμε ότι σε όλα τα σύνορα έχουμε μια πολύ μικρή μείωση της ενέργειας στο τρέχον σενάριο.

➤ Παράλληλες ροές

Μελετώντας τον Πίνακα 80 παρατηρούμε μια μικρή μείωση όλων των παράλληλων ροών στο σενάριο NoNTC 2030. Μεγαλύτερη ροή ενέργειας εξακολουθεί να εμφανίζεται στα σύνορα των περιοχών GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodnio-pomorskie.

Σενάριο	NoNTC 2030	NoNTC 2030	Decarb 2030	NoNTC 2030	NoNTC 2030
Περιοχές χωρών	Συνολική ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)	Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)
GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodnio-pomorskie	8560,31	6236,82	7167,77	977,17	711,97
PD_Malopolskie-CZ_StredniMorava	2144,56	2084,22	2144,19	244,81	237,90
CZ_Severovychod-AU_LowerAustria	4281,27	3638,66	3910,31	488,73	415,37
AU_UpperAustria-GE_Niederbayern	6199,65	5675,81	5997,29	707,72	647,92

Πίνακας 81: Ενέργεια και ισχύς παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE

<i>Σενάριο</i>	<i>NoNTC 2030</i>	<i>Decarb 2030</i>
<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>
<i>GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodnio-pomorskie</i>	73%	81%
<i>PD_Malopolskie-CZ_StredniMorava</i>	97%	98%
<i>CZ_Severovychod-AU_LowerAustria</i>	85%	90%
<i>AU_UpperAustria-GE_Niederbayern</i>	91%	95%

Πίνακας 82: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.

Αθροίζοντας όλες τις ώρες στις οποίες παρατηρείται να κλείνει αυτός ο βρόγχος παράλληλων ροών, καταλήγουμε ότι στο σενάριο μας εμφανίζεται 7032 ώρες ενώ στο σενάριο του decarb2030 εμφανιζόταν για 7686 ώρες.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{7032}{8760 h} = 0,80$$

Δηλαδή το 80% του χρόνου παρατηρούμε το loo flow, ενώ στο σενάριο του decarb2030 εμφανιζόταν το 88% του χρόνου. Συμπεραίνουμε λοιπόν οτι και στην ενέργεια που μεταφέρεται και στη συχνότητα εμφάνισης του συγκεκριμένου loop flow υπάρχει μια μικρή μείωση ,συγκριτικά με το 2030 , εάν δεν έχουμε τους περιορισμούς των NTC.

6.6.4 Loop flow GE→PD→SK→HU→AU

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Συγκριτικά με το σενάριο decarb2030 στο τρέχον σενάριο παρατηρούμε, όπως και στα προηγούμενα loop flows , μια μικρή μείωση της ανταλλαγής ενέργειας μεταξύ των χωρών με μεγαλύτερη τη ροή στα σύνορα Γερμανίας-Πολωνίας.

<i>Σενάριο</i>	<i>No NTC 2030</i>	<i>No NTC 2030</i>	<i>Decarb 2030</i>	<i>Decarb 2030</i>
<i>Σύνορα</i>	<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές(MW)</i>	<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>
<i>Γερμανία-Πολωνία</i>	9372,02	1069,86	9765,70	1114,81
<i>Πολωνία-Σλοβακία</i>	68,11	7,78	83,01	9,48
<i>Σλοβακία-Ουγγαρία</i>	2545,36	290,57	2727,11	311,31
<i>Ουγγαρία-Αυστρία</i>	2922,76	333,65	2935,71	335,13

Πίνακας 83: Φυσικές ροές ενέργειας στα σύνορα GE-PD-SK-HU-AU.

➤ Παράλληλες ροές

Παρόλο που και το 2030 δεν περνούσε μεγάλη ποσότητα ενέργειας από το συγκεκριμένο loop flow, στο σενάριο NoNTC 2030 παρατηρούμε μια μείωση της ενέργειας. Μεγαλύτερη μείωση έχουμε στα σύνορα GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodnio-Pomorskie όπου ήταν και η πιο ισχυρή παράλληλη ροή του loop flow.

Σενάριο	No NTC 2030	No NTC 2030	Decarb 2030	No NTC 2030	No NTC 2030
<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)</i>	<i>Μέση ισχύς-Παράλληλες ροές (MW)</i>
<i>GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodnio-Pomorskie</i>	8560,31	232,66	412,57	977,17	26,56
<i>PD_Podkarpackie-SK_Presov</i>	68,11	45,05	54,10	7,77	5,14
<i>SK_Nitra-HU_NorthCentral</i>	2545,36	27,83	49,05	290,57	3,18
<i>HU_NorthWest-AU_LowerAustria</i>	2962,76	46,14	64,58	338,21	5,27

Πίνακας 84: Ενέργεια και ισχύς παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-SK-HU-AU.

Σενάριο	NoNTC 2030	Decarb 2030
<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>
<i>GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodnio-Pomorskie</i>	3%	5%
<i>PD_Podkarpackie-SK_Presov</i>	66%	65%
<i>SK_Nitra-HU_NorthCentral</i>	1%	2%
<i>HU_NorthWest-AU_LowerAustria</i>	2%	2%

Πίνακας 85: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-SK-HU-AU.

Το συγκεκριμένο loop flow εξακολουθεί να εμφανίζεται για μικρό χρονικό διάστημα του έτους και συγκεκριμένα για 224 ώρες έναντι 448 που εμφανιζόταν στο σενάριο decarb 2030.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{186 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,03$$

6.6.5 Loop flow FR→GE→SW→FR

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Παρατηρώντας τις φυσικές ροές στα σύνορα των χωρών δυτικά της Γερμανίας διακρίνουμε, όπως και στις προηγούμενες παράλληλες ροές, μια μικρή μείωση της ενέργειας συγκριτικά με το decarb2030. Εξαίρεση αποτελεί το σύνορο Γερμανίας-Ελβετίας όπου διακρίνουμε μια αύξηση της ροής ενέργειας. Συγκριτικά με τα υπόλοιπα σύνορα, πολύ μεγάλη εξακολουθεί να είναι η ροή ενέργειας από τη Γαλλία στη Γερμανία, όπως φαίνεται αναλυτικά και στον Πίνακα 85.

Σενάριο	No NTC 2030	No NTC 2030	Decarb 2030	Decarb 2030
Σύνορα	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)
Γαλλία-Γερμανία	24175,55	2759,77	24958,45	2849,14
Γερμανία-Ελβετία	5961,29	680,51	5451,859	622,36
Ελβετία-Γαλλία	4529,52	517,07	4287,32	489,42

Πίνακας 86: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών FR-GE-SW-FR.

➤ Παράλληλες ροές

Από τον Πίνακα 86 διακρίνουμε μια μείωση των παράλληλων ροών στο τρέχον σενάριο συγκριτικά με το σενάριο decarb2030. Μεγαλύτερη μείωση παρατηρείται στα σύνορα Switzerland-FR_FrancheComte η οποία αγγίζει το 20%.

Σενάριο	NoNTC 2030	NoNTC 2030	Decarb 2030	NoNTC 2030	No NTC 2030
Περιοχές χωρών	Συνολική ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)	Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)
FR_Alsace-GE_Freiburg	4198,75	3243,22	3406,89	479,31	370,23
GE_Stuttgart-Switzerland	1819,40	1294,93	1676,34	207,69	147,82
Switzerland-FR_FrancheComte	4171,40	2254,43	2803,91	476,19	257,36

Πίνακας 87: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow FR-GE-SW-FR.

<i>Σενάριο</i>	<i>NoNTC 2030</i>	<i>Decarb 2030</i>
<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>
<i>FR_Alsace-GE_Freiburg</i>	77%	82%
<i>GE_Stuttgart-Switzerland</i>	71%	88%
<i>Switzerland-FR_FrancheComte</i>	54%	67%

Πίνακας 88: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow FR-GE-SW-FR

Αθροίζοντας όλες τις ώρες στις οποίες παρατηρείται το φαινόμενο, καταλήγουμε ότι το συγκεκριμένο loop flow στο σενάριο μας εμφανίζεται 5508 ώρες δηλαδή το 63% του χρόνου, έναντι 70% που ήταν η συχνότητα του για το σενάριο του 2030.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{5508 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,63$$

Συμπερασματικά λοιπόν εφαρμόζοντας το σενάριο NoNTC 2030, παρατηρούμε μια μικρή εξασθένηση του loop flow.

6.6.6 Loop flow GE→NL→BE→FR

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Συγκρίνοντας τις ροές ενέργειας στα σύνορα των χωρών που προκύπτουν από το σενάριο No NTC με τις αντίστοιχες ροές για το decarb2030, παρατηρούμε μια μείωση όλων των ροών. Τη μεγαλύτερη μείωση σε σχέση με τα υπόλοιπα σύνορα, εντοπίζουμε στην ενέργεια από την Ολλανδία στο Βέλγιο η οποία φτάνει το 36%.

Σενάριο	No NTC 2030	No NTC 2030	Decarb 2030	Decarb 2030
Σύνορα	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)
<i>Γερμανία-Ολλανδία</i>	4232,95	483,21	4279,22	488,49
<i>Ολλανδία-Βέλγιο</i>	1981,59	226,21	3077,85	351,35
<i>Βέλγιο-Γαλλία</i>	134,87	15,40	120,25	13,73

Πίνακας 89: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-NL-BE-FR

➤ Παράλληλες ροές

Μελετώντας τις παράλληλες ροές στο βρόγχο του loop flow για το τρέχον σενάριο, διακρίνουμε μια μεγάλη μείωση της ροής ενέργειας. Η μεγαλύτερη μείωση παρατηρείται στα σύνορα NL_Limburg-BE_Flanders αφού συγκριτικά με το decarb 2030 περνάει μηδαμινή ενέργεια.

Σενάριο	NoNTC 2030	NoNTC 2030	Decarb 2030	NoNTC 2030	NoNTC 2030
Περιοχές χωρών	Συνολική ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)	Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)
GE_WeserErmSouth-NL_Gelderland	3353,52	30,22	44,24	382,82	3,45
NL_Limburg-BE_Flanders	248,33	6,46	133,89	28,35	0,74
BE_Flanders-FR_PicardieNordPasDeCalais	1,92	1,92	47,56	0,22	0,22

Πίνακας 90: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-NL-BE-FR.

Σενάριο	NoNTC 2030	Decarb 2030
Περιοχές χωρών	Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)	Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)
GE_WeserErmSouth-NL_Gelderland	1%	2%
NL_Limburg-BE_Flanders	3%	35%
BE_Flanders-FR_PicardieNordPasDeCalais	100%	100%

Πίνακας 91: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-NL-BE-FR

Όπως φαίνεται και η συχνότητα εμφάνισης του συγκεκριμένου loop flow είναι ελάχιστη, κάτι που ίσχυε και για το σενάριο decarb2030.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{56h}{8760h} = 0,006$$

6.7 Σενάριο INV GE 2030

6.7.1 Περιγραφή

Στο τρέχον σενάριο έχουμε το δίκτυο βάσης του 2030 λαμβάνοντας υπόψη κάποιες επιπλέον επενδύσεις που είναι σχεδιασμένες να γίνουν στο εσωτερικό της Γερμανίας. Οι επιπλέον επενδύσεις που έχουμε εντάξει στο τρέχον σενάριο φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

➤ DC Γραμμές επένδυσης

<i>Περιοχή 1</i>	<i>Περιοχή 2</i>	<i>Έτος</i>	<i>Επένδυση(MW)</i>
GE_SachsenAnhalt	GE_Schwaben	2025	4000
GE_Koln	GE_WeserErmNorth	2030	2000

Πίνακας 92: DC γραμμές επένδυσης στο εσωτερικό της Γερμανίας έως το 2030

• Γραμμές επένδυσης

<i>Περιοχή 1</i>	<i>Περιοχή 2</i>	<i>Έτος</i>	<i>Επένδυση(πλήθος γραμμών*Volt)</i>
GE_HamburgLuneburg	GE_BremenNorthHanover	2025	1*380

Πίνακας 93: Επενδύσεις στο εσωτερικό της Γερμανίας έως το 2030

6.7.2 Loop flow GE→CZ→GE

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Μελετώντας την ενέργεια στα σύνορα των χωρών που διασχίζει το loop flow και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του τρέχοντος σεναρίου με το decarb2030, παρατηρούμε μια μείωση της ροής ενέργειας. Πολύ μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας εξακολουθεί να ρέει από τη Τσεχία στη Γερμανία, ενώ η ενέργεια από τη Γερμανία στη Τσεχία παρουσιάζει μεγαλύτερη μείωση αφού σχεδόν υποδιπλασιάζεται.

Σενάριο	INV GE 2030	INV GE 2030	Decarb 2030	Decarb 2030
<i>Σύνορα</i>	<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>	<i>Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)</i>
<i>Γερμανία-Τσεχία</i>	4101,31	468,18	7110,76	811,73
<i>Τσεχία-Γερμανία</i>	14404,66	1644,37	16405,91	1872,82

Πίνακας 94: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-CZ-GE

➤ Παράλληλες ροές

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 95 διακρίνουμε μια μείωση των παράλληλων ροών του loop flow στο τρέχον σενάριο. Η ανταλλαγή ενέργειας στις περιοχές GE_SachsenThuringia- CZ_Praha παρουσιάζει μια μικρή μείωση της τάξης του 42%, ενώ η ροή CZ_Praha-GE_Oberpfalz μειώνεται κατά 25% συγκριτικά με το decarb2030. Μελετώντας γενικότερα και τη συμπεριφορά της ενέργειας που ξεκινά από την περιοχή GE_SachsenThuringia βλέπουμε να μειώνεται η ροή προς την

περιοχή της Τσεχίας και να αυξάνει προς περιοχές στο εσωτερικό της Γερμανίας όπως GE_Kassel και GE_Dresden.

Σενάριο	INV GE 2030	INV GE 2030	Decarb 2030	INV GE 2030	INV GE 2030
<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)</i>	<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>
GE_SachsenThuringia- CZ_Praha	4101,31	4101,31	7110,76	468,19	468,19
CZ_Praha-GE_Oberpfalz	14348,30	11972,65	16030,94	1637,93	1366,74

Πίνακας 95: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-CZ-GE

Σενάριο	INV GE 2030	Decarb 2030
<i>Περιοχές χωρών</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>
GE_SachsenThuringia- CZ_Praha	100%	100%
CZ_Praha-GE_Oberpfalz	83%	97%

Πίνακας 96: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-CZ-GE

Αθροίζοντας όλες τις ώρες στις οποίες παρατηρείται το φαινόμενο του loop flow για το σενάριο μας, καταλήγουμε ότι εμφανίζεται 7430 ώρες, δηλαδή το 85% του χρόνου, ενώ στο σενάριο decarb2030 είχαμε να δει να εμφανίζεται καθ'όλη τη διάρκεια του έτους. Και από ενεργειακή σκοπιά λοιπόν, και από τη σκοπιά της συχνότητας το συγκεκριμένο loop flow εξασθενεί στα σύνορα αυτά.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{7430 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,85$$

6.7.3 Loop flow GE→PD→CZ→AU→GE

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Συγκρίνοντας τις φυσικές ροές μεταξύ των χωρών για το σενάριο INVGE 2030 με τις αντίστοιχες ροές ενέργειας για το decarb2030 παρατηρούμε ότι σε όλα τα σύνορα έχουμε μια μείωση της ενέργειας. Μεγαλύτερη μείωση έχουμε στη ροή ενέργειας από την Αυστρία στη Γερμανία, η οποία υποδιπλασιάζεται. Σημαντική είναι και η πτώση ενέργειας στα σύνορα Γερμανίας-Πολωνίας αγγίζοντας το 23%.

Σενάριο	INVGE 2030	INV GE 2030	Decarb 2030	Decarb 2030
Σύνορα	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)
Γερμανία-Πολωνία	7513,06	857,66	9765,70	1114,81
Πολωνία-Τσεχία	1585,09	180,94	2144,19	244,77
Τσεχία-Αυστρία	5117,54	584,19	6600,42	753,47
Αυστρία-Γερμανία	5929,53	676,89	10641,53	1214,79

Πίνακας 97: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-CZ-AU-GE

➤ Παράλληλες ροές

Μελετώντας από τον Πίνακα 98 τις παράλληλες ροές για τα δυο σενάρια του 2030, βλέπουμε στο σενάριο INVGE να παρουσιάζουν μια σημαντική μείωση σε όλα τα σύνορα. Μεγαλύτερη ροή ενέργειας εξακολουθεί να εμφανίζεται στα σύνορα των περιοχών GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodnio-pomorskie, όπου έχουμε και τη μεγαλύτερη πτώση ενέργειας φτάνοντας στο 40% έναντι 30% των υπολοίπων.

Σενάριο	INVGE 2030	INVGE 2030	Decarb 2030	INVGE 2030	INVGE 2030
Περιοχές χωρών	Συνολική ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)	Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)
GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodnio-pomorskie	6960,13	4314,77	7167,77	794,54	492,55
PD_Malopolskie-CZ_StredniMorava	1585,09	1583,18	2144,19	180,95	175,59
CZ_Severovychod-AU_LowerAustria	3498,19	2586,40	3910,31	399,33	295,25
AU_UpperAustria-GE_Niederbayern	4763,47	3676,43	5997,29	543,77	419,68

Πίνακας 98: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.

Σενάριο	INV GE 2030	Decarb 2030
Περιοχές χωρών	Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)	Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)
GE_Brandenburg_North1- PD_Zachodnio-pomorskie	62%	81%
PD_Malopolskie- CZ_StredniMorava	99%	98%
CZ_Severovychod- AU_LowerAustria	74%	90%
AU_UpperAustria- GE_Niederbayern	77%	95%

Πίνακας 99: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-CZ-AU-GE.

Αθροίζοντας όλες τις ώρες στις οποίες παρατηρείται να κλείνει αυτός ο βρόγχος παράλληλων ροών, καταλήγουμε ότι στο τρέχον σενάριο εμφανίζεται 6494 ώρες ενώ στο σενάριο του decarb2030 εμφανιζόταν για 7032 ώρες.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{6494}{8760 h} = 0,74$$

Δηλαδή το 74% του χρόνου παρατηρούμε το loop flow, ενώ στο σενάριο του decarb2030 εμφανιζόταν το 80% του χρόνου. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι και στην ενέργεια των παράλληλων ροών και στη συχνότητα έχουμε μια εξασθένηση του συγκεκριμένου loop flow.

6.7.4 Loop flow GE→PD→SK→HU→AU

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Συγκριτικά με το σενάριο decarb2030 παρατηρούμε μια μείωση στις ανταλλαγές ενέργειας των χωρών. Σημαντική είναι η μείωση της ροής από τη Γερμανία στην Πολωνία, η οποία είναι και η μεγαλύτερη ροή ενέργειας, φτάνοντας το 23% ενώ οι υπόλοιπες ροές μειώνονται λιγότερο φτάνοντας μέχρι το 10%.

Σενάριο	INV GE 2030	INV GE 2030	Decarb 2030	Decarb 2030
Σύνορα	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)
Γερμανία- Πολωνία	7513,06	857,66	9765,70	1114,81
Πολωνία- Σλοβακία	30,47	3,48	83,01	9,48

Σλοβακία- Ουγγαρία	2666,86	304,44	2727,11	311,31
Ουγγαρία- Αυστρία	2562,66	292,54	2935,71	335,13

Πίνακας 100: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-PD-SK-HU-AU.

➤ Παράλληλες ροές

Μελετώντας τις παράλληλες ροές του loop flow από τον Πίνακα 101 έχουμε μια μείωση της ενέργειας στο σενάριο INVGE 2030. Ελάχιστη είναι η ροή στις περιοχές HU_NorthWest- AU_LowerAustria, όπως και στις PD_Podkarpackie- SK_Presov, ενώ μεγαλύτερη ροή παρατηρείται στα σύνορα GE_Brandenburg_North1- PD_Zachodnio-Pomorskie, η οποία έχει μειωθεί κατά 63% συγκριτικά με το decarb2030.

Σενάριο	INVGE 2030	INVGE 2030	Decarb 2030	INVGE 2030	INVGE 2030
	<i>Συνολική ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)</i>	<i>Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)</i>	<i>Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)</i>
GE_Brandenburg_North1- PD_Zachodnio-Pomorskie	6960,13	109,65	412,57	794,54	12,52
PD_Podkarpackie-SK_Presov	30,47	11,35	54,10	3,48	1,29
SK_Nitra-HU_NorthCentral	2583,80	29,53	49,05	294,95	3,37
HU_NorthWest-AU_LowerAustria	2562,66	3,22	64,58	292,54	0,38

Πίνακας 101: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-PD-SK-HU-AU

Σενάριο	INVGE 2030	Decarb 2030
	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>	<i>Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)</i>
GE_Brandenburg_North1- PD_Zachodnio-Pomorskie	2%	5%
PD_Podkarpackie-SK_Presov	37%	65%
SK_Nitra-HU_NorthCentral	1%	2%
HU_NorthWest-AU_LowerAustria	0,2%	2%

Πίνακας 102: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-PD-SK-HU-AU.

Το συγκεκριμένο loop flow εξακολουθεί να εμφανίζεται για μικρό χρονικό διάστημα του έτους και συγκεκριμένα για 112 ώρες έναντι 448 που εμφανιζόταν στο σενάριο decarb 2030. Συμπερασματικά λοιπόν, αν και το συγκεκριμένο loop flow όπως έχουμε αναφέρει και για τα προηγούμενα σενάρια είναι από τα πιο αδύναμα στα δεξιά σύνορα της Γερμανίας, στο τρέχον σενάριο έχουμε μια εξασθένηση.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{112 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,01$$

6.7.5 Loop flow FR→GE→SW→FR

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Σε αντίθεση με τα ανατολικά σύνορα, στο δυτικό κομμάτι παρατηρούμε μια μικρή αύξηση των ανταλλαγών ενέργειας μεταξύ των χωρών σε σχέση με το σενάριο decarb 2030, με εξαίρεση τη ροή ενέργειας από τη Γαλλία στη Γερμανία όπου παρατηρείται μείωση 3%.

Σενάριο	INVGE 2030	INVGE 2030	Decarb 2030	Decarb 2030
Σύνορα	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)
Γαλλία-Γερμανία	24213,95	2764,15	24958,45	2849,14
Γερμανία-Ελβετία	5624,26	642,04	5451,859	622,36
Ελβετία-Γαλλία	4676,07	533,80	4287,32	489,42

Πίνακας 103: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών FR-GE-SW-FR

➤ Παράλληλες ροές

Μελετώντας τις παράλληλες ροές στα σύνορα αυτά δεν έχουμε παρόμοια εικόνα με την ανταλλαγή ενέργειας στα πλαίσια των χωρών αφού στο σενάριο INVGE 2030 βλέπουμε μια μείωση όλων των παράλληλων ροών.

Σενάριο	INVGE 2030	INVGE 2030	Decarb 2030	INVGE 2030	INVGE 2030
Περιοχές χωρών	Συνολική ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)	Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)
FR_Alsace-GE_Freiburg	3824,18	1782,91	3406,89	436,53	203,53
GE_Stuttgart-Switzerland	2423,38	980,80	1676,34	276,64	111,96

Switzerland-FR_FrancheComte	4271,54	963,88	2803,91	487,62	110,03
-----------------------------	---------	--------	---------	--------	--------

Πίνακας 104: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow FR-GE-SW-FR

Σενάριο	INV GE 2030	Decarb 2030
Περιοχές χωρών	Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)	Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)
FR_Alsace-GE_Freiburg	47%	82%
GE_Stuttgart-Switzerland	40%	88%
Switzerland-FR_FrancheComte	22%	67%

Πίνακας 105: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow FR-GE-SW-FR

Αθροίζοντας όλες τις ώρες στις οποίες παρατηρείται το φαινόμενο καταλήγουμε ότι το συγκεκριμένο loop flow στο σενάριο μας εμφανίζεται 2954 ώρες δηλαδή το 34% του χρόνου, έναντι 76% που ήταν η συχνότητα του για το σενάριο του decarb2030.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{2954 \text{ h}}{8760 \text{ h}} = 0,34$$

Συμπερασματικά λοιπόν και στο συγκεκριμένο loop flow έχουμε σημαντική μείωση και στην ενέργεια που μεταφέρεται και στη συχνότητα εμφάνισης του.

6.7.6 Loop flow GE→NL→BE→FR

➤ Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών

Μελετώντας την ανταλλαγή ενέργειας μεταξύ των χωρών για τα δυο σενάρια του 2030 όταν έχουν γίνει επιπλέον επενδύσεις στο εσωτερικό της Γερμανίας, δηλαδή στο σενάριο INVGE, βλέπουμε και σε αυτά τα σύνορα μείωση της ενέργειας.

Σενάριο	INVGE 2030	INVGE 2030	Decarb 2030	Decarb 2030
Σύνορα	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)	Ενέργεια-Φυσικές ροές (GWh)	Μέση ισχύς-Φυσικές ροές (MW)
Γερμανία-Ολλανδία	2237,04	255,37	4279,22	488,49
Ολλανδία-Βέλγιο	2039,92	232,87	3077,85	351,35
Βέλγιο-Γαλλία	85,71	9,79	120,25	13,73

Πίνακας 106: Φυσικές ροές ενέργειας μεταξύ των χωρών GE-NL-BE-FR

➤ Παράλληλες ροές

Από τα αποτελέσματα του Πίνακα 107, διακρίνουμε μια μεγάλη μείωση της ενέργειας των παράλληλων ροών. Η μεγαλύτερη μείωση παρατηρείται στα σύνορα NL_Limburg-BE_Flanders αφού στο τρέχον σενάριο περνάει ελάχιστη ενέργεια συγκριτικά με το σενάριο του decarb2030.

Σενάριο	INVGE 2030	INVGE 2030	Decarb 2030	INVGE 2030	INVGE 2030
Περιοχές χωρών	Συνολική ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Παράλληλη ροή ενέργειας (GWh)	Μέση ισχύς συνολικής ροής (MW)	Μέση ισχύς παράλληλης ροής (MW)
GE_WeserErmSouth-NL_Gelderland	1777,03	40,04	44,24	202,86	4,57
NL_Limburg-BE_Flanders	188,75	7,76	133,89	21,55	0,88
BE_Flanders-FR_PicardieNordPasDeCalais	0,98	0,98	47,56	0,11	0,11

Πίνακας 107: Ενέργεια και ισχύς των παράλληλων ροών του loop flow GE-NL-BE-FR

Σενάριο	INVGE 2030	Decarb 2030
Περιοχές χωρών	Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)	Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο loop flow (%)
GE_WeserErmSouth-NL_Gelderland	2%	2%
NL_Limburg-BE_Flanders	4%	35%
BE_Flanders-FR_PicardieNordPasDeCalais	100%	100%

Πίνακας 108: Ποσοστό της ροής ενέργειας που ρέει στο βρόγχο του loop flow GE-NL-BE-FR.

Όπως φαίνεται και η συχνότητα εμφάνισης του συγκεκριμένου loop flow είναι ελάχιστη όπως και στο σενάριο decarb2030.

$$\text{Συχνότητα loop flow (ανά έτος)} = \frac{56h}{8760h} = 0,006$$

Συμπερασματικά λοιπόν και το συγκεκριμένο loop flow αποδυναμώνεται σημαντικά με τις επενδύσεις στο εσωτερικό της Γερμανίας το 2030.

Κεφάλαιο 7. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήσαμε μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις που συνδέονται με τη μετάβαση σε ένα ολοκληρωμένο, χωρίς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ευρωπαϊκό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής, τις ροές βρόγχου (loop flows).

Η έρευνα σχετικά με τη διαχείριση συμφόρησης και ροών βρόγχου σε διασυνδεδεμένα συστήματα ηλεκτροπαραγωγής στην Ευρώπη, απαιτεί κατάλληλο σύστημα αναφοράς για τη δοκιμή διαφορετικών μεθοδολογιών. Η δημιουργία ενός τέτοιου συστήματος αναφοράς είναι δύσκολη, καθώς οι διαχειριστές του εκάστοτε δικτύου συχνά δεν επιθυμούν να αποκαλύψουν λεπτομέρειες για τα δικά τους συστήματα λόγω εμπορικών ευαισθησιών και λόγων ασφάλειας. Το παρόν έγγραφο παρουσιάζει την ανάπτυξη ενός προσεγγιστικού μοντέλου προσομοίωσης του Ευρωπαϊκού συστήματος παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με αυξημένη γεωγραφική λεπτομέρεια. Το λεπτομερές δίκτυο αποτελείται από 216 κόμβους και παρέχει λεπτομέρειες όχι μόνο για τις διεθνείς διασυνδέσεις αλλά και τις διασυνδέσεις στο εσωτερικό των χωρών, λαμβάνοντας υπόψη τις αδυναμίες του δικτύου εσωτερικά των χωρών. Κατά τη δημιουργία του μοντέλου ροής φορτίου μελετήθηκαν και επεξεργάστηκαν δεδομένα του δικτύου, ενώ για να έχουμε μια ολοκληρωμένη προσομοίωση του, χρειάστηκε να γίνει κατανομή της εγκατεστημένης ισχύος και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας στους διαθέσιμους κόμβους του δικτύου, χρησιμοποιώντας μόνο δημόσια διαθέσιμες πληροφορίες από τον Entso-e και τις βάσεις δεδομένων της Eurostat και του Platts. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το αναπτυγμένο σύστημα επαναλαμβάνει καλά βασικά χαρακτηριστικά του ευρωπαϊκού συστήματος και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σημείο αναφοράς για την παρούσα μελέτη καθώς παρέχει μια ικανοποιητική προσέγγιση της περιφερειακής κατανομής στην παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, των ροών δικτύου και των σημείων συμφόρησης που σχετίζονται με την υποδομή.

Ωστόσο παραμένουν ορισμένα εμπόδια στην πορεία προς την καλύτερη μοντελοποίηση του ευρωπαϊκού τομέα ηλεκτρικής ενέργειας και, ως εκ τούτου, για μεγαλύτερη αποδοχή ορισμένων προτεινόμενων μέτρων. Ένα σημαντικό ζήτημα είναι τα ανοικτά δεδομένα σχετικά με το δίκτυο μεταφοράς, όπου δεν υπάρχουν ακριβείς πληροφορίες γεωγραφικής αναφοράς και τοπολογίας. Επίσης, πολλές πηγές δεδομένων αναφέρονται μόνο σε εθνικό επίπεδο. Αν και έχουν καταβληθεί σημαντικές προσπάθειες σε εθνικό και ευρωπαϊκό επίπεδο για την προώθηση της συλλογής και της δημοσίευσης των στοιχείων, η πρόοδος ήταν σχετικά αργή. Επιπλέον, το μοντέλο της αγοράς ηλεκτρικής ενέργειας, που βασίζεται στην προσέγγιση ροής φορτίου DC, εφαρμόζει τα διαθέσιμα δεδομένα μαζί με μερικές επιπλέον υποθέσεις. Δεδομένων των απλουστεύσεων, τα προκύπτοντα στατιστικά σύνολα παρέχουν μια καλή αντιστοιχία με την πραγματικότητα, ωστόσο, ο γραμμικός χαρακτήρας του μοντέλου βελτιστοποίησης απλοποιεί ορισμένους περιορισμούς των τεχνικών συστημάτων και παραμελεί την αβεβαιότητα και τη στρατηγική συμπεριφορά.

Υπάρχει μια απόκλιση μεταξύ της εμπορικής και της φυσικής δυναμικότητας διασύνδεσης για την ηλεκτρική ενέργεια από την οποία ένας σημαντικός παράγοντας είναι οι ροές βρόχου (loop flows). Το παρόν έγγραφο αναλύει πτυχές των loop flows και καταδεικνύει ότι η αβεβαιότητα τους επηρεάζει τη χωρητικότητα διασύνδεσης που προσφέρεται στην αγορά ενώ δείχνει και τη σημασία της αιολικής ενέργειας στην ύπαρξη του φαινομένου. Για το σκοπό της μελέτης διεξήγαμε μια λεπτομερή ανάλυση δεδομένων. Στην ανάλυση αυτή βρήκαμε ισχυρές ενδείξεις ότι οι τοπικές ανισορροπίες και η παραγωγή αιολικής ενέργειας αποτελούν το επίκεντρο των προβλημάτων που συνδέονται σήμερα με τα loop flows. Παρόλο που παραθέσαμε παραδείγματα αυτών των ζητημάτων χρησιμοποιώντας κυρίως γερμανικά δεδομένα, είναι λογικό να υποθέσουμε ότι οι τοπικές ανισορροπίες σε άλλες χώρες αυξάνουν ή / και προκαλούν παρόμοια προβλήματα. Η φύση των προβλημάτων, ωστόσο, μπορεί να διαφέρει από περίπτωση σε περίπτωση και από περιοχή σε περιοχή. Ακολουθεί μια περιγραφή των σεναρίων που εξετάστηκαν και τα συμπεράσματα που εξάγονται από τα αποτελέσματα του εκάστοτε σεναρίου. Τα σενάρια μας διαφοροποιούνται ως προς το έτος και συνεπώς ως προς το μέγεθος της εγκατεστημένης ισχύος από ΑΠΕ, τις τιμές των NTC και τις επενδύσεις.

Αρχικά από το λεπτομερές μοντέλο δικτύου που δημιουργήσαμε για το 2015 επιβεβαιώσαμε τις ενδείξεις ύπαρξης ροών βρόχου στην Κεντρική Ευρώπη και συγκεκριμένα στα σύνορα γύρω από τη Γερμανία. Μελετώντας τα αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι στα ανατολικά σύνορα υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι η παραγωγή αιολικής ενέργειας συνδέεται ισχυρά με τη δημιουργία του φαινομένου των loop flows. Μεγαλύτερη συσχέτιση της αιολικής ενέργειας με τις ροές βρόχου υπολογίστηκε στο loop flow των συνόρων Γερμανίας-Τσεχίας, όπου το συγκεκριμένο είναι ένα από τα πιο ισχυρά στο ανατολικό τμήμα. Η ίδια συσχέτιση με την αιολική ενέργεια δεν επιβεβαιώθηκε και για τα loop flows στα δυτικά σύνορα. Ο προσδιορισμός των αιτιών που δημιουργούν τα συγκεκριμένα loop flows γενικά στις περιοχές Δυτικά της Γερμανίας είναι δύσκολος, ίσως λόγω του γεγονότος ότι οι εμπλεκόμενοι TSOs εφαρμόζουν ήδη κάποια μέτρα αντιμετώπισης του φαινομένου. Ένας σημαντικός παράγοντας λοιπόν που επηρεάζει την εκάστοτε ροή ενέργειας είναι η διείσδυση και η κατανομή των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας στην κάθε χώρα κάτι που επιβεβαιώνεται και σε επόμενο σενάριο όπου με αυξημένη διείσδυση ΑΠΕ παρατηρούμε να εντείνεται το φαινόμενο των loop flows.

Στη συνέχεια εξετάζουμε το σενάριο NoNTC 2015 στο οποίο έχουμε αφαιρέσει τους περιορισμούς των NTC, ώστε να μην δεσμεύονται οι ανταλλαγές ενέργειας μεταξύ των χωρών, πέρα από τους φυσικούς περιορισμούς του δικτύου. Από τα αποτελέσματα διαπιστώνουμε ότι οι τιμές του καθαρού δυναμικού μεταφοράς (NTC) που περιορίζουν τις διασυνοριακές συναλλαγές, αποτελούν και περιοριστικό παράγοντα των ροών βρόχου καθώς στα περισσότερα σύνορα παρατηρείται μια ενίσχυση των loop flows και κυρίως αυτών στα σύνορα Γερμανίας-Τσεχίας και Γερμανίας-Ολλανδίας για το 2015. Ωστόσο αυτό δεν παρατηρείται και για το 2030 όπου η απουσία των περιορισμών NTC δεν βλέπουμε να επηρεάζει σημαντικά τις ροές βρόχου παρά μόνο να προκαλεί μια μικρή εξασθένιση. Ωστόσο αν λάβουμε υπόψη ότι το 2030 οι τιμές των NTC έχουν

αυξηθεί είναι λογικό οι περιορισμοί των διασυνοριακών συναλλαγών να μην αποτελούν καθοριστικό παράγοντα των loop flows. Η μικρή εξασθένιση δικαιολογείται από τις επενδύσεις που γίνονται στο δίκτυο μέχρι το 2030, κάτι που αναλύεται σε επόμενο σενάριο.

Η απουσία των περιορισμών NTC είναι ένα σενάριο που συνδέεται με τη μετάβαση σε ένα ολοκληρωμένο ευρωπαϊκό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής. Τα ηλεκτρικά συστήματα στην Ευρώπη έχουν λειτουργήσει και αναπτυχθεί ως ολοκληρωμένα εθνικά συστήματα. Η κατανάλωση, η παραγωγή και το δίκτυο έχουν αναπτυχθεί παράλληλα και με ένα ισορροπημένο τρόπο ώστε να μπορούν να φιλοξενήσουν μια σταθερή αύξηση της κατανάλωσης. Οι διασυνδέσεις και οι ανταλλαγές ενέργειας μεταξύ των περιοχών ελέγχου είναι γενικά περιορισμένες. Η κατάσταση αυτή τείνει να αλλάξει σημαντικά καθώς οι αλλαγές στον τομέα της ενέργειας τα τελευταία χρόνια καθιστούν επιτακτική ανάγκη το εθνικό συμφέρον να συνδυαστεί με το Ευρωπαϊκό για να επιτευχθούν οι στόχοι που έχει θέσει η Ευρωπαϊκή Ένωση. Σε περαιτέρω μελέτη του σεναρίου θα μπορούσε να γίνει μια σταδιακή αύξηση ή μείωση των περιορισμών NTC ώστε να παρατηρηθούν οι διασυνοριακές συναλλαγές και η συμπεριφορά των loop flows. Η απουσία των περιορισμών NTC μπορεί να αυξήσει τις τιμές των ATC σε μια γραμμή διασύνδεσης και έτσι να ενισχύσει τις ροές βρόχου ή τις προκλήσεις δικτύου σε άλλα σημεία. Ωστόσο, η χρήση διασυνοριακών πιστώσεων για την αντιμετώπιση εσωτερικών σημείων συμφόρησης ενδέχεται να μην είναι σύμφωνη με την ισχύουσα νομοθεσία.

Στα πλαίσια της μελέτης μας, θέλοντας να ενισχύσουμε τη ροή στο εσωτερικό της Γερμανίας και έχοντας παρατηρήσει την ενεργειακή συμφόρηση σε γραμμή του δικτύου που ενώνει το βόρειο με το νότιο κομμάτι της Γερμανίας, αυξήσαμε το θερμικό όριο της συγκεκριμένης γραμμής και παρατηρήσαμε τη συμπεριφορά των loop flows. Αύξηση του θερμικού ορίου της γραμμής συνεπάγεται μείωση της επαγωγικής της αντίδρασης και άρα ενίσχυση της ροής ενέργειας σύμφωνα με το νόμο του Kirchhoff. Στο σενάριο Relax2015 αυξήσαμε σταδιακά, σε 4 επαναλήψεις, το θερμικό όριο της γραμμής που συνδέει τις περιοχές GE_SachsenThuringia- GE_Oberfranken και μελετήσαμε τη συμπεριφορά των loop flows. Προφανώς τα loop flows που αφορούν τα δυτικά σύνορα της Γερμανίας δεν επηρεάζονται καθώς η γραμμή συμφόρησης βρίσκεται ανατολικά της Γερμανίας. Από τα αποτελέσματα του σεναρίου διακρίνουμε μια σταδιακή εξασθένιση των loop flows, ενώ αντίθετα στο εσωτερικό της Γερμανίας παρατηρείται αύξηση της ροής ενέργειας από το Βορρά στο Νότο. Η αύξηση του θερμικού ορίου της γραμμής είχε ως στόχο τη μείωση της επαγωγικής της αντίδρασης, κάτι που μπορεί να υλοποιηθεί και με επενδύσεις στη συγκεκριμένη γραμμή του δικτύου καθώς παράλληλες συνδέσεις γραμμών θα μειώσουν την επαγωγική αντίδραση και θα ενισχύσουν τη ροή στις συγκεκριμένες περιοχές που δημιουργούν πρόβλημα στη ροή στο εσωτερικό της Γερμανίας. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι μια προσέγγιση για τη μείωση ή τον περιορισμό των ροών βρόχου θα μπορούσε να είναι η πραγματοποίηση επενδύσεων στο δίκτυο προκειμένου να καταστούν οι προγραμματισμένες ροές πιο ίσες με τις φυσικές ροές. Προκειμένου να επιτευχθεί αύξηση της αποτελεσματικότητας από το εμπόριο και βελτιστοποίηση του συστήματος, δεν υπάρχει αμφιβολία ότι το δίκτυο μεταφοράς πρέπει να ενισχυθεί. Η προτιμώμενη επένδυση στο δίκτυο πρέπει να είναι εσωτερική σε μία περιοχή

συστήματος και όχι στα σύνορα του συστήματος, όπου η κατανομή του κόστους μπορεί να είναι ευκολότερη, καθώς αυτό θα ενισχύσει τις ροές βρόγχου. Ο εντοπισμός των πιο επωφελών επενδύσεων σε δίκτυο από ευρωπαϊκή προοπτική απαιτεί μοντελοποίηση με βάση την ροή, προκειμένου να προσδιοριστούν οι κρίσιμες γραμμές. Χωρίς κατάλληλους μηχανισμούς επιμερισμού του κόστους, ωστόσο, δεν είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν οι βέλτιστες επενδύσεις στο δίκτυο.

Η ανάλυση της εξέλιξης των loop flows με την πάροδο του χρόνου καταδεικνύει ότι η πρόβλεψη με απλά μοντέλα καθίσταται όλο και πιο δύσκολη. Το 2030 το δίκτυο μας έχει αλλάξει, πέρα από το έτος, ως προς τη εγκατεστημένη ισχύ από ΑΠΕ, η οποία έχει αυξηθεί, ως προς τις τιμές των NTC και ως προς τις επενδύσεις του δικτύου που έχουν προγραμματιστεί να υλοποιηθούν μέχρι το 2030. Στις επενδύσεις αυτές δεν συμπεριλαμβάνονται οι προγραμματισμένες DC επενδύσεις στο εσωτερικό της Γερμανίας, καθώς ενσωματώνονται σε επόμενο σενάριο. Μελετώντας λοιπόν τη συμπεριφορά των loop flows για το 2030, διαπιστώνεται μια ενίσχυση των ροών, γεγονός που συνδέεται με την αυξημένη εγκατεστημένη ισχύ από ΑΠΕ. Ωστόσο, σημαντική εξασθένιση το 2030 παρουσιάζει η ροή βρόγχου στα σύνορα Γερμανίας-Ολλανδίας καθώς το 2030 στο εσωτερικό της Ολλανδίας έχει πραγματοποιηθεί πλήθος επενδύσεων. Επιβεβαιώνεται λοιπόν όπως προαναφέρθηκε ότι η πραγματοποίηση επενδύσεων στο εσωτερικό δίκτυο μπορεί να περιορίσει τις ροές βρόγχου. Οι υπόλοιπες επενδύσεις που υλοποιούνται έως το 2030 είναι κυρίως διασυνοριακές γεγονός που δικαιολογεί την ενίσχυση των loop flows.

Οι επενδύσεις σε γραμμές συνεχούς ρεύματος όπως αυτές που προτείνονται στη Γερμανία είναι μια ειδική περίπτωση επενδύσεων στο δίκτυο. Στο επόμενο σενάριο έχοντας συμπεριλάβει το 2030 τις DC επενδύσεις που προγραμματίζονται στο εσωτερικό της Γερμανίας παρατηρούμε μια σημαντική υποχώρηση των loop flows συγκριτικά με το σενάριο decarb 2030. Η συνέπεια των DC επενδύσεων θα μπορούσε να είναι αποτελεσματικά η "μετακίνηση" παραγωγής από την περιοχή του κόμβου εκκίνησης, στην περιοχή του τελικού κόμβου της γραμμής συνεχούς ρεύματος. Τα οφέλη από ένα τέτοιο μέτρο είναι σαφώς συνδεδεμένα με το δίκτυο, καθώς επιτρέπουν τον καλύτερο έλεγχο του δικτύου και των ροών. Ως εκ τούτου, μια γραμμή DC έχει τη δυνατότητα να μειώσει τις ροές του βρόγχου. Να σημειωθεί ότι οι γραμμές DC είναι διαφορετικές από τις γραμμές AC, καθώς επιτρέπουν τον έλεγχο του ρεύματος και της ροής στη γραμμή. Μια γραμμή AC θα αλλάξει την τοπολογία του δικτύου, αλλά οι ροές θα εξακολουθούν να υπόκεινται στους νόμους του Kirchhoff. Συνεπώς, οι γραμμές συνεχούς ρεύματος επιτρέπουν τον πολύ καλύτερο έλεγχο των ροών εντός μιας χώρας και - ως εκ τούτου - τις πιθανές ροές βρόγχου. Αυτό που μπορούμε να πούμε είναι ότι η γραμμή DC θα αυξήσει τις τιμές στη βόρεια Γερμανία, καθώς θα μεταφέρει την παραγωγή αιολικής ενέργειας από το βορρά προς το νότο της Γερμανίας. Αυτή η αύξηση των τιμών μπορεί να εξουδετερώσει ορισμένες από τις επιπτώσεις αυτού του μέτρου. Λαμβάνοντας υπόψη το κόστος κατασκευής νέων γραμμών συνεχούς ρεύματος, αυτό μπορεί να είναι μάλλον δαπανηρό μέτρο.

Όπως αναφέρθηκε, μια άμεση σύγκριση μεταξύ των μέτρων είναι δύσκολη, καθώς δεν μπορούμε να γνωρίζουμε λεπτομερώς πώς θα επηρεάσουν τις πραγματικές φυσικές προκλήσεις που συνδέονται με τα loop flows. Επιπλέον μέτρα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν τα οποία προσπαθούν ουσιαστικά να αντιμετωπίσουν το ίδιο πρόβλημα, αλλά μπορεί να είναι πιο δαπανηρά. Ταυτόχρονα, ορισμένα από τα μέτρα ενδέχεται να έχουν περιορισμένα αποτελέσματα, καθώς αντισταθμίζονται από τις αντιδράσεις της αγοράς. Επίσης, από την ανάλυση του προτύπου βλέπουμε ότι όλα τα μέτρα που συζητήθηκαν έχουν επιπτώσεις τόσο στις εφαρμοζόμενες χώρες όσο και στις γειτονικές χώρες. Έτσι, μπορεί να έχουν επιπρόσθετες παρενέργειες (π.χ. στη φυσική ροή) που δεν συλλαμβάνονται από την ανάλυση μας. Από την άποψη αυτή, δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται μέτρα με τοπική εστίαση, αλλά μέτρα που έχουν συνολική προοπτική για το σύστημα. Η βελτίωση των σημάτων τιμών, καθιστώντας ορατά τα εμπόδια στην αγορά, είναι ένα μέτρο που θα βελτιώνει την κατανομή των πόρων από την άποψη του συνολικού συστήματος.

Τέλος, στους επόμενους πίνακες παρουσιάζεται συνοπτικά για κάθε σενάριο η συχνότητα εμφάνισης των loop flows ανά έτος και η ενέργεια των ροών βρόγχου, ώστε να κατανοηθεί πώς επηρεάζονται από το εκάστοτε μέτρο. Να σημειωθεί ότι για τον υπολογισμό της συχνότητας στη μελέτη μας έχουμε χρησιμοποιήσει 56 χρονικά τμήματα (time segments) το καθένα με διαφορετική διάρκεια. Συνεπώς ο υπολογισμός της συχνότητας δεν είναι απόλυτα ακριβής, καθώς για να ήταν θα έπρεπε να έχουμε 8760 χρονικά τμήματα το καθένα με την ίδια διάρκεια μιας ώρας. Επίσης στο σενάριο Relax2015 οι τιμές που αποτυπώνονται στους πίνακες αφορούν την τελευταία επανάληψη του σεναρίου, δηλαδή υπόθεση ενίσχυσης της γραμμής GE_SachsenThuringia- GE_Oberfranken τετραπλασιάζοντας τις αρχικές γραμμές σύνδεσης και επομένως υποτετραπλασιάζοντας την επαγωγική της αντίδραση.

Σενάριο	Decarb 2015	NoNTC 2015	Relax 2015	Decarb 2030	NoNTC 2030	INVGE 2030
Loop flow	Συχνότητα loop flow	Συχνότητα loop flow	Συχνότητα loop flow	Συχνότητα loop flow	Συχνότητα loop flow	Συχνότητα loop flow
GE→CZ→GE	81%	100%	52%	98%	100%	85%
GE→PD→CZ→AU→GE	18%	10%	13%	88%	80%	74%
GE→PD→SK→HU→AU	1%	2%	2%	5%	3%	1%
FR→GE→SW→FR	76%	73%	76%	76%	63%	34%
GE→NL→BE→FR	7%	26%	7%	2%	1%	1%

Πίνακας 109: Συχνότητες (ανά έτος) των loop flows για κάθε σενάριο

- Loop Flow GE→CZ→GE

Σενάριο	Decarb 2015	NoNTC 2015	Relax 2015	Decarb 2030	NoNTC 2030	INVGE 2030
Περιοχές χωρών	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)
GE_SachsenThuringia-CZ_Praha	4882,37 (90%)	5353,14 (100%)	1792,32 (67%)	7110,76 (100%)	6825,29 (100%)	4101,31 (100%)
CZ_Praha-GE_Oberpfalz	8277,72 (86%)	11004,06 (100%)	2770,59 (42%)	16030,94 (97%)	16318,96 (100%)	11972,65 (83%)

Πίνακας 110: Παρουσίαση παράλληλων ροών του loop flow GE→CZ→GE για κάθε σενάριο.

- Loop Flow GE→PD→CZ→AU→GE

Σενάριο	Decarb 2015	NoNTC 2015	Relax 2015	Decarb 2030	NoNTC 2030	INVGE 2030
Περιοχές χωρών	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)
GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodniopomorskie	1129,3 (17%)	468,80 (8%)	651,24 (11%)	7167,77 (81%)	6236,82 (73%)	4314,77 (62%)
PD_Malopolskie-CZ_StredniMorava	715,09 (37%)	794,55 (24%)	388,63 (21%)	2144,18 (98%)	2084,22 (97%)	1583,18 (99%)
CZ_Severovychod-AU_LowerAustria	500,74 (16%)	279,97 (10%)	143,33 (5%)	3910,31 (90%)	3638,66 (85%)	2586,40 (74%)
AU_UpperAustria-GE_Niederbayern	473,51 (92%)	402,04 (86%)	415,12 (86%)	5997,29 (95%)	5675,81 (91%)	3676,43 (77%)

Πίνακας 111: Παρουσίαση παράλληλων ροών του loop flow GE→PD→CZ→AU→GE για κάθε σενάριο.

- Loop Flow GE→PD→SK→HU→AU

Σενάριο	Decarb 2015	NoNTC 2015	Relax 2015	Decarb 2030	NoNTC 2030	INVGE 2030
Περιοχές χωρών	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)
<i>GE_Brandenburg_North1-PD_Zachodniopomorskie</i>	111,8 (2%)	468,80 (1%)	223,10 (4%)	412,57 (5%)	232,66 (3%)	109,65 (2%)
<i>PD_Podkarpackie-SK_Presov</i>	3,02 (30%)	794,55 (46%)	112,9 (37%)	54,10 (65%)	45,05 (66%)	11,35 (37%)
<i>SK_Nitra-HU_NorthCentral</i>	14,74 (52%)	279,97 (13%)	12,23 (19%)	49,05 (2%)	27,83 (1%)	29,53 (1%)
<i>HU_NorthWest-AU_LowerAustria</i>	3,75 (1%)	402,04 (1%)	24,76 (6%)	64,58 (2%)	46,14 (2%)	3,22 (0,2%)

Πίνακας 112: Παρουσίαση παράλληλων ροών του loop flow GE→PD→SK→HU→AU για κάθε σενάριο

- Loop Flow FR→GE→SW→FR

Σενάριο	Decarb 2015	NoNTC 2015	Relax 2015	Decarb 2030	NoNTC 2030	INVGE 2030
Περιοχές χωρών	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)
<i>FR_Alsace-GE_Freiburg</i>	1929,73 (74%)	2513,25 (88%)	1929,73 (74%)	3406,88 (82%)	3243,22 (77%)	1782,91 (47%)
<i>GE_Stuttgart-SW</i>	3116,75 (95%)	2835,84 (70%)	3116,75 (95%)	1676,34 (88%)	1294,93 (71%)	980,80 (40%)
<i>SW-FR_FrancheComte</i>	3717,33 (73%)	3430,08 (69%)	3717,33 (73%)	2803,91 (67%)	2254,43 (54%)	963,88 (22%)

Πίνακας 113: Παρουσίαση παράλληλων ροών του loop flow FR→GE→SW→FR για κάθε σενάριο.

- Loop Flow GE→NL→BE→FR

Σενάριο	Decarb 2015	NoNTC 2015	Relax 2015	Decarb 2030	NoNTC 2030	INVGE 2030
Περιοχές χωρών	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)	Παράλληλη ροή ενέργειας GWh (% συνολικής ροής)
<i>GE_WeserErmSo uth- NL_Gelderland</i>	600,29 (6%)	4496,675 (33%)	600,29 (6%)	44,24 (2%)	30,22 (1%)	40,04 (2%)
<i>NL_Limburg- BE_Flanders</i>	228,99 (8%)	3347,26 (50%)	228,99 (8%)	133,89 (35%)	6,46 (3%)	7,76 (4%)
<i>BE_Flanders- FR_PicardieNord PasDeCalais</i>	99,74 (100%)	2880,05 (100%)	99,74 (100%)	47,56 (100%)	1,92 (100%)	0,98 (100%)

Πίνακας 114: Παρουσίαση παράλληλων ροών του loop flow GE→NL→BE→FR για κάθε σενάριο

Κεφάλαιο 8. Επίλογος

8.1 Σύνοψη εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήσαμε ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα που συνδέονται με τη μετάβαση σε ένα ολοκληρωμένο, χωρίς εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα ευρωπαϊκό σύστημα ηλεκτροπαραγωγής, τις ροές βρόγχου (loop flows). Για να μπορέσει να μελετηθεί η συμπεριφορά των παράλληλων ροών, δημιουργήθηκε ένα μοντέλο προσομοίωσης του Ευρωπαϊκού συστήματος παραγωγής και μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας με αυξημένη γεωγραφική λεπτομέρεια.

Για τη δημιουργία του μοντέλου, καταρχήν έγινε μια λεπτομερής αποτύπωση του δικτύου μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, βασισμένη κυρίως στον χάρτη δικτύου του ENTSO-E. Το λεπτομερές δίκτυο περιλαμβάνει συνολικά 216 κόμβους και παρέχει την δυνατότητα προσομοίωσης της μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, λαμβάνοντας υπόψη τις αδυναμίες του δικτύου εσωτερικά των χωρών. Το δίκτυο μας χρησιμοποιείται και για μελλοντικά σενάρια του 2030, συνεπώς με βάση το Δεκαετές Πρόγραμμα Ανάπτυξης Δικτύου για το 2016 (TYNDP) αναζητήθηκαν και ενσωματώθηκαν οι μελλοντικές επενδύσεις, οι οποίες προβλέπεται να έχουν ολοκληρωθεί την χρονιά των προσομοιώσεων.

Επόμενο βήμα μετά την αποτύπωση του δικτύου ήταν η κατανομή και ακριβής αντιστοίχιση των μονάδων παραγωγής της κάθε χώρας με τους 216 κόμβους του δικτύου. Για να έχουμε μια ολοκληρωμένη προσομοίωση του δικτύου χρειάστηκε να γίνει κατανομή και της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας σε κάθε διαθέσιμο κόμβο, η οποία βασίστηκε σε διαθέσιμα στοιχεία από την βάση δεδομένων EUROSTAT. Για τα μελλοντικά σενάρια η διαδικασία επαναλήφθηκε με την κατανομή στους κόμβους να ακολουθεί τις προβλέψεις των σεναρίων που έχουν αναπτυχθεί για την Ευρωπαϊκή Επιτροπή με το μοντέλο Primes.

Τελικώς το λεπτομερές μας δίκτυο ενσωματώθηκε στο μοντέλο Primes, το οποίο προσομοιώνει σε μεγάλη λεπτομέρεια την λειτουργία του ενεργειακού συστήματος, τόσο σε επίπεδο παραγωγής όσο και κατανάλωσης. Το νέο μοντέλο που προέκυψε, αφού έγιναν οι κατάλληλες επαληθεύσεις με βάση το μοντέλο του ENTSO-E ώστε να βεβαιωθούμε ότι ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα, κρίθηκε κατάλληλο για να προσομοιώσει την λειτουργία του συστήματος και τις ροές φορτίου για τα έτη 2015 και 2030. Τα υποψήφια σενάρια τα οποία χρησιμοποιήσαμε για να μελετήσουμε κατά βάση τη συμπεριφορά των παράλληλων ροών, διαφοροποιούνται ως προς το έτος και συνεπώς ως προς το μέγεθος της εγκατεστημένης ισχύος από ΑΠΕ, τις τιμές των NTC και τις επενδύσεις. Με βάση λοιπόν τα αποτελέσματα των σεναρίων μας εξάγουμε κάποια συμπεράσματα τα οποία παραθέτουμε στην παρούσα εργασία.

Αρχικά από το λεπτομερές μοντέλο δικτύου που δημιουργήσαμε για το 2015 θέλαμε να επιβεβαιώσουμε τις ενδείξεις ύπαρξης παράλληλων ροών στην Κεντρική Ευρώπη και συγκεκριμένα στα σύνορα γύρω από τη Γερμανία όπως και έγινε. Στα ανατολικά

σύνορα πιο ισχυρή αποδεικνύεται η παράλληλη ροή στα σύνορα Γερμανίας –Τσεχίας αλλά και Γερμανίας-Πολωνίας, ενώ υψηλή υπολογίζεται η συσχέτιση τους με την τροφοδοσία ανέμου στις περιοχές της Γερμανίας από όπου ξεκινάνε τα loop flows. Έντονο είναι και το φαινόμενο των loop flows στα δυτικά σύνορα με Γαλλία και Ολλανδία, χωρίς ωστόσο να μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια η συσχέτιση τους με τη ζήτηση ή την αιολική ενέργεια. Τέλος για το 2015 με βάση τη μεθοδολογία της μελέτης (ACER, 2016) υπολογίζονται οι μη προγραμματισμένες ροές μεταξύ των ευρωπαϊκών χωρών αλλά και το κόστος που επιφέρουν στο σύστημα οι παράλληλες ροές. Ενδεικτικά, στα σύνορα Γερμανίας-Τσεχίας το κόστος ανέρχεται σε 11,19 εκατομμύρια ευρώ και στα σύνορα Γερμανίας-Πολωνίας στα 7,03 εκατομμύρια ευρώ.

Στο πρώτο μας σενάριο No NTC για το 2015 έχουμε αφαιρέσει τους περιορισμούς των NTC για τις μέγιστες ανταλλαγές ενέργειας μεταξύ των χωρών. Από τα αποτελέσματα μας παρατηρούμε μια ενίσχυση των παράλληλων ροών και κυρίως αυτών που εμφανίζονται στα σύνορα Γερμανίας-Τσεχίας και Γερμανίας-Ολλανδίας. Επιπλέον παρατηρούμε μια μείωση της ισχυρής συσχέτισης των παράλληλων ροών με την τροφοδότηση ανέμου.

Στο σενάριο Relax2015 έχουμε αυξήσει σταδιακά, σε 4 επαναλήψεις, το θερμικό όριο γραμμής στο εσωτερικό της Γερμανίας, η οποία βρίσκεται ανατολικά και συνδέει το βόρειο με το νότιο κομμάτι και συγκεκριμένα τις περιοχές GE_SachsenThuringia-GE_Oberfranken. Η γραμμή αυτή επιλέγεται καθώς παρατηρήθηκε ότι παρουσίαζε έντονη συμφόρηση το 2015. Μελετώντας τη συμπεριφορά των παράλληλων ροών, προφανώς αυτές που αφορούν τα δυτικά σύνορα της Γερμανίας δεν επηρεάζονται. Ανατολικά διακρίνουμε μια σταδιακή εξασθένηση των παράλληλων ροών στα σύνορα Γερμανίας-Τσεχίας και Γερμανίας-Πολωνίας, ενώ αντίθετα στο εσωτερικό της Γερμανίας παρατηρείται αύξηση της ροής ενέργειας από το Βορρά στο Νότο, όπως αναμενόταν.

Το σενάριο decarb2030 είναι το αντίστοιχο του 2015 με αυξημένη την εγκατεστημένη ισχύ από ΑΠΕ, αυξημένες τις τιμές των NTC ενώ περιλαμβάνει και μελλοντικές επενδύσεις που γίνονται στο δίκτυο μέχρι την χρονιά εκείνη. Οι αλλαγές αυτές όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα ενισχύουν τις παράλληλες ροές στα ανατολικά σύνορα της Γερμανίας, αλλά κυρίως παρατηρούμε αύξηση των παράλληλων ροών με τα σύνορα της Πολωνίας. Ισχυρή παραμένει η συσχέτιση των παράλληλων ροών με την τροφοδότηση ανέμου. Στις παράλληλες ροές των περισσότερων δυτικών συνόρων δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες αλλαγές με εξαίρεση την παράλληλη ροή στα σύνορα Γερμανίας-Ολλανδίας που παρουσιάζει σημαντική εξασθένηση το 2030, κάτι που μπορεί να δικαιολογηθεί από τις επενδύσεις που γίνονται στο εσωτερικό της Ολλανδίας.

Αφαιρώντας τους περιορισμούς των NTC για το 2030 δεν παρατηρούμε κάποιες αξιοσημείωτες αλλαγές όπως στο σενάριο No NTC για το 2015, παρά μόνο μια μικρή υποχώρηση των παράλληλων ροών. Συνεπώς οι περιορισμοί των NTC το 2030 δεν είναι περιοριστικοί στην ανταλλαγή ενέργειας όπως το 2015.

Τέλος στο σενάριο INVGE 2030 έχουμε λάβει υπόψη κάποιες επιπλέον επενδύσεις που γίνονται στο εσωτερικό της Γερμανίας, κυρίως DC. Από τα αποτελέσματα διακρίνουμε μια μείωση όλων των παράλληλων ροών που ξεκινούν από περιοχές της Γερμανίας και στα δυτικά και στα ανατολικά σύνορα. Επιπλέον διακρίνουμε στο εσωτερικό δίκτυο της χώρας διακρίνουμε μια αύξηση των ροών ενέργειας.

8.2 Επεκτάσεις

Το φάσμα μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα μπορούσε να διευρυνθεί με μια περαιτέρω μελέτη της κατανομής της ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, έχοντας στη διάθεση μας περισσότερες λεπτομέρειες από τις στατιστικές υπηρεσίες κάθε χώρας. Μια τέτοια λεπτομερής μελέτη θα ήταν σημαντική, καθώς είναι πιθανόν η ζήτηση να γίνει ισχυρότερος παράγοντας στην ισοσκέλιση του μελλοντικού συστήματος.

Παρόλα αυτά, λαμβάνοντας υπόψη τις παρατηρούμενες συσχετίσεις από τα δεδομένα και τα αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις των σεναρίων, υπάρχουν ισχυρές ενδείξεις ότι η εσωτερική οριοθέτηση ζώνης υποβολής προσφορών θα συμβάλει σε μια πιο αποδοτική λύση. Όσον αφορά την οριοθέτηση ζώνης υποβολής προσφορών, θα θέλαμε να τονίσουμε και πάλι το γεγονός μπορεί να είναι ένα αποτελεσματικό μέτρο, ακόμη και αν παρουσιαστούν σημεία συμφόρησης σε άλλες περιοχές ελέγχου και όχι στην ίδια την περιοχή ελέγχου. Με άλλα λόγια, η απάντηση στο ερώτημα κατά πόσο μια ευρωπαϊκή χώρα πρέπει να χωριστεί σε ζώνες υποβολής προσφορών δεν είναι απαραίτητα ζήτημα αν υπάρχουν σημεία συμφόρησης στη χώρα, αλλά εάν η οριοθέτηση της ζώνης υποβολής προσφορών θα συμβάλει στην ανακούφιση των σημείων συμφόρησης του συστήματος με οικονομικά αποδοτικό τρόπο. Εάν απαιτούνται άλλα μέτρα, όπως για παράδειγμα οι μεταφορές φάσης, θα πρέπει να διενεργηθεί μια ορθή αξιολόγηση του δικτύου για ολόκληρο το σύστημα, προκειμένου να αναλυθεί κατά πόσον τα μέτρα αυτά είναι αποτελεσματικά ή αν απλώς ανακατανέμονται τα προβλήματα.

Επιπλέον πιο λεπτομερής μελέτη θα μπορούσε να γίνει και ως προς την κατανομή των Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας στο μέλλον. Όπως έχουμε αποδείξει οι ΑΠΕ επηρεάζουν σημαντικά την ύπαρξη των παράλληλων ροών και κυρίως η αιολική ενέργεια. Αυτό θα μπορεί να επιτευχθεί έχοντας στη διάθεση μας επαρκείς πηγές, κάτι που δεν είχαμε στην παρούσα φάση.

Ακόμη σε μελλοντική μελέτη θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη και οι μετασχηματιστές μετατόπισης φάσης (PST) που έχουν εγκατασταθεί σε ορισμένα σημεία του δικτύου στα πλαίσια επιδιορθωτικών μέτρων, διότι επηρεάζουν απευθείας τις φυσικές ροές. Η εγκατάσταση μετασχηματιστών μετατόπισης φάσης (PST) μπορεί να αλλάξει το πρότυπο των φυσικών ροών στο δίκτυο και ιδιαίτερα να μειώσει το φορτίο στις κρίσιμες γραμμές. Όπως έχουμε αναφέρει τέτοια είδους μέτρα μπορούν να ανακουφίσουν ως ένα βαθμό το πρόβλημα, αλλά η εμβέλεια τους είναι περιορισμένη.

Τέλος θα ήταν δυνατό εκτός από σενάρια decarb να χρησιμοποιηθούν και εναλλακτικά σενάρια εξέλιξης του ενεργειακού συστήματος με μικρότερη ή μεγαλύτερη διείσδυση ΑΠΕ και με διαφοροποιήσεις γενικώς στην δομή του ενεργειακού συστήματος. Μια τέτοια μελέτη θα μας έδινε περισσότερες πληροφορίες για την επίδραση που έχει η δομή του συστήματος στο φαινόμενο loop flows.

Παράρτημα Α. Κόμβοι του αναλυθέντος δικτύου

Πίνακας 115: Αναλυτικά στοιχεία για όλους του κόμβους του δικτύου.

Όνομα κόμβου κατά ENTSO-Ε/Διεύθυνση	Τυπική Ονομασία	Χώρα	Περιγραφή τοποθεσίας
Africa	AF1	Αφρική	
Tirana2	AL1	Αλβανία	Αλβανία
Lienz	AU1	Αυστρία	Salzburg
Obersielach	AU2	Αυστρία	Styria
Westtirol	AU3	Αυστρία	Tirol
St Peter	AU4	Αυστρία	UpperAustria
Durnrohr	AU5	Αυστρία	LowerAustria
Burs	AU6	Αυστρία	Vorarlberg
Gramme	BE1	Βέλγιο	Wallone
Mercator	BE2	Βέλγιο	Flanders
Sofia Zapad	BG1	Βουλγαρία	Yugozapadna
Maritsa Iztok 3	BG2	Βουλγαρία	Yugoiztochen
Kozloduv	BG3	Βουλγαρία	Severozapaden
Varna	BG4	Βουλγαρία	Severoiztochen
Mostar	BO1	Βοζνία-Ερζεγοβίνη	
Tuzla	BO2		
Cyprus	CP1	Κύπρος	Cyprus
Hradec Zapad	CZ1	Τσεχία	Praha
Nosovice	CZ2	Τσεχία	StredniMorava
Kocin	CZ3	Τσεχία	Jihozapad
Sokolnice	CZ4	Τσεχία	Severovychod
Tjele	DK1	Δανία	Midtjylland
Landerupgard	DK2	Δανία	Syddanmark
Glentegard	DK3	Δανία	Hovedstaden
Horku	ES1	Εσθονία	West
Balti E.J	ES2	Εσθονία	East
Vanttauskoski	FI1	Φινλανδία	PohjoisSuomiNorth
Pikkarala	FI2	Φινλανδία	PohjoisSuomiSouth
Ulvilla	FI3	Φινλανδία	LansiSuomi
Tammisto	FI4	Φινλανδία	Helsinki
Ylikkala	FI5	Φινλανδία	ItaSuomi
Le Marquis	FR1	Γαλλία	Aquitaine
Terrier	FR10	Γαλλία	HauteNormandie

Όνομα κόμβου κατά ENTSO- Ε/Διεύθυνση	Τυπική Ονομασία	Χώρα	Περιγραφή τοποθεσίας
Verger	FR11	Γαλλία	Centre
Mions	FR12	Γαλλία	RhoneAlpes
Vielmoulin	FR13	Γαλλία	Bourgogne
Mery /Seine	FR14	Γαλλία	ChampagneArdenneSou th
Le Chesnoy	FR15	Γαλλία	IledeFrance
Les Attaques	FR16	Γαλλία	PicardieNordPasDeCalai s
Lonny	FR17	Γαλλία	ChampagneArdenneNor th
Vigy	FR18	Γαλλία	Lorraine
Sierenz	FR19	Γαλλία	Alsace
La Gandiere	FR2	Γαλλία	LanguedocRoussillon
Genissiat	FR20	Γαλλία	FrancheComte
Bastia	FR21	Γαλλία	LasCorse
Tavel	FR3	Γαλλία	ProvenceAlpesCotedAzu r
Rueyres	FR4	Γαλλία	MidiPyrenees
Eguzon	FR5	Γαλλία	PoitouCharentes
Distre	FR6	Γαλλία	PaysdeLaLoireEast
Cordemais	FR7	Γαλλία	PaysdeLaLoireWest
La Martyre	FR8	Γαλλία	Bretagne
Flemanville	FR9	Γαλλία	BasseNormandie
Bitola	FY1		
Dubrova	FY2	ΦΥΡΟΜ	
Skopje 4	FY3		
Wilster	GE1	Γερμανία	SchleswigHolstein
Nevenhagen	GE10	Γερμανία	Berlin
Eichstetten	GE11	Γερμανία	Freiburg
Herbertingen	GE12	Γερμανία	TubingenWest
Delmensingen	GE13	Γερμανία	TubingenNorthEast
Leupotz	GE14	Γερμανία	TubingenSouthEast
Meitingen	GE15	Γερμανία	Schwaben
Hoheneck	GE16	Γερμανία	Stuttgart
Raitersaich	GE17	Γερμανία	Mittelfranken
Wurgau	GE18	Γερμανία	Oberfranken
Grafenrheinfeld	GE19	Γερμανία	Unterfranken
Bentswich	GE2	Γερμανία	MecklenburgVorpomme rnWest
Bilbis	GE20	Γερμανία	RheinhessenPfalz
Uchtelfangen	GE21	Γερμανία	Saarland
Niederstedem	GE22	Γερμανία	Trier
Paffendorf	GE23	Γερμανία	Koln
Danersberg	GE24	Γερμανία	Koblenz
Gieben-Nord	GE25	Γερμανία	GiessenDarmstadt

Όνομα κόμβου κατά ENTSO- Ε/Διεύθυνση	Τυπική Ονομασία	Χώρα	Περιγραφή τοποθεσίας
Borken	GE26	Γερμανία	Kassel
Poppinghausen	GE27	Γερμανία	Dusseldorf
Lipborg	GE28	Γερμανία	Arnsberg
Gronau	GE29	Γερμανία	WeserErmSouth
Lubmin	GE3	Γερμανία	MecklenburgVorpomme rnEast
Hanekenfahr	GE30	Γερμανία	WeserErmCentre
Diele	GE31	Γερμανία	WeserErmNorth
Sottrum	GE32	Γερμανία	HamburgLuneburg
Landesbergen	GE33	Γερμανία	BremenNorthHanover
Grohnde	GE34	Γερμανία	SouthHannover
Wahle	GE35	Γερμανία	Braunschweig
Wolmirstedt	GE36	Γερμανία	SachsenAnhalt
Bechterdissen	GE37	Γερμανία	Detmold
Schmolln	GE38	Γερμανία	Dresden
Vierraden	GE4	Γερμανία	Brandenburg_North1
Oberbachern	GE5	Γερμανία	Oberbayern
Pleinting	GE6	Γερμανία	Niederbayern
Etzenricht	GE7	Γερμανία	Oberpfalz
Rohrsdorf	GE8	Γερμανία	SachsenThuringia
Janschwalde	GE9	Γερμανία	Brandenburg_South
Larimna	GR1	Ελλάδα	Central
Kardia	GR2	Ελλάδα	NorthWest
Thessalonike	GR3	Ελλάδα	NorthEast
Crete	GR4	Ελλάδα	Crete
Islands	GR5	Ελλάδα	Islands
Megalopoli	GR6	Ελλάδα	Peloponese
Melina	HR1	Κροατία	JadranskaNorth
Tumbri	HR2	Κροατία	KontinentalnaWest
Konjsko	HR3	Κροατία	JadranskaSouth
Ernestinovo	HR4	Κροατία	KontinentalnaEast
Sajoszoged	HU1	Ουγγαρία	NorthEast
Gyor	HU2	Ουγγαρία	NorthWest
God	HU3	Ουγγαρία	NorthCentral
Heviz	HU4	Ουγγαρία	SouthWest
Sandorfalva	HU5	Ουγγαρία	SouthEast
Paks	HU6	Ουγγαρία	SouthCentral
Martonvasar	HU7	Ουγγαρία	Central
Moneypoint	IR1	Ιρλανδία	West
Dunstown	IR2	Ιρλανδία	East
Vilafranca	IT1	Ιταλία	Sicilia
Redipuglia	IT10	Ιταλία	FriuliVeneziaGiulia
Camin	IT11	Ιταλία	Veneto
Rondissone	IT12	Ιταλία	Piemonte

Όνομα κόμβου κατά ENTSO- Ε/Διεύθυνση	Τυπική Ονομασία	Χώρα	Περιγραφή τοποθεσίας
Flero	IT13	Ιταλία	Lombardia
Laino	IT2	Ιταλία	Calabria
Brindisi P	IT3	Ιταλία	Puglia
S.Sofia	IT4	Ιταλία	Lazio
Foggia	IT5	Ιταλία	Molise
Ittin	IT6	Ιταλία	Sardegna
Snvereto	IT7	Ιταλία	Toscana
Villanova	IT8	Ιταλία	Umbria
Forti Oraziana	IT9	Ιταλία	EmiliaRomagna
Kosovo	KV1	Κόσοβο	
Salaspils	LA1	Λεττονία	Latvia
Ignalinos A.E	LI1	Λιθουανία	NorthEast
Lietuvos A.E	LI2	Λιθουανία	South
Klaipeda	LI3	Λιθουανία	NorthWest
Roost	LX1	Λουξεμβούργο	
Malta	MA1	Μάλτα	
Middle East	ME1	Μέση Ανατολή	
Ribarevina	MJ1	Μαυροβούνιο	
Geertruidenberg	NL1	Ολλανδία	Noordbrabant
Krimpen	NL2	Ολλανδία	Zuidholand
Diemen	NL3	Ολλανδία	Noordholand
Maasbracht	NL4	Ολλανδία	Limburg
Ens	NL5	Ολλανδία	Friesland
Hengelo	NL6	Ολλανδία	Gelderland
Meeden	NL7	Ολλανδία	Groningen
Borsselle	NL8	Ολλανδία	Zeeland
Varangerboth	NO1		
Ofoten	NO2		
Rossaga	NO3	Νορβηγία	
Brattsberg	NO4		
Fardal in Sogn	NO5		
Kristiansand	NO6		
Oslo	NO7		
Slupk Wietbiecino	PD1	Πολωνία	Pomorskie
Krajnik	PD2	Πολωνία	Zachodnio-pomorskie
Oltarzew	PD3	Πολωνία	Mazowieckie
Joachimow	PD4	Πολωνία	Lodzkie
Wielopole	PD5	Πολωνία	Malopolskie
Mikutowa	PD6	Πολωνία	Dolnosklaksie
Krosno Iskrzynia	PD7	Πολωνία	Podkarpackie
Plewiska	PD8	Πολωνία	Wielkopolskie

Όνομα κόμβου κατά ENTSO- Ε/Διεύθυνση	Τυπική Ονομασία	Χώρα	Περιγραφή τοποθεσίας
Rio Maior	PL1	Πορτογαλία	South
Recarei	PL2	Πορτογαλία	North
Islands	PL3	Πορτογαλία	Islands
Portile de Fier 1	RO1	Ρουμανία	Macroregiuneapatrut
Tanjareni	RO2	Ρουμανία	Macroregiuneatrei
Isaccea	RO3	Ρουμανία	Macroregiuneadoi
Sibiu	RO4	Ρουμανία	MacroregiuneaunuCentru
Rosiori	RO5	Ρουμανία	MacroregiuneaunuMaramures
Arad	RO6	Ρουμανία	MacroregiuneaunuCrisana
Bajina Basta	RS1		
Nis	RS2	Σερβία	
Sremska-Mitrovica	RS3		
Obrenovac	RS4		
Russia	RU1	Ρωσία	
Lemesary	SK1	Σλοβακία	Presov
Velke Kapusany	SK2	Σλοβακία	Kosice
Varin	SK3	Σλοβακία	Zilina
Krizonavy	SK4	Σλοβακία	Bratislava
Levice	SK5	Σλοβακία	Nitra
P.Biskupice	SK6	Σλοβακία	BanskaBystrica
Brestanica	SN1	Σλοβενία	Vzhodna
Divaca	SN2	Σλοβενία	Zahodna
Guenes	SP1	Ισπανία	Cantabria
Morata	SP10	Ισπανία	ComunidaddeMadrid
Guadalquivir Medio	SP11	Ισπανία	AndaluciaCordoba
Can Jordi	SP2	Ισπανία	AragonCataluna
Morvedre	SP3	Ισπανία	ComunidadValenciana
Litoral de Almeria	SP4	Ισπανία	AndaluciaAlmeria
Pinar del Rey	SP5	Ισπανία	AndaluciaMalaga
Guillena	SP6	Ισπανία	AndaluciaSevilla
Montearenas	SP7	Ισπανία	Galicia
Grijota	SP8	Ισπανία	CastillaYLeon
CN Almaraz	SP9	Ισπανία	Extremadura
Ligga	SV1	Σουηδία	Norbotten
Soderasen	SV10	Σουηδία	Skane
Midskog	SV2	Σουηδία	Jamtland
Borgvik	SV3	Σουηδία	Vastragotaland
Hallsberg	SV4	Σουηδία	Orebro
Kimstad	SV5	Σουηδία	Ostergotland

Όνομα κόμβου κατά ENTSO- Ε/Διεύθυνση	Τυπική Ονομασία	Χώρα	Περιγραφή τοποθεσίας
Hamra	SV6	Σουηδία	Stockholm
Forsmark	SV7	Σουηδία	Uppsala
Lindome	SV8	Σουηδία	Halland
Karlshamm	SV9	Σουηδία	Kronoberg
St. Triphon	SW1	Ελβετία	
Laufenburg	SW2		
Lavorgo	SW3		
Sils	SW4		
Turkey	TU1	Τουρκία	
Kilmarnock South	UK1	Ηνωμένο Βασίλειο	ScotlandSouthWest
Sellindge	UK10	Ηνωμένο Βασίλειο	London
Ballymford	UK11	Ηνωμένο Βασίλειο	NorthernIreland
Kintore	UK2	Ηνωμένο Βασίλειο	ScotlandNorthEast
Kaimes	UK3	Ηνωμένο Βασίλειο	ScotlandEast
Keadby	UK4	Ηνωμένο Βασίλειο	NorthEast
Fradsham	UK5	Ηνωμένο Βασίλειο	NorthWest
Penn	UK6	Ηνωμένο Βασίλειο	Midlands
Melksham	UK7	Ηνωμένο Βασίλειο	WessexNorth
Exeter	UK8	Ηνωμένο Βασίλειο	Cornwall
Nursling	UK9	Ηνωμένο Βασίλειο	Hampshire

Παράρτημα Β. Τιμές NTC για διάφορες κατηγορίες σεναρίων

Πίνακας 116: Τιμές NTC (MW) για τις διάφορες κατηγορίες σεναρίων.

Χώρα 1	Χώρα 2	2015	2030
Ιρλανδία	Ηνωμένο Βασίλειο	500,00	1404,00
Ηνωμένο Βασίλειο	Ιρλανδία	500,00	1404,00
Ηνωμένο Βασίλειο	Γαλλία	2000,00	3800,00
Γαλλία	Ηνωμένο Βασίλειο	2000,00	3800,00
Ηνωμένο Βασίλειο	Ολλανδία	1290,00	1290,00
Ολλανδία	Ηνωμένο Βασίλειο	1290,00	1290,00
Αφρική	Ισπανία	600,00	600,00
Ισπανία	Αφρική	900,00	900,00
Πορτογαλία	Ισπανία	2500,00	3960,00
Ισπανία	Πορτογαλία	2000,00	3960,00
Ισπανία	Γαλλία	600,00	4000,00
Γαλλία	Ισπανία	1200,00	4000,00
Γαλλία	Βέλγιο	3500,00	3700,00
Βέλγιο	Γαλλία	2800,00	3700,00
Γαλλία	Γερμανία	2800,00	3300,00
Γερμανία	Γαλλία	3300,00	3300,00
Γαλλία	Ελβετία	3200,00	3696,00
Ελβετία	Γαλλία	2200,00	3696,00
Γαλλία	Ιταλία	3000,00	3750,00
Ιταλία	Γαλλία	1500,00	3750,00
Βέλγιο	Ολλανδία	2400,00	2400,00
Ολλανδία	Βέλγιο	2400,00	2400,00
Βέλγιο	Λουξεμβούργο	1000,00	1000,00
Λουξεμβούργο	Βέλγιο	1000,00	1000,00
Ολλανδία	Γερμανία	4850,00	4850,00
Γερμανία	Ολλανδία	4850,00	4850,00
Ολλανδία	Νορβηγία	1400,00	2100,00
Νορβηγία	Ολλανδία	1400,00	2100,00
Λουξεμβούργο	Γερμανία	980,00	1911,00
Γερμανία	Λουξεμβούργο	980,00	1911,00
Γερμανία	Δανία	1500,00	3450,00
Δανία	Γερμανία	950,00	3450,00
Γερμανία	Σουηδία	600,00	600,00
Σουηδία	Γερμανία	600,00	600,00

Γερμανία	Ελβετία	3000,00	7200,00
Ελβετία	Γερμανία	1200,00	7200,00
Γερμανία	Αυστρία	3000,00	7260,00
Αυστρία	Γερμανία	1200,00	7260,00
Γερμανία	Πολωνία	1200,00	3240,00
Πολωνία	Γερμανία	1200,00	3240,00
Γερμανία	Τσεχία	1950,00	3200,00
Τσεχία	Γερμανία	2480,00	3200,00
Δανία	Νορβηγία	1500,00	1700,00
Νορβηγία	Δανία	1500,00	1700,00
Δανία	Σουηδία	2070,00	2856,60
Σουηδία	Δανία	1980,00	2856,60
Νορβηγία	Σουηδία	3600,00	4968,00
Σουηδία	Νορβηγία	3795,00	4968,00
Σουηδία	Φινλανδία	2300,00	3150,00
Φινλανδία	Σουηδία	2300,00	3150,00
Σουηδία	Πολωνία	600,00	600,00
Πολωνία	Σουηδία	600,00	600,00
Ελβετία	Ιταλία	1000,00	4240,00
Ιταλία	Ελβετία	1800,00	4240,00
Ελβετία	Αυστρία	1200,00	1932,00
Αυστρία	Ελβετία	300,00	1932,00
Ιταλία	Αυστρία	220,00	1540,00
Αυστρία	Ιταλία	760,00	1540,00
Ιταλία	Σλοβενία	430,00	1315,80
Σλοβενία	Ιταλία	730,00	1315,80
Ιταλία	Ελλάδα	500,00	1000,00
Ελλάδα	Ιταλία	500,00	1000,00
Ιταλία	Αλβανία	0,00	0,00
Αλβανία	Ιταλία	0,00	0,00
Ιταλία	Μαυροβούνιο	0,00	1000,00
Μαυροβούνιο	Ιταλία	0,00	1000,00
Αυστρία	Σλοβενία	900,00	1512,00
Σλοβενία	Αυστρία	900,00	1512,00
Αυστρία	Τσεχία	1500,00	1800,00
Τσεχία	Αυστρία	2110,00	2110,00
Αυστρία	Ουγγαρία	1320,00	1458,00
Ουγγαρία	Αυστρία	900,00	1458,00
Σλοβενία	Ουγγαρία	800,00	800,00
Ουγγαρία	Σλοβενία	800,00	800,00
Σλοβενία	Κροατία	1000,00	2720,00

Κροατία	Σλοβενία	1000,00	2720,00
Πολωνία	Τσεχία	1900,00	2000,00
Τσεχία	Πολωνία	800,00	2000,00
Πολωνία	Σλοβακία	600,00	880,00
Σλοβακία	Πολωνία	500,00	880,00
Πολωνία	Λιθουανία	1720,00	1720,00
Λιθουανία	Πολωνία	1720,00	1720,00
Τσεχία	Σλοβακία	2500,00	2500,00
Σλοβακία	Τσεχία	1350,00	2500,00
Ουγγαρία	Σλοβακία	1100,00	2050,00
Σλοβακία	Ουγγαρία	1400,00	2050,00
Ουγγαρία	Ρουμανία	700,00	1100,00
Ρουμανία	Ουγγαρία	700,00	1100,00
Ουγγαρία	Κροατία	1000,00	2550,00
Κροατία	Ουγγαρία	600,00	2550,00
Ουγγαρία	Σερβία	700,00	700,00
Σερβία	Ουγγαρία	700,00	700,00
Ουγγαρία	Ρωσία	1000,00	1000,00
Ρωσία	Ουγγαρία	1150,00	1150,00
Ελλάδα	ΦΥΡΟΜ	520,00	1320,00
ΦΥΡΟΜ	Ελλάδα	400,00	1320,00
Ελλάδα	Αλβανία	220,00	510,00
Αλβανία	Ελλάδα	200,00	510,00
Ελλάδα	Βουλγαρία	750,00	800,00
Βουλγαρία	Ελλάδα	800,00	800,00
Ρουμανία	Σερβία	700,00	1680,00
Σερβία	Ρουμανία	700,00	1680,00
Ρουμανία	Βουλγαρία	600,00	4200,00
Βουλγαρία	Ρουμανία	600,00	4200,00
Ρουμανία	Ρωσία	200,00	200,00
Ρωσία	Ρουμανία	400,00	400,00
Κροατία	Βοζνία-Ερζεγοβίνη	600,00	3150,00
Βοζνία-Ερζεγοβίνη	Κροατία	600,00	3150,00
Κροατία	Σερβία	500,00	1020,00
Σερβία	Κροατία	500,00	1020,00
Βοζνία-Ερζεγοβίνη	Σερβία	900,00	2664,00
Σερβία	Βοζνία-Ερζεγοβίνη	900,00	2664,00
Κόσοβο	ΦΥΡΟΜ	500,00	1440,00
ΦΥΡΟΜ	Κόσοβο	500,00	1440,00
Κόσοβο	Αλβανία	250,00	675,00
Αλβανία	Κόσοβο	250,00	675,00

Σερβία	Βουλγαρία	450,00	1147,50
Βουλγαρία	Σερβία	450,00	1020,00
ΦΥΡΟΜ	Βουλγαρία	400,00	841,50
Βουλγαρία	ΦΥΡΟΜ	400,00	841,50
Σλοβακία	Ρωσία	400,00	400,00
Ρωσία	Σλοβακία	400,00	400,00
Λεττονία	Λιθουανία	1300,00	2145,00
Λιθουανία	Λεττονία	1500,00	2145,00
Λεττονία	Εσθονία	800,00	1344,00
Εσθονία	Λεττονία	800,00	1344,00
Εσθονία	Ρωσία	1000,00	1000,00
Ρωσία	Εσθονία	1000,00	1000,00
Λεττονία	Ρωσία	500,00	500,00
Ρωσία	Λεττονία	500,00	500,00
Φινλανδία	Εσθονία	1100,00	1000,00
Εσθονία	Φινλανδία	1100,00	1000,00
Ρωσία	Φινλανδία	1300,00	1300,00
Φινλανδία	Ρωσία	1300,00	1300,00
Λιθουανία	Ρωσία	2010,00	2010,00
Ρωσία	Λιθουανία	1100,00	1100,00
Ηνωμένο Βασίλειο	Βέλγιο	0,00	1000,00
Βέλγιο	Ηνωμένο Βασίλειο	0,00	1000,00
Ηνωμένο Βασίλειο	Νορβηγία	0,00	1400,00
Νορβηγία	Ηνωμένο Βασίλειο	0,00	1400,00
Ολλανδία	Δανία	0,00	700,00
Δανία	Ολλανδία	0,00	700,00
Γερμανία	Νορβηγία	0,00	1500,00
Νορβηγία	Γερμανία	0,00	1500,00
Σουηδία	Λιθουανία	0,00	700,00
Λιθουανία	Σουηδία	0,00	700,00
Ιταλία	Κροατία	0,00	0,00
Κροατία	Ιταλία	0,00	0,00
Αφρική	Ιταλία	50,00	100,00
Ιταλία	Αφρική	500,00	100,00
Μάλτα	Ιταλία	0,00	0,00
Ιταλία	Μάλτα	100,00	100,00
Φινλανδία	Νορβηγία	100,00	100,00
Νορβηγία	Φινλανδία	100,00	100,00
Πολωνία	Ρωσία	350,00	350,00
Ρωσία	Πολωνία	350,00	350,00
Αλβανία	ΦΥΡΟΜ	175,00	540,00

ΦΥΡΟΜ	Αλβανία	175,00	540,00
Σερβία	Κόσοβο	650,00	988,52
Κόσοβο	Σερβία	600,00	912,48
Κόσοβο	Μαυροβούνιο	500,00	985,15
Μαυροβούνιο	Κόσοβο	400,00	788,12
Μαυροβούνιο	Βοζνία-Ερζεγοβίνη	500,00	1518,00
Βοζνία-Ερζεγοβίνη	Μαυροβούνιο	500,00	1518,00
Σερβία	Μαυροβούνιο	450,00	1117,59
Μαυροβούνιο	Σερβία	500,00	1241,77
Μαυροβούνιο	Αλβανία	310,00	492,58
Αλβανία	Μαυροβούνιο	215,00	394,06
Σερβία	ΦΥΡΟΜ	400,00	788,12
ΦΥΡΟΜ	Σερβία	400,00	788,12
Τουρκία	Ελλάδα	105,00	105,00
Ελλάδα	Τουρκία	185,00	205,00
Βουλγαρία	Τουρκία	1500,00	1500,00
Τουρκία	Βουλγαρία	1500,00	1500,00
Ρουμανία	Τουρκία	0,00	700,00
Τουρκία	Ρουμανία	0,00	700,00
Μέση Ανατολή	Τουρκία	500,00	600,00
Τουρκία	Μέση Ανατολή	500,00	500,00
Γερμανία	Ηνωμένο Βασίλειο	0,00	0,00
Ηνωμένο Βασίλειο	Γερμανία	0,00	0,00
Νορβηγία	Βέλγιο	0,00	0,00
Βέλγιο	Νορβηγία	0,00	0,00
Αφρική	Γαλλία	0,00	0,00
Γαλλία	Αφρική	0,00	0,00
Αφρική	Ελλάδα	0,00	0,00
Ελλάδα	Αφρική	0,00	0,00
Αυστρία	Σλοβακία	0,00	0,00
Σλοβακία	Αυστρία	0,00	0,00
Δανία	Πολωνία	0,00	0,00
Πολωνία	Δανία	0,00	0,00

Πίνακας 117: Γραμμές που προστέθηκαν στο υπάρχων δίκτυο για να δημιουργηθεί το δίκτυο βάσης

Κόμβος 1 ^(*)	Κόμβος 2 ^(*)	380kV	400kV	220kV	300kV	DC (MW)
AL1	FY1	0	2	0	0	0
AL1	KV1	0	1	0	0	0
AL1	IT3	0	0	0	0	500
AU4	GE6	2	2	0	0	0
AU6	SW2	1	0	0	0	0
BE1	GE22	0	0	0	0	650
BE2	FR16	1	0	0	0	0
BE2	UK10	0	0	0	0	1000
BO1	MJ1	0	1	0	0	0
BO2	HR4	0	1	0	0	0
BO2	RS3	0	1	0	0	0
BG1	BG2	0	1	0	0	0
BG2	BG4	0	1	0	0	0
BG4	RO3	0	2	0	0	0
HR2	SN1	0	1	0	0	0
CZ1	CZ3	0	1	0	0	0
CZ1	GE7	0	1	0	0	0
DK2	NL7	0	0	0	0	700
ES1	LA1	0	0	0	1	0
ES1	LA1	0	0	0	0	380
FI1	NO1	0	1	0	0	0
FI1	SV1	0	1	0	0	0
FR12	IT12	0	0	0	0	600
FR16	UK10	0	0	0	0	1800
FR20	SW1	1	0	0	0	0
GE1	NO6	0	0	0	0	1500
GE4	PD2	2	0	0	0	0
GE8	GE18	2	0	0	0	0
GE27	GE31	2	0	0	0	0
GE29	NL6	1	0	0	0	0
GE34	GE35	2	0	0	0	0
GE35	GE36	2	0	0	0	0
GR1	IT3	0	0	0	0	500
HU3	SK5	0	3	0	0	0
HU2	SK6	0	2	0	0	0
HU4	SN1	0	1	0	0	0
IR2	UK11	0	1	0	0	0
IR2	UK5	0	0	0	0	2400

Κόμβος 1(*)	Κόμβος 2(*)	380kV	400kV	220kV	300kV	DC (MW)
IT1	IT2	1	0	0	0	0
IT5	IT8	0	2	0	0	0
IT10	SN2	0	1	0	0	0
IT12	SW3	0	0	0	0	1000
IT13	SW3	1	0	0	0	0
LA1	LI1	0	1	0	0	0
LI3	SV9	0	0	0	0	700
MJ1	IT8	0	0	0	0	1000
MJ1	RS1	1	0	0	0	0
NL1	NL2	3	0	0	0	0
NL1	NL4	4	0	0	0	0
NL2	NL3	2	0	0	0	0
NL3	NL5	4	0	0	0	0
NL4	NL6	2	0	0	0	0
NL5	NL6	2	0	0	0	0
NL6	NL7	1	0	0	0	0
NL7	NO6	0	0	0	0	700
NO6	SV10	0	0	0	0	1400
NO6	UK3	0	0	0	0	1400
PD1	PD3	0	2	0	0	0
PL1	PL2	0	2	0	0	0
PL2	SP7	0	1	0	0	0
RO1	RS2	0	2	0	0	0
RO5	RU1	0	1	0	0	0
KV1	FY3	0	1	0	0	0
RS1	RS4	0	2	0	0	0
SN1	SN2	0	1	0	0	0
SP2	SP3	0	2	0	0	0
LX1	BE1	1	0	0	0	0
RU1	PD7	0	1	0	0	0
AF1	IT1	0	0	0	0	1000
MA1	IT1	0	0	0	0	200
HR1	IT8	0	0	0	0	1000
FR2	SP2	0	0	0	0	1400
RO3	RU1	0	1	0	0	0
PD8	PD1	0	2	0	0	0
IT13	SW4	0	0	0	0	1000
GR1	GR6	0	4	0	0	0

Παράρτημα Γ.Στοιχεία για το Ευρωπαϊκό δίκτυο μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας

Ο Entso-e είναι το Ευρωπαϊκό δίκτυο διαχειριστών συστημάτων μεταφοράς, το οποίο αντιπροσωπεύει 42 διαχειριστές συστημάτων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας από 35 Ευρωπαϊκές χώρες. Ο Entso-e θεσπίστηκε και του δόθηκε νομική εξουσιοδότηση από το τρίτο πακέτο νομοθετικών μέτρων της Ευρωπαϊκής Ένωσης για την εσωτερική αγορά ενέργειας το 2009 και έχει ως σκοπό την περαιτέρω απελευθέρωση των αγορών ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου στην Ευρώπη. Τα μέλη του Entso-e έχουν σαν κοινό στόχο τη δημιουργία της Εσωτερικής αγοράς ενέργειας, τη βέλτιστη λειτουργία της και την υποστήριξη της φιλόδοξης ενεργειακής και κλιματικής ατζέντας της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Ένα από τα πιο σημαντικά θέματα αυτής της ατζέντας είναι η ενσωμάτωση, σε μεγάλο βαθμό, ΑΠΕ στο ευρωπαϊκό σύστημα ενέργειας. Ο Entso-e είναι δεσμευμένος να αντιμετωπίζει τις προκλήσεις σε ένα διαρκώς εξελισσόμενο ενεργειακό σύστημα διατηρώντας πάντα την ασφάλεια εφοδιασμού ενέργειας(ENTSO-E, 2014). Όλα τα μέλη του είναι υποχρεωμένα να ανακοινώνουν τα σχέδια επέκτασης του δικτύου τους στο Δεκαετές Πρόγραμμα Ανάπτυξης Συστήματος Μεταφοράς (Ten Year Network Development Plan)

Το TYNDP είναι μία διετής αναφορά που εκδίδεται από τον Entso-e που παρουσιάζει τα σχέδια επέκτασης του δικτύου ηλεκτρικής ενέργειας που χαρακτηρίζονται ως αναγκαία για εξασφαλιστεί ότι το δίκτυο διευκολύνει τους ενεργειακούς στόχους που θέτει η Ευρωπαϊκή Ένωση. Οι στόχοι είναι να διατηρείται η ασφάλεια εφοδιασμού ηλεκτρικής ενέργειας, να μετριαστεί η κλιματική αλλαγή και να διευκολυνθεί η Εσωτερική Αγορά Ενέργειας (Internal Energy Market IEM). Το TYNDP μελετά έργα Πανευρωπαϊκής σημασίας για τα επόμενα 10 χρόνια χρησιμοποιώντας ανάλυση κόστους-οφέλους για τις επενδύσεις. Για κάθε έργο εξετάζονται τα εξής: η αύξηση στην κοινωνική και οικονομική ευημερία των χωρών που συμμετέχουν, οι επιπτώσεις στην ασφάλεια εφοδιασμού, την ενσωμάτωση ΑΠΕ, η μείωση εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, η επίδραση που έχει το έργο στις απώλειες πάνω στο δίκτυο, καθώς και η προκαλούμενη τεχνική ελαστικότητα στο δίκτυο.

TSO(διαχειριστής συστήματος μεταφοράς)

Ο διαχειριστής συστήματος μεταφοράς είναι η εταιρία υπεύθυνη για την λειτουργία, συντήρηση και ανάπτυξη του συστήματος μεταφοράς μιας περιοχής ελέγχου και των διασυνδέσεών της.

NTC (Καθαρή Ικανότητα Μεταφοράς) (Net Transfer capacity)

Μια πολύ σημαντική έννοια που θα μας απασχολήσει είναι η καθαρή μεταφορική ικανότητα (Net Transfer Capacity, NTC). Αυτή είναι το μέγιστο πρόγραμμα ανταλλαγών μεταξύ δύο διασυνδεδεμένων συστημάτων ενέργειας, κατά κύριο λόγο

μεταξύ χωρών, για εμπορική χρήση, για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο και για συγκεκριμένη φορά ροής ενεργούς ισχύος. Η NTC είναι συνήθως μικρότερη από τη φυσική ικανότητα μεταφοράς των γραμμών που συνδέουν τα δύο συστήματα και υπολογίζεται ως εξής:

$$NTC=TTC-TRM$$

Total Transfer Capacity (TTC) Συνολική Ικανότητα μεταφοράς

Η Συνολική Ικανότητα μεταφοράς είναι το μέγιστο πρόγραμμα ανταλλαγών μεταξύ δυο διασυνδεδεμένων συστημάτων ενέργειας το οποίο είναι συμβατό με τα λειτουργικά πρότυπα ασφαλείας που εφαρμόζονται σε κάθε σύστημα (π.χ. Κώδικες Συστήματος), όταν οι μελλοντικές συνθήκες του συστήματος, η παραγωγή και η καμπύλη φορτίου είναι επακριβώς γνωστές εκ των προτέρων.

Transmission Reliability Margin (TRM) Περιθώριο Αξιοπιστίας Μεταφοράς

Το περιθώριο αξιοπιστίας μεταφοράς είναι ένα περιθώριο ασφαλείας που αντιμετωπίζει τις αβεβαιότητες των υπολογιζόμενων τιμών TTC, οι οποίες προκύπτουν από:

Ακούσιες αποκλίσεις των φυσικών ροών κατά τη διάρκεια των χειρισμών λόγω της φυσικής λειτουργίας της Δευτερεύουσας Ρύθμισης.

Έκτακτες ανταλλαγές μεταξύ των Διαχειριστών Συστημάτων για να αντιμετωπιστούν μη αναμενόμενες, εκτός ισορροπίας καταστάσεις σε ανακρίβειες πραγματικού χρόνου, π.χ. στη συλλογή των δεδομένων και τις μετρήσεις(ΑΔΜΗΕ, 2012).

Βιβλιογραφία

- AΔΜΗΕ (2012) *Εγχειρίδιο Αεξιολογίου*.
- ACER (2015) *Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity and Natural Gas Markets in 2014*. doi: 10.2851/14037.
- ACER (2016) *ACER / CEER Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity Markets in 2015*.
- Bekaert, D. *et al.* (2009) ‘How to increase cross border transmission capacity? A case study: Belgium’, *2009 6th International Conference on the European Energy Market, EEM 2009*. doi: 10.1109/EEM.2009.5207176.
- CEPS (2013) *Unplanned flows in the CEE region*.
- Choo, C. Y., Nair, N. K. C. and Chakrabarti, B. (2007) ‘Impacts of loop flow on electricity market design’, *2006 International Conference on Power System Technology, POWERCON2006*, pp. 1–8. doi: 10.1109/ICPST.2006.321875.
- Dittmar, L., Systems, E. and Erdmann, G. (2013) ‘Network Issues in Germany under the Energiewende’, (November).
- E3Mlab/NTUA (2016) *PRIMES Model Version 6 2016-2017*. Available at: [http://www.e3mlab.ntua.gr/e3mlab/PRIMES Manual/The PRIMES MODEL 2016-2017.pdf](http://www.e3mlab.ntua.gr/e3mlab/PRIMES%20Manual/The%20PRIMES%20MODEL%202016-2017.pdf).
- Egerer, J. *et al.* (2014) ‘Electricity Sector Data for Policy-Relevant Modeling - Data Documentation and Applications to the German and European Electricity Markets’, p. 117.
- Energynautics; Greenpeace (2011) *European Grid Study 2030 / 2050*.
- ENTSO-E (2014) *Consumption Data: European network of transmission system operators for electricity*.
- Luickx, P. *et al.* (2011) ‘Impact of wind power on commercial and physical flows within the CWE region’, *2011 8th International Conference on the European Energy Market, EEM 11*, (May), pp. 876–881. doi: 10.1109/EEM.2011.5953133.
- Terna (2016) ‘Piano di Sviluppo 2016’, pp. 1–120.
- THEMA Consulting Group (2013) *Loop flows – Final advice - Prepared for The European Commission*.

TradeWind (2009) 'Integrating wind', *Wind Energy*, 5(1), p. 104. doi: 10.1002/we.57.

Zhou, Q. and Bialek, J. W. (2005) 'Approximate model of European interconnected system as a benchmark system to study effects of cross-border trades', *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(2), pp. 782–788. doi: 10.1109/TPWRS.2005.846178.

