



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΝΑΥΤΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**Διερεύνηση θεμάτων σχεδιασμού ενεργειακά αποδοτικών δικτύων  
διανομής ηλεκτρικής ενέργειας εντός λιμένων ,με σκοπό την  
ηλεκτροδότηση ελλιμενιζόμενων πλοίων.**

**Επιβλέπων : Ιωάννης Μ. Προυσαλίδης**  
**Καθηγητής ΕΜΠ**

**Ονοματεπώνυμο: Μηλιώτης Απόστολος**  
**Αριθμός Μητρώου: nm11401**

**Ιούνιος 2023**

# Περίληψη

---

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία, που προτάθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή υπό την Ursula Von der Leyen το 2019, αποτελεί ένα από τα σπουδαιότερα και πιο φιλόδοξα εγχειρήματα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στοχεύει στο να καταστήσει την Ευρώπη την πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρο, επιτυγχάνοντας σχεδόν μηδενικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Green House Gases- GHG), μέχρι το 2050.

Η ναυτιλιακή βιομηχανία και ο IMO (International Maritime Organization), λαμβάνουν μέτρα για να καταστήσουν το σύνολο του στόλου ενεργειακά αποδοτικότερο και με μικρότερο περιβαλλοντικό αποτύπωμα, ώστε να συγκλίνουν με τις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Είναι χαρακτηριστικό πως το 2018 ο ευρωπαϊκός στόλος ήταν υπεύθυνος για εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα που άγγιζαν τους 144 εκατομμύρια τόνους CO<sub>2</sub>.

Ωστόσο, σημαντικό ρόλο όσον αφορά την απανθρακοποίηση της ναυτιλίας παίζουν και οι πρωτοβουλίες που λαμβάνονται όσον αφορά τους λιμένες και συγκεκριμένα τον δρόμο προς τον εξηλεκτρισμό τους. Ήδη τα λιμάνια στην Ευρώπη (π.χ. Αμβούργο) αλλά και στην Αμερική (π.χ. Los Angeles), έχουν μεριμνήσει για την δημιουργία θέσεων φόρτισης για τα πλοία που ελλιμενίζονται. Η τεχνολογία αυτή, δηλαδή η παροχή ρεύματος από την ξηρά σε πλοία που βρίσκονται στο λιμάνι είναι γνωστή με το όνομα «**cold ironing**» ή «**alternate marine power**».

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρήθηκε μια μελέτη του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας του λιμανιού του Πειραιά, στο οποίο δρομολογούνται ήδη κάποιες θέσεις cold ironing με διαθέσιμη ισχύ 1 MVA και 4 MVA. Η μελέτη επικεντρώθηκε στον υπολογισμό της ροής φορτίου του δικτύου του λιμένα, με κύριο γνώμονα την εμφάνιση ή όχι **υπερφόρτισης** κάτω από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας (Σενάρια Λειτουργίας ή Operation Scenarios).

Οι υπολογισμοί και οι προσομοιώσεις έγιναν με τη χρήση του λογισμικού **Power Factory** που ευγενικά μας χορήγησε η εταιρεία **DIG SILENT** (Digital Simulation of Electrical Networks) για όσο διάστημα διήρκεσε αυτή η εργασία. Εκτός από τον υπολογισμό της ροής φορτίου, πραγματοποιήθηκε και μια μελέτη βραχυκυκλωμάτων με τη μέθοδο IEC-60909 για εγκαταστάσεις ξηράς και υπολογίστηκαν τα ρεύματα βραχυκυκλώσεως στην υπομεταβατική και μόνιμη κατάσταση.

Η παρούσα εργασία, ευελπιστούμε πως οδήγησε σε κάποια χρήσιμα συμπεράσματα όσον αφορά την βελτιστοποίηση του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας του Πειραιά και όσον αφορά την ικανότητά του να υποστηρίξει την παροχή ισχύος που μια εγκατάσταση για cold ironing απαιτεί. Ωστόσο πολλά ακόμα μπορούν να γίνουν στην κατεύθυνση αυτή, και ελπίδα και επιθυμία μου είναι πως η εργασία θα αποτελέσει χρήσιμη βοήθεια για σπουδαστές του ΕΜΠ και όχι μόνο που θα επιχειρήσουν στο μέλλον να ασχοληθούν ερευνητικά με το συγκεκριμένο θέμα.

Μηλιώτης Απόστολος

# Ευχαριστίες

---

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι αποτέλεσμα της ενασχόλησής μου με το θέμα «Διερεύνηση θεμάτων σχεδιασμού ενεργειακά αποδοτικών δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας εντός λιμένων με σκοπό την ηλεκτροδότηση ελλιμενιζόμενων πλοίων» στο Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, από τον Ιούνιο του 2022 μέχρι τον Ιούνιο του 2023, υπό την εποπτεία του αναπληρωτή καθηγητή του τμήματος Ναυτικής Μηχανολογίας του ΕΜΠ, Ιωάννη Προυσαλίδη, τον οποίο και ευχαριστώ θερμά για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ ερευνητικά με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα.

Για το σκοπό της εργασίας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό *Power Factory* της εταιρείας Dlg SILENT κατόπιν παραχώρησης άδειας της τελευταίας σε εμένα για τη χρήση του λογισμικού, για όσο χρόνο διήρκεσε η εργασία.

Θα ήθελα πρώτα από όλα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Ιωάννη Μ. Προυσαλίδη για την αμέριστη συμπαράσταση του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας και για το χρόνο που πάντα έβρισκε για να απαντάει στις απορίες μου σε όλες τις φάσεις της διαδικασίας. Εκτός από τις, ομολογουμένως απεριόριστες γνώσεις του, πάνω στα τεχνικά θέματα, μου έμαθε πως πρέπει να διαχειρίζομαι σαν μηχανικός τα δεδομένα που έχω στη διάθεση μου, πως να βγάλω συμπεράσματα αλλά και πως να επικοινωνώ καλύτερα με συνεργάτες μου, πράγματα που ονομάζονται *soft skills* και είναι κατά τη γνώμη μου εξίσου σημαντικά με τις τεχνικές γνώσεις.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα Nadine Koschewski από την εταιρεία Dlg SILENT, αλλά και το σύνολο της εταιρείας, για την άσογη συνεργασία της μαζί μου και για την ταχύτατη απόκριση της στα μηνύματά μου, που είχαν σχέση με την παροχή άδειας χρήσης του λογισμικού *Power Factory*.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κο Δημοσθένη Σπαθή από την εταιρεία Protasis Engineering & Consulting, για τα δεδομένα που μου παρείχε όσον αφορά τους μετασχηματιστές και τα καλώδια του δικτύου, τα οποία ήταν πολύ βοηθητικά για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Τον ευχαριστώ επίσης γιατί η δυσκολία στο να τον βρω κάποιες φορές, με ώθησε στο να πάρω πρωτοβουλίες και να εξασκηθώ στην ικανότητα επίλυσης προβλημάτων. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κο Θεοδωρή Τερζάκη ( Protasis E&C) για την βοήθεια του σε θέματα που προέκυψαν με τον *frequency converter*.

Θα ήθελα επιπλέον να ευχαριστήσω τη Μαίρη Μανιάτη γιατί αποτέλεσε (και αποτελεί) πηγή έμπνευσης για εμένα και με ώθησε σε μία δύσκολη στιγμή της ζωής μου στο να επαναπροσδιορίσω τις αξίες μου και να καταλάβω πως η ευκαιρία για σπουδές δεν είναι κάτι που πρέπει να λαμβάνεται ως δεδομένο. Ευχαριστώ επίσης τον Αλέξανδρο Λάππα για την στήριξή του όλα αυτά τα χρόνια και γιατί έχουμε περάσει μαζί τις περισσότερες σκοτεινές και φωτεινές στιγμές από τα τελευταία χρόνια.

Ευχαριστώ επίσης τους συναδέλφους μηχανικούς από το τμήμα Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ , Πίτσιο Δημήτρη , Μουρκοκώστα Βασιλική , Πανατζόπουλο Διονύση και Διαβάτη Ιωάννη των οποίων οι διπλωματικές εργασίες αποτέλεσαν πολύτιμο βοήθημα και οδηγό για την εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους Χρήστο Σέψα και Στέφανο Παπαζή, συναδέλφους ναυπηγούς μηχανικούς οι οποίοι μου πρόσφεραν πολύτιμη βοήθεια σε θέματα της σχολής και χωρίς τη συμβολή τους δε θα είχα φτάσει μέχρι εδώ.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και ιδιαίτερα τους γονείς μου για την αμέριστη στήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια και για την παροχή ,οικονομική και όχι μόνο , όλων των μέσων που πρέπει να έχει ένας φοιτητής στη διάθεσή του, προκειμένου να ασχολείται απρόσκοπτα με την ακαδημαϊκή διαδικασία.

Μηλιώτης Απόστολος, Αθήνα 20/6/2023

# Πίνακας Περιεχομένων

---

Περίληψη .....	2
Ευχαριστίες.....	3
Πίνακας Περιεχομένων.....	5
<b>1.Εισαγωγή .....</b>	<b>8</b>
1.1.Πράσινη Συμφωνία & Πράσινη Ναυτιλία .....	8
1.1.1.Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (Green Deal).....	8
1.1.2.Πράσινη Ναυτιλία (Green Shipping).....	11
1.2.Εξηλεκτρισμός Λιμένων (Port Electrification).....	15
1.2.1.Γενικά.....	15
1.2.2.Cold Ironing .....	16
1.2.3.Μπαταρίες/Battery swapping.....	18
1.2.4. Αιολικά πάρκα .....	20
1.2.5. Κυματική ενέργεια.....	22
1.2.6. Ηλιακή ενέργεια & φωτοβολταϊκά .....	24
1.3.Το λιμάνι του Πειραιά .....	25
1.3.1.Τύπος και αριθμός πλοίων που ελλιμενίζονται .....	26
1.3.2.Ενεργειακές ανάγκες λιμανιού.....	36
<b>2.DIG SILENT Power Factory .....</b>	<b>37</b>
2.1 Εισαγωγή στο Power Factory .....	37
2.1.1.Γενική Δομή.....	37
2.1.2 Βάση Δεδομένων .....	39
2.1.3. Δημιουργώντας ένα project .....	40
2.2 Δημιουργία δικτύου στο Power Factory .....	46
2.2.1 Εισαγωγή ηλεκτρικών στοιχείων.....	46
2.2.2.Εισαγωγή των παραμέτρων .....	51
2.2.3.Επικύρωση Δεδομένων .....	56
2.2.4. Επεξεργασία και Εξατομίκευση .....	57
2.3. Υπολογισμός Ροής Φορτίου (Load Flow) .....	60

2.3.1. Εισαγωγή Project .....	60
2.3.2. Εκτέλεση του υπολογισμού Ροής Φορτίου.....	61
2.3.3. Επεξεργασία της μορφής των αποτελεσμάτων.....	63
2.3.4. Χρησιμοποιώντας το Network Model Manager .....	65
2.3.5. Οι «θερμικοί» χάρτες (Heatmaps) .....	68
2.3.6. Σύνοψη.....	69
<b>3.Δίκτυο &amp; Μοντέλα Προσομοίωσης για το λιμάνι του Πειραιά .....</b>	<b>70</b>
3.1. Μονογραμμικό Σχέδιο Δικτύου .....	70
3.2. Προσομοίωση .....	73
3.2.1 Ηλεκτρολογικό Σχέδιο.....	73
3.2.2.Δεδομένα Μετασηματιστών.....	74
3.2.3. Δεδομένα Καλωδίων.....	80
3.3. Σενάρια Λειτουργίας (Operation Scenarios) .....	82
3.3.1. Σενάριο 1 (Φόρτιση 100%/ Υπερφόρτιση).....	82
3.3.2. Σενάριο 2 (Φόρτιση 80%).....	85
3.3.3. Σενάριο 3 (Φόρτιση 100 % SCS-2/SCS-4).....	88
3.3.4. Σενάριο 4 (Φόρτιση 100% σε SCS-2,SCS-4,SCS-5) .....	91
3.3.5. Σενάριο 5 (Αγιος Dionisios S/S) .....	93
3.3.6. Σενάριο 6 (Elegktiria S/S).....	96
3.3.7. Σενάριο 7 ( 3 <sup>rd</sup> Dock S/S) .....	100
<b>4.Μελέτη Βραχυκυκλωμάτων.....</b>	<b>104</b>
4.1.Εισαγωγή .....	104
4.2 Ορισμός Βραχυκυκλώματος.....	104
4.3 Συνέπειες Βραχυκυκλώματος.....	104
4.4.Κανονισμοί Υπολογισμού Βραχυκυκλωμάτων .....	105
4.5 Υπολογισμός Βραχυκυκλώματος ( IEC 60909) .....	107
4.5.1.Υπολογισμός τριφασικού σφάλματος.....	108
4.6. Αποτελέσματα Υπολογισμού Βραχυκυκλώματος.....	110
4.6.1.Εξαγωγή Αποτελεσμάτων.....	110
4.6.2.Εμφάνιση Αποτελεσμάτων .....	113
<b>5.Αποτελέσματα και Συζήτηση.....</b>	<b>116</b>
5.1. Γενική Επισκόπηση .....	116

5.1.1. Σκοπός της μελέτης.....	116
5.1.2. Τα βασικά ερωτήματα.....	116
5.1.3. Μέθοδος Προσομοίωσης.....	118
5.2. Αποτελέσματα Υπολογισμών.....	122
5.2.1. Ροή Φορτίου.....	122
5.2.2. Βραχυκύκλωμα.....	127
5.3. Απαντήσεις στα βασικά ερωτήματα.....	129
5.4. Περιορισμοί της μελέτης.....	131
5.4.1. Αριθμητικές Μέθοδοι.....	131
5.4.2. Μετρήσεις αποστάσεων.....	131
5.4.3. Ο μετατροπέας συχνότητας.....	131
5.4.4. Μελέτη αρμονικών/contingency analysis.....	131
5.5. Περαιτέρω Μελέτη.....	132
5.5.1. Το Downstream Network.....	132
5.5.3. Συζήτηση 6.6 KV ή 11 KV.....	135
5.5.2. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	135
<b>6. Επίλογος &amp; Σύνοψη.....</b>	<b>136</b>
<b>Παράρτημα.....</b>	<b>138</b>
Περιεχόμενα Πινάκων.....	138
Περιεχόμενα εικόνων.....	139
<b>Βιβλιογραφία.....</b>	<b>142</b>

# 1.Εισαγωγή

Η κλιματική αλλαγή και η περιβαλλοντική υποβάθμιση αποτελούν πλέον υπαρκτή απειλή για την Ευρώπη και τον κόσμο. Η Ευρωπαϊκή Ένωση, παίρνοντας θέση απέναντι στις περιβαλλοντικές προκλήσεις του παρόντος και του μέλλοντος αναλαμβάνει συγκεκριμένες δράσεις ώστε να καταστήσει την Ευρώπη την πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρο.

## 1.1. Πράσινη Συμφωνία & Πράσινη Ναυτιλία

### 1.1.1. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία (Green Deal)

Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία είναι ένα σύνολο πρωτοβουλιών και πολιτικών ,που προτάθηκε από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή , το εκτελεστικό όργανο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) , με στόχο την επίτευξη της κλιματικής ουδετερότητας και της βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξη της Ευρώπης. Παρουσιάστηκε το 2019 ως η κύρια πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής υπό την προεδρεία της Ursula von der Leyen.



Εικόνα 1 Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία



Η Συμφωνία προσβλέπει στην μετατροπή της Ευρώπης στην πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρο μέχρι το 2050. Περιλαμβάνει ένα ευρύ φάσμα τομέων όπως η ενέργεια, οι μεταφορές (συμπεριλαμβανομένης και της ναυτιλίας), η γεωργία, η βιομηχανία και η κυκλική οικονομία. Ορισμένοι βασικοί στόχοι και πρωτοβουλίες του Ευρωπαϊκού Πράσινου Συμφώνου περιλαμβάνουν:

1. **Κλιματική ουδετερότητα:** Η ΕΕ στοχεύει να επιτύχει την καθαρή μηδενική εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου έως το 2050, πράγμα που σημαίνει ότι η ποσότητα των εκπομπών αερίων αντισταθμίζεται από την αφαίρεσή τους από την ατμόσφαιρα.
2. **Μετάβαση σε καθαρή ενέργεια:** Η ΕΕ σκοπεύει να αυξήσει το ποσοστό των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, να βελτιώσει την ενεργειακή απόδοση και να προωθήσει καθαρές και βιώσιμες τεχνολογίες ενέργειας.
3. **Βιώσιμη κινητικότητα:** Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία προωθεί τη μετάβαση σε χαμηλές εκπομπές και βιώσιμες μεταφορές, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης ηλεκτρικών οχημάτων, εναλλακτικών καυσίμων και βελτιωμένης υποδομής.
4. **Κυκλική οικονομία:** Η ΕΕ στοχεύει να προωθήσει ένα μοντέλο κυκλικής οικονομίας, όπου οι πόροι χρησιμοποιούνται πιο αποδοτικά, η παραγωγή αποβλήτων περιορίζεται και τα προϊόντα σχεδιάζονται για επαναχρησιμοποίηση, ανακύκλωση και αντοχή.
5. **Βιοποικιλότητα και βιώσιμη γεωργία:** Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία επικεντρώνεται στην προστασία και αποκατάσταση των οικοσυστημάτων, την προώθηση βιώσιμων πρακτικών γεωργίας και τη μείωση της χρήσης χημικών φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων.
6. **Δίκαιη μετάβαση:** Το σύμφωνο τονίζει την ανάγκη για μια δίκαιη και περιλαμβάνουσα μετάβαση σε μια πράσινη οικονομία, διασφαλίζοντας ότι κανείς δεν θα μείνει πίσω και ότι οι κοινωνικές και οικονομικές ανισότητες θα αντιμετωπιστούν.

Για την επίτευξη αυτών των στόχων, η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία περιλαμβάνει συνδυασμό κανονιστικών μέτρων, οικονομικής υποστήριξης, έρευνας και καινοτομίας, διεθνούς συνεργασίας και δημόσιας συμμετοχής. Στοχεύει στην κινητοποίηση σημαντικών δημόσιων και ιδιωτικών επενδύσεων για την προώθηση της πράσινης μετάβασης στα κράτη μέλη της ΕΕ.

Μία πολύ σημαντική κατηγορία όπου η Ευρωπαϊκή Ένωση ρίχνει το βάρος της είναι η ναυτιλιακή βιομηχανία, καθώς όπως υπολογίζεται συμμετέχει περίπου στο 80% της παγκόσμιας μεταφορικής ικανότητας αγαθών και συμβάλλει περίπου στο 3% των παγκόσμιων ρύπων. Μόνο το 2018, το σύνολο του παγκόσμιου στόλου είχε εκπομπές ρύπων που αντιστοιχούσαν σε 1,076 εκατομμύρια τόνους διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>).

Ωστόσο αν δεν παρθούν δραστικά μέτρα τα νούμερα αυτά αναμένεται να ανεβούν στο μέλλον. Υπάρχουν σενάρια στα οποία προβλέπεται αύξηση αυτών των αριθμών σε ποσοστά 90% έως και 130% σε σύγκριση με το 2008.

## Μέτρα που προτείνει η ΕΕ για την ναυτιλία

Στις 14 Ιουλίου 2021 η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε μια σειρά νομοθετικών προτάσεων που αποσκοπούν στη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου κατά 55% μέχρι το 2030 σε σύγκριση με τα 1990 επίπεδα. Η δέσμη αυτή μέτρων με όνομα “**Fit for 55**” περιλαμβάνει τα εξής, όσον αφορά τις θαλάσσιες μεταφορές:

- Επέκταση του συστήματος Εμπορίας Δικαιωμάτων Εκπομπών Ρύπων της ΕΕ (**Emissions Trading System,ETS**) στην **ναυτιλία** , γεγονός που προσβλέπει στη μείωση αφενός του συνόλου των ρύπων που οφείλονται στις θαλάσσιες μεταφορές ,ως μέρος του ανώτατου ορίου του ETS, μέσω μιας δημιουργίας σήματος τιμών άνθρακα που θα προάγει τη μείωση αυτή με ευέλικτο και οικονομικά αποδοτικό τρόπο και αφετέρου στην δημιουργία εσόδων που θα διατίθενται για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής .
- Ενίσχυση της ζήτησης για ναυτιλιακά καύσιμα από **ανανεώσιμες πηγές** και καύσιμα με **χαμηλές εκπομπές σε CO<sub>2</sub>**, θέτοντας ένα ανώτατο όριο στην περιεκτικότητα σε αέρια του θερμοκηπίου που μπορούν να έχουν οι εκπομπές των πλοίων αλλά και ενθάρρυνση για την υιοθέτηση **τεχνολογίας μηδενικών εκπομπών** για τα πλοία που βρίσκονται σε **ελλιμενισμό**.
- Ενίσχυση των υποδομών για τα **εναλλακτικά καύσιμα** , οι οποίες θα περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τη θέσπιση υποχρεωτικών στόχων όσον αφορά την **παροχή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω ξηράς** σε εσωτερικούς και θαλάσσιους λιμένες.
- Αναθεώρηση της οδηγίας για της **ανανεώσιμες πηγές ενέργειας (Renewable Energy Directive ή RED)** η οποία θέτει νέους στόχους για το ποσοστό της συνολικής ενέργειας της Ευρώπης που θα πρέπει να προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας . Μέχρι τώρα ο στόχος είχε τεθεί στο 32% μέχρι το 2030 και με την αναθεώρηση τίθεται πλέον στο 40%,με έμφαση στους τομείς στους οποίους η πρόοδος μέχρι σήμερα ήταν πιο αργή συμπεριλαμβανομένων και των μεταφορών.
- Αναθεώρηση της υφιστάμενης οδηγίας για την **φορολόγηση της ενέργειας** (Energy Taxation Directive, ή ETD) που αποσκοπεί στην ευθυγράμμιση της φορολογίας ενεργειακών προϊόντων με την κλιματική πολιτική της ΕΕ και την κατάργηση παρωχημένων εξαιρέσεων ,όπως αυτές για τις θαλάσσιες μεταφορές εντός της ΕΕ. (Reducing Emissions from the shipping sector, 2021)

Τα παραπάνω μέτρα θα έχουν σαν απότέλεσμα τη θέσπιση μιας τιμής για τον τόνο του διοξειδίου του άνθρακος και κάθε πλοίο θα καλείται να πληρώσει στο τέλος του εκάστοτε ταξιδιού του ανάλογα με το ποσοστό CO<sub>2</sub> που εξέπεμψε στην ατμόσφαιρα.

Δύο πολύ σημαντικοί δείκτες που δείχνουν την ενεργειακή κλάση ενός πλοίου είναι οι δείκτες **CII** (Carbon Intensity Indicator) και **EEDI** ( Energy Efficiency Design Index).Ο τρόπος υπολογισμού τους είναι (π.χ. για CII)  $CII = \frac{CO_2 \text{ emissions [gr]}}{(DWT [t] * distance travelled [nm])}$ .

## The price of emissions allowances in the EU and UK

Cost per tonne of carbon dioxide produced (in £ or €)



Εικόνα 2 : Τιμές ανά τόνο του CO<sub>2</sub> σε Ευρώπη και Ενωμένο Βασίλειο

### 1.1.2.Πράσινη Ναυτιλία (Green Shipping)

#### Γενικά

Η ναυτιλιακή βιομηχανία με τη σειρά της έχει δεσμευτεί να εξαλείψει πλήρως τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου (Green House Gas , GHG ) σύμφωνα με τους (αρκετά φιλόδοξους ) στόχους που έχουν τεθεί από την αρμόδια για τον κλάδο ρυθμιστική αρχή ,τον **Διεθνή Ναυτιλιακό Οργανισμό των Ηνωμένων Εθνών (IMO)**. Αναλυτικότερα, η στρατηγική του IMO στοχεύει στη μείωση των εκπομπών των αερίων του θερμοκηπίου **τουλάχιστον** στο 50% μέχρι το 2050 σε σύγκριση με το 2008. Παράλληλα θα συνεχιστούν οι προσπάθειες για σταδιακή εξάλειψή τους όσον το δυνατόν συντομότερα κατά τη διάρκεια αυτού του αιώνα.

#### IMO

Ενώ πολλοί έχουν επικρίνει τον IMO πως δεν επεμβαίνει με έκτακτα μέτρα για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής ,στην πραγματικότητα οι δράσεις του Διεθνούς Ναυτιλιακού Οργανισμού παίζουν ολοένα και μεγαλύτερο και σημαντικότερο ρόλο στην απανθρακοποίηση της ναυτιλίας. Η ναυτιλία ,ως ένας κλάδος διεθνών μεταφορών, δεν μπορεί να υπαχθεί στους νόμους ενός συγκεκριμένου κράτους. Επομένως η διεθνής ναυτιλία δεν καλύπτεται από τις εθνικά καθορισμένες συνεισφορές που έχουν δεσμευθεί τα συμβαλλόμενα μέρη στη Σύμβαση-Πλαίσιο των Ηνωμένων Εθνών για την Αλλαγή του Κλίματος(UNFCCC). Στην πραγματικότητα η μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου αποτελεί ευθύνη του IMO με βάση τη διαδικασία του UNFCCC. Επομένως ο οργανισμός παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο από τη μία υιοθετώντας και

προτείνοντας κανονισμούς και ενθαρρύνοντας κάθε ένα από τα **174 μέλη** του να αναπτύξουν και να βελτιώσουν ένα Εθνικό Πλάνο Δράσης (National Action Plan ) σύμφωνα με τους κανονισμούς αυτούς και από την άλλη φέρνοντας σε επαφή και δημιουργώντας συμφωνίες μεταξύ των διαφορετικών εταίρων που σχετίζονται με τη ναυτιλιακή βιομηχανία όπως τα κράτη μέλη του ΟΗΕ , οι ΜΚΟ ,ο ιδιωτικός τομέας κτλ. Τέλος σημειώνεται πως οι στόχοι που έχει θέσει ο **ΙΜΟ** για την ναυτιλία είναι πιο φιλόδοξοι από αυτούς που προβλέπει η **συμφωνία του Παρισιού** για την υπόλοιπη οικονομία.



*Εικόνα 3 : Πράσινο Πλοίο (Green Ship)*

### **Ναυτιλία Αποδοτική Βιομηχανία**

Όσον αφορά τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>),ναυτιλία είναι ίσως η αποδοτικότερη βιομηχανία μεταφορών (ανά τόνο φορτίου που διακινείται ανά χιλιόμετρο).Σύμφωνα με το Διεθνές Συμβούλιο Καθαρών Μεταφορών (ΜΚΟ), έχει ήδη μειώσει μεταξύ 2008 και 2015 ,κατά 8% τις συνολικές εκπομπές CO<sub>2</sub>,παρά τη σημαντική αύξηση του θαλάσσιου εμπορίου. Αυτό καταδεικνύει πως ο κλάδος έχει βελτιώσει την αποδοτικότητά του όσον αφορά τις εκπομπές άνθρακα κατά 30% την τελευταία δεκαετία.

## Έρευνα και Ανάπτυξη

Παρόλα τα παραπάνω η ναυτιλιακή βιομηχανία αναγνωρίζει πως πολλά ακόμα μπορούν να γίνουν στην κατεύθυνση της πράσινης ναυτιλίας ,δηλαδή της περαιτέρω μείωσης των εκπομπών CO<sub>2</sub> και άλλων αερίων του θερμοκηπίου. Ως μια διεθνής βιομηχανία στρέφεται προς τη θέσπιση διεθνών κανονισμών ,καθώς οι περιφερειακοί κανονισμοί ενέχουν τον κίνδυνο να μην είναι βέλτιστοι ,με αποτέλεσμα τη διαρροή άνθρακα αλλά και τον μη ισότιμο ανταγωνισμό. Η πλήρης απεξάρτηση από τον άνθρακα απαιτεί την ανάπτυξη εναλλακτικών και καινοτόμων τεχνολογιών και καυσίμων. Τα πρώτα αποτελέσματα είναι εξαιρετικά ενθαρρυντικά ειδικά στα μικρότερα σκάφη που εκτελούν κοντινές διαδρομές (Short Sea Shipping).Προς την κατεύθυνση αυτή απαιτούνται περαιτέρω δαπάνες για **Έρευνα και Ανάπτυξη** αλλά και προσπάθειες από όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη του κλάδου της ναυτιλίας. Ήδη οι διεθνείς ενώσεις που εκπροσωπούν την ναυτιλιακή βιομηχανία ,έχουν καταθέσει στον IMO πρόταση για ίδρυση ταμείου E&A ύψους **5 δισεκατομμυρίων δολαρίων (5 bn \$)** ,το οποίο θα χρηματοδοτείται αποκλειστικά από την ναυτιλία ,από τις προσαυξήσεις στα καύσιμα.

## Εναλλακτικά Καύσιμα και Τεχνολογίες

Για την επίτευξη των παραπάνω στόχων η ναυτιλιακή βιομηχανία και η ΕΕ στρέφονται πως την χρήση **εναλλακτικών καυσίμων και τεχνολογιών**. Τα κυριότερα εναλλακτικά καύσιμα αυτή τη στιγμή είναι το υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG), το υγροποιημένο αέριο πετρελαίου (LPG) ,η αμμωνία (NH<sub>3</sub>) , η μεθανόλη (CH<sub>3</sub>OH) ,το υδρογόνο (H) και τα βιοκαύσιμα.

Το **υγροποιημένο φυσικό αέριο (LNG)** είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο εναλλακτικό καύσιμο αυτή τη στιγμή στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Παράγει κατά την καύση του 30% λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) αλλά και λιγότερα οξείδια του θείου (SO<sub>x</sub>) αλλά και λιγότερα μικροσωματίδια (particulate matters) σε σχέση με τα παραδοσιακά καύσιμα. Η εύκολη πρόσβαση σε αυτό καθώς και η μεταφορά του με δεξαμενόπλοια, το καθιστά μία πολύ ελκτική επιλογή για το μέλλον.

Το **υδρογόνο (H)** είναι ένα άλλο καύσιμο το οποίο θα μπορούσε να φέρει επανάσταση στη ναυτιλιακή βιομηχανία. Παράγει **μηδενικές εκπομπές** αερίων του θερμοκηπίου κατά την καύση του και μπορεί να παραχθεί με τη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η ηλιακή και η αιολική ενέργεια. Ωστόσο, από άποψη κόστους , η παραγωγή και η διανομή του υδρογόνου αυτή τη στιγμή παρουσιάζουν αρκετά **μεγάλο κόστος** και απαιτούν σημαντικά ποσά επενδύσεων σε υποδομές.

Τα **βιοκαύσιμα** αποτελούν μία άλλη εναλλακτική επιλογή ως καύσιμο για τις μηχανές των πλοίων, καθώς παράγοντα και αυτά από **ανανεώσιμες πηγές** ενέργειας όπως τα φυτικά έλαια , τα ζωικά λίπη και τα γεωργικά απόβλητα .Παράγουν σημαντικά λιγότερα αέρια του θερμοκηπίου κατά την καύση τους και μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς να απαιτούνται ιδιαίτερες μετατροπές πάνω στα πλοία. Ωστόσο η παραγωγή τους είναι αρκετά **αμφιλεγόμενη** καθώς μπορεί να συναγωνιστεί την παραγωγή τροφίμων οδηγώντας σε **αποψίλωση** των δασών.

Η **αμμωνία (NH<sub>3</sub>)** είναι ένα εναλλακτικό καύσιμο αρκετά αμφιλεγόμενο καθώς παράγει πολύ λίγα έως μηδενικά αέρια του θερμοκηπίου κατά την καύση της ,ειδικά CO<sub>2</sub>, ωστόσο η **χαμηλή ενεργειακή της αποδοτικότητα** απαιτεί μεγάλους χώρους αποθήκευσης καυσίμου επί του σκάφους ,κάτι που οδηγεί σε μικρότερους χώρους φορτίου ή τη σχεδίαση πλοίων μεγαλύτερων διαστάσεων. Επίσης είναι εξαιρετικά τοξική , με κίνδυνο πρόκλησης προβλημάτων υγείας στο πλήρωμα σε περίπτωση εισπνοής της.

Από την άλλη η **ηλεκτρική πρόωση** με μπαταρίες **λιθίου** έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στο παρελθόν αλλά μόνο για μικρά σκάφη. Πάντως η ιδέα αυτή βρίσκει αρκετά έδαφος αυτή τη στιγμή ,ειδικότερα στη Βόρεια Ευρώπη με τη **Νορβηγία** να έχει κατασκευάσει ήδη σκάφη για μικρές σχετικά αποστάσεις με 100 % ηλεκτρική πρόωση.



*Εικόνα 4 : Το πρώτο ηλεκτρικό αμιγώς πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων*

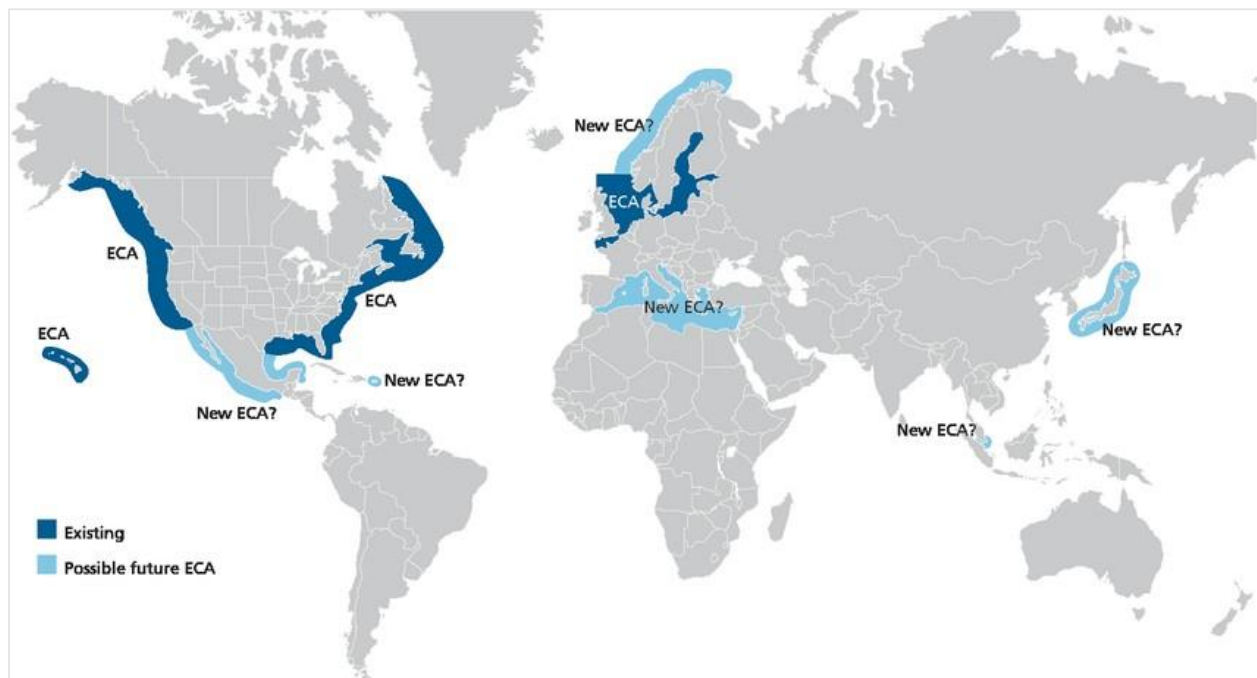
Σε συνδυασμό με τα παραπάνω ,η Ευρωπαϊκή Ένωση , αλλά και η ναυτιλιακή κοινότητα στρέφονται ολοένα και περισσότερο στην ιδέα του **εξηλεκτρισμού των λιμένων**. Η πλειονότητα των λιμανιών ανά τον κόσμο αυτή τη στιγμή αποτελεί σημαντική πηγή μόλυνσης της ατμόσφαιρας και εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και σωματιδίων, επιβαρύνοντας ιδιαίτερα τον αστικό ιστό ιδιαίτερα τις περιοχές κοντά σε αυτά. Ο εξηλεκτρισμός των λιμένων θα μπορούσε να οδηγήσει στη μείωση των εκπομπών που προέρχεται από **πλοία που ελλιμενίζονται** , αλλά και από ναυτικό εξοπλισμό του λιμανιού όπως οι **γερανοί** και τα **φορτηγά**. Επίσης θα μπορούσε να συμβάλει στην **βελτίωση** της ποιότητας της **ατμόσφαιρας** στις γειτονικές των λιμένων περιοχές αλλά και στη μείωση των επιπέδων **θορύβου**.

Ο εξηλεκτρισμός των λιμένων απαιτεί μια σημαντική επένδυση σε υποδομές , που περιλαμβάνουν σημεία φόρτισης πλοίων (**cold ironing**) αλλά και οχημάτων αλλά και την ανάπτυξη ανανεώσιμων πηγών ενέργειας όπως η **ηλιακή ενέργεια** και η **αιολική ενέργεια**. Όπως και να έχει , ο εξηλεκτρισμός των λιμένων είναι κεφαλαιώδους σημασίας και πολλά κράτη ,όχι μόνο στην Ευρώπη αλλά και ανά τον κόσμο , κάνουν βήματα για τον εξηλεκτρισμό των λειτουργιών των λιμανιών τους.

## 1.2. Εξηλεκτρισμός Λιμένων (Port Electrification)

### 1.2.1.Γενικά

Όπως αναφέρθηκε ήδη ο εξηλεκτρισμός των λιμένων αποτελεί ένα πολύ σημαντικό βήμα προς την απανθρακοποίηση των θαλάσσιων μεταφορών και την πράσινη ναυτιλία. Είναι άξιο αναφοράς πως στην προσπάθεια της να θεσπίσει μέτρα για την μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προέρχονται από τη ναυτιλία, η Ευρωπαϊκή Ένωση εκτός των άλλων, έχει ορίσει ζώνες, τις λεγόμενες **ECA** (Emission Control Areas) ,μέσα στις οποίες οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) και οξειδίων του αζώτου (NO<sub>x</sub>) και θείου (SO<sub>x</sub>) δεν θα πρέπει να ξεπερνούν συγκεκριμένα αυστηρά όρια. **Είναι σημαντικό πως οι περιοχές γύρω από τον ευρύτερο χώρο των λιμένων αποτελούν ζώνες ECA.**

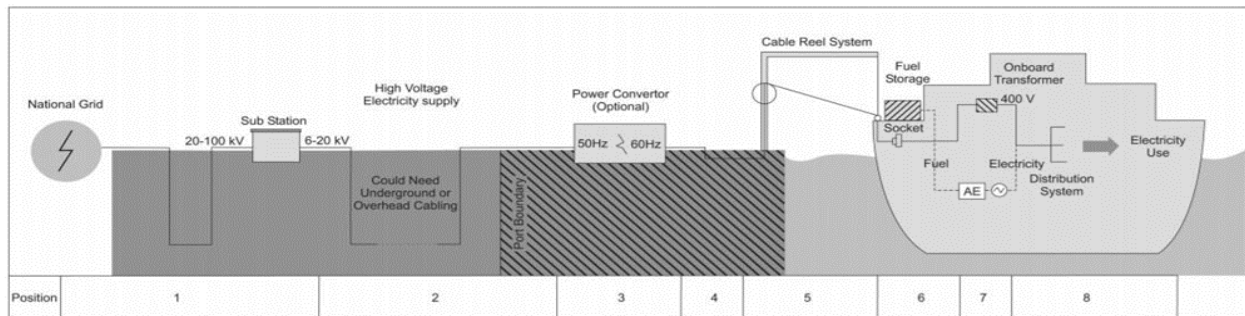


Εικόνα 5 : Οι περιοχές ECA

## 1.2.2.Cold Ironing

### Περιγραφή

Η σημασία του παραπάνω εγχειρήματος είναι πολύ μεγάλη. Σηματοδοτεί τη μετάβαση από παραδοσιακές μορφές ενέργειας ,οι οποίες βασίζονται σε ορυκτά καύσιμα σε πιο καθαρές και βιώσιμες εναλλακτικές. Περιλαμβάνει έργα υποδομής για την μεταφορά και διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας στην ξηρά ,όπως η εγκατάσταση μετασχηματιστών μεγάλης ισχύος ,διακοπών ,καλωδίων κτλ. Αυτό θα επιτρέπει στα πλοία να κλείνουν τις βοηθητικές μηχανές τους ,όσο βρίσκονται σε ελλιμενισμό και να παίρνουν την ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζονται από τη στεριά, από το εθνικό δίκτυο ή από κάποια άλλη πηγή ενέργειας. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως **cold ironing** ή **alternate marine power** ή **on shore power connection**.



Εικόνα 6 : Πλοίο σε cold ironing

### Σχεδιασμός

Η διασύνδεση των πλοίων με το ηλεκτρικό δίκτυο του λιμένα που τα φιλοξενεί απαιτεί και έναν προσεκτικό σχεδιασμό ώστε να μπορεί το λιμάνι να ικανοποιεί τις απαιτήσεις πλοίων διαφορετικών χαρακτηριστικών ( π.χ. φορτηγών ,RORO, κρουαζιερόπλοιων κτλ. ) .Συγκεκριμένα:

- **Τάση:** Η τάση λειτουργίας των πλοίων μπορεί να διαφέρει από χαμηλή (400V-690V), μέχρι υψηλή (6.6kV-11kV). Συνήθως απαιτείται η ύπαρξη ενός μετασχηματιστή είτε από τη μεριά του πλοίου , είτε από τη μεριά του λιμανιού για την αντιστοίχιση των διαφορετικών επιπέδων τάσης και την εξασφάλιση της γαλβανικής απομόνωσης μεταξύ των πλοίων που συνδέονται ταυτόχρονα στην ίδια μονάδα παροχής ενέργειας στην ξηρά.
- **Συχνότητα :** Τα περισσότερα πλοία έχουν συχνότητα λειτουργίας τα 60 Hz , επομένως όπου το εθνικό (συνήθως ) δίκτυο λειτουργεί σε συχνότητα 50 Hz ,απαιτείται ένας *μετατροπέας συχνότητας* (frequency converter) ,για να αντιστοιχίσει τη συχνότητα λειτουργίας του δικτύου ξηράς με τη συχνότητα λειτουργίας του πλοίου. Ο μετατροπέας συχνότητας αποτελεί ένα από τα πιο ακριβά και κοστοβόρα μέρη μιας εγκατάστασης παροχής ενέργειας στην ξηρά.
- **Απαίτηση Ισχύος:** εξαρτάται από τον τύπο κάθε πλοίου . Συνήθως είναι 3.5 MVA για ένα ferry/RORO , 7 MVA για ένα πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (containership) και 15 MVA για ένα κρουαζιερόπλοιο. Οι υποδομές των λιμένων πρέπει να έχουν τον απαραίτητο σχεδιασμό ώστε να ικανοποιούν τις μέγιστες απαιτήσεις σε ισχύ των πλοίων. Λιμένες με ασταθές δίκτυο μπορεί να μην είναι κατάλληλοι για την υιοθέτηση αυτής της τεχνολογίας.



## Πλεονεκτήματα

Η τεχνολογία διασύνδεσης των πλοίων στην ξηρά παρουσιάζει κάποια βασικά πλεονεκτήματα :

1. **Μείωση** της ατμοσφαιρικής **ρύπανσης**. Η διασύνδεση του πλοίου με το δίκτυο ξηράς για την κάλυψη των ενεργειακών του αναγκών θα μπορέσει να μειώσει το περιβαλλοντικό του αποτύπωμα όσο βρίσκεται σε ελλιμενισμό , το οποίο περιλαμβάνει και την μόλυνση του αέρα ( εκπομπές σε SO<sub>x</sub> , NO<sub>x</sub> , particulate matter-PM ). Επίσης θα μπορούσε να οδηγήσει σε χαμηλότερα επίπεδα **θορύβου και δονήσεων**.
2. Η μη χρήση των μηχανών των πλοίων όσο αυτά βρίσκονται σε ελλιμενισμό μπορεί να γλιτώσει εργατοώρες και να οδηγήσει σε **χαμηλότερα κόστη συντήρησης**.
3. Τα επίπεδα εκπομπών **CO<sub>2</sub>** μπορούν να **μειωθούν** δραστικά έως και να μηδενιστούν εάν η ηλεκτρική ενέργεια προέρχεται από ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.
4. Παρόλο που συζητείται τα τελευταία χρόνια στην Ευρώπη έντονα, η τεχνολογία του cold ironing έχει ωριμάσει εδώ και χρόνια καθώς π.χ. το Αμερικάνικο Ναυτικό την χρησιμοποιεί εδώ και πολύ καιρό. Επομένως είναι μια «**ώριμη**» **τεχνολογία** σε αντίθεση με άλλες εναλλακτικές που προτείνονται.
5. Οι τεχνολογίες διασύνδεσης πλοίου στην ξηρά θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη **φόρτιση των μπαταριών πλοίων που είναι 100% ηλεκτρικά** ή και **υβριδικών πλοίων** ,γεγονός που θα αυξήσει την ανταγωνιστικότητα και την αποδοτικότητα των λιμανιών και θα τα καθιστούσε **ενεργειακούς κόμβους**.



Εικόνα 7 : Costa Esmeralda Ship

### 1.2.3.Μπαταρίες/Battery swapping

#### Γενικά

Με τον όρο *battery swapping* (στα ελληνικά *ανταλλαγή μπαταριών* ,αν και ο όρος είναι κάπως αδόκιμος) ,αναφερόμαστε σε μια καινοτόμα ιδέα βάση της οποίας τα ηλεκτρικά πλοία θα παραλαμβάνουν μπαταρίες στοιβαγμένες σε εμπορευματοκιβώτια και κάνοντας περισσότερες στάσεις σε μικρότερα λιμάνια , θα παραδίδουν τις άδειες μπαταρίες και θα παραλαμβάνουν καινούριες φορτισμένες , τόσες στον αριθμό , ώστε να μεταφέρουν τα ηλεκτρικά πλοία στον επόμενο προορισμό τους .



Εικόνα 7 : Υβριδικό Πλοίο με *battery swapping*

#### Αποδοτικότητα

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του *battery swapping* είναι η **αποδοτικότητα** του. Αντίθετα με τις παραδοσιακές μεθόδους πλήρωσης καυσίμων , εδώ τα πλοία μπορούν να προσεγγίζουν τους σταθμούς φόρτισης του λιμένα και εντός λίγου σχετικά χρόνου να κάνουν την ανταλλαγή μπαταριών που χρειάζεται για τη συνέχεια του ταξιδιού τους . Αυτό εξαλείφει την ανάγκη για χρονοβόρα πλήρωση καυσίμων και **μειώνει σημαντικά τον χρόνο αναμονής των πλοίων**, βελτιώνοντας την αποδοτικότητα των λειτουργιών και μειώνοντας το χρόνο ακινησίας.

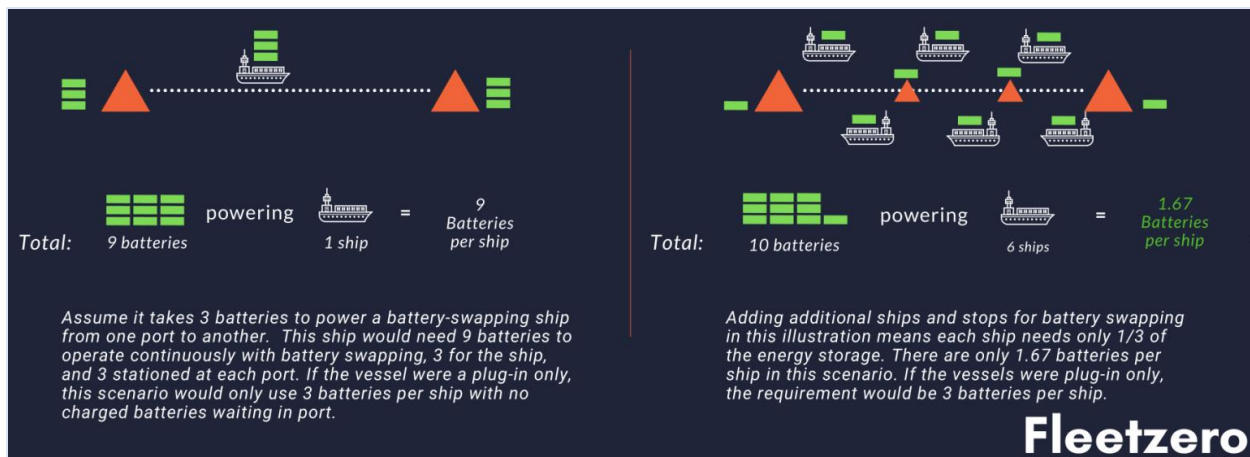
## Επεκτασιμότητα

Επιπλέον, η ανταλλαγή μπαταριών προσφέρει **επεκτασιμότητα**, επιτρέποντας στους λιμένες να φιλοξενούν ένα μεγάλο αριθμό πλοίων. Με τη διάθεση επαρκούς αριθμού μπαταριών, τα πλοία μπορούν εύκολα να αποκτήσουν πλήρως φορτισμένες μπαταρίες όποτε χρειάζεται. Αυτή η ευελιξία εξασφαλίζει μια **ομαλή και αδιάλειπτη λειτουργία**, καθιστώντας την ανταλλαγή μπαταριών μια ελκυστική λύση για πολυσύχναστους λιμένες με υψηλή κίνηση. Επιπλέον, η αρθρωτή σχεδίαση των μπαταριών επιτρέπει εύκολη επεκτασιμότητα, διασφαλίζοντας ότι οι λιμένες μπορούν να προσαρμόζονται στις αναπτυσσόμενες ανάγκες της ναυτιλιακής βιομηχανίας.

## Το παράδειγμα της Fleetzero

Η ιδέα που ανέπτυξε η start up εταιρεία *Fleetzero* (με έδρα στην Αμερική) αναφέρεται σε μια εκδοχή του battery swapping η οποία μπορεί να βοηθήσει στη μείωση του χώρου αποθήκευσης μπαταριών που απαιτείται για ένα πλοίο.

Σύμφωνα με το συγκεκριμένο παράδειγμα, υποθέτουμε πως ένα πλοίο χρειάζεται τρεις (3) μπαταρίες συνολικά για να πάει από το ένα κεντρικό λιμάνι στο άλλο. Έτσι για την ομαλή λειτουργία του πλοίου θα χρειαζόντουσαν συνολικά **εννιά (9) μπαταρίες**, τρεις για το ταξίδι του και τρεις αποθηκευμένες σε κάθε λιμάνι, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Προσθέτοντας όμως πλοία και ενδιάμεσους σταθμούς κάθε πλοίο θα χρειαζόταν το **1/3** του αποθηκευτικού χώρου για μπαταρίες καθώς σε αυτό το σενάριο θα αντιστοιχούσε **1.67 μπαταρίες /πλοίο**. Μέχρι τον Μάρτιο του 2022 η εταιρεία είχε συγκεντρώσει 3.5 εκατομμύρια δολάρια στις ΗΠΑ.



Εικόνα 8 : Η ιδέα της Fleetzero για το battery swapping

## Οικονομικά Πλεονεκτήματα

Η εφαρμογή της ανταλλαγής μπαταριών στους λιμένες υπερβαίνει τα περιβαλλοντικά οφέλη· προσφέρει επίσης οικονομικά πλεονεκτήματα. Με τη μείωση της εξάρτησης από ορυκτά καύσιμα, οι ναυτιλιακές εταιρείες μπορούν να μειώσουν τις δαπάνες για καύσιμα και να αυξήσουν την αποδοτικότητα των λειτουργιών τους. Επιπλέον, οι κυβερνήσεις και οι λιμενικές αρχές μπορούν να επωφεληθούν από τη μείωση των εκπομπών και να συμβάλουν στη δημιουργία ενός βιώσιμου και υγιούς περιβάλλοντος για την πόλη και τους κατοίκους της.

## Προκλήσεις

Ωστόσο υπάρχουν και αρκετές προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν για την ευρεία υιοθέτηση του *battery swapping*. Η ανάπτυξη της απαιτούμενης υποδομής, συμπεριλαμβανομένων των ειδικών σταθμών φόρτισης και αποθήκευσης, απαιτεί σημαντικές επενδύσεις. Επίσης, η ασφάλεια και η σωστή προστασία των μπαταριών είναι ζωτικής σημασίας για την αποφυγή ατυχημάτων και την προστασία του περιβάλλοντος. Τέλος το πιο σημαντικό εμπόδιο από όλα, είναι πως αυτή τη στιγμή είναι πολύ λίγα τα πλοία τα οποία είναι 100% ηλεκτρικά και στα οποία θα μπορούσε να γίνει εφαρμογή αυτής της τεχνολογίας.

### 1.2.4. Αιολικά πάρκα

Σήμερα η ενέργεια που παράγεται από αιολικά πάρκα τα οποία βρίσκονται μακριά από τη στεριά, μέσα στη θάλασσα, αντιπροσωπεύει περίπου το 3% της ενέργειας που χρησιμοποιεί η Ευρώπη. Η Ευρώπη διαθέτει αυτή τη στιγμή εγκατεστημένη υπεράκτια αιολική ισχύ 28.4 GW (Σεπτέμβριος 2022). Αυτό αντιστοιχεί σε περισσότερες από 5,795 ανεμογεννήτριες συνδεδεμένες στο δίκτυο σε 123 αιολικά πάρκα σε 13 χώρες.

Η ευρωπαϊκή κυβέρνηση πρόκειται να προχωρήσει σε έργα υποδομών τα οποία θα προσθέσουν έως και 160 GW αιολικής ενέργειας την επόμενη δεκαετία για να συμβαδίσει με τους φιλόδοξους στόχους που έχει θέσει η ΕΕ για την κλιματική αλλαγή σύμφωνα με την Πράσινη Συμφωνία.

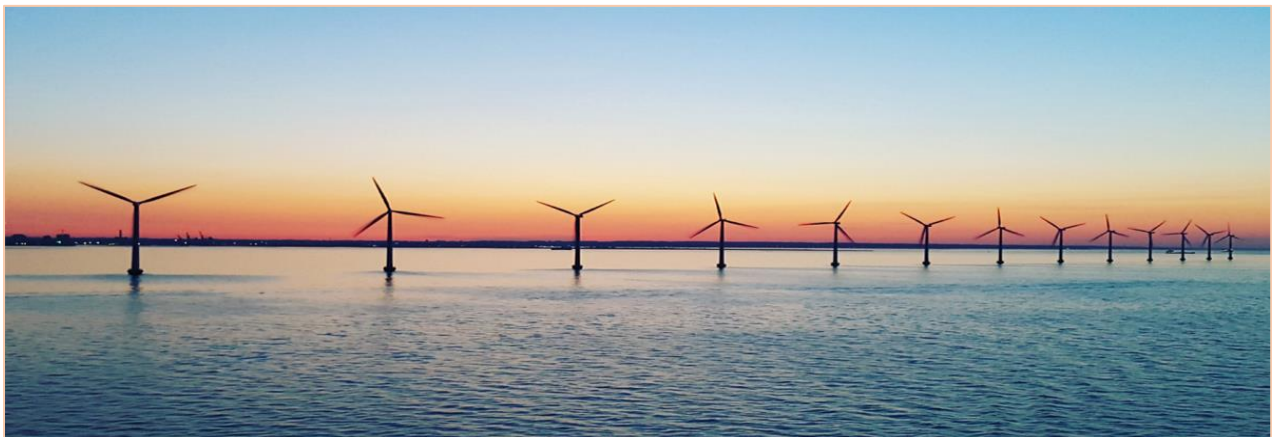
Αυτή η τεράστια επέκταση σημαίνει πως η Ευρώπη θα προσθέτει στις υποδομές αιολική ισχύ της τάξης των 3 GW κάθε χρόνο ξεκινώντας από σήμερα, στη συνέχεια 6 GW τα επόμενα πέντε χρόνια και φιλοδοξεί να φτάσει στο σημείο όπου θα προσθέτει 25 GW ετησίως μέχρι το 2030.



Εικόνα 9 : Αιολικά Πάρκα σε λιμένες της Ευρώπης

Η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος με βάση την **αιολική ενέργεια** έχει μερικά πολύ βασικά σημεία υπέρ της:

1. Όλο και περισσότερο πολίτες και επιχειρήσεις στην Ευρώπη απαιτούν μια πηγή καθαρής, φτηνής και αξιόπιστης ενέργειας.
2. Ο πόλεμος στην Ουκρανία έδειξε με εμβληματικό τρόπο πως τα ορυκτά καύσιμα δεν μπορούν πλέον να αποτελέσουν αυτήν την πηγή.
3. Ο άνεμος είναι μια πηγή ενέργειας η οποία είναι τοπική και καθαρή και άφθονη σε χώρες ειδικά όπως η Ελλάδα. Προωθώντας την αιολική ενέργεια, η Ευρώπη θα μπορούσε να σώσει μέχρι και 65 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα φυσικού αερίου, ενισχύοντας έτσι την **ενεργειακή της ανεξαρτησία**.
4. Ο άνεμος είναι μια ολόενα και πιο **σταθερή πηγή ενέργειας**. Τα καινούργια αιολικά πάρκα στην ξηρά λειτουργούν στο 30%-40% της ικανότητάς του και να αντιστοιχά στη θάλασσα λειτουργούν στο 50%+ της ικανότητάς τους.
5. Η πρόοδος της τεχνολογίας καθιστά ευκολότερη τη διαχείριση ενεργειακών συστημάτων με μεγάλα ποσοστά αιολικής ενέργειας. Οι ανεμογεννήτριες είναι αρκετά **ευέλικτες** στη λειτουργία, έχοντας την ικανότητα να δουλεύουν και με άνεμο χαμηλής ταχύτητας και προσαρμόζονται πιο ευκολά στις απαιτήσεις του δικτύου. Επίσης βοηθούν στον έλεγχο της συχνότητας και της τάσης του δικτύου.
6. Η **ψηφιοποίηση** καθιστά ευκολότερη την επίβλεψη και βελτιστοποίηση της λειτουργίας των ανεμογεννητριών, κάνοντας ευκολότερη τη συντήρηση του εξοπλισμού και συμβάλλοντας στην επιμήκυνση της διάρκειας ζωής τους.
7. Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας από τον αέρα έχει **μηδενικές εκπομπές** σε SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, και PM. Επίσης εκπέμπει  $\approx 95\%$  λιγότερο CO<sub>2</sub> από ότι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από αέριο και  $\approx 98\%$  λιγότερο από ότι η ηλεκτρική ενέργεια που παράγεται από κάρβουνο.
8. Η βιομηχανία βελτιώνει συνεχώς την τεχνολογία υλικών γύρω από την κατασκευή ανεμογεννητριών. 85-90% των μερών μιας ανεμογεννήτριας κατασκευάζεται από **ανακυκλώσιμα υλικά**. Η βιομηχανία δουλεύει προς την κατεύθυνση του να καταστήσει τις ανεμογεννήτριες 100% ανακυκλώσιμα προϊόντα.



Εικόνα 10: Αιολικό Πάρκο στη θάλασσα

Υπολογίζοντας όλα τα παραπάνω οι λιμένες επεκτείνουν τις δραστηριότητές τους ώστε να υποστηρίξουν την δημιουργία αιολικών πάρκων στην περιοχή τους. Σε **συνδυασμό** με την τεχνολογία του **cold ironing** θα μπορούσε να αποτελέσει μια πολύ αποδοτική και ανταγωνιστική μορφή παροχής ενέργειας καθώς θα μπορούσε μέρος του ρεύματος που θα λαμβάνουν τα πλοία από την ξηρά να προέρχεται από τα αιολικά πάρκα ,καθιστώντας το λιμάνι έναν **πράσινο ενεργειακό κόμβο**.

### 1.2.5. Κυματική ενέργεια

Καθώς η επιφάνεια της γης καλύπτεται κατά το 70% από ωκεανούς , μπορεί να κανείς να ισχυριστεί πως τα κύματα αποτελούν μια συνεχή πηγή ενέργειας , αφού τεράστιες μάζες νερού βρίσκονται σε συνεχή κίνηση εξ αιτίας του ανέμου που φυσάει πάνω από τους ωκεανούς και της παλίρροιας. Το στοίχημα και η πρόκληση εδώ είναι πως μπορεί κανείς να εκμεταλλευτεί την ,ομολογουμένως, αστείρευτη πηγή ενέργειας από την οποία είναι δυνατόν όπως αποδεικνύεται να παραχθεί ηλεκτρική ενέργεια.

Οι μετατροπείς κυματικής ενέργειας (**wave energy converters**) είναι συσκευές οι οποίες απορροφούν την ενέργεια των κυματισμών και την μετατρέπουν σε ηλεκτρική. Όταν ο άνεμος πνέει πάνω από τη θάλασσα ένα μέρος της κινητικής του ενέργειας μετατρέπεται σε ενέργεια κυματισμών, οι οποίοι με τη σειρά τους εμπεριέχουν και κινητική αλλά και δυναμική ενέργεια. Οι μετατροπείς ενέργειας κυμάτων μπορούν να σχεδιαστούν για να απορροφούν είτε την κινητική ενέργεια των κυμάτων ,είτε τη δυναμική ,είτε και τα δύο.



*Εικόνα 11: Κυματική ενέργεια*

Μέχρι στιγμής οι τεχνολογίες μετατροπής της κυματικής ενέργειας δεν φαίνεται να συγκλίνουν σε μία ενιαία τεχνολογία ,όπως συμβαίνει με άλλες εναλλακτικές τεχνολογίες όπως η αιολική ενέργεια. Μέσα στα χρόνια έχουν προκύψει τρεις βασικές αρχές λειτουργίας για την αξιοποίηση της ενέργειας των κυμάτων:

1. Ταλαντούμενες στήλες νερού (Oscillating Water Columns – OWC) ,οι οποίες συμπιέζουν τον αέρα ,οδηγώντας τον μέσα σε έναν αεριοστρόβιλο.
2. Κινούμενα σώματα (Oscillating Bodies – OB) ,χρησιμοποιούν διαφορετικές προσεγγίσεις για τον μετασχηματισμό της κίνησης των κυμάτων (κινήσεις surge ,sway ,heave) σε ηλεκτρική ενέργεια.
3. Συσκευές υπέρβασης (Overtopping Devices – OD) χρησιμοποιούν την δυναμική ενέργεια του νερού που χύνεται σε μία δεξαμενή ώστε ακολούθως να το οδηγήσουν σε έναν υδροστρόβιλο ,παράγοντας ρεύμα.

Θεωρητικά, το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που μπορεί να παραχθεί από την ενέργεια των κυματισμών είναι τεράστιο: σύμφωνα με αναφορά του Διεθνούς Οργανισμού Ανανεώσιμων Πηγών Ενέργειας (Ocean Energy Technologies, 2020) μπορεί να αποδώσει περίπου **29,500 TWh ανά έτος** ,κάτι που σημαίνει πως η κυματική ενέργεια μόνη της θα έφτανε για την κάλυψη των ενεργειακών αναγκών ολόκληρου του πλανήτη (!).

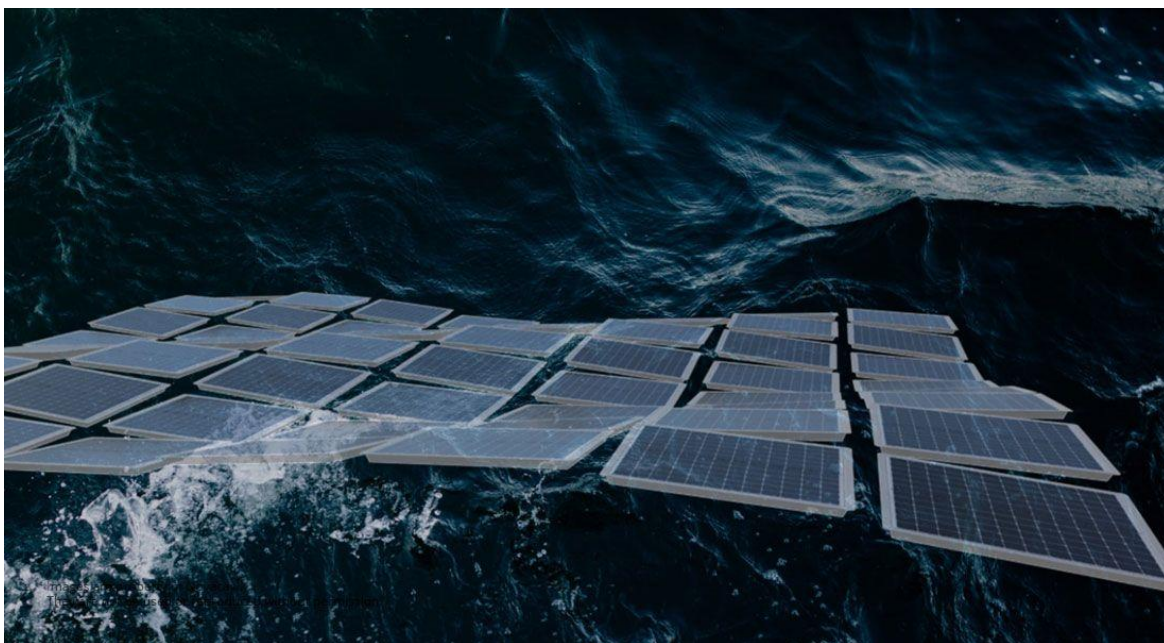
Όπως και άλλες εναλλακτικές μορφές ενέργειας η κυματική ενέργεια θα μπορούσε να συνεισφέρει περαιτέρω στην **απανθρακοποίηση της ναυτιλίας** και στη δημιουργία **κοινωνικό-οικονομικών ευκαιριών** σε χώρες με μεγάλη ακτογραμμή και συμπλέγματα νησιών , όπως η Ελλάδα, δημιουργώντας υπεραξία και νέες θέσεις εργασίας.



Εικόνα 12: Μετατροπείς κυματικής ενέργειας

### 1.2.6. Ηλιακή ενέργεια & φωτοβολταϊκά

Σήμερα τα λιμάνια της Ευρώπης έχουν την ικανότητα να εκμεταλλευτούν την πληθώρα υποδομών που διαθέτουν , εγκαθιστώντας φωτοβολταϊκά πάρκα είτε στην ξηρά ,αλλά είτε και πλωτά. Χάρη στην χρήση της ηλιακής ενέργειας ,ιδιαίτερα σε χώρες όπως η Ελλάδα , οι λιμένες έχουν μια μοναδική ευκαιρία να στηρίξουν την ενεργειακή τους ανεξαρτησία , να ελαττώσουν τα κόστη τους και να μειώσουν το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα.



*Εικόνα 13:Πλωτό φωτοβολταϊκό πάρκο*

Όσον αφορά το λιμάνι του Πειραιά , από το 2016 έχει τεθεί σε λειτουργία φωτοβολταϊκό πάρκο ισχύος 430 KWp ,συνδεδεμένο με το δίκτυο της ΔΕΗ . Είναι εγκατεστημένο στο Νέο Ικόνιο , την πλέον ηλεκτροβόρα περιοχή του λιμανιού όπου λειτουργούν οι γερανογέφυρες φορτοεκφόρτωσης και στοιβασίας εμπορευματοκιβωτίων. Το συγκεκριμένο πάρκο αποδίδει 635,000 «πράσινες» KWh/έτος στο διασυνδεδεμένο δίκτυο, αριθμός που αντιστοιχεί στην ετήσια αποφυγή 635 τόνων CO<sub>2</sub> , χρησιμοποιώντας ανανεώσιμες πηγές ενέργειας.

Επιπλέον τα φωτοβολταϊκά πάνελ αποτελούν μία πολύ ευέλικτη επιλογή για τον εξηλεκτρισμό του λιμανιού , αφού έχουν τη δυνατότητα να εγκατασταθούν σε διάφορα σημεία όπως μέσα στη θάλασσα ή σε κορυφές κτιρίων περιμετρικά του λιμανιού. Για το σκοπό αυτό έχουν αναπτυχθεί ειδικά πάνελ (flexible panels) τα οποία προσαρμόζονται σαν «χαλί» στις κορυφές των κτιρίων.

Ήδη σε πολλά ευρωπαϊκά λιμάνια, όπως αυτό της Βαρκελώνης και του Πειραιά, μελετώνται λύσεις εγκατάστασης ηλιακών πάνελ με σκοπό την εκμετάλλευση της ηλιακής ενέργειας για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος και θα ήταν καλό να συνεχιστούν και στο μέλλον.



### 1.3.Το λιμάνι του Πειραιά

Το λιμάνι του Πειραιά αποτελεί το μεγαλύτερο λιμάνι της Ευρώπης , όσον αφορά την κίνηση επιβατών , και ένα από τα μεγαλύτερα του κόσμου. Είναι χαρακτηριστικό, πως εξυπηρετεί περίπου είκοσι (20) εκατομμύρια επιβάτες ετησίως , συμπεριλαμβανομένης και της πορθμειακής γραμμής Σαλαμίνας-Περάματος. Αποτελεί συνδετικό κρίκο της ηπειρωτικής Ελλάδας με τα νησιά του Αιγαίου και την Κρήτη, αλλά και βασική πύλη της Ευρώπης προς το νοτιοανατολικό άκρο της.



*Εικόνα 14: Το λιμάνι του Πειραιά*

Το λιμάνι έχει συνολικό μήκος προβλήτας 2.8 χιλιόμετρα και βάθος 11 μέτρα. Αποτελεί σταθμό υποδοχής για επιβατηγά/οχηματαγωγά πλοία, κρουαζιερόπλοια ,πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (containerships) καθώς και πλοία μεταφοράς φορτίου χύδην .Στις παρακάτω ενότητες αναφέρεται ο αριθμός και ο τύπος πλοίων που ελλιμενίζονται στο λιμάνι του Πειραιά ώστε να γίνει μια αποτίμηση των ενεργειακών αναγκών αυτού.

### 1.3.1. Τύπος και αριθμός πλοίων που ελλιμενίζονται

#### Επιβατηγά/Οχηματαγωγά

Ως ένας συνδετικός κρίκος της ηπειρωτικής Ελλάδας με τα νησιά του Αιγαίου (κυρίως Κυκλάδες και Δωδεκάνησα ) και την Κρήτη , το λιμάνι του Πειραιά δέχεται καθημερινά έναν μεγάλο αριθμό επιβατηγών/οχηματαγωγών πλοίων. Τα κυριότερα χαρακτηριστικά τους φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Vessel Name	L (m)	B (m)	Επιβάτες	Οχήματα	G.R.T.	D/G Number	D/G Output
FESTOS PALACE	214	26.4	2200	600	24352	3	2300
KNOSSOS PALACE	214	26.4	2200	600	24352	3	2300
BLUE STAR DELOS	145.9	23.2	2400	430	18498	3	1320
BLUE STAR PATMOS	145.9	23.2	2400	430	18498	3	1320
BLUE STAR PAROS	124.2	18.9	1474	230	10438	3	1160
BLUE STAR NAXOS	124.2	18.9	1474	230	10438	3	1160
BLUE GALAXY	192	27	1740	780	29992	3	1000
BLUE HORIZON	187.1	27	1497	780	27230	4	1240
BLUE STAR 1	176.1	25.7	1890	641	29858	3	1260
BLUE STAR 2	176.1	25.7	1890	641	29560	3	1260
NISSOS MYKONOS	141	21	1915	418	7882	3	1080
NISSOS RODOS	192.5	27.3	2210	750	29733	3	1000
KYDON	192	27	1750	703	29991	3	1000
SUPERFAST XII	199.9	25	1637	649	30902	3	2000
ARIADNE	196	27	1845	650	30882	3	1100
KRITI II	191.8	29.4	1500	719	27239	-	-
ADAMANTIOS KORAI	100.15	17.23	8324	-	-	-	-
NISSOS SAMOS	193	29	2210	750	30435	-	-
HIGHSPEED 4	92.04	24	1010	188	6274	-	-
HIGHSPEED 7	85	21.2	1156	105	2967	-	-
HELLENIC HIGHSPEED	100	17	724	165	4662	-	-

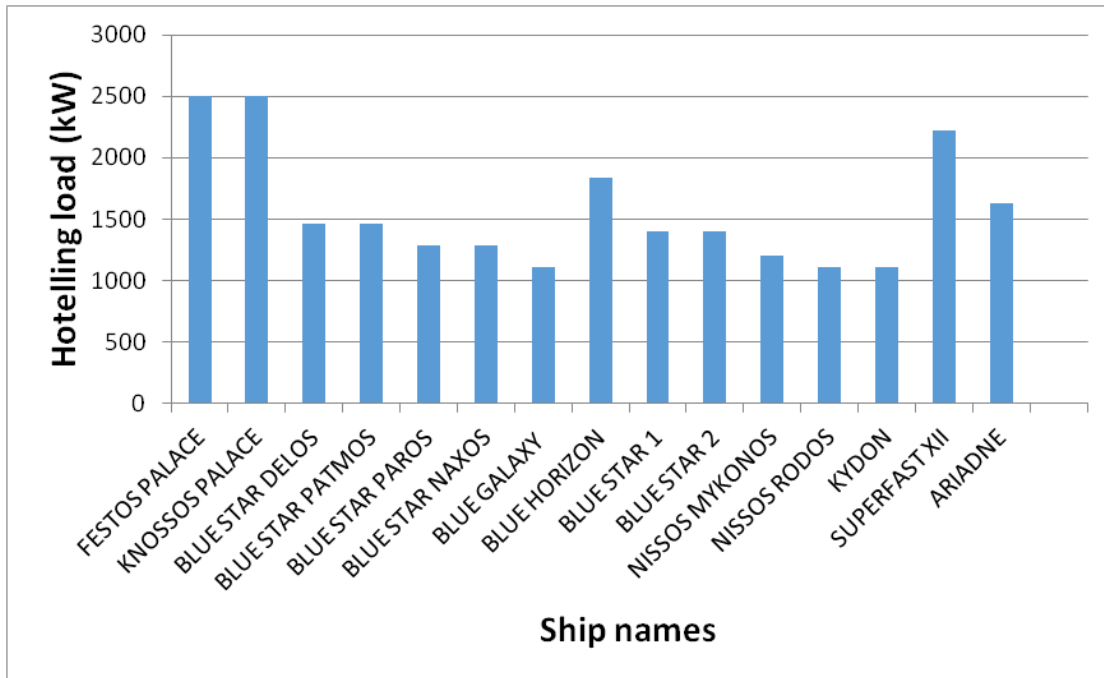
Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Ε/Ο πλοίων που επισκέπτονται το λιμάνι του Πειραιά

Η αποτίμηση της απαίτησης κάθε πλοίου σε ισχύ, όσο βρίσκεται σε ελλειμενισμό έχει υπάρξει αντικείμενο μελέτης από προπτυχιακούς φοιτητές του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Kamprylis, 2016). Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα φορτία ελλειμενισμού για όσα από τα παραπάνω πλοία υπήρχαν αρκετά στοιχεία για να υπολογιστούν.

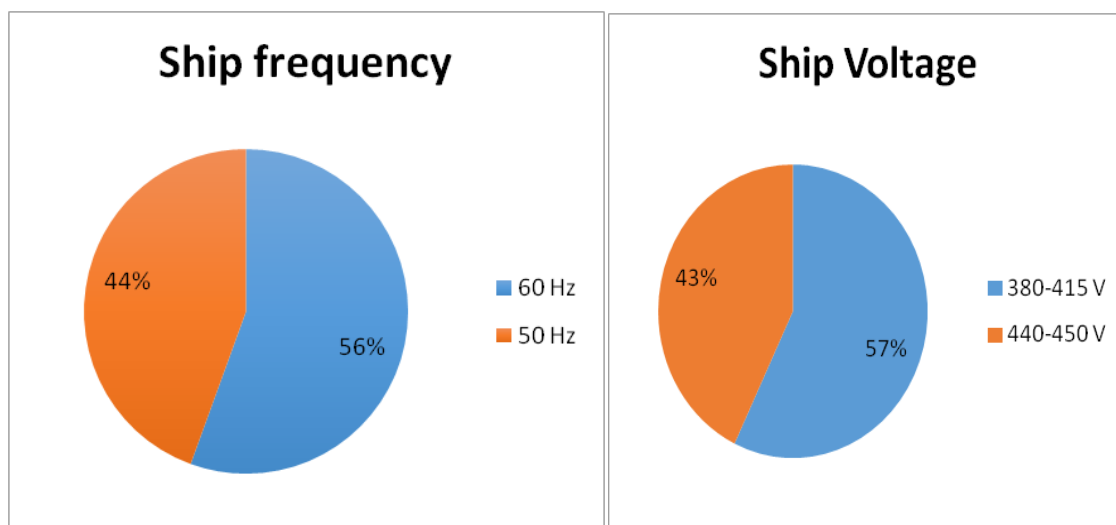
Vessel Name	D/G Number	D/G Output	Hoteling Load (kW)	Hoteling Load (kVA)	VOLTAGE (V)	FREQUENCY (Hz)
FESTOS PALACE	3	2250	2498	3122	380	60
KNOSSOS PALACE	3	2250	2498	3122	380	60
BLUE STAR DELOS	3	1320	1465	1832	-	50
BLUE STAR PATMOS	3	1320	1465	1832	-	50
BLUE STAR PAROS	3	1160	1288	1610	380	50
BLUE STAR NAXOS	3	1160	1288	1610	380	50
BLUE GALAXY	3	1000	1110	1388	60	E1-E3
BLUE HORIZON	4	1240	1835	2294	450	60
BLUE STAR 1	3	1260	1399	1748	440	60
BLUE STAR 2	3	1260	1399	1748	440	60
NISSOS MYKONOS	3	1080	1199	1499	380-415	50
NISSOS RODOS	3	1000	1110	1388	440	60
KYDON	3	1000	1110	1388	-	-
SUPERFAST XII	3	2000	2220	2775	-	60
ARIADNE	3	1100	1628	2035	440	60
KRITI II	-	-	-	-	-	E2-E3
ADAMANTIOS KORAI	-	-	-	-	-	-
NISSOS SAMOS	-	-	-	-	440	60
HIGHSPEED 4	-	-	-	-	380-415	50
HIGHSPEED 7	-	-	-	-	380-415	50
HELLENIC HIGHSPEED	-	-	-	-	380-415	50

Πίνακας 2: Ισχύς γεννητριών ,φορτίο ελλειμενισμού, τάση , συχνότητα για κάθε Ε/Ο πλοίο

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται το φορτίο ελλειμενισμού κάθε πλοίου σε KW, καθώς και τα ποσοστά των πλοίων που λειτουργούν σε συχνότητα 50 και 60 Hz αντίστοιχα.



Εικόνα 15: Φορτία ελλιμενισμού σε [KW] κάθε πλοίου



Εικόνα 16: Τάση & Συχνότητα πλοίων Ε/Ο που επισκέπτονται τον Πειραιά

Παρατηρούμε πως το φορτίο ελλιμενισμού των περισσότερων πλοίων είναι μεταξύ 1000 και 2500 [KW]. Όσον αφορά τη συχνότητα και την τάση λειτουργίας, είναι σχεδόν μοιρασμένα.

## Κρουαζιερόπλοια

Ως ένας από τους σημαντικότερους προορισμούς για κρουαζιερόπλοια , το λιμάνι του Πειραιά διαθέτει 11 θέσεις ελλιμενισμού πλοίων τέτοιου τύπου , έχοντας την ικανότητα να υποδεχθεί και τα μεγαλύτερα από αυτά. Οι μέγιστες διαστάσεις πλοίων κρουαζιέρας που μπορεί να φιλοξενήσει το λιμάνι είναι μήκους  $L = 394$  [m] , πλάτους  $B = 45$  [m] και βυθίσματος  $T = 11$  [m].

Κατά την παραμονή τους στο λιμάνι , τα κρουαζιερόπλοια συνήθως έχουν υψηλές απαιτήσεις σε παροχή ηλεκτρικής ενέργειας , γεγονός που οφείλεται στις πολλές λειτουργίες που έχουν να φέρουν εις πέρας όπως η ψύξη , η θέρμανση , ο κλιματισμός εσωτερικών χώρων , ο φωτισμός , το μαγείρεμα κτλ. Αυτό φυσικά συνδυάζεται και με τον μεγάλο αριθμό επιβατών που μεταφέρουν , ο οποίος κυμαίνεται από 500 μέχρι 4,000.



*Εικόνα 17: Σταθμός κρουαζιερόπλοιων στο λιμάνι του Πειραιά*

Ο υπολογισμός του φορτίου ελλιμενισμού που απαιτείται για ένα κρουαζιερόπλοιο είναι μια πολύπλοκη διαδικασία , εξ αιτίας των διαφορετικών διαστάσεων , αναγκών και διαφορετικών υπηρεσιών που προσφέρει κάθε πλοίο , όπως επίσης και του διαφορετικού αριθμού επιβατών που μεταφέρει.

Ωστόσο, η παραπάνω διαδικασία έχει υπάρξει αντικείμενο πτυχιακών εργασιών προπτυχιακών φοιτητών του ΕΜΠ (Kampylis, 2016). Η ιδέα έχει στηριχτεί σε μια αναφορά που συντάχθηκε το 2008 για λογαριασμό της Skagway από την Υπηρεσία Δασών των ΗΠΑ και το τμήμα Διατήρησης Περιβάλλοντος της Αλάσκας, στην οποία υπάρχουν δεδομένα για το φορτίο ελλιμενισμού, τον αριθμό επιβατών και τις εκπομπές σε GHG, 24 κρουαζιερόπλοιων (Air pollution emission inventory, 2008).

Name	L[m]	B[m]	Passengers	Crew	Hotel Load (kW)	kW/passenger
Mein Schiff 2	264	32	2130	850	4100	1.925
Norwegian Sun	260	32	2002	968	5600	2.797
Norwegian Pearl	294	32.3	2399	1100	7200	3.001
Norwegian Star	294	32.3	2240	1100	9000	4.018
Star Princess	290	32.6	2600	1200	10500	4.038
Diamond Princess	288.33	37.5	3078	1060	11500	3.736
Golden Princess	252	32.6	2598	1060	10500	4.042
Island	293	32.2	1970	905	7200	3.655
Saphire Princess	288.3	37.5	3078	1060	9600	3.119
Rhapsody of the Seas	278	32	2435	765	5300	2.177
Serenade of the Seas	285	32	2400	900	5500	2.292
Radiance of the Seas	293.2	32.2	2501	859	5300	2.119
Dawn Princess	261	56	1998	924	6800	3.403
Pacific Dawn	245	56	2020	660	6700	3.317

Πίνακας 3: Δεδομένα δεξαμενόπλοιων από Skagway 2008

Ο λόγος ισχύος/επιβάτη της τελευταίας στήλης του πίνακα καλείται power per passenger ratio (PL) και μια ενδεικτική τιμή που προκύπτει από τον πίνακα είναι  $PL = 3.117$  [KW/passenger]. (Kampylis, 2016)

Η ενέργεια σε τιμές KWh που απαιτεί ένα κρουαζιερόπλοιο κατά τον ελλιμενισμό του μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση :

$$Energy (kWh) = PL (kW/passenger) \cdot passengers \cdot berthing time (h)$$

Επίσης αν αποδεχτούμε τον λόγο  $PL = 3.117$  [KW/passenger] σαν ενδεικτικό, μπορούμε να υπολογίσουμε την συνολική ενεργειακή ανάγκη σε ένα χρονικό διάστημα (π.χ. ένα έτος) από την σχέση:

$$year\ energy(GWh) = PL[KW/passenger] * yearpax * abt[h] * \frac{1}{10^6}$$

Φέτος στο λιμάνι του Πειραιά αναμένονται συνολικά 779 αφίξεις κρουαζιερόπλοιων στο διάστημα 02/01/2023 έως 27/12/2023. Αν υπολογίσουμε πως ένας μέσος αριθμός επιβατών για κάθε πλοίο είναι 3,000 και πως ο μέσος χρόνος ελλιμενισμού είναι 14 ώρες περίπου (Kamprylis, 2016) ,τότε μπορούμε να κάνουμε μια εκτίμηση της ενέργειας που απαιτείται:

$$year\ energy_{2023}(GWh) = 3.117 \left( \frac{KW}{passenger} \right) * 779 * 3000(passengers) * 14(h) * 10^{-6},$$

$$year\ energy_{2023} = 101.98\ GWh$$

Ενδεικτικά στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι αφίξεις κρουαζιερόπλοιων στο λιμάνι του Πειραιά στην περίοδο 02/01/2023 έως 14/04/2023:

ΠΡΟΒΛΗΤΑ BERTH	ΠΛΟΙΟ SHIP	IMO NUMBER	ΑΦΙΞΗ E.T.A.	ΑΝΑΧΩΡΗΣΗ E.T.D.	ΕΠΙΒΑΣΗ-ΠΕΡΙΗΓΗΣΗ EMBARKATION-TRANSIT
P3 EAST	VIKING SKY	9650420	02/01/2023 07:00	04/01/2023 18:00	ΕΠΙΒ
KANELOS	COSTA DELIZIOSA	9398917	03/01/2023 09:00	03/01/2023 18:00	TRANSIT
P3 WEST	CELESTYAL CRYSTAL	7827213	1/4/2023 6:00	1/4/2023 11:00	ΕΠΙΒ
P3 EAST	VIKING SKY	9650420	16/01/2023 07:00	18/01/2023 17:30	ΕΠΙΒ
P3 EAST	VIKING SKY	9650420	06/02/2023 07:00	08/02/2023 17:00	ΕΠΙΒ
P3 EAST	VIKING SKY	9650420	17/02/2023 07:00	18/02/2023 17:30	ΕΠΙΒ
P3 EAST	CELESTYAL CRYSTAL	7827213	2/25/2023 14:00	04/03/2023 17:00	ΕΠΙΒ
P3 WEST	WORLD ODYSSEY ISE	9141807	02/03/2023 08:00	06/03/2023 20:00	TRANSIT
KANELOS	NORWEGIAN JADE	9304057	03/03/2023 06:00	3/3/2023 19:00	ΕΠΙΒ
P3 EAST	CELESTYAL CRYSTAL	7827213	11/03/2023 07:00	11/03/2023 17:00	ΕΠΙΒ
KANELOS	NORWEGIAN JADE	9304057	12/03/2023 06:00	3/12/2023 19:00	ΕΠΙΒ
P3 EAST	CELESTYAL CRYSTAL	7827213	18/03/2023 07:00	18/03/2023 17:00	ΕΠΙΒ
P3 WEST	GEMINI	9000687	20/03/2023 07:00	20/03/2023 13:00	ΕΠΙΒ
KANELOS	NORWEGIAN JADE	9304057	21/03/2023 06:00	3/21/2023 19:00	ΕΠΙΒ
P3 WEST	GEMINI	9000687	24/03/2023 07:00	3/24/2023 19:00	ΕΠΙΒ
P3 EAST	VIKING SKY	9650420	24/03/2023 07:00	25/03/2023 18:00	ΕΠΙΒ
P3 WEST	CELESTYAL CRYSTAL	7827213	25/03/2023 07:00	25/03/2023 17:00	ΕΠΙΒ
P3 WEST	GEMINI	9000687	27/03/2023 07:00	27/03/2023 13:00	ΕΠΙΒ
P3 EAST	EMERALD AZZURRA	9903504	28/03/2023 06:00	28/03/2023 23:00	ΕΠΙΒ
P3 WEST	CLIO	9159830	3/28/2023 6:30	29/03/2023 12:00	ΕΠΙΒ
KANELOS	NORWEGIAN JADE	9304057	30/03/2023 06:00	3/30/2023 19:30	ΕΠΙΒ
P3 WEST	GEMINI	9000687	31/03/2023 07:00	3/31/2023 19:00	ΕΠΙΒ
KANELOS	AZURA	9424883	01/04/2023 05:30	01/04/2023 19:00	TRANSIT
P3 EAST	CELESTYAL CRYSTAL	7827213	01/04/2023 07:00	01/04/2023 17:00	ΕΠΙΒ
P3 WEST	THE WORLD	9219331	01/04/2023 09:00	03/04/2023 23:00	ΕΠΙΒ
P3 EAST	VASCO DA GAMA	8919245	02/04/2023 06:00	02/04/2023 20:00	ΕΠΙΒ
KANELOS	COSTA TOSCANA	9781891	02/04/2023 08:00	02/04/2023 18:00	TRANSIT
XYLEIA	GEMINI	9000687	03/04/2023 07:00	03/04/2023 13:00	ΕΠΙΒ
P3 EAST	LA BELLE DE L ADRIATIQUE	9432799	03/04/2023 08:00	4/5/2023 18:00	ΕΠΙΒ
P3 EAST	MSC SINFONIA	9210153	06/04/2023 07:00	06/04/2023 18:00	ΕΠΙΒ
KANELOS	MEIN SCHIFF 6	9753208	07/04/2023 04:30	07/04/2023 19:00	TRANSIT
P3 WEST	GEMINI	9000687	07/04/2023 07:00	4/7/2023 19:00	ΕΠΙΒ
P3 EAST	AZAMARA PURSUIT	9210220	4/8/2023 2:00	08/04/2023 18:00	ΕΠΙΒ
KANELOS	NORWEGIAN JADE	9304057	08/04/2023 06:00	4/8/2023 19:00	ΕΠΙΒ
P3 WEST	CELESTYAL CRYSTAL	7827213	08/04/2023 07:00	4/8/2023 15:00	ΕΠΙΒ
P3 EAST	GEMINI	9000687	10/04/2023 07:00	10/04/2023 13:00	ΕΠΙΒ
P3 WEST	SILVER SPIRIT	9437866	10/04/2023 07:00	10/04/2023 19:00	ΕΠΙΒ
P3 EAST	MSC SINFONIA	9210153	13/04/2023 07:00	13/04/2023 18:00	ΕΠΙΒ
P3 EAST	GEMINI	9000687	14/04/2023 07:00	4/14/2023 19:00	ΕΠΙΒ
P4	ARETHUSA	9398022	4/14/2023 14:30	4/15/2023 21:30	ΕΠΙΒ

Πίνακας 4: Αφίξεις κρουαζιερόπλοιων από Ιανουάριο έως Απρίλιο 2023 στον Πειραιά

Αναλυτικά η λίστα με τις αφίξεις και τις αναχωρήσεις και άλλες πληροφορίες μπορεί να βρεθεί στην ηλεκτρονική διεύθυνση του Οργανισμού Λιμένος Πειραιώς [www.olp.gr](http://www.olp.gr) .

## Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (containerships)

Καθώς ο Πειραιάς αποτελεί το πρώτο μεγάλο ευρωπαϊκό λιμάνι , μετά τη διώρυγα του Suez , είναι εύλογο πως αποτελεί σταθμό πολλών πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (containerships), αφού αποτελεί πύλη σύνδεσης της Μεσογείου , της Μαύρης Θάλασσας και της Αδριατικής μέσω feeder πλοίων και των Βαλκανίων και της ηπειρωτικής Ευρώπης μέσω σιδηροδρόμων και οδικών δικτύων.

Ο Σταθμός Εμπορευματοκιβωτίων του Πειραιά λειτουργεί 24/7 ,365 μέρες το χρόνο με ετήσια δυναμικότητα 1,100,000 TEUs , με προσωπικό και υποδομές ικανό να εξυπηρετήσει μέχρι και τα μεγαλύτερα πλοία εμπορευματοκιβωτίων (μέχρι και 16,000 TEUs). Το συνολικό μήκος της προβλήτας φτάνει τα 1,150 [m] και το βάθος φτάνει τα 18 [m].

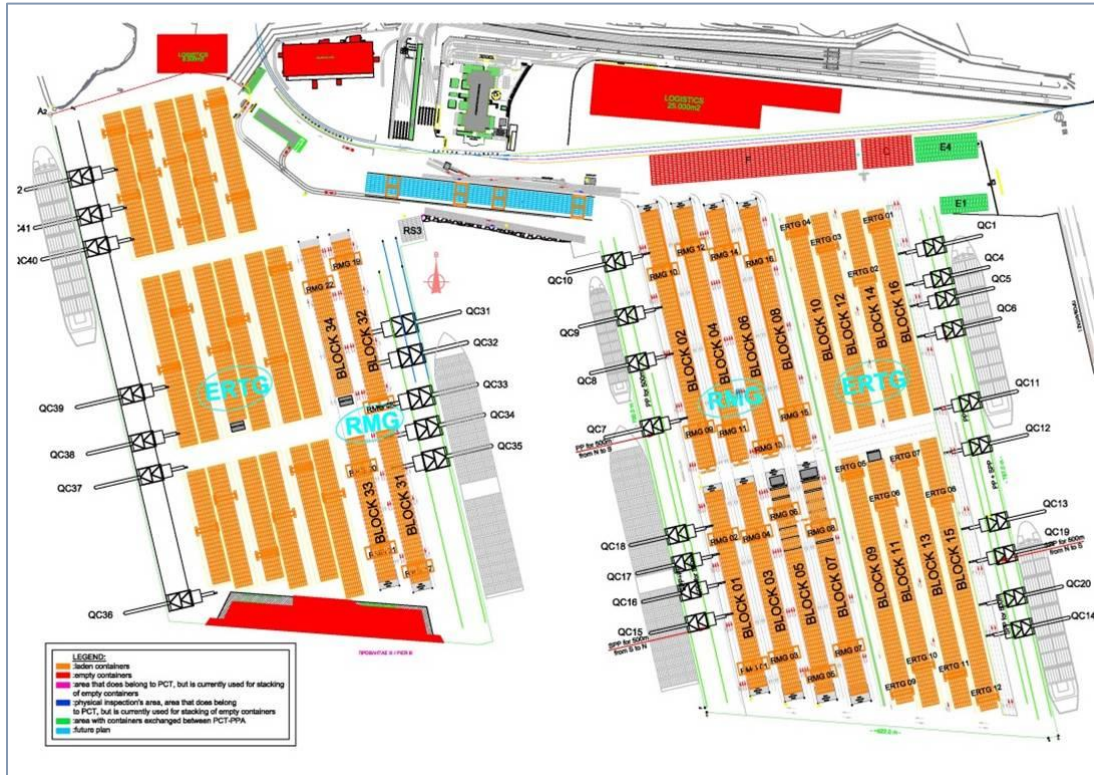


*Εικόνα 18 :Σταθμός εμπορευματοκιβωτίων λιμένος Πειραιώς*

Ωστόσο υπάρχουν ακόμα δύο αποβάθρες εμπορευματοκιβωτίων στο λιμάνι του Πειραιά (Pier II και Pier III).

Η αποβάθρα Pier II βρίσκεται υπό την εποπτεία της κινεζικής COSCO , μετά από σύμπραξη που έχει κάνει η τελευταία με την ελληνική κυβέρνηση και έχει ικανότητα χωρητικότητας 3,200,000 TEUs. Η αποβάθρα Pier III βρίσκεται υπό κατασκευή. Μετά την ολοκλήρωσή της το λιμάνι του Πειραιά θα έχει συνολική δυναμικότητα 6,200,000 TEUs.





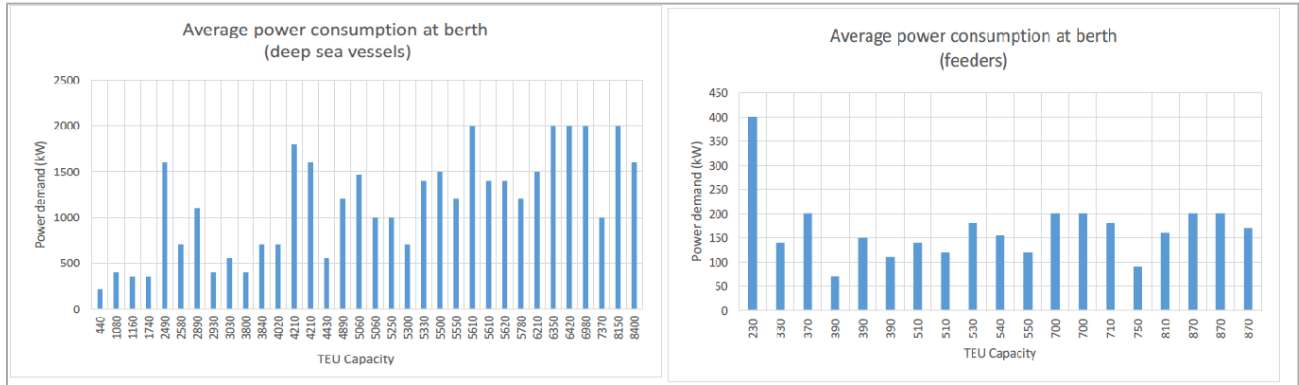
Εικόνα 19: Αποβάθρες εμπορευματοκιβωτίων Pier II & Pier III στον Πειραιά

Για την εκτίμηση του φορτίου ελλιμενισμού ενός πλοίου μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων αλλά και τη συνολική αποτίμηση των ενεργειακών αναγκών του λιμανιού σε ένα διάστημα χρόνου στηριζόμαστε σε δεδομένα του ΟΛΠ καθώς και σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε το 2006 στο λιμάνι του Ρότερνταμ.

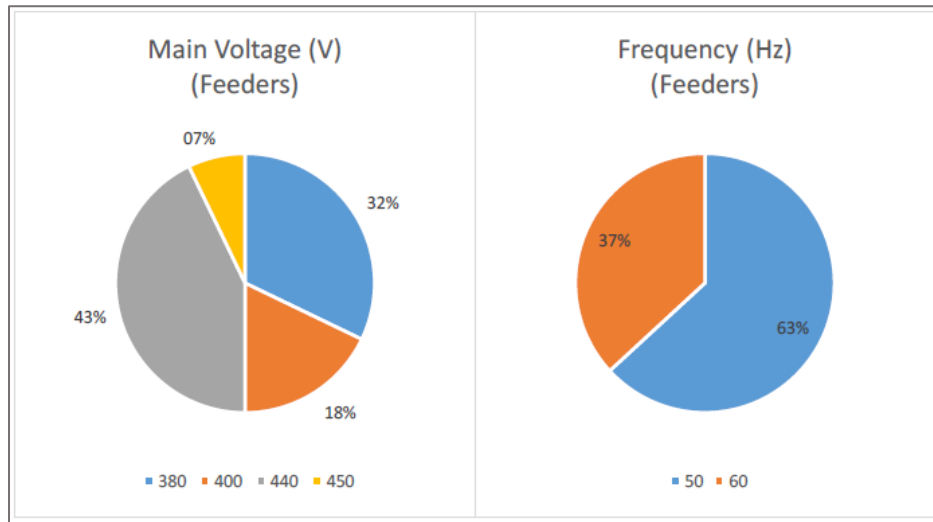
Σύμφωνα με τα δεδομένα, στο λιμάνι του Πειραιά έχουμε περίπου 190 αφίξεις στο σταθμό εμπορευματοκιβωτίων μηνιαίως, με έναν μέσω χρόνο παραμονής κοντά στις 14 ώρες (Dianatis, 2019). Αυτό σημαίνει πως σε ετήσια βάση έχουμε περίπου 2,300 αφίξεις και σε ώρες μεταφράζεται περίπου σε 55,200 ώρες ελλιμενισμού.

Τα πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων χωρίζονται σε πλοία τροφοδοσίας (**feeder vessels**) με μήκος  $L \leq 140$  [m] και σε πλοία λεγόμενα **deep sea vessels** με μήκος  $L \geq 140$  [m]. Τα πλοία αυτά διαφέρουν ως προς τη συχνότητα και τάση λειτουργίας αλλά και ως προς τις ανάγκες σε ενέργεια κατά τον ελλιμενισμό.

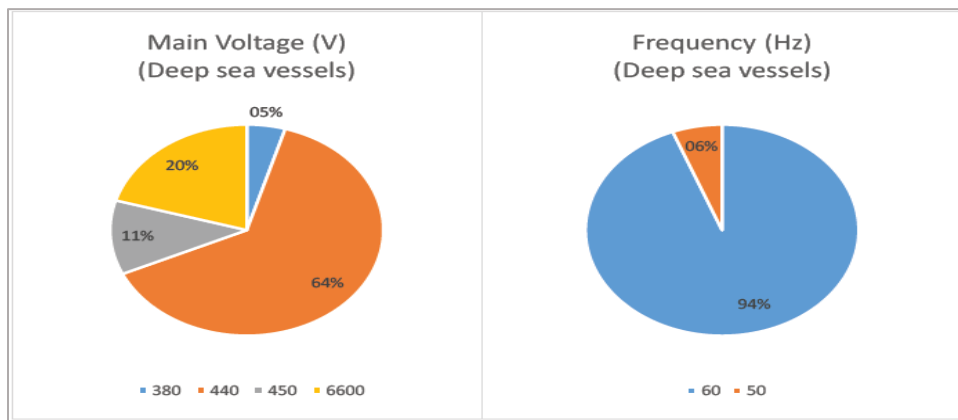
Παρακάτω παρουσιάζονται στοιχεία από μελέτη που πραγματοποιήθηκε το καλοκαίρι του 2016 στο Ρότερνταμ για 12 containerships :



Εικόνα 20: Φορτίο ελλειμνισμού για πλοία feeder & deep sea vessels



Εικόνα 21: Συχνότητα & τάση λειτουργίας για feeder vessels

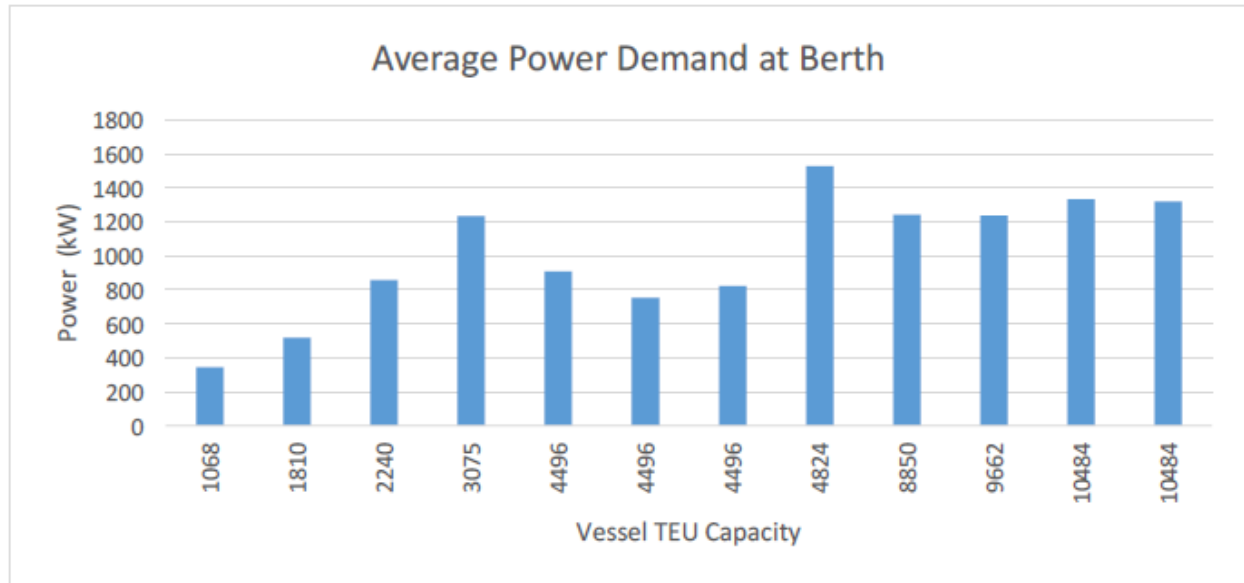


Εικόνα 22: Συχνότητα & τάση λειτουργίας για deep sea vessels

Ο πίνακας με τα δεδομένα για το φορτίο ελλιμενισμού φαίνεται παρακάτω :

TEU	Hoteling Load		Total D/G Output	Load Factor	Peak Load Factor
	Average	Max			
1068	344	616	3645	0.09	0.17
1810	518	796	5160	0.10	0.15
2240	857	2426	7832	0.11	0.31
3075	1236	3586	7760	0.16	0.46
4496	910	1262	6150	0.15	0.21
4496	751	1188	6150	0.12	0.19
4496	825	1161	6150	0.13	0.19
4824	1529	3431	8640	0.18	0.40
8850	1243	5938	12500	0.10	0.48
9662	1238	3099	14936	0.08	0.21
10484	1331	2146	9600	0.14	0.22
10484	1320	2122	9600	0.14	0.22
<b>Average</b>				<b>0.13</b>	<b>0.27</b>

Πίνακας 5: Δεδομένα των 12 πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων



Εικόνα 23: Φορτίο ελλιμενισμού για πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (containerships)

### 1.3.2.Ενεργειακές ανάγκες λιμανιού

Με βάση το εδάφιο 1.3.1. εδώ αναφέρουμε περιληπτικά όλα τα αποτελέσματα που προέκυψαν καθώς και ποιες είναι οι προτάσεις και ποια η παρούσα κατάσταση για τις θέσεις φόρτισης των πλοίων που ελλιμενίζονται στο λιμάνι του Πειραιά.

#### Ενεργειακός σχεδιασμός

Έχοντας αναφέρει όλα τα παραπάνω σχετικά με το είδος και τον αριθμό των πλοίων που ελλιμενίζονται στο λιμάνι του Πειραιά και βασιζόμενοι σε παλαιότερες μελέτες (Dianatis, 2019) μπορούμε να συνοψίσουμε για τις ενεργειακές ανάγκες του λιμανιού τα εξής:

- **Επιβατηγά/Οχηματαγωγά**

Το φορτίο ελλιμενισμού κυμαίνεται από 1000-2500 [KW] δηλαδή μέγιστο φορτίο 3.125 MVA (με συντελεστή ισχύος Σ.Ι.= 0.8). Η πρόταση είναι για πέντε (5) θέσεις ελλιμενισμού με ικανότητα παροχής ισχύος από 2 έως **3.5 MVA**.

- **Κρουαζιερόπλοια**

Το φορτίο ελλιμενισμού κυμαίνεται από 4,000 έως 11,000 [KW] ,δηλαδή μέγιστο φορτίο 13.75 MVA. Η πρόταση είναι για τρεις (3) θέσεις ελλιμενισμού δύο με ικανότητα παροχής ισχύος **14.375 MVA** και μια με ικανότητα παροχής 6 MVA.

- **Πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων**

Το φορτίο ελλιμενισμού κυμαίνεται από 400 έως 1,600 [KW] , δηλαδή μέγιστο φορτίο 2 MVA. Η πρόταση είναι για έξι (6) θέσεις ελλιμενισμού με ικανότητα παροχής ισχύος **4 MVA** για τις πέντε από αυτές και 9 MVA για την τελευταία.

#### Θέσεις Cold Ironing

Ωστόσο, αυτή τη στιγμή στο λιμάνι δρομολογούνται τέσσερις θέσεις για cold ironing με ικανότητα παροχής ισχύος 4 MVA για τις τρεις και 1 MVA για τη μια. Η παρούσα μελέτη εστιάζει στην μελέτη ροής φορτίου του λιμανιού με δεδομένες αυτές τις θέσεις.

#### Καταναλωτές

Αυτή τη στιγμή οι εγκατεστημένοι μετασχηματιστές καταναλωτών στους τρεις κεντρικούς υποσταθμούς του Πειραιά έχουν ισχύ 0.4 MVA , 0.63 MVA και 1.6 MVA για τους υποσταθμούς του Αγίου Διονυσίου , των Ελεγκτηρίων και του 3<sup>rd</sup>. Dock αντίστοιχα.

## 2.DIG SILENT Power Factory

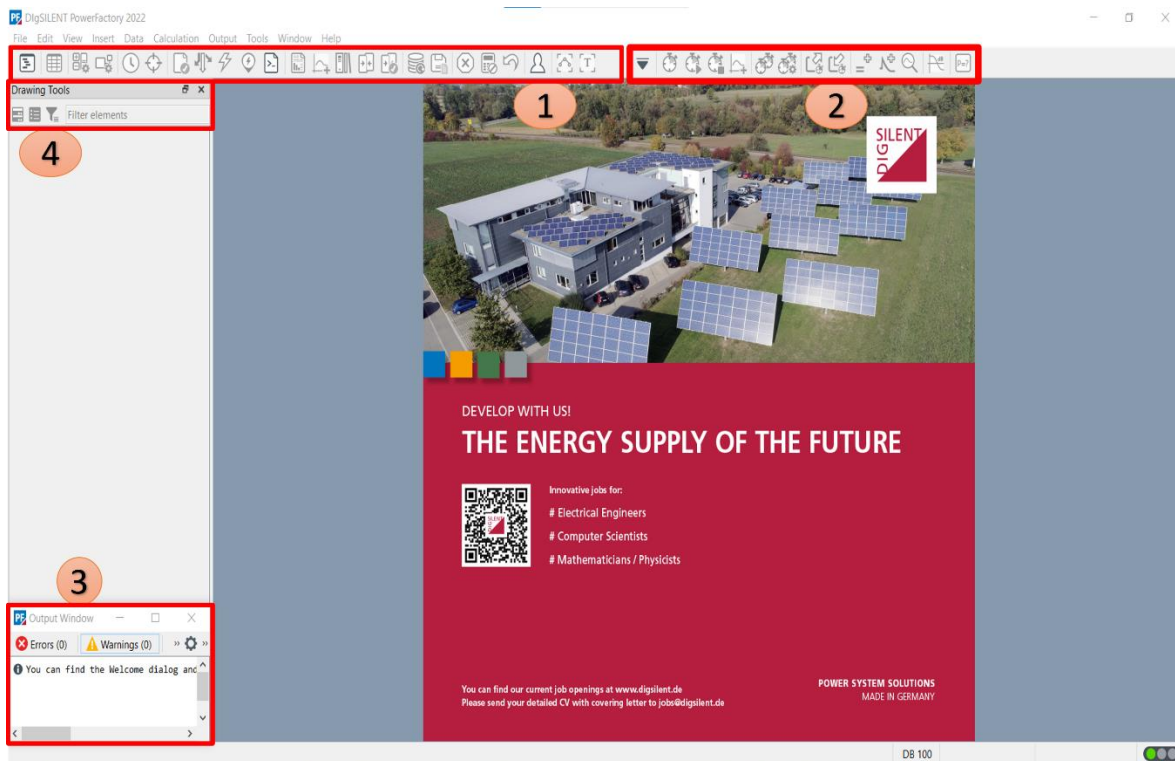
Το πρόγραμμα *Power Factory* της εταιρείας DIG SILENT, από το ακρωνύμιο Digital Simulation of Electrical Networks, αποτελεί ένα υπολογιστικό λογισμικό το οποίο βοηθάει στην ανάλυση συστημάτων μεταφοράς, διανομής και βιομηχανικών συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας, με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή. Στο παρόν κεφάλαιο θα επιχειρήσουμε μια ανασκόπηση του προγράμματος και μια περιήγηση στις βασικότερες εφαρμογές του, ώστε ο αναγνώστης να αποκτήσει μια βασική εξοικείωση με το πρόγραμμα.

### 2.1 Εισαγωγή στο Power Factory

Αρχικά θα δούμε μια εισαγωγή στις βασικές έννοιες του Power Factory, όπως τα διάφορα μενού, οι γραμμές εργαλείων, αλλά και η διαχείριση και εποπτεία των δεδομένων όπως αυτή γίνεται από τον χρήστη.

#### 2.1.1.Γενική Δομή

Το αρχικό παράθυρο εργασίας του Power Factory φαίνεται στην εικόνα 2.1

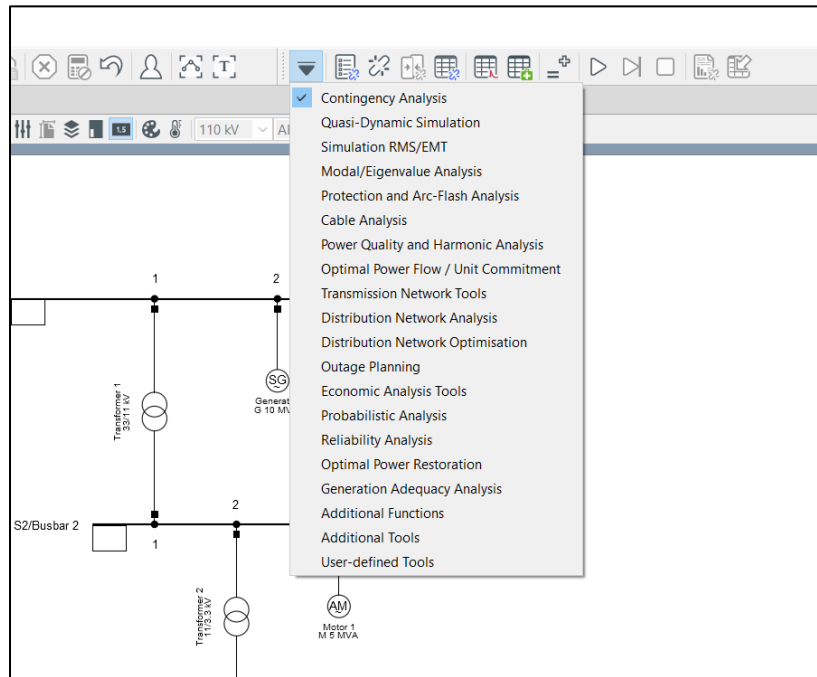


Εικόνα 24: Αρχικό παράθυρο εργασίας του Power Factory

Στα πλαίσια φαίνονται κατά σειρά τα εξής :

- Γραμμή εργαλείων 1(Main Toolbox 1) [1]
- Γραμμή εργαλείων 2 (Main Toolbox 2:functions) [2]
- Παράθυρο εξόδου (Output window) [3]
- Εργαλεία Σχεδίασης (Drawing Tools) [4]

Αρχικά η γραμμή εργαλείων 1 παρέχει στον χρήστη πρόσβαση στις βασικές εντολές του προγράμματος. Όταν τα εκάστοτε εικονίδια είναι με γκρι χρώμα σημαίνει πως είναι ανενεργά. Επιπλέον για να επιτευχθεί ο μικρότερος αριθμός εικονιδίων τα οποία παρουσιάζονται στην αρχική οθόνη ,υπάρχει και η γραμμή εργαλείων 2, η οποία ομαδοποιεί τα εικονίδια ανάλογα με την κατηγορία που επιλέγεται από τον χρήστη. Παρατηρείστε στην παρακάτω φωτογραφία πως έχουμε επιλέξει την κατηγορία *Contingency Analysis*.



Εικόνα 25:Γραμμή Εργαλείων 2 στο Power Factory

Τέλος το παράθυρο εξόδου (output window) ,παρέχει στον χρήστη μηνύματα λάθους, ειδοποιήσεις ,μηνύματα εντολών ,καθώς και αποτελέσματα υπολογισμών. Θα εξεταστεί ενδελεχώς στη συνέχεια.

Τα εργαλεία σχεδίασης(drawing tools) περιλαμβάνουν εικονίδια τα οποία σχετίζονται με στοιχεία ηλεκτρικών δικτύων τα οποία μπορούν να προστεθούν στο διάγραμμα. Μπορούν να είναι ορατά μόνο όταν κάποιο project είναι ενεργό.

## 2.1.2 Βάση Δεδομένων

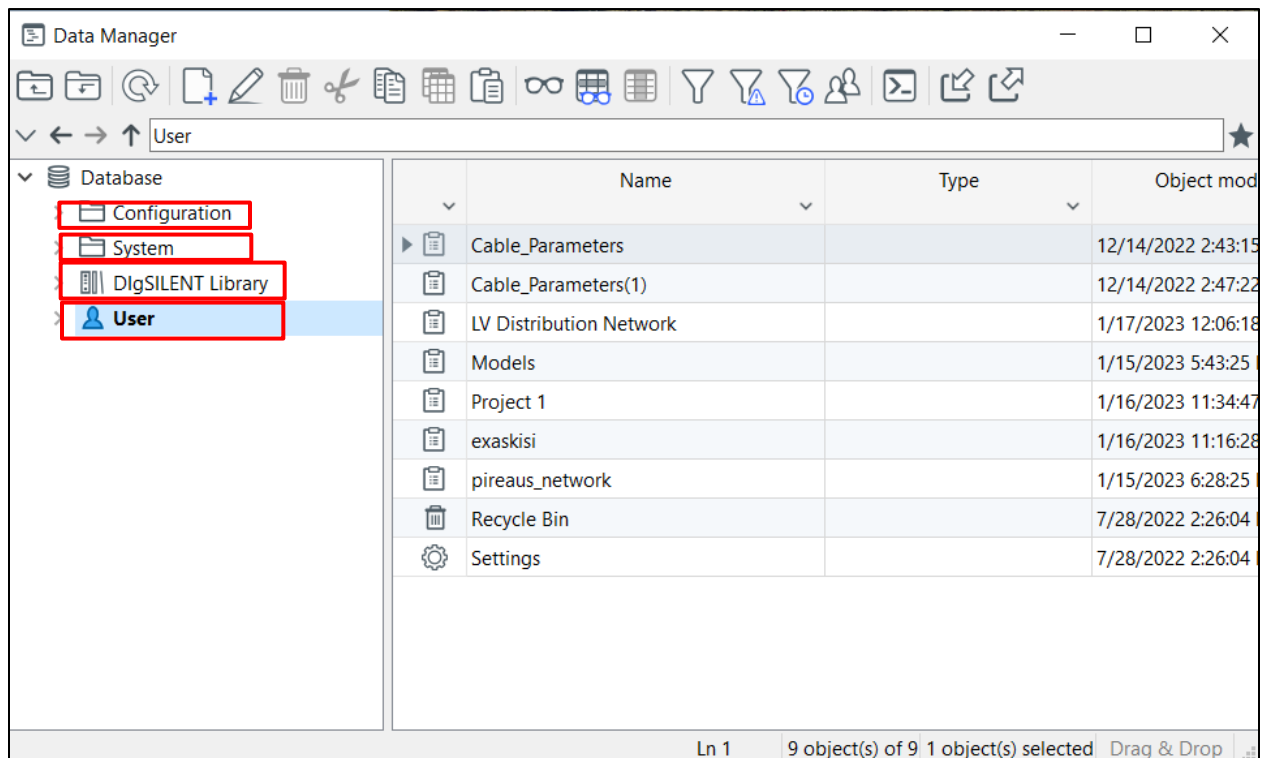
Τα δεδομένα στο Power Factory αποθηκεύονται μέσα σε καταλόγους των οποίων η δομή είναι ιεραρχική. Η δομή ανώτατου επιπέδου αποτελείται από τους εξής καταλόγους:

**Διαμόρφωση (Configuration):** περιλαμβάνει την εξατομικευμένη προσαρμογή του λογισμικού από την εταιρεία για τις διάφορες ομάδες χρηστών ,τις προεπιλεγμένες ρυθμίσεις(default settings), καθώς και τα πρότυπα κλάσεων για διάφορα αντικείμενα.

**Σύστημα (System):** περιέχει αντικείμενα τα οποία χρησιμοποιούνται εσωτερικά από το Power Factory.Ο φάκελος αυτός περιέχει προεπιλεγμένες ρυθμίσεις που παρέχονται από την DIg SILENT και δεν πρέπει να αλλάζουν. Ενημερώνονται αυτόματα κατά την μετάβαση σε μία νέα έκδοση του Power Factory.

**Βιβλιοθήκη DIg SILENT (Library):** περιλαμβάνει όλους τους βασικούς τύπους και μοντέλα που παρέχονται από το Power Factory.Ο χρήστης εδώ μπορεί να βρει μια μεγάλη γκάμα από καλώδια, μετασχηματιστές και άλλα στοιχεία ηλεκτρικών δικτύων που μπορεί να χρησιμοποιήσει απευθείας.

**Λογαριασμοί Χρηστών (User):** περιλαμβάνει τους φακέλους με τα διάφορα projects που έχουν δημιουργηθεί ,καθώς και τις ρυθμίσεις αυτών.

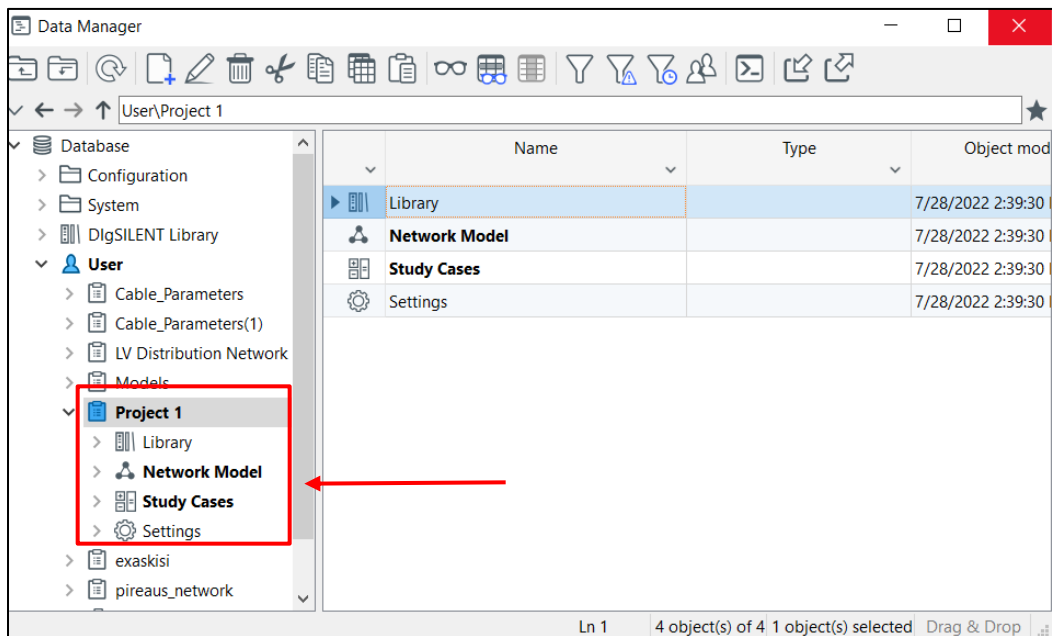


Εικόνα 26: Φάκελοι Δεδομένων στο Power Factory

### 2.1.3. Δημιουργώντας ένα project

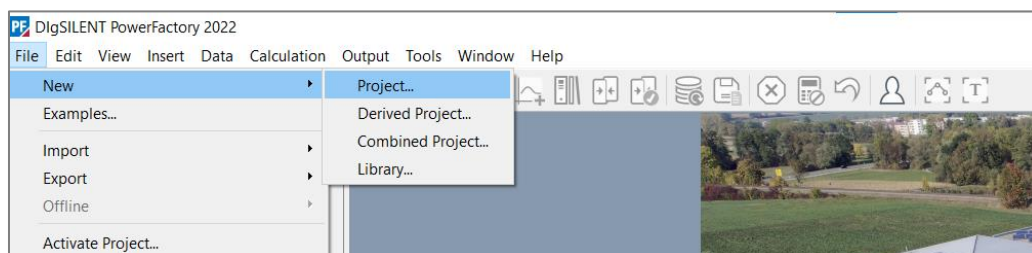
Στο Power Factory ένα **project** αποτελεί ένα σύνολο δεδομένων ,το οποίο σχετίζεται με κάποιο μοντέλο δικτύου και περιλαμβάνει ηλεκτρικά στοιχεία ,διαγράμματα , τοπολογική διασύνδεση, εντολές υπολογισμών καθώς και τα αποτελέσματα αυτών.

Κάθε project περιλαμβάνει τη βιβλιοθήκη του ,το μοντέλο δικτύου, τα διάφορα σενάρια (study cases) και τις ρυθμίσεις (settings),όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 27: Δημιουργία ενός project στο Power Factory

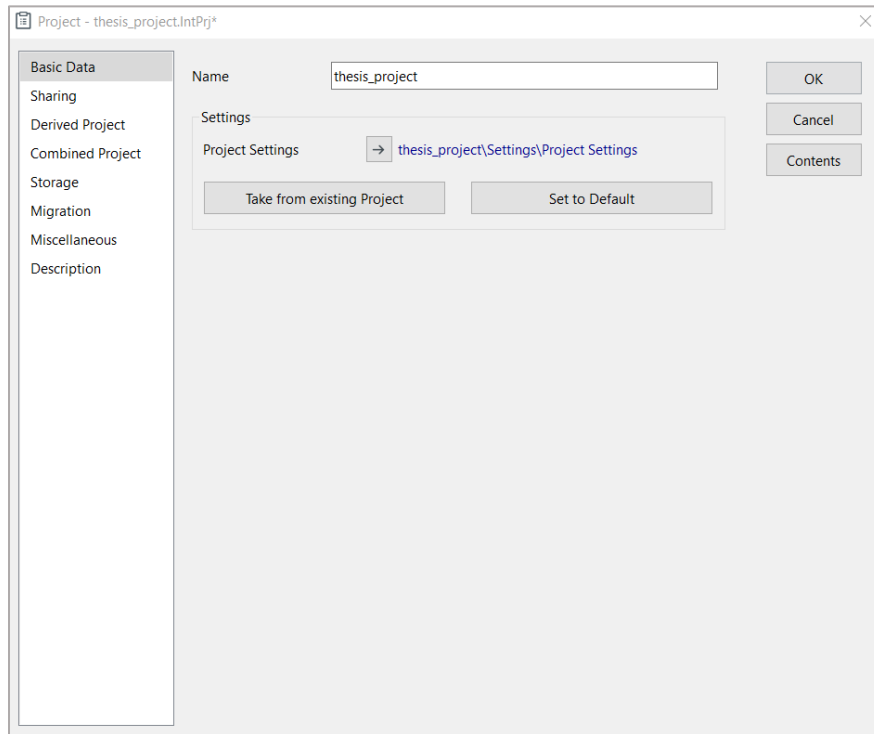
Για να δημιουργήσουμε ένα καινούριο project ,πατάμε file→new→project ,από την γραμμή εργαλείων πάνω αριστερά όπως φαίνεται στην εικόνα 5.



Εικόνα 28: Δημιουργία καινούριου project

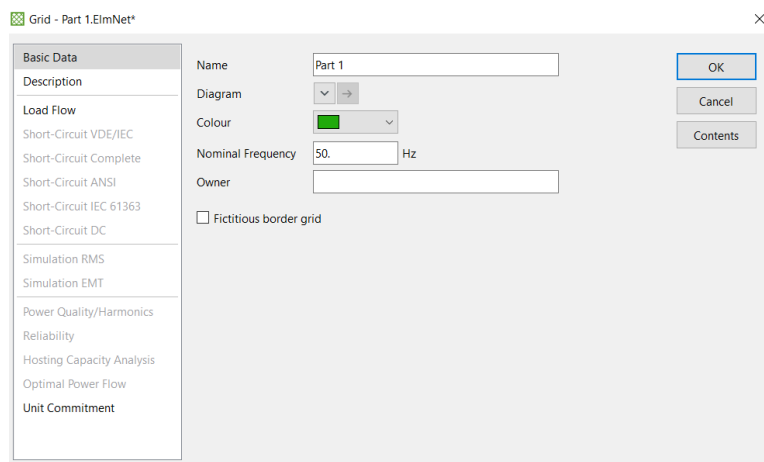


Πατώντας την επιλογή "project", ανοίγεται το παρακάτω παράθυρο, στο οποίο μπορούμε να δώσουμε όνομα, στη συγκεκριμένη περίπτωση θα δώσουμε το όνομα "thesis\_project".



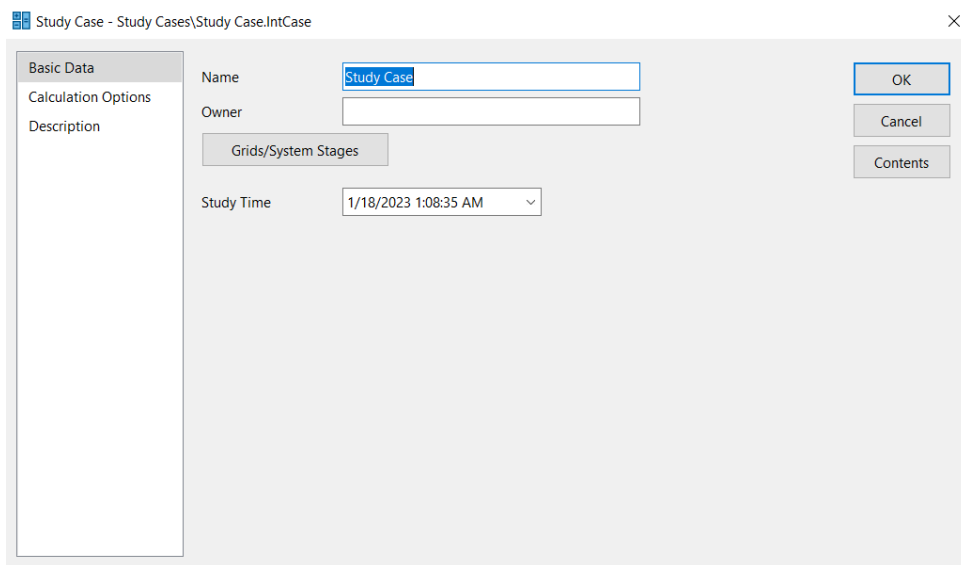
Εικόνα 29: Αλλαγή ονόματος project στο Power Factory

Στη συνέχεια δημιουργείται ένα φάκελος grid γιατί κάθε project χρειάζεται ένα πλέγμα (grid), το οποίο εντάσσεται στο σύστημα ηλεκτρικής ενέργειας. Θα ονομάσουμε το πλέγμα "Part 1" και θα διαλέξουμε ενδεικτικά το πράσινο χρώμα, ορίζοντας την ονομαστική συχνότητα στα 50 Hz όπως φαίνεται παρακάτω.



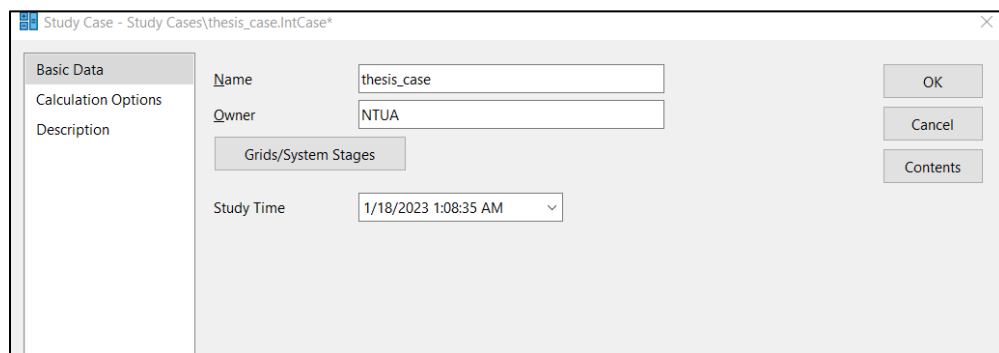
Εικόνα 30: Φάκελος grid στο καινούριο project

Ο φάκελος grid που δημιουργείται συνοδεύεται από μία study case της οποίας τον φάκελο μπορούμε να προσπελάσουμε και να επεξεργαστούμε. Αν θέλουμε π.χ. να αλλάξουμε το όνομα της ,πατάμε edit →project data →study case...Ανοίγει ο φάκελος όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία.



Εικόνα 31: Φάκελος της study case

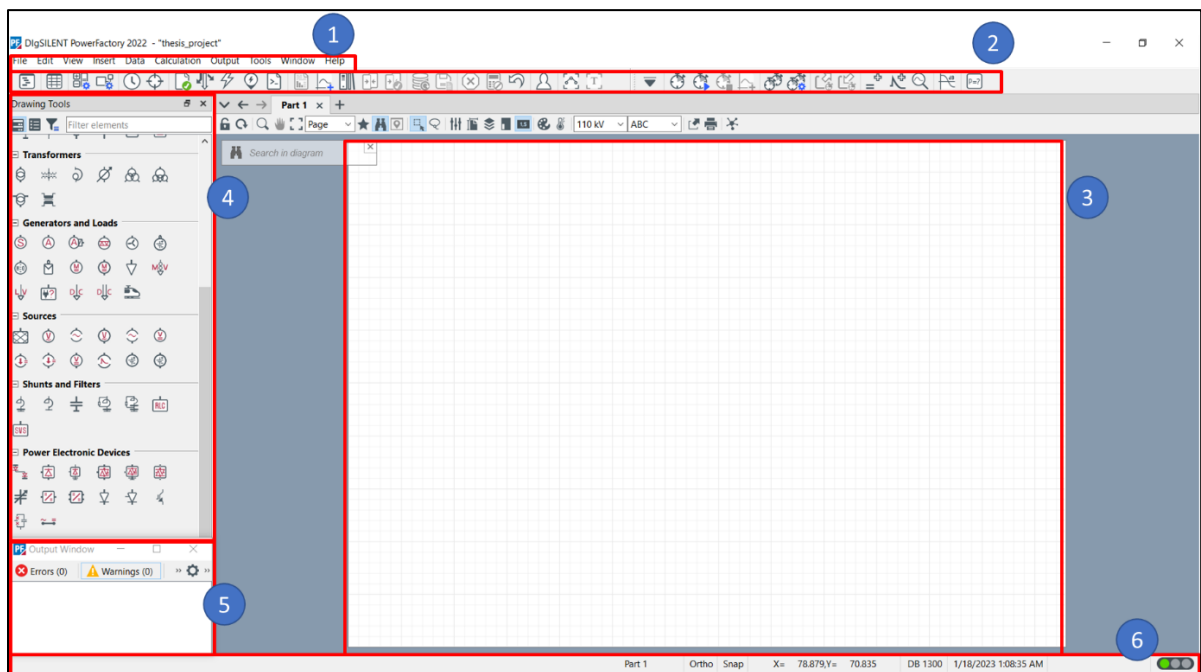
Στη συνέχεια θα αλλάξουμε το όνομα της study case σε "thesis\_case". Επίσης παρατηρούμε στην παραπάνω φωτογραφία πως αναγράφεται η ώρα δημιουργίας study time την οποία μπορούμε επίσης να επεξεργαστούμε πατώντας την επιλογή contents→ set study time.Στην παρακάτω φωτογραφία φαίνεται η αλλαγή ονόματος της study case, καθώς και επιλογή ονόματος του owner σε NTUA (προαιρετικά).



Εικόνα 32: Μετονομασία της study case

Παρατηρούμε πως δημιουργείται ο χώρος εργασίας του *Power Factory* ο οποίος περιλαμβάνει

1. τη μπάρα του κυρίου μενού (main menu bar),
2. τη μπάρα εικονιδίων για την εκτέλεση υπολογισμών (main icon bar),
3. το κενό παράθυρο γραφικών μονογραμμικού διαγράμματος (single line graphics window), το οποίο διαθέτει κατάλληλο πλέγμα για τη σχεδίαση των στοιχείων
4. τη γραμμή εργαλείων για το σχεδιασμό των στοιχείων του συστήματος (drawing tools)
5. το παράθυρο εξόδου (output window) στο οποίο παρουσιάζονται αποτελέσματα υπολογισμών, μηνύματα λάθους, και ειδοποιήσεις.
6. την μπάρα κατάστασης (status bar), όπου αναγράφεται η θέση του κέρσορα σε καρτεσιανές συντεταγμένες, το όνομα του ενεργού project καθώς και οι επιλογές ortho και snap.



7.

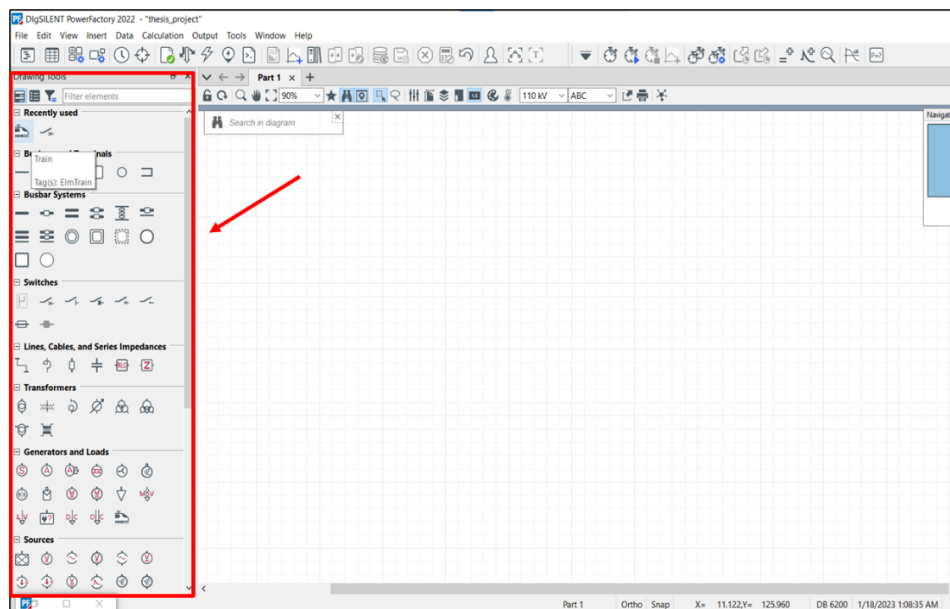
Εικόνα 33: Ο χώρος εργασίας του *Power Factory*

Ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει στα εργαλεία σχεδίασης προσφέρει το *Power Factory* καθώς παρέχεται στον χρήστη μια ιδιαίτερα μεγάλη γκάμα από ηλεκτρικά στοιχεία προκειμένου να σχεδιαστεί το μονογραμμικό διάγραμμα.

Πιο συγκεκριμένα τα εργαλεία σχεδίασης χωρίζονται στις εξής μεγάλες κατηγορίες :

- **Ζυγοί και Τερματικά (Busbars and Terminals):** περιλαμβάνει ζυγούς, κόμβους, τετράγωνους ζυγούς ,κυκλικούς ζυγούς κτλ.
- **Συστήματα Ζυγών (Busbars Systems ):** περιλαμβάνει τον απλό ζυγό ,διπλό ζυγό ,ζυγό με bypass ,τους πρωτεύοντες και δευτερεύοντες υποσταθμούς κτλ.
- Διακόπτες (Switches): περιλαμβάνει τους διακόπτες κυκλώματος ,τους αποξεύκτες φορτίου , τις ασφάλειες κτλ.
- **Γραμμές, Καλώδια και Σειριακές Αντιστάσεις (Lines , Cables , and Series Impedances):** περιλαμβάνει τις γραμμές καλωδίων ,τους σειριακούς αντιστάτες ,τους σειριακούς πυκνωτές κτλ.
- **Μετασχηματιστές (Transformers):** περιλαμβάνει μια γκάμα μετασχηματιστών όπως διπλής περιέλιξης, τριπλής περιέλιξης ,τετραπλής περιέλιξης ,τους βηματικούς ρυθμιστές τάσης κτλ.
- **Γεννήτριες και Φορτία (Generators and Loads):** περιλαμβάνει σύγχρονες μηχανές, ασύγχρονες μηχανές, ανεμογεννήτριες, μηχανές DC, φορτία, φορτία χαμηλής τάσης ακόμα και τρένα.
- **Πηγές (Sources):** περιλαμβάνει εξωτερικές πηγές ,πηγές εναλλασσόμενου ρεύματος, πηγές συνεχούς ρεύματος ,μπαταρίες κτλ.
- **Φίλτρα διακλάδωσης (Shunts and Filters) :** ελέγχουν το ρεύμα φορτίου και εγχέουν ρεύμα στο σύστημα για την αντιστάθμιση των αρμονικών των μη γραμμικών φορτίων. Εδώ μπορούμε να βρούμε φίλτρα αρμονικών ,φίλτρα RL ,φίλτρα RLC κτλ.
- **Ηλεκτρονικές Συσκευές Ισχύος (Power Electronic Devices):**περιλαμβάνει ανορθωτές/ρεκτιφίε ,διαμορφωτές πλάτους παλμού (PWM converter) ,μετατροπείς συνεχούς/συνεχούς ρεύματος κτλ.
- **Συσκευές προστασίας (Protection Devices):** περιλαμβάνει ρελέ, μετασχηματιστή τάσης, μετασχηματιστή ρεύματος κτλ.
- **Στοιχεία Γείωσης (Grounding Elements):** περιλαμβάνει διακόπτες γείωσης ,απαγωγείς υπερτάσεων κτλ.
- **Πρότυπα (Templates):** περιλαμβάνει διάφορα πρότυπα στοιχεία του Power Factory όπως φωτοβολταϊκά ,αεροτουρμπίνες, συστήματα ατμού/αερίου/πετρελαίου κτλ.
- **Σχολιασμοί (Annotations):** περιλαμβάνει διάφορα στοιχεία σχολιασμού του μονογραμμικού διαγράμματος με σκοπό αυτό να καταστεί όσο το δυνατόν ευανάγνωστο, όπως εισαγωγή εικόνων ,βελών, κειμένου κτλ.

Όλες οι κατηγορίες στοιχείων που μπορεί να χρησιμοποιήσει ο χρήστης στο μονογραμμικό διάγραμμα φαίνονται στην παρακάτω φωτογραφία.



Εικόνα 34: Εργαλεία Σχεδίασης του Power Factory

Σημειώνεται πως οι πληροφορίες που παρέχονται στο παρόν κεφάλαιο αποτελούν μια εισαγωγή μόνο στο Power Factory. Ο χρήστης μπορεί να βρει πολλές διαθέσιμες πληροφορίες ανάλογα με το θέμα αναζήτησης στην διεύθυνση <https://www.digsilent.de/en/downloads.html>

Πιο συγκεκριμένα μπορεί να έχει πρόσβαση στα:

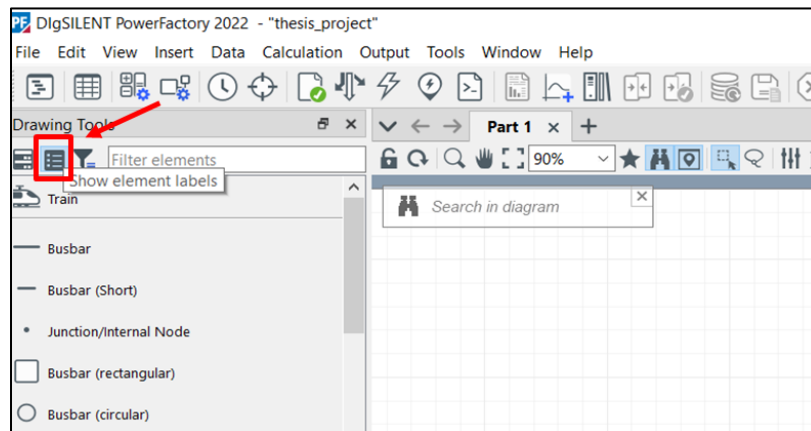
- **Βοηθήματα (Tutorials):** παρέχουν βήμα-βήμα περιγραφή διαφόρων παραδειγμάτων στο Power Factory. Πατάμε Help → Tutorial...
- **Παραδείγματα (Examples):** παρέχουν μια λίστα από παραδείγματα υπολογιστικών εφαρμογών του Power Factory. Κάθε παράδειγμα συνοδεύεται από ένα pdf αρχείο κατανόησης και επεξηγήσεων. Πατάμε File → Examples...
- **Εγχειρίδιο Χρήσης (User Manual):** όλες οι εφαρμογές, τα αντικείμενα και οι ρυθμίσεις του Power Factory περιγράφονται στο εγχειρίδιο χρήσης του Power Factory. Πατάμε για πρόσβαση Help → User Manual...
- **Τεχνικές αναφορές (Technical References):** όλες οι περιγραφές των μοντέλων που εφαρμόζονται στο Power Factory. Πατάμε Help → Technical References...
- **Τι νέο υπάρχει (What's New):** αρχεία και βίντεο που συνοδεύουν κάθε νέα έκδοση του Power Factory. Help → What's New
- **Στοιχεία Κώδικα (Scripting references):** περιλαμβάνει αναλυτική περιγραφή των εντολών Python και DPL που χρησιμοποιεί το Power Factory. Πατάμε Help → Scripting References

## 2.2 Δημιουργία δικτύου στο Power Factory

Τώρα που έχουμε δημιουργήσει ένα project από το κεφάλαιο 2.1.3 μπορούμε να ξεκινήσουμε τη δημιουργία ενός σχετικά απλού δικτύου (network).

### 2.2.1 Εισαγωγή ηλεκτρικών στοιχείων

1. Αρχικά κάνουμε κλικ στα εργαλεία σχεδίασης όπως φαίνονται στην εικόνα 11 για να εμφανιστεί η λίστα των στοιχείων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο σχέδιο.
2. Θα χρησιμοποιήσουμε ζυγούς, γραμμές καλωδίων, μετασχηματιστές και μια σύγχρονη γεννήτρια. Πάρτε μερικά λεπτά να εντοπίσετε τα στοιχεία αυτά στη γραμμή εργαλείων. Το όνομα κάθε στοιχείου εμφανίζεται όταν ο κέρσορας περνάει από πάνω του, αλλά μπορεί και να εμφανιστεί κάνοντας κλικ στην επιλογή show element labels, όπως φαίνεται παρακάτω.

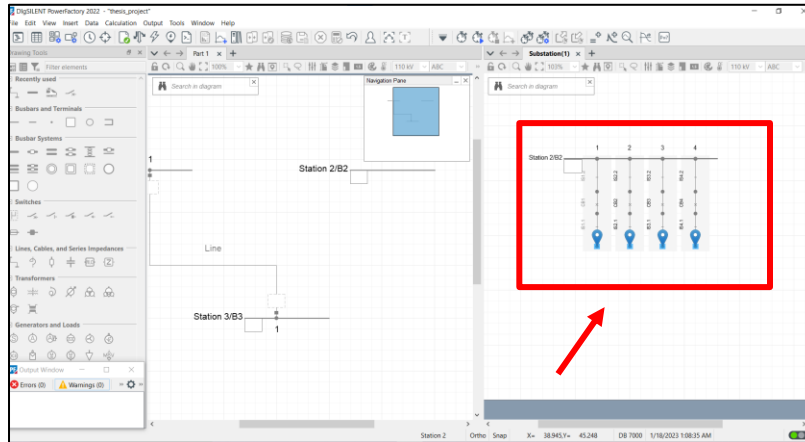


Εικόνα 35: Γραμμή Εργαλείων Drawing Tools

Αρχικά θα φτιάξουμε το αρχικό μας δίκτυο με τα παρακάτω βήματα:

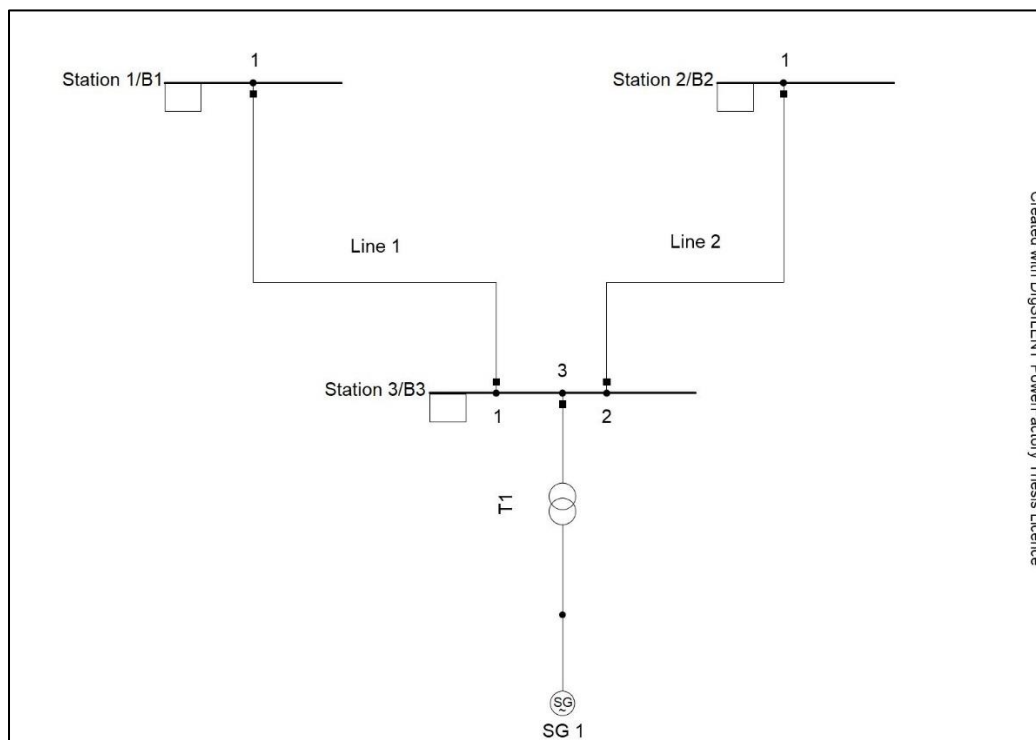
- Χρησιμοποιήστε το στοιχείο *single busbar* για τα τερματικά B1, B2 και B3.
- Χρησιμοποιήστε το στοιχείο *junction/ internal node* για να αναπαραστήσετε τον κόμβο μεταξύ της γεννήτριας και του μετασχηματιστή.
- Χρησιμοποιήστε το στοιχείο *line* για να ενώσετε τους ζυγούς μεταξύ τους (είναι καλό να έχει πατηθεί η επιλογή *ortho*). Αλλάξτε τα ονόματα όπως στην εικόνα 13.
- Προσθέστε τον μετασχηματιστή (*transformer*), τα φορτία (*loads*) καθώς και τη σύγχρονη γεννήτρια (*synchronous machine*), στο δίκτυο και αλλάξτε τα ονόματα κατάλληλα.

**Σημείωση:** όταν προσπαθήσετε να ενώσετε δύο κόμβους με την εντολή *line* ανοίγει ένα δεύτερο παράθυρο με τις λεπτομερείς υποδοχές του ζυγού. Πατήστε σε οποιαδήποτε διαθέσιμη υποδοχή για να πραγματοποιήσετε τη σύνδεση. Το ίδιο ισχύει και όταν συνδέουμε ένα μετασχηματιστή με ένα ζυγό. Η εικόνα παρακάτω θα σας βοηθήσει.



Εικόνα 36: Υποδοχές του Ζυγού 2 κατά τη σύνδεση του με την εντολή *Line*

Με το τέλος των βημάτων θα πρέπει το δίκτυο να έχει την παρακάτω μορφή:



Εικόνα 37: Μονογραμμικό Διάγραμμα για *Thesis\_Project*

Για να αλλάξετε το όνομα ενός στοιχείου , π.χ. ενός ζυγού , πατήστε διπλό κλικ πάνω στο ζυγό στο μονογραμμικό διάγραμμα. Εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο:

The screenshot shows a dialog box titled "Terminal - Part 1\Station 1\B1.ElmTerm". On the left is a tree view with categories like "Basic Data", "Load Flow", "Simulation RMS", "Arc-Flash Analysis", etc. The main area contains the following fields:

- Name: B1
- Type: (dropdown)
- Zone: (dropdown) (from Substation)
- Area: (dropdown) (from Substation)
- Substation: Part 1\Station 1
- Out of Service:
- System Type: AC
- Usage: Busbar
- Phase Technology: ABC
- Nominal Voltage:
  - Line-Line: 110. kV
  - Line-Ground: 63.50853 kV
- Earthed:

Buttons on the right include OK, Cancel, Jump to..., and Cubicles.

Εικόνα 38:Αλλαγή ονόματος ζυγού (busbar)

Από εδώ μπορείτε να αλλάξετε το όνομα του ζυγού σε "B1", από "Busbar", που ήταν αρχικά. Μπορείτε να δώσετε και όποιο άλλο όνομα θέλετε. Επίσης μπορείτε να αλλάξετε την τάση του ζυγού από την επιλογή nominal voltage ,και το όνομα του υποσταθμού(substation).

Πατήστε κλικ στην επιλογή *substation* όπως φαίνεται στην παραπάνω φωτογραφία. Θα ανοίξει το παρακάτω παράθυρο.

The screenshot shows a dialog box titled "Substation - Part 1\S1.ElmSubstat\*". On the left is a tree view with categories like "Basic Data", "Arc-Flash Analysis", "Reliability", "Description". The main area contains the following fields:

- Name: Station 1
- Short Name: S1
- Diagram: (dropdown) Diagrams\Substation
- Default Zone: (dropdown)
- Default Area: (dropdown)
- Nominal Voltage: 110. kV

Buttons on the right include OK, Cancel, and Contents.

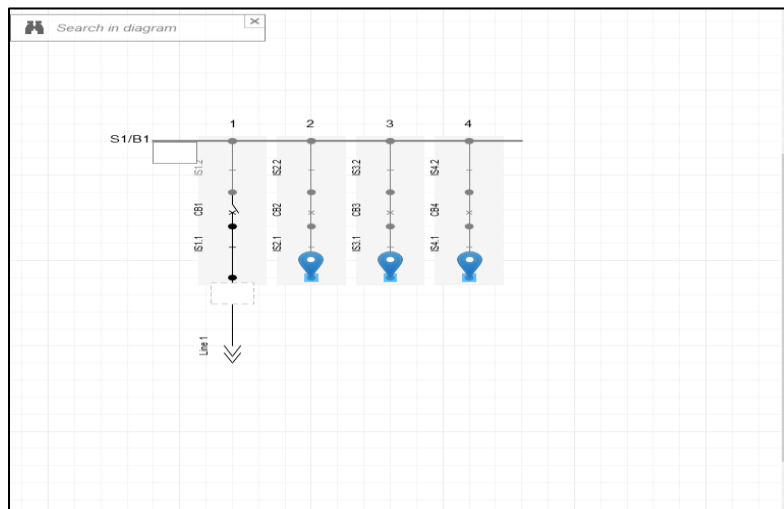
Εικόνα 39:Αλλαγή ονόματος υποσταθμού (substation)



- Στην επιλογή name γράψτε "Station 1" και στην επιλογή short name γράψτε "S1".
- Πατήστε OK.
- Αλλάξτε τα ονόματα όλων των στοιχείων με τον ίδιο τρόπο.

Τέλος θα προσθέσουμε και τα δύο φορτία στο δίκτυό μας ,ώστε να πάρει την τελική του μορφή.

- Διαλέξτε το φορτίο *general load* από την κατηγορία *Generators and Loads*.
- Πατήστε οπουδήποτε πάνω στον πρώτο ζυγό (B1).
- Θα ανοίξει το παράθυρο με τις διαθέσιμες συνδέσεις όπως φαίνεται παρακάτω.
- Πατήστε πάνω σε οποιαδήποτε διαθέσιμη σύνδεση.



Εικόνα 40: Διαθέσιμες Συνδέσεις Ζυγού B1

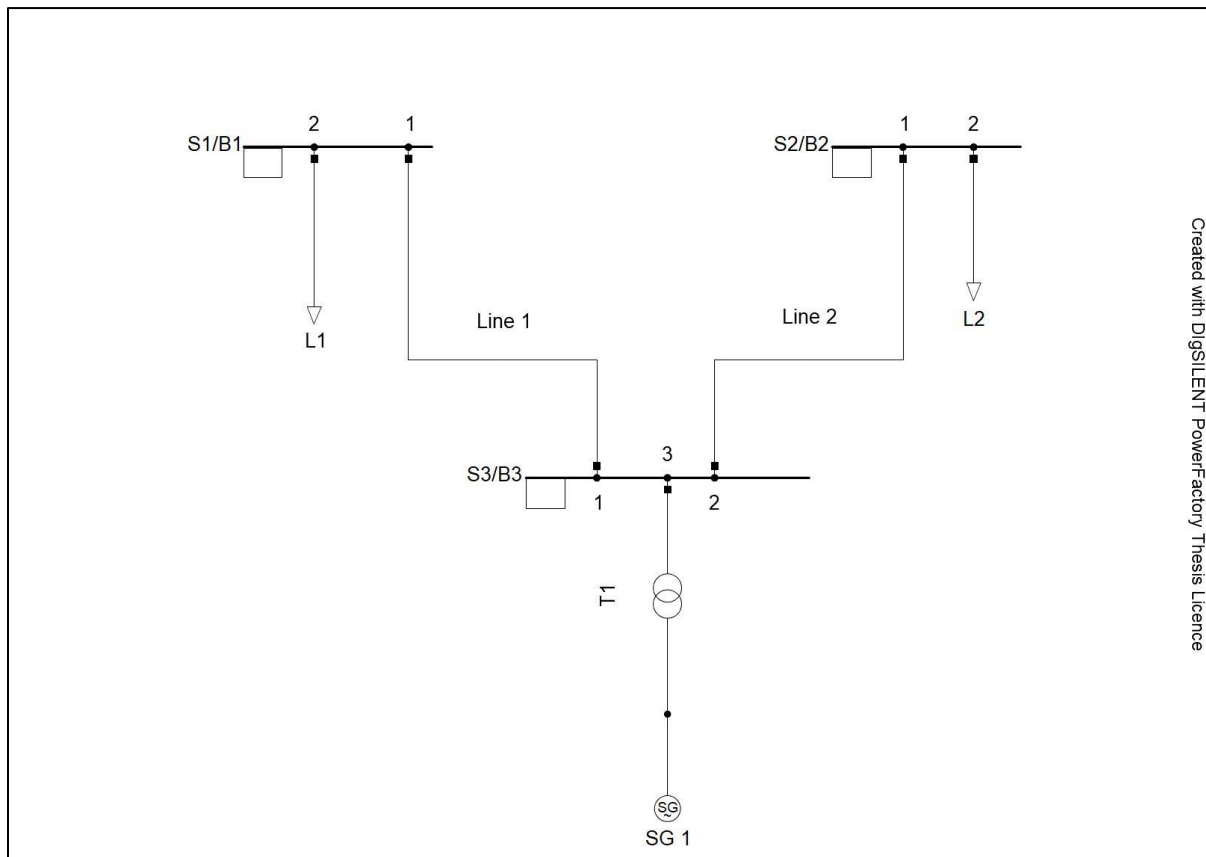
Κάντε το ίδιο και για τον δεύτερο ζυγό (B2). Για την αλλαγή ονομασίας των φορτίων πατώντας διπλό κλικ πάνω τους, εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο, π.χ. για το πρώτο φορτίο.



Εικόνα 41: Ονομασία φορτίου (Load)

- Στην επιλογή Name πατήστε L1.
- Πατήστε OK.
- Κάντε το ίδιο για το δεύτερο φορτίο, και ονομάστε το L2.

Μετά το πέρας όλων των διεργασιών θα πρέπει το δίκτυο να έχει την παρακάτω μορφή.



Εικόνα 42: Τελική Μορφή του Δικτύου στο Power Factory

**Σημείωση:** Υπάρχει πιθανότητα οι ετικέτες στην εικόνα 18 (π.χ. L1, Line 1, SG 1 κτλ.) να φαίνονται μεγαλύτερες από ότι στο δικό σας project. Στο τέλος του κεφαλαίου θα δείξουμε πως μπορείτε μόνοι σας να αλλάζετε τα μεγέθη των συμβολοσειρών.

**Σημείωση:** Όπως φαίνεται όλα τα στοιχεία στο διάγραμμα είναι με μαύρο χρώμα. Αυτό σημαίνει πως όλα τα στοιχεία είναι ενεργοποιημένα. Στο Power Factory όταν ένα στοιχείο είναι απενεργοποιημένο, τότε εμφανίζεται με γκρι χρώμα βάση των εργοστασιακών ρυθμίσεων.

## 2.2.2.Εισαγωγή των Παραμέτρων

Στο κεφάλαιο αυτό, αφού έχουμε δημιουργήσει το δίκτυό μας, θα δούμε πως να εισάγουμε τις παραμέτρους των διαφόρων στοιχείων ,όπως για παράδειγμα την ονομαστική τάση και την ισχύ.

Θα χρησιμοποιήσουμε τον παρακάτω πίνακα:

Όνομα	Τάση
B1	110 kV
B2	110 kV
B3	110 kV
Node	10.5 kV

Πίνακας 6:Ζυγοί/Τερματικά

Για τον ζυγό B1για παράδειγμα ,πατώντας διπλό κλικ οπουδήποτε πάνω του ,ανοίγει το παρακάτω παράθυρο:

The screenshot shows a dialog box titled "Terminal - Part 1\S1\B1.ElmTerm". On the left is a tree view with categories like "Basic Data", "Load Flow", "Short-Circuit VDE/IEC", "Simulation RMS", "Arc-Flash Analysis", etc. The main area contains the following fields:

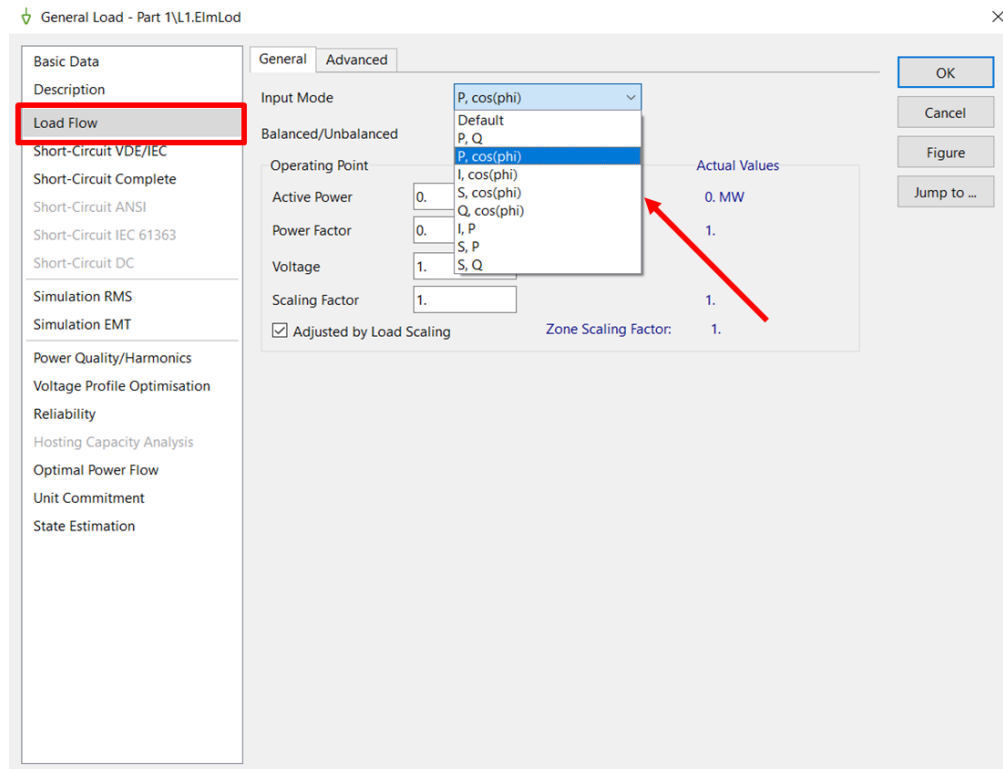
- Name: B1
- Type: (dropdown)
- Zone: (dropdown)
- Area: (dropdown)
- Substation: Part 1\S1
- Out of Service:
- System Type: AC
- Usage: Busbar
- Phase Technology: ABC
- Nominal Voltage:
  - Line-Line: 110.0 kV
  - Line-Ground: 63.50853 kV
- Earthed:

Buttons on the right include OK, Cancel, Jump to ..., and Cubicles.

Εικόνα 43:Ονομαστική Τάση Ζυγού

Στην επιλογή Nominal Voltage βλέπουμε πως η τάση είναι 110 kV ,οπότε την αφήνουμε ως έχει.

Όσον αφορά τα φορτία (loads) ,επιλογή του του τρόπου εισόδου των δεδομένων μπορεί να γίνει από την καρτέλα *load flow* ,όπως φαίνεται παρακάτω:



Παρατηρούμε πως υπάρχουν αρκετές επιλογές για τον τρόπο εισόδου των δεδομένων. Εμείς εδώ θα επιλέξουμε να βάλουμε σαν είσοδο την ενεργό ισχύ ,μαζί με έναν συντελεστή ισχύος ( $P, \cos(\phi)$ ).

- Πατήστε πάνω στο φορτίο L1.
- Πηγαίνετε στην καρτέλα *Load Flow*.
- Στην κατηγορία *General* ,στην επιλογή *Input Mode* ,επιλέξτε  $P, \cos(\phi)$ .

Για την εισαγωγή των δεδομένων των φορτίων θα χρησιμοποιήσουμε τον παρακάτω πίνακα:

Όνομα	Ενεργός Ισχύς	Συντελεστής Ισχύος
L1	20 MW	0.9(ind.)
L2	22 MW	0.85(ind.)

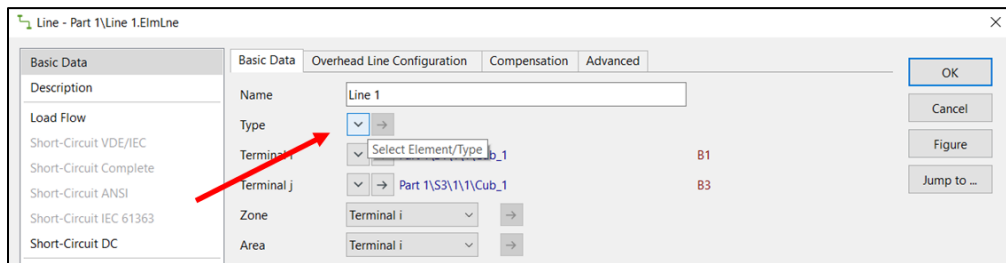
Πίνακας 7: Φορτία (Loads)

Στην επιλογή active power ,πατήστε 20 MW ,και στην επιλογή power factor ,πατήστε 0.9. Πατήστε OK. Κάντε το ίδιο για το φορτίο L2 ,εισάγοντας τις τιμές του πίνακα.

Στη συνέχεια θα εισάγουμε τις παραμέτρους για τις γραμμές (lines), τον μετασχηματιστή(transformer) και τη γεννήτρια(generator). Τα στοιχεία αυτά διαφέρουν από τους ζυγούς και τα φορτία ,με την έννοια πως απαιτείται να προσδιοριστεί ο τύπος τους (type).Όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω το *Power Factory* παρέχει μια σχετικά μεγάλη βιβλιοθήκη με τύπους ηλεκτρικών στοιχείων και αυτήν ακριβώς θα χρησιμοποιήσουμε για να εισάγουμε τους τύπους για τη γεννήτρια και τα καλώδια αρχικά.

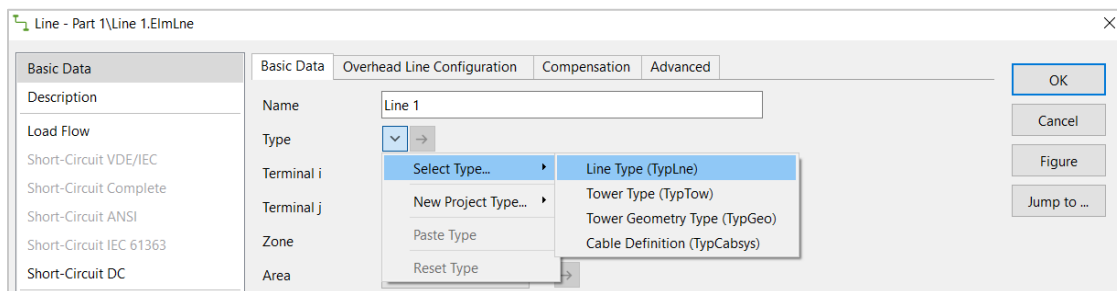
Με τον όρο *τύπος* (type),εννοούμε τα δεδομένα που μπορούν τυπικά να βρεθούν στο εγχειρίδιο που παρέχεται από τον κατασκευαστή και είναι κοινό για διάφορα ηλεκτρικά στοιχεία (π.χ. ονομαστική τάση , αντίσταση κτλ.).

Για να εισάγετε έναν τύπο δεδομένων π.χ. για τη γραμμή 1 ,πατήστε διπλό κλικ οπουδήποτε πάνω στη γραμμή για να ανοίξει η καρτέλα της .Στην επιλογή *type* επιλέξτε το βελάκι *select element/type* όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Πίνακας 8:Εισαγωγή δεδομένων καλωδίων (1)

Στη συνέχεια επιλέξτε *select type...* και έπειτα *Line Type* .



Πίνακας 9:Εισαγωγή Δεδομένων καλωδίων (2)

Αφού επιλέξετε τον τύπο που θέλετε πατήστε το κουμπί **DIg SILENT Library** και στη συνέχεια πατήστε **OK**.

- Προσπελάστε τους φακέλους Equipment Types/Cables/110 kV/Cu/VPE
- Βρείτε το καλώδιο που επιθυμείτε (εδώ το πρώτο στη λίστα).
- Πατήστε διπλό κλικ πάνω αριστερά του καλωδίου(εικόνα 20). Πατήστε OK.

Ακολουθεί ο πίνακας με τα δεδομένα των καλωδίων ,όπου εκτός των άλλων αναγράφεται και το μήκος κάθε γραμμής σε km.

Όνομα	Τύπος	Μήκος
Line 1	N2XS(FL)2Y 1x1000RM/50 64/110kV it	5 km
Line 2	N2XS(FL)2Y 1x1000RM/50 64/110kV it	7 km

Πίνακας 10:Γραμμές/Καλώδια

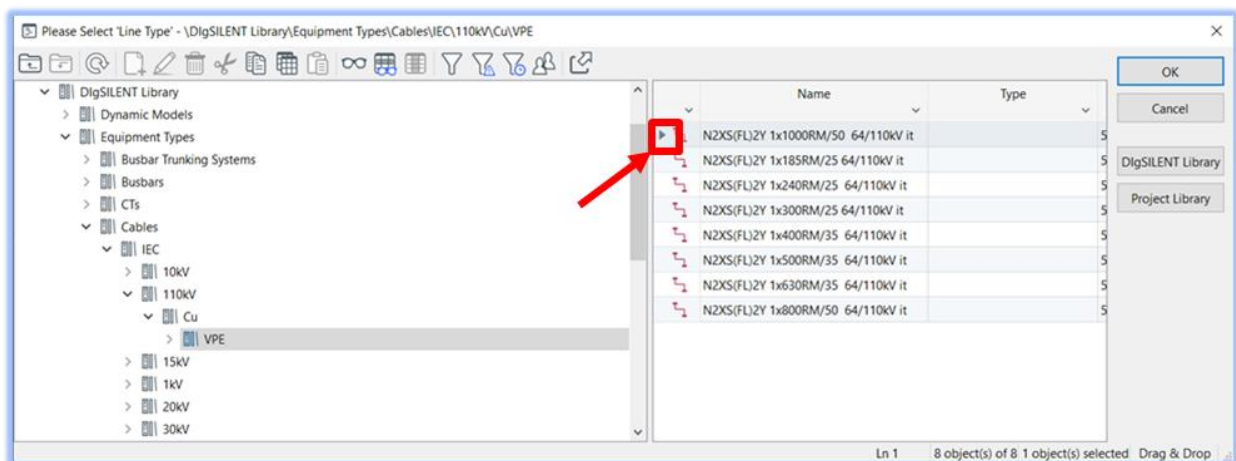
(<sup>1</sup>) Ο τύπος "N2XS(FL)2Y 1x1000RM/50 64/110kV it " βρίσκεται στον φάκελο *Equipment Types/Cables/IEC/110kV/Cu/VPE*.

Στη συνέχεια θα εισάγουμε τα δεδομένα της σύγχρονης γεννήτριας. Ακολουθήστε τα δεδομένα όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Όνομα	Τύπος	Ονομαστική Ισχύς	Τάση
SG1	50 MVA ST	40 MW	1.00 p.u.

Πίνακας 11:Γεννήτρια (Generator)

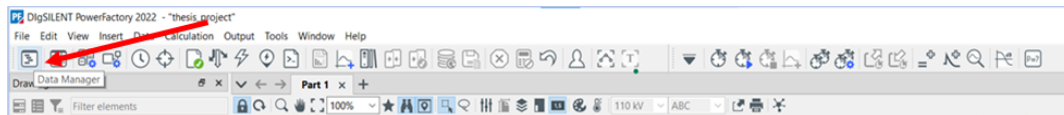
(<sup>2</sup>) Ο τύπος γεννήτριας "50 MVA ST" βρίσκεται στον φάκελο *Equipment Types/Synchronous Machines*.



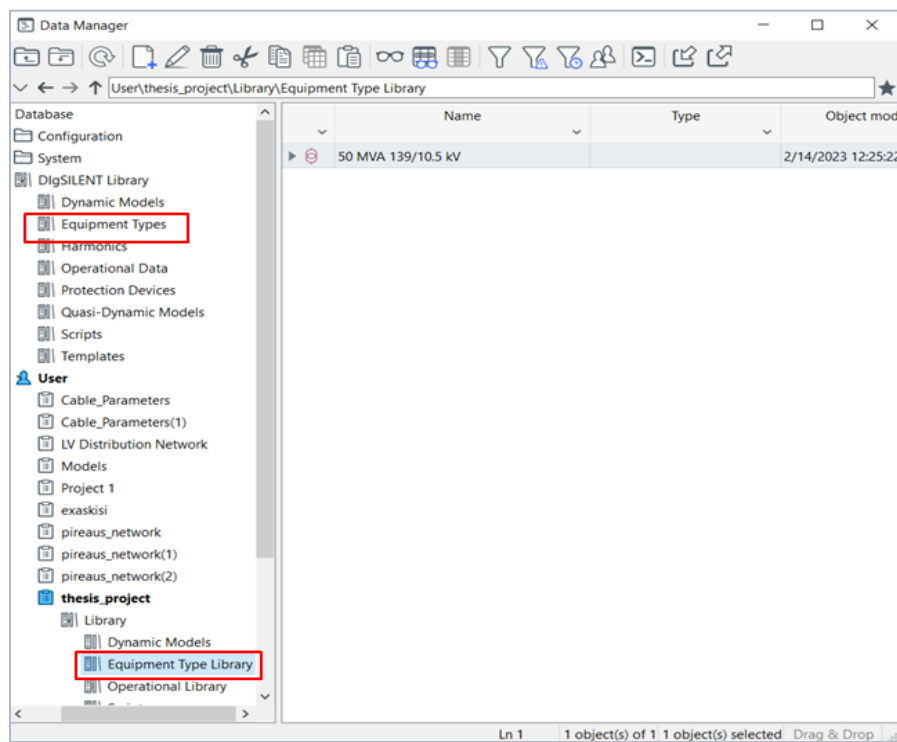
Εικόνα 44:Τύπος Καλωδίου

Για τον μετασχηματιστή θα ακολουθήσουμε μια λίγο διαφορετική προσέγγιση. Τα μοντέλα μετασχηματιστών που υπάρχουν στη βιβλιοθήκη του Power Factory δεν ικανοποιούν τις ανάγκες του δικτύου μας (110/10.5 kV).Επομένως αυτό που θα κάνουμε ,είναι να αντιγράψουμε ένα μοντέλο μετασχηματιστή από την βιβλιοθήκη DIg SILENT και στη συνέχεια να το τροποποιήσουμε ,ώστε να ταιριάζει στις ανάγκες του δικτύου μας. Ακολουθήστε τα παρακάτω βήματα έχοντας σαν αναφορά και την εικόνα 21:

- Ανοίξτε τον Data Manager πατώντας στο εικονίδιο *Open Data Manager* κεντρικό μενού



- Πηγαίνετε στη βιβλιοθήκη της DIg SILENT και αντιγράψτε (copy) τον τύπο μετασχηματιστή “50 MVA 139/10.5 kV”,ο οποίος βρίσκεται στον φάκελο *Equipment Types/Transformers/2-Winding-Transformers/50Hz/Unit*.
- Κάντε επικόλληση του αντικειμένου στον κατάλογο *Equipment Type Library* μέσα στο project σας (Δεξί κλικ→Paste).



Εικόνα 45: Βιβλιοθήκες στον Data Manager

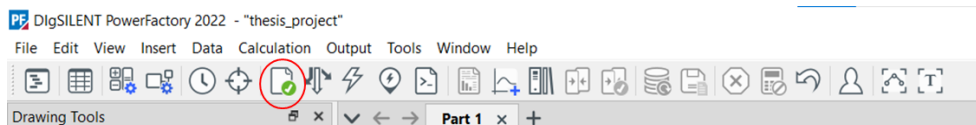
- Ανοίξτε το αντιγραμμένο αντικείμενο και αλλάξτε το όνομα σε “50 MVA 110/10.5 kV”, και στην επιλογή HV-side ,πατήστε 110 kV.
- Πατήστε OK.
- Εισάγετε το μοντέλο που μόλις δημιουργήσατε στον μετασχηματιστή T1 ,πατώντας διπλό κλικ πάνω του και στη συνέχεια Type→Select Project Type→Project Library.
- Πατήστε OK.

### 2.2.3.Επικύρωση Δεδομένων

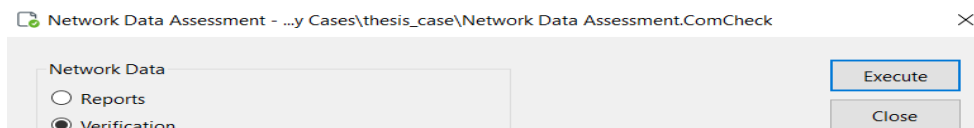
Στο κεφάλαιο αυτό θα χρησιμοποιήσουμε την εντολή Network Data Assessment για να επικυρώσουμε την ορθή εισαγωγή των δεδομένων στο δίκτυό μας και να ελέγξουμε την τοπολογία του δικτύου.

Η διαδικασία αυτή γίνεται ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

- Πατήστε στο εικονίδιο Network Data Assessment για να ανοίξει η καρτέλα της εντολής.



- Στις επιλογές Network Data διαλέξετε Verification.



- Πατήστε εκτέλεση (execute)
- Θα πρέπει να εμφανιστεί στην οθόνη το ακόλουθο μήνυμα στο παράθυρο εξόδου:

```

i Test for inconsistent data finished. No errors were found.
i Verification of element data.
i Test for inconsistent data finished. No errors were found.

```

Αφού ελέγξαμε την ορθή εισαγωγή των δεδομένων ,είναι χρήσιμο να ελέγξουμε και την τοπολογία του δικτύου.

- Πατήστε πάλι στο εικονίδιο Network Data Assessment.
- Επιλέξτε Verification → Topology.
- Πατήστε εκτέλεση (execute).



Ένα παράδειγμα μηνύματος λάθους είναι το εξής:

- ✘ Part 1\SG 1.ElmSym:  
Nominal voltage differs by -90.45 % from bus voltage!
- ✘ Part 1\T1.ElmTr2:  
Nominal voltage differs by -90.45 % from bus voltage!
- ✘ Verification of topology has finished, faulty objects were found.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η τάση στον κόμβο πριν τη γεννήτρια παρέμεινε 110 kV ,ενώ κανονικά θα έπρεπε να είναι 10.5 kV σύμφωνα με τα δεδομένα που εισάγαμε. Πατώντας διπλό κλικ πάνω στον κόμβο (node) και από την επιλογή nominal voltage ,μπορούμε να αλλάξουμε την ονομαστική του τάση σε 10.5 kV.

Αν επαναλάβουμε τώρα τη διαδικασία για τον έλεγχο της τοπολογίας ,θα δούμε πως εμφανίζεται στην οθόνη του παραθύρου εξόδου το παρακάτω μήνυμα:

- ℹ Verification of topology.
- ℹ Element 'SG 1' is local reference in separated area of 'Terminal'
- ℹ Verification of topology successfully finished.

Το μήνυμα αναφέρει πως ο έλεγχος πραγματοποιήθηκε με επιτυχία και πως η σύγχρονη γεννήτρια είναι το στοιχείο αναφοράς ,καθώς ως τέτοιο έχει οριστεί και είναι το μόνο στοιχείο που θα μπορούσε να αποτελέσει στοιχείο αναφοράς.

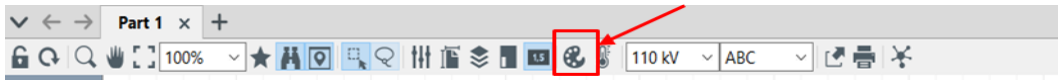
## 2.2.4. Επεξεργασία και Εξατομίκευση

Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε πως μπορούμε να επεξεργαστούμε τα στοιχεία που εμφανίζονται στο μονογραμμικό διάγραμμα του δικτύου μας, όπως για παράδειγμα το μέγεθος των γραμμάτων και των αριθμών αλλά και η προσθήκη χρωμάτων στο διάγραμμα (colouring).

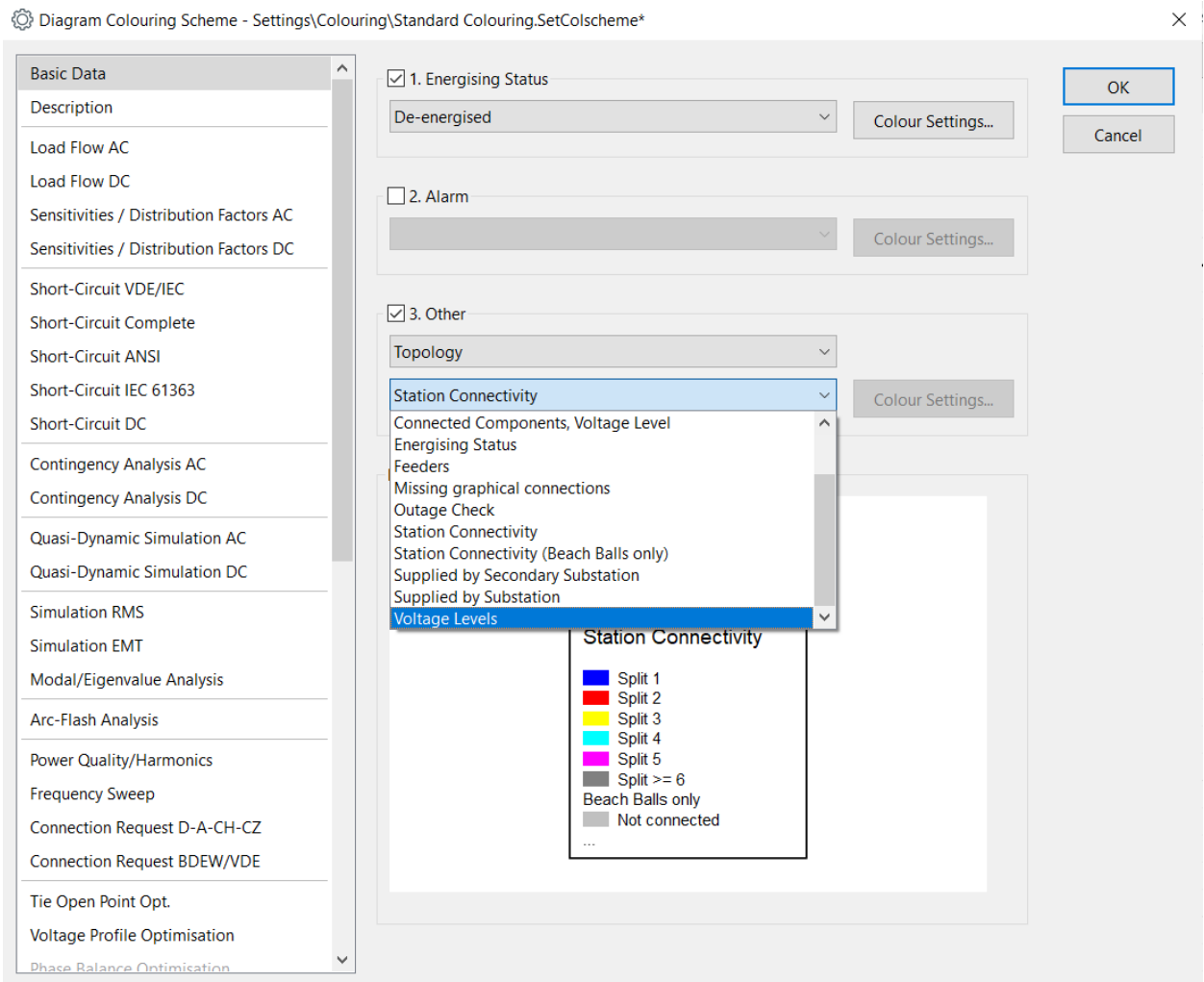
Αυτό που θα κάνουμε στο συγκεκριμένο παράδειγμα είναι να αλλάξουμε το μέγεθος της γραμματοσειράς και να χρωματίσουμε το διάγραμμα σύμφωνα με τα επίπεδα τάσης .

Για να χρωματίσετε το διάγραμμα ανάλογα με τα επίπεδα τάσης ακολουθήστε τα παρακάτω βήματα :

- Πατήστε κλικ στο εικονίδιο Colouring



- Στην καρτέλα που θα ανοίξει κάντε κλικ στην επιλογή *Other* όπως φαίνεται παρακάτω.
- Επιλέξτε *Topology* και *Voltage Levels*.



Εικόνα 46:Χρωματισμός διαγράμματος

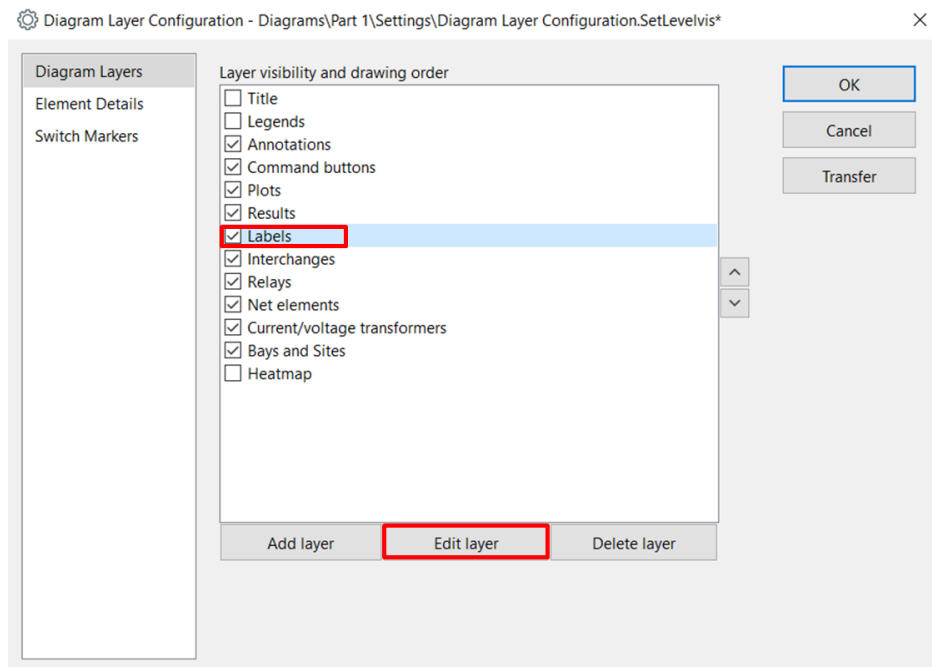
Μπορείτε να αλλάξετε τους χρωματισμούς του διαγράμματος ,πατώντας **Colour Settings**.Στην καρτέλα που ανοίγει φαίνονται τα χρώματα ,των διαφόρων επιπέδων τάσης. Στο δικό μας δίκτυο θα επιλέξουμε τα προκαθορισμένα χρώματα δηλαδή μπλε για το μέρος του δικτύου με τα 110 kV και κόκκινο για το μέρος του δικτύου με τα 10.5 kV.

Τώρα θα δούμε πως μπορούν να αλλαχθούν τα μεγέθη της γραμματοσειράς και των ετικετών:

- Πατήστε αρχικά στο εικονίδιο Layers



- Πατήστε κλικ στην επιλογή Layers και μετρά στο κουμπί Edit Layer όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 47: Διαμόρφωση Διαγράμματος

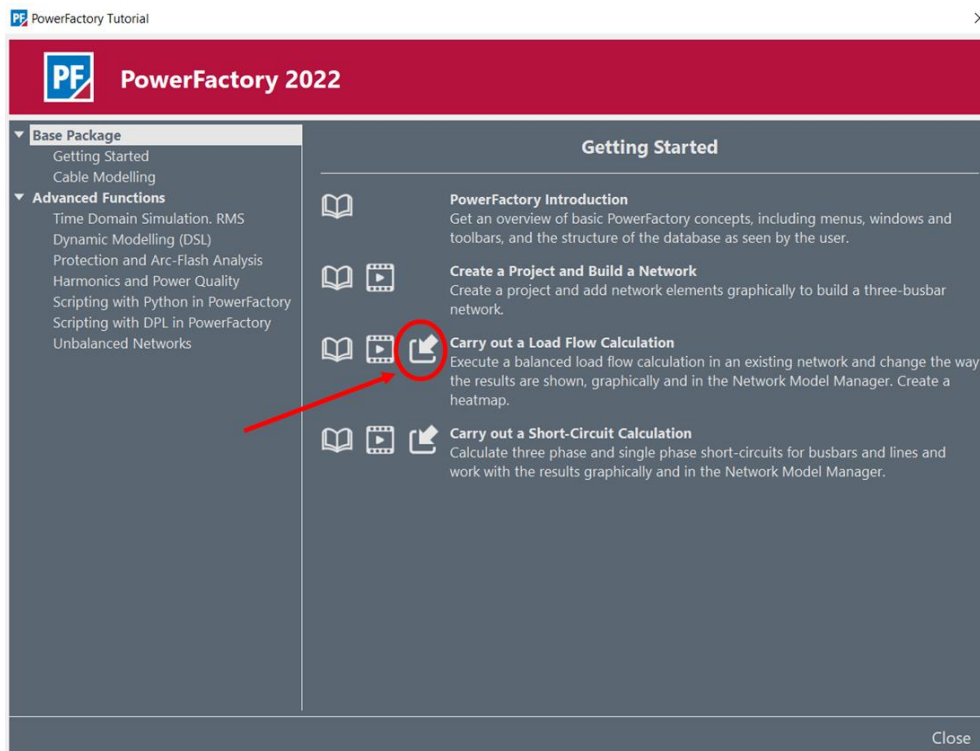
- Πατήστε στην καρτέλα Text Boxes και στη συνέχεια επιλέξτε **Change Font**.
- Αλλάξτε το μέγεθος και το είδος της γραμματοσειράς. Πατήστε **OK**.
- Το πλάτος μπορεί να ρυθμιστεί αυτόματα πατώντας στην επιλογή **Adapt Width**.

## 2.3. Υπολογισμός Ροής Φορτίου (Load Flow)




Αφού έχουμε δημιουργήσει το δίκτυο μας ,μπορούμε να προχωρήσουμε στον υπολογισμό της ροής φορτίου μια από τις πιο σημαντικές λειτουργίες του Power Factory ,και κάτι που θα χρησιμοποιήσουμε και παρακάτω.

### 2.3.1. Εισαγωγή Project


Για τον υπολογισμό ροής φορτίου το Power Factory διαθέτει συγκεκριμένο project ως παράδειγμα ,στο οποίο ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση πατώντας Help→Tutorial...Θα ανοίξει το παρακάτω παράθυρο:

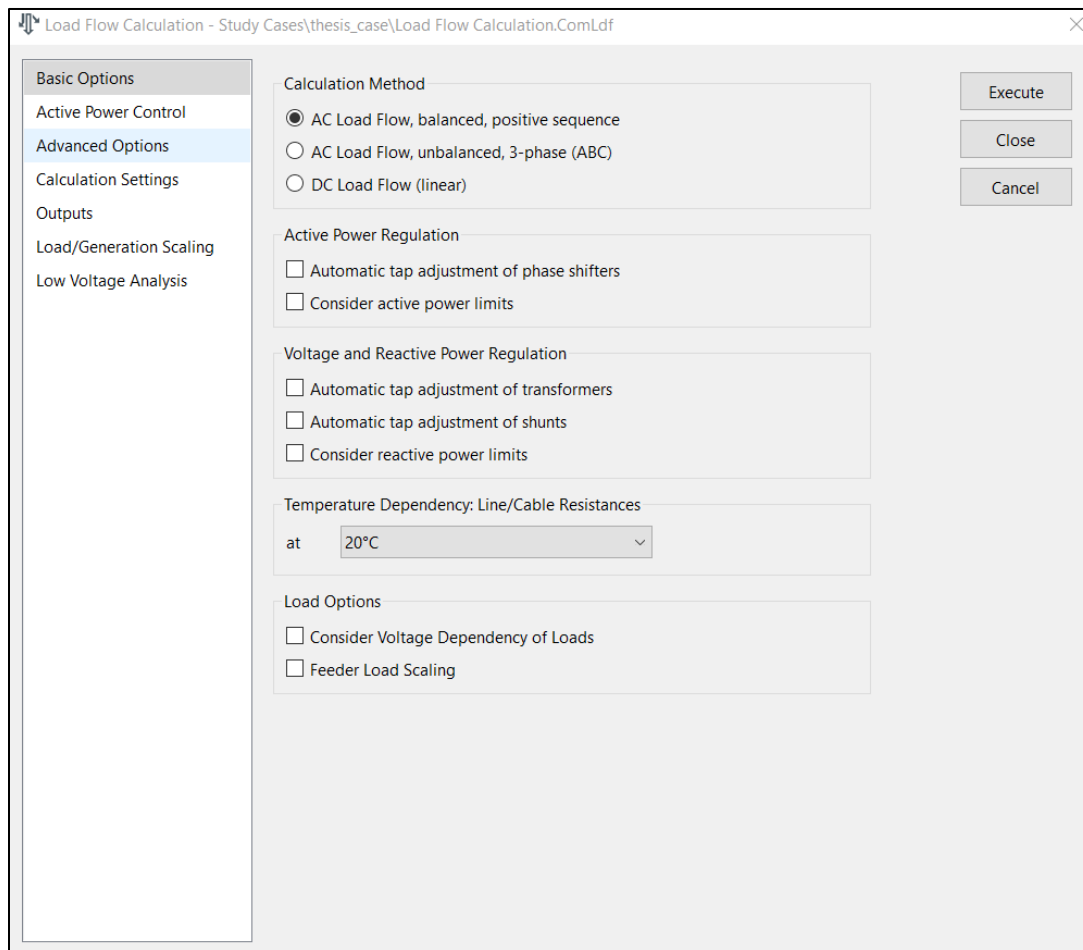


Εικόνα 48:Εισαγωγή Project στο Power Factory

- Για να ανοίξει το project πατήστε στο εικονίδιο της εικόνας .
- Για να ανοίξει το pdf του project πατήστε στο εικονίδιο με το βιβλιαράκι .
- Για το επεξηγηματικό video πατήστε στο εικονίδιο .

### 2.3.2. Εκτέλεση του υπολογισμού Ροής Φορτίου

Αφού εισάγουμε το παράδειγμα που θα χρησιμοποιήσουμε από την βιβλιοθήκη του Power Factory με τον τρόπο που δείξαμε παραπάνω είμαστε έτοιμοι να προχωρήσουμε στον υπολογισμό της ροής φορτίου. Για να ανοίξετε το παράθυρο υπολογισμού της ροής φορτίου (load flow calculation), πατήστε κλικ στο εικονίδιο .



Εικόνα 49: Παράθυρο Υπολογισμού Ροής Φορτίου

Το παράθυρο αυτό προσφέρει διάφορες επιλογές ρυθμίσεων όσον αφορά τους υπολογισμούς. Για τις ανάγκες του συγκεκριμένου παραδείγματος επιλέξτε τις παρακάτω ρυθμίσεις:

- Calculation Method: AC Load Flow, balanced, positive sequence.
- Active Power Regulation: Consider active power limits.
- Voltage and Reactive Power Regulation: Consider reactive power.

Επίσης στην επιλογή *active power control* επιλέξτε :

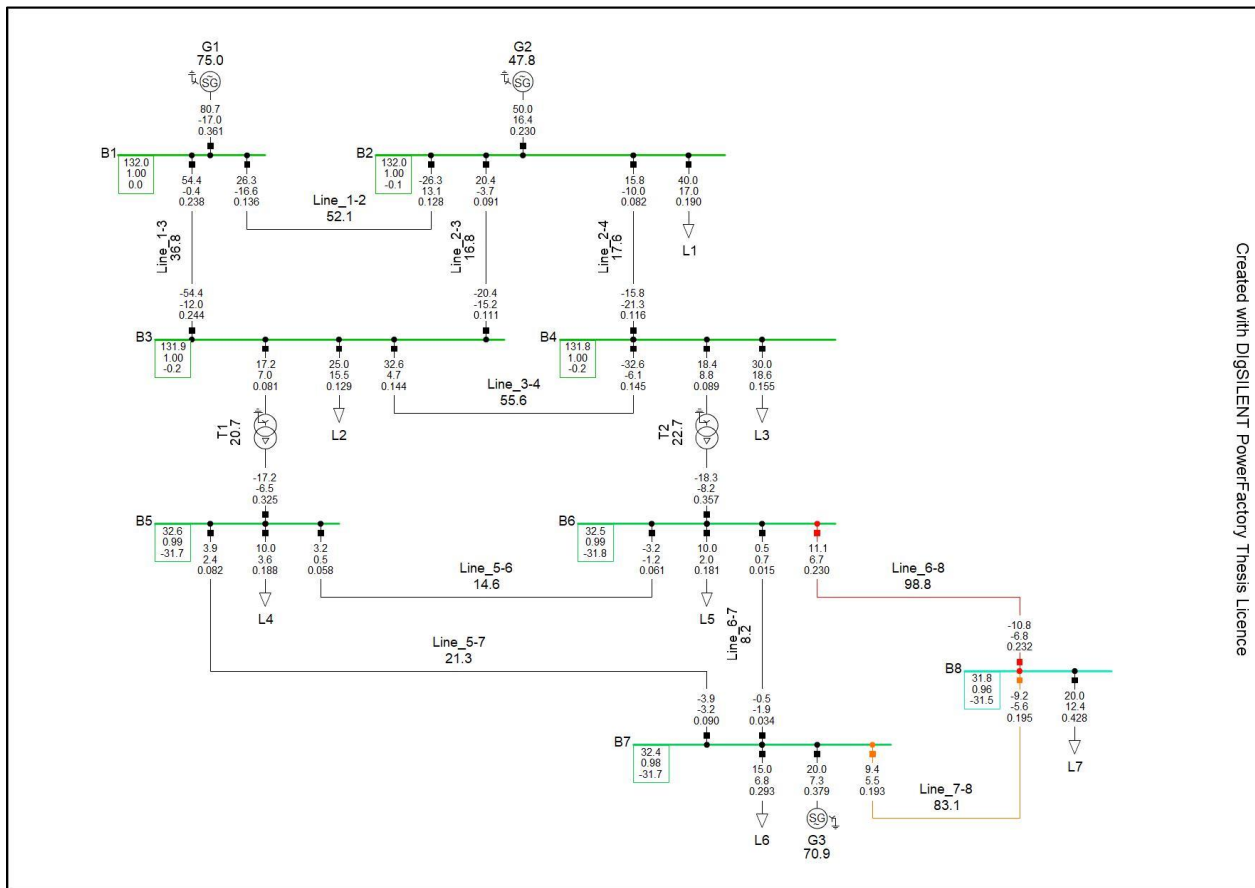
- Active Power Control: as Dispatched
- Balancing: by reference machine
- Πατήστε **Execute**.

Ο υπολογισμός της ροής του φορτίου έχει ξεκινήσει και ένα μήνυμα στο παράθυρο εξόδου ενημερώνει πως ολοκληρώθηκε με επιτυχία.

i Newton-Raphson converged with 3 iterations.  
i Load flow calculation successful.

Σημειώνουμε πως ο υπολογισμός της ροής φορτίου χρησιμοποιεί την αριθμητική μέθοδο Newton-Raphson, η ανάλυση της οποίας ξεφεύγει από τους σκοπούς του παρόντος κειμένου.

Το μονογραμμικό διάγραμμα δείχνει τα αποτελέσματα της ροής φορτίου μέσα σε κουτιά και το διάγραμμα είναι χρωματισμένο όπως φαίνεται παρακάτω :

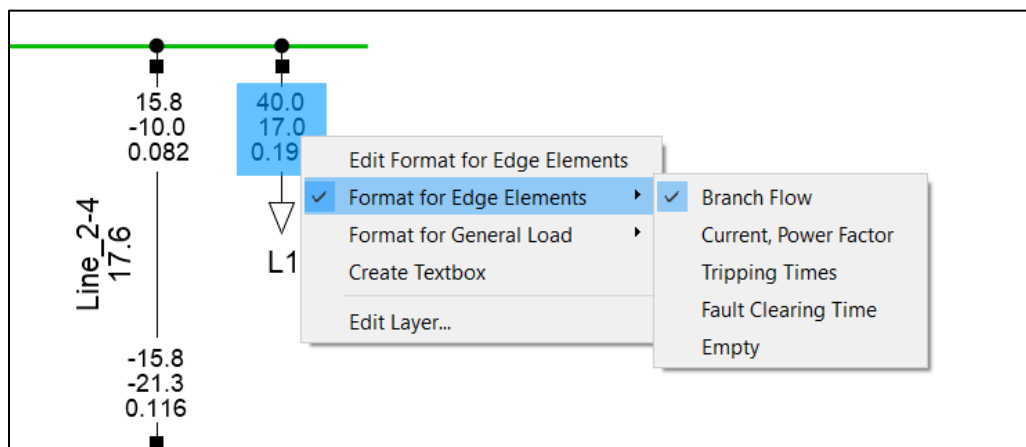


Εικόνα 50: Αποτελέσματα Υπολογισμού Ροής Φορτίου

### 2.3.3. Επεξεργασία της μορφής των αποτελεσμάτων

Το *Power Factory* συνοδεύεται από ένα εύρος επιλογών όσον αφορά την παρουσίαση και τη μορφή των αποτελεσμάτων των υπολογισμών για κάθε στοιχείο κλάσης. Υπάρχει επίσης κάποιο πλαίσιο γενικών αποτελεσμάτων για τα ακραία στοιχεία (edge elements) ,όπως π.χ. μετασχηματιστές ,καλώδια και φορτία. Οι επιλογές αυτές μπορούν να βρεθούν με τα ακόλουθα βήματα:

- Πατήστε δεξί κλικ σε ένα κουτί αποτελεσμάτων για ένα ακραίο στοιχείο και σύρετε τον κέρσορα στην επιλογή *Format for Edge Elements* όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 51: Προεπιλογές παρουσίασης αποτελεσμάτων ακραίων στοιχείων

- Αλλάξτε στην επιλογή *Current, Power Factor* και δείτε τις αλλαγές στο διάγραμμα.
- Πατήστε πάλι την επιλογή *Branch Flow*.

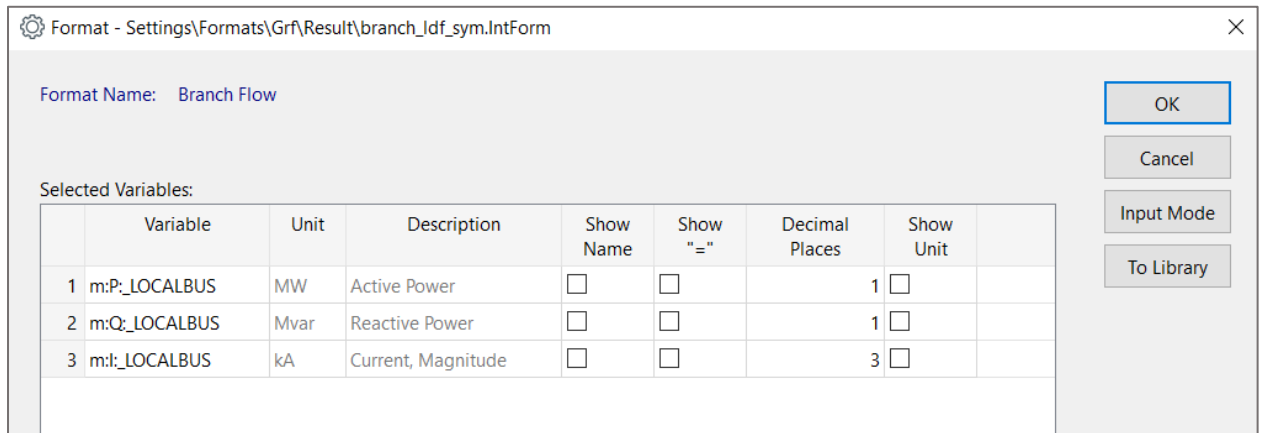
Σημειώνουμε πως στην πρώτη επιλογή (*Branch flow*) τα αποτελέσματα δείχνουν κατά σειρά την **ενεργό ισχύ (P)** ,την **άεργο ισχύ (Q)** και την **ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος (I)**. Δηλαδή στο συγκεκριμένο παράδειγμα πάνω από το στοιχείο L1 ,έχουμε  $P=40 \text{ MW}$  , $Q=17 \text{ Mvar}$  ,  $I=0.19 \text{ kA}$ .

Στη δεύτερη επιλογή (*Current, power Factor*) τα αποτελέσματα δείχνουν κατά σειρά την ένταση του **ηλεκτρικού ρεύματος (I)** και τον **συντελεστή ισχύος (P.F.)**. Δηλαδή στο συγκεκριμένο παράδειγμα πάνω από το στοιχείο L1 έχουμε  $I=0.19 \text{ kA}$  και  $P.F.=0.9$ .

Σημειώνεται επίσης πως ο χρήστης μπορεί να δει τα εικονιζόμενα μεγέθη απλά σέρνοντας τον κέρσορα πάνω στο κουτί αποτελεσμάτων χωρίς να πατήσει κλικ πουθενά.

Υπάρχει επίσης περαιτέρω επεξεργασίας και προσαρμογής των αποτελεσμάτων, ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

- Πατήστε δεξί κλικ στο κουτί ενός ακραίου στοιχείου (π.χ. μετασχηματιστή, φορτίου κτλ.) και επιλέξτε *Edit Format for Edge Elements*.
- Θα ανοίξει η καρτέλα που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα :




Εικόνα 52: Επεξεργασία Παρουσίασης Αποτελεσμάτων

- Αφαιρέστε την γραμμή Current, Magnitude πατώντας δεξί κλικ πάνω στη γραμμή και επιλέγοντας *Delete Row(s)*.

Τώρα θα τροποποιήσουμε τις ετικέτες των στοιχείων ακμής ,ώστε να περιλαμβάνουν και το ποσοστό φόρτισης.

- Πατήστε δεξί κλικ στο όνομα μιας οποιαδήποτε γραμμής και επιλέξτε *Edit Format for Edge Elements*.
- Πατήστε διπλό κλικ στο κουτί *Show Unit* για την φόρτιση.
- Επιλέξτε τον αριθμό των δεκαδικών ψηφίων (decimal places) σε «0».
- Πατήστε **OK**.


Τα κουτιά αποτελεσμάτων μπορούν και να «κρυφτούν» από το διάγραμμα ,ώστε αυτό να είναι πιο ευανάγνωστο. Αυτό γίνεται με την επιλογή Show Result Layer ,πατώντας το εικονίδιο .

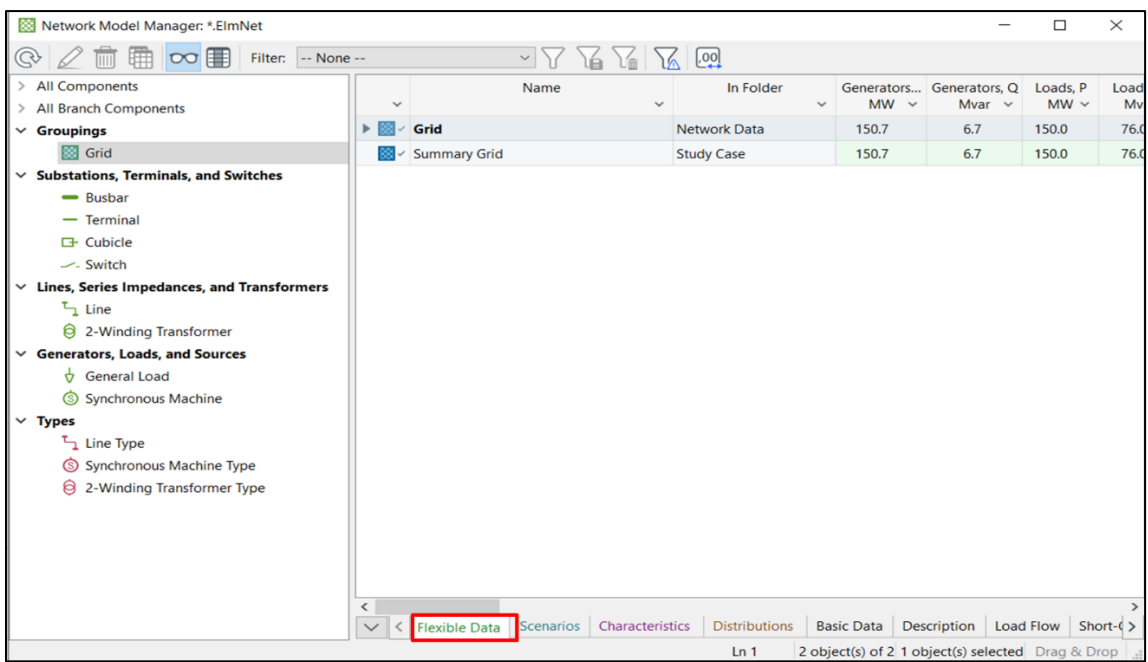
**Σημείωση:** Η σύμβαση που ακολουθείται είναι πως η ενέργεια που **εισέρχεται** σε κάποιο στοιχείο διακλάδωσης έχει **θετικό πρόσημο** ,ενώ η ενέργεια που **εξέρχεται** έχει **αρνητικό πρόσημο**. Η ίδια σύμβαση ακολουθείται για κάποιο ακραίο στοιχείο. Όσον αφορά τα στοιχεία παραγωγής ενέργειας (π.χ. γεννήτριες) ,ακολουθείται η αντίθετη σύμβαση ,δηλαδή η ενέργεια που εξέρχεται από κάποιο στοιχείο έχει θετικό πρόσημο ,και αυτή που εισέρχεται ,έχει αρνητικό πρόσημο.



### 2.3.4. Χρησιμοποιώντας το Network Model Manager



Τώρα θα χρησιμοποιήσουμε το εργαλείο Network Model Manager για να παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα των υπολογισμών σε μορφή πίνακα.

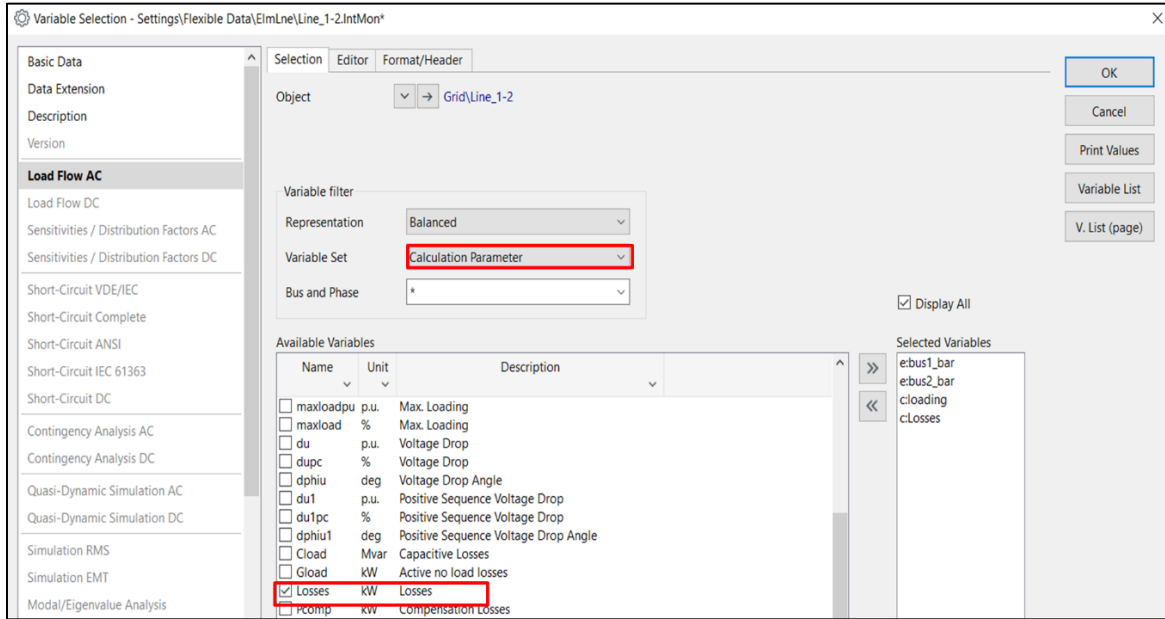
- Ανοίξτε το Network Model Manager πατώντας στο εικονίδιο  από το κεντρικό μενού.
- Η καρτέλα *Flexible Data* είναι αυτόματα επιλεγμένη όπως φαίνεται παρακάτω. Αν δεν συμβαίνει αυτό μπορεί να χρειαστεί να πραγματοποιήσετε εκ νέου τον υπολογισμό της ροής φορτίου και να προσπαθήσετε ξανά.



Εικόνα 53: Network Model Manager

Τώρα θα τροποποιήσουμε τη σελίδα flexible data ,ώστε να εμφανίζονται συγκεκριμένες μεταβλητές:

- Πατήστε κλικ στο σύμβολο γραμμής (  ) στα αριστερά του Network Model Manager.
- Πατήστε κλικ στο εικονίδιο Variable Selection (  ).
- Αφαιρέστε τις μεταβλητές `e:bus1`, `e:bus2`, `n:u:bus1`, `n:u:bus2`, `c:Cload` από την επιλογή *Selected Variables* ,πατώντας διπλό κλικ πάνω τους ή χρησιμοποιώντας το κουμπί <<.
- Εισάγετε τη μεταβλητή `c:Losses` πατώντας διπλό κλικ πάνω τους ,ή χρησιμοποιώντας το σύμβολο με τα διπλά βέλη.
- Επιβεβαιώστε την επιλογή πατώντας **OK**.



Εικόνα 54: Επιλογές Μεταβλητών Εμφάνισης

- Ταξινομήστε τα δεδομένα ανάλογα με το ποσοστό φόρτισης πατώντας στην επικεφαλίδα Loading%.

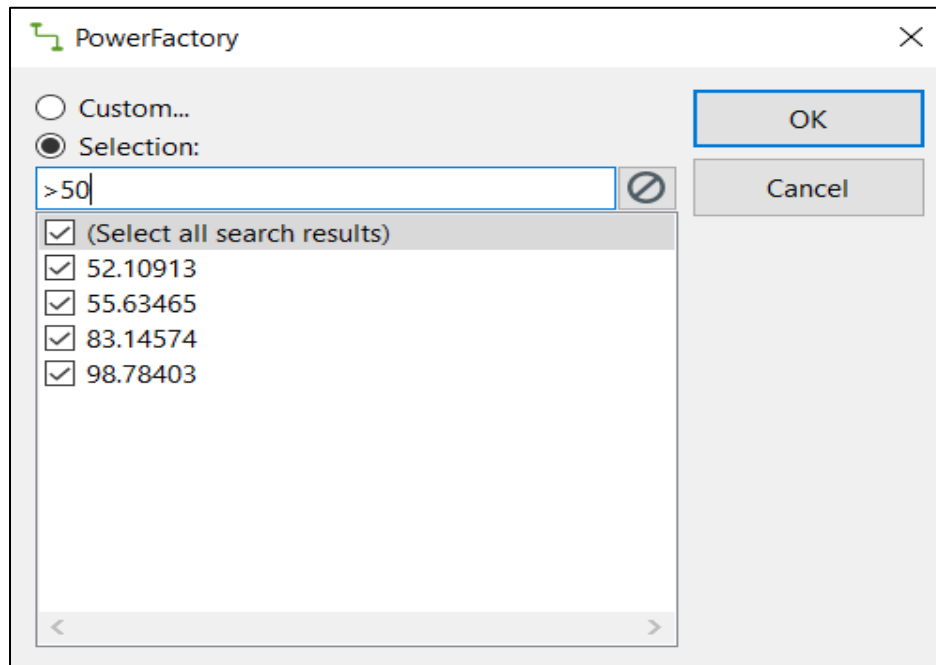
Η σελίδα *Flexible Data* θα πρέπει τώρα να φαίνεται όπως στην παρακάτω εικόνα:

Name	Grid	Terminal i Busbar	Terminal j Busbar	Loading %	Losses kW
Line_6-8	Grid	B6	B8	98.8	280.7
Line_7-8	Grid	B7	B8	83.1	211.7
Line_3-4	Grid	B3	B4	55.6	12.8
Line_1-2	Grid	B1	B2	52.1	26.7
Line_1-3	Grid	B1	B3	36.8	36.5
Line_5-7	Grid	B5	B7	21.3	17.4
Line_2-4	Grid	B2	B4	17.6	8.6
Line_2-3	Grid	B2	B3	16.8	8.2
Line_5-6	Grid	B5	B6	14.6	8.4
Line_6-7	Grid	B6	B7	8.2	2.1

Εικόνα 55 : Τροποποίηση της σελίδας Flexible Data


Τώρα θα προσθέσουμε ένα φίλτρο ,ώστε να εμφανίζονται τα στοιχεία που φορτίζονται μόνο **πάνω από 50%**.

- Πατήστε κλικ στο μικρό βελάκι (▼) στη στήλη *Loading %*.
- Γράψτε «>50» όπως φαίνεται στην εικ.32 και πατήστε **OK**.



Εικόνα 56 : Εισαγωγή Φίλτρου Δεδομένων

- Τώρα η επικεφαλίδα έχει χρώμα μπλε και μόνο οι γραμμές με φόρτιση πάνω από 50% ,θα εμφανίζονται.

Τα δεδομένα από τον Network Model Manager μπορούν αν αντιγραφούν και να εισαχθούν σε άλλα προγράμματα, επιλέγοντας τα σχετικά δεδομένα και πατώντας το κουμπί *Copy (with column headers)* (  ).

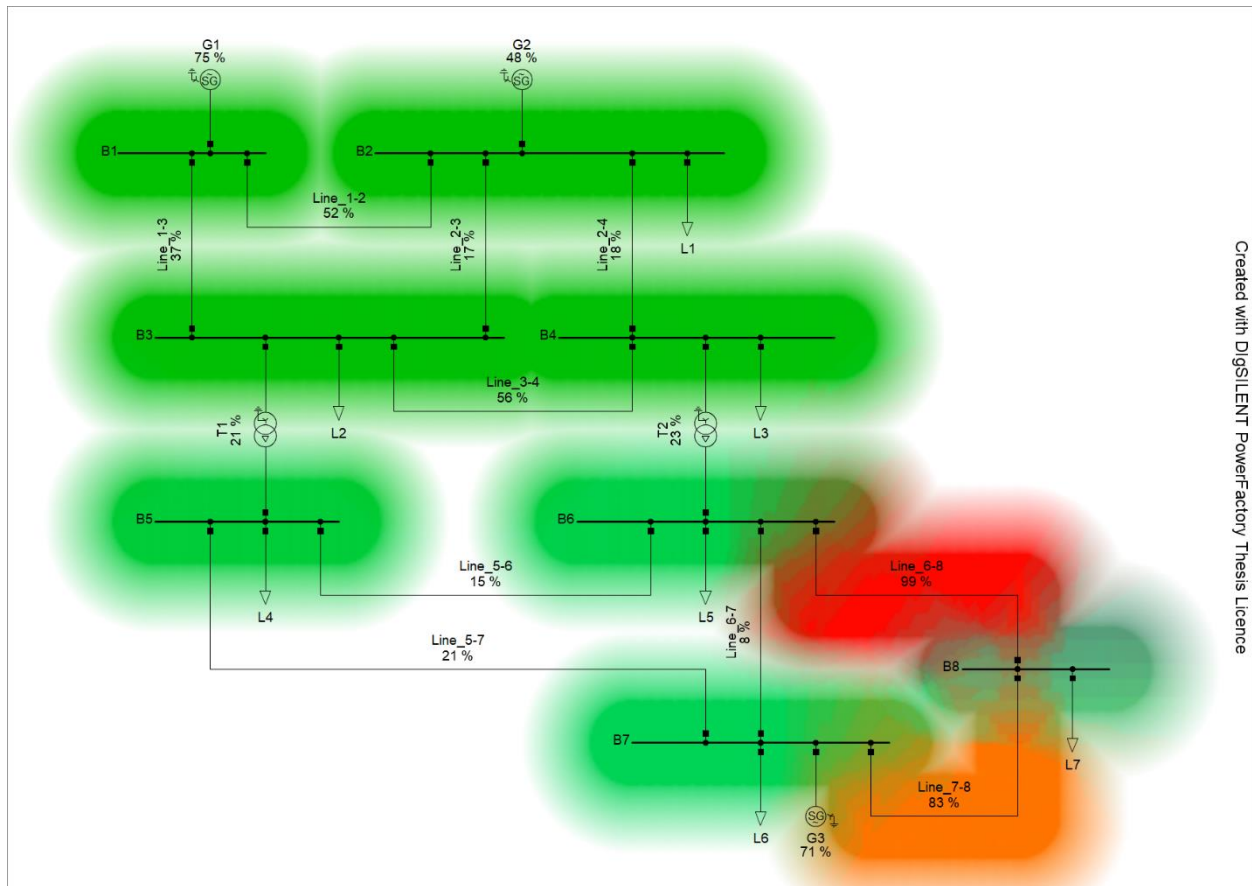
Περισσότερες πληροφορίες για το πως τροποποιούμε τη σελίδα flexible Data μπορεί ο αναγνώστης να βρει στο εγχειρίδιο χρήσης του Power Factory στην παράγραφο The Flexible Data Page. (Power Factory User Manual, 2022, p. 136)

### 2.3.5. Οι «θερμικοί» χάρτες (Heatmaps)

Στο *Power Factory*, οι θερμικοί χάρτες (heatmaps) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να απεικονίσουν την κατάσταση ενός μεγάλου πλέγματος, χρωματίζοντας την περιοχή γύρω από τα στοιχεία του δικτύου. Ο ορισμός των χρωμάτων λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο όπως και στο μονογραμμικό διάγραμμα.

- Πατήστε κλικ στο εικονίδιο *Heatmap* (🌡️) δεξιά ακριβώς από το εικονίδιο *Colouring*.
- Οι ρυθμίσεις των χρωμάτων μπορούν να αλλάξουν από πατώντας το βελάκι ➡️ στην επιλογή *Settings*.
- Πατήστε **Execute**.

Τα αποτελέσματα που εμφανίζονται πρέπει να φαίνονται όπως στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 57 : Αναπαράσταση «Θερμικού Χάρτη» (Heatmap)

**Υπόδειξη:** Τα πλαίσια αποτελεσμάτων έχουν αφαιρεθεί στην παραπάνω εικόνα με το πλήκτρο

(1.5).

Παρατηρούμε πως στην πράσινη περιοχή ,έχουμε φόρτιση της τάξης <80%, η οποία κρίνεται αποδεκτή ,στην πορτοκαλί περιοχή έχουμε μια φόρτιση της τάξης 80%<loading<90% , η οποία κρίνεται οριακή και στην κόκκινη περιοχή έχουμε πλέον φόρτιση >90%, οπότε λέμε πως έχουμε υπερφόρτιση ,κάτι που δεν είναι αποδεκτό.

### 2.3.6. Σύνοψη

Ακολουθεί η σύνοψη όλων των παραπάνω· τώρα είναι ξεκάθαρο πως να εκτελέσουμε έναν υπολογισμό ροής φορτίου :

- Εκτελέστε έναν υπολογισμό ροής φορτίου.
- Χρωματίστε το διάγραμμα και επεξεργαστείτε τις ρυθμίσεις χρωμάτων.
- Εμφανίστε τις λεζάντες του γραφήματος.
- Εμφανίστε/κρύψτε τα πλαίσια αποτελεσμάτων.
- Επεξεργαστείτε τα πλαίσια αποτελεσμάτων.
- Δουλέψτε με το εργαλείο Network Model Manager.
- Ορίστε μεταβλητές στο Network Model Manager.
- Αντιγράψτε δεδομένα από το Network Model Manager.
- Εμφανίστε έναν θερμικό χάρτη (heatmap).

Περισσότερες πληροφορίες είναι διαθέσιμες ανάλογα με το ενδιαφέρον του αναγνώστη και μπορούν να βρεθούν είτε απευθείας από το power Factory , είτε από τη σελίδα λήψεων της DIg SILENT <https://www.digsilent.de/en/downloads.html> .

# 3. Δίκτυο & Μοντέλα Προσομοίωσης για το λιμάνι του Πειραιά

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τη μελέτη που έγινε για το *δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας στο λιμάνι του Πειραιά* με σκοπό την ηλεκτροδότηση των ελλιμενιζόμενων πλοίων. Η προσομοίωση του δικτύου έγινε χρησιμοποιώντας το λογισμικό *Power Factory* της εταιρείας *Dig SILENT*, όπως έχουμε σημειώσει και παραπάνω.

## 3.1. Μονογραμμικό Σχέδιο Δικτύου

Αρχικά, κατέστη αναγκαίο να σχεδιάσουμε το μονογραμμικό σχέδιο του δικτύου σε χαρτί, ώστε να έχουμε μια πιο εποπτική ματιά. Η τοπολογία του δικτύου φαίνεται και στην φωτογραφία του Google Earth παρακάτω:

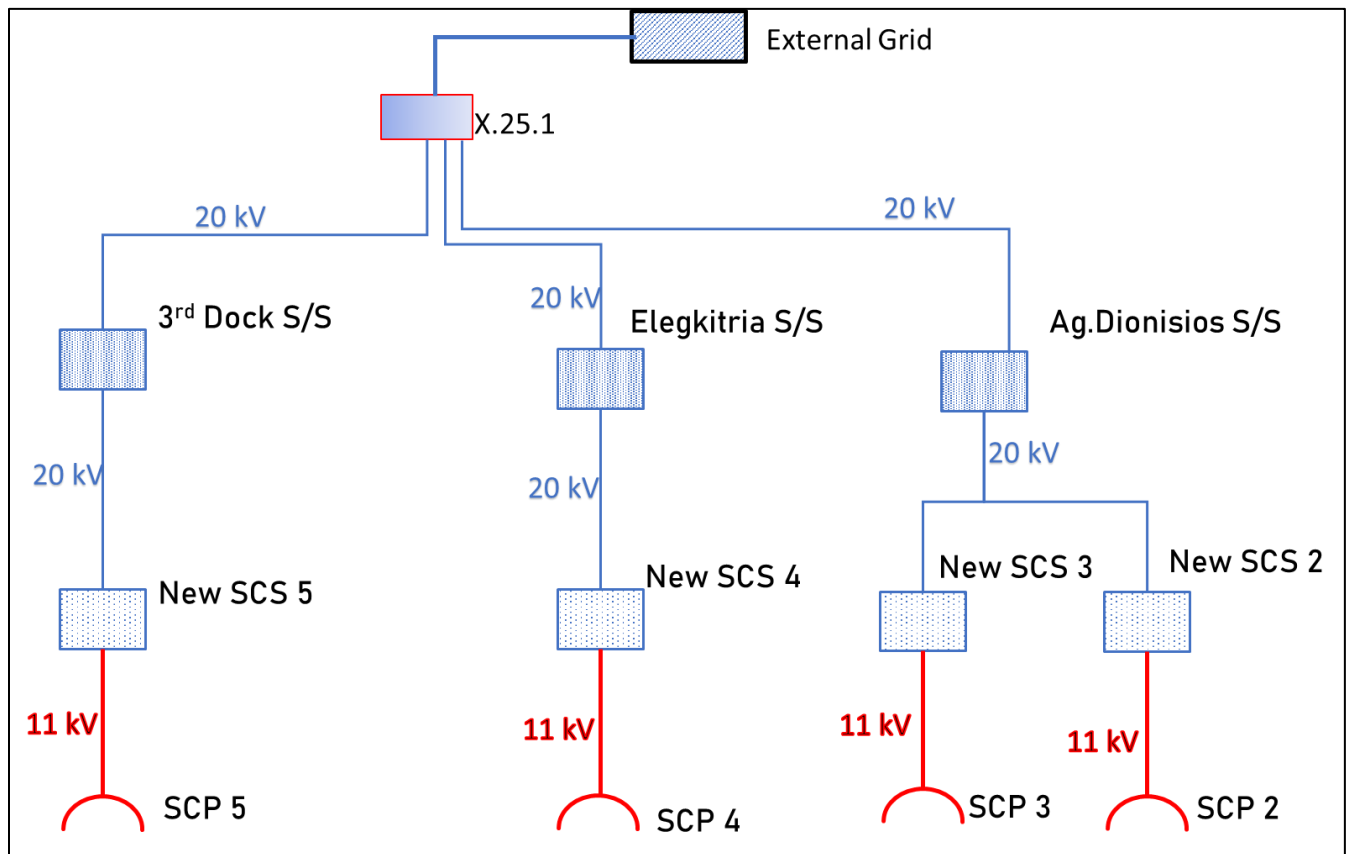


Εικόνα 58: Τοπολογία Δικτύου Ηλεκτρικής ενέργειας λιμένος Πειραιώς

Η ροή που ακολουθεί η ηλεκτρική ενέργεια ξεκινώντας από τον κεντρικό σταθμό X.25.1 είναι, διανέμεται στους υποσταθμούς **Άγιος Διονύσιος**, **Ελεγκτήρια** και **3<sup>rd</sup> Dock**, από εκεί στους

υποσταθμούς διασύνδεσης ξηράς (Shore Connection Substations, SCS) και τέλος καταλήγει στα τελικά σημεία σύνδεσης με το πλοίο (Shore Connection Points,SCP) .

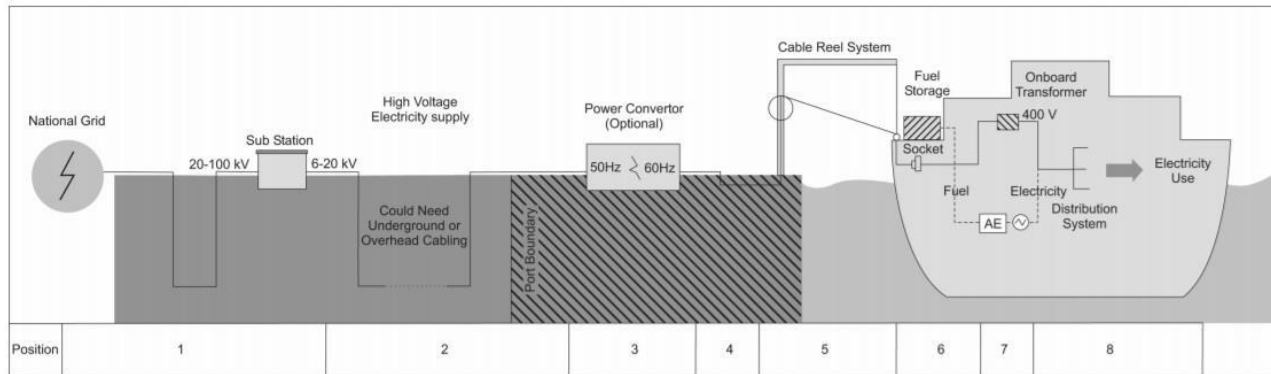
Με βάση τα δεδομένα από το *Google Earth* σχεδιάζουμε ποιοτικά το μονογραμμικό διάγραμμα του δικτύου ,το οποίο θα αποτελέσει και τη βάση σχεδιασμού του δικτύου μας.Το μονογραμμικό σχέδιο φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 59:Μονογραμμικό Σχέδιο Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Πειραιά

Το **μπλε τμήμα** του σχεδίου αντιπροσωπεύει το δίκτυο των **20 kV** και το **κόκκινο τμήμα** του δικτύου αντιπροσωπεύει το δίκτυο των **11 kV**.Σημειώνεται πως από το εθνικό δίκτυο λαμβάνεται ρεύμα τάσης 150 kV και με έναν μετασχηματιστή πέφτει στα 20 kV.

Για την καλύτερη κατανόηση του αναγνώστη όσον αφορά τη διάταξη που απαιτείται ώστε να φτάσει η ηλεκτρική ενέργεια από το εθνικό δίκτυο (national grid),τελικά στο πλοίο, παραθέτουμε την παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 60: Διάταξη Cold Ironing

**Σημείωση:** Όπως φαίνεται παρακάτω (εικ.36), μεταξύ ενός υποσταθμού (SCS) και ενός σημείου σύνδεσης (SCP), πολλές φορές παρεμβάλλεται ένας μετατροπέας συχνότητας (*frequency converter*), ώστε να μετασχηματίζεται η συχνότητα από τα 50 στα 60 Hz. Στο *Power Factory* δεν υπάρχει κάποιο έτοιμο εργαλείο μετατροπής συχνότητας και επομένως στο upstream δίκτυο θεωρούμε τον fc σαν φορτίο και στο downstream δίκτυο τον θεωρούμε σαν πηγή.

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη θεμάτων σχεδιασμού ενεργειακά αποδοτικών δικτύων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας εντός λιμένων, με σκοπό την ηλεκτροδότηση ελλιμενιζόμενων πλοίων, δηλαδή μας αφορά το δίκτυο **μέχρι το πλοίο**. Οι διατάξεις εντός του πλοίου που αφορούν το δίκτυο διανομής και τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας από καταναλωτές είναι αντικείμενο άλλων εργασιών και ξεφεύγουν από τα όρια αυτού του κειμένου. Ουσιαστικά το μονογραμμικό σχέδιο της εικόνας 35 αφορά μέχρι και την θέση 5 (position 5) της εικόνας 36, και δεν ασχολούμαστε με τις θέσεις 6,7,8 που αφορούν το πλοίο.

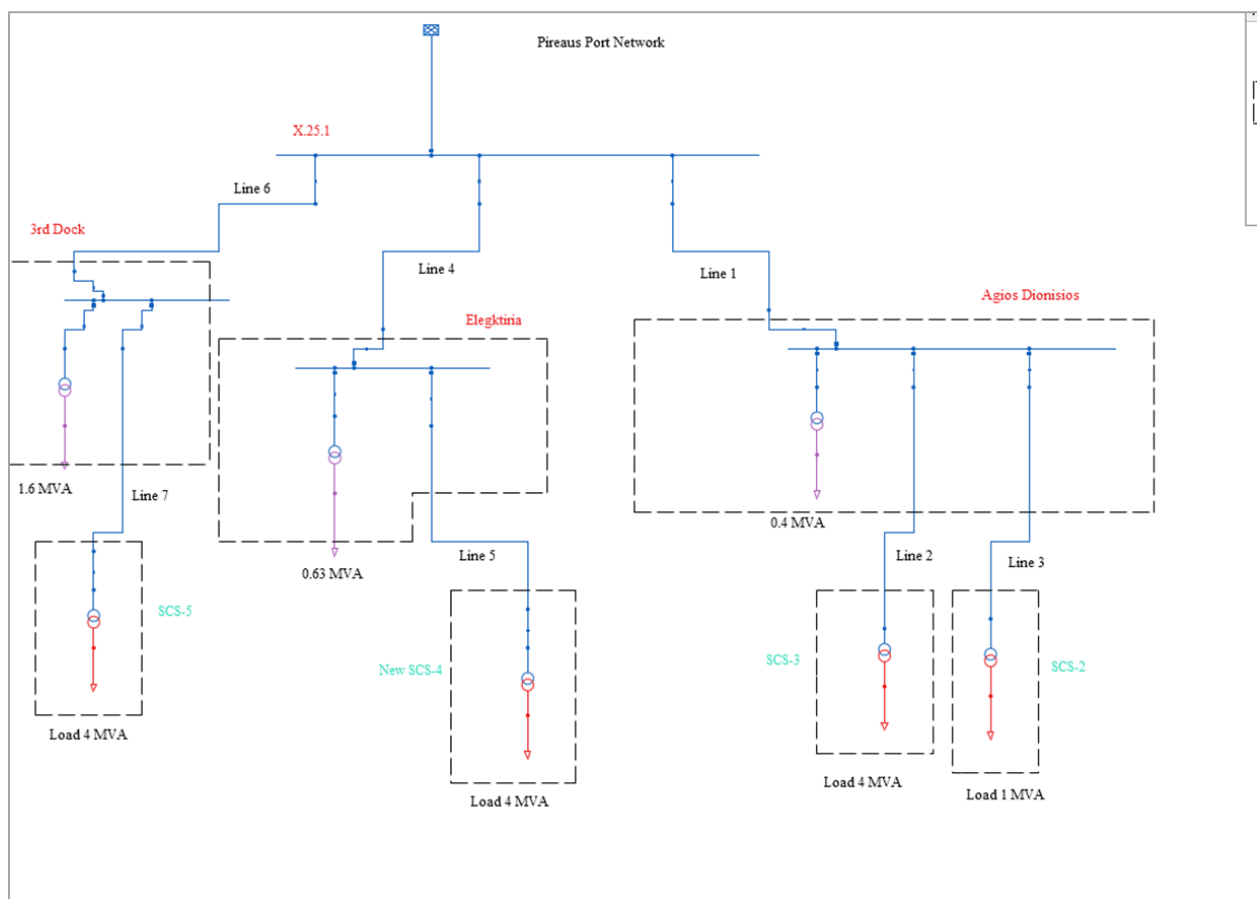


## 3.2. Προσομοίωση

Με βάση το μονογραμμικό διάγραμμα της παραγράφου 3.1, μπορούμε να προσομοιάσουμε το δίκτυο του λιμανιού του Πειραιά χρησιμοποιώντας το λογισμικό *Power Factory*.

### 3.2.1 Ηλεκτρολογικό Σχέδιο

Το διάγραμμα του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας εντός του λιμένος Πειραιώς φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 61: Single Line Diagram of Piraeus

Τα εργαλεία που χρησιμοποιήσαμε είναι αυτά που εξεξηγήθηκαν στο 2ο Κεφάλαιο της παρούσας εργασίας. Οι αποστάσεις μεταξύ των υποσταθμών και των σημείων σύνδεσης (σε km), μετρήθηκαν από το *Google Earth*. Υποθέσαμε πως από το Εθνικό Δίκτυο λαμβάνεται ρεύμα τάσης 20 kV. Στην πραγματικότητα είναι 150 kV, όμως μετασχηματίζεται σε 20 kV όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω.

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε τα εξής:

- Τα ονόματα των υποσταθμών (X.25.1, Agios Dionisios, Elegktiria, 3<sup>rd</sup>. Dock).
- Τα ονόματα γραμμών, καλωδίων, μετασχηματιστών και φορτίων.
- Τον τύπο καλωδίων και μετασχηματιστών που χρησιμοποιήθηκαν.

Σημειώνεται πως με κόκκινο χρώμα εμφανίζεται το μέρος του δικτύου όπου έχουμε τάση 20 kV, ενώ με πράσινο χρώμα εμφανίζεται το μέρος του δικτύου με τάση 11 kV και με μωβ χρώμα εμφανίζονται οι καταναλωτές (0.4 kV).

### 3.2.2. Δεδομένα Μετασχηματιστών

Για την προσομοίωση του δικτύου στο *Power Factory*, πρέπει να ορίσουμε αρχικά τα δεδομένα μας όσον αφορά τους τύπους των μετασχηματιστών, των καλωδίων και άλλων ηλεκτρικών στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν. Στους παρακάτω πίνακες αναγράφονται όλοι οι τύποι μετασχηματιστών που χρησιμοποιήσαμε. Σε περιπτώσεις όπου δεν υπήρχε κάποιος διαθέσιμος τύπος από τη βιβλιοθήκη του *Power Factory*, δημιουργήθηκε ένας νέος (custom) με τη διαδικασία που έχει επεξηγηθεί σε προηγούμενα κεφάλαια.

#### Άγιος Διονύσιος S/S

Στον υποσταθμό Άγιο Διονύσιο έχουμε εγκατεστημένο μετασχηματιστή με τα εξής χαρακτηριστικά:

Parameter	Value
Model	0.4 MVA 20/0.4 kV 0.94 GEAFOL
Rated Power (MVA)	0.4
Rated Voltages (kV)	20/0.4
Positive sequence short circuit impedance (%)	6
Zero sequence short circuit impedance (%)	6
Short circuit losses (kW)	4.8

Πίνακας 12: Μετασχηματιστής στον Άγιο Διονύσιο

## Ελεγκτήρια S/S

Στον υποσταθμό Ελεγκτήρια έχουμε εγκατεστημένο μετασχηματιστή με τα εξής χαρακτηριστικά:

Parameter	Value
Model	0.63 MVA 20/0.4 kV 1.29 GEAFOL
Rated Power (MVA)	0.63
Rated Voltages (kV)	20/0.4
Positive sequence short circuit impedance (%)	6
Zero sequence short circuit impedance (%)	6
Short circuit losses (kW)	6.6

Πίνακας 13: Μετασχηματιστής στα Ελεγκτήρια S/S

## 3<sup>rd</sup> Dock S/S

Στον υποσταθμό 3<sup>rd</sup> Dock έχουμε εγκατεστημένο μετασχηματιστή με τα εξής χαρακτηριστικά:

Parameter	Value
Model	1.6 MVA 20/0.4 kV 2.42 GEAFOL
Rated Power (MVA)	1.6
Rated Voltages (kV)	20/0.4
Positive sequence short circuit impedance (%)	6
Zero sequence short circuit impedance (%)	6
Short circuit losses (kW)	13.5

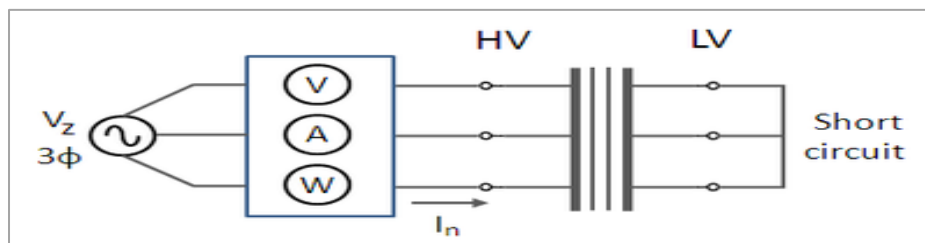
Πίνακας 14: Δεδομένα Υφιστάμενου Μετασχηματιστή 3<sup>rd</sup> Dock S/S

Σημειώνεται πως τα παραπάνω μοντέλα μετασχηματιστών επιλέχθηκαν από τη βιβλιοθήκη του *Power Factory* καθώς ικανοποιούσαν τις ανάγκες του δικτύου ,και αφορούν τους καταναλωτές στους εκάστοτε υποσταθμούς.



Εικόνα 62: Μετασχηματιστής GEAFOLE (Siemens Energy)

Στην παραπάνω φωτογραφία φαίνεται ένας τυπικός GEAFOLE μετασχηματιστής της εταιρείας Siemens. Επισημαίνουμε πως τα μεγέθη *positive sequence short circuit impedance* ( σύνθετη αντίσταση θετικής ακολουθίας,  $Z_1$ ) και *zero sequence short circuit impedance* ( σύνθετη αντίσταση μηδενικής ακολουθίας,  $Z_0$ ) μετρούνται αμφότερες με μια δοκιμή βραχυκυκλώματος, η ανάλυση της οποίας ξεφεύγει από τα όρια και τους σκοπούς της παρούσας εργασίας. Ενδεικτικά παραθέτουμε την παρακάτω φωτογραφία:



Εικόνα 63: Μέτρηση Αντίστασης Μετασχηματιστή

## Υποσταθμοί σύνδεσης ξηράς

Στη συνέχεια παραθέτουμε τα δεδομένα μετασχηματιστών που είναι εγκατεστημένοι στους υποσταθμούς σύνδεσης ξηράς (shore connection substations , ή για συντομία SCS).

<b>Shore Connection Substation</b>	<b>SCS-2</b>
<b>Model (2-winding transformer)</b>	<b>Custom</b>
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>
Rated Power (MVA)	1.0
Rated Voltages (kV)	20/11
Positive sequence short circuit impedance (%)	6
Zero sequence short circuit impedance (%)	6
Short circuit losses (kW)	8.2

*Πίνακας 15: Δεδομένα Μ/Σ SCS-2*

<b>Shore Connection Substation</b>	<b>SCS-3</b>
<b>Model (2-winding transformer)</b>	<b>Custom</b>
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>
Rated Power (MVA)	4.0
Rated Voltages (kV)	20/11
Positive sequence short circuit impedance (%)	6
Zero sequence short circuit impedance (%)	6
Short circuit losses (kW)	31

*Πίνακας 16: Δεδομένα Μ/Σ SCS-3*

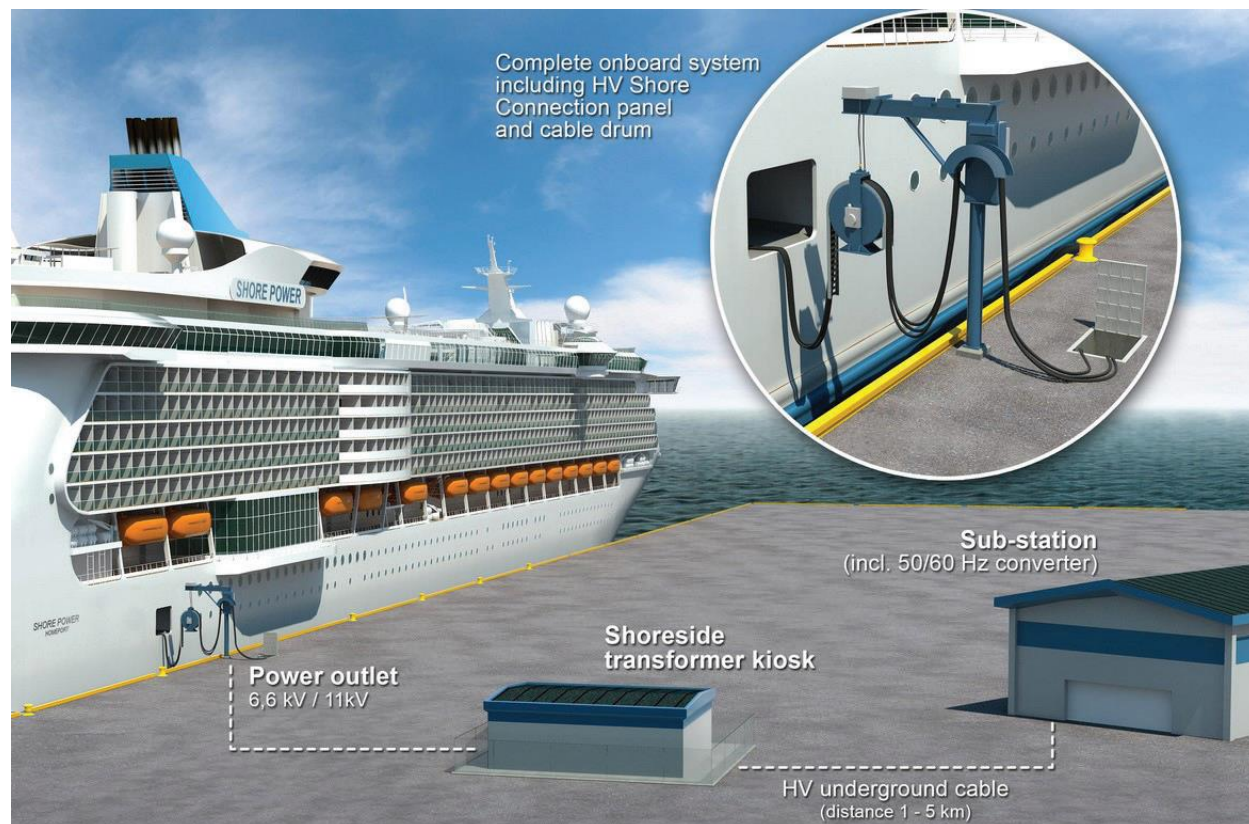
<b>Shore Connection Substation</b>	<b>SCS-4</b>
<b>Model (2-winding transformer)</b>	<b>Custom</b>
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>
Rated Power (MVA)	4.0
Rated Voltages (kV)	20/11
Positive sequence short circuit impedance (%)	6
Zero sequence short circuit impedance (%)	6
Short circuit losses (kW)	31

*Πίνακας 17: Δεδομένα Μ/Σ SCS-4*

Και τέλος φαίνεται ο μετασχηματιστής στον υποσταθμό ξηράς SCS-5:

<b>Shore Connection Substation</b>	<b>SCS-5</b>
<b>Model (2-winding transformer)</b>	<b>Custom</b>
<b>Parameter</b>	<b>Value</b>
Rated Power (MVA)	4.0
Rated Voltages (kV)	20/11
Positive sequence short circuit impedance (%)	6
Zero sequence short circuit impedance (%)	6
Short circuit losses (kW)	31

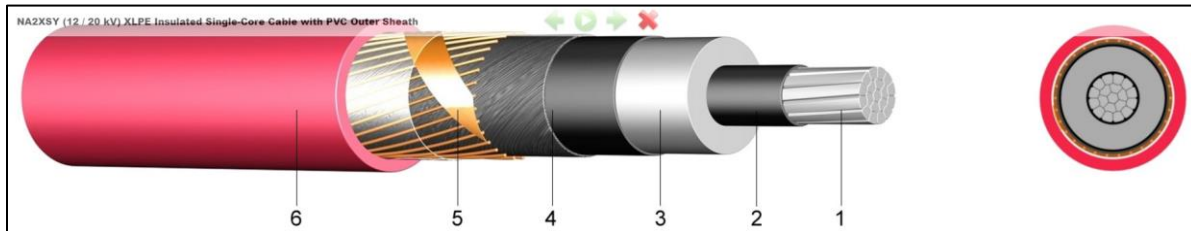
*Πίνακας 18: Δεδομένα Μ/Σ SCS-5*



Εικόνα 64: Απεικόνιση Υποσταθμού Σύνδεσης Ξηράς

### 3.2.3. Δεδομένα Καλωδίων

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται τα δεδομένα των καλωδίων που χρησιμοποιήθηκαν στο δίκτυο των 20 kV. Σε όλο το μήκος του δικτύου χρησιμοποιήθηκε καλώδιο αλουμινίου από τη βιβλιοθήκη του *Power Factory* με τύπο *NA2XSY 1x95 rm 12/20 kV it*. Η απεικόνιση του καλωδίου φαίνεται παρακάτω :



Εικόνα 65: Καλώδιο NA2XSY 12/20 kV

Στην παραπάνω εικόνα φαίνονται κατά σειρά και τα επιμέρους στρώματα του καλωδίου τα οποία είναι :

1. Απομονωμένα σύρματα αλουμινίου
2. Εσωτερικό στρώμα ημιαγωγίμου υλικού
3. Μόνωση πυρήνα από διασυνδεδεμένο πολυαιθυλένιο
4. Εξωτερικό στρώμα από ημιαγωγίμο υλικό
5. Προστασία από σύρματα χαλκού
6. Εξωτερικό περίβλημα από πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC)

Στη συνέχεια παραθέτουμε τα δεδομένα του καλωδίου όσον αφορά τη σύνθετη επαγωγική και ωμική αντίσταση και τη χωρητικότητα, στον παρακάτω πίνακα:

Καλώδιο	$R'$ (Ω/km)	$R0'$ (Ω/km)	$X'$ (Ω/km)	$X0'$ (Ω/km)	$C'$ (uF/km)	$C0'$ (uF/km)
NA2XS1x95	0.3227	1.2906	0.1256	0.5026	0.23	0.2389

Πίνακας 19: Δεδομένα Καλωδίων 20 kV



Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται το μήκος των διάφορων γραμμών/καλωδίων του δικτύου ,καθώς και η σύντομη ονομασία τους την οποία θα χρησιμοποιήσουμε παρακάτω στην εμφάνιση των αποτελεσμάτων.

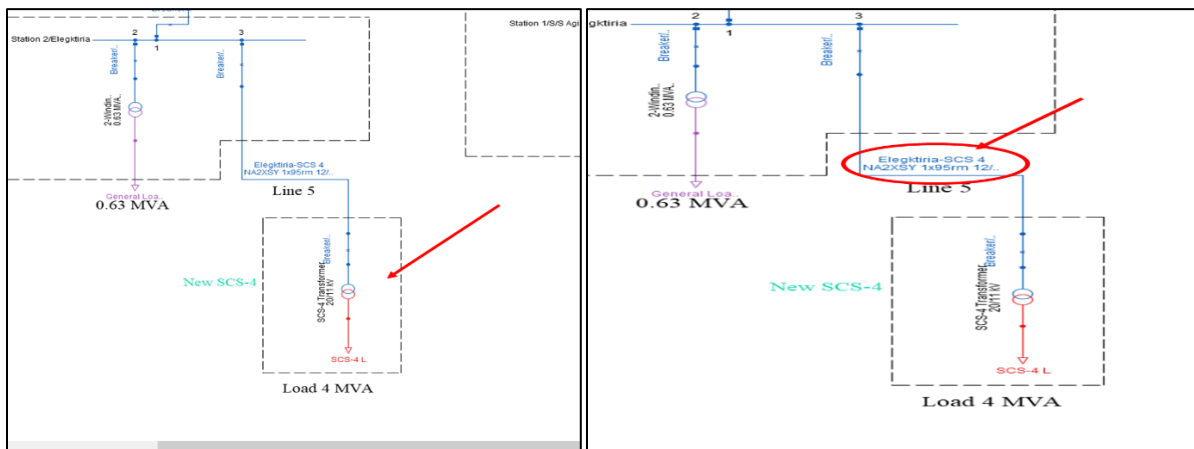
Από	Προς	Γραμμή(Line)	Απόσταση d(km)
X.25.1	Αγ. Διονύσιο	<b>1</b>	0.811
X.25.1	Ελεγκτήρια	<b>4</b>	0.392
X.25.1	3 <sup>rd</sup> Dock	<b>6</b>	0.472
Αγ. Διονύσιο	SCS-2	<b>3</b>	0.029
Αγ. Διονύσιο	SCS-3	<b>2</b>	0.332
Ελεγκτήρια	SCS-4	<b>5</b>	0.353
3 <sup>rd</sup> Dock	SCS-5	<b>7</b>	0.272

Πίνακας 20: Μήκη Γραμμών/Καλωδίων

Αφού έχουμε ίδιο τύπο καλωδίου, είναι λογικό οι ανηγμένες αντιστάσεις να έχουν ίδια τιμή σε όλες τις γραμμές. Για να βρούμε την ολική αντίσταση κατά μήκος μιας γραμμής αρκεί να πολλαπλασιάσουμε την ανηγμένη αντίσταση με το μήκος της γραμμής αυτής. Π.χ. για να υπολογίσουμε την ολική ωμική αντίσταση στη γραμμή *X.25.1-Αγιος Διονύσιος* έχουμε:

$$R1 = R' * L \Rightarrow R1 = 0.32 \left[ \frac{\Omega}{km} \right] * 0.81[km] \Rightarrow R1 = 0.2592 [\Omega]$$

Μπορούμε έτσι, με την ίδια διαδικασία να υπολογίσουμε τις ολικές αντιστάσεις για όλες τις γραμμές.



Εικόνα 66 : Φορτιστής (αριστερά) και καλώδιο (δεξιά) στο Power Factory

### 3.3. Σενάρια Λειτουργίας (Operation Scenarios)

Έχοντας δείξει την προσομοίωση του δικτύου ,στην παράγραφο αυτή αναπτύσσονται τα σενάρια λειτουργίας (Operation Scenarios) του δικτύου για διάφορες καταστάσεις φόρτισης. Είναι πολύ σημαντικό να εξετάσουμε το δίκτυο για διαφορετικές καταστάσεις γιατί μόνο έτσι θα μπορέσουμε να καταλήξουμε σε ασφαλή συμπεράσματα σχετικά την ασφάλεια λειτουργίας των ηλεκτρικών στοιχείων αλλά και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης. Τα σενάρια λειτουργίας διαφέρουν κυρίως ως προς τα διάφορα φορτία, τα οποία υπάρχουν μετά τους εγκατεστημένους μετασχηματιστές. Μας ενδιαφέρουν τα μεγάλα φορτία που σχετίζονται με το cold ironing της τάξης των 4 MVA, όμως θα εξετάσουμε και σενάρια υπερφόρτισης των καταναλωτών της τάξης των 0.4 MVA.Κάθε σενάριο περιλαμβάνει προφανώς την περιγραφή ,δηλαδή ποια συγκεκριμένη κατάσταση λειτουργίας μελετάται και στη συνέχεια ακολουθεί το heatmap (θερμικός χάρτης ) που δείχνει απεικονιστικά ποιες περιοχές υπερφορτίζονται.

#### 3.3.1. Σενάριο 1 (Φόρτιση 100%/ Υπερφόρτιση)

##### Δεδομένα

Η πρώτη περίπτωση που εξετάσαμε είναι τα φορτία μετά από κάθε μετασχηματιστή να **ισούται** με την ονομαστική του ισχύ. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα δεδομένα λειτουργίας του σεναρίου:

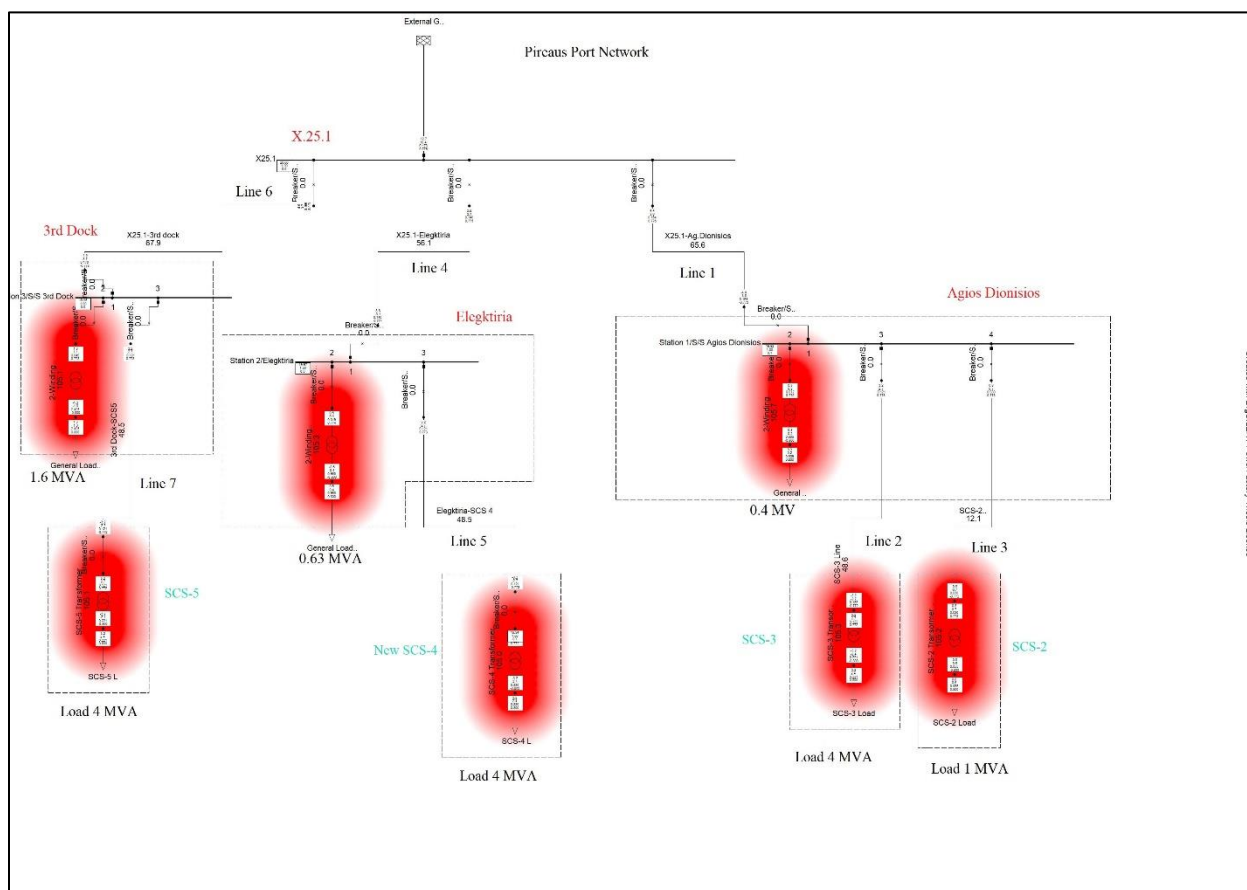
ΥΠΟΣΤΑΘΜΟΣ	ΟΝΟΜΑΣΤΙΚΗ ΙΣΧΥΣ Μ/Σ (MVA)	ΦΟΡΤΙΟ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ (MVA)	ΦΟΡΤΙΣΗ (%)	ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ
ΑΓΙΟΣ ΔΙΟΝΥΣΗΣ	0.4	0.4	105.7	0.8
SCS-2	1	1	105.2	0.8
SCS-3	4	4	105.3	0.8
ΕΛΕΓΚΤΗΡΙΑ	0.63	0.63	105.3	0.8
SCS-4	4	4	105.0	0.8
3 <sup>RD</sup> DOCK	1.6	1.6	105.1	0.8
SCS-5	4	4	105.1	0.8

Πίνακας 21: Δεδομένα Λειτουργίας Σεναρίου 1

Η φόρτιση κάθε μετασχηματιστή προέκυψε από τη μελέτη της ροής φορτίου η οποία παρουσιάζεται ακριβώς παρακάτω. Επίσης όταν αναφερόμαστε σε φορτίο λειτουργίας ,αναφερόμαστε στην φαινόμενη ισχύ (S) με συντελεστή ισχύος  $\cos(\phi)=0.8$ .

## Μελέτη Ροής Φορτίου

Ο θερμικός χάρτης (heatmap) για το Σενάριο 1 φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία, και όπως φαίνεται και από τον πίνακα και από την φωτογραφία ,έχουμε υπερφόρτιση σε όλους (!) τους εγκατεστημένους μετασχηματιστές.



Εικόνα 67: Heatmap Scenario No1

Σημειώνεται πως ο υπολογισμός της ροής φορτίου έγινε με ακριβώς τον ίδιο τρόπο ,όπως έχει δειχθεί στο Κεφάλαιο 2.3.Υπολογισμός Ροής Φορτίου. **Η υπέρβαση της φόρτισης πάνω από το 100% ,είναι μια κατάσταση την οποία δεν επιθυμούμε σε καμία περίπτωση.** Επομένως έχουμε ήδη ένα ακραίο σενάριο όσον αφορά τη φόρτιση των μετασχηματιστών. Επίσης θα εξετάσουμε τις τάσεις σε όλους τους ζυγούς ,την ένταση του ρεύματος (I) σε όλες τις γραμμές και επίσης την ένταση του ρεύματος πριν και μετά από κάθε μετασχηματιστή.

Οι τάσεις σε κάθε ζυγό φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

#### Τάσεις Ζυγών ( Σενάριο 1)

Υποσταθμός	Τάση(kV)	u(p.u.)	phiu (deg)
X.25.1	20.00	1.0	0.0
Άγιος Διονύσιος	19.92	1.0	0.1
Ελεγκτήρια	19.97	1.0	0.0
3 <sup>rd</sup> Dock	19.95	1.0	0.0

Πίνακας 22: Τάσεις Ζυγών (Σενάριο 1)

Επίσης θα μελετήσουμε τη φόρτιση ( ή υπερφόρτιση) κάθε γραμμής. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα μεγέθη ενεργός ισχύς (P), άεργος ισχύς (Q), καθώς και η ένταση του ρεύματος (I) και η φόρτιση (loading).

#### Φορτίσεις Γραμμών (Σενάριο 1)

Γραμμή (Line)	P (MW)	Q(Mvar)	I(kA)	Loading(%)
1	4.4	3.6	0.164	65.6
2	3.2	2.7	0.121	48.6
3	0.8	0.7	0.03	12.1
4	3.8	3.1	0.14	56.1
5	3.2	2.7	0.121	48.5
6	4.5	3.7	0.169	67.9
7	3.2	2.7	0.121	48.5

Πίνακας 23: Φορτίσεις Γραμμών (Σενάριο 1)

Τέλος τα δεδομένα των εγκατεστημένων μετασχηματιστών παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

#### Φορτίσεις Μετασχηματιστών (Σενάριο 1)

M/Σ	P(MW)	Q(Mvar)	I <sub>ΠΡΙΝ</sub> (kA)	I <sub>ΜΕΤΑ</sub> (kA)	Loading(%)
Άγιος Διονύσιος	0.3	0.3	0.012	0.609	105.7
SCS-2	0.8	0.7	0.03	0.055	105.2
SCS-3	3.2	2.7	0.122	0.221	105.3
Ελεγκτήρια	0.5	0.4	0.019	0.956	105.3
SCS-4	3.2	2.7	0.121	0.22	105.0
3 <sup>rd</sup> Dock	1.3	1.1	0.049	2.425	105.1
SCS-5	3.2	2.7	0.121	0.221	105.1

Πίνακας 24: Φορτίσεις Μετασχηματιστών (Σενάριο 1)

### 3.3.2. Σενάριο 2 (Φόρτιση 80%)

Η δεύτερη περίπτωση που εξετάσαμε ,είναι τα επιβαλλόμενα φορτία μετά από κάθε μετασχηματιστή να ισούται με το 80 % της ονομαστικής ισχύος του.

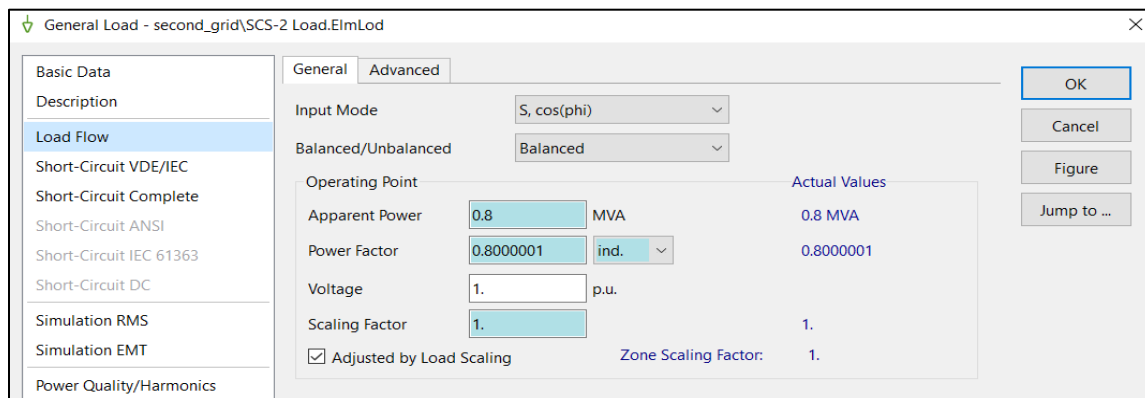
#### Δεδομένα

Τα δεδομένα του συγκεκριμένου σεναρίου ,φαίνονται στον παρακάτω πίνακα, όσον αφορά τα φορτία:

Υποσταθμός	Ονομαστική Ισχύς Μ/Σ(MVA)	Φορτίο Λειτουργίας (MVA)	Φόρτιση (%)	Συντελεστής Ισχύος
Άγιος Διονύσης	0.4	3.2	<b>83.6</b>	0.8
SCS-2	1	0.8	<b>83.2</b>	0.8
SCS-3	4	3.2	<b>83.3</b>	0.8
Ελεγκτήρια	0.63	0.5	<b>83.3</b>	0.8
SCS-4	4	3.2	<b>83.1</b>	0.8
3 <sup>rd</sup> Dock	1.6	1.3	<b>83.3</b>	0.8
SCS-5	4	3.2	<b>83.2</b>	0.8

Πίνακας 25:Δεδομένα Λειτουργίας Σεναρίου 2

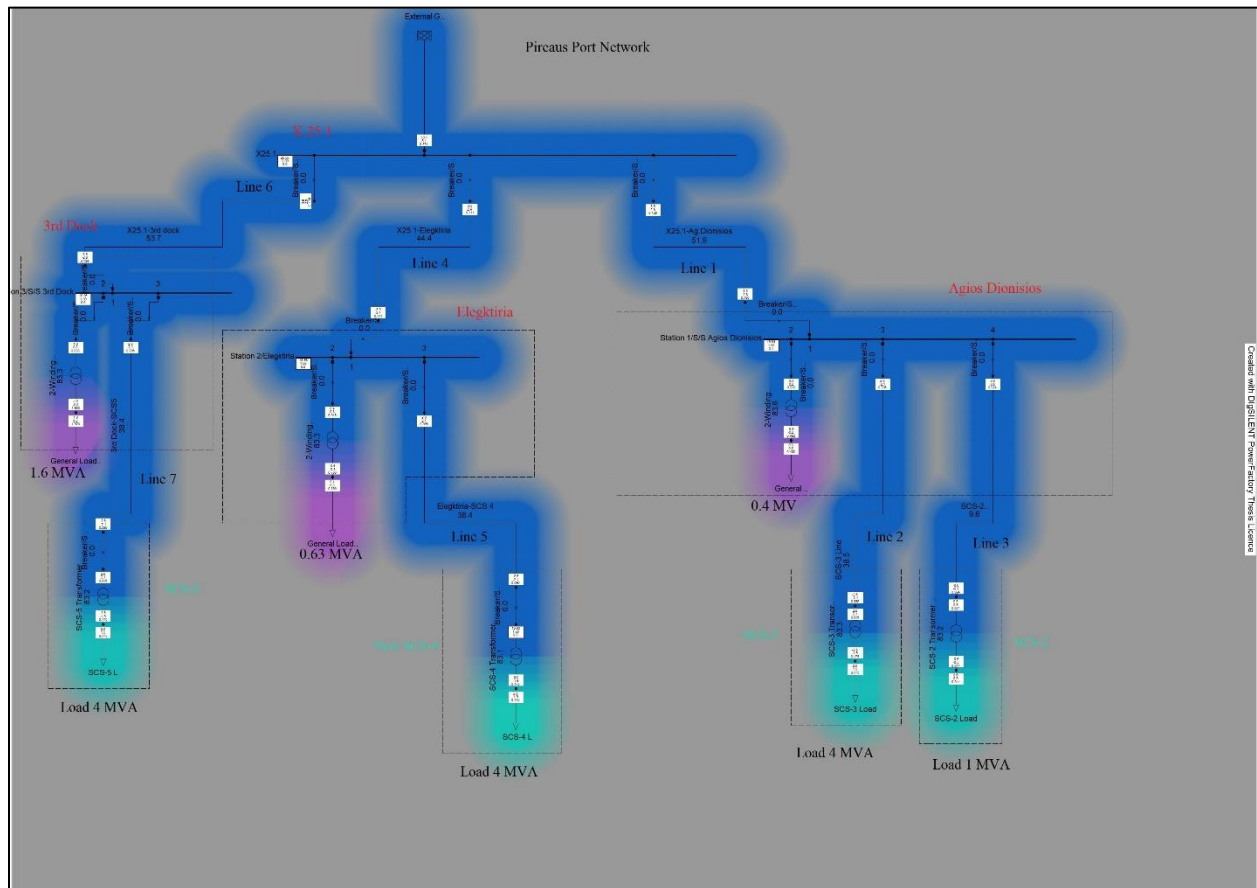
Παρατηρούμε πως παρόλο που εφαρμόζουμε φορτίο της τάξης του 80% της ονομαστικής ισχύος του μετασχηματιστή ,εμφανίζεται λίγο μεγαλύτερη φόρτιση στην πραγματικότητα. Αυτό οφείλεται στο φαινόμενο της πτώσης τάσης που αποτυπώνεται και στη μελέτη ροής φορτίου. Υπενθυμίζεται πως ο τρόπος που εισάγουμε τα φορτία είναι με τη μορφή της *φαινόμενης ισχύος (S)* και ενός συντελεστή ισχύος (*cos(phi)*).



Εικόνα 68: Εισαγωγή Φορτίου στο Power Factory

## Μελέτη Ροής Φορτίου

Ακολουθεί η μελέτη της ροής φορτίου για το *σενάριο 2*. Ο θερμικός χάρτης για τον υπολογισμό της ροής φορτίου φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 69: Θερμικός Χάρτης Σεναρίου 2

Όπως φαίνεται στην εικόνα δεν παρατηρείται καμία υπερφόρτιση κατά μήκος του δικτύου. Στη συνέχεια ακολουθούν οι πίνακες με τις φορτίσεις των γραμμών και των μετασχηματιστών.

**Σημείωση:** Στον παραπάνω θερμικό χάρτη τα χρώματα διαφέρουν από ότι στο σενάριο 1 διότι δεν έχουμε υπερφόρτιση επομένως φαίνονται τα χρώματα των διαφόρων επιπέδων τάσης (20kV, 11 kV, 0.4kV).

### Τάσεις Ζυγών ( Σενάριο 2)

Υποσταθμός	Τάση(kV)	u(p.u.)	phiu (deg)
X.25.1	20.00	1.0	0.0
Άγιος Διονύσιος	19.92	1.0	0.1
Ελεγκτήρια	19.98	1.0	0.0
3 <sup>rd</sup> Dock	19.96	1.0	0.0

Πίνακας 26: Τάσεις Ζυγών (Σενάριο 2)

### Φορτίσεις Γραμμών (Σενάριο 2)

Γραμμή (Line)	P (MW)	Q(Mvar)	I(kA)	Loading(%)
1	3.5	2.8	0.129	51.9
2	2.6	2.1	0.096	38.5
3	0.6	0.5	0.024	9.6
4	3.0	2.4	0.111	44.4
5	2.6	2.1	0.096	38.4
6	3.6	2.9	0.134	53.7
7	2.6	2.1	0.096	38.4

Πίνακας 27: Φορτίσεις Γραμμών (Σενάριο 2)

### Φορτίσεις Μετασχηματιστών (Σενάριο 2)

M/Σ	P(MW)	Q(Mvar)	I <sub>ΠΡΙΝ</sub> (kA)	I <sub>ΜΕΤΑ</sub> (kA)	Loading(%)
Άγιος Διονύσιος	0.3	0.2	0.010	0.482	83.6
SCS-2	0.6	0.5	0.024	0.044	83.2
SCS-3	2.6	2.1	0.096	0.175	83.3
Ελεγκτήρια	0.4	0.3	0.015	0.756	83.3
SCS-4	2.6	2.1	0.096	0.175	83.1
3 <sup>rd</sup> Dock	1.0	0.8	0.038	1.92	83.3
SCS-5	2.6	2.1	0.096	0.175	83.2

Πίνακας 28: Φορτίσεις Μετασχηματιστών (Σενάριο 2)

### 3.3.3. Σενάριο 3 (Φόρτιση 100 % SCS-2/SCS-4)

Η τρίτη περίπτωση που εξετάσαμε είναι όλα τα φορτία να βρίσκονται στο 80% της ονομαστικής ισχύος των εγκατεστημένων μετασχηματιστών ,εκτός από τα φορτία στους υποσταθμούς ξηράς SCS-2,SCS-4 όπου τα φορτία είναι στο 100% της ονομαστικής ισχύος των εγκατεστημένων μετασχηματιστών.

#### Δεδομένα

Ο πίνακας με τα δεδομένα των φορτίων του σεναρίου 3 φαίνεται παρακάτω:

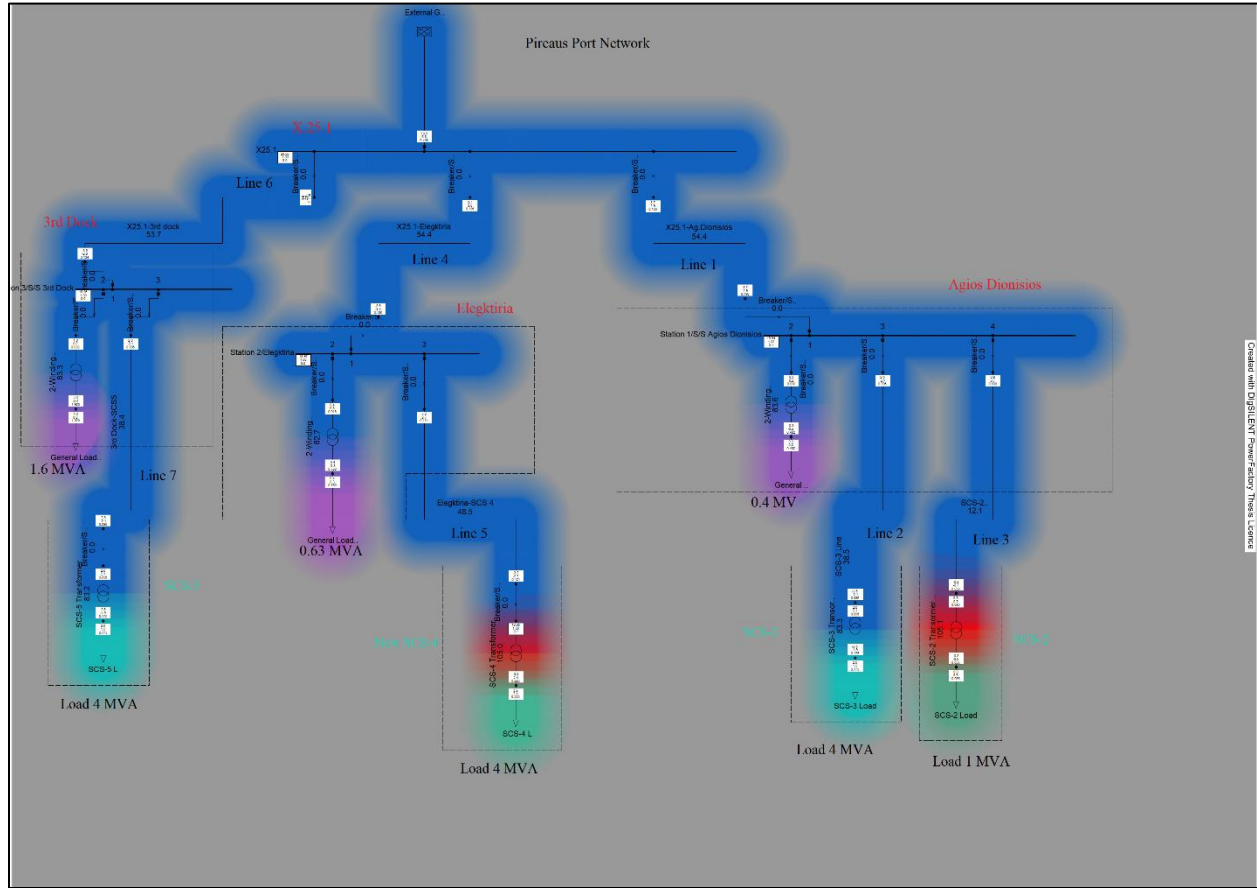
Υποσταθμός	Ον. Ισχύς Μ/Σ(MVA)	Φορτίο Λειτουργίας (MVA)	Συντελεστής Ισχύος	Πραγματικό Φορτίο (MW)	Φόρτιση(%)
Άγιος Διονύσιος	0.4	0.32	0.8	0.256	83.6
SCS-2	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>105.1</b>
SCS-3	4	3.2	0.8	2.56	83.3
Ελεγκτήρια	0.63	0.5	0.8	0.4	82.7
SCS-4	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0.8</b>	<b>3.2</b>	<b>105.0</b>
3 <sup>rd</sup> Dock	1.6	1.28	0.8	1.024	83.3
SCS-5	4	3.2	0.8	2.56	83.2

Πίνακας 29: Δεδομένα Φόρτισης Σεναρίου 3

#### Μελέτη Ροής Φορτίου

Ακολουθεί η μελέτη της ροής φορτίου για το Σενάριο 3. Όπως αναμενόταν παρατηρούμε υπερφόρτιση στους εγκατεστημένους μετασχηματιστές στους υποσταθμούς σύνδεσης ξηράς SCS-2 και SCS-4. Η υπερφόρτιση φαίνεται στον θερμικό χάρτη (heatmap), καθώς οι δύο μετασχηματιστές εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα. Παρακάτω φαίνεται η εικόνα του θερμικού χάρτη ,καθώς και τα αποτελέσματα όσον αφορά τις τάσεις των ζυγών του δικτύου αλλά και τις φορτίσεις των γραμμών και μετασχηματιστών.





Εικόνα 70: Θερμικός Χάρτης Σεναρίου 3

### Τάσεις Ζυγών

Οι τάσεις των ζυγών φαίνονται παρακάτω :

#### Τάσεις Ζυγών ( Σενάριο 3)

Υποσταθμός	Τάση(kV)	u(p.u.)	phi (deg)
<b>X.25.1</b>	<b>20.00</b>	1.0	0.0
<b>Άγιος Διονύσιος</b>	<b>19.94</b>	1.0	0.1
<b>Ελεγκτήρια</b>	<b>19.97</b>	1.0	0.0
<b>3<sup>rd</sup> Dock</b>	<b>19.96</b>	1.0	0.0

Πίνακας 30: Τάσεις Ζυγών Σενάριου 3

### Φορτίσεις Γραμμών

Οι φορτίσεις των γραμμών / καλωδίων για το Σενάριο 3 φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Φορτίσεις Γραμμών (Σενάριο 3)				
Γραμμή (Line)	P (MW)	Q(Mvar)	I(kA)	Loading(%)
1	3.7	2.9	0.136	54.4
2	2.6	2.1	0.096	38.5
3	0.8	0.7	0.030	12.1
4	3.7	3.0	0.136	54.4
5	3.2	2.7	0.121	48.5
6	3.6	2.9	0.134	53.7
7	2.6	2.1	0.096	38.4

Πίνακας 31: Φορτίσεις Γραμμών (Σενάριο 3)

### Φορτίσεις Μετασχηματιστών

Οι φορτίσεις των μετασχηματιστών για το Σενάριο 3 ,φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Φορτίσεις Μετασχηματιστών (Σενάριο 3)					
M/Σ	P(MW)	Q(Mvar)	I <sub>ΠΡΙΝ</sub> (kA)	I <sub>ΜΕΤΑ</sub> (kA)	Loading(%)
Άγιος Διονύσιος	0.3	0.2	0.010	0.482	83.6
SCS-2	0.8	0.7	0.030	0.055	105.1
SCS-3	2.6	2.1	0.096	0.175	83.3
Ελεγκτήρια	0.4	0.3	0.015	0.756	83.3
SCS-4	3.2	2.7	0.121	0.22	105.0
3 <sup>rd</sup> Dock	1.0	0.8	0.038	1.92	83.3
SCS-5	2.6	2.1	0.096	0.175	83.2

Πίνακας 32: Φορτίσεις μετασχηματιστών Σενάριο 3

### 3.3.4. Σενάριο 4 (Φόρτιση 100% σε SCS-2,SCS-4,SCS-5)

Η τέταρτη περίπτωση που εξετάσαμε ,είναι τα φορτία στους εγκατεστημένους μετασχηματιστές SCS-2,SCS-4,SCS-5 να είναι στο 100% της ονομαστικής ισχύος τους, και τα υπόλοιπα φορτία του δικτύου να είναι στο 80% της ονομαστικής ισχύος των μετασχηματιστών.

#### Δεδομένα

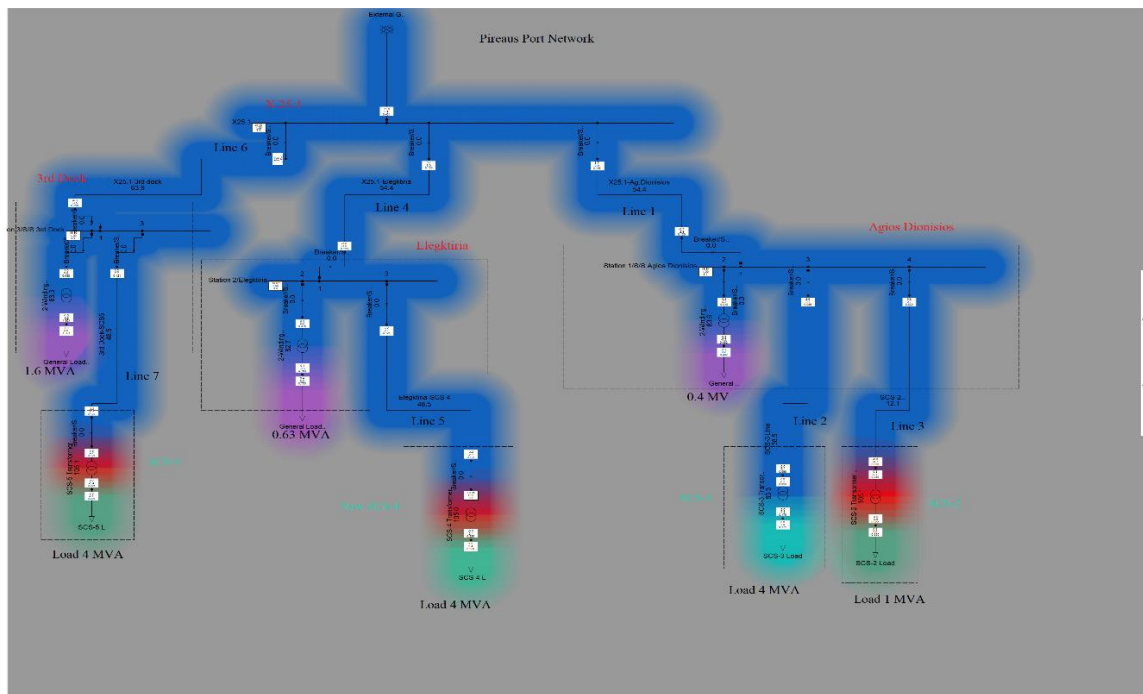
Ο πίνακας όσον αφορά τα φορτία, για το Σενάριο 4 φαίνεται παρακάτω :

Υποσταθμός	Ον. Ισχύς Μ/Σ(MVA)	Φορτίο Λειτουργίας (MVA)	Συντελεστής Ισχύος	Πραγματικό Φορτίο (MW)	Φόρτιση(%)
Άγιος Διονύσιος	0.4	0.32	0.8	0.256	83.6
SCS-2	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>105.1</b>
SCS-3	4	3.2	0.8	2.56	83.3
Ελεγκτήρια	0.63	0.5	0.8	0.4	82.7
SCS-4	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0.8</b>	<b>3.2</b>	<b>105.0</b>
3 <sup>rd</sup> Dock	1.6	1.28	0.8	1.024	83.3
SCS-5	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>0.8</b>	<b>3.2</b>	<b>105.1</b>

Πίνακας 33: Δεδομένα φόρτισης Σεναρίου 4

#### Μελέτη Ροής Φορτίου

Ακολουθεί η μελέτη της ροής φορτίου για το Σενάριο 4.Ο θερμικός χάρτης ,καθώς και τα αποτελέσματα των φορτίσεων γραμμών και μετασχηματιστών φαίνονται παρακάτω.



Εικόνα 71:Θερμικός Χάρτης (Σενάριο 4)

### Τάσεις Ζυγών

Όπως θα δούμε παρακάτω οι τάσεις των ζυγών μοιάζουν με το Σενάριο 3:

#### Τάσεις Ζυγών ( Σενάριο 4)

Υποσταθμός	Τάση(kV)	u(p.u.)	phiu (deg)
X.25.1	20.00	1.0	0.0
Άγιος Διονύσιος	19.94	1.0	0.1
Ελεγκτήρια	19.97	1.0	0.0
3 <sup>rd</sup> Dock	19.96	1.0	0.0

Πίνακας 34: Τάσεις Ζυγών (Σενάριο 4)

### Φορτίσεις γραμμών

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι φορτίσεις των γραμμών για το Σενάριο 4:

Γραμμή (Line)	P (MW)	Q(Mvar)	I(kA)	Loading(%)
1	3.7	2.9	0.136	54.4
2	2.6	2.1	0.096	38.5
3	0.8	0.7	0.030	12.1
4	3.7	3.0	0.136	54.4
5	3.2	2.7	0.121	48.5
6	4.3	3.5	0.159	63.9
7	3.2	2.7	0.121	48.5

Πίνακας 35: Φορτίσεις γραμμών (Σενάριο 4)

### Φορτίσεις Μετασχηματιστών

Φορτίσεις Μετασχηματιστών (Σενάριο 4)					
M/Σ	P(MW)	Q(Mvar)	I <sub>IPIN</sub> (kA)	I <sub>META</sub> (kA)	Loading(%)
Άγιος Διονύσιος	0.3	0.2	0.010	0.482	83.6
SCS-2	0.8	0.7	0.030	0.055	105.1
SCS-3	2.6	2.1	0.096	0.175	83.3
Ελεγκτήρια	0.4	0.3	0.015	0.750	82.7
SCS-4	3.2	2.7	0.121	0.22	105.0
3 <sup>rd</sup> Dock	1.0	0.8	0.038	1.921	83.3
SCS-5	3.2	2.7	0.121	0.221	105.1

Πίνακας 36: Φορτίσεις Μετασχηματιστών (Σενάριο 4)

### 3.3.5. Σενάριο 5 (Αγιος Διονύσιος S/S)

Εκτός από τα τέσσερα βασικά σενάρια λειτουργίας ολόκληρου του δικτύου που αναφέρουμε παραπάνω ,κρίνεται σκόπιμο να εξετάσουμε ξεχωριστά κάθε κεντρικό υποσταθμό ως προς την πιθανότητα υπερφόρτισης κυρίως των γραμμών/καλωδίων και λιγότερο των μετασχηματιστών που έχουν εξεταστεί ενδελεχώς σε προηγούμενα σενάρια.

#### Περιγραφή

Στο παρόν σενάριο εξετάζουμε εξ ολοκλήρου τον υποσταθμό **Άγιος Διονύσιος**. Μας ενδιαφέρει μέχρι ποιο φορτίο μπορεί να αντέξει το καλώδιο που έχουμε επιλέξει για την προσομοίωση του δικτύου ,δηλαδή για ποιο φορτίο ουσιαστικά έχουμε φόρτιση μεγαλύτερη του 100%.Στους εγκατεστημένους μετασχηματιστές εφαρμόσαμε φορτία πολύ μεγαλύτερα της ονομαστικής ισχύος τους ,μέσα στα πλαίσια όμως των απαιτήσεων που μπορεί να έχει ένα πλοίο όσον αφορά την ηλεκτροδότηση του από το λιμάνι (π.χ. ένα κρουαζιερόπλοιο μπορεί να έχει απαίτηση σε ηλεκτρική ισχύ μέχρι και 7 MW).

#### Δεδομένα

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα δεδομένα του σεναρίου λειτουργίας.

Υποσταθμός/ Μετασχηματιστής	Ον. Ισχύς Μ/Σ(MVA)	Φορτίο Λειτουργίας (MVA)	Συντελεστής Ισχύος	Πραγματικό Φορτίο (MW)	Φόρτιση(%)
<b>Άγιος Διονύσιος</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	<b>0.8</b>	<b>0.48</b>	<b>145.8</b>
<b>SCS-2</b>	<b>1</b>	<b>1.6</b>	<b>0.8</b>	<b>1.28</b>	<b>174.3</b>
<b>SCS-3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>0.8</b>	<b>4.8</b>	<b>162.7</b>
Ελεγκτήρια	0.63	0.5	0.8	0.4	82.7
SCS-4	4	3.2	0.8	2.56	83.1
3 <sup>rd</sup> Dock	1.6	1.28	0.8	1.024	83.3
SCS-5	4	3.2	0.8	2.56	83.2

Πίνακας 37: Δεδομένα φόρτισης Σεναρίου 5

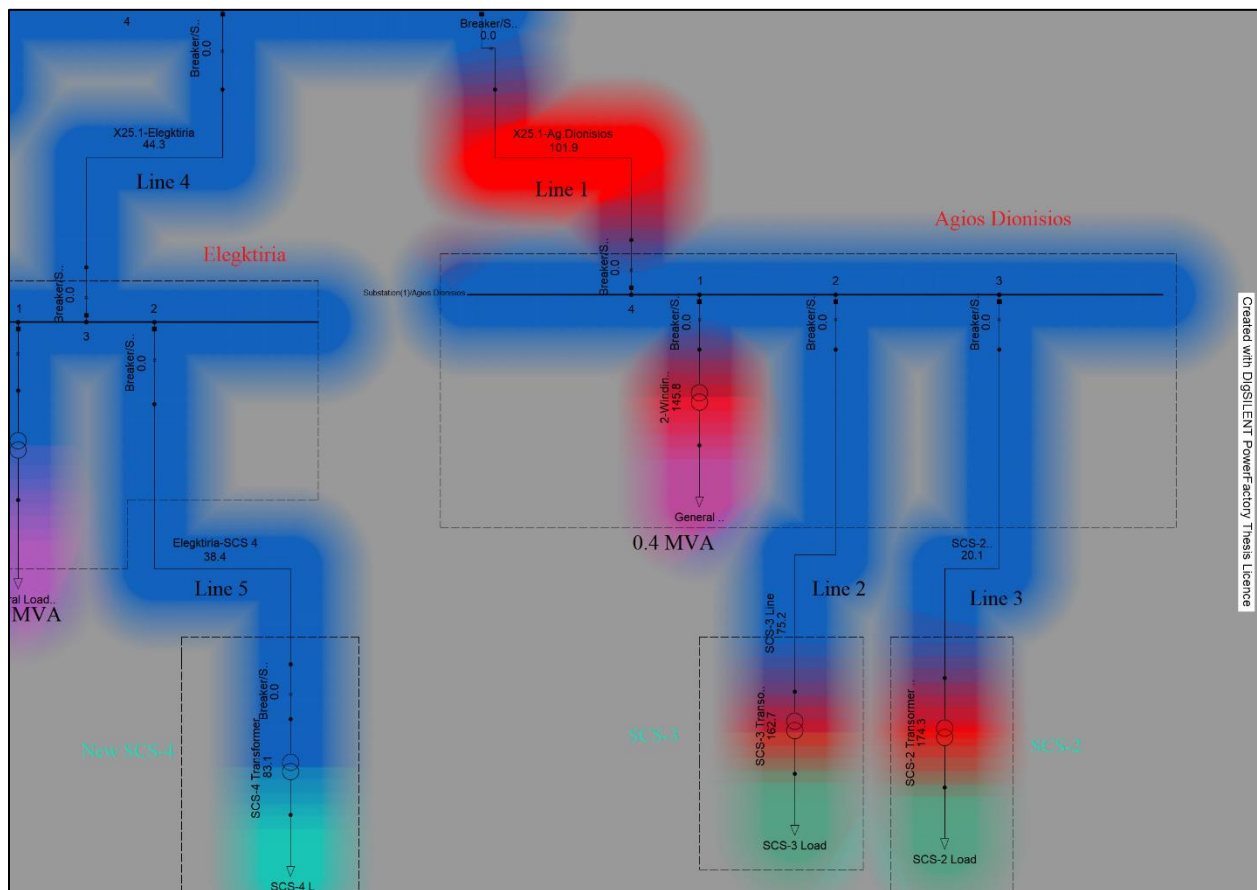
**Σημείωση:** Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται με έντονο χρώμα τα χαρακτηριστικά που αφορούν τον Άγιο Διονύσιο S/S. Τα υπόλοιπα στοιχεία παρουσιάζονται για λόγους πληρότητας ,αλλά δε διαφέρουν με αυτά του Σεναρίου 2.

## Αποτελέσματα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του υπολογισμού της ροής φορτίου όπως ακριβώς και στα προηγούμενα σενάρια. Φαίνεται ο θερμικός χάρτης του δικτύου για τις δεδομένες συνθήκες φόρτισης καθώς και οι φορτίσεις μετασχηματιστών, οι φορτίσεις γραμμών και οι τάσεις όλων των ζυγών. Σημειώνεται πως παρουσιάζονται οι φορτίσεις των ηλεκτρικών στοιχείων που αφορούν τον υποσταθμό Άγιος Διονύσιος καθώς τα υπόλοιπα στοιχεία φορτίζονται όπως στο Σενάριο 2.

### Υπολογισμός Ροής Φορτίου

Ο υπολογισμός της ροής φορτίου έγινε με τον ίδιο τρόπο όπως και στις προηγούμενες ενότητες. Παρακάτω φαίνεται ο θερμικός χάρτης του δικτύου με έμφαση στην περιοχή του Αγίου Διονυσίου. Παρατηρούμε πως εκτός από τους μετασχηματιστές, υπάρχει υπερφόρτιση της γραμμής X.25.1 → Αγίος Διονύσιος (loading > 100%).



Εικόνα 72: Θερμικός Χάρτης Δικτύου Πειραιά (Άγιος Διονύσιος)

## Φορτίσεις Γραμμών/Καλωδίων

Παρακάτω παρουσιάζονται οι φορτίσεις των γραμμών που αφορούν το συγκεκριμένο σενάριο το συγκεκριμένο σενάριο λειτουργίας.

Γραμμή (Line )	P(MW)	Q(Mvar)	I(kA)	Loading (%)
1	6.7	5.7	0.254	<b>101.9</b>
2	4.9	4.2	0.188	<b>75.2</b>
3	1.3	1.1	0.050	<b>20.1</b>

Πίνακας 38: Φορτίσεις Γραμμών/Καλωδίων (Άγιος Διονύσιος)

Όπως φαίνεται από τον πίνακα στην γραμμή 1 έχω φόρτιση  $101.9\% > 100\%$  ,επομένως ο συγκεκριμένος συνδυασμός φορτίων αν εφαρμοστεί δημιουργεί πρόβλημα στη γραμμή. Περισσότερα αναφέρονται στο κεφάλαιο 4.

## Φορτίσεις Μετασχηματιστών

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι φορτίσεις των μετασχηματιστών που αφορούν την περιοχή του Αγίου Διονυσίου για τις συγκεκριμένες συνθήκες φόρτισης.

M/Σ	Ονομ. Ισχύς(MVA)	Φορτίο (S,MVA)	Φορτίο (P,MW)	Loading (%)
Άγιος Διονύσιος	0.4	<b>0.6</b>	0.48	<b>145.8</b>
SCS-2	1	<b>1.6</b>	1.28	<b>174.3</b>
SCS-3	4	<b>6</b>	4.8	<b>162.7</b>

Πίνακας 39: Φορτίσεις M/Σ (Άγιος Διονύσιος)

Φαίνεται ξεκάθαρα πως οι μετασχηματιστές φορτίζονται πού παραπάνω από το 100%, και αυτό μας δίνει μια ένδειξη για την κατάσταση του δικτύου. Ωστόσο παρατηρούμε πως ενώ η ισχύς του καταναλωτή (aka Άγιος Διονύσιος ) δεν αυξήθηκε δραματικά ,μόλις 0.2 MVA,η αύξηση ζήτησης ισχύος στις θέσεις SCS-2,SCS-3 οδήγησε σε υπερφόρτιση της γραμμής!

## Τάσεις Ζυγών

Εδώ προφανώς θα παρουσιάσουμε τις τάσεις όλων των ζυγών του δικτύου. Από τα αποτελέσματα διαφαίνεται μια μικρή πτώση τάσης στο δίκτυο (κάτι που εμφανίζεται και στα προηγούμενα σενάρια λειτουργίας).

Ζυγός	Τάση (kV)	U (p.u.)	Phiu (deg)
X.25.1	<b>20.00</b>	1.000	0.000
Άγιος Διονύσιος	<b>19.88</b>	0.994	0.118
Ελεγκτήρια	<b>19.97</b>	0.999	0.022
3 <sup>rd</sup> Dock	<b>19.96</b>	0.998	0.033

Πίνακας 40: Τάσεις Ζυγών Δικτύου (Σενάριο 5)

### 3.3.6. Σενάριο 6 (Elegktiria S/S)

Στη συνέχεια εξετάζουμε τον δεύτερο κεντρικό υποσταθμό Elegktiria S/S, όπου μας ενδιαφέρει πάλι η μελέτη της υπερφόρτισης των γραμμών /καλωδίων της περιοχής αυτής.

#### Περιγραφή

Στο παρόν σενάριο εφαρμόσαμε πάλι φορτία αρκετά μεγαλύτερα φορτία από την ονομαστική τάση των εγκατεστημένων μετασχηματιστών ( $\approx 7$  MVA ,για τη θέση cold ironing) αλλά και του εγκαθιστάμενου μετασχηματιστή που εξυπηρετεί τους καταναλωτές στο λιμάνι( $\approx 1$  MVA). Παρατηρήθηκε πως για αυτό το συνδυασμό φορτίων έχω οριακή υπερφόρτιση της γραμμής X.25.1  $\rightarrow$  Elegktiria S/S (loading > 100%)

#### Δεδομένα

Τα δεδομένα φόρτισης του Σεναρίου 6, φαίνονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα. Σημειώνεται για άλλη μια φορά πως ενώ αναγράφονται όλα τα ηλεκτρικά στοιχεία ,αυτά που ενδιαφέρουν είναι αυτά με **έντονο χρώμα** στην περιοχή του υποσταθμού **Ελεγκτήρια**.

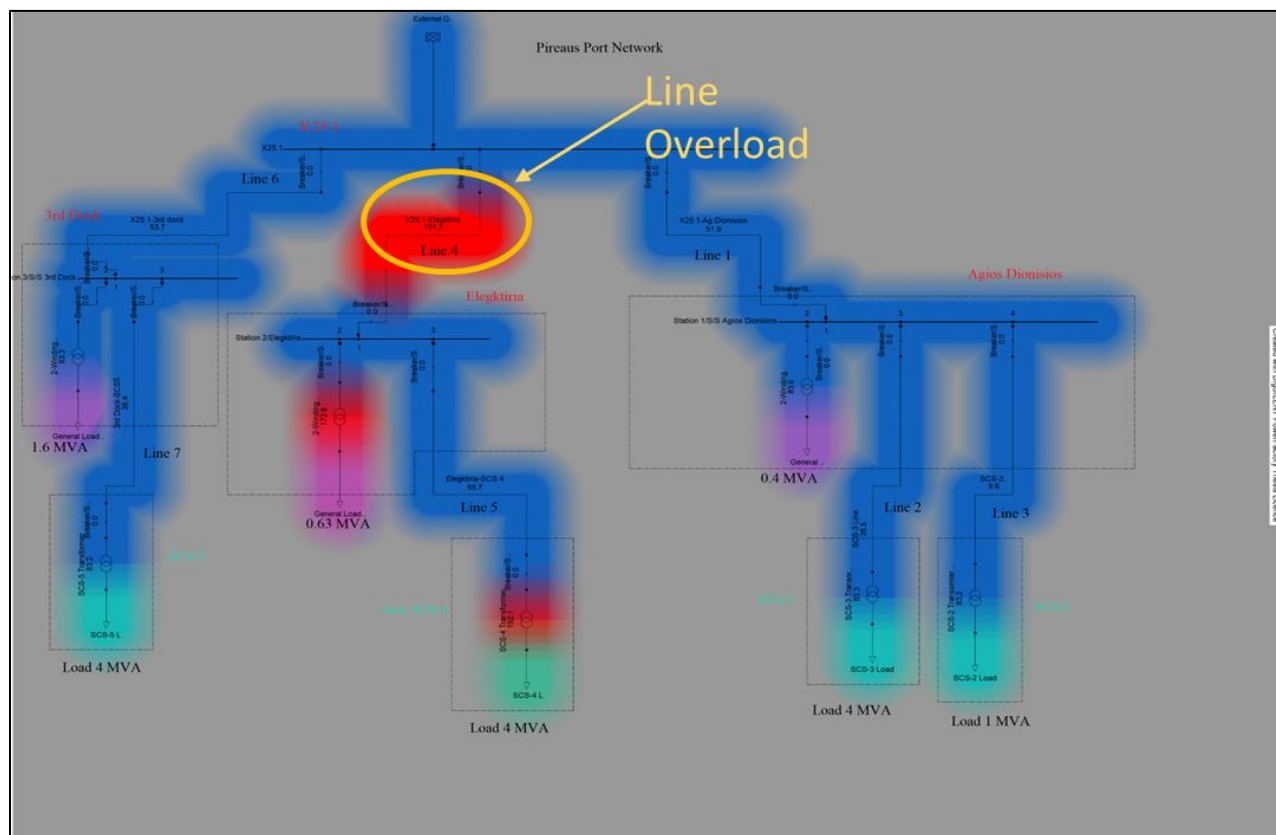


Υποσταθμός	Ον. Ισχύς Μ/Σ(MVA)	Φορτίο Λειτουργίας (MVA)	Συντελεστής Ισχύος	Πραγματικό Φορτίο (MW)	Φόρτιση(%)
Άγιος Διονύσιος	0.4	0.32	0.8	0.256	83.6
SCS-2	1	0.8	0.8	0.64	83.2
SCS-3	4	3.2	0.8	2.56	83.3
<b>Ελεγκτήρια</b>	<b>0.63</b>	<b>1</b>	<b>0.8</b>	<b>0.8</b>	<b>172.9</b>
<b>SCS-4</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>0.8</b>	<b>5.6</b>	<b>192.1</b>
3 <sup>rd</sup> Dock	1.6	1.28	0.8	1.024	83.3
SCS-5	4	3.2	0.8	2.56	83.2

Πίνακας 41: Δεδομένα Φόρτισης Σεναρίου 6

## Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα του υπολογισμού της ροής φορτίου φαίνονται στους παρακάτω πίνακες ,καθώς και στον θερμικό χάρτη του δικτύου που ακολουθεί.



Εικόνα 73: Ροή Φορτίου (Ελεγκτήρια)

## Φορτίσεις Γραμμών / Καλωδίων

Οι φορτίσεις των γραμμών X.25.1→Elegktiria (Line 4) και Elegktiria→SCS-4 (Line 5) ,φαίνονται παρακάτω:

Γραμμή (Line )	P(MW)	Q(Mvar)	I(kA)	Loading (%)
4	6.6	5.8	0.253	101.2
5	5.7	5.1	0.222	88.7

Πίνακας 42: Φορτίσεις Γραμμών (Σενάριο 6, Ελεγκτήρια)

Παρατηρούμε πως έχουμε υπερφόρτιση της γραμμής 4 ,όπως αναμενόταν με φόρτιση 101.2%.Επομένως συμπεραίνουμε πως δεν μπορούμε να έχουμε φορτία 1 MVA και 7MVA ταυτόχρονα στις θέσεις *Ελεγκτήρια* και *SCS-4* αντίστοιχα.

## Φορτίσεις Μετασχηματιστών

Οι φορτίσεις των μετασχηματιστών στην περιοχή Ελεγκτήρια ,φαίνονται παρακάτω:

M/Σ	Ονομ. Ισχύς(MVA)	Φορτίο S (MVA)	ΦορτίοP (MW)	Loading (%)
Ελεγκτήρια	0.63	1	0.8	172.9
SCS-4	4	7	5.6	192.1

Πίνακας 43 : Φορτίσεις Μετασχηματιστών ( Σενάριο 6, Ελεγκτήρια)

## Τάσεις Ζυγών

Ζυγός	Τάση (kV)	U (p.u.)	Phiu (deg)
X.25.1	20.00	1.000	0.000
Ag.Dionisios	19.94	0.997	0.054
Elegktiria	19.94	0.997	0.059
3 <sup>rd</sup> Dock	19.96	0.998	0.033

Σε αυτό το σημείο σημειώνουμε πως σε κάθε υπολογισμό της ροής φορτίου, το *Power Factory* δίνει τη δυνατότητα εμφάνισης όλων των αποτελεσμάτων φόρτισης μέσω του *Output Window*, του οποίου η λειτουργία έχει αναπτυχθεί στο *Κεφάλαιο 2*.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το παράθυρο εξόδου του προγράμματος για τον υπολογισμό της ροής φορτίου του σεναρίου 6. Στην έξοδο αναγράφονται η ισχύς (MW) και η ένταση του ρεύματος (kA) όλων των τερματικών του δικτύου καθώς και κάποια ηλεκτρικά στοιχεία των οποίων η φόρτιση ξεπερνάει κάποιο συγκεκριμένο όριο.

Συγκεκριμένα το *Power Factory* επιλέγει να εμφανίσει με κόκκινο χρώμα όλα τα στοιχεία των οποίων η φόρτιση ξεπερνάει το 80% (loading > 80%).

#### Power Factory Output Window (Scenario 6)

		DIGSILENT		Project:		
		PowerFactory		Date: 5/10/2023		
		2022 SP3				
Study Case: PireausPort				Annex: / 1		
Name	Type	Loading [%]	Voltage [p.u.] [kV]	Station/Branch	Apparent Power [MVA]	Current [kA] [p.u.]
<b>Overloaded Elements</b>						
SCP-4	Term	0.91	10.02	second_grid		
Terminal(13)	Term	0.92	0.37	second_grid		
Terminal(17)	Term	0.94	10.36	Grid		
Terminal(2)	Term	0.95	10.45	Grid(1)		
Elegktiria-SCS 4	Lne	88.72		Terminal(14)	7.65	0.22 0.89
				Terminal(15)	7.64	0.22 0.89
Line	Lne	91.74		Terminal(1)	4.04	0.22 0.92
				Terminal(2)	4.00	0.22 0.92
X25.1-Elegktiria	Lne	101.21		Terminal(10)	8.76	0.25 1.01
				Terminal(11)	8.74	0.25 1.01
2-Winding Transformer Tr2	Tr2	105.14		Terminal(1)	4.04	0.22 1.05
				Terminal	4.21	0.74 1.05
2-Winding Transformer Tr2	Tr2	102.45		Terminal(2)	0.41	0.01 1.02
				Terminal(3)	0.40	0.59 1.02
2-Winding Transformer(2)2	Tr2	212.35		Terminal(10)	8.37	0.25 2.12
				Terminal(11)	8.27	1.49 2.12
2-Winding Transformer(4)2	Tr2	212.35		Terminal(15)	8.19	0.45 2.12
				Terminal(11)	8.27	1.49 2.12
3rd Dock Transformer Tr2	Tr2	83.25		Terminal(20)	1.33	0.04 0.83
				Terminal(21)	1.28	1.92 0.83
Agios Dionisios Transformer	Tr2	83.60		Terminal(2)	0.33	0.01 0.84
Study Case: PireausPort				Annex: / 2		
Name	Type	Loading [%]	Voltage [p.u.] [kV]	Station/Branch	Apparent Power [MVA]	Current [kA] [p.u.]
				Terminal(3)	0.32	0.48 0.83
Elegktiria Transformer Tr2	Tr2	172.88		Terminal(12)	1.09	0.03 1.73
				Terminal(13)	1.00	1.57 1.73
SCS-2 Transormer 1MVA Tr2	Tr2	83.23		SCS-2	0.83	0.02 0.83
				SCP-2	0.80	0.04 0.83
SCS-3 Transormer Tr2	Tr2	83.29		SCS-3	3.32	0.10 0.83
				SCP-3	3.20	0.17 0.83
SCS-4 Transformer Tr2	Tr2	192.07		SCS-4	7.64	0.22 1.92
				SCP-4	7.00	0.40 1.92
SCS-5 Transformer Tr2	Tr2	83.16		SCS-5	3.32	0.10 0.83
				SCP-5	3.20	0.17 0.83

Εικόνα 74: Παράθυρο Εξόδου Υπολογισμού Ροής Φορτίου (Σενάριο 6)

### 3.3.7. Σενάριο 7 ( 3<sup>rd</sup> Dock S/S)

Τελευταία υπόθεση που εξετάστηκε ήταν αυτή του υποσταθμού 3<sup>rd</sup> Dock S/S. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έπρεπε να εξετάσουμε τρεις (3) διαφορετικές περιπτώσεις του ίδιου σεναρίου που διαφέρουν ως προς τα επιβαλλόμενα φορτία που υπάρχουν μετά τους μετασχηματιστές 3<sup>rd</sup> Dock (L1) και SCS-5 (L2).

#### Περιγραφή

Όπως αναφέραμε το συγκεκριμένο σενάριο λειτουργίας διαιρείται σε τρία (3) υποσενάρια. Στο πρώτο εφαρμόσαμε φορτία λίγο μεγαλύτερα από την ονομαστική ισχύ των μετασχηματιστών (L1=1.6 MVA , L2=5 MVA) . Στο δεύτερο κρατήσαμε σχεδόν σταθερό το φορτίο του καταναλωτή και εφαρμόσαμε σχετικά μεγάλο φορτίο στη θέση cold ironing (L1= 1.7 MVA , L2= 7 MVA). Στο τρίτο αυξήσαμε πάλι το φορτίο στη θέση του cold ironing μέχρι να παρατηρηθεί υπερφόρτιση της και της γραμμής 7 (L1=1.7 MVA, L2=8MVA).

#### Δεδομένα

Μ/Σ	Nom.Power (MVA)	Case 1		Case 2		Case 3		
		Φορτίο (S,MVA)	Loading	Φορτίο (S,MVA)	Loading	Φορτίο (S,MVA)	Loading	
3 <sup>rd</sup> Dock	1.6 MVA	<b>1.6</b>	105.2%	<b>1.7</b>	112.2%	<b>1.7</b>	112.3%	
SCS-5	4 MVA	<b>5</b>	133.2%	<b>7</b>	192.2%	<b>8</b>	223.3%	
<b>Line</b>			Loading		Loading		Loading	
<b>6</b>			<b>80.9 %</b>		<b>109.4 %</b>		<b>123.8 %</b>	
<b>7</b>			<b>61.5 %</b>		<b>88.8 %</b>		<b>103.1 %</b>	

Πίνακας 44: Δεδομένα Φόρτισης Σεναρίου 7 (3<sup>rd</sup> Dock S/S)

Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται συνοπτικά οι τρεις δοκιμές που έγιναν για το σενάριο 7. Σε κάθε στήλη αναγράφεται το φορτίο που εφαρμόστηκε και στη συνέχεια οι φορτίσεις των αντίστοιχων μετασχηματιστών. Τέλος αναγράφονται και οι φορτίσεις των γραμμών για κάθε δοκιμή.

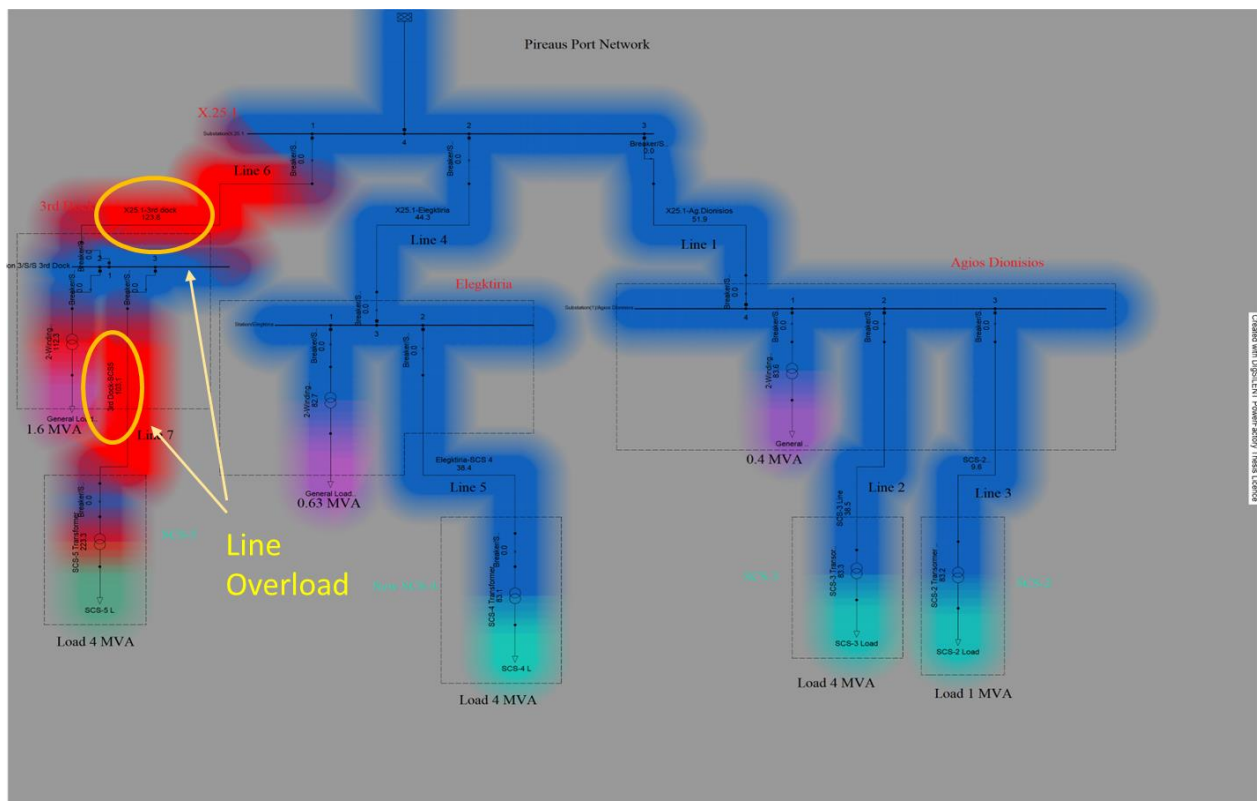
**Παρατήρηση:** Η αύξηση της ζήτησης για ισχύ στις θέσεις cold ironing έχει πολύ μεγαλύτερη επίδραση στο δίκτυο (στις φορτίσεις γραμμών ) από ότι η αύξηση ζήτησης στους καταναλωτές..

## Αποτελέσματα

Παρουσιάζονται τα αποτελέσματα ,χάριν συντομίας ,μόνο της τρίτης δοκιμής που οδηγεί σε υπερφόρτιση και των δύο γραμμών X.25.1 → 3<sup>rd</sup> Dock(Line 6) και 3<sup>rd</sup> Dock →SCS-5(Line 7).

## Ροή Φορτίου

Η ροή φορτίου υπολογίστηκε όπως ακριβώς στα προηγούμενα σενάρια και έδωσε τον εξής θερμικό χάρτη ,που φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 75 : Ροή Φορτίου ( 3<sup>rd</sup> dock ,Σενάριο 7)

Όπως φαίνεται από την εικόνα ,έχουμε υπερφόρτιση (loading > 100%) ,και στις δύο γραμμές της περιοχής 3<sup>rd</sup> Dock ,αλλά και στους εγκατεστημένους μετασχηματιστές. Τα αναλυτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται παρακάτω.

### Φορτίσεις Γραμμών / Καλωδίων

Γραμμή (Line )	P(MW)	Q(Mvar)	I(kA)	Loading (%)
6	8.0	7.1	0.309	123.8
7	6.6	6.0	0.258	103.1

Πίνακας 45 : Φορτίσεις Γραμμών (3<sup>rd</sup> Dock ,Σενάριο 7)

### Φορτίσεις Μετασχηματιστών

M/Σ	Ονομ. Ισχύς(MVA)	Φορτίο S (MVA)	ΦορτίοP (MW)	Loading (%)
3 <sup>rd</sup> Dock	1.6	1.7	1.36	112.3
SCS-5	4	8.0	6.4	223.3

Πίνακας 46 : Φορτίσεις Μετασχηματιστών ( 3<sup>rd</sup> Dock , Σενάριο 7)

### Τάσεις Ζυγών

Ζυγός	Τάση (kV)	U (p.u.)	Phiu (deg)
X.25.1	20.00	1.000	0.000
Ag.Dionisios	19.94	0.997	0.054
Elegktiria	19.97	0.997	0.022
3 <sup>rd</sup> Dock	19.92	0.996	0.088

Πίνακας 47: Τάσεις Ζυγών ( 3<sup>rd</sup> Dock ,Σενάριο 7)

Όπως φαίνεται, παρατηρείται μια σημαντική πτώση τάσης στην περιοχή του μετασχηματιστή για τους καταναλωτές ( Terminal 21) η οποία συνοδεύεται με μια αύξηση της έντασης του ρεύματος ( $\approx 2.6$  kA). Επίσης παρατηρείται μια σημαντική πτώση τάσης στη θέση cold ironing (Terminal SCP-5), η οποία όμως δεν συνοδεύεται από αύξηση της έντασης του ρεύματος.

Το παράθυρο εξόδου του Power Factory ,όπου όλα τα παραπάνω στοιχεία αναγράφονται αναλυτικά ,φαίνεται παρακάτω:

Output Window ( Scenario 7, 3<sup>rd</sup> Dock)

Errors (0)		Warnings (1)		Information (22)		Events (0)		Others (56)		Contained text		Clear all filters	
Load Flow Calculation													
AC Load Flow, balanced, positive sequence				No									
Automatic tap adjustment of transformers				No		Max. Loading of Edge Element				80.00 %			
Consider reactive power limits				No		Lower Limit of Allowed Voltage				0.95 p.u.			
Automatic Model Adaptation for Convergence				No		Upper Limit of Allowed Voltage				1.05 p.u.			
										DIgSILENT		Project:	
										PowerFactory		Date: 5/12/2023	
										2022 SP3			
Study Case: PireausPort										Annex:		/ 1	
Name	Type	Loading [%]	Voltage [p.u.]	Voltage [kV]	Station/Branch	Apparent Power [MVA]	Current [kA]	Current [p.u.]					
Overloaded Elements													
SCP-5	Term		0.90	9.85	second_grid								
Terminal(17)	Term		0.94	10.36	Grid								
Terminal(21)	Term		0.95	0.38	second_grid								
3rd Dock-SCS5	Lne	103.13			Terminal(22)	8.89	0.26	1.03					
					Terminal(23)	8.88	0.26	1.03					
X25.1-3rd dock	Lne	123.79			Terminal(18)	10.71	0.31	1.24					
					Terminal(19)	10.68	0.31	1.24					
2-Winding Transformer Tr2		102.45			Terminal(2)	0.41	0.01	1.02					
					Terminal(3)	0.40	0.59	1.02					
2-Winding Transformer(2)2		212.35			Terminal(10)	8.37	0.25	2.12					
					Terminal(11)	8.27	1.49	2.12					
2-Winding Transformer(4)2		212.35			Terminal(15)	8.19	0.45	2.12					
					Terminal(11)	8.27	1.49	2.12					
3rd Dock Transformer Tr2		112.29			Terminal(20)	1.79	0.05	1.12					
					Terminal(21)	1.70	2.59	1.12					
Agios Dionisios Transformer		83.60			Terminal(2)	0.33	0.01	0.84					
					Terminal(3)	0.32	0.48	0.83					
Elegktiria TransformerTr2		82.66			Terminal(12)	0.52	0.02	0.83					
					Terminal(13)	0.50	0.75	0.83					
SCS-2 Transormer 1MVA Tr2		83.23			SCS-2	0.83	0.02	0.83					
					SCP-2	0.80	0.04	0.83					
Study Case: PireausPort										Annex:		/ 2	
Name	Type	Loading [%]	Voltage [p.u.]	Voltage [kV]	Station/Branch	Apparent Power [MVA]	Current [kA]	Current [p.u.]					
SCS-3 Transormer	Tr2	83.29			SCS-3	3.32	0.10	0.83					
					SCP-3	3.20	0.17	0.83					
SCS-4 Transformer	Tr2	83.13			SCS-4	3.32	0.10	0.83					
					SCP-4	3.20	0.17	0.83					
SCS-5 Transformer	Tr2	223.28			SCS-5	8.88	0.26	2.23					
					SCP-5	8.00	0.47	2.23					

Εικόνα 76: Παράθυρο Εξόδου Υπολογισμού Ροής Φορτίου ( Σενάριο 7)

# 4.Μελέτη Βραχυκυκλωμάτων

## 4.1.Εισαγωγή

Οι υπολογισμοί βραχυκυκλώματος αποτελούν σημαντική πτυχή του σχεδιασμού ηλεκτρικών συστημάτων και διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση της ασφάλειας και της αξιοπιστίας των ηλεκτρικών εγκαταστάσεων στους λιμένες. Ένα βραχυκύκλωμα συμβαίνει όταν μια μη φυσιολογική σύνδεση μεταξύ δύο σημείων σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα προκαλεί ροή ρεύματος μεγαλύτερη από αυτή που το κύκλωμα σχεδιάστηκε για να αντέξει. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υπερθέρμανση, πυρκαγιές και άλλους κινδύνους για την ασφάλεια.

Οι υπολογισμοί βραχυκυκλώματος περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό του μεγέθους και της διάρκειας του ρεύματος βραχυκυκλώματος που θα ρέει σε ένα συγκεκριμένο κύκλωμα υπό μη φυσιολογικές συνθήκες. Οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για την επιλογή και ρύθμιση προστατευτικών διατάξεων, όπως διακόπτες κυκλώματος και ασφάλειες, για τη διακοπή της ροής του ρεύματος σε περίπτωση βραχυκυκλώματος.

## 4.2 Ορισμός Βραχυκυκλώματος

Βραχυκύκλωμα καλείται η αγωγή σύνδεση δύο σημείων διαφορετικού δυναμικού, μέσω πολύ μικρής ωμικής αντίστασης (Ι.Προυσαλίδης & Χ.Φραγκόπουλος, Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, 2019). Το άμεσο αποτέλεσμα είναι η κυκλοφορία ρεύματος πολύ μεγάλης έντασης, καθώς από τον νόμο του Ohm:

$$I = \frac{V}{R} \rightarrow \infty, \text{καθώς } R \rightarrow 0$$

Φαίνεται πως όσο μεγαλύτερη είναι η ονομαστική τάση λειτουργίας (V), τόσο μεγαλύτερο είναι και το ρεύμα βραχυκυκλώματος (I). Συνεπώς τα βραχυκυκλώματα και οι συνέπειες τους γίνονται πιο σημαντικά όσο αυξάνεται η τάση λειτουργίας.

## 4.3 Συνέπειες Βραχυκυκλώματος

Αν η ένταση του ρεύματος βραχυκύκλωσης είναι αρκετά μεγάλη μπορεί να έχουμε τις ακόλουθες συνέπειες (Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, 2019, σ. 105):



- Υπερθέρμανση του εξοπλισμού
- Τήξη αγώγιμων μερών
- Τήξη μονωτικών υλικών
- Πυρκαγιές και ολική καταστροφή εξοπλισμού
- Ανάπτυξη μεγάλων (ελκτικών ή απωστικών ) δυνάμεων Laplace
- Στρεβλώσεις και κάμψεις αγώγιμων μερών
- Μηχανικές Ταλαντώσεις

Επίσης μπορεί να εμφανιστούν διακυμάνσεις στην τάση λειτουργίας όλων των σημείων του κυκλώματος οι οποίες είναι τόσο σημαντικές ,όσο εγγύτερα είναι η θέση του βραχυκυκλώματος. Οι βυθίσεις τάσεως μπορούν να οδηγήσουν σε μη ασφαλή λειτουργία ή και σε παύση λειτουργίας των ηλεκτρικών συσκευών. Ενίοτε μπορεί να εμφανιστούν και υπερτάσεις (αγείωτα συστήματα πλωτών κατασκευών) οι οποίες οδηγούν σε καταπόνηση των μονώσεων .

#### 4.4.Κανονισμοί Υπολογισμού Βραχυκυκλωμάτων

Για την μελέτη των βραχυκυκλωμάτων υπάρχουν οι εξής τρεις (3) κανονισμοί , όπως εκπονήθηκαν από την Διεθνή Επιτροπή Ηλεκτροτεχνίας (International Electrotechnical Committee- IEC) (Ι.Προυσαλίδης & Χ.Φραγκόπουλος, Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου, 2019) :

1. IEC 60909 , για βραχυκυκλώματα σε εγκαταστάσεις Ε.Ρ. ξηράς
2. IEC 61363 , για βραχυκυκλώματα σε εγκαταστάσεις Ε.Ρ. πλοίων
3. IEC 61660-1 , για βραχυκυκλώματα σε εγκαταστάσεις Σ.Ρ. ξηράς

Σε εγκαταστάσεις ξηράς η μελέτη βραχυκυκλώματος γίνεται για τάση μεγαλύτερη του 1kV.Αντίθετα ,σε πλωτές κατασκευές ο κανονισμός 61363, ορίζει να γίνεται η μελέτη βραχυκυκλωμάτων και για δίκτυα κάτω των 1000 V. Όπως γίνεται κατανοητό στην **παρούσα διπλωματική εργασία** χρησιμοποιήσαμε τη μέθοδο **IEC-60909** για την μελέτη των βραχυκυκλωμάτων που αφορούν το δίκτυο του λιμανιού του Πειραιά.

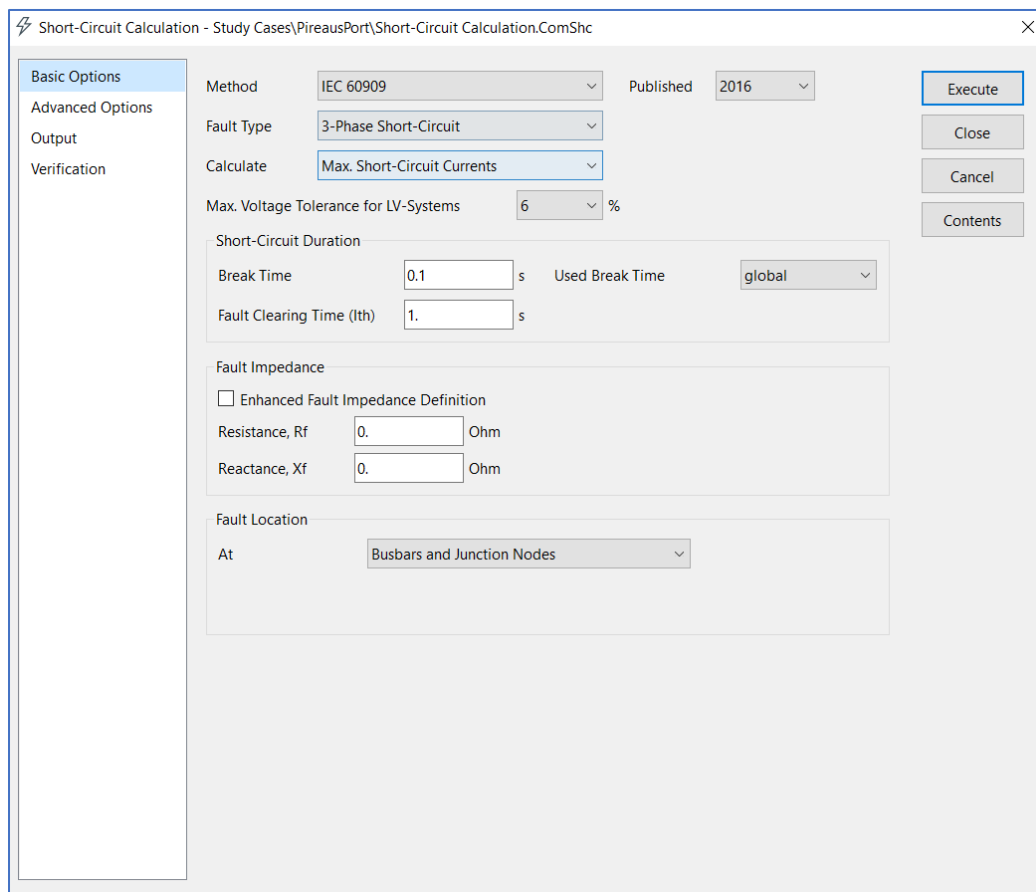
Η μελέτη του βραχυκυκλώματος έγινε με τη χρήση του λογισμικού *Power Factory* της **DIg SILENT**. Μιας και δεν έγινε μνεία για το πως υπολογίζονται τα βραχυκυκλώματα στο κεφάλαιο 2 ,θα κάνουμε μια εισαγωγή ,και στη συνέχεια παρουσιάζουμε τα αποτελέσματα που προέκυψαν.



## 4.5 Υπολογισμός Βραχυκυκλώματος ( IEC 60909)

Στην παρούσα παράγραφο θα εκτελέσουμε τον υπολογισμό του βραχυκυκλώματος στο υπάρχον δίκτυο που έχουμε δημιουργήσει στο *Power Factory* με τίτλο *Piraeus Port Network*. Αρχικά θα εκτελέσουμε τον υπολογισμό του βραχυκυκλώματος για το **Σενάριο 1 (Overload)**.

Για να ανοίξει η καρτέλα του *Υπολογισμού Βραχυκυκλώματος* κάνουμε κλικ στο εικονίδιο (⚡) *Calculate Short-Circuit* από το κεντρικό μενού εργαλείων .



Εικόνα 77: Εντολή Υπολογισμού Βραχυκυκλώματος (*Power Factory*)

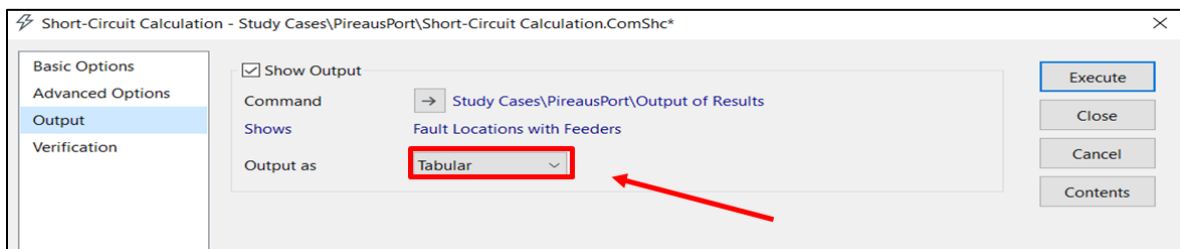
Η καρτέλα αυτή προσφέρει διάφορες επιλογές παραμέτρων για τον Υπολογισμό Βραχυκυκλώματος.

#### 4.5.1.Υπολογισμός τριφασικού σφάλματος

Στο παραπάνω παράθυρο , προκειμένου να υπολογίσουμε ένα **τριφασικό σφάλμα**, κάνουμε τις εξής επιλογές:

- Method: IEC 60909. Published: 2016
- Fault type: 3-Phase Short-Circuit
- Calculate: Max.Short-Circuit Currents
- Fault Location: Busbars and Junction Nodes
- Πατάμε **Execute**.

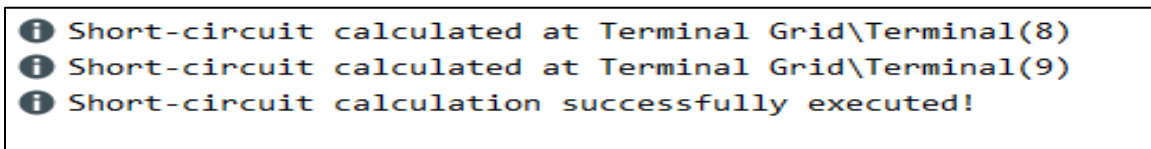
**Σημείωση:** Το *Power Factory* δίνει τη δυνατότητα να εξαχθούν τα αποτελέσματα σε μορφή πίνακα από τον υπολογισμό του βραχυκυκλώματος. Στη περίπτωση αυτή, πριν πατήσουμε Execute, από την επιλογή *Output* διαλέγουμε *Output as* → *Tabular* ,όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 78: Εξαγωγή Δεδομένων με μορφή πίνακα

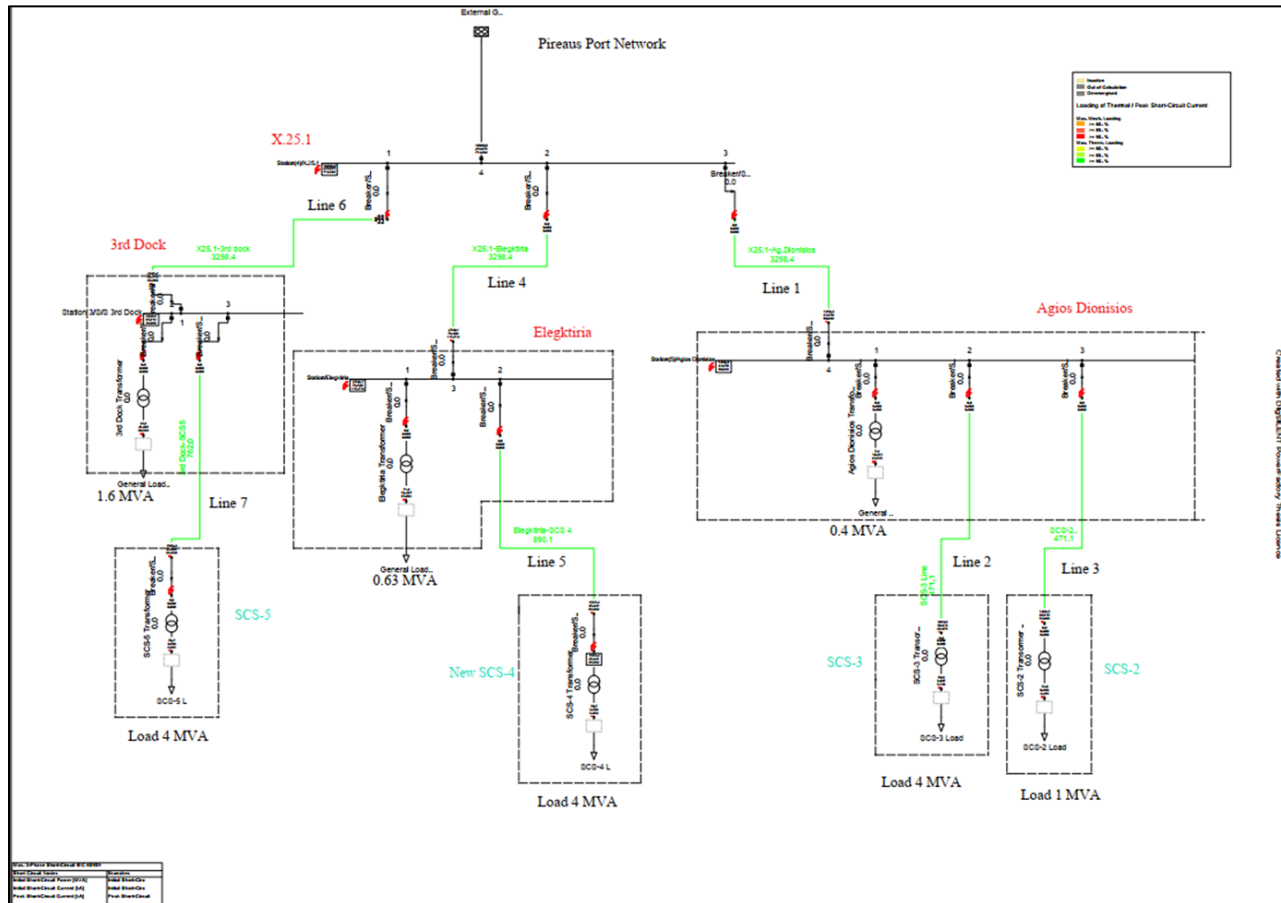
Αφού κάνουμε τις παραπάνω επιλογές και πατήσουμε Execute ξεκινάει ο υπολογισμός του βραχυκυκλώματος από το power factory. Έχουμε διαλέξει το βραχυκύκλωμα να λαμβάνει χώρα σε όλους τους ζυγούς και κόμβους και επίσης ο χρόνος διακοπής (break time ) να είναι  $t_{break} = 0.1s$

Ξεκινάει ο υπολογισμός της ροής φορτίου και ένα μήνυμα στο παράθυρο εξόδου εμφανίζεται , το οποίο μας πληροφορεί πως ο υπολογισμός εκτελέστηκε με επιτυχία.



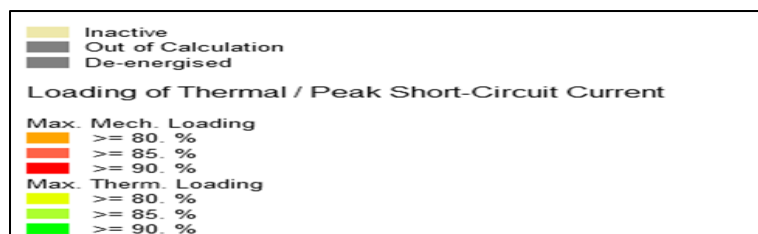
Εικόνα 79: Ολοκλήρωση Υπολογισμού βραχυκυκλώματος

Τα αποτελέσματα εμφανίζονται τώρα στο μονογραμμικό διάγραμμα του δικτύου το οποίο έχει την παρακάτω μορφή:



Εικόνα 80: Υπολογισμός Βραχυκυκλώματος ( Δίκτυο Λιμένος Πειραιά)

Το υπόμνημα πάνω δεξιά της εικόνας δηλώνει τα διάφορα χρώματα και τι αντιπροσωπεύουν.



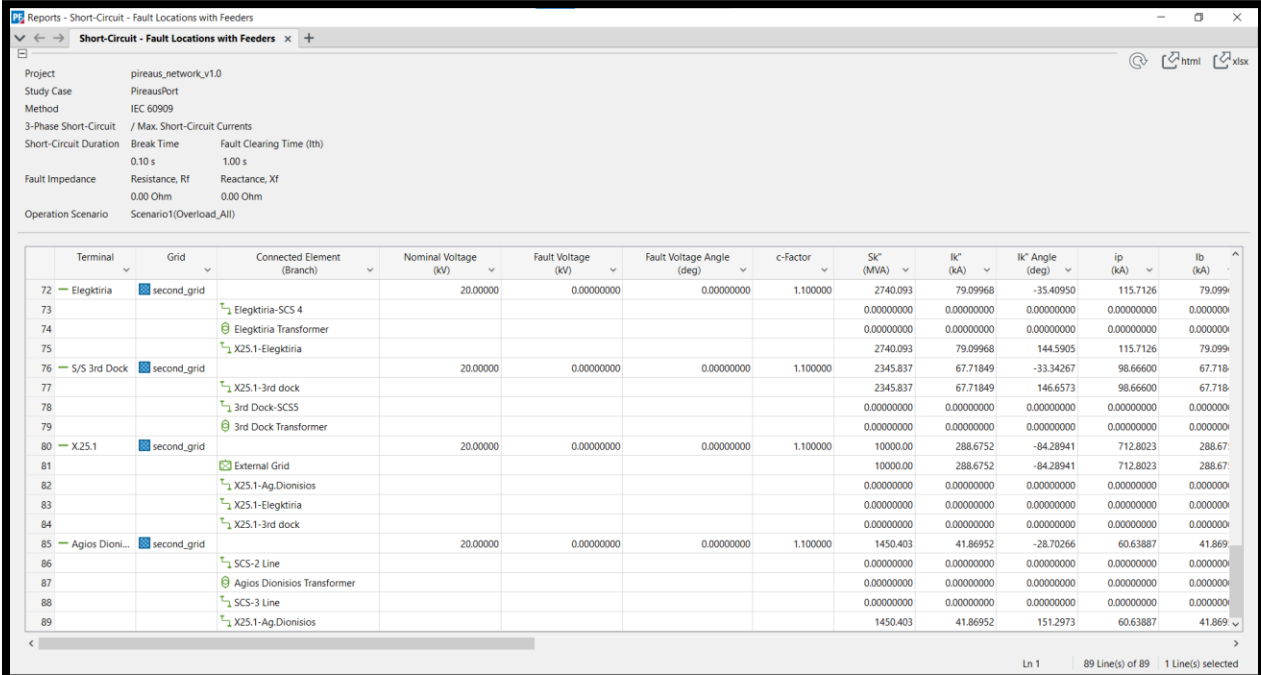
Εικόνα 81: Υπόμνημα Χρωμάτων

Όπως φαίνεται ,παραπάνω όλες οι γραμμές του δικτύου υπόκεινται σε θερμική φόρτιση μεγαλύτερη του 90% και είναι με πράσινο χρώμα όπως δηλώνει το υπόμνημα (therm.loading>90%), και μάλιστα πολύ μεγαλύτερη όπως θα δούμε παρακάτω.

## 4.6. Αποτελέσματα Υπολογισμού Βραχυκυκλώματος

### 4.6.1.Εξαγωγή Αποτελεσμάτων

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, το *Power Factory* δίνει τη δυνατότητα να εξάγουμε τα αποτελέσματα από τον υπολογισμό βραχυκυκλώματος με διάφορες μεθόδους. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα ,εξάγουμε τα αποτελέσματα σε μορφή πίνακα (tabular).



Terminal	Grid	Connected Element (Branch)	Nominal Voltage (kV)	Fault Voltage (kV)	Fault Voltage Angle (deg)	c-Factor	Sk (MVA)	Ik (kA)	Ik Angle (deg)	ip (kA)	Ib (kA)
72	Elegktiria	second_grid	20.00000	0.00000000	0.00000000	1.100000	2740.093	79.09968	-35.40950	115.7126	79.0999
73		Elegktiria-SCS 4					0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
74		Elegktiria Transformer					0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
75		X25.1-Elegktiria					2740.093	79.09968	144.5905	115.7126	79.0999
76	S/S 3rd Dock	second_grid	20.00000	0.00000000	0.00000000	1.100000	2345.837	67.71849	-33.34267	98.66600	67.718
77		X25.1-3rd dock					2345.837	67.71849	146.6573	98.66600	67.718
78		3rd Dock-SCSS					0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
79		3rd Dock Transformer					0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
80	X25.1	second_grid	20.00000	0.00000000	0.00000000	1.100000	10000.00	288.6752	-84.28941	712.8023	288.67
81		External Grid					10000.00	288.6752	-84.28941	712.8023	288.67
82		X25.1-Ag.Dionisios					0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
83		X25.1-Elegktiria					0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
84		X25.1-3rd dock					0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
85	Agios Dion...	second_grid	20.00000	0.00000000	0.00000000	1.100000	1450.403	41.86952	-28.70266	60.63887	41.869
86		SCS-2 Line					0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
87		Agios Dionisios Transformer					0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
88		SCS-3 Line					0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
89		X25.1-Ag.Dionisios					1450.403	41.86952	151.2973	60.63887	41.869

Εικόνα 82: Εξαγωγή αποτελεσμάτων για βραχυκύκλωμα (Power Factory)

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε κάθε υποσταθμό του δικτύου καθώς και τα ηλεκτρικά στοιχεία που είναι συνδεδεμένα σε αυτόν. Για κάθε ηλεκτρικό στοιχείο ,εμφανίζονται τα βασικά μεγέθη που περιγράφουν τη λειτουργία του σε συνθήκες βραχυκυκλώματος.

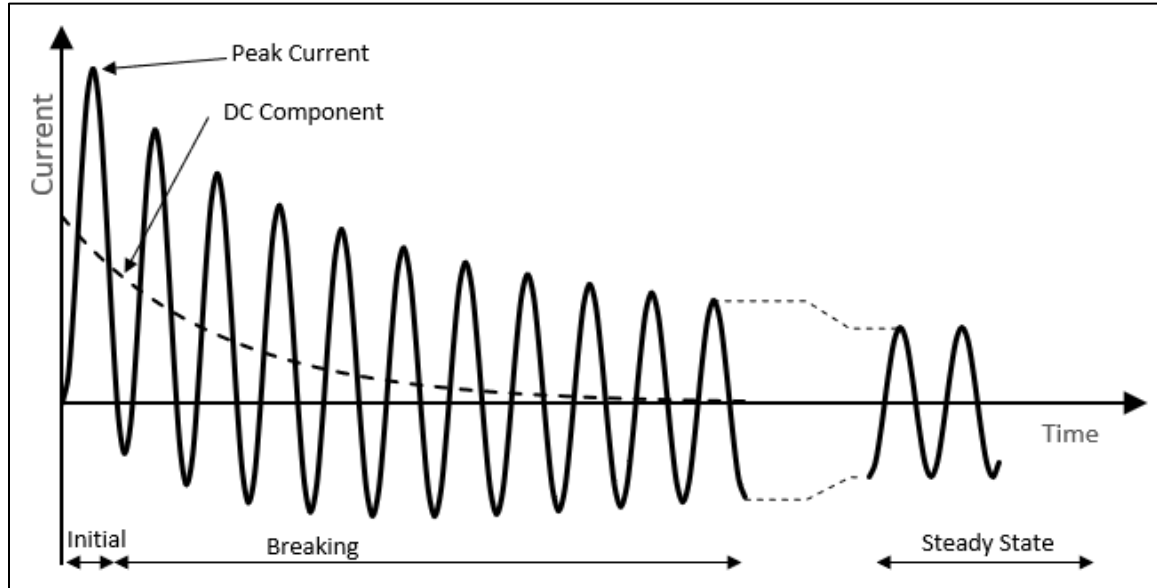
Τα αναλυτικά αποτελέσματα σε μορφή πίνακα όπως εξάγονται από το *Power Factory* ,φαίνονται στην παρακάτω εικόνα. Υπενθυμίζεται πως ο υπολογισμός έχει γίνει για το σενάριο γενικής υπερφόρτισης του δικτύου (Σενάριο 1), όμως όπως θα δούμε παρακάτω η μελέτη βραχυκυκλωμάτων είναι ίδια για όλα τα σενάρια λειτουργίας.

Terminal	Grid	Connected Element (Branch)	Nominal Voltage (kV)	Fault Voltage (kV)	Fault Voltage Angle (deg)	c-Factor	Sk'' (MVA)	Ik'' (kA)	Ik'' Angle (deg)	ip (kA)	Ib (kA)	Sb (MVA)	Ik (kA)	Ith (kA)
1	SCP-2	second_grid	11	0	0	1.100000024	18.03030199	0.946345428	-81.55190489	2.205102556	0.946345428	18.03030199	0.946345428	0.957175768
2	SCP-3	second_grid	11	0	0	1.100000024	69.86960392	3.667202148	-79.42998014	8.193644851	3.667202148	69.86960391	3.667202148	3.700699493
3	SCP-4	second_grid	11	0	0	1.100000024	70.67340973	3.709392012	-80.5075298	8.463881592	3.709392012	70.67340972	3.709392012	3.747153092
4	SCP-5	second_grid	11	0	0	1.100000024	70.6754207	3.709497561	-80.51026816	8.464581305	3.70949756	70.6754207	3.70949756	3.747270681
5	SCS-2	second_grid	20	0	0	1.100000024	1403.521679	40.51618097	-28.46134065	58.66626719	40.51618097	1403.521679	40.51618097	40.57038151
6	SCS-3	second_grid	20	0	0	1.100000024	1053.546074	30.41325548	-26.66359865	43.97825726	30.41325548	1053.546074	30.41325548	30.45330376
7	SCS-4	second_grid	20	0	0	1.100000024	1567.424865	45.24765838	-29.30561399	65.56898531	45.24765838	1567.424865	45.24765838	45.30873211
8	SCS-5	second_grid	20	0	0	1.100000024	1569.3418	45.30299553	-29.31549824	65.64982304	45.30299553	1569.3418	45.30299553	45.36415072
9	Terminal	second_grid	20	0	0	1.100000024	10000.00056	288.6751507	-84.28940626	712.8023033	288.6751507	10000.00056	288.6751507	293.5595677
10	Terminal(1)	second_grid	20	0	0	1.100000024	1450.402595	41.86951645	-28.70265837	60.63886539	41.86951644	1450.402595	41.86951644	41.92566503
11	Terminal(10)	second_grid	20	0	0	1.100000024	10000.00056	288.6751507	-84.28940626	712.8023033	288.6751507	10000.00056	288.6751507	293.5595677
12	Terminal(11)	second_grid	20	0	0	1.100000024	2740.093127	79.09967522	-35.40950315	115.7125886	79.09967521	2740.093127	79.09967521	79.2169631
13	Terminal(12)	second_grid	20	0	0	1.100000024	2740.093116	79.09967489	-35.40950298	115.712588	79.09967489	2740.093116	79.09967489	79.21696278
14	Terminal(13)	second_grid	0.400000006	0	0	1.049999952	11.40877649	16.4671502	-79.76915377	37.03418027	16.46715019	11.40877649	16.46715019	16.62259651
15	Terminal(14)	second_grid	20	0	0	1.100000024	2740.093116	79.09967489	-35.40950298	115.712588	79.09967489	2740.093116	79.09967489	79.21696278
16	Terminal(15)	second_grid	20	0	0	1.100000024	1567.424867	45.24765843	-29.30561403	65.56898539	45.24765843	1567.424867	45.24765843	45.30873217
17	Terminal(18)	second_grid	20	0	0	1.100000024	10000.00056	288.6751507	-84.28940626	712.8023033	288.6751507	10000.00056	288.6751507	293.5595677
18	Terminal(19)	second_grid	20	0	0	1.100000024	2345.83721	67.71848723	-33.34266946	98.66600108	67.71848723	2345.83721	67.71848723	67.81521275
19	Terminal(19)	second_grid	20	0	0	1.100000024	1450.402592	41.86951635	-28.7026583	60.63886525	41.86951635	1450.402592	41.86951635	41.92566493
20	Terminal(20)	second_grid	20	0	0	1.100000024	2345.837202	67.71848699	-33.34266932	98.66600071	67.71848699	2345.837201	67.71848699	67.81521251
21	Terminal(21)	second_grid	0.400000006	0	0	1.049999952	28.82172567	41.60057707	-81.36301492	96.56295943	41.60057706	28.82172567	41.60057706	42.0662252
22	Terminal(22)	second_grid	20	0	0	1.100000024	2345.837202	67.71848699	-33.34266932	98.66600071	67.71848699	2345.837201	67.71848699	67.81521251
23	Terminal(23)	second_grid	20	0	0	1.100000024	1569.341802	45.30299559	-29.31549828	65.64982312	45.30299559	1569.341802	45.30299559	45.36415078
24	Terminal(3)	second_grid	0.400000006	0	0	1.049999952	7.240469347	10.45071716	-78.23430753	22.82893915	10.45071716	7.240469344	10.45071716	10.5363595
25	Terminal(4)	second_grid	20	0	0	1.100000024	1450.402592	41.86951635	-28.7026583	60.63886525	41.86951635	1450.402592	41.86951635	41.92566493
26	Terminal(5)	second_grid	20	0	0	1.100000024	1450.402592	41.86951635	-28.7026583	60.63886525	41.86951635	1450.402592	41.86951635	41.92566493
27	Elektrira	second_grid	20	0	0	1.100000024	2740.093121	79.09967506	-35.40950307	115.7125883	79.09967505	2740.093121	79.09967505	79.21696294
28	S/S 3rd Dock	second_grid	20	0	0	1.100000024	2345.837206	67.71848711	-33.34266939	98.6660009	67.71848711	2345.837206	67.71848711	67.81521263
29	K.25.1	second_grid	20	0	0	1.100000024	10000.00057	288.675151	-84.28940678	712.8023121	288.675151	10000.00057	288.675151	293.5595684
30	Agios Dionisios	second_grid	20	0	0	1.100000024	1450.402594	41.8695164	-28.70265833	60.63886532	41.86951639	1450.402594	41.86951639	41.92566498

Εικόνα 83: Εξαγωγή Αποτελεσμάτων με μορφή πίνακα για βραχυκύκλωμα

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε όλα τα τερματικά του δικτύου (terminals) ,μαζί με τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν το βραχυκύκλωμα για καθένα από αυτά. Παρακάτω πίνακα εξηγούνται τα πιο βασικά από αυτά (Power Factory User Manual, 2022):

- **Ik''**: αρχικό συμμετρικό ρεύμα βραχυκύκλωσης (RMS),
- **Ik**: ρεύμα βραχυκυκλώσεως στη μόνιμη κατάσταση
- **ip**: ρεύμα βραχυκύκλωσης αιχμής (στιγμιαία τιμή),
- **Ib**: συμμετρικό ρεύμα διακοπής βραχυκυκλώματος (RMS),
- **Ith**: θερμικό ισοδύναμο ρεύμα βραχυκύκλωσης (RMS),
- **κ**: συντελεστής για τον υπολογισμό του ρεύματος βραχυκύκλωσης αιχμής,
- **μ**: συντελεστής για τον υπολογισμό του συμμετρικού ρεύματος διακοπής βραχυκυκλώματος,
- **ib**: μέγιστο ρεύμα διακοπής βραχυκυκλώματος (στιγμιαία τιμή)



Εικόνα 84 : Συνάρτηση Έντασης Ρεύματος Βραχυκύκλωσης

Επίσης μπορούμε να εξάγουμε τα αποτελέσματα σε μορφή ASCII ,μέσω του *Output Window*:

Fault Locations with Feeders												
Short-Circuit Calculation / Method : IEC 60909						3-Phase Short-Circuit			/ Max. Short-Circuit Currents			
Asynchronous Motors Always Considered				Grid Identification Automatic				Short-Circuit Duration Break Time 0.10 s				
Decaying Aperiodic Component (idc) Using Method B				Conductor Temperature User Defined No				Fault Clearing Time (Ith) 1.00 s				
Voltage factor c Standard defined table												
Grid: second_grid		System Stage: second_grid				Annex: / 1						
	rtd.V. [kV]	Voltage [kV]	c- Factor	Sk'' [MVA]	Ik'' [kA]	Ik'' [deg]	Ip [kA]	Ib [kA]	Sb [MVA]	Ik [kA]	Ith [kA]	
Station 3												
S/S 3rd Dock	20.00	0.00	0.00	1.10	2345.84 MVA	67.72 kA	-33.34	98.67 kA	67.72	2345.84	67.72	67.82
3rd Dock-SCS5	Terminal(2)				0.00 MVA	0.00 kA	0.00	0.00 kA				
X25.1-3rd dock	Terminal(1)				2345.84 MVA	67.72 kA	146.66	98.67 kA				
3rd Dock Transf	Terminal(2)				0.00 MVA	0.00 kA	0.00	0.00 kA				
Station(4)												
X.25.1	20.00	0.00	0.00	1.10	10000.00 MVA	288.68 kA	-84.29	712.80 kA	288.68	10000.00	288.68	293.56
X25.1-3rd dock	Terminal(1)				0.00 MVA	0.00 kA	0.00	0.00 kA				
X25.1-Ag.Dionis	Terminal(1)				0.00 MVA	0.00 kA	0.00	0.00 kA				
X25.1-Elegktiri	Terminal(1)				0.00 MVA	0.00 kA	0.00	0.00 kA				
External Grid					10000.00 MVA	288.68 kA	-84.29	712.80 kA				
Station(5)												
Agios Dionisios	20.00	0.00	0.00	1.10	1450.40 MVA	41.87 kA	-28.70	60.64 kA	41.87	1450.40	41.87	41.93
SCS-2 Line	SCS-2				0.00 MVA	0.00 kA	0.00	0.00 kA				
SCS-3 Line	SCS-3				0.00 MVA	0.00 kA	0.00	0.00 kA				
X25.1-Ag.Dionis	Terminal				1450.40 MVA	41.87 kA	151.30	60.64 kA				
Agios Dionisios	Terminal(3)				0.00 MVA	0.00 kA	0.00	0.00 kA				
Grid: second_grid		System Stage: second_grid				Annex: / 2						
	rtd.V. [kV]	Voltage [kV]	c- Factor	Sk'' [MVA]	Ik'' [kA]	Ik'' [deg]	Ip [kA]	Ib [kA]	Sb [MVA]	Ik [kA]	Ith [kA]	
Station												
Elegktiria	20.00	0.00	0.00	1.10	2740.09 MVA	79.10 kA	-35.41	115.71 kA	79.10	2740.09	79.10	79.22
Elegktiria-SCS	Terminal(1)				0.00 MVA	0.00 kA	0.00	0.00 kA				
X25.1-Elegktiri	Terminal(1)				2740.09 MVA	79.10 kA	144.59	115.71 kA				
Elegktiria Tran	Terminal(1)				0.00 MVA	0.00 kA	0.00	0.00 kA				
SCP-3												
SCS-3 Transorme	11.00	0.00	0.00	1.10	69.87 MVA	3.67 kA	-79.43	8.19 kA	3.67	69.87	3.67	3.70
SCS-3	SCS-3				69.87 MVA	3.67 kA	100.57	8.19 kA				

Εικόνα 85: Αποτελέσματα Υπολογισμού Βραχυκυκλώματος (ASCII)

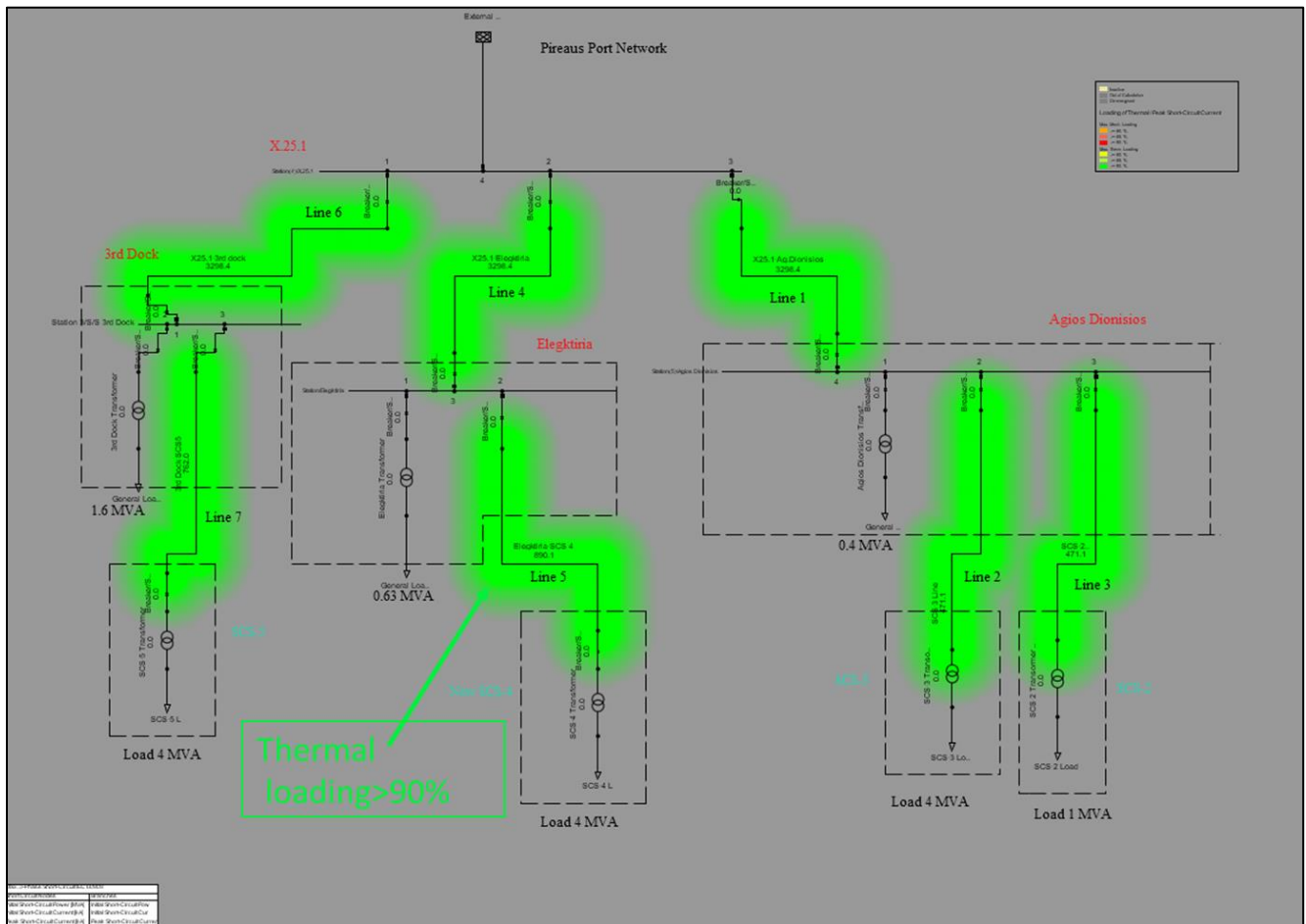


## 4.6.2.Εμφάνιση Αποτελεσμάτων

Στην παράγραφο αυτή εμφανίζονται πιο οργανωμένα τα αποτελέσματα που έχουμε εξάγει από τον υπολογισμό του βραχυκυκλώματος.

### Θερμικός Χάρτης Ροής Φορτίου

Ο χάρτης της ροής φορτίου φαίνεται στην παρακάτω εικόνα :



Εικόνα 86 : Χάρτης Ροής Φορτίου σε Βραχυκύκλωμα

Όπως φαίνεται οι φορτίσεις των γραμμών ξεπερνούν κατά πολύ το 100% ,και κάποιες ακόμα και το 1000%.Αυτό ίσως είναι και λογικό καθώς έχουμε συνθήκες βραχυκυκλώματος.

## Φορτίσεις Γραμμών/Καλωδίων

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι φορτίσεις γραμμών του δικτύου σε συνθήκες βραχυκυκλώματος:

Γραμμές/Καλώδια	Φόρτιση (Θερμική)
<b>Line 1</b>	3298.4%
<b>Line 2</b>	471.1%
<b>Line 3</b>	471.1%
<b>Line 4</b>	3298.4%
<b>Line 5</b>	890.1%
<b>Line 6</b>	3298.4%
<b>Line 7</b>	762.0%

Πίνακας 48: Φορτίσεις Γραμμών (Θερμ.) (Βραχυκύκλωμα)

## Ισχύς και ένταση σε υπομεταβατική και μόνιμη κατάσταση

Λόγω της απουσίας γεννήτριας, η ισχύς σε υπομεταβατική κατάσταση ( $Sk''$ ) έχει την ίδια τιμή με την ισχύ σε μόνιμη κατάσταση ( $Sb$ ). Επίσης αυτό ισχύει και για το αρχικό συμμετρικό ρεύμα βραχυκυκλώσεως ( $I_k''$ ), το οποίο έχει την ίδια τιμή με το ρεύμα βραχυκυκλώσεως σε μόνιμη κατάσταση ( $I_k$ ).

Terminal	Nominal Voltage (kV)	c-Factor	$Sk''$ (MVA)	$I_k''$ (kA)	$i_p$ (kA)	$I_{th}$ (kA)
<b>SCP-2</b>	11	1.1	18.03	0.95	2.21	0.96
<b>SCP-3</b>	11	1.1	69.87	3.67	8.19	3.70
<b>SCP-4</b>	11	1.1	70.67	3.71	8.46	3.75
<b>SCP-5</b>	11	1.1	70.68	3.71	8.46	3.75
<b>SCS-2</b>	20	1.1	1403.52	40.52	58.67	40.57
<b>SCS-3</b>	20	1.1	1053.54	30.41	43.98	30.45
<b>SCS-4</b>	20	1.1	1567.42	45.25	65.57	45.31
<b>SCS-5</b>	20	1.1	1569.34	45.30	65.65	45.36

Πίνακας 49 : Αποτελέσματα Βραχυκυκλώματος (I)

Στο σημείο αυτό ολοκληρώνεται η παρουσίαση της μελέτης βραχυκυκλωμάτων καθώς και της μελέτης ροής φορτίου που πραγματοποιήθηκε για δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας για το λιμάνι του Πειραιά.

Στο επόμενο κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά τα βασικά αποτελέσματα της μελέτης, καθώς και τα συμπεράσματα στα οποία αυτή κατέληξε.

**Σημαντική σημείωση:** Η μελέτη βραχυκυκλώματος πραγματοποιήθηκε για το σενάριο λειτουργίας *Σενάριο 1 (Υπερφόρτιση)* και τα αποτελέσματα αναφέρονται σε αυτό. **Όμως περαιτέρω υπολογισμοί έδειξαν πως η μελέτη βραχυκυκλώματος είναι ίδια για οποιοδήποτε σενάριο λειτουργίας.** Έτσι τα παραπάνω αποτελέσματα είναι ίδια για οποιοδήποτε σενάριο.

## 5.Αποτελέσματα & Συζήτηση

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε συνοπτικά τα αποτελέσματα από τις προσομοιώσεις και τους υπολογισμούς που εκτελέστηκαν καθώς και τα συμπεράσματα στα οποία καταλήξαμε.

### 5.1. Γενική Επισκόπηση

Στην παρούσα εργασία, όπως δηλώνει και ο τίτλος της, επιχειρήσαμε μια μελέτη του **δικτύου του λιμένος Πειραιώς**, όσον αφορά τη **διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας** και στους καταναλωτές του λιμανιού αλλά κυρίως στις **θέσεις cold ironing** οι οποίες δρομολογούνται ήδη στο λιμάνι, ως ένα μέρος ενός ευρύτερου σχεδίου για την απανθρακοποίηση της ναυτιλίας και την πορεία αυτής προς την πράσινη ενέργεια, γραμμές τις οποίες και η ίδια η **Ευρωπαϊκή Ένωση** προτάσσει και μάλιστα με στόχους προς επίτευξη για το σύνολο του παγκόσμιου στόλου, μέχρι το 2050.

#### 5.1.1. Σκοπός της μελέτης

Επιχειρήθηκε μια μελέτη όσον αφορά τα θέματα σχεδιασμού ενεργειακά αποδοτικών δικτύων διανομής ενέργειας εντός λιμένων, με σκοπό την ηλεκτροδότηση ελλιμενιζόμενων πλοίων, με έμφαση στο **λιμάνι του Πειραιά**. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό **Power Factory** της εταιρείας **DIg SILENT**.

Σκοπός της εργασίας ήταν να διερευνήσουμε κατά πόσον θα παρουσιαστεί **υπερφόρτιση** σε διάφορα ηλεκτρικά στοιχεία του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας (**σενάρια λειτουργίας**). Αρχικά το ενδιαφέρον εστιάστηκε κυρίως ως προς την υπερφόρτιση των **μετασχηματιστών** και στη συνέχεια μελετήθηκαν και οι **γραμμές/καλώδια** του δικτύου.

Η μελέτη του δικτύου ως προς την ασφαλή λειτουργία αλλά και την ενεργειακή αποδοτικότητα ανέδειξε συγκεκριμένα ερωτήματα τα οποία και αποτέλεσαν τον πυρήνα αυτής της μελέτης και στα οποία αποσκοπούμε να απαντήσουμε σε αυτό το κεφάλαιο.

Τα ερωτήματα αυτά έχουν να κάνουν πρώτον με τα εργαλεία που χρησιμοποιήσαμε για να προσομοιώσουμε το δίκτυο και δεύτερον με την αξιολόγηση των ευρημάτων.

#### 5.1.2. Τα βασικά ερωτήματα

##### Ως προς την προσομοίωση του δικτύου :

- Από που λάβαμε τα χωρικά και τοπολογικά δεδομένα για το λιμάνι του Πειραιά;

- Με ποια μέθοδο και ποια εργαλεία δημιουργήθηκε η προσομοίωση του δικτύου;

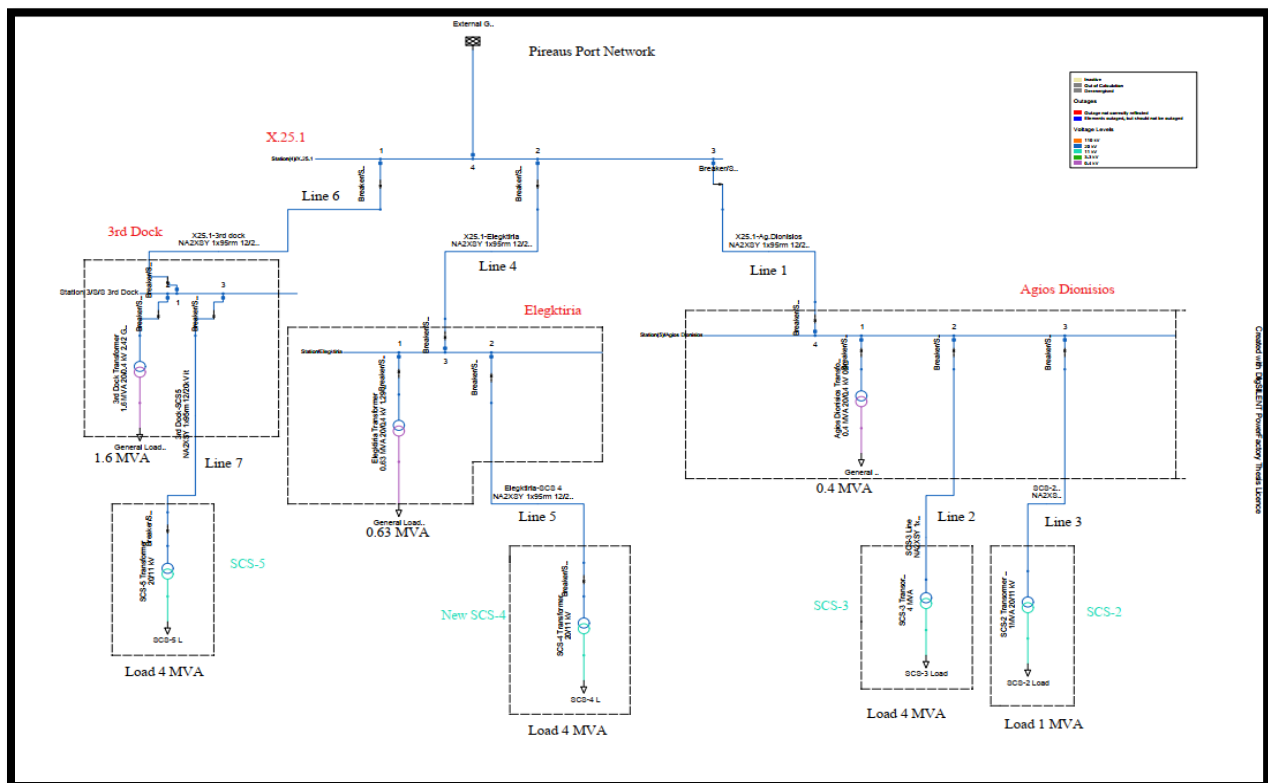
### Ως προς τη μελέτη ροής φορτίου:

1. Παρουσιάζεται πούθενά υπερφόρτιση γραμμών ή μετασχηματιστών και αν ναι κάτω από ποιες συνθήκες;
2. Ποιο είναι το ανώτερο φορτίο για το οποίο μπορεί να λειτουργεί ομαλά ένας υποσταθμός cold ironing ,χωρίς υπερφόρτιση, με βάση τα τώρα δεδομένα των εγκαθιστάμενων μετασχηματιστών;
3. Υπάρχει κάποιος τύπος ο οποίος μπορεί να μας οδηγήσει σε μια εκτίμηση σχετικά με τον λόγο επιβαλλόμενου φορτίου/ονομ. Ισχύος μετασχηματιστή ώστε να είμαστε πάντα στην ασφαλή πλευρά;(και ως προς τις γραμμές)
4. Τέλος ποια είναι τα ρεύματα βραχυκυκλώσεως και πως μπορώ να σχεδιάσω τους διακόπτες με ασφάλεια;

Για το σκοπό χρησιμοποιήσαμε το λογισμικό *Power Factory* στο οποίο υλοποιήσαμε δύο βασικούς υπολογισμούς για το δίκτυο του λιμανιού του Πειραιά:

- **Μελέτη Ροής Φορτίου**
- **Μελέτη Βραχυκυκλωμάτων**

Η μελέτη ροής φορτίου πραγματοποιήθηκε για διάφορες συνθήκες λειτουργίας ,οι οποίες ονομάστηκαν **σενάρια λειτουργίας (Operation Scenarios)**.



Εικόνα 87: Δίκτυο Διανομής Ενέργειας Λιμένος Πειραιώς στο Power Factory

### 5.1.3. Μέθοδος Προσομοίωσης

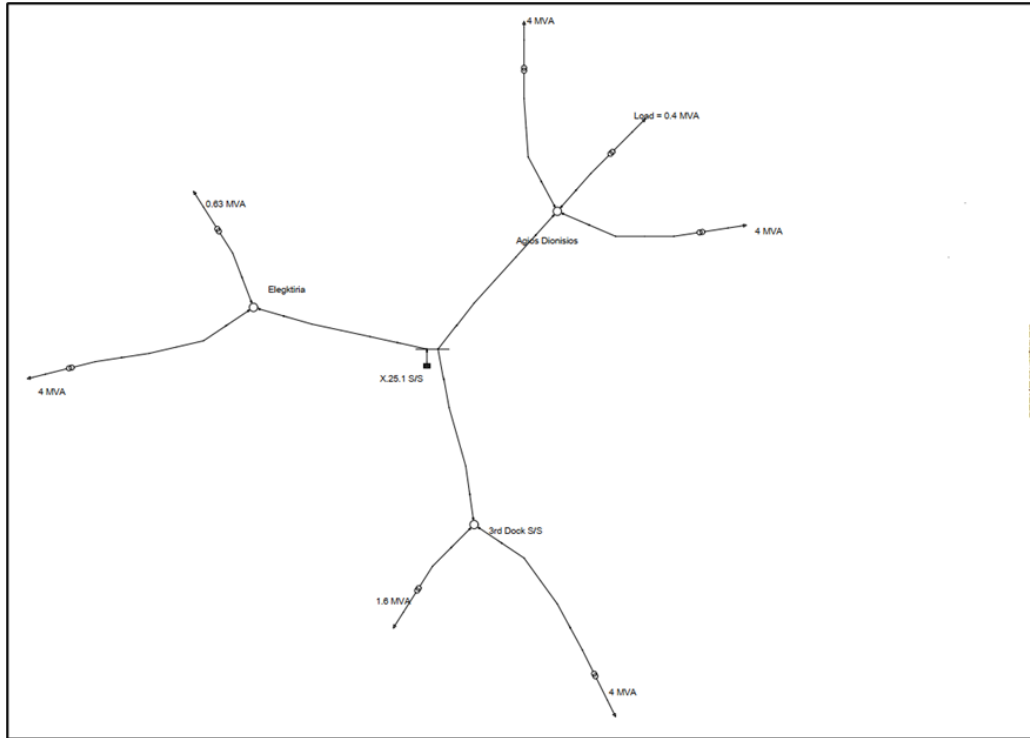
#### Δίκτυο Λιμανιού

Για να προσομοιώσουμε το δίκτυο διανομής ηλεκτρικής ενέργειας ,έπρεπε να λάβουμε *χωρικά δεδομένα παρατήρησης γης* ,τα οποία ελήφθησαν από το *Google Earth*. Αυτό έγινε αφενός για να υπάρχει μια εποπτεία της τοπολογίας του δικτύου και αφετέρου για να μπορούμε να μετρήσουμε τις αποστάσεις μεταξύ των υποσταθμών ξηράς (*Shore Connection Substations* ή *SCS*) και των σημείων σύνδεσης *cold ironing* (*Shore Connection Points* ή *SCP*),μέσω του *measure tool*.

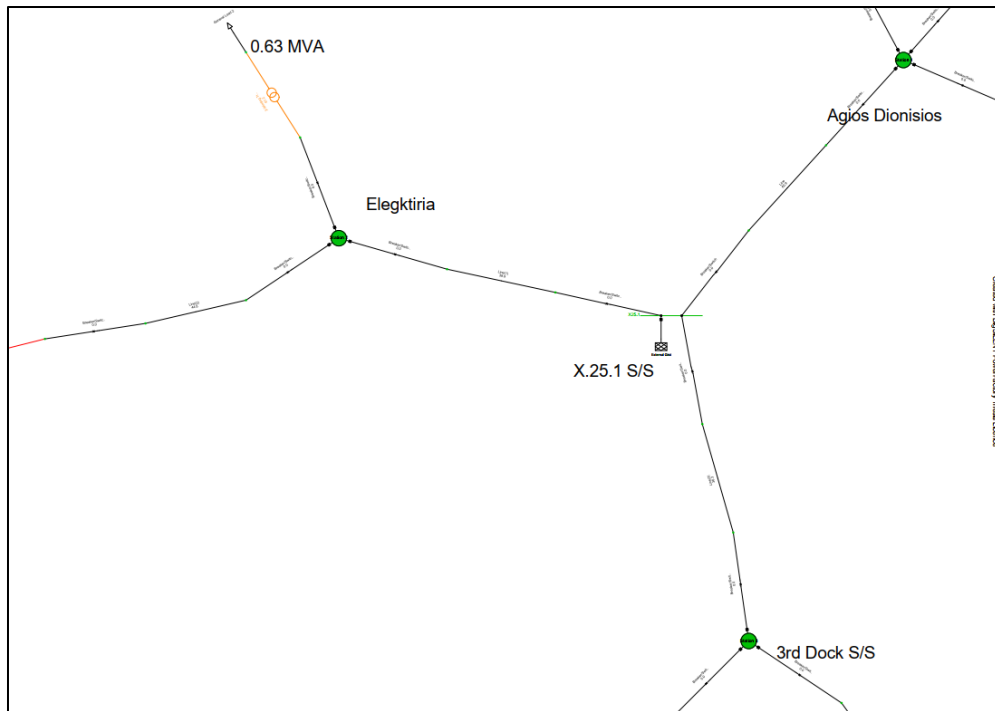


Εικόνα 88 : Δεδομένα Παρατήρησης Γης ( Λιμάνι Πειραιά)

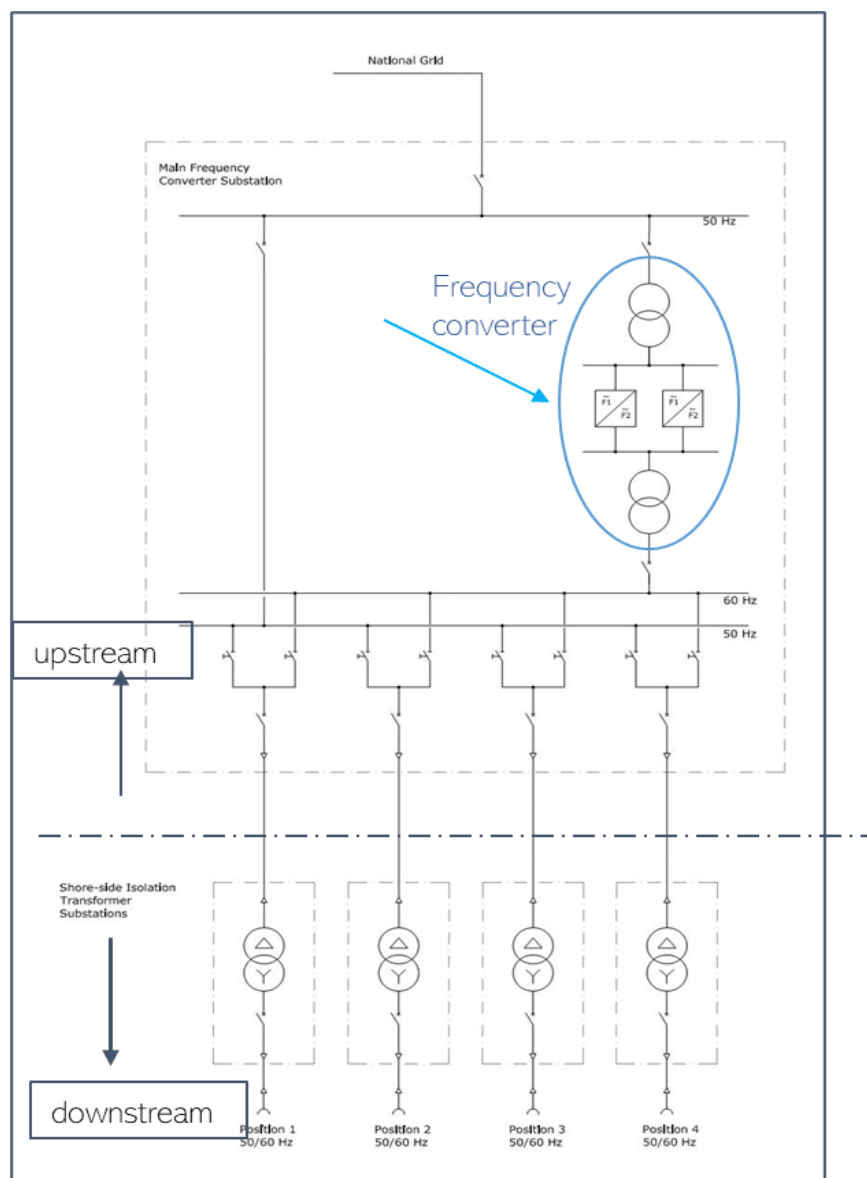
Με βάση τα χωρικά δεδομένα και τη γνώση για τις τάσεις σε kV κάθε ομάδας γραμμών/καλωδίων συντάξαμε το μονογραμμικό σχέδιο για το δίκτυο του Πειραιά. Οι γραμμές των 20kV και 11 kV αντίστοιχα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Σημειώνεται πως οι γραμμές των 11kV δεν παρουσιάζονται γραφικά ,καθώς στην παρούσα μελέτη επικεντρωθήκαμε στο *upstream* δίκτυο ,διότι το *power factory* δεν διαθέτει εργαλείο για μετατροπή συχνότητας από τα 50 στα 60 Hz που θα μας επέτρεπε να μελετήσουμε το *downstream* δίκτυο.



Εικόνα 89 : Μονογραμμικό σχέδιο δικτύου



Εικόνα 90: Μονογραμμικό σχέδιο δικτύου (2)



Εικόνα 91 : Upstream και Downstream δίκτυο

Παρόλα αυτά ο μετατροπέας συχνότητας (*frequency converter*) μπορεί να παρασταθεί σαν φορτίο στο *upstream* δίκτυο και σαν πηγή στο *downstream* δίκτυο και αυτό ακριβώς κάναμε. Στην παραπάνω εικόνα η διαχωριστική γραμμή ορίζει τα δύο διαφορετικά μέρη του δικτύου και επίσης φαίνεται ο *frequency converter*. (Ηλεκτρικές διασυνδέσεις πλοίων και λιμένων και προοπτική αναβάθμισης λιμένων, 2020)



## Γραμμές/Καλώδια

Οι ομάδες γραμμών 20kV και 11kV φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

	Από	Προς	# Γραμμής
Lines 20 kV	X.25.1	Agios Dionisios S/S	1
	X.25.1	Elegktiria S/S	4
	X.25.1	3 <sup>rd</sup> Dock S/S	6
	Agios Dionisios S/S	New SCS-2	3
	Agios Dionisios S/S	New SCS-3	2
	Elegktiria S/S	New SCS-4	5
	3 <sup>rd</sup> Dock S/S	New SCS-5	7
Lines 11 kV	New SCS-2	New SCP-2	-
	New SCS-3	New SCP-3	-
	New SCS-4	New SCP-4	-
	New SCS-5	New SCP-5	-

Πίνακας 50 : Ομάδες Γραμμών ( 11 & 20 kV)

- Για την προσομοίωση των καλωδίων (20kV) χρησιμοποιήσαμε *single core* καλώδιο από τη βιβλιοθήκη του *Power Factory* με τύπο **NA2XSJ 1x95 rm 12/20 kV it.**

## Μετασηματιστές

Οι μετασηματιστές που χρησιμοποιήσαμε για να προσομοιώσουμε τους υποσταθμούς σύνδεσης ξηράς επιλέχθηκαν από την βιβλιοθήκη του *Power Factory* και στις περιπτώσεις όπου δεν υπήρχε κάποιο μοντέλο που να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του δικτύου , επιλέξαμε τη δυνατότητα να φτιάξουμε ένα *custom* μοντέλο μετασηματιστή (ενότητα 3.2.2.)

Substation	Ισχύς Μ/Σ (MVA)
<b>Agios Dionisios</b>	0.4
<b>Elegktiria</b>	0.63
<b>3<sup>rd</sup> Dock</b>	1.6
<b>SCS-2</b>	1
<b>SCS-3</b>	4
<b>SCS-4</b>	4
<b>SCS-5</b>	4

Πίνακας 51: Ισχύς για κάθε μετασηματιστή

## 5.2. Αποτελέσματα Υπολογισμών

Για το σκοπό της εργασίας διενεργήσαμε δύο κύριους υπολογισμούς με τη χρήση του λογισμικού *Power Factory*:

- Μελέτη Ροής Φορτίου (Load Flow)
- Μελέτη Βραχυκυκλωμάτων (Short Circuit)

### 5.2.1. Ροή Φορτίου

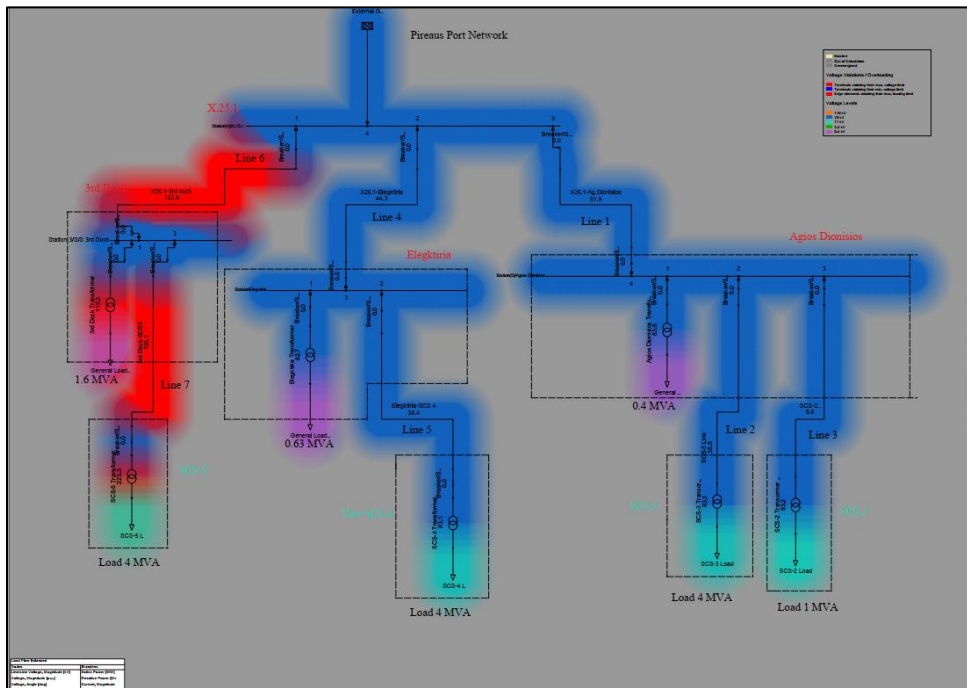
Η μελέτη ροής φορτίου πραγματοποιήθηκε για επτά (7) διαφορετικά σενάρια λειτουργίας, τα τέσσερα (4) από τα οποία αφορούν όλο το δίκτυο (**global**) και τα τρία (3) αφορούν τοπικά (**local**) τους τρεις μεγάλους υποσταθμούς (Άγιος Διονύσιος S/S, Ελεγκτήρια S/S και 3<sup>rd</sup> Dock S/S). Τα σενάρια λειτουργίας διαφέρουν βασικά ως προς τους μετασχηματιστές οι οποίοι τελούν υπό καθεστώς διαφορετικών επιπέδων φόρτισης (συνήθως στο 80% ή το 100% της ονομαστικής ισχύος του εγκαθιστάμενου μετασχηματιστή) και φαίνονται παρακάτω.

Σενάριο Λειτουργίας	Μ/Σ σε Υπερφόρτιση	Φορτίο S (% Ονομ. Ισχύος Μ/Σ)	Ποσοστό Φόρτισης Μ/Σ (που υπερφορτίζεται)	Υπερφόρτιση Γραμμής
1	Όλοι	100 %	105%	OXI
2	Κανένας	80 %	83%	OXI
3	SCS-2,SCS-4	100%	105%	OXI
4	SCS-2,SC-4,SCS-5	100%	105%	OXI
5	Agios Dionisios S/S	≈ 150-160%	≈165 %	NAI
6	Elegktiria S/S	≈ 175 %	≈ 180 %	NAI
7	3 <sup>rd</sup> Dock S/S	200%	223%	NAI

Πίνακας 52 : Πίνακας Σεναρίων Λειτουργίας

Στον παραπάνω πίνακα φαίνονται συνοπτικά τα αποτελέσματα φόρτισης για όλα τα σενάρια λειτουργίας του δικτύου. Αναλυτικά όλοι οι πίνακες υπολογισμών μπορούν να βρεθούν στην ενότητα 3.3. *Σενάρια Λειτουργίας*. Σημειώνεται πως το σύμβολο (≈) υποδηλώνει πως στο συγκεκριμένο σενάριο παρατηρήθηκαν διάφορες φορτίσεις μετασχηματιστών γύρω από τον συγκεκριμένο αριθμό. Παρόλα αυτά, ο εποπτικός αυτός πίνακας **κάνει καθαρά τρία βασικά συμπεράσματα :**

1. Ότι η επιβολή φορτίου  $P = \text{Ονομαστική Ισχύς } M/\Sigma$  επιφέρει **υπερφόρτιση** του συγκεκριμένου μετασχηματιστή (loading > 100%) και μάλιστα το ποσοστό της φόρτισης δεν είναι 100% ,αλλά λίγο μεγαλύτερο ( $\approx 105\%$ ).
2. Ότι η επιβολή φορτίου  $P = 0.8 \text{ Ονομαστική Ισχύ } M/\Sigma$  μας οδηγεί σε μία φόρτιση του συγκεκριμένου μετασχηματιστή της τάξεως του **83-85%** ,το οποίο είναι ένα **αποδεκτό** επίπεδο φόρτισης.
3. Όταν σε έναν τοπικό υποσταθμό (π.χ. Άγιος Διονύσιος),έχουμε μια κατάσταση φόρτισης όπου ο λόγος  $\lambda = \text{Φορτίο (MVA)}/ \text{Ονομ. Ισχύς } M/\Sigma$  κυμαίνεται σε τιμές  $\lambda=1.6\div 1.7$  ,τότε μπορεί να παρουσιαστούν και φαινόμενα **υπερφόρτισης της γραμμής** .



Εικόνα 92: Υπολογισμός Ροής Φορτίου (Υποσταθμός σε Υπερφόρτιση)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα βασικότερα αποτελέσματα των υπολογισμών που προέκυψαν για κάθε σενάριο ξεχωριστά.

### Σενάριο 1 (Υπερφόρτιση)

M/Σ	Ισχύς M/Σ (MVA)	Φορτίο (MVA)	Συντελεστής $\lambda$	Φόρτιση (%)	Γραμμή (#)	Φόρτιση (%)
<b>Agios Dionisios</b>	0.4	0.4	1	105.7	<b>1</b>	65.6
<b>SCS-2</b>	1	1	1	105.2	<b>2</b>	48.6

<b>SCS-3</b>	4	4	1	105.3	<b>3</b>	12.1
<b>Elegktiria</b>	0.63	0.63	1	105.3	<b>4</b>	56.1
<b>SCS-4</b>	4	4	1	105.0	<b>5</b>	48.5
<b>3<sup>rd</sup> Dock</b>	1.6	1.6	1	105.1	<b>6</b>	67.9
<b>SCS-5</b>	4	4	1	105.1	<b>7</b>	48.5

Πίνακας 53 : Αποτελέσματα Ροής Φορτίου (Σενάριο 1)

### Σενάριο 2 ( Φόρτιση 80%)

<b>M/Σ</b>	<b>Ισχύς M/Σ (MVA)</b>	<b>Φορτίο (MVA)</b>	<b>Συντελεστής λ</b>	<b>Φόρτιση (%)</b>	<b>Γραμμή (#)</b>	<b>Φόρτιση (%)</b>
<b>Agios Dionisios</b>	0.4	0.32	0.8	83.6	<b>1</b>	51.9
<b>SCS-2</b>	1	0.8	0.8	83.2	<b>2</b>	38.5
<b>SCS-3</b>	4	3.2	0.8	83.3	<b>3</b>	9.6
<b>Elegktiria</b>	0.63	0.504	0.8	83.3	<b>4</b>	44.4
<b>SCS-4</b>	4	3.2	0.8	83.1	<b>5</b>	38.4
<b>3<sup>rd</sup> Dock</b>	1.6	1.28	0.8	83.3	<b>6</b>	53.7
<b>SCS-5</b>	4	3.2	0.8	83.2	<b>7</b>	38.4

Πίνακας 54: Αποτελέσματα Ροής Φορτίου (Σενάριο 2)

### Σενάριο 3 ( SCS-2,SCS-4)

<b>M/Σ</b>	<b>Ισχύς M/Σ (MVA)</b>	<b>Φορτίο (MVA)</b>	<b>Συντελεστής λ</b>	<b>Φόρτιση (%)</b>	<b>Γραμμή (#)</b>	<b>Φόρτιση (%)</b>
<b>Agios Dionisios</b>	0.4	0.32	0.8	83.6	<b>1</b>	54.4
<b>SCS-2</b>	1	1.0	1	105.0	<b>2</b>	38.5
<b>SCS-3</b>	4	3.2	0.8	83.3	<b>3</b>	12.1
<b>Elegktiria</b>	0.63	0.504	0.8	82.7	<b>4</b>	54.4
<b>SCS-4</b>	4	4.0	1	105.1	<b>5</b>	48.5
<b>3<sup>rd</sup> Dock</b>	1.6	1.28	0.8	83.3	<b>6</b>	53.7
<b>SCS-5</b>	4	3.2	0.8	83.2	<b>7</b>	38.4

Πίνακας 55 : Αποτελέσματα Σεναρίου 3

Σενάριο 4 (SCS-2,SCS-4,SCS-5)

M/Σ	Ισχύς M/Σ (MVA)	Φορτίο (MVA)	Συντελεστής λ	Φόρτιση (%)	Γραμμή (#)	Φόρτιση (%)
<b>Agios Dionisios</b>	0.4	0.32	0.8	83.6	<b>1</b>	54.4
<b>SCS-2</b>	1	1.0	1	105.1	<b>2</b>	38.5
<b>SCS-3</b>	4	3.2	0.8	83.3	<b>3</b>	12.1
<b>Elegktiria</b>	0.63	0.504	0.8	82.7	<b>4</b>	54.4
<b>SCS-4</b>	4	4.0	1	105.0	<b>5</b>	48.5
<b>3<sup>rd</sup> Dock</b>	1.6	1.28	0.8	83.3	<b>6</b>	63.9
<b>SCS-5</b>	4	4.0	1	105.1	<b>7</b>	48.5

Πίνακας 56 : Αποτελέσματα Σεναρίου 4

Σενάριο 5 ( Agios Dionisios S/S)

M/Σ	Ισχύς M/Σ (MVA)	Φορτίο (MVA)	Συντελεστής λ	Φόρτιση (%)	Γραμμή (#)	Φόρτιση (%)
<b>Agios Dionisios</b>	<b>0.4</b>	<b>0.6</b>	<b>1.5</b>	<b>145.8</b>	<b>1</b>	<b>101.9</b>
<b>SCS-2</b>	<b>1</b>	<b>1.6</b>	<b>1.6</b>	<b>174.3</b>	<b>2</b>	<b>75.2</b>
<b>SCS-3</b>	<b>4</b>	<b>6</b>	<b>1.5</b>	<b>162.7</b>	<b>3</b>	<b>20.1</b>
<b>Elegktiria</b>	0.63	0.5	0.8	82.7	<b>4</b>	44.3
<b>SCS-4</b>	4	3.2	0.8	83.1	<b>5</b>	38.4
<b>3<sup>rd</sup> Dock</b>	1.6	1.28	0.8	83.3	<b>6</b>	53.7
<b>SCS-5</b>	4	3.2	0.8	83.2	<b>7</b>	38.4

Πίνακας 57: Αποτελέσματα Σεναρίου 5

Σενάριο 6 (Elegktiria S/S)

M/Σ	Ισχύς M/Σ (MVA)	Φορτίο (MVA)	Συντελεστής λ	Φόρτιση (%)	Γραμμή (#)	Φόρτιση (%)
<b>Agios Dionisios</b>	0.4	0.32	0.8	83.6	<b>1</b>	51.9
<b>SCS-2</b>	1	0.8	0.8	83.2	<b>2</b>	38.5
<b>SCS-3</b>	4	3.2	0.8	83.3	<b>3</b>	9.6
<b>Elegktiria</b>	<b>0.63</b>	<b>1.0</b>	<b>1.58</b>	<b>172.9</b>	<b>4</b>	<b>101.2</b>
<b>SCS-4</b>	<b>4</b>	<b>7.0</b>	<b>1.75</b>	<b>192.1</b>	<b>5</b>	<b>88.7</b>
<b>3<sup>rd</sup> Dock</b>	1.6	1.28	0.8	83.3	<b>6</b>	53.7
<b>SCS-5</b>	4	3.2	0.8	83.2	<b>7</b>	38.4

Πίνακας 58 : Αποτελέσματα Σεναρίου 6

## Σενάριο 7 (3<sup>rd</sup> Dock S/S)

M/Σ	Ισχύς M/Σ (MVA)	Φορτίο (MVA)	Συντελεστής λ	Φόρτιση (%)	Γραμμή (#)	Φόρτιση (%)
<b>Agios Dionisios</b>	0.4	0.32	0.8	83.6	<b>1</b>	51.9
<b>SCS-2</b>	1	0.8	0.8	83.2	<b>2</b>	38.5
<b>SCS-3</b>	4	3.2	0.8	83.3	<b>3</b>	9.6
<b>Elegktiria</b>	0.63	0.50	0.8	82.7	<b>4</b>	44.3
<b>SCS-4</b>	4	3.2	0.8	83.1	<b>5</b>	38.4
<b>3<sup>rd</sup> Dock</b>	<b>1.6</b>	<b>1.7</b>	<b>1.06</b>	<b>112.3</b>	<b>6</b>	<b>123.8</b>
<b>SCS-5</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>2.0</b>	<b>223.3</b>	<b>7</b>	<b>103.1</b>

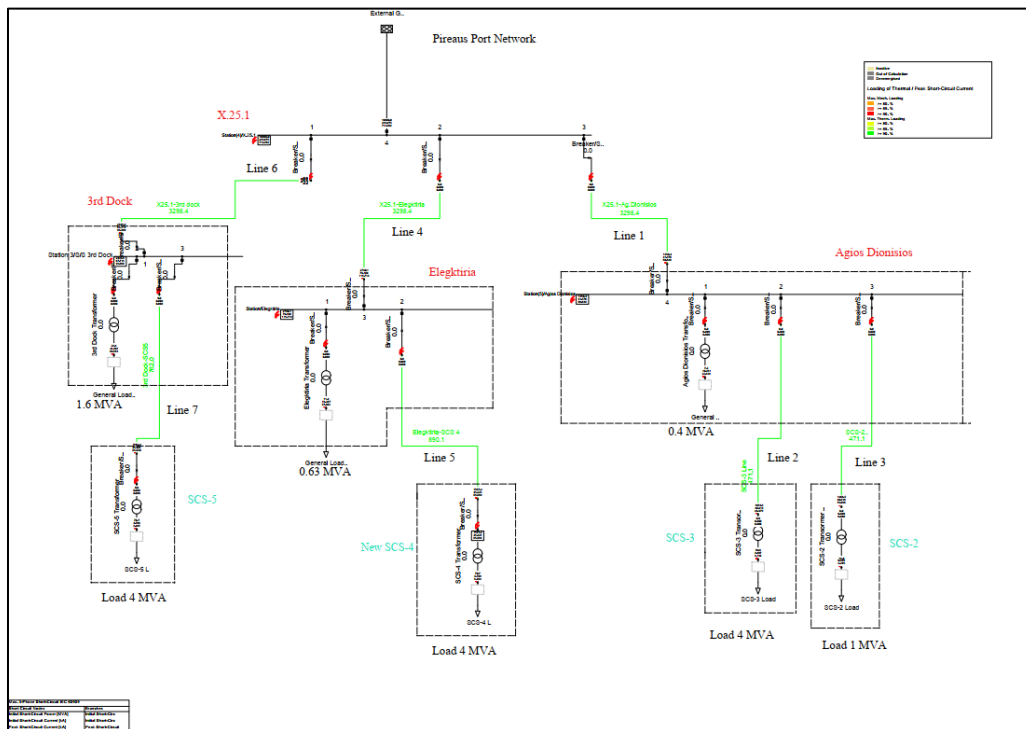
Πίνακας 59 : Αποτελέσματα Σεναρίου 7

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω μπορούμε να πούμε πως καταλήγουμε στα εξής **συμπεράσματα** σχετικά με τη μελέτη ροής φορτίου στο δίκτυο διανομής του λιμανιού του Πειραιά:

1. Παρουσιάστηκε **υπερφόρτιση** σε μετασχηματιστή σε όλα τα σενάρια λειτουργίας, εκτός από το *Σενάριο 2* όπου είχαμε φόρτιση κοντά στο 80% ( $\approx 83\%$ ).
2. Η υπερφόρτιση παρουσιάζεται όταν ένας μετασχηματιστής καλείται να λειτουργήσει στο 100% της ονομαστικής ισχύος του και συνδυάζεται από μια μικρή πτώση τάσης που καθιστά το επίπεδο φόρτισης πάνω από 100% ( $\approx 105\%$ ).
3. Σε όλα τα global σενάρια λειτουργίας **φόρτιση των γραμμών/καλωδίων** σε επίπεδο από **38% έως 65%** το οποίο κρίνεται αποδεκτό.
4. Σε όλα τα σενάρια λειτουργίας η **γραμμή 3** λειτουργεί σε σχετικά χαμηλά επίπεδα φόρτισης που κυμαίνονται από 9.5% έως 12.5%.Επομένως η γραμμή επιδέχεται βελτιστοποίησης.
5. Δεν παρατηρήθηκε αύξηση της φόρτισης στα υπόλοιπα τμήματα του δικτύου όταν ένας υποσταθμός τελεί υπό συνθήκες υπερφόρτισης ,παρά μόνο στις γραμμές και τους μετασχηματιστές του συγκεκριμένου υποσταθμού (ανεξαρτησία).
6. Υπάρχει ένας λόγος **φορτίου/ονομαστική ισχύ μ/σ** ,τον οποίο καλούμε λ, ο οποίος όταν ξεπεράσει μια κρίσιμη τιμή ( $\lambda \geq 1.5 \div 1.6$ ) και σε συνδυαστική αύξηση της ζήτησης σε καταναλωτή και θέση cold ironing στον ίδιο υποσταθμό , μπορεί να οδηγήσει σε κατάσταση **υπερφόρτισης της γραμμής** .
7. Όταν ο λόγος λ, ξεπεράσει την τιμή 2 (ακραίο σενάριο) μπορεί να παρατηρηθεί φαινόμενο υπερφόρτισης και των δύο γραμμών του συγκεκριμένου υποσταθμού.
8. Η **αύξηση της ζήτησης** για ισχύ σε μία θέση **cold ironing** επηρεάζει πολύ περισσότερο το δίκτυο από ότι η αύξηση της ζήτησης σε έναν καταναλωτή.
9. Οι εγκατεστημένοι μετασχηματιστές ισχύος 4 MVA στις θέσεις cold ironing μπορούν να εξυπηρετήσουν τους περισσότερους τύπους πλοίων ,ενδεχομένως όμως όχι όλους (π.χ. κρουαζιερόπλοια).

## 5.2.2. Βραχυκύκλωμα

Ο υπολογισμός του βραχυκυκλώματος πραγματοποιήθηκε μια φορά και είναι ίδιος για όλα τα σενάρια λειτουργίας, διότι το σύστημα τελεί κάτω από ακραίες συνθήκες φόρτισης. Στο Κεφάλαιο 4.6. παρουσιάστηκαν αναλυτικά τα αποτελέσματα των υπολογισμών. Στην παρούσα παράγραφο θα επιχειρήσουμε μια σύνοψη των σημαντικότερων αποτελεσμάτων και μία συζήτηση πάνω σε αυτά.



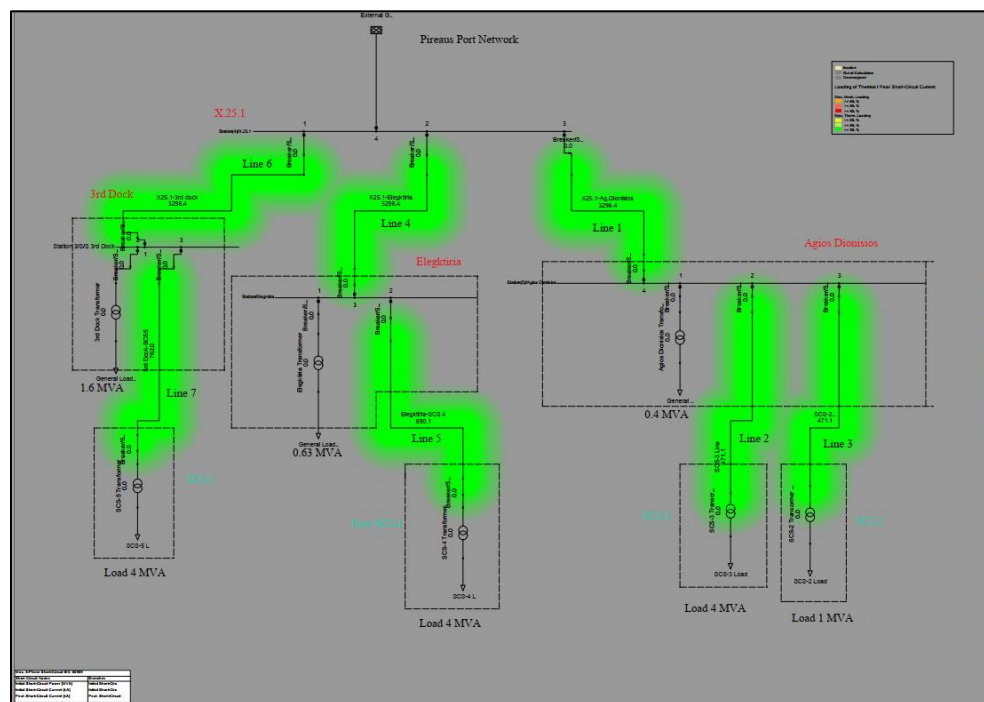
Εικόνα 93 : Δίκτυο Πειραιά σε Βραχυκύκλωμα

Οι υπολογισμοί έγιναν χρησιμοποιώντας το λογισμικό **Power Factory** για άλλη μια φορά. Όπως έχει ειπωθεί, ήδη, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος **IEC-60909** η οποία ενδείκνυται για βραχυκυκλώματα εγκαταστάσεων ξηράς. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται συνοπτικά τα αποτελέσματα όσον αφορά την **ισχύ σε υπομεταβατική κατάσταση ( $S_k''$ )**, την **ένταση του ρεύματος στην υπομεταβατική κατάσταση ( $I_k''$ )**, το **στιγμιαίο ρεύμα βραχυκύκλωσης ( $I_p$ )** καθώς και το **θερμικό ισοδύναμο ρεύμα βραχυκύκλωσης ( $I_{th}$ )**.

Terminal	Nominal Voltage (kV)	Sk'' (MVA)	Ik'' (kA)	ip (kA)	Ith (kA)	Line (#)	Loading (%)
X.25.1	20	10000	288.67	712.8	293.56	1	3298.4
Agios Dionisios	20	1450.4	41.87	60.64	41.93	2	471.1
Elegktiria	20	2740.1	79.1	115.71	79.22	3	471.1
3 <sup>rd</sup> Dock	20	2345.8	67.72	98.67	67.82	4	3298.4
SCS-2	20	1403.52	40.52	58.67	40.57	5	890.1
SCS-3	20	1053.54	30.41	43.98	30.45	6	3298.4
SCS-4	20	1567.42	45.25	65.57	45.31	7	762.0
SCS-5	20	1569.34	45.30	65.65	45.36		

Πίνακας 60 : Αποτελέσματα Βραχυκυκλώματος

Η ισχύς και η ένταση του ρεύματος στην υπομεταβατική κατάσταση ισούται με τα αντίστοιχα στην μόνιμη κατάσταση ,γεγονός που οφείλεται στην απουσία γεννήτριας στο δίκτυο. Παρατηρούμε πως εμφανίζονται μεγάλες τιμές έντασης ρεύματος στους ζυγούς ,γεγονός που οφείλεται στις συνθήκες βραχυκύκλωσης.



Εικόνα 94: Θερμικός Χάρτης Βραχυκυκλώματος δικτύου



### 5.3. Απαντήσεις στα βασικά ερωτήματα

Αφού έχουμε αναφέρει όλα τα παραπάνω στοιχεία σχετικά με τα αποτελέσματα των υπολογισμών και τα συμπεράσματα στα οποία οδήγησαν ,είμαστε σε θέση να απαντήσουμε στα βασικά ερωτήματα που αποτέλεσαν τους ερευνητικούς στόχους της παρούσας εργασίας. Ακολουθούν τα πιο σημαντικά από αυτά σε μορφή ερώτησης- απάντησης .

**1.Κατά τη διάρκεια της μελέτης παρατηρήθηκε ποθενά υπερφόρτιση μετασχηματιστή η καλωδίου και αν ναι κάτω από ποιες συνθήκες;**

Όσον αφορά τη μελέτη ροής φορτίου, παρατηρήθηκε υπερφόρτιση μετασχηματιστή στα επτά (7) από τα οκτώ (8) σενάρια λειτουργίας. Φαίνεται πως όταν ο μετασχηματιστής καλείται να δουλέψει στο **100% της ονομαστικής ισχύος** του παρατηρείται υπερφόρτιση. Όσον αφορά τις γραμμές/ καλώδια του δικτύου , για να υπάρξει υπερφόρτιση φαίνεται πως απαιτείται το φορτίο μετά από τον μετασχηματιστή διασύνδεσης ξηράς να είναι **περίπου 1.5** φορά μεγαλύτερο από την ονομαστική ισχύ του.

**2.Ποιο είναι το μέγιστο φορτίο με βάση το οποίο μπορεί να λειτουργεί ομαλά ένας σταθμός cold ironing με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα των εγκατεστημένων μετασχηματιστών;**

Με βάση τα υπάρχοντα δεδομένα , για τους σταθμούς cold ironing με μετασχηματιστή ονομαστικής ισχύος 4 MVA (SCS-3,SCS-4,SCS-5) ,φαίνεται πως το μέγιστο φορτίο ομαλής λειτουργίας είναι το  $P_{max} = 3.2$  [MVA] . Για ένα τέτοιο φορτίο , ο μετασχηματιστής τελεί κάτω από καθεστώς φόρτισης  $T_{loading} \approx 83.3$  % , επίπεδο που κρίνεται αποδεκτό. Για τον υποσταθμό με εγκατεστημένο μετασχηματιστή ονομαστικής ισχύος 1 MVA (SCS-2) ,φαίνεται πως το μέγιστο φορτίο ομαλής λειτουργίας είναι  $P_{max,1\text{ MVA}} = 0.8$  MVA , με φόρτιση του μετασχηματιστή πάλι κοντά στο 83 %.

**3.Υπάρχει κάποιος τύπος ο οποίος μπορεί να μας οδηγήσει σε μια εκτίμηση σχετικά με τον λόγο επιβαλλόμενου φορτίου/(ονομ. ισχύς μετασχηματιστή) ώστε να είμαστε πάντα στην ασφαλή πλευρά;(και ως προς τις γραμμές);**

Όπως αναφέρουμε παραπάνω οι μετασχηματιστές πρέπει να λειτουργούν περίπου στο 80% της ονομαστικής ισχύος τους προκειμένου να λειτουργούν ομαλά. Από εκεί και πέρα ,σε ένα σενάριο υπερφόρτισης όπου τα φορτία αυξάνονται πάνω από το 100% ,τότε όπως δείξαμε παραπάνω εάν ο λόγος  $\lambda = P_{max} / P_{nominal\ voltage}$  , ξεπεράσει την τιμή  $\lambda \geq 1.5$  τότε μπορεί να αρχίσουν να

εμφανίζονται φαινόμενα υπερφόρτισης και των καλωδίων. Όταν δε, έχουμε τιμές  $\lambda \geq 2$  (Σενάριο 7), τότε παρουσιάζονται έντονα φαινόμενα υπερφόρτισης και των δύο γραμμών του υποσταθμού.

**4. Ποια είναι τα ρεύματα βραχυκυκλώσεως και πως μπορώ να σχεδιάσω τους διακόπτες βραχυκυκλωμάτων ;**

Κατά τον υπολογισμό των ρευμάτων βραχυκύκλωσης του δικτύου , παρατηρήθηκαν εξαιρετικά μεγάλες τιμές έντασης ρεύματος (μέχρι και 70 kA) . Ωστόσο, σημειώνεται πως ρεύμα τέτοιας έντασης ,διέρχεται μέσα από το δίκτυο για ελάχιστο χρόνο που είναι της τάξης  $t \approx 20$  [ms]. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα ρεύματα βραχυκυκλώσεως (στιγμιαίες τιμές ) καθώς και μια εκτίμηση της ικανότητας διακοπής ρεύματος βραχυκυκλώσεως των διακοπών.

Υποσταθμός (Terminal)	Ονομαστική Τάση (kV)	Ρεύμα Αιχμής(I <sub>p</sub> ) (kA)	Διακόπτης (Circuit Breaker)	Ικανότητα Ρεύματος Διακοπής (kA)
SCP-2	11	2.21	Δ1	10
SCP-3	11	8.19	Δ2	10
SCP-4	11	8.46	Δ3	10
SCP-5	11	8.46	Δ4	10
SCS-2	20	58.67	Δ5	70
SCS-3	20	43.98	Δ6	70
SCS-4	20	65.57	Δ7	70
SCS-5	20	65.65	Δ8	70

Πίνακας 61 : Ρεύματα & διακόπτες βραχυκυκλώματος

Όπως φαίνεται, στο δίκτυο των 20 kV υπάρχει ανάγκη τοποθέτησης διακοπών με ικανότητα ρεύματος διακοπής στα 70 kA . Σημειώνεται πως αυτή είναι και η μέγιστη ικανότητα ρεύματος διακοπής που κυκλοφορεί στο εμπόριο. Οι διακόπτες σχεδιάζονται με βάση την τιμή του βραχυκυκλώματος αιχμής (I<sub>p</sub>) και όχι της τιμής του βραχυκυκλώματος στη μόνιμη κατάσταση (I<sub>kk</sub>) καθώς η τιμή του πρώτου είναι μεγαλύτερη από του δεύτερου , παρόλα αυτά είναι στιγμιαία.

## 5.4.Περιορισμοί της μελέτης

### 5.4.1.Αριθμητικές Μέθοδοι

Η παραπάνω μελέτη όπως είναι φυσικό διέπεται από κάποιους περιορισμούς . Οι περιορισμοί έχουν σχέση αρχικά με την ακρίβεια των υπολογισμών του λογισμικού που χρησιμοποιήσαμε ,του *Power Factory* της Dig SILENT. Ωστόσο πρέπει να σημειωθεί πως για την μελέτη ροής φορτίου το λογισμικό χρησιμοποιεί τη μέθοδο Newton-Raphson με πολύ καλά αποτελέσματα.

### 5.4.2.Μετρήσεις αποστάσεων

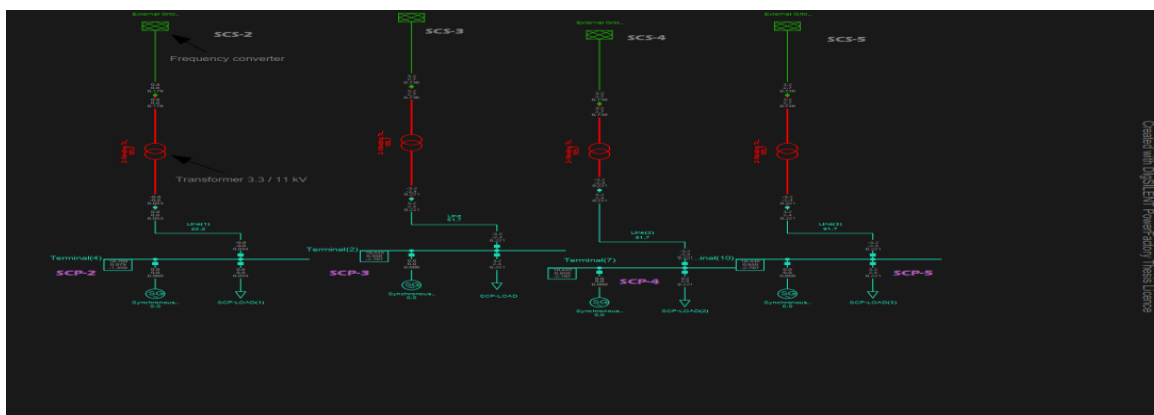
Ένα άλλο σημαντικό σημείο είναι πως για την μέτρηση των αποστάσεων των γραμμών/καλωδίων του δικτύου χρησιμοποιήθηκε το Google Earth ,όπου οι αποστάσεις μετρήθηκαν χαράσσοντας ευθύγραμμα τμήματα από το ένα σημείο στο άλλο και ενδεχομένως οι πραγματικές αποστάσεις να διαφέρουν λίγο από αυτές που μετρήθηκαν, δεδομένου πως σε κάποια σημεία ενδεχομένως τα καλώδια να μην ακολουθούν τη συντομότερη οδό για χωροταξικούς λόγους. Αυτό πάντως πολύ μικρή επίδραση έχει στα αποτελέσματα των τελικών υπολογισμών.

### 5.4.3.Ο μετατροπέας συχνότητας

Πάντως ο βασικότερος περιορισμός που είχαμε όσον αφορά το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τους υπολογισμούς ,ήταν πως το *Power Factory* δεν διαθέτει στη γραμμή εργαλείων του έναν μετατροπέα συχνότητας (που θα μας βοηθούσε εν προκειμένω να μετασχηματίσουμε τα 50 σε 60 Hz ) και ως εκ τούτου ήταν αδύνατο να μελετηθεί το δίκτυο στην ολότητα του, αλλά έπρεπε να διαχωριστεί σε δύο τμήματα : το «πάνω» δίκτυο (upstream) και το «κάτω» δίκτυο (downstream). Η παρούσα εργασία εστιάζει περισσότερο στη μελέτη του «πάνω» δικτύου χωρίς να αυτό να στερεί σε τίποτα από την ορθότητα των υπολογισμών.

### 5.4.4.Μελέτη αρμονικών/contingency analysis

Επίσης δεν κατέστη δυνατόν να πραγματοποιηθεί η μελέτη αρμονικών του δικτύου, λόγω του είδους των φορτίων και του πακέτου του λογισμικού που μας είχε δοθεί. Επίσης μια ανάλυση συνθηκών έκτακτης λειτουργίας (σαν αυτή που κάναμε στο Σενάριο 7) δεν υπήρχε στο πακέτο του προγράμματος. Οι αρμονικές είναι εκείνες οι συχνότητες κατά τις οποίες τα καλώδια του δικτύου μπορεί να βρεθούν σε κατάσταση συντονισμού , συχνότητες τις οποίες πρέπει να γνωρίζουμε για την ασφαλή λειτουργία του δικτύου.



## 5.5.Περαιτέρω Μελέτη

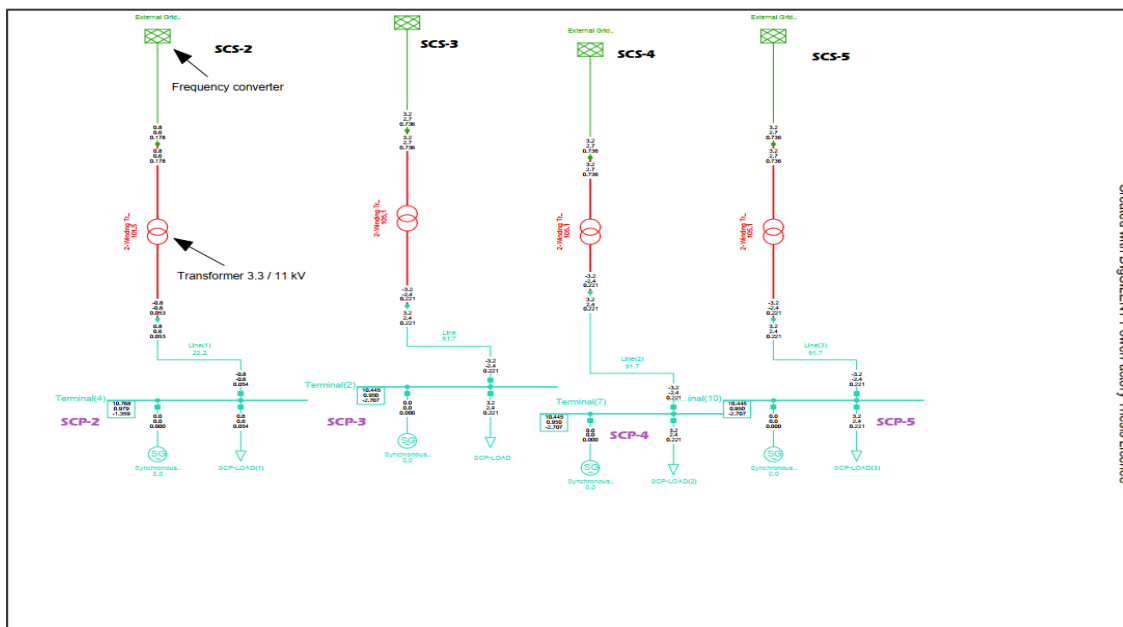
Προφανώς η συγκεκριμένη εργασία , αφήνει έδαφος και για περαιτέρω μελέτη . Όσον αφορά το δίκτυο του Πειραιά , καταλήξαμε σε κάποια σημαντικά συμπεράσματα όσον αφορά την **υπερφόρτιση** των ηλεκτρικών στοιχείων του δικτύου κάτω από την επιβολή διαφορετικών φορτίων και συνθηκών λειτουργίας.

Ωστόσο ,πολλά ακόμα μπορούν να γίνουν στη κατεύθυνση αυτή ,με κυριότερο εγχείρημα αυτό της μελέτης ολόκληρου του δικτύου σε ένα ενιαίο μονογραμμικό και ηλεκτρολογικό σχέδιο ,εγχείρημα που απαιτεί την ύπαρξη ενός λογισμικού το οποίο διαθέτει έναν μετατροπέα συχνότητας (**frequency converter**) ,όπως αναφέρουμε παραπάνω.

Για λόγους πληρότητας παρουσιάζουμε σε αυτό το κεφάλαιο , ένα σχέδιο του «κάτω» δικτύου (downstream δίκτυο) του λιμανιού του Πειραιά , το οποίο περιλαμβάνει έναν μετασχηματιστή ο οποίος παραλαμβάνει ρεύμα τάσης 3.3 kV και παραδίδει ρεύμα τάσης 11 kV. Σημειώνεται επίσης πως ο μετατροπέας συχνότητας μπορεί να παρασταθεί σαν **φορτίο** στο «πάνω» δίκτυο (**upstream**) και σαν **πηγή** στο «κάτω» δίκτυο (**downstream**).

### 5.5.1 To Downstream Network

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το σχέδιο του *downstream* δικτύου όπως αυτό σχεδιάστηκε στο *Power Factory*.



Εικόνα 95: Downstream Network

Φαίνεται αρχικά ο μετατροπέας συχνότητας που προσομοιώνεται ως external grid (εξωτερική πηγή) στο συγκεκριμένο σχέδιο και στη συνέχεια ένας μετασχηματιστής 3.3/11 kV ισχύος **1 MVA** για τον SCS-2 και **4 MVA** για τους SCS-3, SCS-4, SCS-4, SCS-5. Στη συνέχεια το ρεύμα οδηγείται μέσω ενός καλωδίου σε έναν ζυγό όπου είναι συνδεδεμένη μια σύγχρονη γεννήτρια και ένα φορτίο για cold ironing.

## Μελέτη Ροής Φορτίου

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι φορτίσεις ενός μετασχηματιστή **3.3/11 kV** ισχύος **4 MVA** κάτω από την επιβολή διαφορετικών φορτίων :

Φορτίο (MVA)	Φόρτιση ( %)
3.2	83.1
3.3	85.9
3.5	91.3
4	105.0
5	133.3

Πίνακας 62 : Φόρτιση μετασχηματιστή downstream δικτύου

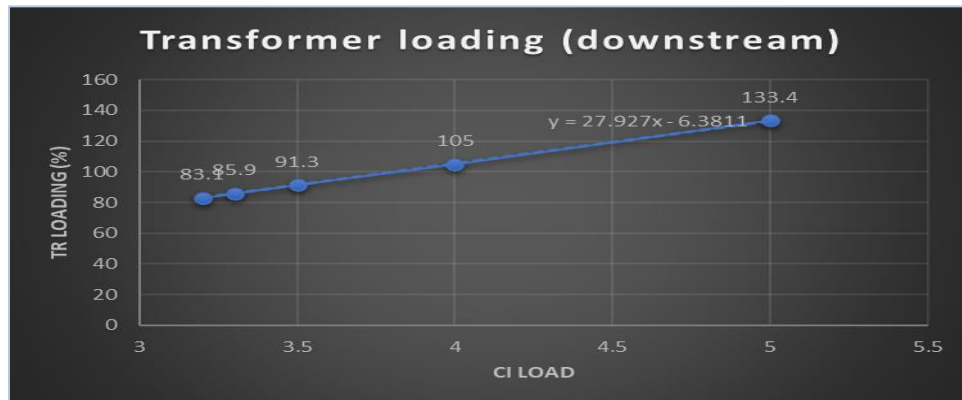
Επίσης φαίνεται η φόρτιση της γραμμής που μεσολαβεί από τον μετασχηματιστή μέχρι τον ζυγό:

Φορτίο (MVA)	Φόρτιση (%)
3.2	72.6
3.3	74.9
3.5	79.7
4	91.7
5	116.4

Πίνακας 63 : Φόρτιση γραμμής/καλωδίου downstream δικτύου

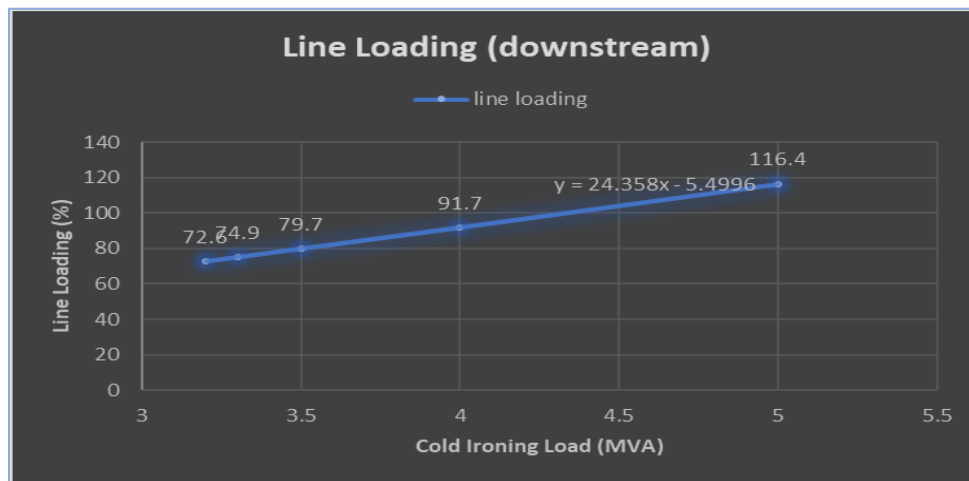
Με βάση τους παραπάνω πίνακες παρουσιάζονται και τα διαγράμματα φόρτισης του μετασχηματιστή και της γραμμής αντίστοιχα. Η σχέση φορτίου και φόρτισης φαίνεται να είναι γραμμική. Επίσης φαίνεται ο μαθηματικός τύπος που συνδέει το φορτίο με τη φόρτιση του μετασχηματιστή και της γραμμής ώστε να μπορεί κάποιος να προσθέσει και παραπάνω σημεία στο διάγραμμα. Ωστόσο μικρότερα φορτία των 3.2 MVA οδηγούν σε φόρτιση μικρότερη του 80% οπότε είναι σίγουρο πως δεν θα παρατηρηθεί υπερφόρτιση.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η φόρτιση ενός μετασχηματιστή 4 MVA 3.3/11 kV ως συνάρτηση του φορτίου cold ironing σε MVA.



Εικόνα 96: Διάγραμμα φόρτισης μετασχηματιστή downstream δικτύου

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται η φόρτιση του καλωδίου από το SCS-X στο SCP-X ως συνάρτηση του φορτίου cold ironing σε MVA.



Εικόνα 97: Διάγραμμα φόρτισης γραμμής στο downstream δίκτυο

Προφανώς ,τα παραπάνω αποτελούν μια εισαγωγή στην μελλοντική μελέτη που μπορεί να γίνει στην ολότητα του δικτύου ,ειδικότερα με τη χρήση ενός λογισμικού που επιτρέπει τους υπολογισμούς ροής φορτίου όπως το *Power Factory*.

Παρακάτω παρουσιάζονται κάποιες προτάσεις για συμπληρωματική έρευνα που θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί στο μέλλον. Οι προτάσεις φυσικά είναι ενδεικτικές ,αναγνωρίζοντας πως η βελτιστοποίηση του δικτύου είναι ένας τομέας που ανοίγει πολλά διαφορετικά ενδιαφέροντα θέματα μελέτης.

### 5.5.3. Συζήτηση (6.6 kV vs 11 kV)

Μία μεγάλη συζήτηση γίνεται για το αν τα πλοία θα πρέπει να χρησιμοποιούν συστήματα υψηλής (high voltage) ή χαμηλής (low voltage) τάσης. Φαίνεται πως τα συστήματα υψηλής τάσης έχουν κάποια πλεονεκτήματα έναντι αυτών της χαμηλής, με κυριότερο αυτό του ρεύματος χαμηλότερης έντασης που τα διαρρέει.

#### Παράδειγμα

Ας υποθέσουμε πως ένα πλοίο παράγει ισχύ 8 MW στα **440 V**, από ένα σύστημα τεσσάρων (4) διζελιογεννητριών, από τις οποίες η κάθε μία παράγει 2 MW με συντελεστή ισχύος  $\Sigma.I. = 0.8$ . Τότε το ρεύμα που καλείται να διαχειριστεί ένα καλώδιο τροφοδοσίας (feeder cable) και ένας διακόπτης κυκλώματος (circuit breaker) είναι:

$$I = 2 \cdot 10^6 / (\sqrt{3} \cdot 440 \cdot 0.8) \Rightarrow I = 3280.4 \text{ A} \Rightarrow I \approx \mathbf{3300 \text{ A}}.$$

Αν όμως το πλοίο λειτουργούσε σε τάση **6.6 kV** τότε ο παραπάνω τύπος θα γινόταν:

$$I = 2 \cdot 10^6 / (\sqrt{3} \cdot 6600 \cdot 0.8) \Rightarrow I = 218.7 \text{ A} \Rightarrow I \approx \mathbf{220 \text{ A}}.$$

Αν τώρα το πλοίο λειτουργούσε σε τάση **11 kV**, τότε ο παραπάνω τύπος θα γινόταν:

$$I = 2 \cdot 10^6 / (\sqrt{3} \cdot 11000 \cdot 0.8) \Rightarrow I = 131.2 \Rightarrow I \approx \mathbf{130 \text{ A}}.$$

#### Σχόλιο

Από τα παραπάνω γίνεται εμφανές πως η λειτουργία σε σύστημα υψηλότερης τάσης οδηγεί στην κυκλοφορία ρεύματος μικρότερης έντασης μέσα στο δίκτυο του πλοίου. Φυσικά το θέμα επιδέχεται περαιτέρω μελέτης.

### 5.5.2. Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Συμπληρωματικά αυτής της μελέτης προτείνουμε ως μελλοντική έρευνα την μελέτη της ροής φορτίου **ολόκληρου του δικτύου** με τη χρήση ενός λογισμικού που θα προσομοιώνει με επιτυχία έναν **μετατροπέα συχνότητας**.

Επίσης βάση των συμπερασμάτων που παρήχθησαν στην παρούσα εργασία προτείνεται η έρευνα για θέσεις **cold ironing** στο λιμάνι που θα μπορούν να προσφέρουν ισχύ **μεγαλύτερη των 4 MVA**. Μια τέτοια προσθήκη απαιτεί έναν ενδεδειγμένο σχεδιασμό καθώς ήδη παρατηρούνται φαινόμενα υπερφορτίσεων στο λιμάνι, πόσο δε μάλλον αν αυξηθεί η ζήτηση σε ισχύ.

Επιπλέον κρίνεται σκόπιμο να γίνει μια **μελέτη αρμονικών** για το δίκτυο καθώς, είναι πολύ χρήσιμο να γνωρίζουμε τη συχνότητα συντονισμού (resonance) των καλωδίων, ώστε να αποφευχθεί το δίκτυο να λειτουργήσει σε αυτή τη συχνότητα.

## 6.Επίλογος & Σύνοψη

Η κλιματική αλλαγή αναγκάζει την Ευρωπαϊκή Ένωση (και όχι μόνο) να λάβει γενναία μέτρα στην κατεύθυνση της **πράσινης ανάπτυξης** και της **απανθρακοποίησης** της βιομηχανίας συνολικά. Η ναυτιλία, ως ένας από τους βασικότερους κλάδους των διεθνών μεταφορών, δε θα μπορούσε να λείπει από αυτή την προσπάθεια.

Σύσσωμος ο ναυτιλιακός κόσμος λαμβάνει μέτρα για να καταστήσει τα πλοία του ενεργειακά αποδοτικότερα και λιγότερο ρυπογόνα, σύμφωνα με τις γραμμές που οριοθετεί η **Πράσινη Συμφωνία** και ο **ΙΜΟ**. Ωστόσο, εναλλακτικές τεχνολογίες υιοθετούνται και στην ξηρά, με σπουδαιότερη αυτή του **εξηλεκτρισμού των λιμένων**. Η τεχνολογία του «**cold ironing**» δηλαδή της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας στα πλοία που ελλιμενίζονται από την ξηρά έχει εξέχουσα θέση σε αυτή την προσπάθεια, μαζί με άλλες που εξετάζονται όπως τα αιολικά πάρκα και η εκμετάλλευση της κυματικής ενέργειας.

Στο λιμάνι του Πειραιά, ακολουθώντας το παράδειγμα άλλων λιμένων της Ευρώπης όπως το Αμβούργο, δρομολογούνται ήδη θέσεις φορτίσεως πλοίων με ικανότητα παροχής ισχύος 1MVA και 4 MVA. Το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο σε συνεργασία με το ΣΕΕΝ (Σύνδεσμος Επιχειρήσεων Επιβατηγού Ναυτιλίας) πρωτοστατεί στην μελέτη για την ανάπτυξη βέλτιστων συστημάτων και δομών λειτουργίας για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας από την ξηρά ( On Shore Power Systems – OPS), με επικεφαλής τους καθηγητές Ιωάννη Προυσαλίδη και Δημήτριο Λυρίδη.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία επιχειρήθηκε μια μελέτη του δικτύου διανομής ηλεκτρικής ενέργειας του λιμανιού του Πειραιά με σκοπό την ηλεκτροδότηση των πλοίων που ελλιμενίζονται. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό **Power Factory** της εταιρείας **DIg SILENT**, με τον οποίο πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί ροής φορτίου και βραχυκυκλώματος για συνολικά επτά (7) διαφορετικά σενάρια λειτουργίας. Η προσομοίωση του δικτύου έγινε χρησιμοποιώντας το **Power Factory** και το **Google Earth**.

Κατά τη διάρκεια της μελέτης, παρατηρήθηκε **υπερφόρτιση** στους εγκαθιστάμενους μετασχηματιστές στα έξι (6) από τα επτά (7) σενάρια λειτουργίας. Παρατηρήθηκε πως ένας μετασχηματιστής, είτε καταναλωτή είτε σε θέση cold ironing, υπερφορτίζεται όταν καλείται να δουλέψει στο 100% της ονομαστικής ισχύος του. Για έναν μετασχηματιστή ισχύος **4 MVA** φαίνεται πως μέγιστο φορτίο ασφαλούς λειτουργίας είναι το  $P_{max} = 2.56 [MW]$  ή αλλιώς το φορτίο  $S_{max} = 3.2 [MVA]$  με συντελεστή ισχύος  $\Sigma.I. = 0.8$ . Επίσης όταν τα φορτία υπερβαίνουν κατά πολύ την ονομαστική ισχύ του μετασχηματιστή, παρατηρούνται φαινόμενα υπερφόρτισης και των γραμμών/καλωδίων του δικτύου με φορτίσεις έως και 110-120%. Ωστόσο ένα σενάριο τέτοιο δεν είναι πού πιθανό να συμβεί (δηλαδή να έχουμε φόρτιση ενός μετασχηματιστή κοντά στο 200%), ωστόσο καταδεικνύει πως δεν είναι εφικτή η ηλεκτροδότηση πλοίων που απαιτούν φορτία μεγαλύτερα των 4 MVA όπως π.χ. τα κρουαζιερόπλοια.



Από την άλλη , σε συνθήκες ομαλής λειτουργίας ,με φορτίσεις μετασχηματιστών κοντά στο 80% που είναι και το προσδοκώμενο, το δίκτυο φαίνεται να λειτουργεί αρκετά καλά με φορτίσεις γραμμών που κυμαίνονται στο 30-60%. Μάλιστα παρατηρείται πως ακόμα και στα σενάρια υπερφόρτισης , δεν επηρεάζεται όλο το δίκτυο από τις ακραίες συνθήκες λειτουργίας ενός υποσταθμού , παρά μόνο ο συγκεκριμένος υποσταθμός, κάτι που σίγουρα είναι θετικό. Επίσης φαίνεται πως η γραμμή **Άγιος Διονύσιος → SCS-2** , επιδέχεται βελτιστοποίησης καθώς εμφανίζει χαμηλά επίπεδα φόρτισης (9-12%) σε όλα τα σενάρια λειτουργίας. Όσον αφορά τη μελέτη βραχυκυκλώματος ,παρουσιάστηκαν όπως ήταν αναμενόμενο, αρκετά μεγάλες τιμές έντασης ρεύματος ,ωστόσο το βραχυκύκλωμα διαρκεί για διάστημα της τάξης των 20 [ms]. Οι διακόπτες του κυκλώματος ,σχεδιάζονται με ικανότητα ρεύματος διακοπής λίγο μεγαλύτερη από το ρεύμα βραχυκυκλώματος, έως και 70 kA.

Συνοψίζοντας η πολλά υποσχόμενη προσπάθεια εξηλεκτρισμού του λιμανιού του Πειραιά πρέπει να συνεχιστεί και ενδεχομένως να συμπληρωθεί με κάποιες επιπλέον θέσεις για την παροχή ηλεκτρικής ενέργειας πλοίων από την ξηρά , με τη δυνατότητα παροχής μεγαλύτερης ισχύος. Η παρούσα εργασία καταδεικνύει κάποια σημεία που ίσως χρίζουν βελτίωσης ,όπως η υπερφόρτιση των μετασχηματιστών για φορτία μεγαλύτερα των 4 MVA. Η πλειονότητα των πλοίων μπορεί να εξυπηρετηθεί ωστόσο τύποι πλοίων πολύ σημαντικών ειδικά για τη χώρα μας , τον τουρισμό και την εγχώρια οικονομία ,όπως τα κρουαζιερόπλοια ίσως απαιτούν μεγαλύτερη ισχύ για την ηλεκτροδότησή τους.

Ωστόσο , πολλά ακόμα μπορούν να γίνουν στην κατεύθυνση αυτής της ερευνητικής προσπάθειας με κυριότερες προτάσεις για το μέλλον την μελέτη αρμονικών του δικτύου (harmonic flow) , για την εύρεση της συχνότητας συντονισμού των καλωδίων , καθώς και μια ανάλυση έκτακτων καταστάσεων (contingency analysis ) ,κάτι που επιχειρήθηκε με τη μέθοδο δοκιμών στο Σενάριο 7 της παρούσας εργασίας , ωστόσο σίγουρα επιδέχεται περαιτέρω έρευνας , με ένα λογισμικό που επιτρέπει την ανάλυση συστημάτων ηλεκτρικής ενέργειας όπως το *Power Factory*.

**ΤΕΛΟΣ**

# Παράρτημα

## Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1: Χαρακτηριστικά Ε/Ο πλοίων που επισκέπτονται το λιμάνι του Πειραιά .....	26
Πίνακας 2: Ισχύς γεννητριών ,φορτίο ελλειμενισμού, τάση , συχνότητα για κάθε Ε/Ο πλοίο .....	27
Πίνακας 3: Δεδομένα δεξαμενόπλοιων από Skagway 2008.....	30
Πίνακας 4: Αφίξεις κρουαζιερόπλοιων από Ιανουάριο έως Απρίλιο 2023 στον Πειραιά.....	31
Πίνακας 5: Δεδομένα των 12 πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.....	35
Πίνακας 6:Ζυγοί/Τερματικά .....	51
Πίνακας 7:Φορτία (Loads).....	52
Πίνακας 8:Εισαγωγή δεδομένων καλωδίων (1).....	53
Πίνακας 9:Εισαγωγή Δεδομένων καλωδίων (2).....	53
Πίνακας 10:Γραμμές/Καλώδια .....	54
Πίνακας 11:Γεννήτρια (Generator).....	54
Πίνακας 12:Μετασχηματιστής στον Άγιο Διονύσιο.....	74
Πίνακας 13: Μετασχηματιστής στα Ελεγκτήρια S/S .....	75
Πίνακας 14:Δεδομένα Υφιστάμενου Μετασχηματιστή 3 <sup>rd</sup> Dock S/S .....	75
Πίνακας 15: Δεδομένα Μ/Σ SCS-2.....	77
Πίνακας 16: Δεδομένα Μ/Σ SCS-3.....	77
Πίνακας 17: Δεδομένα Μ/Σ SCS-4.....	78
Πίνακας 18:Δεδομένα Μ/Σ SCS-5.....	78
Πίνακας 19:Δεδομένα Καλωδίων 20 kV .....	80
Πίνακας 20: Μήκη Γραμμών/Καλωδίων .....	81
Πίνακας 21:Δεδομένα Λειτουργίας Σεναρίου 1 .....	82
Πίνακας 22: Τάσεις Ζυγών (Σενάριο 1).....	84
Πίνακας 23: Φορτίσεις Γραμμών (Σενάριο 1).....	84
Πίνακας 24: Φορτίσεις Μετασχηματιστών (Σενάριο 1) .....	84
Πίνακας 25:Δεδομένα Λειτουργίας Σεναρίου 2 .....	85
Πίνακας 26:Τάσεις Ζυγών (Σενάριο 2).....	87
Πίνακας 27:Φορτίσεις Γραμμών (Σενάριο 2).....	87
Πίνακας 28:Φορτίσεις Μετασχηματιστών (Σενάριο 2) .....	87
Πίνακας 29:Δεδομένα Φόρτισης Σεναρίου 3.....	88
Πίνακας 30:Τάσεις Ζυγών Σεναρίου 3 .....	89
Πίνακας 31:Φορτίσεις Γραμμών (Σενάριο 3).....	90
Πίνακας 32:Τάσεις Ζυγών (Σενάριο 4).....	92
Πίνακας 33:Φορτίσεις γραμμών (Σενάριο 4) .....	92
Πίνακας 34:Φορτίσεις Μετασχηματιστών (Σενάριο 4) .....	92
Πίνακας 35:Δεδομένα φόρτισης Σεναρίου 5 .....	93
Πίνακας 36:Φορτίσεις Γραμμών/Καλωδίων (Άγιος Διονύσιος ) .....	95
Πίνακας 37:Φορτίσεις Μ/Σ (Άγιος Διονύσιος).....	95
Πίνακας 38: Τάσεις Ζυγών Δικτύου (Σενάριο 5) .....	96

Πίνακας 39: Δεδομένα Φόρτισης Σεναρίου 6.....	97
Πίνακας 40: Φορτίσεις Γραμμών (Σενάριο 6, Ελεγκτήρια) .....	98
Πίνακας 41 : Φορτίσεις Μετασχηματιστών ( Σενάριο 6, Ελεγκτήρια) .....	98
Πίνακας 42: Δεδομένα Φόρτισης Σεναρίου 7 (3 <sup>rd</sup> Dock S/S) .....	100
Πίνακας 43 : Φορτίσεις Γραμμών (3 <sup>rd</sup> Dock ,Σενάριο 7).....	102
Πίνακας 44 : Φορτίσεις Μετασχηματιστών ( 3 <sup>rd</sup> Dock , Σενάριο 7) .....	102
Πίνακας 45: Τάσεις Ζυγών ( 3 <sup>rd</sup> Dock ,Σενάριο 7).....	102
Πίνακας 46:Φορτίσεις Γραμμών (Θερμ.) (Βραχυκύκλωμα) .....	114
Πίνακας 47 : Αποτελέσματα Βραχυκυκλώματος (1).....	114
Πίνακας 48:Αποτελέσματα Βραχυκυκλώματος (2).....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Πίνακας 49 : Ομάδες Γραμμών ( 11 & 20 kV).....	121
Πίνακας 50: Ισχύς για κάθε μετασχηματιστή .....	121
Πίνακας 51 : Πίνακας Σεναρίων Λειτουργίας .....	122
Πίνακας 52 : Αποτελέσματα Ροής Φορτίου (Σενάριο 1).....	124
Πίνακας 53: Αποτελέσματα Ροής Φορτίου (Σενάριο 2).....	124
Πίνακας 54 : Αποτελέσματα Σεναρίου 3 .....	124
Πίνακας 55 : Αποτελέσματα Σεναρίου 4.....	125
Πίνακας 56: Αποτελέσματα Σεναρίου 5 .....	125
Πίνακας 57 : Αποτελέσματα Σεναρίου 6.....	125
Πίνακας 58 : Αποτελέσματα Σεναρίου 7 .....	126
Πίνακας 59 : Αποτελέσματα Βραχυκυκλώματος .....	128
Πίνακας 60 : Ρεύματα & διακόπτες βραχυκυκλώματος .....	130
Πίνακας 61 : Φόρτιση μετασχηματιστή downstream δικτύου.....	133
Πίνακας 62 : Φόρτιση γραμμής/καλωδίου downstream δικτύου .....	133

## Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1 Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία .....	8
Εικόνα 2 : Τιμές ανά τόνο του CO <sub>2</sub> σε Ευρώπη και Ενωμένο Βασίλειο .....	11
Εικόνα 3 : Πράσινο Πλοίο (Green Ship) .....	12
Εικόνα 4 : Το πρώτο ηλεκτρικό αμιγώς πλοίο μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.....	14
Εικόνα 5 : Οι περιοχές ECA .....	15
Εικόνα 6 : Πλοίο σε cold ironing.....	16
Εικόνα 7 : Υβριδικό Πλοίο με battery swapping .....	18
Εικόνα 8 : Η ιδέα της Fleetzero για το battery swapping .....	19
Εικόνα 9 : Αιολικά Πάρκα σε λιμένες της Ευρώπης.....	20
Εικόνα 10: Αιολικό Πάρκο στη θάλασσα.....	21
Εικόνα 11: Κυματική ενέργεια .....	22
Εικόνα 12: Μετατροπείς κυματικής ενέργειας .....	23
Εικόνα 13:Πλωτό φωτοβολταϊκό πάρκο .....	24
Εικόνα 14: Το λιμάνι του Πειραιά.....	25
Εικόνα 15: Φορτία ελλειμνισμού σε [KW] κάθε πλοίου.....	28
Εικόνα 16: Τάση & Συχνότητα πλοίων Ε/Ο που επισκέπτονται τον Πειραιά.....	28

Εικόνα 17: Σταθμός κρουαζιερόπλοιων στο λιμάνι του Πειραιά.....	29
Εικόνα 18 :Σταθμός εμπορευματοκιβωτίων λιμένος Πειραιώς.....	32
Εικόνα 19: Αποβάθρες εμπορευματοκιβωτίων Pier II & Pier III στον Πειραιά .....	33
Εικόνα 20: Φορτίο ελλιμενισμού για πλοία feeder & deep sea vessels.....	34
Εικόνα 21: Συχνότητα & τάση λειτουργίας για feeder vessels.....	34
Εικόνα 22: Συχνότητα & τάση λειτουργίας για deep sea vessels.....	34
Εικόνα 23: Φορτίο ελλιμενισμού για πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (containerships).....	35
Εικόνα 24:Αρχικό παράθυρο εργασίας του Power Factory.....	37
Εικόνα 25:Γραμμή Εργαλείων 2 στο Power Factory.....	38
Εικόνα 26:Φάκελοι Δεδομένων στο Power Factory.....	39
Εικόνα 27:Δημιουργία ενός project στο Power Factory.....	40
Εικόνα 28:Δημιουργία καινούριου project.....	40
Εικόνα 29:Αλλαγή ονόματος project στο Power Factory.....	41
Εικόνα 30:Φάκελος grid στο καινούριο project .....	41
Εικόνα 31:Φάκελος της study case.....	42
Εικόνα 32: Μετονομασία της study case.....	42
Εικόνα 33:Ο χώρος εργασίας του Power Factory.....	43
Εικόνα 34: Εργαλεία Σχεδίασης του Power Factory .....	45
Εικόνα 35: Γραμμή Εργαλείων Drawing Tools.....	46
Εικόνα 36:Υποδοχείς του Ζυγού 2 κατά τη σύνδεση του με την εντολή Line.....	47
Εικόνα 37:Μονογραμμικό Διάγραμμα για Thesis_Project.....	47
Εικόνα 38:Αλλαγή ονόματος ζυγού (busbar) .....	48
Εικόνα 39:Αλλαγή ονόματος υποσταθμού (substation) .....	48
Εικόνα 40:Διαθέσιμες Συνδέσεις Ζυγού B1 .....	49
Εικόνα 41:Ονομασία φορτίου (Load).....	49
Εικόνα 42:Τελική Μορφή του Δικτύου στο Power Factory.....	50
Εικόνα 43:Ονομαστική Τάση Ζυγού .....	51
Εικόνα 44:Τύπος Καλωδίου .....	54
Εικόνα 45: Βιβλιοθήκες στον Data Manager .....	55
Εικόνα 46:Χρωματισμός διαγράμματος.....	58
Εικόνα 47:Διαμόρφωση Διαγράμματος.....	59
Εικόνα 48:Εισαγωγή Project στο Power Factory .....	60
Εικόνα 49:Παράθυρο Υπολογισμού Ροής Φορτίου.....	61
Εικόνα 50:Αποτελέσματα Υπολογισμού Ροής Φορτίου.....	62
Εικόνα 51:Προεπιλογές παρουσίασης αποτελεσμάτων ακραίων στοιχείων .....	63
Εικόνα 52: Επεξεργασία Παρουσίασης Αποτελεσμάτων.....	64
Εικόνα 53:Network Model Manager .....	65
Εικόνα 54: Επιλογές Μεταβλητών Εμφάνισης.....	66
Εικόνα 55 : Τροποποίηση της σελίδας Flexible Data.....	66
Εικόνα 56 : Εισαγωγή Φίλτρου Δεδομένων .....	67
Εικόνα 57 : Αναπαράσταση «Θερμικού Χάρτη» (Heatmap) .....	68
Εικόνα 58:Τοπολογία Δικτύου Ηλεκτρικής ενέργειας λιμένος Πειραιώς.....	70
Εικόνα 59:Μονογραμμικό Σχέδιο Δικτύου Διανομής Ηλεκτρικής Ενέργειας Πειραιά .....	71

Εικόνα 60:Διάταξη Cold Ironing .....	72
Εικόνα 61:Single Line Diagram of Piraeus .....	73
Εικόνα 62: Μετασχηματιστής GEAFOL (Siemens Energy) .....	76
Εικόνα 63:Μέτρηση Αντίστασης Μετασχηματιστή .....	76
Εικόνα 64:Απεικόνιση Υποσταθμού Σύνδεσης Ξηράς .....	79
Εικόνα 65: Καλώδιο NA2XS Y 12/20 kV .....	80
Εικόνα 66:Μετασχηματιστής στο Power Factory .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Εικόνα 67:Καλώδιο στο Power Factory .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Εικόνα 68:Heatmap Scenario No1 .....	83
Εικόνα 69: Εισαγωγή Φορτίου στο Power Factory .....	85
Εικόνα 70:Θερμικός Χάρτης Σεναρίου 2 .....	86
Εικόνα 71:Θερμικός Χάρτης Σεναρίου 3 .....	89
Εικόνα 72:Θερμικός Χάρτης (Σενάριο 4).....	91
Εικόνα 73: Θερμικός Χάρτης Δικτύου Πειραιά (Άγιος Διονύσιος).....	94
Εικόνα 74: Ροή Φορτίου (Ελεγκτήρια).....	97
Εικόνα 75: Παράθυρο Εξόδου Υπολογισμού Ροής Φορτίου (Σενάριο 6).....	99
Εικόνα 76 : Ροή Φορτίου ( 3 <sup>rd</sup> dock ,Σενάριο 7) .....	101
Εικόνα 77:Παράθυρο Εξόδου Υπολογισμού Ροής Φορτίου ( Σενάριο 7).....	103
Εικόνα 78: Εντολή Υπολογισμού Βραχυκυκλώματος (Power Factory) .....	107
Εικόνα 79: Εξαγωγή Δεδομένων με μορφή πίνακα.....	108
Εικόνα 80: Ολοκλήρωση Υπολογισμού βραχυκυκλώματος .....	108
Εικόνα 81: Υπολογισμός Βραχυκυκλώματος ( Δίκτυο Λιμένος Πειραιά).....	109
Εικόνα 82: Υπόμνημα Χρωμάτων .....	109
Εικόνα 83: Εξαγωγή αποτελεσμάτων για βραχυκύκλωμα (Power Factory) .....	110
Εικόνα 84: Εξαγωγή Αποτελεσμάτων με μορφή πίνακα για βραχυκύκλωμα .....	111
Εικόνα 85 : Συνάρτηση Έντασης Ρεύματος Βραχυκύκλωσης .....	112
Εικόνα 86: Αποτελέσματα Υπολογισμού Βραχυκυκλώματος (ASCII) .....	112
Εικόνα 87 : Χάρτης Ροής Φορτίου σε Βραχυκύκλωμα .....	113
Εικόνα 88:Δίκτυο Διανομής Ενέργειας Λιμένος Πειραιώς στο Power Factory.....	117
Εικόνα 89 : Δεδομένα Παρατήρησης Γης ( Λιμάνι Πειραιά).....	118
Εικόνα 90 : Μονογραμμικό σχέδιο δικτύου .....	119
Εικόνα 91: Μονογραμμικό σχέδιο δικτύου (2).....	119
Εικόνα 92 : Upstream και Downstream δίκτυο .....	120
Εικόνα 93: Υπολογισμός Ροής Φορτίου (Υποσταθμός σε Υπερφόρτιση) .....	123
Εικόνα 94 : Δίκτυο Πειραιά σε Βραχυκύκλωμα.....	127
Εικόνα 95: Θερμικός Χάρτης Βραχυκυκλώματος δικτύου .....	128
Εικόνα 96: Downstream Network.....	132
Εικόνα 97: Διάγραμμα φόρτισης μετασχηματιστή downstream δικτύου.....	134
Εικόνα 98: Διάγραμμα φόρτισης γραμμής στο downstream δίκτυο .....	134

# Βιβλιογραφία

- Bo, T. I. (2016). *Scenario- and Optimization Based Control of Marine Power Systems*. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology. Ανάκτηση από [https://www.researchgate.net/publication/298786458\\_Scenario-\\_and\\_Optimization-Based\\_Control\\_of\\_Marine\\_Electric\\_Power\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/298786458_Scenario-_and_Optimization-Based_Control_of_Marine_Electric_Power_Systems)
- Commission, E. (2021). *Reducing Emissions from the shipping sector*. Ανάκτηση από [https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-shipping-sector\\_en](https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions/reducing-emissions-shipping-sector_en)
- conservation, U. F. (2008). *Air pollution emission inventory*. Skagway.
- Diavatis, I. (2019). *Development of an application in computational environment for the techno-economic feasibility analysis of the shore-to-ship power connection*.
- ESCA Position Paper . (2020).
- IRENA. (2020). *Ocean Energy Technologies*. IRENA.
- J. Prousalidis, D. L. (2017). *Ship to Shore Electric Interconnection: from adolescence to maturity*.
- J.Prousalidis, Lyridis, D., Spathis, D., S.Dallas, C.Papaleonidas, P.Mitrou, . . . T.Boutsika. (χ.χ.). *The ports as micro-grids:development prespectives*. Athens.
- Kampylis, P. (2016). *Diploma Thesis* . Athens: NTUA.
- Karakatsanis, V. (2021). *Implementation of cold ironing in modern ports,diploma thesis*. Athens: NTUA.
- Mourkokosta, V. (2016). *Διερεύνηση μεθόδων ενεργειακής αναβάθμισης στο λιμάνι της Ηγουμενίτσας, Thesis*. Αθήνα.
- NAYA OLMER, B. C. (October 2017). *GREENHOUSE GAS EMISSIONS from Global Shipping 2013-2015*. Washington DC: The International Council of Clean Transportation.
- Pitsios, D. (2016). *Μελέτη ηλεκτρικών δικτύων πλωτών κατασκευών σε μόνιμη κατάσταση λειτουργίας με χρήση του Power Factory*. Athens: NTUA.
- (2022). *Power Factory User Manual*. Germany: DIg SILENT.
- I.Προυσαλίδης. (2020). Ηλεκτρικές διασυνδέσεις πλοίων και λιμένων και προοπτική αναβάθμισης λιμένων.
- I.Προυσαλίδης, & Χ.Φραγκόπουλος. (2019). *Ενεργειακά Συστήματα Πλοίου*. Αθήνα: da Vinci.

