



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών



## **ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ**



Διπλωματική Εργασία  
**Ηλίας Χατζηδημητρίου**

EMK ΔΕ 2024 13

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2024





ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
Σχολή Πολιτικών Μηχανικών  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών



## ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ



Διπλωματική Εργασία  
**Ηλίας Χατζηδημητρίου**

EMK ΔΕ 2024 13

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ

Αθήνα, Ιούλιος 2024





Copyright © Ηλίας Χατζηδημητρίου, 2024  
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών, διανομή, αναπαραγωγή, μετάφραση ή μετάδοση της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό, υπό οποιαδήποτε μορφή και με οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας, ηλεκτρονικό ή μηχανικό, χωρίς την προηγούμενη έγγραφη άδεια του συγγραφέα. Επιτρέπεται η αναπαραγωγή, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν στη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από τη Σχολή Πολιτικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/1932, Άρθρο 202).

Copyright © Ilias Chatzidimitriou, 2024  
All Rights Reserved

Neither the whole nor any part of this diploma thesis may be copied, stored in a retrieval system, distributed, reproduced, translated, or transmitted for commercial purposes, in any form or by any means now or hereafter known, electronic or mechanical, without the written permission from the author. Reproducing, storing and distributing this thesis for non-profitable, educational or research purposes is allowed, without prejudice to reference to its source and to inclusion of the present text. Any queries in relation to the use of the present thesis for commercial purposes must be addressed to its author.

Approval of this diploma thesis by the School of Civil Engineering of the National Technical University of Athens (NTUA) does not constitute in any way an acceptance of the views of the author contained herein by the said academic organisation (L. 5343/1932, art. 202).

Ηλίας Χατζηδημητρίου  
Διπλωματική Εργασία ΕΜΚ ΔΕ 2024 13  
Βασικές αρχές επαναχρησιμοποίησης μεταλλικών κατασκευών και παράδειγμα εφαρμογής  
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα.

Ilias Chatzidimitriou (2024)  
Diploma Thesis EMK ΔΕ 2024 13  
Fundamental Principles of Reuse of Steel Constructions and a Case Study  
Institute of Steel Structures, National Technical University of Athens, Greece

## Ευχαριστίες

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Χάρη Γαντέ για τη συστηματική πνευματική καθοδήγηση και τα γνωστικά εφόδια που μου παρείχε, ώστε να φέρω εις πέρας τη συγγραφή αυτής της εργασίας. Επιπλέον, την οικογένειά μου για τη στήριξη, τη συμπαράσταση και την αρωγή που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.





ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΕΜΚ ΔΕ 2024 13

## **Βασικές αρχές επαναχρησιμοποίησης μεταλλικών κατασκευών και παράδειγμα εφαρμογής** **Ηλίας Χατζηδημητρίου**

Επιβλέπων: Χάρης Γαντές, Δρ. Πολιτικός Μηχανικός, Καθηγητής ΕΜΠ

### **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Είναι γεγονός πως ο πλανήτης βιώνει μία εκ των σημαντικότερων περιβαλλοντικών κρίσεων των τελευταίων αιώνων. Ένας από τους κυριότερους υπαίτιους για την κατάσταση αυτήν είναι ο κατασκευαστικός τομέας: τομέας της παραγωγής υλικών και απορριμμάτων, των εκπομπών αερίων και σκόνης, της κατανάλωσης ενέργειας και αγαθών. Προσπαθώντας να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα, οι «ειδικοί» φέρουν στην επιφάνεια, μετά διθυράμβων, το ζήτημα της ανακύκλωσης των υλικών ως μοναδική λύση, αφηφώντας τα ποσά ενέργειας και αερίων του θερμοκηπίου που καταγράφονται από τις συνεπαγόμενες επεξεργασίες των υλικών. Προκειμένου να βελτιωθεί σημαντικά το ανθρακικό αποτύπωμα του τομέα, είναι αναγκαία η υιοθέτηση τεχνικών, όπως αυτές της επαναχρησιμοποίησης μεταλλικών και άλλων υλικών. Βέβαια, παρόλο που η λύση αυτή πίπτει ως «Μάννα εξ ουρανού» στα χέρια των περιβαλλοντολόγων, δεν είναι λίγα τα εμπόδια της πρακτικής εφαρμογής της και αφορούν στο κόστος, στην εύρεση, στους χώρους αποθήκευσης, στις πιστοποιήσεις, στους ελέγχους, κλπ. Οι προκλήσεις αυτές μπορούν να καταπολεμηθούν, εφόσον οι διαδικασίες διευκολυνθούν και αυτοματοποιηθούν, με την ταυτόχρονη αρωγή αρχών, ειδικών σχεδιαστών και λοιπών μηχανικών, ώστε να δημιουργηθούν κατάλληλα πρωτόκολλα και νομοθεσίες, ειδικά διαμορφωμένοι χώροι και τέλος, να εκσυγχρονισθεί επιτέλους ο τομέας μέσω της ενσωμάτωσης της Τεχνητής Νοημοσύνης σε αυτόν.

Στα πλαίσια υιοθέτησης της πρακτικής της επανάχρησης, μελετήθηκε, σε ακαδημαϊκό επίπεδο, μία εφαρμογή ανάκτησης των μελών μίας μεταλλικής κατασκευής, η οποία χωροθετείται εντός του ΕΜΠ, και χρήσης των μελών αυτών για την ανέγερση ενός Πυλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιεί υπολογιστικά φύλλα τόσο για τη δημιουργία μίας Βάσης Δεδομένων, που είναι απαραίτητο συστατικό της επαναχρησιμοποίησης, όσο και για κάθε διαστασιολόγηση του φορέα, ώστε να διατηρούνται τα δεδομένα όλων των μελών του και να μπορούν να μεταβάλλονται εύκολα. Το στατικό μοντέλο δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας το λογισμικό SAP2000, ενώ παράλληλα δημιουργήθηκαν δύο μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης, χρησιμοποιώντας το περιβάλλον του RoboFlow, ώστε να ευρίσκεται αυτόματα η διάβρωση και η ύπαρξη ρωγμών στα μέλη. Αξιοποιώντας όλα τα παραπάνω εργαλεία και τις γνώσεις που αποκτήθηκαν κατά την έρευνα, σχεδιάστηκε ο Πυλώνας βάσει δύο σχετικών πρωτοκόλλων και τελικά το σύνολο των μελών του ήταν προϊόν επαναχρησιμοποίησης. Έτσι, μέσα από τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού βασισμένου στην επανάχρηση, έγιναν εμφανή τα πλεονεκτήματα, κάποια μειονεκτήματα, αλλά σημαντικότερα, το γεγονός ότι η πρακτική αυτή είναι δυνατή και πάνω από όλα, απαραίτητη για την επίτευξη ενός «πράσινου» κατασκευαστικού τομέα.





NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS  
SCHOOL OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF STEEL STRUCTURES



DIPLOMA THESIS  
EMK ΔΕ 2024 13

**Fundamental Principles of Reuse of Steel Constructions and a Case Study**  
**Ilias Chatzidimitriou**

Supervisor: Charis Gantes, Dr. Civil Engineer, Professor N.T.U.A

**ABSTRACT**

It is a fact that the planet is experiencing one of the most significant environmental crises of recent centuries. One of the main culprits for this situation is the construction sector: a sector of material and waste production, gas and dust emissions, and energy and goods consumption. In an attempt to address the problem, "experts" bring to the forefront, with great praise, the issue of material recycling as the only solution, disregarding the amounts of energy and greenhouse gases recorded from the associated material processing. To significantly improve the carbon footprint of the sector, it is necessary to adopt techniques such as the reuse of steel and other materials. Of course, although this solution appears as "manna from heaven" in the hands of environmentalists, there are many practical implementation obstacles, including cost, sourcing, storage, certifications, inspections, etc. These challenges can be overcome by streamlining and automating processes, supported simultaneously by authorities, specialized designers, and other engineers. This involves establishing appropriate protocols and legislation, creating specially designed spaces, and ultimately, modernizing the sector through the integration of Artificial Intelligence

As part of adopting the practice of reuse, an academic study was conducted on an application for recovering the members of a steel structure located within NTUA and using these members for the construction of an electricity transmission tower. This application uses spreadsheets to create a Database, which is an essential component of reuse, as well as for every dimensioning of the structure, so that the data of all its members can be maintained and easily modified. The static model was created using SAP2000 software, while simultaneously two Artificial Intelligence models were created using the Roboflow environment to automatically detect corrosion and the presence of cracks in the members. Utilizing all the above tools and the knowledge acquired during the research, the tower was designed based on two related protocols, and ultimately its entirety was a product of reuse. Thus, through the optimization of design based on reuse, the advantages, some disadvantages, and, most importantly, the feasibility and necessity of this practice for achieving a "green" construction sector became evident.





# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1</b>	<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>ΕΜΠΟΔΙΑ ΣΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΧΑΛΥΒΑ</b> .....	<b>9</b>
3.1	Γενικά .....	9
3.2	Διαθεσιμότητα υλικών - Απουσία Αγορών με μεταχειρισμένο χάλυβα .....	9
3.3	Κανονισμοί και Πρότυπα Σχεδιασμού .....	10
3.4	Μη οικονομική η επανάχρηση σε σχέση με την ανακύκλωση .....	11
3.5	Παράβλεψη ανθρακικού αποτυπώματος – Επίδραση της κατεδάφισης πριν την επανακατασκευή .....	12
<b>4</b>	<b>ΕΔΡΑΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ</b> .....	<b>15</b>
4.1	Ανάκτηση υλικών .....	15
4.2	Πιστοποιήσεις και Νομοθεσία για την ανάκτηση δομικού χάλυβα .....	16
4.2.1	Γενικά .....	16
4.2.2	Δοκιμές και έλεγχοι των επαναχρησιμοποιούμενων μελών .....	16
4.3	Κόστη – Ανάκτηση και άλλων υλικών – Εξειδίκευση στην αποθήκευση .....	18
4.4	Αντιμέτωπιση Αποβλήτων – Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση .....	18
4.5	Τεχνολογικοί «αρωγοί» στην επαναχρησιμοποίηση .....	19
4.6	Υιοθέτηση της λογικής της «Κυκλικής Οικονομίας» .....	21
4.7	Cap and Trade .....	22
<b>5</b>	<b>ΚΟΣΤΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΗΣ</b> .....	<b>25</b>
5.1	Γενικά .....	25
5.2	Σενάριο οικονομικής αξιολόγησης επανάχρησης και ανακύκλωσης .....	26
<b>6</b>	<b>ΕΥΡΕΣΗ ΜΕΛΩΝ – ΤΡΑΠΕΖΑ ΥΛΙΚΩΝ</b> .....	<b>30</b>
6.1	Γενικά .....	30
6.2	Τράπεζα υλικών .....	30
6.3	Τράπεζα υλικών σε συνεργασία με μοντέλα BIM .....	30
6.4	Ανάλυση Κύκλου Ζωής και Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής βάσει μοντέλων BIM .....	31
6.5	Μέθοδος χρήσης τράπεζας υλικών και BIM στην επανάχρηση .....	32
6.5.1	Ανάλυση πλαισίου μεθόδου .....	32
6.5.2	Βάση Δεδομένων .....	32
6.5.3	Παραγωγή Λύσης .....	33
6.5.4	Αξιολόγηση Λύσεως βάσει AKZ και AKKZ .....	33

6.6	Παράδειγμα Αριθμητικής Εφαρμογής (Σύγκριση εκπομπών CO <sub>2</sub> με τη χρήση BIM) .....	33
6.6.1	Παρουσίαση Εφαρμογής .....	33
6.6.2	Αποτελέσματα .....	35
6.7	Ψηφιακές Ετικέτες RFID .....	35
<b>7</b>	<b>ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΗΣ (ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ) .....</b>	<b>39</b>
<b>8</b>	<b>ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΧΑΛΥΒΑ .....</b>	<b>43</b>
8.1	Holbein Gardens .....	43
8.2	Αποθήκη NTS ("National Tube Stockholders") .....	46
8.3	Γέφυρα "East Arkengarthdale" .....	47
8.4	"Sloane Square House" .....	48
8.5	Ανακαίνιση του λιμανιού του Dundee .....	49
<b>9</b>	<b>ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ "P427" ΤΟΥ SCI &amp; ΟΔΗΓΟΣ "PROGRESS" .....</b>	<b>51</b>
9.1	Γενικά – Περιορισμοί .....	51
9.2	Διαδικασία ανάκτησης – αποθήκευσης – επαναχρησιμοποίησης .....	51
9.3	Πιστοποίηση CE .....	52
9.4	Ιδιότητες .....	53
9.4.1	Γενικά .....	53
9.4.2	Ιδιότητες που πρέπει να καθορισθούν .....	53
9.4.3	Σχολιασμός Ιδιοτήτων .....	54
9.4.3.I	Αντοχή .....	54
9.4.3.II	Πλαστιμότητα/Επιμήκυνση .....	54
9.4.3.III	Ανοχές στις διαστάσεις και το σχήμα .....	55
9.4.3.IV	Θερμική επεξεργασία κοίλων διατομών .....	55
9.4.3.V	Καθορισμός χημικής σύστασης .....	55
9.5	Προτάσεις σχεδιασμού .....	55
9.5.1	Εύρος Εφαρμογών .....	55
9.5.2	Πλαστιμότητα και παραμένουσες παραμορφώσεις .....	56
9.5.3	Αντοχή διατομής .....	56
9.5.4	Αντοχή σε λυγισμό .....	56
9.6	Σχεδιασμός Συνδέσεων .....	56
9.7	Αποτίμηση των ανακτημένων μελών .....	56
9.7.1	Αποτίμηση και συλλογή αρχικών δεδομένων .....	56
9.7.2	Απαραίτητες επιθεωρήσεις .....	57
9.7.3	Κριτήρια επιλογής μελών .....	57
9.7.4	Υποχρεώσεις του υπευθύνου οργανισμού .....	57
9.7.4.I	Κατηγοριοποίηση μελών .....	57

9.7.4.II	Καταγραφές.....	58
9.7.4.III	Διακηρύξεις.....	58
9.8	Δοκιμές.....	58
9.9	Υπάρχουσες επικαλύψεις στα μέλη.....	59
9.10	Οπές κοχλιώσεων και συγκολλήσεις.....	59
9.11	Δράσεις σχεδιασμού.....	60
9.12	Συντελεστές ασφαλείας.....	60
9.12.1	Γενικά.....	60
9.12.2	Η τιμή του $\gamma_{M1}$ .....	61
9.12.3	Οι τιμές των $\gamma_{M0}$ και $\gamma_{M2}$ .....	61
9.13	Καταγραφές δεδομένων.....	61
9.14	Αντοχές και επιμηκύνσεις.....	62
9.14.1	Μετρημένη αντοχή και υπόθεση βαθμού χάλυβα.....	62
9.14.2	Μη καταστροφικά τεστ σκληρότητας.....	62
9.14.3	Αποτίμηση των αποτελεσμάτων των τεστ σκληρότητας.....	63
9.14.4	Συσχέτιση μεταξύ σκληρότητας και αντοχής υλικού.....	63
9.14.5	Παράδειγμα υπολογισμού.....	64
9.15	Καταστροφικά τεστ εφελκυσμού: Μη στατιστικά και στατιστικά.....	64
9.15.1	Γενικές οδηγίες:.....	64
9.15.2	Μη στατιστικές δοκιμές.....	64
9.15.3	Στατιστικές δοκιμές.....	64
9.16	Χημική Σύσταση.....	65
9.17	Γεωμετρικές ανοχές.....	65
<b>10</b>	<b>ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΣΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΗ.....</b>	<b>67</b>
10.1	Παραγωγή των μοντέλων.....	67
10.2	1 <sup>ο</sup> μοντέλο: Διάβρωση.....	67
10.3	10.3. 2 <sup>ο</sup> Σενάριο: Εντοπισμός ρωγμών.....	87
<b>11</b>	<b>ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΜΕΛΩΝ.....</b>	<b>89</b>
11.1	Ανάκτηση και αξιολόγηση μελών.....	89
11.2	Δημιουργία Βάσης Δεδομένων.....	93
11.3	Σχεδιασμός Πυλώνων.....	101
11.3.1	Γεωμετρία.....	101
11.3.2	Προσομοίωση πυλώνων.....	106
11.4	Φορτία κατασκευής.....	117
11.4.1	Μόνιμες δράσεις.....	117
11.4.2	Μεταβλητές δράσεις.....	118

11.4.2.I Φορτία Ανέμου .....	118
11.4.2.II Φορτία χιονιού .....	128
11.4.2.III Σεισμός .....	129
11.4.2.IV Φορτία σπασμένων αγωγών .....	135
11.4.3 Συνδυασμοί φορτίσεων .....	136
11.5 Ανάλυση και διαστασιολόγηση του φορέα .....	140
11.6 Αποτελέσματα και αντοχές .....	143
11.6.1 Αντοχή διατομών .....	143
11.6.2 Αντοχή μελών .....	144
<b>12 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>157</b>

# 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο τομέας των κατασκευών είναι αυτήν τη στιγμή πρωτοπόρος στην κατανάλωση υλικών και ενέργειας, αλλά και στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου με ποσοστά που ανέρχονται σε 40% (γνωστός και ως ο τομέας του 40%) της παγκόσμιας κατανάλωσης ενέργειας και των ευρωπαϊκών και παγκοσμίων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου, αντίστοιχα (UNEP, [2022](#), RICS Professional Standard, [2023](#), Assefa & Ambler, [2017](#), Rakhshan et al., [2021](#), Hoxha, [2018](#), de Wolf, et al., [2020](#), Broniewicz & Dec, [2022](#), Jayasinghe, L.B, [2020](#), Kanyilmaz et al, [2023a](#), Santos, [2019](#), PROGRESS, [2020](#), Kanyilmaz et al, [2023b](#)). Το 10% του τελευταίου (40%) σχετίζεται με εκπομπές άνθρακα προκαλούμενες από την εξαγωγή, παραγωγή, μεταφορά, εγκατάσταση και απόρριψη υλικών (όπως χάλυβας, σκυρόδεμα), χρησιμοποιούμενων στην ανέγερση κτιρίων (το λεγόμενο "Embodied Carbon": Όλα τα στάδια Κύκλου Ζωής μίας κατασκευής, πλην αυτών της λειτουργίας της) (Young, [2023](#), U.S. DEPARTMENT OF ENERGY, [2024](#), Kanyilmaz et al, [2023a](#), le Den et al., [2022](#), Kanyilmaz et al, [2023b](#)). Η ποσότητα «ενσωματωμένου άνθρακα» κατά την κατασκευή ενός νέου κτιρίου είναι κατά μέσο όρο 600 kgCO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup> (όπου e = «equivalent» = ισοδύναμο). Το 70% αυτού (άρα συνολικά, το 7%) προκύπτει ως αποτέλεσμα της παραγωγής και μεταφοράς των υλικών, αλλά και της χρήσης τους για την ανέγερση των κατασκευών (πριν δηλαδή ξεκινήσει η φάση λειτουργίας, κατά τα [στάδια](#) A1-A5 του Κύκλου Ζωής) (le Den et al., [2022](#), Kanyilmaz et al, [2023a](#), Dupant, et al., 2018). Ο χάλυβας, συγκεκριμένα, είναι ένας από τους βασικούς υπεύθυνους για τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στον κόσμο (National Renewable Energy Laboratory, [2023](#)). Η μέση κατά κεφαλήν χρήση του αυξήθηκε από 150 kg το 2001 σε περίπου 220 kg το 2022 (World Steel, [n.d.](#)).

Αξίζει να αναφερθεί ότι βάσει Thormark ([2006](#)), η «ενσωματωμένη» ενέργεια αφορά στις διαδικασίες που υπόκεινται τα υλικά από την αρχή της ζωής τους έως ότου είναι έτοιμα να παραδοθούν από τον παραγωγό. Ωστόσο, στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, θα χρησιμοποιηθεί η έννοια που ορίστηκε αρχικά και που υιοθετείται από τη βιβλιογραφία, γενικότερα.

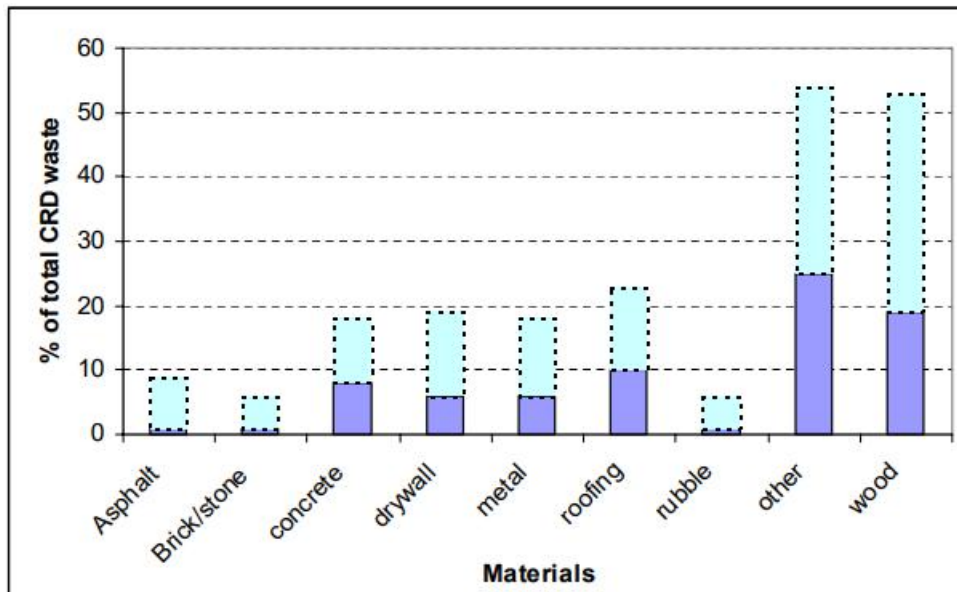
Προκειμένου να μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις ενός έργου και αυτό να καταστεί περιβαλλοντικά πιο «φιλικό», συνηθιζόταν να δίνεται προσοχή μόνο σε λειτουργικούς παράγοντες, όπως καλύτερη μόνωση, περισσότερος φυσικός φωτισμός και καλύτερος εξαερισμός. Παρ' όλ' αυτά, είναι πλέον γεγονός πως σημαντικό μέρος του περιβαλλοντικού αποτυπώματος ενός έργου προκύπτει και από την κατασκευαστική του φάση (Dupant, et al.,

2018). Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η λήψη κατάλληλων μέτρων, που θα οδηγήσουν στη μείωση του συνολικού αποτυπώματος άνθρακα στον τομέα των κατασκευών.

Μία λύση που δεν έχει εξερευνηθεί ακόμα εις βάθος είναι η επαναχρησιμοποίηση υλικών και μελών από μία παλιά εφαρμογή σε μία νέα. Με τον τρόπο αυτό, είναι δυνατό να αποφευχθεί η αρνητική περιβαλλοντική επίδραση που θα είχε τόσο η παραγωγή νέων μελών και υλικών όσο και η απόρριψη των παλιών.

Περίπου το 50% των συνολικών χρησιμοποιούμενων παγκόσμιων και ευρωπαϊκών υλικών, και το 30-50% των συνολικών ευρωπαϊκών αποβλήτων (βάσει Hradil, 2014: 460 εκατ. τόνοι) αφορούν έργα Πολιτικού μηχανικού (Jayasinghe, L.B, 2020, Bribián et al., 2011, Santos, 2019, Yeheyis et al., 2013, Rakhshan et al., 2021, Hradil, 2014, de Wolf, et al., 2020, Cai, 2019). Τόσο τα υλικά, όσο και τα απόβλητα που παράγονται από τις αντίστοιχες εργασίες είναι περισσότερα από οποιοδήποτε άλλου τομέα (BIO Intelligence Service, 2013, Kanilmaz et al, 2023a, Rakhshan et al., 2021). Γι' αυτό, έχουν προσδιορισθεί ως η κύρια πηγή αποβλήτων, και η μείωσή τους αποτελεί πρωταρχικό σκοπό όλων των εμπλεκόμενων του τομέα. Τόσο η Σουηδία όσο και η Γερμανία έχουν αναπτύξει προγράμματα που μπορούν να οδηγήσουν στη μείωση κατά 50% σε διάρκεια 10 χρόνων των αποβλήτων που απορρέουν από την κατασκευή και την κατεδάφιση, ενώ ταυτόχρονα και άλλες Ευρωπαϊκές χώρες ακολουθούν την ίδια φιλοσοφία, βασιζόμενες και στις οδηγίες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Στην άλλη πλευρά του Ατλαντικού, ο Καναδάς βρίσκεται πίσω από τις ΗΠΑ στην κατά κεφαλήν παραγωγή στερεών αποβλήτων κάθε χρόνο. Τα απορρίμματα που δημιουργούνται κατά την κατασκευή και κατεδάφιση είναι ίσα περίπου με το 27% των συνολικών του Καναδά, αντιπροσωπεύοντας 3,4 εκατ. τόνους σε βάρος (Alberta CRD Waste Advisory Committee, 2006). Επιπρόσθετα, περίπου το 40% των οικονομικών πόρων καταναλώνεται από τον κλάδο των κατασκευών.



Σχήμα 1 Απορρίμματα εργασιών κατασκευής και κατεδάφισης στον Καναδά (σύνολο 11,187 εκατ. τόνοι) (Πηγή: CG&S, 2000)





## 2 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ

Μερικές από τις τεχνικές που μπορούν να εφαρμοστούν στο σύγχρονο τομέα των κατασκευών, προκειμένου να γίνει πιο «φιλικός» προς το περιβάλλον, είναι η ανακύκλωση των υλικών ενός κτιρίου, η επαναχρησιμοποίησή τους, ή η πλήρης αλλαγή χρήσεως του κτιρίου (Assefa & Ambler, [2017](#)).

Η ανακύκλωση είναι η πλέον διαδεδομένη μεταξύ των τριών τεχνική: Ο χάλυβας είναι το περισσότερο ανακυκλώσιμο υλικό στον κόσμο, γεγονός που μαρτυρείται από τους 680 Mt που ανακυκλώθηκαν το 2021 (World Steel, [n.d.](#)). Θεωρητικά, είναι 100% ανακυκλώσιμος, κάτι που σημαίνει ότι ο Κύκλος Ζωής του θα μπορούσε να είναι ατέρμονος (World Steel, [n.d.](#)). Στην Αυστραλία, περίπου το 65% του διαθέσιμου ανακυκλώσιμου χάλυβα διατίθεται για την παραγωγή νέου (BlueScope Steel, [n.d.](#), Ness, et al, [2015](#), David, et al, [2015](#)).

Ωστόσο, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της ανακύκλωσης, απαιτείται μεγάλη ποσότητα ενέργειας (Ness, et al, [2015](#), David, et al, [2015](#), Broniewicz & Dec, [2022](#)). Παράλληλα, λόγω της επεξεργασίας στην οποία υπόκεινται τα υλικά, η διατήρηση της ποιότητάς τους δεν είναι εγγυημένη. Μέσω της ανακύκλωσης του χάλυβα, εξοικονομείται μόνο το 50% της ενέργειας και του CO<sub>2</sub>, σε σχέση με τη δημιουργία νέου (Dunant, et al., [2018](#), Norgate et al., [2007](#)).

Στο παράδειγμα της Αυστραλίας, οι συνολικές εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου στις 30 Ιουνίου του 2007 ήταν 12,53 εκατομμύρια τόνοι (μετρημένοι σε CO<sub>2e</sub>). (BlueScope Steel, [2008](#)).

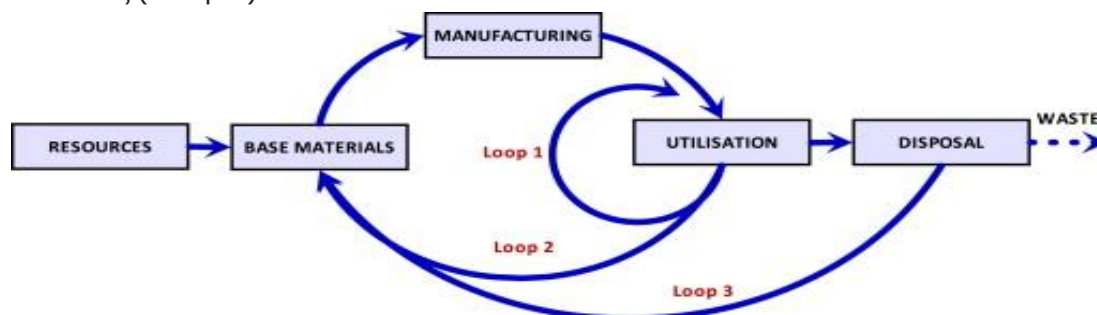
Παρόλο που η ευρύτερη στρατηγική αειφορίας των προϊόντων φαίνεται να επικεντρώνεται στην ανακύκλωσή τους, η επαναχρησιμοποίηση είναι αυτή που δείχνει την περισσότερη προοπτική και φαίνεται η πιο αποδοτική μεταξύ των 3 «R» («Reduce» = Μείωση, «Reuse» = Επαναχρησιμοποίηση και «Recycle» = Ανακύκλωση), συνωνύμων της Κυκλικής Οικονομίας. Αυτό δικαιολογείται από το γεγονός ότι η επανάχρηση δε χρειάζεται επιπρόσθετη ενέργεια, αλλά ούτε και επεξεργασίες (όπως το «λιώσιμο» υλικών) (Stahel, [1982](#), BlueScope Steel, [n.d.](#), Broniewicz & Dec, [2022](#), PROGRESS, [2020](#), Minunno, [2020](#), Bertin, [2020](#)). Η ανακύκλωση, αντίθετα, φαίνεται τελικά να είναι η λιγότερο ευεργετική, καθώς κάποια υλικά καταλήγουν να μην ανακυκλώνονται ποτέ, είτε λόγω απόρριψης είτε λόγω ανάμιξής τους με άλλα, μη ανακυκλώσιμα (Minunno, [2020](#), Lawson, et al., [2001](#), Jimenez et al., [2017](#)).

Αποτελέσματα έρευνας από τους Brütting, et al., ([2019](#)), έχουν δείξει ότι κατασκευές με επαναχρησιμοποιούμενα μέλη έχουν μία μείωση περιβαλλοντικού αποτυπώματος της τάξης

του 60% (συγκεκριμένα 63% λιγότερη ενέργεια και 56% λιγότερες εκπομπές), συγκρινόμενες με αντίστοιχες κατασκευές αποτελούμενες εξ ολοκλήρου από νέα μέλη.

Παρόλο που είναι γενικά απίθανο να επαναχρησιμοποιηθεί το 100% του ανακτημένου χάλυβα, το εναπομείναν υλικό μπορεί εύκολα να υποστεί διαδικασίες ανακύκλωσης (PROGRESS, 2020).

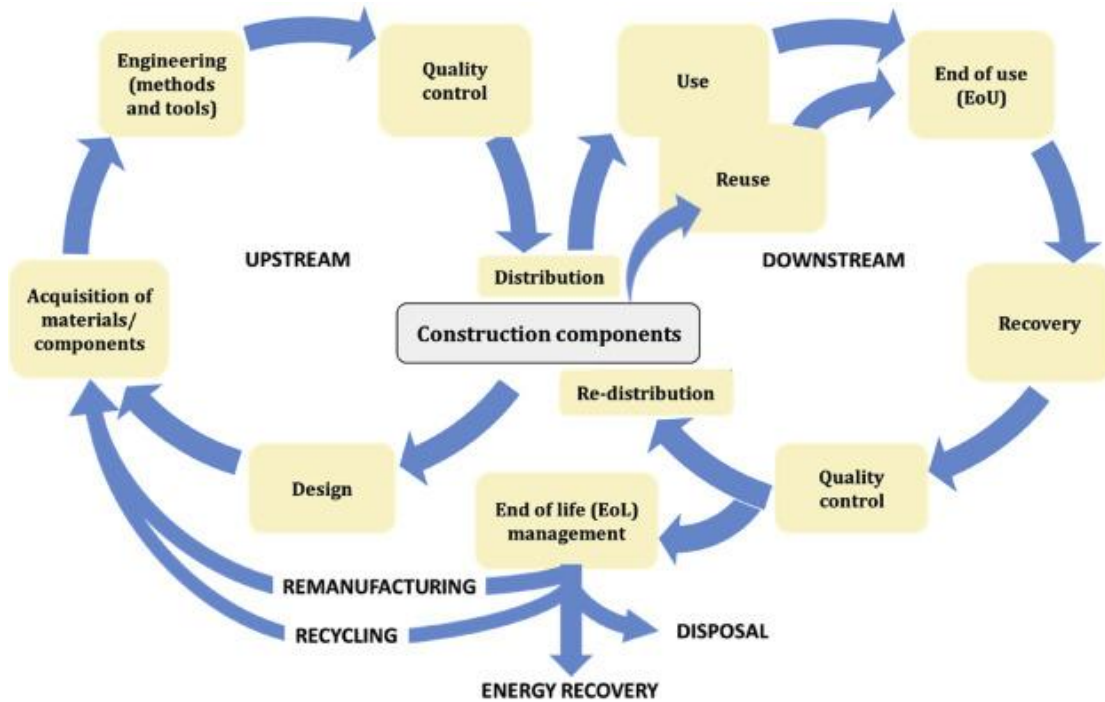
Η λογική των διαφορετικών εναλλακτικών για τα υλικά αντικατοπτρίζεται στο [Σχήμα 2](#) με τους 3 κύκλους («Loops»):



Σχήμα 2 Οι κύκλοι επαναχρησιμοποίησης, ανακατασκευής και ανακύκλωσης. (Stahel, 1982, Ness, David, et al. 2015)

Ο κύκλος 1 αντικατοπτρίζει την τεχνική της επαναχρησιμοποίησης και όπως φαίνεται, μπορεί να εφαρμοστεί με το πέρας της χρήσεως ("Utilisation"), αφού τα αγαθά-πρώτες ύλες μπορούν θεωρητικά να επαναχρησιμοποιούνται δια παντός. Όσον αφορά τον 2 και την ανακατασκευή, Συνγίνεται αντιληπτό ότι μετά τη χρήση, τα υλικά μπορούν να δέχονται περαιτέρω τροποποιήσεις και να επισκευάζονται, προκειμένου να αποφεύγεται η λύση παραγωγής νέων. Τέλος, ο κύκλος 3, που αφορά στην ανακύκλωση, φθάνει έως το πέρας της ζωής του εκάστοτε μέλους, όπου αντί να καταλήξει ως απόρριμμα, υπόκειται σε σειρά επεξεργασιών και παίρνει τη μορφή θραυσμάτων (σκραπ), ώστε να είναι έτοιμο για εκ νέου μορφοποίηση και χρήση (Ness, David, et al. 2015).

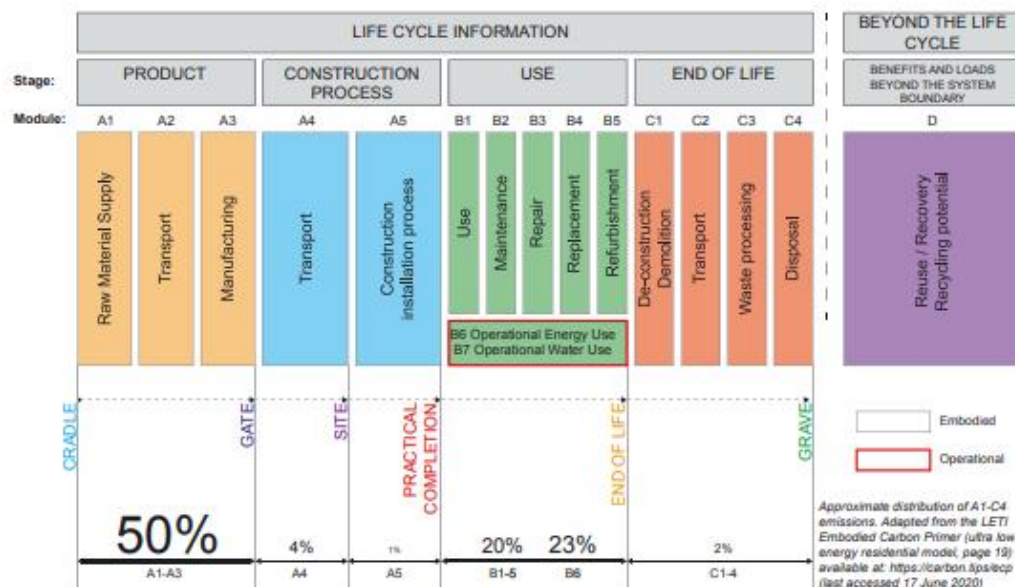
Για να διατηρηθεί η λειτουργικότητα ενός μέλους, οποιαδήποτε σχετιζόμενη με την χρήση και συντήρησή του πληροφορία θα πρέπει να ανανεώνεται καθ' όλη τη διάρκεια του Κύκλου Ζωής του, αφού το μέλος «εξελίσσεται» παράλληλα με τις διεργασίες στις οποίες υπόκειται και τα φορτία που το καταπονούν (Iacovidou, 2018). Ανάλογα με τις διαφορετικές αυτές διεργασίες και καταπονήσεις, η λειτουργικότητα και κατ' επέκταση: το τέλος χρήσης (EoU), η ανάκτηση, η επαναχρησιμοποίηση και τελικά το τέλος ζωής (EoL) του μέλους πρέπει να παρακολουθούνται και να ενημερώνονται συστηματικά (Ranasinghe, 2011).



Σχήμα 3 Οι κύκλοι "Upstream" και "Downstream" για τους Κύκλους Ζωής των μελών, όπου οι "Upstream" αφορούν στις διεργασίες εξαγωγής, παραγωγής και μεταφοράς τους και οι "Downstream" στις αντίστοιχες αποσυναρμολόγησης και απόρριψής τους. (Πηγή: Scheuer et al, 2003)

Ο χάλυβας μπορεί είτε να παράγεται εξ' ολοκλήρου από ανακυκλώσιμο σκραπ σιδήρου (δευτερογενής χάλυβας), είτε το ένα μέρος αυτού να προέρχεται από ανακύκλωση παλαιού και το υπόλοιπο από δημιουργία νέου (πρωτογενούς χάλυβα), ως ένα «κράμα» δύο ειδών χαλύβων (Kanyilmaz et al, 2023a).

Ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής πρωτογενούς χάλυβα, ο δείκτης ECF ("Embodied Carbon Factor" - δείκτης ενσωματωμένης ποσότητας CO<sub>2</sub>) για το χάλυβα και για τα [στάδια](#) A1-A3 του κύκλου ζωής του (τα οποία περιλαμβάνουν την εξαγωγή των πρώτων υλών, τη μεταφορά και την παραγωγή του χάλυβα), ποικίλλει (Kanyilmaz et al, 2023a).



Σχήμα 4 Στάδια Κύκλου Ζωής χάλυβα, όπου φαίνεται και το ποσοστό (%) των εκπομπών ανά κατηγορία (A,B,C)

Συγκεκριμένα:

1. Ο Χάλυβας μπορεί να παράγεται με τη Βασική μέθοδο (αλλιώς μέθοδο Linz-Donawitz -LD), κατά την οποία τα βασικά ακατέργαστα υλικά (αστόλι, ασβεστόλιθος, άνθρακας) εισέρχονται σε ένα μεγάλο, ανθεκτικό δοχείο που καλείται "*Basic Oxygen Furnace*" (BOF) και είναι συνήθως επενδυμένο εξωτερικά με δολομίτη. Στη συνέχεια, υψηλής καθαριότητας οξυγόνο εισέρχεται στο BOF και αντιδρά με τον άνθρακα, δημιουργώντας διοξείδιο του άνθρακα. Η θερμότητα που παράγεται (εξώθερμη αντίδραση), αυξάνει ακόμα περισσότερο τη θερμοκρασία του λωμένου μετάλλου. Αφού αφαιρεθούν τα ανεπιθύμητα ιζήματα που δημιουργούνται κατά τη διεργασία (θειικό, φωσφορικό οξύ), το παραγόμενο υλικό χύνεται σε χαλύβδινα καλούπια, ώστε να προκύψει το τελικό προϊόν (steeluniversity, 2021). Κατά τη διαδικασία αυτή, ο δείκτης ECF είναι περίπου 2500 kg CO<sub>2e</sub> ανά τόνο παραγόμενου χάλυβα. (W. Swann, 2021)
2. Ο Χάλυβας μπορεί να παράγεται και με τη διαδικασία *DRI* ("*Direct Reduced Iron*"). Η διαδικασία αυτή ξεκινά με σίδηρο σε μορφή πέλλετ, συνήθως υψηλής ποιότητας, και έναν «μειωτικό» παράγοντα/αέριο, συνήθως φυσικό αέριο ή κάρβουνο. Ο σίδηρος και ο παράγοντας τροφοδοτούνται σε έναν αντιδραστήρα, ο οποίος μπορεί να είναι, για παράδειγμα, ένας περιστρεφόμενος κάβος. Ο αντιδραστήρας λειτουργεί σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 800°C έως 1200°C. Εντός του αντιδραστήρα, ο παράγοντας αντιδρά με το μέταλλο σιδήρου, ώστε με την αφαίρεση του οξυγόνου (απελευθέρωση CO ή CO<sub>2</sub>) να προκύψει ο σίδηρος (Fe). Ο σίδηρος που παράγεται, συλλέγεται στο κάτω μέρος του αντιδραστήρα σε μορφή στερεού DRI. Το τελευταίο ψύχεται και επεξεργάζεται περαιτέρω, ώστε να γίνει χάλυβας επιθυμητής μορφής (Businessdictionary.com, 2020, Wikipedia, 2024). Κατά τη διαδικασία αυτή, η οποία είναι μια πιο αποδοτική και περιβαλλοντικά φιλική εναλλακτική, ο δείκτης ECF είναι περίπου 1000 kg CO<sub>2e</sub> ανά τόνο παραγόμενου χάλυβα (W. Swann, 2021).

Παρόλο που η μεγαλύτερη ποσότητα που προκύπτει από την κοπή και διάλυση των μεταλλικών μελών (σκραπ) ανακυκλώνεται, έχει φανεί πως η παγκόσμια ζήτηση χάλυβα είναι 3 φορές μεγαλύτερη από τα υπάρχοντα αποθέματα σκραπ, καθιστώντας έτσι «απαραίτητη» την καταφυγή σε λύσεις όπως η παραγωγή πρωτογενούς χάλυβα. (W. Swann, 2021)

Η πρώτη Περιβαλλοντική Διακήρυξη ("First Environmental Product Declaration" - EPD), που αφορούσε στον επαναχρησιμοποιούμενο χάλυβα, από την EMR (EMR, [2024](#)) κατέγραψε τιμές του GWP ("Global Warming Potential") περίπου 50 kg CO<sub>2e</sub>/τόνο χάλυβα για τα [στάδια](#) A1-A3 του κύκλου ζωής του. Αυτή η τιμή δείχνει, συγκρινόμενη και με τις προηγούμενες (δείκτες ECF), ότι η συγκεκριμένη μέθοδος μπορεί να προσφέρει πολλά περιβαλλοντικά οφέλη, με προοπτικές μείωσης του GWP σε 95% και 90% σε σχέση με νέο και ανακυκλωμένο χάλυβα, αντίστοιχα. (Kanyilmaz et al, [2023a](#)).

Από το 1987 έως το 1991, τα υλικά που επαναχρησιμοποιούνταν ή ανακυκλώνονταν, αυξήθηκαν (για παράδειγμα το αλουμίνιο από 30% σε 40%), λόγω της αξιοποίησης χώρων μεγαλύτερης αποθηκευτικής ικανότητας και της ανάπτυξης πιο σύγχρονων τεχνολογιών (Ayres, [1997](#)). Τα πλεονεκτήματα εκτεταμένης χρήσης μετάλλων μέσω επαναχρησιμοποίησης, ανακύκλωσης, ανακατασκευής και γενικότερα αποφυγής της όποιας απόρριψής τους γίνονται εμφανή με τα παρακάτω δύο παραδείγματα: πάνω από 16 τόνοι μη ανανεώσιμων υλικών (μεταξύ αυτών άνθρακας, ασάλι και άλλες πηγές), καθώς και μια εξίσου μεγάλη ποσότητα αερίων ή υδάτινων ρύπων μπορούν να μειωθούν μέσω της μη απόρριψης (ανακύκλωσης ή επαναχρησιμοποίησης) μόλις ενός τόνου χρησιμοποιημένου χάλυβα (Ayres, [1997](#)). Επιπλέον, τα αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής έρευνας από το PROGRESS ([2020](#)) δείχνουν ότι το μεγαλύτερο «κέρδος» της επαναχρησιμοποίησης αφορά στα [στάδια](#) παραγωγής (A1-A3), όπου οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι 29% με 33% λιγότερες όταν το κτίριο είναι κατασκευασμένο με επαναχρησιμοποιούμενα μέλη αντί με νέα (188,5 kg CO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup> σε σχέση με 266,3 kg CO<sub>2e</sub>/m<sup>2</sup>). Επιπλέον, δείχνουν ότι για τα [στάδια](#) A-C, η επαναχρησιμοποίηση έχει περισσότερα περιβαλλοντικά οφέλη σε σχέση με την ανακύκλωση.

Όταν ένα έργο φτάνει στο τέλος της ζωής του, τότε θα πρέπει να πραγματοποιείται ένας έλεγχος ολόκληρης της κατασκευής, αλλά και των μελών της, προκειμένου να αποφασισθεί εάν αξίζει να γίνει αποσυναρμολόγηση ή κατεδάφιση (PROGRESS, [2020](#)).

# 3 ΠΡΟΚΛΗΣΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ ΧΑΛΥΒΑ

## 3.1 Γενικά

Τα προηγούμενα χρόνια, μέσω αρκετών ερευνών, εντοπίστηκαν εμπόδια στην επαναχρησιμοποίηση δομικού χάλυβα: Οι έρευνες αυτές έδειξαν ότι η χαμηλή ζήτηση δεν ευνοεί την επαναχρησιμοποίηση (Tingley et al., [2017](#), Kanyilmaz, et al, [2023a](#)). Για παράδειγμα, είθισται να επαναχρησιμοποιούνται πιο εύκολα ολόκληρες οι κατασκευές παρά τα επιμέρους μέλη τους. Ο σχεδιασμός νέων κατασκευών είναι, δηλαδή, πιο ευχερές να γίνεται με νέα υλικά, διατομές και μέλη κυρίως λόγω της ποικιλίας και διαθεσιμότητάς τους.

Η επαναχρησιμοποίηση των υλικών περιλαμβάνει διαδικασίες τόσο αναζήτησης και εύρεσης των μελών, όσο και περαιτέρω τροποποίησής τους, ύστερα από την αποσυναρμολόγηση της κατασκευής (καθάρισμα και αμμοβολή), καθώς και μεταφοράς τους στο νέο εργοτάξιο (Kanyilmaz et al, [2023a](#)). Επιπλέον, επαναχρησιμοποίηση από κτίρια που έχουν σχεδιαστεί είτε με παλαιούς αντισεισμικούς κανονισμούς είτε με ελλιπείς πληροφορίες (για παράδειγμα σχέδια, κατόψεις, τομές, λεπτομέρειες) μπορούν τελικά να αυξήσουν το συνολικό κόστος της κατασκευής (Rakhshan et al., [2021](#)) και να εντείνουν την κόπωση των σχεδιαστών. Επομένως, κρίνεται απαραίτητη η λεπτομερής ανάδειξη όλων αυτών των παραγόντων που αποτελούν τροχοπέδη στην εδραίωση της επανάχρησης των μεταλλικών κατασκευών.

[Παρακάτω](#) παρατίθενται τα, πιθανότατα, 4 πιο σημαντικά εμπόδια (Kanyilmaz et al, [2023a](#), Dolan et al., [1999](#), Guy et al., [2014](#), Tingley et al., [2017](#), Storey et al., [2014](#), Hradil, [2014](#), Rakhshan, [2021](#), Minunno, [2020](#), Cai, [2019](#), Lo, et al., [2006](#)) της επαναχρησιμοποίησης.

## 3.2 Διαθεσιμότητα υλικών - Απουσία Αγορών με μεταχειρισμένο χάλυβα

Η πρώτη και εμφανώς πιο σημαντική πρόκληση είναι η ανεπάρκεια των υλικών που μπορούν να διατεθούν για επανάχρηση (Minunno, [2020](#)). Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες ένα έργο δεν προχωράει σε πλήρη ανέγερση παρόλο που έχουν αγοραστεί τα απαραίτητα υλικά, ή έχει κατασκευαστεί, αλλά κάποια μέλη έχουν μείνει αχρησιμοποίητα λόγω περίσσειάς τους (ή αρχικού λάθους στην παραγγελία), τότε αυτά μπορούν εύκολα να επαναχρησιμοποιηθούν σε κάποια επόμενη εφαρμογή. Έτσι, μπορούν να ελαττωθούν και οι οικονομικές αλλά και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις (από την απόρριψη των υπαρχόντων μελών και την αγορά νέων). Παρ' όλ' αυτά, η συντριπτική πλειοψηφία των μελών τη σήμερον ημέρα λαμβάνεται από



προϊόντα κατεδάφισης, κάτι που δημιουργεί αρκετά προβλήματα. Στη σύγχρονη βιομηχανική εποχή έχουν γίνει μεγάλες επενδύσεις, προκειμένου να επιτυγχάνεται η ταχύτερη δυνατή κατεδάφιση (και όχι η αποσυναρμολόγηση) μίας κατασκευής ύστερα από το τέλος της ζωής της (Broniewicz & Dec, [2022](#)). Ακόμα, αρκετά υλικά δεν είναι κατάλληλα για επαναχρησιμοποίηση, ενώ άλλα είναι δύσκολο να αποσυνδεθούν μεταξύ τους (Broniewicz & Dec, [2022](#), Hradil, [2014](#)). Επιπρόσθετοι ανασταλτικοί παράγοντες είναι η απουσία ειδικά διαμορφωμένων αποθηκευτικών χώρων, αλλά και η απουσία μίας μεγάλης αγοράς επαναχρησιμοποιούμενου χάλυβα (Storey et al., [2014](#), Hradil, [2014](#), PROGRESS, [2020](#)). Είναι γεγονός πως οι απασχολούμενοι στον κατασκευαστικό τομέα αποφεύγουν τις τεχνικές της επανάχρησης, διότι δε διαθέτουν τους κατάλληλους χώρους για να αποθηκεύσουν τα προϊόντα της αποσυναρμολόγησης, αλλά και επειδή η πώλησή τους αποτελεί μία «στριφνή» και δυσχερή διαδικασία. Έτσι, κρίνεται αναγκαία η ανάπτυξη νέων μεθόδων που θα καταστήσουν εφικτή τη συλλογή, την αποθήκευση και την πώληση των μελών ύστερα από την απόρριψη ενός έργου.

Βέβαια, όσον αφορά τη συλλογή, πρέπει να ληφθούν υπόψιν τόσο ο παράγοντας του χρόνου όσο και του κόστους: Εάν η αποσυναρμολόγηση γίνεται σε αργούς ρυθμούς και δεν έχει ουσιαστικό οικονομικό ενδιαφέρον, τότε υπάρχει ο κίνδυνος τα μέλη να μην επαναχρησιμοποιούνται ποτέ, είτε γιατί οι εργάτες θα αφιερώνονται σε άλλες εργασίες, είτε διότι αυξάνεται το ρίσκο τα μέλη να υφίστανται ρωγμές ή διαβρωτικά φαινόμενα με την πάροδο του χρόνου και την κακή μεταχείρισή τους. Από την άλλη, εάν η διαδικασία κινείται σε γοργούς ρυθμούς, τότε όλα τα μέλη θα ανακτώνται και θα είναι έτοιμα για εκ νέου χρήση. Ωστόσο, προκειμένου να γίνει εφικτή η ταχεία αποσυναρμολόγηση και να διαδοθεί ευρέως στον τομέα, χρειάζεται η υιοθέτηση νέων, κοστοβόρων και πιο εξελιγμένων μεθόδων, προσαρμοσμένων στην εκάστοτε περίπτωση (Kanyilmaz et al., [2023a](#)).

Επιπλέον, ισχύει ότι αρκετές νέες κατασκευές απαιτούν τη χρήση πιο περίπλοκων γεωμετρικά μελών (διατομές, μήκη, καμπυλώσεις, κλπ.). Προκειμένου να ευρίσκονται, να ανακτώνται και να τροποποιούνται καταλλήλως αυτά, απαιτούνται εξαιρετικά καταρτισμένοι και έμπειροι τεχνίτες, που θα μπορούν να εφαρμόζουν ειδικές μεθόδους. Οι μέθοδοι αυτές, όμως, θα πρέπει εκτός από τη συλλογή τέτοιων μελών, να αφορούν τόσο στη μεταφορά όσο και στην αποθήκευσή τους σε ειδικά διαμορφωμένους χώρους, οι οποίοι, όπως αναφέρθηκε, ως και σήμερα είναι ελάχιστοι (Kanyilmaz et al., [2023a](#)).

### 3.3 Κανονισμοί και Πρότυπα Σχεδιασμού

Η πλήρης ή μερική απουσία ελεγμένων στην πράξη νόμων και καθοδηγήσεων που αφορούν στην επαναχρησιμοποίηση υλικών, και ειδικά του χάλυβα, είναι ακόμα ένας παράγοντας ο οποίος δεν διευκολύνει την εδραίωση ειδικών μεθόδων για τη θεμελίωση της επανάχρησης στο σχεδιασμό των έργων Πολιτικού Μηχανικού (Kanyilmaz et al., [2023a](#), Hradil, [2014](#), Cai, [2019](#), Lo, et al., [2006](#), PROGRESS, [2020](#), Broniewicz & Dec, [2022](#)). Για παράδειγμα, παραμένει «θολό» ποια είναι η ακριβής αντοχή, που θα πρέπει να ληφθεί για τα ανακτηθέντα μέλη στο σχεδιασμό ενός νέου κτιρίου (Rakhshan et al., [2021](#)). Η αδυναμία ανάπτυξης της πρακτικής της επαναχρησιμοποίησης, λοιπόν, οφείλεται εν μέρει στην απουσία πληροφοριών που αφορούν στο σχεδιασμό και την εκτέλεση τέτοιων εφαρμογών, στην έλλειψη κανονισμών και στη μη ενημέρωση των ενδιαφερόμενων (Hradil, [2014](#), Storey et al., [2014](#)). Βέβαια, η επαναχρησιμοποίηση δομικού χάλυβα στο Ηνωμένο Βασίλειο είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί χάρη στο πρωτόκολλο P427 από το SCI ([2019](#)) (μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές επαναχρησιμοποίησης και εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης). Προς το παρόν, νομοθετικά η επαναχρησιμοποίηση είναι εφικτή βάσει της παραγράφου 5.1 του EN 1090-2

(CEN, [2008](#)). Όσον αφορά τις χώρες εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης, τα παρακάτω είναι γνωστά (Kanyilmaz et al, [2023a](#)):

- Το σουηδικό πρότυπο (MVR, [2021](#)) παρέχει μία μεθοδολογία για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των επαναχρησιμοποιούμενων υλικών. Το πεδίο εφαρμογής του περιλαμβάνει χάλυβα ο οποίος παρήχθη πριν και μετά το 1970, ορίζει διαφορετικά πρωτόκολλα για δοκιμές ανάλογα με την πιστοποίηση των υλικών και μπορεί να εφαρμοσθεί για τις "Execution Classes" (EXC) EXC1 και EXC2 βάσει EN 1090 (CEN, [2008](#)): Η EXC1 αφορά κυρίως κατασκευές από χάλυβα ποιότητας έως S275 που καταπονούνται από στατικά φορτία και η EXC2 συμπεριλαμβάνει μη στατικές φορτίσεις και η ποιότητα του χάλυβα φτάνει έως S700 (WeldersHandbook, [2023](#)). Ειδικότερα, οι EXC φαίνονται στο Σχήμα 5:
- [Ο οδηγός σχεδιασμού PROGRESS \(PROvisions for a Greater REuse of Steel Structures, 2020\)](#) του EU-RFCS (Research Fund for Coal and Steel) «PROGRESS» δρα υπό μία πιο συντηρητική προσέγγιση: μόνο ο παραγόμενος μετά το 1970 χάλυβας θεωρείται πιθανά συμβατός για επανάχρηση και το εύρος εφαρμογής του περιορίζεται σε μονώροφα κτίρια.

Damage consequence	low		middle		high	
	static	dynamic	static	dynamic	static	dynamic
Stress under S355	EXC1	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3
S355 and higher	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3	EXC4

Σχήμα 5 Execution Classes (Πηγή: WeldersHandbook, [2023](#))

Και τα 2 παραπάνω «πρωτόκολλα» έχουν εξαιρέσει από τις δοκιμές και τον προσδιορισμό των τελικών ιδιοτήτων μέλη τα οποία έχουν υποστεί φορτίσεις κόπωσης ή/και εμφανίσει πλαστικές παραμορφώσεις.

Επιπλέον, η νέα έκδοση του CPR ("Construction Product Regulation") (που στοχεύει στην εναρμόνιση των απαιτήσεων και προτύπων στον τομέα των κατασκευών μεταξύ όλων των μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης), σύμφωνα με το δημοσιευμένο προσχέδιο (European Commission, [2022](#), Kanyilmaz et al., [2023a](#)), θα περιλαμβάνει επαναχρησιμοποιούμενα μέλη, αλλά μπορεί να μην καλύπτει τις περιπτώσεις που αυτά προορίζονται για τον ίδιο με πριν σκοπό. Επομένως, θα πρέπει να καθιερωθούν νόμοι που θα αφορούν στη χρήση εκ νέου υλικών για τον ίδιο σκοπό, συμπεριλαμβανομένης της απαραίτητης διαδικασίας αποτίμησης ώστε να βρεθούν μέλη, τα οποία δεν θα είναι συμβατά (ήτοι να έχουν υποστεί φορτίσεις κόπωσης ή διαβρωτικά φαινόμενα).

Το κοινωνικό και πολιτικό κλίμα γύρω από την επαναχρησιμοποίηση χάλυβα διαδραματίζει επίσης ουσιαστικό ρόλο στη δυσχέρεια της εφαρμογής της στον κατασκευαστικό κλάδο. Για παράδειγμα, αρκετοί μηχανικοί είναι λογικό να αποθαρρύνονται να χρησιμοποιήσουν ανακτημένα μέλη σε νέες κατασκευές, όταν δεν υπάρχουν διαθέσιμες οδηγίες και πιστοποιήσεις (λόγω και της δυσκολίας έγκρισης των μελών αυτών από τις τοπικές αρχές) (Hradil, [2014](#), Kanyilmaz et al., [2023a](#)). Επιπρόσθετα, είναι γεγονός πως οι άνθρωποι γενικότερα, αλλά και ειδικότερα εντός του τομέα των κατασκευών, δείχνουν να έχουν αρνητικές πεποιθήσεις απέναντι στα μεταχειρισμένα προϊόντα. Τέλος, ο συντηρητισμός δεν έχει ακόμα εκλείψει από τον τομέα, και όσο εξακολουθεί να τον μαστίζει, τόσο πιο δύσκολη θα είναι η εφαρμογή νέων μεθόδων. Άλλωστε, ο τομέας των κατασκευών είναι μεταξύ των λιγότερο ψηφιοποιημένων (Agarwal et al., [2016](#)).

### 3.4 Αντι - οικονομική η επανάχρηση σε σχέση με την ανακύκλωση

Η ανάκτηση των υλικών στον τομέα των κατασκευών δεν έχει εδραιωθεί ακόμα ως κλασική πρακτική λόγω του υψηλού κόστους που τη συνοδεύει. Το υψηλό αυτό κόστος προέρχεται από τους απαραίτητους ελέγχους ποιότητας, τις πιστοποιήσεις, το χειρωνακτικό έργο κατά την

αποσυναρμολόγηση των κατασκευών, την αποθήκευση και τις μεταφορές σε μεγάλες αποστάσεις των μεταχειρισμένων υλικών (Kanyilmaz, [2023a](#), PROGRESS, [2020](#)). Οι σύγχρονες πρακτικές που αφορούν στην ανακύκλωση των υλικών φαίνεται να είναι πιο οικονομικές από αυτές της επαναχρησιμοποίησης (Hradil, [2014](#), Minunno, [2020](#), PROGRESS, [2020](#)), ενώ παράλληλα το σκραπ στην αγορά έχει φθάσει σε αρκετά προσιτές τιμές (Kanyilmaz, [2023a](#)). Σε μία έρευνα (PROGRESS, [2020](#)), βρέθηκε ότι μεταξύ 4 διαφορετικών σεναρίων (καθένα διαφορετικό ανάλογα με τα ποσοστά χρήσης ανακυκλωμένου, νέου και επαναχρησιμοποιούμενου χάλυβα), το υψηλότερο κόστος (608 €/m<sup>2</sup>) αφορούσε στην κατασκευή που μετά το πέρας της ζωής της αποσυναρμολογείται και τα ανακτημένα μέλη της προορίζονταν για εκ νέου χρήση, και το χαμηλότερο αφορούσε στην κατασκευή που τα μέλη της πωλούνταν για ανακύκλωση (547 €/m<sup>2</sup>). Όσον αφορά, όμως, το [στάδιο D](#) (πιθανές εξοικονομήσεις μετά το πέρας ζωής της κατασκευής), η μεγαλύτερη προοπτική κέρδους αφορούσε στην επαναχρησιμοποίηση (Βλ. και Κόστη – Ανάκτηση και άλλων υλικών – Εξειδίκευση στην αποθήκευση).

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει αρνητικά την εν δυνάμει κερδοφορία της επανάχρησης σε σχέση με αυτή της ανακύκλωσης είναι η έλλειψη ζήτησης επαναχρησιμοποιούμενων προϊόντων στην αγορά (Storey et al., [2014](#), Hradil, [2014](#), Kanyilmaz et al., [2023](#), PROGRESS, [2020](#)).

Επιπλέον, οι υπάρχουσες μέθοδοι αποσυναρμολόγησης μίας κατασκευής και εν συνεχεία τροποποιήσεων των μελών της είναι τεχνικά και οικονομικά πιο δύσκολο να εφαρμοστούν σε σχέση με αυτές της ανακύκλωσης. Λαμβάνοντας υπόψη και το γεγονός ότι με την πάροδο του χρόνου, τα κτίρια που θα απομένουν για αποσυναρμολόγηση θα είναι και τα πιο απαιτητικά (πρωτίστως θα προτιμηθούν να αποσυναρμολογηθούν τα «απλά» κτίρια), φαίνεται πως σε κάποιες περιπτώσεις ίσως να είναι προτιμητέα η κατεδάφιση και έτσι η επανάχρηση μπορεί να καταστεί δυσχερής. Αυτό υποδεικνύει ότι για το υπάρχον φάσμα κτιρίων και τεχνικών, υπάρχει ένα άνω προκαθορισμένο όριο στον αριθμό εφαρμογών επαναχρησιμοποίησης, που σχετίζεται με το πόσο οικονομικά βιώσιμες είναι αυτές σε σχέση με τις αντίστοιχες της ανακύκλωσης (Kanyilmaz, et al., [2023a](#)).

### **3.5 Παράβλεψη ανθρακικού αποτυπώματος (Επίδραση της κατεδάφισης πριν την κατασκευή)**

Η εκτίμηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που θα έχει η κατεδάφιση μίας κατασκευής είναι απαραίτητη για την απόφαση του μέλλοντος των μελών της. Η χρήση βαρέων οχημάτων και μελών, η μεταφορά απορριμμάτων, καθώς και η απαιτούμενη ενέργεια για την επεξεργασία και την απόρριψη ή την ανακύκλωση/επαναχρησιμοποίηση των υλικών που προκύπτουν από την κατεδάφιση/αποσυναρμολόγηση προκαλούν επιπτώσεις στο περιβάλλον, οι οποίες πρέπει να εκτιμώνται και να αξιολογούνται (Kanyilmaz et al., [2023a](#), PROGRESS, [2020](#)). Μέχρι τώρα, είναι πολύ λίγες οι έρευνες που σχετίζονται με την εκτίμηση των παραπάνω επιπτώσεων πριν από την ανέγερση μίας νέας κατασκευής στο ίδιο πεδίο όπου υπήρχε μία άλλη (Gonzalez et al., [2021](#), Hradil, [2014](#), Minunno, [2020](#), Broniewicz & Dec, [2022](#)). Συνήθως, οι επιπτώσεις αυτές εισάγονται στο [στάδιο C](#) της παλαιάς κατασκευής. Το RICS ("Royal Institution of Chartered Surveyors") προτείνει ότι στη Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων ενός νέου κτιρίου, σε τοποθεσία όπου παλιά ήταν αναγεργμένη άλλη κατασκευή, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το ανθρακικό αποτύπωμα της κατεδάφισης της κατασκευής αυτής (της παλιάς) (Kanyilmaz et al., [2023a](#)). Στα [στάδια](#), λοιπόν, του Κύκλου Ζωής των νέων κατασκευών προτείνεται να προστεθεί και το A.5.1 που θα αφορά στην κατεδάφιση (του παλιού κτιρίου) πριν την κατασκευή (του νέου). Με τον τρόπο αυτό, θα γίνεται αποτύπωση του ανθρακικού αποτυπώματος της κατεδάφισης (ή της αποσυναρμολόγησης) της παλιάς κατασκευής και προσπάθεια μείωσής του μέσω της υιοθέτησης νέων «φιλικών» προς το περιβάλλον μεθόδων αποσυναρμολόγησης και της επαναχρησιμοποίησης όσο το δυνατόν περισσότερων μελών. Για παράδειγμα, οι Broniewicz &

Dec (2022), εφαρμόζοντας τη λογική «σχεδιασμού με σκοπό την αποσυναρμολόγηση» ("Design for Disassembly" – DFR), και ξεκινώντας την εκτίμηση των επιπτώσεων από το στάδιο αποσυναρμολόγησης του παλιού κτιρίου, κατέληξαν στο ότι η κατά 90% επαναχρησιμοποίηση των μελών ενός κτιρίου μπορεί να εξοικονομήσει 70% ενέργειας και 80% εκπομπών CO<sub>2</sub>, σε σχέση με το λιώσιμο όλης της κατασκευής (μετατροπή σε σκραπ) και την παραγωγή εκ νέου μελών.

Επιπλέον, πρέπει να συνυπολογίζονται και οι μεγάλες αποστάσεις που μεταφέρονται τα ανακτημένα μέλη μέσω φορτηγών από το ένα πεδίο στο άλλο (Hradil, 2014).

Έτσι, μέσα από τη σύγκριση των εναλλακτικών Μελετών θα μπορούν να είναι εμφανή τα θετικά αποτελέσματα που έχει η επαναχρησιμοποίηση, και να μειωθούν ακόμα περισσότερο οι επιπτώσεις της κατεδάφισης-αποσυναρμολόγησης.

Τα επαναχρησιμοποιημένα χαλύβδινα υλικά μπορούν να προσδώσουν έως και 95% εξοικονόμησης εκπομπών άνθρακα στα κτίρια που εισάγονται, μειώνοντας τις επιπτώσεις του [σταδίου](#) A του Κύκλου Ζωής της νέας κατασκευής. Σε αυτές, όμως, δεν προσμετρώνται επιπτώσεις κατά τη διαδικασία ανάκτησης των υλικών αυτών, αλλά αντιθέτως φαίνεται πως υπάγονται σαν επίπτωση του τέλους χρήσεως του προηγούμενου κτιρίου. Επομένως, πρέπει πρώτα να αναγνωριστούν όλες οι πηγές εκπομπών (σε όλες τις φάσεις του Κύκλου Ζωής του κτιρίου) και στη συνέχεια να βρεθούν τρόποι ώστε να αντιμετωπισθούν άμεσα, προκειμένου να υπάρχει ουσιαστική συμβολή στην επίτευξη του βασικού στόχου αντιμετώπισης της κλιματικής κρίσης.



## 4 ΕΔΡΑΙΩΣΗ ΤΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΤΗΣ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ

Δεν νοείται εν έτει 2024 και όταν ένα πρόβλημα αφορά τους Πολιτικούς μηχανικούς όλου του πλανήτη, να μην μπορούν να ευρεθούν ουσιαστικές λύσεις. Δια του λόγου το αληθές, τα παραπάνω εμπόδια ευρύτερης διάδοσης της επαναχρησιμοποίησης μπορούν να υπερκεραστούν μέσω νέων και εξελιγμένων διαδικασιών, που θα αφορούν στον εντοπισμό μελών και μέσω της θεμελίωσης νέων πιστοποιήσεων και νόμων, ειδικά σχεδιασμένων, για την διευκόλυνση της εφαρμογής μεθόδων γύρω από την επανάχρηση. Ειδικότερα, τα μέτρα θεμελίωσης της επανάχρησης φαίνονται παρακάτω:

### 4.1 Ανάκτηση υλικών

Η εύρεση και ανάκτηση των μελών παλαιών κατασκευών είναι ίσως ο πιο σημαντικός παράγοντας, ώστε να εδραιωθεί η επαναχρησιμοποίηση στον τομέα των κατασκευών. Προκειμένου να ευρίσκονται εύκολα τα μέλη που είναι συμβατά για επαναχρησιμοποίηση, είναι αναγκαίο να υπάρχει μία μοναδική ετικέτα για κάθε μέλος, η οποία θα το αντιπροσωπεύει καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του. Για να γίνει εφικτό αυτό, προτείνεται να εφαρμοσθούν σύγχρονες μέθοδοι, όπως χρήση ετικετών που λειτουργούν με ραδιοσυχνότητες, ή [RFID](#) ("Radio Frequency Identification") (Iacovidou, [2018](#), Cai et al., [2019](#), Ness et al., [2015](#), Lynch and Loch, [2006](#), Taylor, [2010](#), Schultmann et al., [2010](#), Sun et al., [2013](#)). Επιπρόσθετα, θα πρέπει να υπάρχει και να ανανεώνεται διαρκώς μία κοινή (για κοντινές, παραδείγματος χάριν, εφαρμογές) Βάση Δεδομένων με ενσωματωμένα όλα τα μέλη που είναι δυνατό να επαναχρησιμοποιηθούν και τις απαραίτητες ιδιότητές τους. Περαιτέρω, η [τράπεζα υλικών](#) είναι ένα σύστημα που μπορεί να εντοπίζει, να συλλέγει, να αποθηκεύει στη Βάση Δεδομένων (πχ φύλλο Excel) και να διαχειρίζεται το σύνολο των επαναχρησιμοποιούμενων μελών (Cai, G, [2019](#), Bertin, I, [2020](#), Jayasinghe, [2020](#), Tina Casey, [2024](#), Iacovidou, [2018](#)). [Με τη χρήση μοντέλων BIM](#) για τις κατασκευές που πρόκειται να αποσυναρμολογηθούν, μπορούν να συλλέγονται αυτόματα οι απαραίτητες πληροφορίες για τις ετικέτες και τη Βάση Δεδομένων της τράπεζας (Bertin, I, [2020](#), Jayasinghe, [2020](#), Honic, [2019](#), Cai, G, [2019](#), Taylor, [2010](#)).

Άλλη μία λύση (Storey, et al., [2014](#)) είναι να γνωστοποιούνται δημόσια οι επερχόμενες αποσυναρμολογήσεις - κατεδαφίσεις. Με τον τρόπο αυτό, θα μπορεί οποιοσδήποτε ενδιαφερόμενος για την ανάκτηση χαλύβδινων μελών να παραβρεθεί στο πεδίο και να αγοράσει τα μέλη που επιθυμεί. Βέβαια, το γεγονός ότι η διαδικασία θα λαμβάνει χώρα εντός του εργοταξίου ενδέχεται να θέσει σε κίνδυνο την υγεία των ανθρώπων (χημικά, σκόνη, ρύποι, ενδεχόμενη στατική ανεπάρκεια). Οπότε χρειάζονται ειδικά μέτρα προστασίας και αντίστοιχη νομοθεσία που να προβλέπει τις διαδικασίες αυτές.

## 4.2 Πιστοποιήσεις και Νομοθεσία για την ανάκτηση δομικού χάλυβα

### 4.2.1 Γενικά

Η υπάρχουσα ανάγκη για στροφή προς τη διαμόρφωση ενός πιο «πράσινου» κατασκευαστικού περιβάλλοντος αυξάνει το ενδιαφέρον μηχανικών, εργατών και νομοθετών γύρω από θέματα όπως η ανακύκλωση και η επαναχρησιμοποίηση υλικών, κυρίως χάλυβα, καθότι θεωρείται ένα από τα πιο αποδοτικά υλικά.

Εφόσον αποτελεί κοινή απαίτηση η υιοθέτηση των σημαντικών περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων της επανάχρησης, οι πρακτικές εφαρμογές της πρέπει να αυξηθούν και τουλάχιστον να εξισωθούν σε ποσοστό με αυτές της ανακύκλωσης. Τα πρωτόκολλα που θα καθιερωθούν, θα πρέπει να θεμελιώσουν την ίδια την επαναχρησιμοποίηση ως μία εκ των βασικών μεθόδων κατασκευής, έχοντας ως γνώμονα την ασφάλεια, τα κόστη και το περιβάλλον.

Προκειμένου μία νέα κατασκευή να συμφωνεί με τις προϋποθέσεις της Ευρωπαϊκής Ένωσης, θα πρέπει να περιλαμβάνει μία αποτίμηση του GWP ("Global Warming Potential") για κάθε [στάδιο](#) του Κύκλου Ζωής της και η οποία θα κοινοποιείται σε όλα τα ενδιαφερόμενα μέρη. Επιπλέον, τουλάχιστον το 70% των συνολικών υλικών θα πρέπει να προέρχεται από δευτερογενείς πηγές (ανακύκλωση ή επαναχρησιμοποίηση).

Ο χάλυβας δεν υπόκειται σε βασικές μεταβολές στη σύστασή του με την πάροδο του χρόνου, πέρα φυσικά από τη διάβρωση και τις πλαστικές παραμορφώσεις που μπορούν να προκληθούν λόγω των σεισμών. Σε κάθε περίπτωση, όταν τα μέλη υποβάλλονται σε προδιαγραμμένες δοκιμές, πρέπει να πετυχαίνουν επιδόσεις καλύτερες από ένα θεσμοθετημένο όριο, ώστε να εξασφαλίζεται η καταλληλότητά τους για χρήση σε μία νέα κατασκευή. Ένα πρωτόκολλο από το SCI (The Steel Construction Institute (SCI), [2019](#)) και ένας οδηγός σχεδιασμού (PROGRESS, [2020](#)) προτείνουν ότι αρκετές [ιδιότητες](#) του υλικού πρέπει να έχουν διαπιστωθεί, ώστε αυτό να θεωρηθεί κατάλληλο για επανάχρηση.

Προς το παρόν, δεν έχουν τυποποιηθεί οι δοκιμές που θα πρέπει να γίνονται, προκειμένου να πιστοποιούνται τα μέλη. Αποτελεσματικά και οικονομικά νομοθετήματα που θα αφορούσαν στην εκ νέου επικύρωση των ανακτημένων μελών από χάλυβα θα ενίσχυαν σε μεγάλο βαθμό τις πρακτικές επαναχρησιμοποίησης και θα τις καθιστούσαν λιγότερο δυσχερείς. Ως τώρα, οι αποφάσεις που σχετίζονται τόσο με τις μεθόδους όσο με τον τύπο και αριθμό δοκιμών και ελέγχων επαφίονται στην κρίση μηχανικών και εταιριών.

### 4.2.2 Δοκιμές και έλεγχοι των επαναχρησιμοποιούμενων μελών

Η αξιολόγηση των υλικών συνήθως περιλαμβάνει καταστροφικές (Destructive Testing) ή μη (Non Destructive Testing) δοκιμές είτε εντός είτε εκτός πεδίου (είτε εκτός είτε εντός εργαστηρίου). Και οι δύο τύποι δοκιμών είναι χρονοβόρες και κοστοβόρες, διαμορφώνοντας έτσι αρνητικά την πεποίθηση των μηχανικών για την επανάχρηση και, καθιστώντας την εφαρμογή της λιγότερο ελκυστική. Βέβαια, οι μη καταστροφικές δοκιμές δεν προκαλούν ζημιές στα μέλη. Αντιθέτως, απλοποιούν τη διαδικασία των εργαστηριακών δοκιμών, κάνοντάς τη λιγότερο χρονοβόρα, ενώ παράλληλα αναγνωρίζουν με ακρίβεια και μετρούν το μέγεθος των ελαττωμάτων. Τα ανακτημένα μέλη πρέπει προφανώς να μην έχουν εμφανείς ζημιές όταν υποβάλλονται στα τεστ αυτής της κατηγορίας και επιπλέον, πρέπει να εξέρχονται αλώβητα από αυτά (εξ ου και το όνομα: «μη καταστροφικές δοκιμές»). Τέλος, είναι αναγκαίο να μην εμφανίζουν σημαντικές ατέλειες, μόνιμες παραμορφώσεις ή απώλεια διατομής εξαιτίας διάβρωσης (Kanyilmaz et al., [2023a](#), [TITUS Steel, 2022](#)).

Τα συνήθη χαρακτηριστικά που πρέπει να καταγράφονται και να αξιολογούνται, φαίνονται στον Πίνακα 1. Είναι αναγκαίο η αξιολόγηση της αποσύνθεσης και της ζημιάς να γίνεται ξεχωριστά. Η αποσύνθεση αφορά στη μείωση των χαρακτηριστικών του υλικού ή/και του μεγέθους του εξαιτίας των συνθηκών έκθεσής του. Το πιο τυπικό παράδειγμα αποσύνθεσης που παρατηρείται στο χάλυβα είναι η διάβρωση, η οποία εξαρτάται από περιβαλλοντικούς



παράγοντες και πιο συγκεκριμένα από την ποσότητα οξυγόνου και νερού που έρχεται σε επαφή με την απροστάτευτη επιφάνεια του χάλυβα (Kanyilmaz et al., [2023a](#)). Για το λόγο αυτό, μία προστατευτική στρώση από ειδικό υλικό (πχ γαλβάνιση επιφανειών με ψευδάργυρο ή ειδικές ανθεκτικές βαφές) εφαρμόζεται γύρω από το μέλος, ώστε να παρεμποδίζει την άμεση αλληλεπίδραση του γύρω περιβάλλοντος με το χαλύβδινο μέλος. Παρ' όλ' αυτά, η διάβρωση μπορεί να προκύψει και κάτω από τη στρώση αυτή και τότε ο εντοπισμός γίνεται δυσχερέστερος, λόγω της μη εμφανούς ύπαρξής της.

Πίνακας 1 Τα συνθηότερα καταγεγραμμένα χαρακτηριστικά σε επαναχρησιμοποιούμενα μέλη

Piece number	Generated by the system and every piece is allocated a unique number which is kept throughout its life and is retained forever even after it is sold
Purchase	Purchase order number
Section	Size of the section
Length	Usable length of the material in mm
Quality	Whether it is prime, second hand, surplus etc
Condition	Describes the surface condition of the material (how heavy is the rust, painted or galvanised)
Ends	End condition (e.g. gas cut, saw cut, end plates etc.)
Coating	If it is painted then what sort of paint or coating
Defects	Bends, dents, holes etc.(these defects can be graded between 1 and 10 according to severity)
Grade	Grade of steel
Location	Location of steel
Source	Where the material came from (e.g. building name or steel mil if known)

Πηγή: Kanyilmaz et al ([2023a](#))

Μία εξίσου συχνή τεχνική που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό της διάβρωσης (ειδικά όταν αυτή βρίσκεται κάτω από την προστατευτική στρώση) είναι το υπερηχητικό τεστ (Ultrasonic Testing) (Kanyilmaz et al., [2023a](#), Brockhaus et al., [2014](#)).. Το τεστ αυτό βασίζεται στην παραγωγή υπερηχητικών κυμάτων με τη βοήθεια ενός πομπού συνδεδεμένου στην επιφάνεια του μετάλλου και στη λήψη των σημάτων αυτών μέσω ενός δέκτη επίσης συνδεδεμένου, σε άλλο μέταλλο. Μία τέτοια τεχνική μπορεί να είναι ιδανική για τη μέτρηση του πάχους της διάβρωσης και κατ' επέκταση της απώλειας της διατομής. Τεχνικές UT μπορούν να υιοθετηθούν και για τον καθορισμό μηχανικών ιδιοτήτων (Sano et al., [2014](#)), αλλά και ρωγμών (Kanyilmaz et al., [2023a](#), Brockhaus et al., [2014](#)). Άλλες πρακτικές για τον καθορισμό της απολεσμένης επιφάνειας είναι οι ραδιογραφικές, όπως η χρήση ακτινών X ή γ (Jaskowska-Lemańska & Sagan, [2019](#)).

Η οριακή εφελκυστική αντοχή του χάλυβα μπορεί να μετρηθεί μέσω μίας μη καταστροφικής μεθόδου: μια μεταλλική σφαίρα πιέζει μία λεία επιφάνεια με γνωστή δύναμη και μετρείται ένας δείκτης σκληρότητας, όπως ο αριθμός Vickers σύμφωνα με το πρότυπο ISO 6507-1:2023 (International Organization for Standardization, [2023](#)). Ο δείκτης αυτός εμπειρικά σχετίζεται με την αντοχή διαρροής και την οριακή αντοχή του υλικού και προτείνεται να υπολογίζεται ως ο Μέσος Όρος τριών μετρήσεων που πραγματοποιούνται στην ίδια τοποθεσία (βλ. και 9.14.3 Αποτίμηση των αποτελεσμάτων των τεστ σκληρότητας)



### 4.3 Κόστη – Ανάκτηση και άλλων υλικών – Εξειδίκευση στην αποθήκευση

Η επαναχρησιμοποίηση μελών μπορεί να γίνει πιο ανταγωνιστική εάν μειωθούν ακόμα περισσότερο τα κόστη κατά τον Κύκλο Ζωής, με την υιοθέτηση οικονομικών τεχνολογιών αποσυναρμολόγησης, ταξινόμησης και επιθεώρησης των μελών αυτών (Hradil et al., [2017](#), Hradil, [2014](#), PROGRESS, [2020](#)). Σε μία έρευνα από το PROGRESS ([2020](#)), φάνηκε ότι το σενάριο επαναχρησιμοποίησης των μελών μίας κατασκευής είχε υψηλότερες προοπτικές εξοικονόμησης χρημάτων από ότι το αντίστοιχο ανακύκλωσης (35 €/m<sup>2</sup> και 14 €/m<sup>2</sup> αντίστοιχα, κατά Μέσο Όρο).

Επιπρόσθετα, παρ' όλα τα περιβαλλοντικά οφέλη του επαναχρησιμοποιημένου χάλυβα (σε μία περίοδο για την ανθρωπότητα που με τις περιβαλλοντικές κρίσεις που βιώνει της είναι περισσότερο από ποτέ απαραίτητα), είναι αναγκαία η επανάχρηση και άλλων υλικών. Αν και άλλα στοιχεία μίας κατασκευής, όπως θερμομονωτικά υλικά, πλάκες, πάνελ, σκάλες, κουφώματα, επικαλύψεις, κλπ. ωθούνται προς επαναχρησιμοποίηση, και οι μέθοδοι για να γίνει αυτό εφικτό γίνουν περισσότερο διαδεδομένες, τότε το κόστος και η πολυπλοκότητα στην προσεκτική αποσυναρμολόγηση και ανάκτηση θα αντισταθμιστεί από την ανάγκη για επαναχρησιμοποίηση. Αν, αντίθετα, το μόνο υλικό που διατίθεται για επαναχρησιμοποίηση είναι ο χάλυβας, τότε η εκ νέου χρήση θα μπορεί να είναι οικονομικά αποδοτική μόνο σε πολύ συγκεκριμένες περιπτώσεις κτιρίων (πχ βιομηχανικές αποθήκες).

Ακόμα, είναι απαραίτητη η ύπαρξη επαγγελματιών εξειδικευμένων στην αποθήκευση μεταχειρισμένων μελών. Δηλαδή, ιδιοκτητών μεγάλων και ειδικά διαμορφωμένων χώρων αποθήκευσης που θα διαθέτουν μία λίστα με όλα τα μέλη και θα προβλέπουν τις κινήσεις της ζήτησης στην αγορά. Για παράδειγμα, η "Cleveland Steel and Tubes" είναι μία επιτυχημένη εταιρία αποθήκευσης μεταλλικών μελών, επειδή διαθέτει μεγάλες ποσότητες χάλυβα, τις οποίες απέκτησε σε σχετικά χαμηλό κόστος. Επιπλέον, τα μέλη της είναι αποθηκευμένα σε μεγάλους, οικονομικούς χώρους και μπορεί να τα παρέχει όλα σε μικρό χρονικό διάστημα σε κάποιον πιθανό αγοραστή. Οι επαγγελματίες στην αποθήκευση (όπως η Cleveland Steel and Tubes) πρέπει να είναι υπεύθυνοι για τις τροποποιήσεις στις οποίες χρειάζεται να υπόκεινται τα ανακτημένα μέλη, προκειμένου να πωλούνται ανταγωνιστικά με τα νέα χαλύβδινα. (Dunant, [2018](#))

Η υιοθέτηση των παραπάνω τεχνικών μπορεί να συνδράμει στην καταπολέμηση του μεγάλου φόρτου αναγνώρισης και εντοπισμού, και στην αύξηση της αξιοπιστίας γύρω από τα μεταχειρισμένα μέλη. Επιπρόσθετα, με τη συνεχή αύξηση δεδομένων από το πεδίο, όπως φωτογραφίες, και με την ανάπτυξη και αυτοματοποίηση τεχνολογιών, όπως κάμερες ενσωματωμένες σε μη επανδρωμένα αεροσκάφη ("drones"), ρομπότ, αισθητήρες και άλλες «έξυπνες» συσκευές, θα διευκολυνθούν οι ιδιοκτήτες, οι μηχανικοί και οι εργάτες, ενασχολούμενοι με την επαναχρησιμοποίηση χαλύβδινων μελών, στην αξιολόγηση κατασκευών στο τέλος της ζωής τους, ως προς τη συμβατότητά τους για επανάχρηση.

### 4.4 Αντιμετώπιση Αποβλήτων – Σχεδιασμός για Αποσυναρμολόγηση

Μία πηγή περιβαλλοντικών επιπτώσεων στον τομέα, η οποία θα πρέπει να αντιμετωπισθεί καταλλήλως είναι τα απόβλητα που απορρέουν κατά την κατασκευή και κατεδάφιση (τα λεγόμενα "C&D Waste" – "Construction and Demolition Waste"). Συγκεκριμένα, περισσότεροι από 4 τόνοι κατά κεφαλήν τέτοιων αποβλήτων παράγονται στη Φινλανδία κάθε χρόνο (Hradil, [2014](#)). Τα περισσότερα απόβλητα των χωρών της Ευρώπης απορρίπτονται σε χωματερές (Jimenez, [2016](#), Lawson, et al., [2001](#), Cai, [2019](#)). Παρ' όλ' αυτά, μερικές άλλες (Ολλανδία, Δανία) έχουν κατορθώσει να μετατρέπουν τα απόβλητά τους σε εναλλακτικές μορφές, φιλικές προς το περιβάλλον (πχ ανακύκλωση) (Jimenez, [2016](#)).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση πρότεινε πως η καλύτερη λύση θα ήταν να προβλέπεται η αποφυγή μεγάλης παραγωγής αποβλήτων από την αρχή ενός έργου (Cai, [2019](#)).

Ωστόσο, μπορεί να εξοικονομηθεί σημαντική ποσότητα ενέργειας και πόρων όταν τα απόβλητα ενός κτιρίου ανακυκλώνονται κατά τις φάσεις κατασκευής και κατεδάφισης (Dodoo et al., [2009](#), Roussat et al., [2009](#), Scheuer et al., [2003](#), Thormark, [2001](#), Thormark, [2006](#), Yeheyis et al., [2013](#), Lawson, et al., [2001](#), PROGRESS, [2020](#), Bertin, [2020](#)). Μέσα από έρευνες (Gao et al., [2010](#), Thormark, [2006](#), Kanyilmaz et al., [2023b](#)) έχει φανεί ότι η ενέργεια κατά την παραγωγή υλικών μπορεί να μειωθεί έως 25% μέσα από τη σωστή επιλογή αυτών και της γεωμετρίας τους, κατά τη φάση σχεδιασμού. Για το λόγο αυτό, παράλληλα με την υιοθέτηση και προώθηση εξελιγμένων μεθόδων και νόμων για την ανακύκλωση των αποβλήτων, θα πρέπει να γίνεται και χρησιμοποίηση υλικών, τα οποία ευνοούν την επανάχρηση (Dolan, [1999](#), Storey, [2014](#)).

Η παραγωγή αποβλήτων είναι αναπόφευκτη κατά τις φάσεις κατασκευής και κατεδάφισης, όταν οι κατασκευές δε σχεδιάζονται υιοθετώντας την ιδεολογία του σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση (DfD): τα υλικά και τα μέλη επιλέγονται, έτσι ώστε να μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν χωρίς περαιτέρω τροποποιήσεις (μόνο καθάρισμα, αμμοβολή, εκ νέου βάψιμο) (Cai, [2019](#), Broniewicz & Dec, [2022](#)). Έχει φανεί ότι ο σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση ("Design for Disassembly") στα κτίρια μπορεί να μειώσει την ενέργεια και τις εκπομπές κατά την κατασκευή τους κατά 35% και 38%, αντίστοιχα (Akbarnezhad, et al., [2014](#)). Ωστόσο, με τις σύγχρονες μεθόδους είναι μη οικονομικά σύμφωρος ο σχεδιασμός για αποσυναρμολόγηση μίας κατασκευής για «Κύκλο επαναχρησιμοποίησης» μεγαλύτερο των 10 χρόνων, όπως φάνηκε σε έρευνα από το PROGRESS ([2020](#)).

Η ποσότητα στερεών αποβλήτων που μπορούν να καταστούν ως συμφέροντα για επαναχρησιμοποίηση ή ανακύκλωση εξαρτάται από τη μέθοδο κατεδάφισης-αποσυναρμολόγησης. Δηλαδή, όσο περισσότερο αναμιγμένο με άλλα υλικά είναι το μέλος ή σε όσο λιγότερο καλή κατάσταση είναι, τόσο περισσότερες διεργασίες επεξεργασίας και τροποποιήσεων θα χρειαστεί (αύξηση κόστους και χρόνου) (Yeheyis et al., [2013](#), Thormark, [2006](#)). Εάν, όμως, η κατασκευή έχει σχεδιαστεί, ώστε να μπορεί να αποσυναρμολογηθεί, τότε τα απόβλητα μπορούν να αντιμετωπισθούν αποτελεσματικά. Θεωρητικά, οι κατασκευές με τη λογική του DfD μπορούν να συνδράμουν αρκετά στην υιοθέτηση της φιλοσοφίας της κυκλικής οικονομίας. Παρόλα αυτά, θα πρέπει να εκλείψουν λογικές ανησυχίες και να βρεθούν απαντήσεις σε θέματα, όπως (Cai, [2019](#)):

- η αξιολόγηση της ικανότητας αποσυναρμολόγησης μίας κατασκευής (πχ βάσει διαστάσεων ή παραμορφώσεων),
- το κόστος αποσυναρμολόγησής της, και
- η συμβατότητα των μελών για επαναχρησιμοποίηση.

Επιπλέον, οι [Ψηφιακές ετικέτες RFID](#) μπορούν να βοηθήσουν στη δημιουργία λιγότερων αποβλήτων κατά την κατασκευή έργων (παρακολούθηση υλικών, διευκόλυνση συντήρησης και επισκευών) (Taylor, [2010](#)).

#### **4.5 Τεχνολογικοί «αρωγοί» στην επαναχρησιμοποίηση**

Όπως προαναφέρθηκε, οι εργαστηριακές δοκιμές αλλά και οι τεχνικές αποσυναρμολόγησης είναι χρονοβόρες και δυσχερείς όταν τις αναλαμβάνουν εξ ολοκλήρου οι άνθρωποι. Μάλιστα, αρκετοί εργολάβοι κατεδάφισεων δηλώνουν ότι εάν τα μέλη ήταν ευκολότερο να αποσυναρμολογηθούν, τότε θα υπήρχε μεγαλύτερη αξιοποίηση στον τομέα (Storey et al., [2014](#)). Για το λόγο αυτό, η εφαρμογή πρακτικών Τεχνητής Νοημοσύνης ή και άλλων σύγχρονων μεθόδων για αποσυναρμολόγηση ή έλεγχο (μέσω μίας αυτοματοποιημένης διαδικασίας πιστοποίησης) θα συνείσφερε στο να μειωθούν οι πολύωρες ενασχολήσεις των

ανθρώπων. Για παράδειγμα, το τεστ που χρησιμοποιείται για να εντοπίζει επιφανειακές ρωγμές, μπορεί πλέον να αυτοματοποιηθεί με τη χρήση τεχνικών “Deep Learning”, δηλαδή μέσω Νευρωνικών Δικτύων και συγκεκριμένα CNN (“Convolutional Neural Networks”) για τη διευκόλυνση και την επιτάχυνση του εντοπισμού ρωγμών και της απόφασης για το αν ένα μέλος μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ή όχι.

Υπάρχει ακόμα μία τεχνική, η οποία είναι διαδεδομένη στο εξωτερικό και ονομάζεται “Structural Digital Twin” (SDT). Όπως αναφέρει και το όνομά του, ουσιαστικά είναι ένα ψηφιακό αντίγραφο κάποιου μέλους ή ολόκληρης της κατασκευής, το οποίο μπορεί να περιέχει πληροφορίες για τεστ και μετρήσεις, και να παρακολουθεί την υγεία του μέλους ή της κατασκευής σε πραγματικό χρόνο (ή να προβλέπει πότε αυτή θα χρειαστεί, για παράδειγμα, εργασίες συντήρησης) (Errandonea et al., [2020](#), [PROGRESS](#), [2020](#)). Σε αντίθεση με τα περισσότερα λογισμικά, δε χρειάζεται κάθε φορά που μεταβάλλονται τα χαρακτηριστικά της κατασκευής (κατά τη διάρκεια ζωής της) να πραγματοποιείται διαφορετική ανάλυση, έλεγχος ξεχωριστού μοντέλου και νέα αποθήκευση (Sasmal & Voggu, [2021](#)). Το Ψηφιακό Αντίγραφο, εάν τροφοδοτηθεί με τις σωστές παραμέτρους (υλικά, φορτίσεις, περιβαλλοντικές συνθήκες, απόκριση της κατασκευής με το χρόνο), και σε συνδυασμό με ιστορικά δεδομένα που αφορούν πχ τη συντήρηση της κατασκευής τα προηγούμενα χρόνια, μπορεί να εκτιμήσει την υγεία της και ακόμα την πιθανότητα κατάρρευσής της. Η πιο σημαντική ικανότητά του είναι πως μπορεί να προβλέψει το πότε και που θα γίνει μία αστοχία στην κατασκευή. Θα πρέπει φυσικά, να αποφασισθεί από το σχεδιαστή, όπως θα γινόταν και σε ένα μη ψηφιακό κτίριο, σε ποια σημεία του θα τοποθετηθούν αισθητήρες, ώστε να παρακολουθούν και να ενημερώνουν, με προκαθορισμένη από το χρήστη συχνότητα, με νέα δεδομένα την κατάσταση στα συγκεκριμένα σημεία (Errandonea et al., [2020](#)). Βέβαια, παρά το γεγονός ότι η εφαρμογή του μπορεί να φανεί αρκετά χρήσιμη, είναι επίσης ιδιαίτερα κοστοβόρα.

Προφανώς, δεν πρέπει να λησμονείται η χρήση του [BIM \(“Building Information Modeling”\)](#) [στις εφαρμογές της επανάχρησης](#). Το BIM μπορεί να ορισθεί ως η διαδικασία παραγωγής και διαχείρισης των πληροφοριών μίας κατασκευής καθ’ όλη τη διάρκεια ζωής της. Τέτοιες πληροφορίες μπορεί να είναι η γεωμετρία του κτιρίου, γεωγραφικές συντεταγμένες, χαρακτηριστικά των μελών, κλπ, όλα εισηγμένα σε ένα μοντέλο που συνήθως παράγεται χρησιμοποιώντας κάποιο τρισδιάστατο, δυναμικό λογισμικό (Akbarnezhad et al., [2014](#)). Μέσω του μεγάλου πλήθους πληροφορίας που περιέχει το BIM για τα μέλη των κτιρίων, και [μέσα από τις Αναλύσεις Κύκλου Ζωής και Κόστους Κύκλου Ζωής](#), μπορεί να αποδειχθεί σημαντικό εργαλείο για την πρακτική εφαρμογή της επανάχρησης (Kim, Seongjun, et al., [2020](#), Iacovidou, [2018](#), Motamedi and Hammad, [2009](#), Akbarnezhad et al., [2014](#), Xie et al., [2011](#), [PROGRESS](#), [2020](#), Hollberg, [2020](#), Santos, [2019](#), Eleftheriadis, [2017](#), Cai et al., [2019](#)).

Τα ρίσκα και οι αβεβαιότητες που αφορούν στην επαναχρησιμοποίηση δομικών υλικών που έχουν φτάσει στο τέλος της ζωής μίας κατασκευής μπορούν να μειωθούν, εφόσον υιοθετηθούν ορισμένες προηγμένες ψηφιακές τεχνικές (Çetin et al., [2021](#), Errandonea et al., [2020](#)). Βέβαια, όπως προαναφέρθηκε, λόγω του συντηρητισμού που μαστίζει αυτή τη στιγμή τη βιομηχανία δομικών κατασκευών, τα επίπεδα ψηφιοποίησης είναι πολύ χαμηλά (Agarwal et al., [2016](#)). Κάποια από τα εμπόδια που αναφέρθηκαν προηγουμένως θα μπορούσαν να ξεπεραστούν με την ύπαρξη ενός «έξυπνου» εργαλείου που θα λαμβάνει πληθώρα αποφάσεων χωρίς τη διαμεσολάβηση ανθρώπου. Οι αποφάσεις αυτές μπορούν να αφορούν στην πιθανότητα επανάχρησης μελών, αναλογιζομένων παραμέτρων όπως ο Κύκλος Ζωής, η απόδοση, η οικονομική αξιολόγησή τους και η ασφάλεια που θα μπορούν να παρέχουν. Με τον τρόπο αυτό, η απόφαση για επαναχρησιμοποίηση, μία κατά τα άλλα «στριφνή» διαδικασία, θα καταλήξει να είναι αυτοματοποιημένη, μειώνοντας παράλληλα τα κόστη και αυξάνοντας την αξιοπιστία. Η Τεχνητή Νοημοσύνη έχει τεράστια προοπτική να υλοποιήσει όλα τα παραπάνω, μέσα από εκσυγχρονισμένες διαδικασίες, και να καταφέρει να πραγματοποιήσει

μία ομαλή στροφή προς μία κυκλική οικονομία (Noman et al., [2022](#), Ellen Macarthur Foundation, [2021](#)).

Πολλές από αυτές τις διαδικασίες επικεντρώνονται στην ικανότητα αλγορίθμων να αναγνωρίζουν και να επισημαίνουν ζημιές, παραμορφώσεις ή διαβρώσεις στα χαλύβδινα μέλη μέσα από φωτογραφίες ή ακόμα και «in situ» μέσω καμερών και αισθητήρων (Kanyilmaz et al., [2023a](#), Rakhshan, [2021](#)). Τρεις τρόποι με τους οποίους η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να επηρεάσει θετικά την [κυκλική οικονομία](#) είναι οι «A-AAT.» (Αυτοματοποιημένη Αποτίμηση, Αποσυναρμολόγηση, Ταξινόμηση):

1. Αυτοματοποιημένη Αποτίμηση: Εκτίμηση της κατάστασης των χρησιμοποιημένων υλικών, και πρόταση/απόφαση για το εάν κρίνονται συμβατά για επανάχρηση ή μπορούν να πωληθούν, να συντηρηθούν ή ακόμα και να ανακυκλωθούν, έχοντας ως αυτοσκοπό το βέλτιστο οικονομικό και περιβαλλοντικό αποτέλεσμα.
2. Αυτοματοποιημένη Αποσυναρμολόγηση: Αναγνώριση των επιμέρους μελών, σχεδιασμός σειράς με την οποία θα αφαιρεθούν, και αποσυναρμολόγησή τους με τη βοήθεια της τεχνολογίας της ρομποτικής. Είναι, επίσης, δυνατή η εδραίωση της χρήσης εξειδικευμένων και αυτόματων εργαλείων και εξοπλισμού. Παράλληλα, είναι απαραίτητη η εκπαίδευση του προσωπικού στα εργαλεία αυτά και τις αντίστοιχες τεχνικές, ώστε να αποκτήσουν τις κατάλληλες γνώσεις και τη δέουσα εμπειρία. Με τους τρόπους αυτούς επιταχύνονται οι διαδικασίες αποσυναρμολόγησης, γίνονται πιο αποδοτικές και επιτυγχάνεται η ελάχιστη δυνατή ανθρώπινη παρέμβαση.
3. Αυτοματοποιημένη Ταξινόμηση: Η Τεχνητή Νοημοσύνη μπορεί να αναγνωρίζει τα διάφορα μέλη με βάση τα χαρακτηριστικά τους (διατομές, μήκη, διάβρωση, ρωγμές), ενώ η ρομποτική μπορεί να χρησιμοποιείται για την τελική ταξινόμηση αυτών των υλικών σε διαφορετικές κατηγορίες ή για την τοποθέτησή τους σε κατάλληλα μέρη για ανακύκλωση ή επαναχρησιμοποίηση (χώροι αποθήκευσης, κέντρα ανακύκλωσης).

#### 4.6 Υιοθέτηση της λογικής της «Κυκλικής Οικονομίας»

Στην κλασική «γραμμική οικονομία» (όπου τα υλικά παράγονται, χρησιμοποιούνται και απορρίπτονται) καταναλώνονται κοινωνικοί, οικονομικοί και περιβαλλοντικοί πόροι αξίας 1€, προκειμένου να παραχθεί 1€ προϊόντος. Η γραμμικότητα αυτή είναι ο κύριος λόγος παραγωγής αποβλήτων στις κοινωνίες (Noman et al., [2022](#), PROGRESS, [2020](#)).

Η κυκλική οικονομία είναι ένα οικονομικό σύστημα, που ως στόχο έχει την ελαχιστοποίηση των αποβλήτων και την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αξιοποίηση των αποθεμάτων (Noman et al., [2022](#), Ellen MacArthur Foundation, [2022](#)). Σε μία τέτοια οικονομία τα προϊόντα, τα υλικά και τα αποθέματα χρησιμοποιούνται όσο περισσότερο είναι δυνατό, με τη μέγιστη αξία τους. Όταν φτάσουν στο τέλος της ζωής τους, ανακτώνται, τροποποιούνται και επαναχρησιμοποιούνται με σκοπό τη δημιουργία νέων προϊόντων.

Βασικοί πυλώνες της κυκλικής οικονομίας είναι οι παρακάτω (Ellen MacArthur Foundation, [2022](#), Wikipedia, [2024](#)):

1. Σχεδιασμός για μακροζωία και ανακυκλωσιμότητα: Τα προϊόντα σχεδιάζονται, για να διαρκούν περισσότερο, να είναι εύκολα επισκευάσιμα, ανακυκλώσιμα και επαναχρησιμοποιήσιμα.
2. Αποδοτικότητα πόρων: Τα αποθέματα χρησιμοποιούνται πιο αποδοτικά καθ' όλη τη διάρκεια του Κύκλου Ζωής των προϊόντων, από την εξαγωγή έως την απόρριψη, μειώνοντας έτσι τα απόβλητα και την περιβαλλοντική επίδραση.
3. Επανάχρηση και συντήρηση: Δίνεται έμφαση στη συντήρηση των προϊόντων και στην επισκευή τους όποτε είναι δυνατό, αντί για τη χρήση νέων, στοχεύοντας στην πλήρη επαναχρησιμοποίηση

4. Ανακύκλωση και τροποποίηση: Τα υλικά ανακυκλώνονται και τροποποιούνται, ώστε να δημιουργούν νέα προϊόντα μειώνοντας την ανάγκη για χρήση νέων πόρων.

5. Συνεργασία και καινοτομία: Η συνεργασία μεταξύ επιχειρήσεων, κυβερνήσεων και καταναλωτών πρέπει να αποτελεί σημαντικό πυλώνα, ώστε να προάγεται η καινοτομία και η εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας μεταξύ των βιομηχανιών.

Όσον αφορά στην επαναχρησιμοποίηση του χάλυβα:

1. Τα χάλυβδινα μέλη και οι κατασκευές θα πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται έχοντας ως μακροπρόθεσμο στόχο την επαναχρησιμοποίηση και την ανακύκλωση. Δηλαδή, είναι αναγκαία η προώθηση χρήσεως πιστοποιημένων και πρότυπων συστατικών και μελών, που μπορούν να αποσυναρμολογηθούν εύκολα και είναι επίσης συμβατά με άλλες κατασκευές. Επίσης, είναι σημαντικό να μπορούν να αντέχουν πολλούς Κύκλους Ζωής φορτίσεων.

2. Δημιουργία και λειτουργία συστημάτων που θα συλλέγουν τα προϊόντα στο τέλος της ζωής τους με γρήγορο και αποδοτικό τρόπο. Αυτό μπορεί να περιλαμβάνει συμφωνίες με τους εργολάβους κατεδαφίσεων και άλλους ενδιαφερόμενους, ώστε να είναι σίγουρο πως ο χάλυβας θα συλλέγεται και θα επαναχρησιμοποιείται.

3. Καθιέρωση αγορών και διαδικτυακών πλατφόρμων για αγοραπωλησίες και ανταλλαγή χάλυβδινων μελών. Επιπλέον, ύπαρξη ειδικά διαμορφωμένων χώρων για την αποθήκευση και συντήρηση των μελών ύστερα από την ανάκτησή τους.

4. Όλοι οι ενδιαφερόμενοι (τεχνίτες, μηχανικοί, εργολάβοι κατεδαφίσεων, διαχείρισης) πρέπει να ενημερώνονται για την επανάχρηση και τα πλεονεκτήματα που μπορεί να επιφέρει μέσω της κυκλικής οικονομίας στο περιβάλλον και στον κατασκευαστικό τομέα. Αυτό μπορεί να γίνει μέσω προγραμμάτων, σεμιναρίων, ώστε να προωθούνται οι καλύτερες πρακτικές για τη διαχείριση και το σχεδιασμό με γνώμονα την επανάχρηση.

5. Επενδύσεις σε έρευνες και καινοτομίες, ώστε να αναπτύσσονται συνεχώς νέες τεχνολογίες, υλικά και επιχειρησιακά μοντέλα που θα στηρίζουν την επαναχρησιμοποίηση.

Εφαρμόζοντας τις παραπάνω στρατηγικές, η βιομηχανία χάλυβα και κατασκευών μπορεί να μεγιστοποιήσει την αξία των χάλυβδινων αποθεμάτων, να μειώσει τα απόβλητα, το ανθρακικό αποτύπωμα και να συνεισφέρει σε μία πιο ανανεώσιμη και κυκλική οικονομία. Προκειμένου να διευκολυνθεί η στροφή σε μία τέτοια οικονομία, πρέπει να υιοθετηθούν λογικές, όπως «σχεδιασμός για μακροζωία, νέο σκοπό, αποσυναρμολόγηση, επαναχρησιμοποίηση» (Broniewicz & Dec, 2022). Σε μία έρευνα από την Πολωνία, η Κυκλική Οικονομία, όπως χρησιμοποιείται στην Ευρωπαϊκή Ένωση, παρουσιάζεται σαν μία οικονομία που επανειλημμένα αντιμετωπίζει τα απόβλητα και παράλληλα διατηρεί την αξία των προϊόντων της (Assefa, 2017, Smol et al., 2015)

#### 4.7 Cap and Trade

Η φορολόγηση υλικών και ενέργειας, μέσω μηχανισμών, όπως η καταγραφή και η τιμολόγηση των εκπομπών άνθρακα και της κατανάλωσης ενέργειας, θα ενθαρρύνουν τις βιομηχανίες και τις εταιρίες να υιοθετήσουν φιλικές προς το περιβάλλον και αποδοτικές πρακτικές, που θα λαμβάνουν υπόψη την επάρκεια και βιωσιμότητα των πηγών από τις οποίες προέρχονται (Stahel, 2013, Allwood et al., 2013).

Μία εφαρμογή, εναλλακτική της φορολόγησης, για περιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, χωρίς να προκαλούνται ζημιές στην οικονομία μίας βιομηχανίας, είναι το λεγόμενο "Cap and Trade":

Η κυβέρνηση θέτει το όριο ("Cap") στις επιτρεπόμενες εκπομπές από συγκεκριμένες πηγές (πχ παραγωγή υλικών από εργοστάσια ή λειτουργία μηχανημάτων στα εργοστάσια). Αυτά τα όρια αντικατοπτρίζουν την ποσότητα, για παράδειγμα, αερίων του θερμοκηπίου που επιτρέπεται να

εκπέμπουν οι εταιρίες, συνήθως μετρούμενη σε τόνους ισοδύναμου διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2e</sub>).

Στη συνέχεια, το συνολικό ποσό των επιτρεπόμενων εκπομπών χωρίζεται σε επιμέρους επιτρεπόμενα όρια και μοιράζεται (συνήθως ύστερα από δημοπρασία) στις διάφορες εταιρίες και βιομηχανίες υπεύθυνες για τις εκπομπές του συγκεκριμένου τομέα. Αν κάποια εταιρία εκπέμπει λιγότερες από τις επιτρεπόμενες, μπορεί να τις «πωλήσει» ("Trade") σε κάποια άλλη που της είναι περισσότερο «αναγκαίες». Έτσι δημιουργείται μία αγορά, όπου η αξία αυτών των ορίων καθορίζεται ανάλογα με τη ζήτηση και την προσφορά. Φυσικά, σε περίπτωση που κάποια εταιρία υπερβεί αυτό το πλαφόν, τότε της επιβάλλονται και ανάλογες κυρώσεις, πχ φόροι (Will Kenton, [2020](#)).

Κάθε χρόνο, όμως, η κυβέρνηση μειώνει το κύριο όριο και κατ' επέκταση και τα επιμέρους, αυξάνοντας την τιμή τους και οδηγεί τις εταιρίες με την πάροδο των χρόνων στην απεξάρτηση από ενέργειες που οδηγούν σε μεγάλες ποσότητες εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα και στην επένδυση σε «πράσινες» τεχνολογίες, αφού αποδεικνύονται οικονομικά πιο σύμφωρες. Έτσι, για παράδειγμα, η λύση του επαναχρησιμοποιούμενου χάλυβα μπορεί να γίνει ακόμα πιο βιώσιμη σε σχέση με την ανακύκλωση (που χρειάζεται αρκετή επεξεργασία, άρα και εκπομπές), πόσο μάλλον σε σχέση με την παραγωγή νέου.





# 5 ΚΟΣΤΗ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΗΣ

## 5.1 Γενικά

Οι απασχολούμενοι με τις κατεδαφίσεις στο Ηνωμένο Βασίλειο έχουν ως βασικό μέλημα την πώληση σκραπ, το οποίο αξιοποιείται κατά κύριο λόγο στην ανακύκλωση. Η τιμή αυτού φαίνεται να είναι κυμαινόμενη από £190 έως £250 ανά τόνο (Letsrecycle.com, [2024](#)). Έχοντας ως γνώμονα τις τιμές αυτές του σκραπ, έχει φανεί ότι η επαναχρησιμοποίηση μπορεί να αποδειχθεί, κάτω από συγκεκριμένες οικονομικές και τεχνικές προϋποθέσεις, ιδιαίτερα επικερδής (Allwod et al., [2012](#), Tingley et al., [2017](#)). Σε μία έρευνά του 2009, η αντίστοιχη τιμή του χάλυβα, που επερχόταν από προηγούμενη χρήση και προοριζόταν για επόμενη, ανερχόταν στις £100/τόνο (χωρίς, βέβαια, να ληφθούν υπόψη τα κόστη πιστοποίησης) (Allwod et al., [2012](#), Tingley et al., [2017](#)). Γενικά, το εάν η επαναχρησιμοποίηση θα καταλήξει ως τεχνική να είναι κερδοφόρα, εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις σχετικές τιμές του σκραπ, του νέου χάλυβα, καθώς και του κόστους αποσυναρμολόγησης μίας κατασκευής και εκ νέου χρήσης των μελών της (Tingley et al., [2017](#), Hradil, [2014](#)). Ιδιαίτερη μνεία όσον αφορά τον καθορισμό της τιμής αυτής αξίζει να γίνει για τον πλεονάζοντα χρόνο και την επιπρόσθετη δουλειά που πρέπει να αφιερωθεί στην αποσυναρμολόγηση σε σύγκριση με την κατεδάφιση (PROGRESS, [2020](#)).

Υπάρχουν 2 τρόποι καθορισμού της αξίας επαναχρησιμοποιούμενων μελών (PROGRESS, [2020](#)):

- Η τιμή τους, ύστερα από τις απαραίτητες εκ νέου τροποποιήσεις και πιστοποιήσεις, θα αντιστοιχεί σε εκείνη νέου χάλυβα.
- Θα πωλούνται ως μεταχειρισμένα προϊόντα χαμηλότερης απόδοσης και άρα μειωμένης αξίας (περί τα 20%).

Για κάθε εναλλακτικό τρόπο, τα μέλη θα πρέπει να είναι πιστοποιημένα βάσει EN 1090 (CEN, [2008](#)).

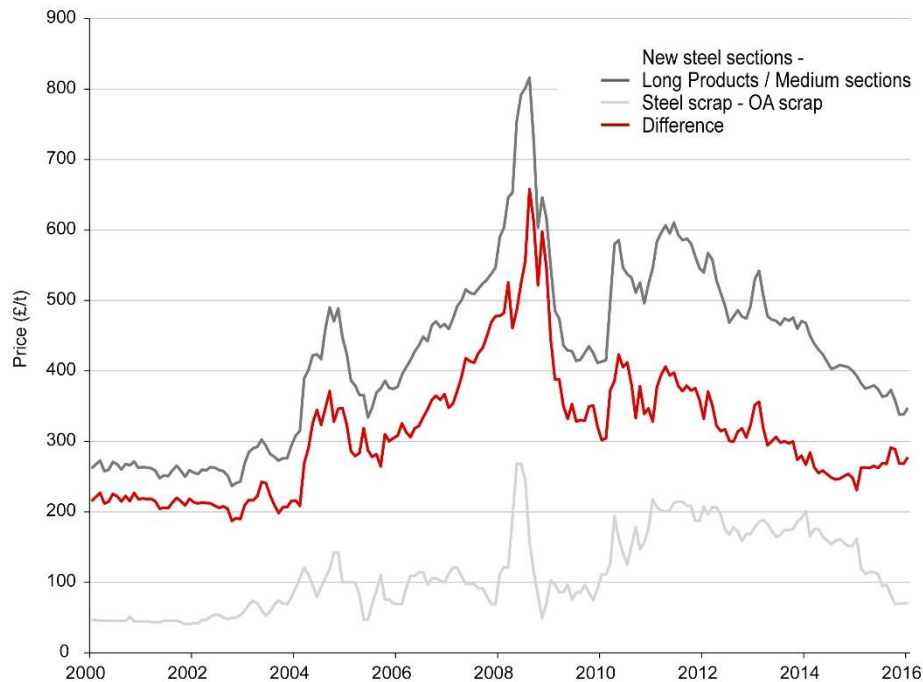
Κατά την απόφαση εάν μία ολόκληρη κατασκευή αξίζει να επαναχρησιμοποιηθεί, πρέπει να γίνεται σύγκριση μεταξύ της επανάχρησης αυτής και της ανέγερσης μίας νέας, η οποία θα περιέχει:

- Επιπρόσθετα κόστη της αποσυναρμολόγησης σε σχέση με την κατεδάφιση.
- Απαιτούμενους ελέγχους και πιστοποιήσεις.
- Μεταφορά και αποθήκευση των μελών πριν την επανάχρησή τους.
- Κόστη τροποποιήσεων.



## 5.2 Σενάριο οικονομικής αξιολόγησης επαναχρησής και ανακύκλωσης

Για να αξιολογηθούν οι προοπτικές που έχει η επαναχρησιμοποίηση στην εξοικονόμηση οικονομικών πόρων, πραγματοποιήθηκε το ακόλουθο σενάριο από τους Dunant et al (2018): υπό την προϋπόθεση ότι γενικά αντί να υπαχθεί ένα, κατά τα άλλα λειτουργικό μέλος, σε διάλυση (σκραπ), πωλείται για ευρύτερη χρήση σε κάποια άλλη εφαρμογή (επαναχρησιμοποίηση), βρέθηκαν οι διαφορές μεταξύ των τιμών των νέων και των ΟΑ σκραπ χαλύβων στην αγορά του Ηνωμένου Βασιλείου (το ΟΑ είναι η υψηλότερη τιμή στην οποία πωλείται το σκραπ). Οι τιμές για το χρονικό διάστημα 2000-2016 (σε £) φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα (PROGRESS, 2020, Dunant et al, 2018):



Σχήμα 6 Εξέλιξη στις τιμές ΟΑ σκραπ και νέου χάλυβα στο Ηνωμένο Βασίλειο (2000-2016) (Dunant et al, 2018, PROGRESS, 2020)

Από το παραπάνω διάγραμμα φαίνεται πως ο μέσος όρος της διαφοράς μεταξύ των δύο τιμών είναι περίπου 313 £/t, ενώ η ελάχιστη διαφορά είναι 187 £/t. Επιπλέον, ο μέσος λόγος κόστους σκραπ προς νέου χάλυβα είναι 26%, ενώ είναι εμφανές ότι υπάρχει συσχέτιση στις τιμές των δύο. Οπότε, η επαναχρησιμοποίηση χάλυβα (θεωρητικά) θα έπρεπε να είναι οικονομικά σύμφωρη εάν τα πρόσθετα κόστη τροποποιήσεων, πιστοποιήσεων και ελέγχων δεν ξεπερνούν την τιμή των 187 £/t (δεν λαμβάνονται υπόψιν τα κόστη επεξεργασίας και δημιουργίας σκραπ). Χρησιμοποιείται η μικρότερη δυνατή διαφορά για λόγους συντηρητικής προσέγγισης, μείωσης ρίσκου διακυμάνσεως, αλλά και γιατί η αγορά των μελών χάλυβα γίνεται με την ιδεολογία του «just-in-time fashion»: τη στιγμή που ο εργολάβος χρειάζεται τα μέλη, θα ψάξει στην αγορά και θα επιλέξει τα πιο οικονομικά, ενώ παράλληλα δε θα σκεφτεί ότι μπορεί να αποθηκεύσει κάποια από αυτά και να τα μεταπωλήσει στο μέλλον με στόχο την αποκόμιση κέρδους (αφού δεν υπάρχουν μεγάλοι αποθηκευτικοί χώροι) (Dunant et al, 2017). Η μικρότερη δυνατή διαφορά τιμής εξασφαλίζει ότι η επαναχρησιμοποίηση είναι οικονομικά συμφέρουσα ακόμα και υπό τις τρέχουσες αγοραστικές συνθήκες του "just-in-time fashion".

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι διαφορές στις τιμές νέου ("New Steel") και επαναχρησιμοποιούμενου χάλυβα ("Reused Steel") στο Ηνωμένο Βασίλειο.

Πίνακας 2 Εύρη κόστους διάφορων διεργασιών για την παραγωγή, τροποποίηση και ανέγερση νέων και επαναχρησιμοποιούμενων χαλύβδινων μελών

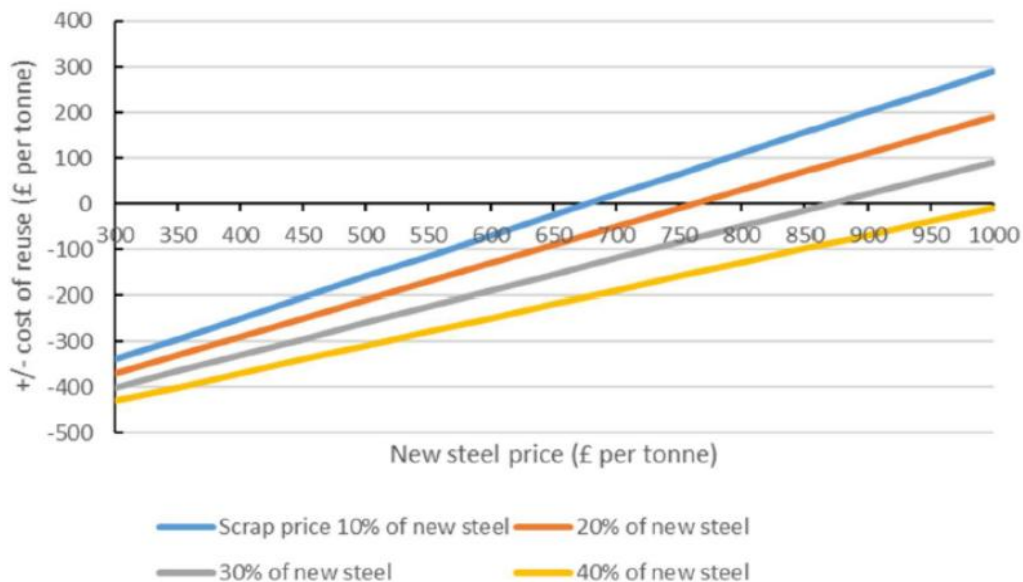
Element	New steel (£/t)		Reused steel (£/t)	
	Min	Max	Min	Max
Raw materials	600	750 <sup>1</sup>	266 <sup>2</sup>	305 <sup>2</sup>
Deconstruction	-	-	120	165
Reconditioning	-	-	100	200
Fabrication	325	455	325	455
Construction	120	167	120	167
Fire protection	180	270	180	270
Engineering	56	79	56	79
Transport	22	25	66	75
Testing	-	-	145	175
<b>Total cost</b>	<b>1303</b>	<b>1746</b>	<b>1378</b>	<b>1891</b>

(Πηγή: PROGRESS, 2020)

1 Έχει προστεθεί ένα 25% στο ελάχιστο κόστος, ώστε να συνυπολογισθούν μη συνήθεις, περίπλοκες διατομές, μεγέθη, κλπ.

2 Τα κόστη επαναχρησιμοποιούμενων μελών είναι βασισμένα σε ένα κόστος σκραπ ως μέσο ποσοστό 26% του νέου χάλυβα συν μία σταθερή ποσότητα των 110 £ ανά τόνο.

Το κόστος των τεστ βασίζεται στην υπόθεση ότι κάθε μέλος ελέγχεται. Οπότε, φαίνεται ότι το τελικό κόστος επαναχρησιμοποίησης είναι περισσότερο από το κόστος νέου χάλυβα κατά 6% έως 8%. Ωστόσο, για τον καθορισμό της τιμής του επαναχρησιμοποιούμενου χάλυβα έχει υποτεθεί το μέσο ποσοστό τιμής του σκραπ σε σχέση με αυτή του νέου χάλυβα (ήτοι το 26%). Το Σχήμα 7 δείχνει τη διαφορά στο κόστος μεταξύ νέου και επαναχρησιμοποιούμενου χάλυβα. Στον κατακόρυφο άξονα, οι αρνητικές τιμές δείχνουν ότι το κόστος νέου χάλυβα είναι χαμηλότερο από του επαναχρησιμοποιημένου, ενώ οι θετικές το αντίθετο. Οι 4 γραμμές αφορούν στο ποσοστό κόστους του σκραπ ως προς αυτό του νέου.



Σχήμα 7 Διαφορά κόστους μεταξύ νέου και επαναχρησιμοποιούμενου χάλυβα (Πηγή: PROGRESS, 2020)

Φαίνεται πως θεωρητικά η επανάχρηση γίνεται οικονομικά πιο σύμφωρη όσο αυξάνεται η τιμή του νέου χάλυβα και όσο μειώνεται η τιμή του σκραπ. Γενικά, φαίνεται ότι η επαναχρησιμοποίηση κοστίζει λίγο παραπάνω από ό,τι η αγορά νέου χάλυβα. Ωστόσο, όταν τα προστιθέμενα κόστη μειώνονται, τότε αποκαθίσταται ισορροπία στις τιμές.

Παρόλα αυτά, έχει φανεί στην πράξη ότι κάτι τέτοιο δεν ισχύει (Dunant et al, [2018](#)): Όταν ένα κτίριο φτάνει στο τέλος της Ζωής του, τα προϊόντα της αποσυναρμολογήσεως, συνήθως μεταπωλούνται στην τιμή του σκραπ. Δηλαδή, δε λαμβάνεται υπόψη η παραπάνω περιβαλλοντική και οικονομική αξία που έχουν τα επαναχρησιμοποιούμενα μέλη, ούτε οι μέθοδοι για ανάκτηση και πιθανή συντήρησή τους, αλλά τιμολογούνται βάσει του «περιεχομένου» τους σε σκραπ (ή της αξίας που θα είχαν ύστερα από επεξεργασία και κατάληξη σε σκραπ). Αυτό συμβαίνει, διότι οι εργολάβοι κατεδαφίσεων δεν διαθέτουν ειδικούς χώρους για να αποθηκεύσουν τα μέλη και να τα πωλήσουν σαν μεταχειρισμένα. Επομένως, όταν οι τιμές σκραπ και νέου χάλυβα είναι χαμηλές, υπάρχει μία τάση από τους υπεύθυνους να πουλάνε τα διαθέσιμα μέλη με ταχείς ρυθμούς, και από τους «συλλέκτες» - ενδιαφερόμενους εργολάβους να προχωράνε στην αγορά τους. Από τη μία, οι μεν «ξεφορτώνονται» τα μεταχειρισμένα μέλη, για τα οποία δε διαθέτουν χώρους αποθήκευσης, ενώ από την άλλη, οι δε τα αγοράζουν σε χαμηλότερη τιμή από ό,τι συνήθως και «εξοπλίζονται» για την επόμενη εφαρμογή τους. Άρα, έτσι φαίνεται πως η επαναχρησιμοποίηση ευνοείται, πρακτικά, από τις χαμηλές τιμές του χάλυβα (Dunant, [2018](#)).



## 6 ΕΥΡΕΣΗ ΜΕΛΩΝ – ΤΡΑΠΕΖΑ ΥΛΙΚΩΝ

### 6.1 Γενικά

Όπως έχει προαναφερθεί, η πληροφορία γύρω από το σύνολο των υλικών που δύνανται να επαναχρησιμοποιηθούν είναι σημαντικό να είναι ξεκάθαρη και εύκολο να βρεθεί, ώστε να μην κωλύεται ο σχεδιασμός του έργου. Στην πραγματικότητα, τα δεδομένα βρίσκονται διάσπαρτα και δεν μπορούν να εντοπισθούν εύκολα, καθώς δεν έχουν καθιερωθεί τρόποι που να ευνοούν τη σωστή διαχείριση, αποθήκευση και εύρεσή τους. Αυτό οδηγεί είτε σε πρόσθετα κόστη, είτε σε εξ ολοκλήρου αδυναμία πραγματοποίησης μίας κατασκευής βασισμένης στην επανάχρηση.

### 6.2 Τράπεζα υλικών

Για το λόγο αυτό και προκειμένου να γίνει εφικτή και βιώσιμη η διαδικασία της επανάχρησης, κρίνεται απαραίτητη η ύπαρξη ενός συστήματος το οποίο θα εντοπίζει, θα συλλέγει και θα διαχειρίζεται το σύνολο των μελών που προορίζονται για εκ νέου χρήση, καθώς και όλες τις πιθανές πληροφορίες που σχετίζονται με αυτά (Kim, Seongjun, et al., [2020](#)). Θα πρέπει λοιπόν να δημιουργηθεί μία «τράπεζα υλικών» και να γίνει προσβάσιμη από όλους τους εργολάβους κατεδαφίσεων των παλιών κατασκευών, τους σχεδιαστές των νέων που χρησιμοποιούν τα ανακτημένα υλικά, καθώς και τα υπόλοιπα ενδιαφερόμενα μέρη. Η λογική της τράπεζας υλικών αντιπροσωπεύει μία νέα προσέγγιση για μία πιο κυκλική οικονομία (Casey, [2024](#)).

Επιπλέον, οι σχεδιαστές χρειάζονται ένα εργαλείο με το οποίο θα μπορούν να εκτιμούν τις περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις των διαφορετικών εναλλακτικών μεθόδων χρήσεως χάλυβα στα έργα τους, αφού οι αποφάσεις που λαμβάνουν κατά τη φάση σχεδιασμού έχουν τη μεγαλύτερη επιρροή στο συνολικό κόστος του έργου (Kim, Seongjun, et al., [2020](#), Kanilmaz et al., [2023b](#)). Επίσης, προκειμένου να μπορούν να αντιμετωπισθούν οι περιορισμοί που δημιουργούνται και αφορούν στο σχήμα και την ποσότητα των υλικών προς εκ νέου χρήση, πρέπει να σχεδιαστεί και να χρησιμοποιείται ένα πλάνο εντοπισμού και συλλογής των επιθυμητών υλικών σε μικρό χρονικό διάστημα, εύκολα και οικονομικά. Η τράπεζα, εκτός από την οργάνωση των υλικών και των μεταφορών τους, θα συνδράμει και στην εδραίωση της λογικής του [σχεδιασμού για αποσυναρμολόγηση](#) (Cai et al., [2019](#)).

### 6.3 Τράπεζα υλικών σε συνεργασία με μοντέλα BIM

Η τράπεζα υλικών ("Material Bank") αναφέρεται σε ένα σύστημα που συλλέγει πληροφορίες για υλικά που προορίζονται για επαναχρησιμοποίηση ή ανακύκλωση και τα αποθηκεύει σε μία

Βάση Δεδομένων, την οποία διαχειρίζεται με την πάροδο του χρόνου (Cai, G, [2019](#), Bertin, I, [2020](#), Jayasinghe, [2020](#), Tina Casey, [2024](#), Ιακονίδου, [2018](#)). Επιπλέον μελήματα της τράπεζας είναι η αποτίμηση της καταστάσεως των μελών και η ευρύτερη διαχείρισή τους (καθάρισμά ή αμμοβολή τους, αποθήκευση και πιστοποίησή τους) (Jayasinghe, [2020](#)). Σε μία έρευνα από τους Cai et al. ([2019](#)), το ρόλο της τράπεζας υλικών διαδραμάτιζε ένας ανεξάρτητος διαχειριστής – υπεύθυνος για όλες τις παραπάνω διαδικασίες.

Ορισμένες έρευνες χρησιμοποίησαν δεδομένα από μοντέλα BIM (“Building Information Modeling”) κατασκευών που προορίζονταν για αποσυναρμολόγηση (Cai, G, [2019](#), Jayasinghe, [2020](#), Honic, [2019](#)). Το περιβάλλον του BIM είναι μία συνήθης μέθοδος διαχείρισης πληροφοριών στον τομέα των δομικών κατασκευών και θα μπορούσε να αποδειχθεί εξίσου χρήσιμο στη διαχείριση της επαναχρησιμοποίησης μελών λόγω της πληθώρας λεπτομερειών που περιέχει για τα κτίρια και τα στοιχεία τους (Kim, Seongjun, et al., [2020](#), Iacovidou, [2018](#), Motamedi and Hammad, [2009](#), Akbarnezhad et al., [2014](#), Xie et al., [2011](#), PROGRESS, [2020](#)).

Οι ιδιότητες των υλικών που προτείνεται να αποθηκεύονται μαζί με τις πληροφορίες από το BIM στη Βάση Δεδομένων της τράπεζας είναι: το σχήμα, η ποσότητα, η ποιότητα, η δομή και η χημική σύσταση (Bertin, I, [2020](#), Jayasinghe, [2020](#), Honic, [2019](#), Cai, G, [2019](#)) και θα είναι προσβάσιμες για όλους τους ενδιαφερόμενους (μηχανικούς και λοιπούς) είτε μέσω ενός εργαλείου BIM ή μέσω μιας διαδικτυακής πλατφόρμας (Bertin, [2020](#), Jayasinghe, [2020](#)).

Παρόλο που η τράπεζα υλικών μπορεί να βοηθήσει στη χρήση εκ νέου υλικών, ακόμα δεν μπορούν να ληφθούν υπόψη στις Μελέτες Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων η τροποποίηση και η μεταφορά των υλικών, και να εκτιμηθεί το συνολικό κόστος της κατασκευής. Τα επιπρόσθετα, λοιπόν, κόστη από την επανάχρηση δεν μπορούν να παρέχονται στα ενδιαφερόμενα μέρη αυτόματα. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να βρεθούν και να καθοριστούν άλλες διαδικασίες, με τις οποίες θα μετρούνται τόσο τα κόστη όσο και οι επιπτώσεις κατά την τροποποίηση και μεταφορά των μελών καθ’ όλη τη διάρκεια Ζωής του έργου, προκειμένου τελικά να αποδειχθεί βιώσιμη η λύση της «τράπεζας υλικών» (Kim, Seongjun, et al., [2020](#)).

#### **6.4 Ανάλυση Κύκλου Ζωής και Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής βάσει μοντέλων BIM**

Η Ανάλυση Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ) και η Ανάλυση Κόστους Κύκλου Ζωής (ΑΚΚΖ) είναι οι βασικές μεθοδολογίες με τις οποίες μετρούνται οι περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις ενός προϊόντος καθ’ όλο τον κύκλο ζωής του (Hollberg, [2020](#), Santos, [2019](#), Eleftheriadis, [2017](#)).

Η απαιτούμενη πληροφορία για τις 2 αυτές αναλύσεις μπορεί να εξαχθεί από τα μοντέλα BIM (Hollberg, [2020](#), Santos, [2019](#), Eleftheriadis, [2017](#), Cai et al., [2019](#)). Επειδή, όπως προαναφέρθηκε, το περιβάλλον του BIM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία των τραπεζών υλικών (Cai, G, [2019](#), Jayasinghe, [2020](#), Honic, [2019](#)), μπορεί και να τροφοδοτεί με τις απαραίτητες πληροφορίες τις ΑΚΖ και ΑΚΚΖ των κατασκευαστικών έργων (αποτελούμενων από επαναχρησιμοποιούμενα ή νέα μέλη).

Κύρια αρχή της ΑΚΖ είναι η μέτρηση του συνολικού περιβαλλοντικού φορτίου του έργου αναλύοντας τις επιπτώσεις σε κάθε στάδιο του Κύκλου Ζωής του μεμονωμένα, και στο τέλος προσθέτοντας τις επιμέρους αυτές επιπτώσεις. Στα Jeong ([2015](#)), ISO 14040 ([2006](#)), ISO 14044 ([2006](#)), Κωστάντζος, ([2023](#)) αναφέρονται τα 4 αυτά στάδια ως:

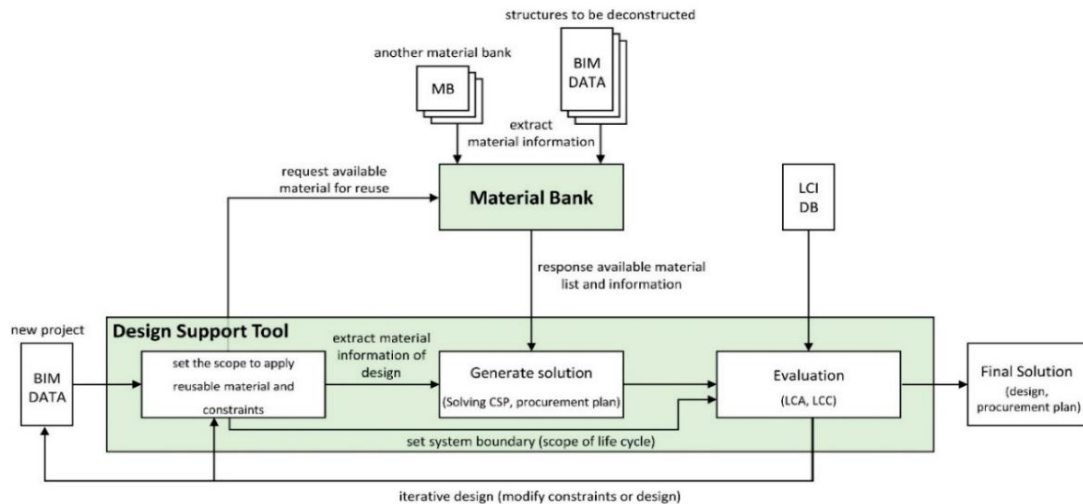
1. Καθορισμός σκοπού και αντικειμένου της μελέτης (“Goal and scope definition”)
2. Απογραφή δεδομένων (“Inventory analysis”)
3. Εκτίμηση επιπτώσεων (“Impact assessment”)
4. Ερμηνεία των αποτελεσμάτων (“Interpretation”)

Η ποσότητα του απαιτούμενου υλικού εκτιμάται από το μοντέλο BIM, όπως και τα αποτελέσματα των επιπτώσεων. Παρόμοια είναι η λογική και της AKKZ (Kim, Seongjun, et al., 2020, Santos, 2019).

## 6.5 Μέθοδος χρήσης τράπεζας υλικών και BIM στην επανάχρηση

### 6.5.1 Ανάλυση πλαισίου μεθόδου

Στη συνέχεια θα παρατεθεί ένα παράδειγμα επαναχρησιμοποίησης χαλύβδινων μελών με τη λογική που αναφέρθηκε παραπάνω. Πριν από αυτό, όμως, πρέπει να αναφερθεί η μέθοδος που θα ακολουθηθεί (Kim, Seongjun, et al., 2020)



Σχήμα 8 Πλαίσιο σχεδιασμού επαναχρησιμοποίησης χαλύβδινων μελών με τη λογική της τράπεζας υλικών .

Ο σχεδιαστής εισάγει την ιδέα και τις ρυθμίσεις που επιθυμεί για τα υλικά επανάχρησης (Δεδομένα). Έπειτα, με τη βοήθεια της τράπεζας υλικών αναζητάται μία λίστα διαθέσιμων μελών στη Βάση Δεδομένων βάσει των προτιμήσεων που εισήγαγε ο σχεδιαστής. Στη συνέχεια, με ένα βοηθητικό εργαλείο σχεδιασμού ("Design Support Tool", πχ ένα εργαλείο οπτικού προγραμματισμού: [Dynamo Software](#)) (Jayasinghe, 2020), δημιουργείται το πλάνο διαχείρισης των μελών (ποσότητες, εύρεση, αποθήκευση, κόστη μελών). Το εργαλείο, επίσης, έχει δυνατότητες να τροποποιεί τα μέλη (πχ να τα «κόβει» ώστε να ταιριάζει το τελικό μήκος τους στο επιθυμητό – «efficient stock cutting») και να προγραμματίζει την απόκτησή τους (Kim, Seongjun, et al., 2020). Εν τέλει, μέσα από το BIM της νέα κατασκευής προκύπτει μία αποτίμηση των περιβαλλοντικών και οικονομικών επιπτώσεων, η οποία διενεργείται αυτόματα βάσει των AKZ και AKKZ. Ο σχεδιαστής επανειλημμένα αξιολογεί τα αποτελέσματα της ανάλυσης βασιζόμενος στις προκύπτουσες επιπτώσεις, και αποφαινεται για την τελική λύση, όπου είτε την αποδέχεται είτε επιλέγει κάποιο άλλο στρατηγικό πλάνο.

### 6.5.2 Βάση Δεδομένων

Η Βάση Δεδομένων της τράπεζας τροφοδοτείται με δεδομένα και πληροφορίες από τα BIM μοντέλα παλιών αποσυρμολογήσεων κατασκευών, καθώς και από Βάσεις Δεδομένων άλλων τραπεζών. Μεταξύ των πληροφοριών (πχ πληροφοριών απαιτούμενων για την πραγματοποίηση των AKZ και AKKZ) που πρέπει να παρέχει η Βάση της τράπεζας στον σχεδιαστή είναι και η απομένουσα Ζωή των υποψήφιων μελών. Εάν αυτή για κάποιο μέλος είναι μικρότερη από τη «Ζωή» για την οποία θα σχεδιασθεί το κτίριο, τότε το μέλος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Ο σχεδιαστής καθορίζει τα επιθυμητά μέλη βάσει κόστους, γεωμετρίας, συνδέσεων, αντοχών και απομένουσας ζωής, ανάλογα με την κατασκευή.



### 6.5.3 Παραγωγή Λύσης

Αφού έχει δημιουργηθεί το μοντέλο BIM και έχει εισαχθεί στο βοηθητικό εργαλείο σχεδιασμού, ο σχεδιαστής εντάσσει τα επαναχρησιμοποιούμενα υλικά: αφού υποδείξει το εκάστοτε μέλος που επιθυμεί να επαναχρησιμοποιήσει από το μοντέλο BIM στο βοηθητικό εργαλείο (δηλαδή να επιλέξει ουσιαστικά τα χαρακτηριστικά του), τότε γίνεται προσπάθεια από την τράπεζα υλικών εύρεσης ενός αντίστοιχου, “*talis qualis*” μέλους από τη Βάση δεδομένων. Παρ’ όλ’ αυτά, στην αναζήτηση του κατάλληλου μέλους εισάγονται και μέλη που δεν υπακούουν εξ ολοκλήρου στις προτιμήσεις που τέθηκαν. Για παράδειγμα, αν ένα μέλος έχει μήκος μεγαλύτερο από το επιθυμητό, μπορεί να υποστεί διεργασίες (πχ κοπή), ώστε να έρθει στην επιθυμητή προς χρήση μορφή. Στη συνέχεια, τίθενται περιορισμοί στα επαναχρησιμοποιούμενα υλικά, όπως πχ εναπομένων χρόνος ζωής, αποφασίζονται τα πλάνα (“*material procurement plans*”) και προκύπτουν οι AKZ και AKKZ.

### 6.5.4 Αξιολόγηση Λύσεως βάσει AKZ και AKKZ

Η διαδικασία πρόσθεσης των επιπτώσεων από κάθε στάδιο παρουσιάζεται στις παρακάτω 2 εξισώσεις:

$$G = G_{raw} + G_{mfg} + G_{mod} + G_{const} + G_{maint} + G_{deconst} + G_{tran} \quad (1)$$

$$C = C_{reuse} + C_{mfg} + C_{mod} + C_{const} + C_{maint} + C_{deconst} + C_{trans} \quad (2)$$

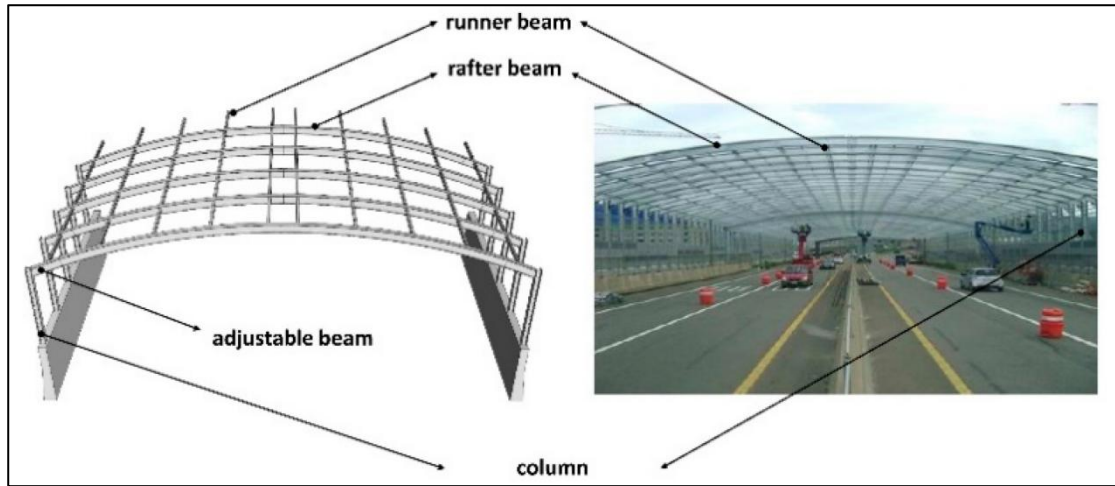
$G_{raw}$  και  $G_{mfg}$  είναι οι ποσότητες CO<sub>2</sub> που παράγονται κατά την εξαγωγή των υλικών και την παραγωγή χάλυβα (πχ BOF ή DRI), αντίστοιχα.  $G_{mod}$  είναι το διοξείδιο που παράγεται κατά τις διαδικασίες τροποποίησης, όπου το μέλος κάμπτεται ή κόβεται προκειμένου να έρθει στην επιθυμητή μορφή.  $G_{const}$ ,  $G_{maint}$  και  $G_{deconst}$  είναι το CO<sub>2</sub> που προκύπτει κατά την κατασκευή, συντήρηση και αποσυναρμολόγηση, αντίστοιχα.  $G_{trans}$  είναι το CO<sub>2</sub> που παράγεται κατά τη μεταφορά (κυρίως λόγω της καύσης diesel στον φορτηγών). Τα ίδια αφορούν και στα κόστη ( $C_{reuse}$  και  $C_{mfg}$  είναι τα κόστη αγοράς επαναχρησιμοποιούμενων και νέων μελών χάλυβα, αντίστοιχα, κλπ.).

## 6.6 Παράδειγμα Αριθμητικής Εφαρμογής (Σύγκριση εκπομπών CO<sub>2</sub> με τη χρήση BIM)

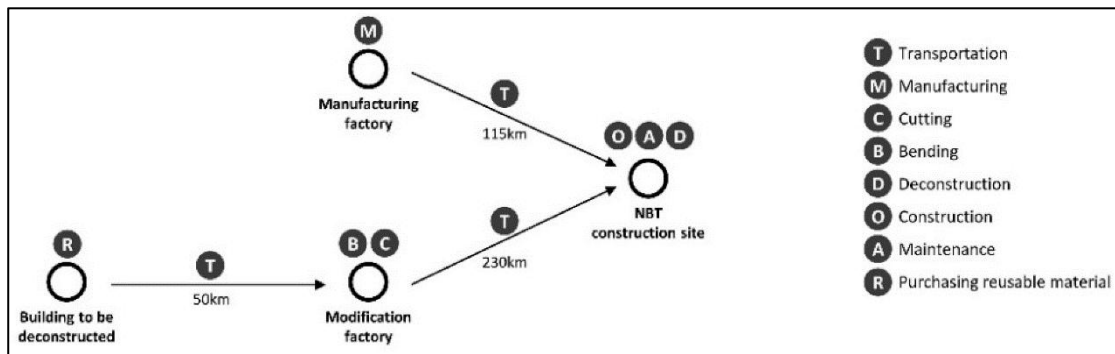
### 6.6.1 Παρουσίαση Εφαρμογής

Με βάση τα παραπάνω, πραγματοποιήθηκε μία αριθμητική εφαρμογή στην Κορέα από τους Seongsjun Kim και Sung-Ah Kim (2020), οι οποίοι χρησιμοποίησαν εκ νέου μέλη τα οποία είχαν εισέλθει σε μία τράπεζα υλικών ύστερα από την αποσυναρμολόγηση ενός 5-όροφου κτιρίου μοντελοποιημένου σε περιβάλλον BIM, προκειμένου να κατασκευάσουν ένα ηχομονωμένο τούνελ 200 μέτρων.



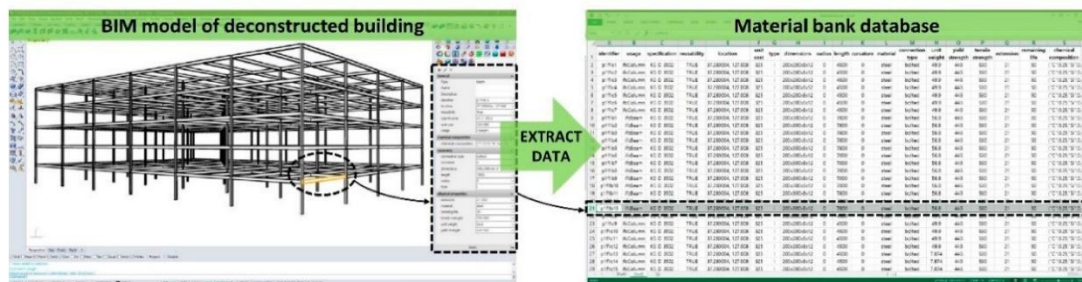


Σχήμα 9 Το μονωμένο ηχητικά τούνελ



Σχήμα 10 Τα όρια του συστήματος ροής των υλικών

Αφού επαλήθευσαν ότι τα υλικά είχαν απομένοντα χρόνο ζωής 50 έτη και το τούνελ θα κατασκευαζόταν για 40, χρησιμοποίησαν το περιβάλλον του Excel, ώστε να δημιουργήσουν τη βάση δεδομένων της τράπεζας υλικών, και κάθε στήλη, δίπλα από το εκάστοτε μέλος, αντιπροσώπευε μία ιδιότητά του (πχ διατομή, μήκος, διάβρωση, απόκλιση από την ευθυγραμμία, κοχλίωση, κλπ).



Σχήμα 11 Εξαγωγή δεδομένων από το BIM μοντέλο στη βάση δεδομένων (φύλλο Excel)

Στη συνέχεια, σχεδίασαν το νέο BIM μοντέλο για το τούνελ και, βάσει παραμέτρων όπως το μήκος και η διατομή, η τράπεζα με τη βοήθεια του «design support tool» εκτελούσε αναζήτηση στην Βάση Δεδομένων για εύρεση του εκάστοτε μέλους που ικανοποιούσε τα κριτήρια. Τέλος, εκτιμήθηκαν οι περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις μέσω των ΑΚΖ και ΑΚΚΖ και συγκρίθηκαν με άλλες εναλλακτικές λύσεις, πχ χρήση εξ ολοκλήρου νέων μελών, ή νέων και μεταχειρισμένων μελών σε διάφορα ποσοστά.

### 6.6.2 Αποτελέσματα

1. Η εφαρμογή αυτή ανέδειξε την αξία της επαναχρησιμοποίησης, αφού αποδείχθη ότι οι εκπομπές CO<sub>2</sub> των κατασκευών μπορούν να μειωθούν έως και 77%. Ειδικότερα, το μεγαλύτερο ποσοστό CO<sub>2</sub> παρήχθη κατά τη διάρκεια κατασκευής και παραγωγής των υλικών, διαδικασίες που είναι περιορισμένες στις εφαρμογές της επαναχρησιμοποίησης. Βέβαια, εκπέμφθηκε επιπρόσθετη ποσότητα CO<sub>2</sub> κατά την τροποποίηση και μεταφορά σε μεγαλύτερη απόσταση των μεταχειρισμένων μελών, αλλά αυτή ήταν αρκετά μικρότερη από αυτήν που θα προέκυπτε κατά την παραγωγή της αντίστοιχης ποσότητας χάλυβα. Η εναλλακτική χωρίς επανάχρηση οδήγησε σε παραγωγή 420 τόνων χάλυβα, 325 παραπάνω από εκείνη με εξ ολοκλήρου επανάχρηση.

2. Το παραπάνω οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η βέλτιστη πρακτική θα ήταν να χρησιμοποιούνται τα μέλη χωρίς περαιτέρω τροποποιήσεις. Βέβαια, αυτό αυξάνει αρκετά το βαθμό δυσκολίας σχεδιασμού και περιορίζει αρκετά τον μηχανικό, μιας και μέχρι στιγμής η διαθεσιμότητα μεταχειρισμένων υλικών είναι είτε μικρή είτε δύσκολο να καθορισθεί. Οι σχεδιαστές εκ των πραγμάτων φαίνεται να διστάζουν να εφαρμόσουν αυτήν την τεχνική λόγω των δυσκολιών που ελλοχεύουν στην πράξη (Tingley, [2017](#), Rose, [2019](#) Allwood, et al., [2012](#)). Έτσι, θεωρείται απαραίτητη η δημιουργία ενός σχεδιαστικού εργαλείου (πχ Τεχνητής Νοημοσύνης) που θα αποτελεί αρωγό του μηχανικού στη διαδικασία σχεδιασμού, ενώ παράλληλα θα μειώνει τις τροποποιήσεις στο απαραίτητα ελάχιστο.

3. Η επαναχρησιμοποίηση μπορεί να αυξήσει το κόστος μίας εφαρμογής. Το κόστος της εναλλακτικής επανάχρησης ήταν 378 χιλιάδες δολάρια, ενώ της χρήσης νέου χάλυβα ήταν 270 χιλιάδες. Έτσι, φαίνεται ότι η επανάχρηση υλικών μπορεί να αυξήσει το κόστος κατά 40%.

4. Το κόστος αγοράς μεταχειρισμένων υλικών είναι εν γένει χαμηλότερο από αυτό των νέων υλικών. Πάραυτα, το συνολικό κόστος μπορεί να αυξηθεί λόγω των πιστοποιήσεων, των ελέγχων, αλλά και των τροποποιήσεων στις οποίες υπόκεινται τα επαναχρησιμοποιούμενα μέλη, προκειμένου να έρθουν στην επιθυμητή ποιότητα, σχήμα, μέγεθος. Προφανώς, ουσιαστικό ρόλο διαδραματίζει και ο μισθός των εργατών, ενώ επιπλέον κόστος χρειάζεται, προκειμένου να εκτιμηθεί ο εναπομένον χρόνος ζωής. Επομένως, από τη φάση σχεδιασμού πρέπει να υπολογίζονται τα κόστη τροποποιήσεων, πιστοποιήσεων και εκτιμήσεων (της υγείας και της Ζωής), εφόσον η τεχνολογία δεν είναι τόσο προηγμένη ώστε οι τελευταίες να γίνονται αυτόματα (από TN), αλλά πρέπει να μεσολαβούν ειδικοί επαγγελματίες.

5. Τα δεδομένα από τις παλιές κατασκευές, που είτε μέλλονται είτε έχουν ήδη αποσυναρμολογηθεί, δεν υπάρχουν σε κάποιο BIM μοντέλο ή τράπεζα υλικών. Επομένως, είναι αναγκαίο να γίνει μία έρευνα σχετιζόμενη με την εύρεση μίας μεθόδου που θα συλλέγει αυτόματα δεδομένα από μία υπάρχουσα κατασκευή και θα τα εισάγει σε μία Βάση Δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά θα πρέπει να περιέχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες και ιδιότητες των υλικών. Η χρήση οπτικών δεδομένων, όπως φωτογραφίες ή σκαναρισμένα με λέιζερ 3D δεδομένα (Yang, [2020](#)) θα βοηθήσει στην αύξηση και αυτοματοποίηση της κατασκευής μοντέλων BIM, τα οποία αποτελούν τα θεμέλια για τη δημιουργία τραπεζών υλικών και βάσεων δεδομένων.

### 6.7 Ψηφιακές Ετικέτες RFID

Προκειμένου να μη «χάνονται» τα μέλη ύστερα από την αποσυναρμολόγηση των κτιρίων, αλλά και για να είναι δυνατή ανά πάσα στιγμή η εύρεση της τοποθεσίας τους, πρέπει το καθένα να έχει τη δική του μοναδική ετικέτα (Iacovidou, [2018](#), Cai et al., [2019](#), Ness et al., [2015](#), Lynch and Loch, [2006](#), Taylor, [2010](#), Schultmann et al., [2010](#), Sun et al., [2013](#), PROGRESS, [2020](#)). Ένας τρόπος να πραγματοποιηθεί αυτό είναι η ετικέτα αυτή να έχει ψηφιακή μορφή.

Η RFID ("Radio Frequency Identification" – Ταυτοποίηση με Ραδιοσυχνότητες) είναι μία ασύρματη τεχνολογία ικανή να εντοπίζει και να ταυτοποιεί αυτόματα αντικείμενα ή ακόμα και ανθρώπους (Ness et al., [2015](#), Taylor, [2010](#), Motamedi and Hammad, [2009](#), Schultmann et al., [2010](#), Xie et al., [2011](#), Sun et al., [2013](#), Valero et al., [2015](#)). Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους ταυτοποίησης, όπως τα "Bar Codes", για να λειτουργήσει η RFID δε χρειάζεται να υπάρχει επαφή μεταξύ «αναγνώστη» και ετικέτας (Taylor, [2010](#), Schultmann et al., [2010](#), Sun et al., [2013](#), Kaur et al., [2011](#)). Αντίθετα, η «επικοινωνία» μεταξύ του δικτύου των αναγνωστών και του επιθυμητού αντικειμένου γίνεται μέσω ραδιοσυχνοτήτων, ώστε να συλλέγονται τα απαραίτητα δεδομένα από τα αντικείμενα. Κάθε αντικείμενο που διαθέτει ετικέτα RFID, έχει κατ' επέκταση ενσωματωμένο ένα μοναδικό κωδικό EPC ("Electronic Product Code"), ο οποίος αποθηκεύεται στην ετικέτα και μεταβιβάζεται σε μία Βάση Δεδομένων, όπου φαίνονται τα χαρακτηριστικά του αντικειμένου (Ness et al., [2015](#)). Ο κωδικός EPC επιτρέπει στο σύστημα να αναγνωρίζει και να διαχειρίζεται τα αντικείμενα με ακρίβεια και αποτελεσματικότητα.

Η σύνδεση του περιβάλλοντος του BIM και των ετικετών RFID είναι δυνατό και φυσικά επόμενο να εδραιωθεί στον τομέα (Ness et al., [2015](#), Taylor et al., [2009](#), Taylor, [2010](#)). Οι Xie et al. ([2011](#)) ανέπτυξαν ένα μοντέλο που συμπεριλάμβανε RFID, BIM και VR ("Virtual Reality") για την παραγωγή και ανέγερση κατασκευών από χάλυβα. Μέσα από τη χρήση εικονικής πραγματικότητας, ο σχεδιασμός γίνεται αρκετά ευκολότερος και ευνοεί τη συμμετοχή και άλλων ενδιαφερόμενων, ώστε να επιτυγχάνεται το βέλτιστο συλλογικό αποτέλεσμα. Επίσης, έχει αποδειχθεί πως η RFID μπορεί να βοηθήσει σε αποφάσεις που αφορούν στον Κύκλο Ζωής των προϊόντων, ειδικά στο τέλος αυτού (απόρριψη, ανακύκλωση, επανάχρηση μέσω ακριβή εντοπισμού, καταγραφής ιστορικού) (Jun et al., [2009](#), Iacovidou, [2018](#)). Κάθε χαλύβδινο μέλος, λοιπόν, θα έχει μία μοναδική ταυτότητα και σε αυτήν θα περιέχονται δεδομένα, όπως:

- ένας μοναδικός αριθμός ταυτοποίησης,
- ο απομένων χρόνος ζωής,
- η ημερομηνία και τοποθεσία παραγωγής,
- η ημερομηνία αποθήκευσης,
- το ιστορικό ιδιοκτησιών και στοιχεία επικοινωνίας
- άλλα σημαντικά στοιχεία, όπως αντοχές, ανοχές, διαστάσεις, κλπ.

Επιπλέον, πιο ανεπτυγμένες τεχνολογίες αφορούν στη συμπερίληψη του ανθρακικού αποτυπώματος κάθε μέλους στην ετικέτα ή ακόμα και στη συνεργασία αισθητήρων στις κατασκευές με RFID, προκειμένου να παρακολουθείται η υγεία και η κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα μέλη (Lynch and Loch, [2006](#)). Επιπλέον, οι ετικέτες μπορούν να πληροφορούν και να ειδοποιούν τους εργαζόμενους για ενδεχόμενους κινδύνους στο εργοτάξιο (τοξικά υλικά, πτώση, υπόγειες εργασίες, προσκρούσεις, πυρκαγιές) (Sun et al., [2013](#)).

Η δυνατότητα ενημέρωσης των πληροφοριών των ετικετών καθ' όλη τη διάρκεια του Κύκλου Ζωής των μελών είναι πολύ σημαντική για την εφαρμογή της επαναχρησιμοποίησης, καθώς δε βασίζεται μόνο στις ιδιότητες των μελών, αλλά και στην εξέλιξή τους με το χρόνο (Motamedi and Hammad, [2009](#), Schultmann et al., [2010](#)).

Κάποια παραδείγματα επιπρόσθετων σημαντικών πληροφοριών των μελών που θα χρειαζόνταν για να εκτιμηθεί η προοπτική επανάχρησής τους είναι (Iacovidou, [2018](#)):

- το «ενσωματωμένο» ανθρακικό τους αποτύπωμα (δηλαδή το ανθρακικό αποτύπωμά τους κατά την αποσυναρμολόγηση, επεξεργασία, μεταφορά, εκ νέου ανέγερση και νέα αποσυναρμολόγηση-κατεδάφιση)
- Ιστορικό φορτίσεων
- Συνδέσεις των μελών
- Άλλες πληροφορίες που λαμβάνονται κατά την αποσυναρμολόγηση

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι RFID ετικετών: οι ενεργητικές και οι παθητικές. Οι ενεργητικές έχουν μεγαλύτερο εύρος «ανάγνωσης» (έως 100 μέτρα) σε σχέση με τις παθητικές (έως 15 μέτρα), αλλά είναι ακριβότερες, (μερικά δολάρια έως περισσότερα από \$50 έκαστη), σε σχέση με τις παθητικές (μερικά cents έως μερικά δολάρια) (Taylor, 2010, Iacovidou, 2018, Motamedi and Hammad, 2009, Sun et al., 2013, Valero et al., 2015, Kaur et al., 2011, KORONA POS, 2024). Επιπλέον, οι ενεργητικές «ζουν» λιγότερο (3-10 χρόνια) από τις παθητικές και έχουν περίπου 1 MB μνήμη (Taylor, 2010, Sun et al., 2013, Motamedi and Hammad, 2009). Οι ετικέτες μπορούν να συνδεθούν με συστήματα GIS και GPS, ώστε να είναι ευκολότερη η εύρεση των μελών και να μπορούν, για παράδειγμα, να απεικονίζονται σε χάρτες προσβάσιμους από κάθε ενδιαφερόμενο (Taylor, 2010, Iacovidou, 2018, Motamedi and Hammad, 2009, Sun et al., 2013). Οι αναγνώστες («readers»), που μπορεί να είναι φορητοί υπολογιστές ή μόνιμοι, και να λειτουργούν με “Microsoft Windows”, κοστίζουν περίπου \$5000 ο καθένας (Taylor, 2010, Motamedi and Hammad, 2009). Ο Taylor (2010) αναφέρει ότι σε μία εφαρμογή, το σύστημα RFID/GPS μπορούσε να λειτουργήσει ακόμα και έως τους -26 βαθμούς Fahrenheit. Βέβαια, κάτω από αυτό το όριο, οι αναγνώστες επηρεάζονταν και έπρεπε να επανέλθουν σε φυσιολογική θερμοκρασία, προκειμένου να λειτουργήσουν ξανά. Επιπλέον, ακόμα και αν καταστρεφόταν το εξωτερικό κέλυφος της ετικέτας, εάν η μπαταρία και η κεραία δεν επηρεάζονταν, τότε η ετικέτα μπορούσε ακόμα να αναγνωστεί.

Ακόμα, είναι πιθανό να συνδεθούν οι ετικέτες αυτές με τον ψηφιακό κόσμο του BIM (Taylor et al., 2009, Motamedi and Hammad, 2009, Taylor, 2010): η μοναδική ετικέτα κάθε στοιχείου μπορεί να συσχετισθεί με ένα μοντέλο BIM, όπου θα φαίνονται όλες οι ιδιότητές του, καθώς και η ακριβής τοποθεσία του. Ύστερα, όποια αλλαγή ή τροποποίηση δέχεται το μέλος, θα μεταφέρεται στο BIM μοντέλο, μέσω της RFID ετικέτας. Έτσι, θα μπορούν να επαναχρησιμοποιούνται εύκολα τα μέλη από τους σχεδιαστές σε νέες κατασκευές. Συνδέοντας έτσι αυτά τα 2 ευρήματα, γεφυρώνεται εν μέρει το χάσμα μεταξύ του ψηφιακού και του πραγματικού κόσμου, που επικρατεί στον κατασκευαστικό τομέα. Η λογική της RFID μπορεί να βοηθήσει μαζί με το περιβάλλον του BIM στην εδραίωση και της λογικής της τράπεζας των υλικών (Bertin, I, 2020, Jayasinghe, 2020, Honic, 2019, Cai, G, 2019, Taylor, 2010, Iacovidou, 2018, Ness et al., 2015).

Η πληροφορία που θα αποθηκεύεται στις RFID ετικέτες, ώστε να προωθείται η επανάχρηση και κατ’ επέκταση η αειφορία, μπορεί να διαιρεθεί σε 2 κατηγορίες (Iacovidou, 2018):

- Ονομαστικές Πληροφορίες: Οι βασικές, σταθερές πληροφορίες των μελών, όπως ποιότητα, ημερομηνία παραγωγής, μέγεθος, βάρος, σύνδεση.
- Εξελισσόμενες-Ιστορικές Πληροφορίες: Εδώ θα υπάρχουν οι πληροφορίες που «εξελίσσονται» ανάλογα με τα φορτία που δέχεται το μέλος και την πάροδο του χρόνου, όπως: διαβρωτικά φαινόμενα, υγρασία, χημική έκθεση, φορτίσεις, παραμορφώσεις, ρωγμές.

Επίσης οι RFID ετικέτες μπορούν να συνδεθούν με QR κωδικούς (με πραγματικές ετικέτες πάνω στα μέλη, όπου βρίσκονται οι RFID ετικέτες), αποθηκεύοντας τα δεδομένα στα «τσιπ» που συνδέονται με την RFID κεραία. Ένα τέτοιο παράδειγμα απεικονίζεται παρακάτω:

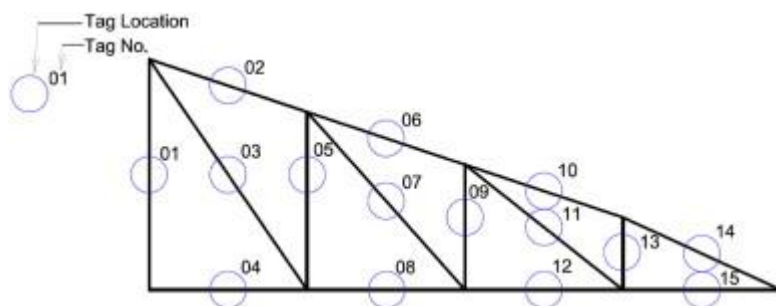


Σχήμα 12 Προτεινόμενες πληροφορίες ετικέτας μελών

## 7 ΣΕΝΑΡΙΟ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΗΣ (ΜΕΤΡΗΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ)

Η νότιο Αυστραλιανή Κυβέρνηση επιθυμούσε να μετατρέψει μια έκταση 61 εκταρίων σε μία κοινότητα με βιομηχανίες, εκπαιδευτικά ιδρύματα και κατοικίες. Δικτυώματα και κολώνες ανακτήθηκαν από πρώην εργοστάσιο παραγωγής αυτοκινήτων και αποφασίστηκε να κοπούν, να συμπίεστούν, να μετατραπούν σε σκραπ και στη συνέχεια, σε νέο χάλυβα. Προκειμένου να υλοποιηθεί αυτή η διαδικασία ανακύκλωσης και δημιουργίας νέου χάλυβα, θα έπρεπε τα υλικά πρώτα να μεταφερθούν σε Χαλυβουργείο σε απόσταση 400 km, και στο τέλος άλλα 30 km στο σημείο που θα ανεγερθούν (σύνολο 830 km).

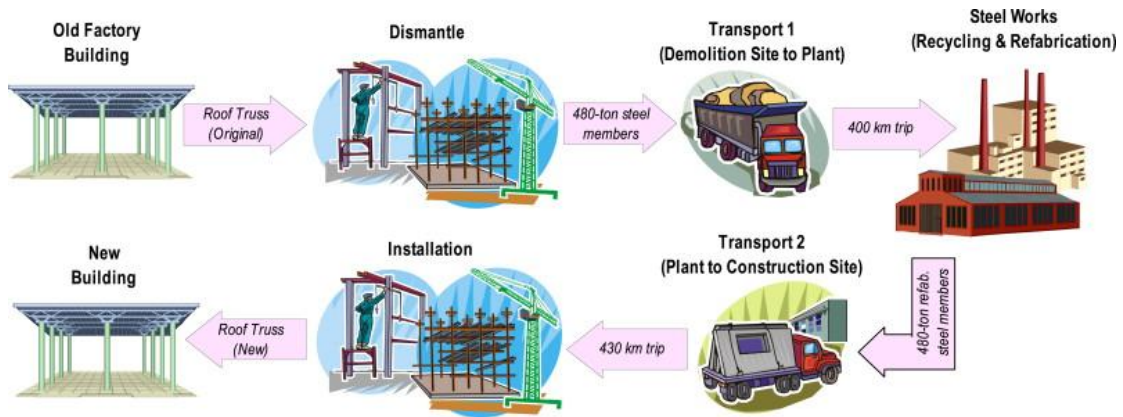
Στα πλαίσια αυτής της εφαρμογής από τους Ness et al. (2015), εξετάστηκε και το σενάριο επανάχρησης όλων των μελών του δικτύωματος και των κολώνων, και μεταφοράς τους απευθείας από το σημείο που είχαν συλλεχθεί σε απόσταση 30km, στο σημείο ανέγερσης της νέας κατασκευής. Στα μέλη αυτά θα μπορούσαν να προστεθούν RFID ετικέτες, ώστε να καταγράφεται η κίνησή τους και να ανιχνεύονται οι ιδιότητές τους (όπως φαίνεται στο [Σχήμα 13](#)), κάτι που εν τέλει δεν υλοποιήθηκε.



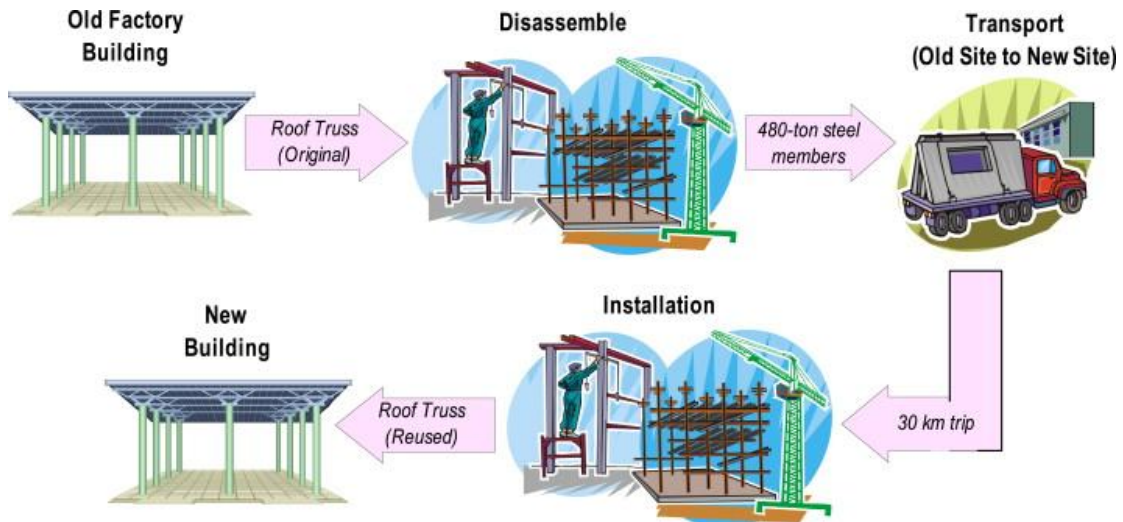
Σχήμα 13 Δικτύωμα με ετικέτες RFID

677 δικτυώματα αποσύρθηκαν κατά την αποσυναρμολόγηση του κτιρίου (περίπου 480 τόνοι χάλυβα). Τα βήματα που θα ακολουθούνταν σε κάθε σενάριο περιγράφονται στα [Σχήματα 14 και 15](#).





Σχήμα 14 Σενάριο ανακύκλωσης



Σχήμα 15 Σενάριο Επανάχρησης

Προκειμένου να συγκριθεί η συνολική «ενσωματωμένη» ενέργεια των μελών για τα δύο σενάρια, η κατανάλωση ενέργειας που σχετίζεται με τις διεργασίες που έλαβαν μέρος σε κάθε περίπτωση υπολογίσθηκε βάσει της παρακάτω εξίσωσης:

$$EE_{total} = EE_{os} + m_s * [\alpha * (EE_{dc} + EE_t + EE_c) + (1-\alpha) * (EE_{dm} + EE_{rf} + EE_c)] \quad (3)$$

- $EE_{total}$ : Συνολική Ενσωματωμένη Ενέργεια
- $EE_{os}$ : Ενσωματωμένη Ενέργεια αρχικών μελών
- $EE_{dc}$ : Ενσωματωμένη Ενέργεια κατεδάφισης
- $EE_t, EE_t'$ : Ενσωματωμένη Ενέργεια μεταφοράς
- $EE_c$ : Ενσωματωμένη Ενέργεια εγκατάστασης
- $EE_{dm}$ : Ενσωματωμένη Ενέργεια αποσυναρμολόγησης
- $EE_{rf}$ : Ενσωματωμένη Ενέργεια ανακύκλωσης και εκ νέου επεξεργασίας
- $m_s$ : συνολική μάζα χαλύβδινων μελών (σε kg)
- $\alpha$  είναι το ποσοστό των μελών που θα επαναχρησιμοποιηθούν (μεταξύ 0 και 1, δηλαδή 0 για το πρώτο σενάριο ανακύκλωσης και 1 για το δεύτερο σενάριο επαναχρησιμοποίησης)

Θεωρήθηκε ότι  $EE_{dc} = EE_{dm}$  λόγω έλλειψης κατασκευαστικών στοιχείων και επίσης,  $EE_c$  ίδια και για τα δύο σενάρια.

Οπότε η διαφορά στην ενσωματωμένη ενέργεια μεταξύ των δύο σεναρίων μπορεί να μετρηθεί ως:

$$\Delta EE = m_s * [EE_t - (EE_t' + EE_{rf})] \quad (4)$$

Η ενέργεια που εκπέμπεται για την (πρωτογενή) παραγωγή νέου χάλυβα είναι 25-35 MJ/kg (Ashby, 2012, Ness, 2015, Hammond and Jones, 2008) και η αντίστοιχη για την παραγωγή χάλυβα ύστερα από ανακύκλωση (δευτερογενής παραγωγή) είναι περίπου 9,5 MJ/kg (Hammond and Jones, 2008, Ness, 2015)

Οι επιπτώσεις της μεταφοράς χάλυβα στην Αυστραλία φαίνονται στον [επόμενο πίνακα](#):

Πίνακας 3 Περιβαλλοντικές επιδράσεις από τη μεταφορά χάλυβα στην Αυστραλία

Mode of transport	Impacts of transport per tonne per 100km		Average steel freight within Australia	
	Energy MJ	GGE kg CO <sub>2</sub> eq	Tonnage Mt	Distance km
Ship	2.5	0.18	6	665
Rail	57.5	4.0	2	965
Truck	134.6	10.0	1	250

Πηγή: Ness, 2015

Χρησιμοποιώντας τις τιμές αυτές και τις διεργασίες που φάνηκαν προηγουμένως για κάθε σενάριο, η ΔΕΕ που προκύπτει (φαίνεται στον Πίνακα 4), δείχνει μία συνολική διαφορά 4.790 GJ ενέργειας.

Πίνακας 4 Κατανάλωση ενέργειας μεταξύ των δύο σεναρίων (πλήρους ανακύκλωσης και πλήρους επανάχρησης)

Scenario	Mass of steel member (ton)	Road transport (km)	$EE_t$ (truck) (MJ/ton/km)	$EE_{rf}$ of Refab. Steel member (MJ/ton)	ΔΕΕ (S1-S2) (MJ)
S1 – Full Recycling ( $\alpha=0$ )	480	830	537,840	4,272,000 <sup>a</sup>	4,790,400
S2 – Full Reuse ( $\alpha=1$ )	480	30	19,440	0	

Πηγή: Ness, 2015

Ως φαίνεται [παραπάνω](#), η πλήρης επανάχρηση 480 τόνων χάλυβα χρειάστηκε 4.790.400 MJ λιγότερης ενέργειας από ό,τι η ανακύκλωση, άρα η επανάχρηση εξοικονομεί περίπου 9,98 MJ/kg σε σχέση με την ανακύκλωση. Βέβαια, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4, και με τη μερίδα του λέοντος κατέχει η επεξεργασία στην οποία υπάγονται τα υλικά που προορίζονται για ανακύκλωση (σε αντίθεση με τη μηδενική επεξεργασία που απαιτεί η επανάχρηση), αλλά ένα ποσοστό 12,6% κατέχει και η μεταφορά, λόγω του ότι αρκετά μέρη στην Αυστραλία δεν είναι πυκνοκατοικημένα και πρέπει να διανύονται μεγάλες αποστάσεις προκειμένου να γίνουν οι διεργασίες επεξεργασίας.



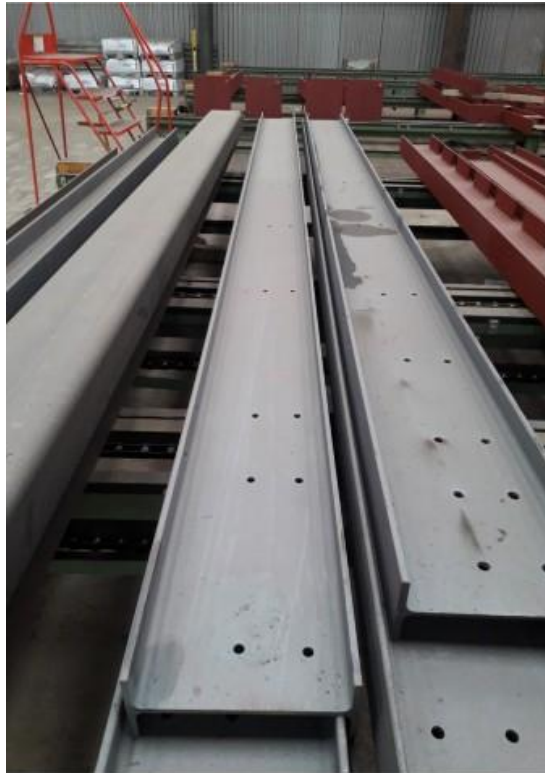


## 8 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΧΑΛΥΒΑ

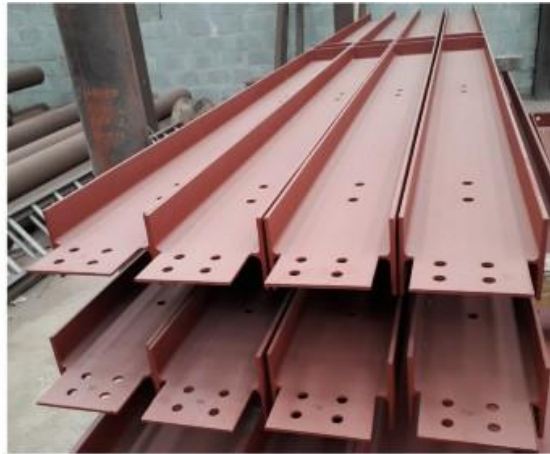
Τα παρακάτω παραδείγματα είναι όλα βασισμένα σε εφαρμογές όπου έχει εμπλακεί η εταιρία "Cleveland Steel & Tubes Limited", η οποία διαθέτει τη μεγαλύτερη αποθηκευτικότητα (περισσότερα από 6700 m<sup>2</sup>) στο Ηνωμένο Βασίλειο όσον αφορά χάλυβα (συγκεκριμένα, Σωλήνες - "Tubes"). Ειδικότερα, διαθέτουν περισσότερους από 67000 τόνους σωλήνων και μπορούν να τους παρέχουν οποιαδήποτε στιγμή.

### 8.1 "Holbein Gardens"

Η επέκταση του τελευταίου ορόφου ενός υπάρχοντος κτιρίου οπλισμένου σκυροδέματος (από τη δεκαετία του 1980), που ανήκει σε μία εταιρία διαχείρισης οικοπέδων του Ηνωμένου Βασιλείου με όνομα "Grosvenor Estate", οδήγησε σε μία αύξηση του υπάρχοντος χώρου κατά 25%. Ο αρχικός στόχος μείωσης των συνολικών εκπομπών επετεύχθη με τη χρήση ήδη ανακτημένων από άλλα έργα χαλύβδινων, καθώς και ξύλινων, μελών.



a) Shot blasted steel before re-coating



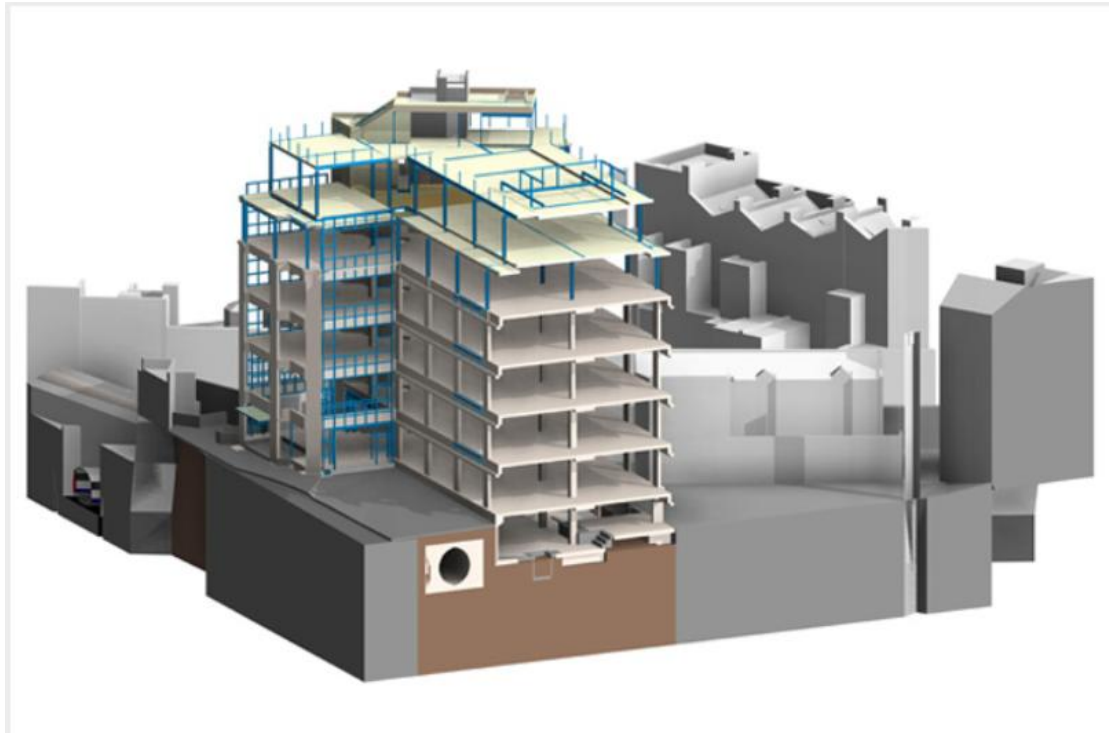
b) Reclaimed steel ready for the new use



c) The new structure made of the reclaimed steel



Σχήμα 16 Holbein Gardens Project (Πηγή: Cleveland Steel & Tubes Limited, Kanyilmaz, 2023a)



Σχήμα 17 Προτεινόμενα έργα στο Holbein Gardens (Πηγή: Cleveland Steel & Tubes Limited, Heyne Tillett Steel, 2023)

Όλα τα επαναχρησιμοποιούμενα μέλη ελέγχθηκαν αναφορικά με τη συμβατότητα και την υγεία τους για τη χρήση σε κάθε πιθανή θέση. Ο χάλυβας προήλθε από την αποσυναρμολόγηση προηγούμενων κτιρίων της "Grosvenor", αρκετά από τα οποία ήταν αποθήκες, καθώς και από παλαιότερα χρησιμοποιημένο και αποθηκευμένο, από την εταιρία "Cleveland Steel", χάλυβα. Ο χάλυβας έπρεπε να εξακριβωθεί ότι δεν είχε υποστεί σημαντικά φαινόμενα, όπως φωτιά ή κόπωση, και δεν είχε αναπτύξει πλαστικές παραμορφώσεις ή ρωγμές. Το συνολικό μέγεθος των οπών πάνω στα μέλη ήταν μικρότερο από το επιτρεπτό και η «ηλικία» του ήταν περίπου 30 έτη.

Βέβαια, ο αριθμός των μελών που μπορούσε να επαναχρησιμοποιηθεί ήταν περιορισμένος, λόγω του ότι:

- αρκετό από το χαλύβδινο υλικό υπήρχε πριν το 1970,
- μερικά μέλη (ειδικά της οροφής) δεν ήταν συμβατά λόγω μήκους και κλίσεως, και
- κάποια κτίρια ήταν σύμμικτα, οπότε ήταν δύσκολο να απομονωθούν τα μεταλλικά στοιχεία τους δίχως να υποστούν ζημιά

Τα υλικά ελέγχθηκαν μέσω μη καταστροφικών και καταστροφικών [δοκιμών](#) βάσει όσων αναγράφονται στο πρωτόκολλο για την επαναχρησιμοποίηση του χάλυβα [SCI P427 και στον οδηγό "PROGRESS"](#). Ύστερα, από αυτά τα τεστ και αφού καθορίστηκαν παράμετροι, όπως η ποιότητα, οι αντοχές, η χημική σύσταση, κλπ., τα μέλη πιστοποιήθηκαν με σφραγίδα CE βάσει των υπάρχοντων νομικών γεγραμμένων. Επιπλέον, υιοθετήθηκε ένας τροποποιημένος συντελεστής  $\gamma_{M1,mod} = 1,15 \cdot \gamma_{M1}$ , ως φαίνεται και στην αντίστοιχη [παραγραφο](#). [Στο παραπάνω σχήμα \(Σχήμα 16a\)](#) αντικατοπτρίζονται κάποια μέλη πριν ακόμα βαφτούν (μετά

την αμμοβολή), όπου φαίνεται πόσο καλά μπορεί να καθαριστεί το υλικό πριν του προστεθεί μία νέα στρώση προστασίας.



Σχήμα 18 Εικόνα από το Holbein Gardens, όπου φαίνονται οι οπές στα μεταλλικά στοιχεία (Πηγή: Cleveland Steel & Tubes Limited, Heyne Tillett Steel, [2023](#))

Για αυτή την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν περίπου 67 τόνοι χάλυβα, 25 εκ των οποίων ήταν εκ νέου χρησιμοποιούμενο υλικό. Με τον τρόπο αυτό, προλήφθηκαν 60 τόνοι εκπομπών άνθρακα.

## 8.2 Αποθήκη NTS (“National Tube Stockholders”)

Σε αυτό το παράδειγμα εφαρμογής, μια σειρά από μεταχειρισμένα φορητά μεταλλικά πλαίσια ανακτήθηκαν για την κατασκευή μίας αποθήκης, που χρειάζονταν οι NTS (“National Tube Stockholders”). Η επανάχρηση αποθηκών επιτρέπεται έως EXC3 βάσει EN1090 (CEN, [2008](#)) και χρειάζεται επιπλέον μέτρα ασφαλείας μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, ως φαίνονται στο [πρωτόκολλο και στον οδηγό για την επαναχρησιμοποίηση του χάλυβα](#) (The Steel Construction Institute (SCI), [2019](#), PROGRESS, [2020](#)).



a) Steel from the demolished building

b) New building with reclaimed steel

Σχήμα 19 Κτίριο NTS (Πηγή: Cleveland Steel & Tubes Limited, [n.d.](#), Kanyilmaz, [2023a](#))

Κατά την αγορά των μελών, υπήρχαν διαθέσιμα όλα τα σχέδια και οι λεπτομέρειες από τον πωλητή, κάτι που επέτρεψε την πραγματοποίηση λίγων μόνο ελέγχων μέσα από δοκιμές, έτσι



ώστε να επαληθευθούν τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα. Με βάση αυτά τα δεδομένα έγινε ο σχεδιασμός της κατασκευής στη νέα τοποθεσία, η οποία ήταν σε απόσταση μικρότερη των 2 km από το χώρο, όπου βρίσκονταν αποθηκευμένα τα πλαίσια. Με τον τρόπο αυτό, ελαχιστοποιήθηκαν τα κόστη και οι εκπομπές μεταφοράς. Επιπλέον, ελάσματα και νευρώσεις προστέθηκαν όπου κρίθηκε απαραίτητο και όλη η κατασκευή βάφτηκε εκ νέου. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν ανακτημένα χαλίκια και πέτρες (από άλλη εφαρμογή) για την εξομάλυνση του εδάφους, ενώ όλο το χώμα από τις εκσκαφές επαναχρησιμοποιήθηκε στο ίδιο έδαφος, ώστε να μειωθούν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τη μεταφορά και την απόρριψή τους. Οι οικονομικές επιπτώσεις της εφαρμογής που σχετίζονται με την επαναχρησιμοποίηση και την χρήση νέων χαλύβδινων μελών υπολογίστηκαν από την εταιρία "Cleveland Steel & Tubes Limited" και τα αποτελέσματα βρίσκονται καταγεγραμμένα στον παρακάτω Πίνακα:

Πίνακας 5 Κόστη και «εξοικονομήσεις» ανθρακικού αποτυπώματος για το Κτίριο "NTS"

	Cost if new	Additional cost of reuse	Cost saving versus new	Net saving	Carbon saving (approx.)
Design/admin	£312,000	£26,000	£162,000	(£26,000)	n/a
Groundworks	£422,000	0	Planings = £130,000 Muck = £133,000	£260,000	Haulage— 224 T CO <sub>2</sub> Stone—52 T CO <sub>2</sub>
Steel	£1,020,000	£160,000	£566,000	£566,000	1000 T CO <sub>2</sub>
Cladding	£740,000	n/a	n/a	n/a	n/a
Floor	£950,000	n/a	n/a	n/a	n/a
Landscaping	£150,000				
Foundations	£132,000		Muck—£4000	£4000	4 T CO <sub>2</sub>
Erection	£239,000	n/a	n/a	n/a	n/a
Totals	£3,776,000		£995,000	£969,000	1480 T CO <sub>2</sub> e

Πηγή: Cleveland Steel & Tubes Limited μέσω Kanyilmaz (2023a)

### 8.3 Γέφυρα "East Arkengarthdale"

Μία γέφυρα 100 χρονών στο Yorkshire Dales (Σχήμα 20) κρίθηκε ανασφαλής και έτσι η Cleveland Steel σχεδίασε ένα νέο απλό κατάστρωμα αποτελούμενο από επαναχρησιμοποιούμενο χάλυβα, ώστε να εξοικονομήσει 8 τόνους άνθρακα. Η επαναχρησιμοποίηση του χάλυβα, όπως φαίνεται, μπορεί να πραγματοποιείται και σε μικρής έκτασης έργα.



Σχήμα 20 Γέφυρα “East Arkengarthdale” (Πηγή: Cleveland Steel & Tubes Limited, Kanyilmaz, 2023a)



Σχήμα 21 Χαλύβδινα μέλη στην αποθήκη των Cleveland Steel (Πηγή: Cleveland Steel & Tubes Limited, Heyne Tillett Steel, 2023)

#### 8.4 “Sloane Square House”

Σε αυτή την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν εξ’ ολοκλήρου μεταχειρισμένα μέλη χάλυβα (100% επαναχρησιμοποίηση): έγινε προσθήκη δύο ορόφων, στα πλαίσια ανακαίνισης και αύξησης του χώρου των κεντρικών γραφείων της εταιρίας CEG (Σχήμα 22). Η επέκταση πραγματοποιήθηκε, αφού ελέγχθηκε ότι η θεμελίωση του ξύλινου κτιρίου δε θα παρουσίαζε προβλήματα (λόγω μικρού της βάρους επιλέχθηκε εξάλλου η μεταλλική κατασκευή). Χρησιμοποιώντας ένα ψηφιακό εργαλείο (“WSP’s in house steel reuse matching tool”), βρέθηκαν ποιες διατομές από την αποθήκη του Cleveland Steel ταιριάζουν με τις απαιτούμενες, βάσει του μεγέθους και της αντοχής που απαιτούνταν. Περαιτέρω, λόγω της χρήσης της παραμετρικής αυτής μεθόδου και της σύνδεσης του εργαλείου με ένα λογισμικό ανάλυσης (πχ SAP2000) και ένα BIM (πχ Revit), τους δόθηκε η δυνατότητα να οδηγηθούν στη βέλτιστη λύση, και τελικά το 100% των μελών να προέρχεται από επανάχρηση. Τελικά,

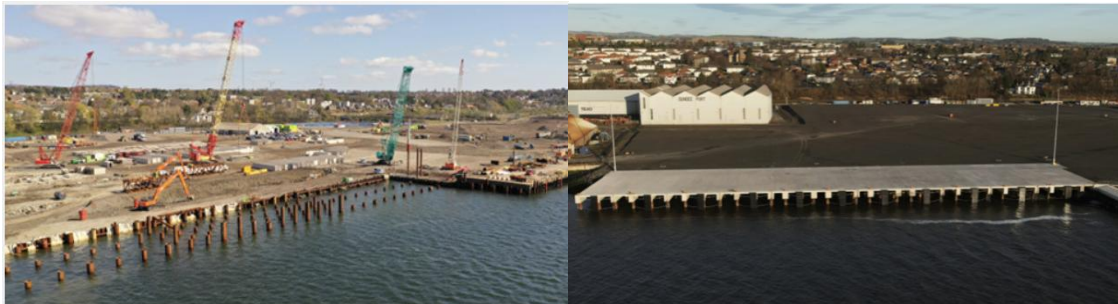
21 τόνοι επαναχρησιμοποιούμενου υλικού οδήγησαν σε μία περίπου 60% (από 257 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup> σε 116 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>) μείωση του ανθρακικού αποτυπώματος της κατασκευής (σε σχέση με τη χρήση νέου υλικού). Όλα τα μέλη χρησιμοποιήθηκαν βάσει του [P427 του SCI Steel Reuse Protocol](#).



Σχήμα 22 “Sloane House Project” (Πηγή: Cleveland Steel & Tubes Limited, ASBP, [2024](#), Kanyilmaz, [2023a](#))

### 8.5 Ανακαίνιση του λιμένα του Dundee

Στη συγκεκριμένη εφαρμογή εφοδιάστηκε ένα λιμάνι με πασσάλους διαμέτρου 911,8 mm, πάχους 28,9 mm, μήκους 18,7-26,8 m και συνολικής μάζας 1070 τόνων. Αρχικά, είχε σχεδιασθεί έτσι, ώστε να είναι 914 mm η διάμετρος και 25,4 mm το πάχος των σωλήνων. Παρ’ όλ’ αυτά, η Cleveland Steel & Tubes είχε ένα απόθεμα σωλήνων από προηγούμενη εφαρμογή, οι οποίοι είχαν τα χαρακτηριστικά που προαναφέρθηκαν (διάμετρος 911,8 mm και πάχος 28,9 mm), πολύ κοντά στα ζητούμενα. Η εναλλακτική αυτή αποδείχθηκε ευεργετική τόσο οικονομικά όσο και περιβαλλοντικά, αφού τελικά εξοικονομήθηκε ένα ποσοστό 95%-97% εκπομπών άνθρακα, συγκρινόμενο με αυτό που θα εκπεμπόταν εάν όλοι οι σωλήνες αποτελούνταν από νέο υλικό. Όσον αφορά τα πεπραγμένα στο τεχνικό κομμάτι, προκειμένου το έργο να συμφωνεί με τα αναγραφόμενα του EN 1090 (EXC2), οι σωλήνες έπρεπε να πιστοποιηθούν (CE) και, παράλληλα, να πραγματοποιηθεί 100% υπερηχητικός έλεγχος για όλες τις συγκολλήσεις επί των πασσάλων. Η συνολική μείωση του άνθρακα σε σχέση με το σενάριο μη επανάχρησης ήταν 2185 τόνοι.



Σχήμα 23 Ανακαίνιση του λιμανιού του Dundee (Source: Cleveland Steel & Tubes Limited, SPG, [n.d.](#), Kanyilmaz, [2023a](#))

Αυτά τα πραγματικά παραδείγματα δείχνουν ότι η πρακτική της επανάχρησης μπορεί να μειώσει σημαντικά τις εκπομπές άνθρακα και τα κόστη, διατηρώντας τα αποθέματα των υλικών και μειώνοντας τα συνολικά απόβλητα. Οι εκπομπές CO<sub>2</sub> και ο συνολικός επαναχρησιμοποιούμενος χάλυβας για καθένα από τα προηγουμένως αναφερόμενα παραδείγματα φαίνονται στον επόμενο Πίνακα.



Πίνακας 6 Συνολικές εκπομπές και ποσότητα επαναχρησιμοποιούμενου χάλυβα που εξοικονομήθηκαν για τα παραδείγματα

Project	Type of structure	Purpose of reuse	CO <sub>2</sub> emission saved due to reuse (tonnes)	Primary steel material saved due to reuse (tonnes)	Project completion year
Holbein Gardens	Building	Elevation increase of the existing structure	50	25	2022
NTS Building	Warehouse	New warehouse construction	1000	500	2019
East Arkengarthdale Bridge	Bridge foundation	Simple deck construction	8	4	2021
Sloane Square House	Building	Elevation increase (new 2 storeys) of the existing structure	42	21	Underway
Port of Dundee East Redevelopment	Piling for Wharf	New piling	2185	1070	2021

Σχήμα 24 (Πηγή: Cleveland Steel & Tubes Limited, Kanyilmaz, [2023a](#))

# 9 ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ “P427” ΤΟΥ SCI ΚΑΙ ΟΔΗΓΟΣ “PROGRESS”

## 9.1 Γενικά – Περιορισμοί

Τα SCI (“Steel Construction Institute”, [2019](#)) και το RFCS (“Research Fund for Coal and Steel”, [n.d.](#)) με το ECCS (European Convention for Constructional Steelwork) δημιούργησαν ένα πρωτόκολλο - P427 - και έναν οδηγό - PROGRESS (“Provisions for Greater Reuse of Steel Structures”, [2020](#)) - επαναχρησιμοποίησης μελών. Όσον αφορά το P427, παρόλο που επικεντρώνεται στον κατασκευαστικό τομέα του Ηνωμένου Βασιλείου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε οποιαδήποτε χώρα έχει υιοθετήσει τη λογική των Ευρωκωδίκων, ο PROGRESS αφορά αποσυναρμολογήσεις και επαναχρήσεις κτιρίων ενός ορόφου.

Οι περιορισμοί που θέτουν είναι οι εξής, όσον αφορά τα χαλύβδινα μέλη:

1. Να υπάγονται σε κατασκευές που έχουν ανεγερθεί μετά το 1970
2. Να μην έχουν υποστεί φορτίσεις κόπωσης, πχ μέλη γεφυρών
3. Να μην έχουν σημαντικές παραμορφώσεις, πχ πλαστικές αρθρώσεις
4. Να μην έχουν σημαντική απώλεια διατομής λόγω διαβρώσεως
5. Να μην έχουν εκτεθεί σε φωτιά
6. Να μην έχουν εκτεθεί σε εκτεταμένες δυναμικές φορτίσεις ή άλλες ακραίες δράσεις
7. Να είναι απαλλαγμένα από ρωγμές

Ο περιορισμός που αφορά στην χρονολογική προέλευση του μέλους (κατασκευές μετά το 1970) σχετίζεται με τα χαρακτηριστικά που υιοθετούνται από τα ήδη υπάρχοντα πρότυπα. Ο χάλυβας από το 1970 και έπειτα θεωρείται ότι συμφωνεί με τα πρότυπα EN 10025 (CEN, [2004](#)) και EN 10219 (CEN, [2006](#)), εξ’ ου και η γενικότερη προτίμησή του. Για παράδειγμα, οι ευρέως διαδεδομένες και χρησιμοποιούμενες ποιότητες χάλυβα S235, S275 και S355 συμφωνούν με τα πρότυπα αυτά (PROGRESS, [2020](#)). Η πρωταρχική χρήση του ανακτημένου χάλυβα στις νέες κατασκευές αναμένεται να είναι ως απλά μέλη, απαλλαγμένα δηλαδή από παλιές συνδέσεις.

## 9.2 Διαδικασία ανάκτησης – αποθήκευσης – επαναχρησιμοποίησης

Εάν το μέλος έχει παραχθεί και μορφοποιηθεί, αλλά δεν έχει «ανεγερθεί», είναι πιθανό οι ιδιότητές και οι διεργασίες παραγωγής και μορφοποίησής του να υπάρχουν καταγεγραμμένες και αρχειοθετημένες. Αυτό ισχύει ειδικά για χάλυβα ο οποίος έχει παραχθεί από το 2014 και

έπειτα, όταν έγινε υποχρεωτική η πιστοποίηση των χαλύβδινων μελών με σφραγίδα CE βάσει του EN 1090 (CEN, 2008) (WeldersHandbook, 2023).

Η διαδικασία από την ανάκτηση έως την επαναχρησιμοποίηση φαίνεται παρακάτω:

1. Ένα κτίριο μελετάται ως πιθανή πηγή ανάκτησης μελών. Προτού ληφθεί κάποια απόφαση για το μέλλον τους, πρέπει να γίνουν οι απαραίτητες σκέψεις και επιθεωρήσεις που θα περιλαμβάνουν την ποιότητα, την υγεία και τη συμβατότητά τους, όπως επίσης και την ευκολία και το κόστος της αποσυναρμολόγησής τους (σε σχέση με τη λύση της κατεδάφισης).
2. Μία επιχειρηματική συμφωνία λαμβάνει χώρα μεταξύ του αγοραστή και της εταιρίας που αναλαμβάνει την κατεδάφιση.
3. [Καταγράφονται σημαντικές πληροφορίες για τα μέλη](#)
4. Ο αγοραστής παραλαμβάνει το χάλυβα και τον [κατηγοριοποιεί](#), προκειμένου να πραγματοποιηθούν εν συνεχεία οι απαραίτητοι έλεγχοι.
5. Τα μέλη επιθεωρούνται και ελέγχονται με τις απαραίτητες [δοκιμές](#) και τα αποτελέσματα καταγράφονται μαζί με τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα για τα μέλη. Εν συνεχεία, ο αγοραστής-υπεύθυνος για την αποθήκευσή τους πρέπει να καθορίσει όλα τα χαρακτηριστικά τους, προκειμένου να τα μεταπωλήσει σε κάποιον εργολάβο.
6. Τα υλικά μεταπωλούνται συνοδευόμενα αναγκαστικά από μία διακηρυγμένη -από τον υπεύθυνό τους- λίστα με τα απαραίτητα χαρακτηριστικά τους. Η διακήρυξη αυτή πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις σχετικές ιδιότητες των υλικών που επιτρέπουν στο χάλυβα να [πιστοποιείται ως CE](#) βάσει του EN 1090 (CEN, 2008).
7. Ο σχεδιασμός και η επαλήθευση των ιδιοτήτων των μελών ολοκληρώνονται με συγκεκριμένες [τροποποιήσεις](#).

### 9.3 Πιστοποίηση CE

Η πιστοποίηση CE για το δομικό χάλυβα διευθετείται στο EN 1090-1 (CEN, 2008). Όλα τα υλικά χάλυβα που εισέρχονται στην αγορά της Ευρωπαϊκής Ένωσης πρέπει να είναι σημασμένα με CE.

Τα παραγόμενα χαλύβδινα μέλη πρέπει να είναι σημασμένα (CE) βάσει του αντίστοιχου σχετικού προτύπου (πχ EN 10025 – CEN, 2004), ενώ όταν ανεγερθούν πρέπει να σημασθούν (CE) βάσει του EN 1090-1 (CEN, 2008).

Τα μέλη θα πρέπει να φέρουν CE πιστοποίηση τύπου 3.1 ή 2.2 βάσει EN 1090-2 (CEN, 2008): Η πιστοποίηση του τύπου 2.2 ("Non-specific inspection") επικυρώνεται από τον παραγωγό βάσει δικών του διαδικασιών, χωρίς δοκιμές, ενώ η 3.1 ("Specific inspection") επικυρώνεται βάσει αποτελεσμάτων δοκιμών σχετικών με το προϊόν (Kumar, 2022). Αυτές οι πιστοποιήσεις περιλαμβάνουν τις χημικές και μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα, διαβεβαιώνοντας τον κάθε ενδιαφερόμενο (μηχανικό ή τοπικές αρχές) ότι το υλικό πληροί τις απαιτούμενες προδιαγραφές για χρήση.

Έτσι, οι παραγωγοί των μελών κηρύττουν το προϊόν τους σύμφωνο με το αντίστοιχο σχετικό πρότυπο ("Product Standard") και οι εργολάβοι-υπεύθυνοι για την ανέγερσή τους πρέπει να εξακριβώσουν ότι είναι συμβατά με τα πρότυπα ("Execution Standards") EN 1090-1 (CEN, 2008) και EN 1090-2 (CEN, 2008).

## 9.4 Ιδιότητες

### 9.4.1 Γενικά

Στα κλασικά σενάρια ανέγερσης κτιρίων με τη χρήση νέου χάλυβα, ο μηχανικός καθορίζει τα χαρακτηριστικά των υλικών που χρειάζονται βάσει των κατασκευαστικών και σχεδιαστικών απαιτήσεων. Αυτά τα χαρακτηριστικά πρέπει να επαληθευτούν κατά τη φάση κατασκευής, ώστε να είναι σίγουρο ότι η κατασκευή θα πραγματοποιηθεί βάσει του σχεδιασμού και ότι η ιδέα θα υλοποιηθεί όπως είχε αρχικά συλληφθεί. Παρ' όλα αυτά, όταν χρησιμοποιείται μεταχειρισμένος χάλυβας, η διαδικασία αντιστρέφεται. Οι ιδιότητες των ήδη υπαρχόντων μελών πρέπει να ελεγχθούν για το αν είναι κατάλληλες και επαρκείς για επανάχρηση. Αυτό σημαίνει ότι ο σχεδιασμός βασίζεται στην προσαρμογή στις ιδιότητες του ανακτημένου χάλυβα, αντίθετα με τον κλασικό σχεδιασμό, όπου οι ιδιότητες των υλικών βασίζονται στο σχεδιασμό. Σε κάθε μία από τις δύο λογικές, στόχος είναι οι υποθέσεις που γίνονται στο σχεδιασμό να ταιριάζουν με τις πραγματικές ιδιότητες των υλικών.

### 9.4.2 Ιδιότητες που πρέπει να καθορισθούν

Το EN 1090-2 (CEN, 2008) επιτρέπει τη χρήση νέων μελών στις κατασκευές, βάσει της παραγράφου 5.1. Το ανακτημένο υλικό, όμως, πρέπει να αντιμετωπίζεται διαφορετικά, αφού μπορεί να έχει παραχθεί σύμφωνα με παλαιά πρότυπα, τα οποία αρκετές φορές ενδέχεται να έχουν αποσυρθεί, οπότε είναι σχεδόν απίθανο να υπάρχουν καταγεγραμμένα αποτελέσματα δοκιμών από την παραγωγή τους. Το EN 1090-2 (CEN, 2008) επιτρέπει τη χρήση και άλλων υλικών, βάσει της 5.1.: «Αν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν προϊόντα τα οποία δεν καλύπτονται από τα πρότυπα, πρέπει να καθορισθούν οι ιδιότητές τους.» Οι ιδιότητες αυτές είναι οι παρακάτω και φαίνονται και στον Πίνακα 7:

- Αντοχή (πχ αντοχή διαρροής, εφελκυστική αντοχή)
- Πλαστιμότητα
- Ανοχές στις διαστάσεις και στο σχήμα
- Η κατάσταση που έχουν ύστερα από θερμική επεξεργασία

Αν ο χάλυβας, επιπρόσθετα, πρόκειται να συγκολληθεί, η συγκολλησιμότητά του θα πρέπει να καθορίζεται βάσει των παρακάτω:

1. Κατηγοριοποίηση βάσει του συστήματος κατηγοριοποίησης υλικών, όπως ορίζεται στο CEN ISO/TR 15608 (CEN, 2000).
2. Ένα μέγιστο όριο για τον ισοδύναμο άνθρακα του χάλυβα.
3. Μία διακήρυξη της χημικής σύστασής του με επαρκή λεπτομέρεια, ώστε να μπορεί να υπολογισθεί το ανθρακικό του ισοδύναμο.

Δεν υπάρχει διαφοροποίηση στις διαδικασίες, στα πρότυπα ή στις ανοχές κατά τη χρήση νέου ή επαναχρησιμοποιούμενου χάλυβα. Επομένως, ο τελευταίος μπορεί να πιστοποιηθεί βάσει του EN 1090 (CEN, 2008).

Πίνακας 7 Ιδιότητες υλικών που πρέπει να καθορισθούν και να διακηρυχθούν για τον ανακτημένο χάλυβα

Item	Property	To be declared	Procedure
a)	Strength (yield and tensile)	Yes	Determined by destructive and non-destructive tests.
b)	Elongation	Yes	Determined by destructive tests.
c)	Stress reduction of area requirements (STRA)	If required	Generally not required to be declared.
d)	Tolerances on dimensions and shape	Yes	Based on dimensional survey.
e)	Impact strength or toughness	If required	If required, determined by destructive tests. Conservative assumption as the default.
f)	Heat treatment delivery condition	Yes	Conservative assumption as the default.
g)	Through thickness requirements (Z-quality)	If required	Generally not required to be declared.
h)	Limits on internal discontinuities or cracks in zones to be welded	If required	Generally not required to be declared.
In addition, if the steel is to be welded, its weldability shall be declared as follows:			
i)	Classification in accordance with the materials grouping system defined in CEN ISO/TR 15608, or		Not applicable for reclaimed steelwork.
j)	A maximum limit for the carbon equivalent of the steel, or;	Yes	Maximum to be declared from manufacturer's test certificates.
k)	A declaration of its chemical composition in sufficient detail for its carbon equivalent to be calculated		Determined by non-destructive and destructive tests.

Πηγή: EN 1090-2 (CEN, 2008) μέσω SCI (2019) και PROGRESS (2020)

### 9.4.3 Σχολιασμός Ιδιοτήτων

#### 9.4.3.I Αντοχή

Η αντοχή διαρροής και η εφελκυστική αντοχή πρέπει να καθορίζονται από καταστροφικές -και μη- δοκιμές. Η χρήση των τελευταίων περιορίζεται στον καθορισμό του βαθμού (δηλαδή της ποιότητας) του χάλυβα. Οι κηρυγμένες αντοχές διαρροής και αστοχίας θα πρέπει να είναι αυτές που καθορίζονται από τα πρότυπα των προϊόντων για τον εκάστοτε βαθμό, και όχι αυτές που προκύπτουν από τις δοκιμές. Επειδή ο χάλυβας που λαμβάνεται αφορά κατασκευές μετά το 1970, οι τιμές των προτύπων θεωρούνται αξιόπιστες.

Τα μη καταστροφικά τεστ χρησιμοποιούνται επίσης, προκειμένου να προσδιορισθούν ασυνέχειες ή ανωμαλίες μεταξύ των μελών ενός γκρουπ (ομάδας): Τα μέλη ενός γκρουπ θεωρητικά έχουν το ίδιο μέγεθος, λειτουργία, μορφή, προέρχονται από το ίδιο κτίριο, και η συνολική τους μάζα είναι λιγότερη από 20 τόνους (βάσει SCI, 2019).

Τα καταστροφικά τεστ χρησιμοποιούνται, ώστε να προσδιορισθεί η αντοχή διαρροής και αστοχίας ενός ή περισσότερων αντιπροσωπευτικών δειγμάτων του γκρουπ και να επιβεβαιωθεί ότι έχει προσδιορισθεί ο σωστός βαθμός των υλικών.

#### 9.4.3.II Πλαστιμότητα/Επιμήκυνση

Η επανάχρηση υλικών χάλυβα περιορίζεται σε εφαρμογές όπου δεν απαιτείται σημαντική πλαστιμότητα (ΚΠ1 - Χαμηλή) και για το λόγο αυτό, δεν προτείνεται πλαστική ανάλυση στις

κατασκευές με επαναχρησιμοποιούμενα μέλη. Επιπλέον, ο χάλυβας που επαναχρησιμοποιείται πρέπει να είναι σχετικά «μοντέρνος» (μετά το 1970). Οπότε οι απαιτήσεις όσον αφορά την επιμήκυνση είναι επίσης περιορισμένες, και συνήθως καλύπτονται από τον ανακτημένο χάλυβα. Η ελάχιστη επιμήκυνση πρέπει να λαμβάνεται ως 15%, και όχι από τα πρότυπα των προϊόντων. Η επιμήκυνση πρέπει να καθορίζεται βάσει της παραγράφου 5.1 του EN 1090-2 (CEN, [2008](#)) και μέσω καταστροφικών εφελκυστικών δοκιμών.

#### **9.4.3.III Ανοχές στις διαστάσεις και το σχήμα**

Ένας άλλος έλεγχος που πρέπει να πραγματοποιείται είναι αυτός των γεωμετρικών ανοχών.

Πίνακας 8 Διαστάσεις και ανοχές για το δομικό χάλυβα και αντίστοιχα πρότυπα

Products	Dimensions	Tolerances
I and H sections	EN 10365 <sup>[4]</sup>	EN 10034 <sup>[5]</sup>
Hot-rolled taper flange I sections	EN 10365	EN 10024 <sup>[6]</sup>
Channels	EN 10365	EN 10279 <sup>[7]</sup>
Equal and unequal leg angles	EN 10056-1 <sup>[8]</sup>	EN 10056-2 <sup>[9]</sup>
T Sections	EN 10055 <sup>[10]</sup>	EN 10055
Plates, flats, wide flats	-	EN 10029 <sup>[11]</sup> EN 10051 <sup>[12]</sup>
Bars and rods	EN 10017 <sup>[13]</sup> , EN 10058 <sup>[14]</sup> , EN 10059 <sup>[15]</sup> , EN 10060 <sup>[16]</sup> , EN 10061 <sup>[17]</sup>	EN 10017, EN 10058, EN 10059, EN 10060, EN 10061
Hot finished hollow sections	EN 10210-2 <sup>[18]</sup>	EN 10210-2
Cold formed hollow sections	EN 10219-2 <sup>[19]</sup>	EN 10219-2
Fabricated profiles and member bow imperfections	EN 1090-2	EN 1090-2

Πηγή: Steel Construction Institute ([2019](#)), Provisions for Greater Reuse of Steel Structures ([2020](#))

#### **9.4.3.IV Θερμική επεξεργασία κοίλων διατομών**

Οι κοίλες διατομές είναι είτε ψυχρής έλασης - EN 10219 (CEN, [2006](#)) είτε θερμής - EN 10210 (CEN, [2006](#)). Συντηρητικά, προτείνεται όλες οι ανακτημένες κοίλες διατομές να θεωρούνται ως ψυχρής έλασης βάσει EN 10219 (CEN, [2006](#)).

#### **9.4.3.V Καθορισμός χημικής σύστασης**

Η χημική σύσταση είναι σημαντική, ώστε να καθορισθούν η αντοχή και ιδιαίτερα η συγκολλησιμότητα του χάλυβα. Ο υπεύθυνος διαχείρισης των μελών πρέπει να παρέχει μία διακήρυξη της χημικής σύστασης, βασισμένη σε καταστροφικά -και μη- τεστ. Η διακήρυξη αυτή πρέπει να περιέχει μετρήσεις συγκεκριμένων χημικών στοιχείων σύμφωνα με το σχετικό πρότυπο. Έτσι, θα μπορεί να υπολογιστεί το ανθρακικό ισοδύναμο ("Carbon Equivalent Value" - CEV), που είναι καθοριστικό για τη μέτρηση της συγκολλησιμότητας.

## **9.5 Προτάσεις σχεδιασμού**

### **9.5.1 Εύρος Εφαρμογών**

Τα πρωτόκολλα δημιουργήθηκαν, ώστε ο χάλυβας να χρησιμοποιείται εκ νέου για Κατηγορίες Επιπτώσεων CC1, CC2 και CC3. Όταν, ωστόσο, γίνεται λόγος για κατηγορία CC3, τότε απαιτείται να καλύπτονται πρόσθετες προϋποθέσεις για τις δοκιμές και τους ελέγχους καθορισμού των ιδιοτήτων των υλικών.



### 9.5.2 Πλαστιμότητα και παραμένουσες παραμορφώσεις

Οι περιορισμοί στο λόγο της αντοχής διαρροής ( $f_y$ ) προς την οριακή αντοχή ( $f_u$ ), καθώς και η ελάχιστη επιμήκυνση για την ελαστική ανάλυση δίνονται στο Εθνικό Προσάρτημα του EN 1993-1-1 (ΕΛΟΤ, 2009). Προσεκτική οπτική επιθεώρηση κάθε ανακτημένου μέλους και καθορισμός των [γεωμετρικών ανοχών του](#) πρέπει να διασφαλίζουν ότι το μέλος δεν έχει υποστεί πλαστικές παραμορφώσεις και επομένως τα αποθέματά του για πλαστιμότητα είναι τα ίδια με αυτά ενός νέου χάλυβα (δηλαδή ότι ουσιαστικά βρίσκονται εντός της «ελαστικής περιοχής»).

### 9.5.3 Αντοχή διατομής

Ο ανακτημένος χάλυβας, βάσει και των παραπάνω, αναμένεται να έχει τα ίδια περιθώρια πλαστιμότητας όπως ένας νέος χάλυβας, οπότε μπορεί να χρησιμοποιείται η πλαστική αντοχή της διατομής, για παράδειγμα, σε κάμψη ή σε διάτμηση. Οι αντοχές που βρίσκονται στο EN 1993-1-1 (CEN, 2005) θα πρέπει να χρησιμοποιούνται.

Για την αντοχή διατομής, το Εθνικό Προσάρτημα (ΕΛΟΤ, 2009) πρότείνει ότι οι τιμές των  $\gamma_{M0}$  και  $\gamma_{M2}$  πρέπει να χρησιμοποιούνται για χάλυβα χρησιμοποιημένο μετά το 1970, κάτι το οποίο συμβαδίζει με το πρωτόκολλο που μελετάται. Περαιτέρω οδηγίες παρατίθενται στο [9.11 Συντελεστές Ασφαλείας](#).

### 9.5.4 Αντοχή σε λυγισμό

Ένας τροποποιημένος  $\gamma_{M1,mod}=1,15*\gamma_{M1}$  προτείνεται, αντικατοπτρίζοντας έτσι την αβεβαιότητα που υφίσταται γύρω από την επανάχρηση.

Για «νέο» χάλυβα, ο οποίος έχει προέλθει από κάποια εφαρμογή που εν τέλει δεν τελεσφόρησε και δεν έγινε ποτέ η τελική ανέγερση, και ο οποίος έχει τις απαραίτητες πιστοποιήσεις, πρέπει να χρησιμοποιείται η υπάρχουσα τιμή του  $\gamma_{M1}$  από το Εθνικό Προσάρτημα του EN 1993-1-1 (ΕΛΟΤ, 2009). Το αντίστοιχο του Ηνωμένου Βασιλείου (British Standards Institution, 2008) προτείνει  $\gamma_{M1} = 1.00$ .

## 9.6 Σχεδιασμός Συνδέσεων

Εάν απαιτούνται συγκολλήσεις στα μεταχειρισμένα μέλη, τότε χρειάζεται η τιμή ισοδύναμου άνθρακα (CEV – “Carbon Equivalent Value”), ώστε να γίνουν οι απαραίτητες διαδικασίες. Η χημική σύσταση των μελών αποτελεί προϊόν υποχρεωτικού καθορισμού και διακήρυξης σύμφωνα με την παράγραφο 5.1 (“their properties shall be specified”) του EN 1090-2 (CEN, 2008). Η κηρυγμένη CEV πρέπει να είναι η μέγιστη τιμή καθορισμένη από καταστροφικά -και μη- [ΤΕΣΤ](#). Μία υψηλή τιμή CEV δεν είναι γενικώς επικίνδυνη, εκτός αν το συσσωρευμένο πάχος του κόμβου (συνολικό πάχος όλων των μελών που συντρέχουν) είναι μεγάλο, οπότε είναι πιο ευαίσθητο σε ρωγμές και άρα απαιτεί πιο προσεκτικές διαδικασίες συγκόλλησης.

Αν πρόκειται να επαναχρησιμοποιηθούν συνδέσεις, μπορεί να υποτεθεί ότι η αντοχή του υλικού συγκόλλησης είναι τουλάχιστον ίση με τα μέλη τα οποία συγκολλά. Όλες οι συνδέσεις που πρόκειται να ξανά χρησιμοποιηθούν προτείνεται να επιθεωρούνται και να ελέγχονται προσεκτικά.

## 9.7 Αποτίμηση των ανακτημένων μελών

### 9.7.1 Συλλογή αρχικών δεδομένων

Πριν την αποσυναρμολόγηση και ανάκτηση του χάλυβα, πρέπει να συλλεχθούν και να καταγραφούν τα παρακάτω δεδομένα από την υπάρχουσα (πρώην) κατασκευή:

- Μία περιγραφή της κατασκευής, της τοποθεσίας, της ημερομηνίας ανέγερσης (μετά το 1970) και της χρήσης της. Θα πρέπει να συμπεριλαμβάνεται και μία περιγραφή της στατικής επάρκειας του κτιρίου.
- Η ηλικία της κατασκευής.
- Μια προκαταρκτική λίστα με τα μέλη.
- Οποιαδήποτε πληροφορία υπάρχει για την πλαστιμότητα των μελών

### 9.7.2 Κριτήρια επιλογής μελών

Προτείνεται να πραγματοποιούνται/ελέγχονται τα παρακάτω κατά την επιλογή μελών για επαναχρησιμοποίηση:

- Μία προσεκτική προκαταρκτική επιθεώρηση όλων των μελών για ζημιές ή διαβρώσεις.
- Αναζήτηση επικαλύψεων που περιέχουν τοξικές ουσίες, όπως αμιάντος, μόλυβδος, κάδμιο
- Τα μέλη δεν πρέπει να έχουν οπές σε μέρη, όπου αναμένεται να τοποθετηθούν κοχλίες.
- Να εξακριβώνεται η τήρηση των ανοχών για τα μέλη με διατομές H ή I (ως στον Πίνακα 8).
- Για κοίλες διατομές, οι αντίστοιχες ανοχές φαίνονται στον EN 10219-2 (CEN, 2019).
- Τα μέλη θα πρέπει να μπορούν να αποσυναρμολογηθούν με τον ίδιο τρόπο με τον οποίο έγινε η ανέγερση του κτιρίου.
- Τα μέλη, η επισκευή και τροποποίηση των οποίων είναι υψηλού οικονομικού κόστους, θα πρέπει να μετατρέπονται σε σκραπ.
- Τα μέλη θα πρέπει να αποθηκεύονται και να μεταφέρονται με ασφαλή τρόπο, ώστε να αποκλείονται ενδεχόμενα μόνιμης παραμόρφωσης ή επιφανειακής ζημιάς. Μέλη τα οποία έχουν αποθηκευτεί με τέτοιο τρόπο ή για τόσο χρονικό διάστημα, που να έχουν οδηγηθεί σε σημαντική υποβάθμιση, πρέπει να ελέγχονται πριν την εκ νέου χρήση τους.
- Όλες οι συγκολλήσεις θα πρέπει να επιθεωρούνται οπτικά καθ' όλο το μήκος τους. Εάν εντοπισθούν ατέλειες, τότε πρέπει να ακολουθήσουν άλλοι έλεγχοι (μη καταστροφικοί).

### 9.7.3 Απαραίτητες επιθεωρήσεις

Αφότου ανακτηθούν τα υλικά και πωληθούν στον υπεύθυνο για τη διαχείριση και αποθήκευσή τους, ο τελευταίος έχει την υποχρέωση να επιθεωρήσει όλα τα μέλη και να καταγράψει τα παρακάτω:

- Διαστάσεις (διατομή και μήκος).
- Ανοχές.
- Κάθε σημαντική απώλεια διατομής.
- Σημάδια ζημιάς, ρωγμής ή πλαστικής παραμόρφωσης.

## 9.8 Υποχρεώσεις του υπευθύνου οργανισμού διαχείρισης

### 9.8.1 Κατηγοριοποίηση μελών

Όλα τα μέλη πρέπει να υπάγονται σε διαφορετικά γκρουπ (ομάδες), βάσει των παρακάτω:

- Χάλυβας κατασκευής μετά το 1970.
- Ίδιο μέγεθος.
- Ίδια δομική λειτουργία, δηλαδή κολώνες, κύριες δοκοί, τεγίδες.
- Ομοιότητες σε λεπτομέρειες όπως μήκος, συνδέσεις, κλπ.

Εάν δύο υλικά έχουν παραχθεί βάσει διαφορετικών προτύπων, τότε δεν μπορούν να είναι στο ίδιο γκρουπ. Επίσης, τα μέλη ενός γκρουπ πρέπει να ζυγίζουν συνολικά -το μέγιστο- 20



τόνους. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να καθορίζονται οι ιδιότητες των μελών του εκάστοτε γκρουπ, βάσει δοκιμών και ελέγχων ενός ή περισσότερων μελών που ανήκουν σε αυτό.

### 9.8.2 Καταγραφές

Πρέπει να υπάρχουν καταγραφές για κάθε γκρουπ ανακτημένων χαλύβδινων μελών, συμπεριλαμβανομένων των παρακάτω:

- Λεπτομέρειες για την πηγάζουσα κατασκευή.
- Μοναδική ταυτοποίηση του γκρουπ στο οποίο ανήκουν τα μέλη.
- Μοναδική ταυτοποίηση κάθε μέλους εντός του γκρουπ.
- Καταγραφές ύστερα από επιθεώρηση, όπως ανοχές στις διατομές ή τα βέλη των μελών.
- Τεστ σκληρότητας και συνεπαγόμενος βαθμός υλικού για κάθε μέλος.
- Αποτελέσματα καταστροφικών εφελκυστικών τεστ για τον προσδιορισμό αντοχής διαρροής, οριακής αντοχής και επιμήκυνσης.
- Καταστροφικά -και μη- τεστ για την εύρεση του CEV.
- Οποιαδήποτε ιδιότητα έχει υποτεθεί από το μηχανικό, όπως η κατάσταση ύστερα από θερμική επεξεργασία.

### 9.8.3 Διακηρύξεις

Κάθε μέλος που διανέμεται στην αγορά, πρέπει να συνοδεύεται από μία επίσημη διακήρυξη, που να ακολουθεί τον οδηγό του EN 1090-2 (CEN, 2008). Πρέπει να ξεκαθαρίζονται ποιες ιδιότητες έχουν υποτεθεί από το σχεδιαστή και ποιες έχουν προκύψει ύστερα από δοκιμές.

## 9.9 Δοκιμές

Στα πρωτόκολλα προτείνεται να ελέγχεται με μη καταστροφικές δοκιμές το 100% των ανακτημένων μελών σε συνδυασμό με στατιστικές -ή μη- δοκιμές. Ο μη καταστροφικός έλεγχος όλων των μελών βεβαιώνει ότι ένα γκρουπ στοιχείων μπορεί να αντιπροσωπεύεται στα καταστροφικά τεστ από ένα ή παραπάνω μέλη αυτού.

Οι μη στατιστικές δοκιμές απαιτούν μόλις ένα καταστροφικό τεστ σε ένα τυχαίο μέλος από κάθε γκρουπ, ώστε να επαληθευτούν τα αποτελέσματα από τα μη καταστροφικά τεστ. Οι μη στατιστικές δοκιμές προτείνονται σε κατασκευές σχεδιασμένες για Κατηγορία Επιπτώσεων CC1 και CC2 και είναι ισοδύναμες με τις αντίστοιχες προϋποθέσεις των Προτύπων για το νέο χάλυβα.

Οι στατιστικές δοκιμές, αντίθετα, απαιτούν περισσότερα καταστροφικά τεστ, προκειμένου να καθιερωθούν τα χαρακτηριστικά των υλικών βάσει του EN 1990 (CEN, 2002), και προτείνονται για κατασκευές σχεδιασμένες με Κατηγορία επιπτώσεων 3 (CC3), ή όταν η προέλευση ή η ποιότητα της αρχικής πηγής του υλικού είναι αναξιόπιστη. Οι στατιστικές δοκιμές υπερκαλύπτουν τις προϋποθέσεις των Προτύπων για το νέο χάλυβα.

Πίνακας 9 Πρόταση προσέγγισης δοκιμών για τις αντοχές, την επιμήκυνση, τη χημική σύσταση ανάλογα με την Κατηγορία Επιπτώσεων

Consequence class	NDT	Minimum number of DT	Acceptance approach
CC1	All members to be subject to non-destructive tests to establish yield strength, ultimate strength and CEV	1	Non-statistical (maximum value of CEV)
CC2		1	Non-statistical (maximum value of CEV)
CC3		3	Statistical for yield strength, ultimate strength and elongation (maximum value of CEV)

Πηγή: PRovisions for Greater Reuse of Steel Structures (2020). DT = "Destructive Testing"

### 9.10 Υπάρχουσες επικαλύψεις στα μέλη

Στις περισσότερες περιπτώσεις, οποιαδήποτε προϋπάρχουσα επικάλυψη (πχ αντιδιαβρωτική στρώση προστασίας) θα πρέπει να αφαιρείται πριν την επανάχρηση. Η αρχική προστασία του επαναχρησιμοποιούμενου χάλυβα είναι πιθανό να θεωρηθεί άξια διατήρησης όταν όλη η κατασκευή αποσυναρμολογείται, μεταφέρεται και ανακατασκευάζεται, στην ίδια απaráλλαχτη μορφή.

Εάν μιλάμε για επανάχρηση χάλυβα με αντιδιαβρωτική προστασία, τα παρακάτω πρέπει να ληφθούν υπόψη:

- Η ήδη υπάρχουσα προστασία πιθανό να χρειαστεί επιδιορθώσεις ή ακόμη και εκ νέου εγκατάσταση, μετά την αποσυναρμολόγηση.
- Μπορεί να περιέχει τοξικές ουσίες, απαγορευτικές σύμφωνα με σύγχρονους κανονισμούς.
- Παρόλο που η προστασία όσον αφορά τα εσωτερικά μέλη μπορεί να είναι περισσότερο ανθεκτική από ό,τι αναμένεται, υπάρχει περίπτωση να είναι λιγότερο από ό,τι προβλέπεται από τη σύγχρονη νομοθεσία.

Οι επικαλύψεις που αφορούν στην αντιπυρική προστασία είναι πολύ ευαίσθητες στην υγρασία και ειδικά συνδεδεμένες με τα αρχικά μέλη. Για τους λόγους αυτούς, δεν πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σαν προστατευτικές στρώσεις.

### 9.11 Οπές κοχλιώσεων και συγκολλήσεις

Η επανάχρηση μελών με οπές που φιλοξενούσαν δομικούς κοχλίες επιτρέπεται εάν πληρούνται όλες οι γεωμετρικές και σχεδιαστικές προϋποθέσεις βάσει EN 1993-1-1 (CEN, 2005) και EN 1993-1-8 (CEN, 2005). Εάν, ωστόσο, βρίσκονται εντός της κρίσιμης διατομής και μειώνουν την τελευταία περισσότερο από 15%, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται οι ιδιότητες της καθαρής («net») διατομής. Επιπρόσθετα, προτείνεται να αποφεύγονται οι συνδέσεις σε απόσταση μικρότερη από 100 mm από υπάρχουσες οπές. Αν υπάρχουν μεγαλύτερες οπές, πχ ανοίγματα συντηρήσεως, αυτές θα πρέπει να αποτιμώνται κατά την επαλήθευση των μελών. Γενικά προτείνεται ότι ήδη υπάρχοντες νευρώσεις, οι οποίες δεν παίζουν κάποιο ρόλο στη δομική επάρκεια της νέας κατασκευής, δε χρειάζεται να απομακρύνονται. Εάν χρειαστεί να επαναχρησιμοποιηθεί οποιαδήποτε συγκόλληση, χρειάζεται ειδική μέριμνα, προσεκτικές επιθεωρήσεις, και έλεγχοι μέσω τεστ. Το EN 1090-2 (CEN, 2008) προτείνει να εφαρμόζεται οπτική επιθεώρηση για το 100% των συγκολλήσεων, όπως έχει ήδη αναφερθεί.

## 9.12 Δράσεις σχεδιασμού

Υπάρχει ένας συντελεστής  $K_{FI}$  με τον οποίο μπορούν να πολλαπλασιαστούν οι δράσεις σχεδιασμού ανάλογα με τα έτη ζωής του κτιρίου (πχ 15-30 έτη):

Πίνακας 10 Τιμές σχεδιασμού

CC/RC	Persistent and transient design situations	Permanent actions		Leading variable action	Accompanying variable actions ( $i > 1$ )
		Unfavourable	Favourable		
1 ( $K_{FI} = 0.9$ )	<b>Eq. 6.10</b>	<b>1.215 <math>G_{k,j,sup}</math></b>	<b>1.0 <math>G_{k,j,inf}</math></b>	<b>1.35 <math>Q_{k,1}</math></b>	<b>1.35 <math>\psi_{0,i} Q_{k,i}</math></b>
	Eq. 6.10a	1.215 $G_{k,j,sup}$	1.0 $G_{k,j,inf}$	1.35 $\psi_{0,1} Q_{k,1}$	1.35 $\psi_{0,i} Q_{k,i}$
	Eq. 6.10b	$\xi \times 1.215 G_{k,j,sup}$	1.0 $G_{k,j,inf}$	1.35 $Q_{k,1}$	1.35 $\psi_{0,i} Q_{k,i}$
2 ( $K_{FI} = 1.0$ )	Eq. 6.10	1.35 $G_{k,j,sup}$	1.0 $G_{k,j,inf}$	1.5 $Q_{k,1}$	1.5 $\psi_{0,i} Q_{k,i}$
	Eq. 6.10a	1.35 $G_{k,j,sup}$	1.0 $G_{k,j,inf}$	1.5 $\psi_{0,1} Q_{k,1}$	1.5 $\psi_{0,i} Q_{k,i}$
	Eq. 6.10b	$\xi \times 1.35 G_{k,j,sup}$	1.0 $G_{k,j,inf}$	1.5 $Q_{k,1}$	1.5 $\psi_{0,i} Q_{k,i}$
3 ( $K_{FI} = 1.1$ )	Eq. 6.10	1.5 $G_{k,j,sup}$	1.0 $G_{k,j,inf}$	1.65 $Q_{k,1}$	1.65 $\psi_{0,i} Q_{k,i}$
	Eq. 6.10a	1.5 $G_{k,j,sup}$	1.0 $G_{k,j,inf}$	1.65 $\psi_{0,1} Q_{k,1}$	1.65 $\psi_{0,i} Q_{k,i}$
	Eq. 6.10b	$\xi \times 1.5 G_{k,j,sup}$	1.0 $G_{k,j,inf}$	1.65 $Q_{k,1}$	1.65 $\psi_{0,i} Q_{k,i}$

Πηγή: EN 1990 (CEN, 2002), PROGRESS (2020)

Ωστόσο, οι συντελεστές αυτοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν μονάχα σε ήδη υπάρχοντα κτίρια («επί τω πεδίω επαναχρησιμοποίηση») και σε περιπτώσεις όπου ένα κτίριο απλά μεταφέρεται σε νέα τοποθεσία. Στις περιπτώσεις που σχεδιάζεται ένα νέο κτίριο (ακόμη και με μεταχειρισμένα μέλη), χρησιμοποιούνται οι βασικές αρχές σχεδιασμού.

Εάν κατά το σχεδιασμό ενός κτιρίου, καταπονούμενου από σεισμικές δράσεις, υιοθετηθεί Χαμηλή Κατηγορία Πλαστιμότητας (ΚΠ1), τότε δεν υπάρχει πρόβλημα στη χρήση μεταχειρισμένων μελών, εφόσον χρησιμοποιηθεί ένας προτεινόμενος συντελεστής συμπεριφοράς  $q = 1$ .

Αξίζει να σημειωθεί ότι τόσο η πλαστιμότητα όσο και ο συντελεστής συμπεριφοράς αποτελούν θέματα περαιτέρω μελλοντικής διερεύνησης. Προς το παρόν, τα επαναχρησιμοποιούμενα μέλη είναι προτιμότερο να εισάγονται σε κτίρια και θέσεις, όπου δεν προσδοκάται απορρόφηση σεισμικής ενέργειας.

Ο υπολογισμός κατακόρυφων και οριζόντιων παραμορφώσεων βασίζεται στον EN 1990 (CEN, 2002). Τα παρακάτω χρησιμοποιούνται συνήθως στην Ευρώπη:

- Κατακόρυφες παραμορφώσεις (για δοκούς): L/180 έως L/250 (L είναι το άνοιγμα της δοκού)
- Οριζόντιες παραμορφώσεις: H/150 έως H/300 (H είναι το ύψος του κτιρίου στην εκάστοτε θέση), για όγκιμα και ψαθυρά υλικά, αντίστοιχα.

## 9.13 Συντελεστές ασφαλείας

### 9.13.1 Γενικά

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εδραίωση των συντελεστών των υλικών του Ευρωκώδικα καθορίστηκαν από αποτελέσματα δοκιμών υλικών που διενεργήθηκαν μεταξύ 1969 και 1989. Στο ENV 1993-1-1 (CEN, 2005) αρχικά προτάθηκε μία τιμή  $\gamma_{M1} = 1,10$ , με αντίστοιχες τιμές  $\gamma_{M0} = 1,00$  για κάμψη περί τον κύριο άξονα και  $\gamma_{M0} = 1,10$  για κάμψη περί τον ασθενή άξονα. Η συμπερίληψη στην εκτίμηση των καμπύλων του Στρεπτοκαμπτικού Λυγισμού επέτρεψαν τη μείωση από  $\gamma_{M1} = 1,10$  σε  $\gamma_{M1} = 1,00$ . Αργότερα, προτάθηκε ότι, λαμβάνοντας υπόψη την σκλήρυνση που επιδέχεται το υλικό λόγω παραμορφώσεως, είναι

πιθανή η μεταβολή του  $\gamma_{M0}$  σε 1,00 για κάμψη και περί τους 2 άξονες. Αυτός είναι και ο συντελεστής ασφαλείας των υλικών που προτείνεται πλέον από τον Ευρωκώδικα.

### 9.13.2 Η τιμή του $\gamma_{M1}$

Η αντοχή σε λυγισμό ενός μέλους βασίζεται στην αντοχή σχεδιασμού, τις ιδιότητες της διατομής του και στην επιλογή της καμπύλης λυγισμού. Η τελευταία είναι συνυφασμένη με μία αρχική ατέλεια, η οποία συνυπολογίζει αρκετούς παράγοντες, όπως μη κανονικότητες, εναπομένουσες από τη διαδικασία παραγωγής παραμορφώσεις, ποικιλίες στις διαστάσεις της διατομής, κλπ.

Οι προτεινόμενες, σε αυτά τα πρωτόκολλα, διαδικασίες σκοπεύουν να εξακριβώσουν ότι η αντοχή σχεδιασμού που λαμβάνεται είναι συντηρητική. Όλα τα μέλη πρέπει να βρίσκονται εντός των ορίων που ορίζονται στο EN 1090-2 (CEN, 2008), ώστε η επιλογή της καμπύλης λυγισμού να είναι η ίδια και για τα νέα, αλλά και για τα μεταχειρισμένα μέλη.

Παρ' όλ' αυτά, επικρατεί αβεβαιότητα γύρω από τη χρήση του ανακτημένου υλικού. Λόγω των φαινομένων δευτέρας τάξης, στα οποία μπορεί να υπόκειται κάποιο μέλος της παλιάς κατασκευής, ενδέχεται να του προκληθούν ατέλειες (μέλους ή διατομής), που θα συντελέσουν στη μείωση της αντοχής του.

Ακόμα και αν ικανοποιηθούν όλα τα γεωμετρικά όρια, θα παραμένει υπαρκτή η αβεβαιότητα, αφού οι διαδικασίες αποτίμησης των χαρακτηριστικών του ανακτημένου υλικού είναι λιγότερο αξιόπιστες από αυτές που πραγματοποιούνται κατά την παραγωγή νέου. Για το λόγο αυτό, έχει προταθεί μία συντηρητική τιμή για το  $\gamma_{M1}$ : προτείνεται η ύπαρξη ενός συντελεστή τροποποίησης  $\gamma_{M1,mod}$  (για όλους τους βαθμούς του χάλυβα) και βασίζεται σε αρχές που υπάρχουν στο EN 1990 (CEN, 2002):

$$\text{Η τιμή του δίνεται ως } \gamma_{M1,mod} = K_{\gamma_{M1}} * \gamma_{M1} \quad (5)$$

όπου  $K_{\gamma_{M1}} = 1,15$

Το EN 1993-1-1 (CEN, 2006) προτείνει  $\gamma_{M1,mod} = 1,15$ .

Η υιοθέτηση του παραπάνω θα έχει επίδραση στο σχεδιασμό μελών, όπου ο λυγισμός είναι ο πιο κρίσιμος να καθορισθεί παράγοντας. Εάν η αντοχή σε λυγισμό ενός ανακτημένου μέλους ληφθεί η ίδια με την αρχική, και αυτό αναμένεται στη νέα κατασκευή να υποστεί φορτία που θα το οδηγήσουν σε λυγισμό, τότε ίσως είναι απαραίτητο να ληφθούν περαιτέρω μέτρα.

### 9.13.3 Οι τιμές των $\gamma_{M0}$ και $\gamma_{M2}$

Από τη στιγμή που ο ENV 1993-1-1 (CEN, 2005) είναι βασισμένος σε τεστ που έγιναν σε χάλυβα ο οποίος παρήχθη -το νωρίτερο- το 1969, είναι εύλογο να θεωρείται ότι δεν θα έπρεπε να υπάρχουν αμφιβολίες όσον αφορά την αντοχή της διατομής του ανακτημένου χάλυβα. Επομένως, δεν προτείνεται κάποια αλλαγή στις προτεινόμενες τιμές για τα  $\gamma_{M0}$  και  $\gamma_{M2}$  για την επικύρωση των διατομών βάσει EN 1993-1-1 (CEN, 2005). Η αντοχή της διατομής βασίζεται σε χαρακτηριστικά διαστάσεων και αντοχής του υλικού, τα οποία πρέπει να έχουν ήδη επιβεβαιωθεί για κάθε ανακτημένο μέλος.

## 9.14 Καταγραφές δεδομένων

Συγκεντρωτικά, τα παρακάτω δεδομένα πρέπει να καταγράφονται και να συσχετίζονται με κάθε δομικό μέλος.

- Πληροφορίες κατασκευής
  - Ηλικία κατασκευής, τοποθεσία.
  - Λειτουργία (πχ πλαισιακή, με συνδέσμους δυσκαμψίας).

- Οποιαδήποτε σχετική πληροφορία, όπως σχέδια, τροποποιήσεις σε σχέδια ή κανονισμούς, καταγραφές από το έργο.
- Μεμονωμένα μέλη
  - Μέγεθος διατομής
  - Μήκος
  - Ομάδα (Γκρουπ)
  - Ταυτοποίηση Μέλους
  - Έλεγχος ανοχών (διαστάσεις διατομής και βέλη)
  - Νευρώσεις
  - Επικαλύψεις (τύπος και πάχος, κατάσταση)
  - Χαρακτηριστικά υλικού

Συγκεντρωτικά, οι ιδιότητες και τα αντίστοιχα τεστ που πρέπει να καθορίζονται είναι:

- Οριακή αντοχή και αντοχή διαρροής (μη καταστροφικά και καταστροφικά τεστ),
- Επιμήκυνση-Πλαστιμότητα (καταστροφικά τεστ),
- Χημική σύσταση (μη καταστροφικά και καταστροφικά τεστ)

## 9.15 Αντοχές και επιμηκύνσεις

### 9.15.1 Αντοχή και Βαθμός χάλυβα

Τα αποτελέσματα από τα καταστροφικά -και μη- τεστ θα πρέπει να συγκρίνονται με αυτά του Πίνακα 11, προκειμένου να προσδιορίζεται ο βαθμός (δηλαδή η ποιότητα) του χάλυβα. Η ονομαστική αντοχή διαρροής πρέπει να είναι εντός του εύρους των 235 N/mm<sup>2</sup> και 460 N/mm<sup>2</sup> και η ελάχιστη εφελκυστική μεταξύ 360 N/mm<sup>2</sup> και 550 N/mm<sup>2</sup>. Ο λόγος  $\frac{f_u}{f_y}$  πρέπει να είναι μεγαλύτερος του 1,1 και η επιμήκυνση στην αστοχία μεγαλύτερη από 15%.

Πίνακας 11 Καθορισμός βαθμού χάλυβα από τα αποτελέσματα των τεστ

Steel grade	Yield strength (N/mm <sup>2</sup> )		Ultimate strength (N/mm <sup>2</sup> )		$\frac{f_y}{f_u}$ mean	Standard
	Minimum	Mean	Minimum	Mean		
S235	267	293	397	432	1.47	EN 10025-2; EN 10219
S275	313	343	452	492	1.43	EN 10025-2; EN 10219
S355	391	426	505	540	1.26	EN 10025-2; EN 10219
S460	490	529	560	595	1.12	EN 10025-3/4; EN 10219

Πηγή: SAFEBRICTILE (2017), SCI (2019)

Οι τιμές του Πίνακα είναι αξιόπιστες για χάλυβα πάχους μεταξύ 3 mm και 60 mm. Κάθε μέλος του γκρουπ πρέπει να συμφωνεί με το ελάχιστο όριο αντοχής και διαρροής του Πίνακα, προκειμένου να ληφθεί ο αντίστοιχος βαθμός για το γκρουπ.

### 9.15.2 Μη καταστροφικά τεστ σκληρότητας

Κάθε ανακτημένο μέλος πρέπει να υπάγεται σε ένα μη καταστροφικό τεστ σκληρότητας, ώστε να καθορίζεται μία τιμή για την οριακή αντοχή και την αντοχή διαρροής του (και πρωτίστως την ποιότητά του). Υπάρχει μία σχέση μεταξύ της μετρημένης σκληρότητας και της αντοχής,

η οποία θεωρείται αρκετά επαρκής στον καθορισμό του βαθμού του υλικού. Η σχέση αυτή εξαρτάται από τον τύπο του τεστ που πραγματοποιείται.

Το τεστ σκληρότητας πρέπει να πραγματοποιείται στα πέλματα των ανακτημένων μελών, σε σημεία που οι τάσεις είναι οι μικρότερες. Για αμφιαρθρωτές δοκούς, σημεία κοντά στο τέλος του μέλους είναι προτιμητέα. Οποιαδήποτε επικάλυψη ή άλλη στρώση υπάρχει στην περιοχή πρέπει επίσης να ελέγχεται. Η σκληρότητα του μέλους θα πρέπει να λαμβάνεται ως ο Μέσος Όρος τριών μετρήσεων στην ίδια τοποθεσία. Αποτελέσματα από κάθε μέλος του γκρουπ θα πρέπει να λαμβάνονται σύμφωνα με τον EN 1990 (CEN, 2002), ώστε να αποφαινεται η αντιπροσωπευτική τιμή ολόκληρου του γκρουπ. Όταν καθορίζεται η τιμή της σκληρότητας για το γκρουπ, τότε οι αντοχές θα πρέπει να υπολογίζονται και να συγκρίνονται με τις τιμές του Πίνακα 11, ώστε να προκύπτει και ο βαθμός του χάλυβα του υλικού.

### 9.15.3 Αποτίμηση των αποτελεσμάτων των τεστ σκληρότητας

Η σκληρότητα ενός μέλους θα πρέπει να καθορίζεται από 3 μετρήσεις, όπως προαναφέρθηκε, και ως ο Μέσος Όρος αυτών. Εάν η μέση τιμή ενός μέλους διαφέρει περισσότερο από 10% από τη μέση τιμή των υπόλοιπων μελών του γκρουπ, αυτό δε θα λαμβάνεται υπόψιν ως στοιχείο του γκρουπ.

Η χαρακτηριστική τιμή της σκληρότητας  $H_v$  ολόκληρου του γκρουπ θα πρέπει να καθορίζεται χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 11 από το EN 1990 (CEN, 2002), υποθέτοντας το  $V_x$  ως άγνωστο και υπολογίζοντας την παρακάτω έκφραση:

$$H_v = m - k_n V_x \quad (6)$$

Όπου:

$H_v$  η χαρακτηριστική τιμή σκληρότητας του γκρουπ,

$m$  ο μέσος όρος του δείγματος (δηλαδή του γκρουπ),

$V_x$  η τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων

$k_n$  λαμβάνεται από τον Πίνακα 12 του EN 1990 (CEN, 2002) για  $V_x$  άγνωστη,

Πίνακας 12 Τιμές του  $k_n$  για τον αριθμό των μελών στο γκρουπ (για  $V_x$  άγνωστη)

Number of members in the group (n)	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	∞
$V_x$ unknown	-	-	3.37	2.63	2.33	2.18	2.00	1.92	1.76	1.73	1.64

Πηγή: CEN (2002)

### 9.15.4 Συσχέτιση μεταξύ σκληρότητας και αντοχής υλικού

Εάν έχει γίνει η δοκιμή σκληρότητας (Vickers Hardness Test) βάσει των παραπάνω, τότε μπορούν να καθορισθούν οι αντοχές του υλικού:

$$f_y = 2.70 * H_v - 71 \quad (7)$$

$$f_u = 2.50 * H_v + 100 \quad (8)$$

Όπου:

$H_v$  η χαρακτηριστική τιμή σκληρότητας του γκρουπ

$f_y$  η αντοχή διαρροής

$f_u$  η οριακή αντοχή



### 9.15.5 Παράδειγμα υπολογισμού

Έστω ότι 20 χαλύβδινα μέλη θεωρήθηκαν ως ένα γκρουπ. Κάθε ένα από αυτά πήρε μέρος σε ένα μη καταστροφικό τεστ σκληρότητας. Έγιναν 3 μετρήσεις για κάθε μέλος και μετρήθηκε ο Μέσος Όρος τους. Αυτός, στην προκειμένη περίπτωση ήταν 169,5 και η τυπική απόκλιση 5,06.

Βάσει των παραπάνω,  $n=20$  και  $k_n = 1,76$ . Επιπλέον, (6):  $H_v = 169,5 - 1,76 \cdot 5,06 = 160,6$ .

Τότε (7):  $f_y = 2,7 \cdot 160,6 - 71 = 362 \text{ MPa}$  και (8)  $f_u = 2,5 \cdot 160,6 + 100 = 502 \text{ MPa}$ .

Βάσει του Πίνακα 11, ο χάλυβας προσδιορίζεται ως S275, αφού η  $f_y$  είναι μεγαλύτερη από 313 MPa και η  $f_u$  μεγαλύτερη από 452 MPa.

## 9.16 Καταστροφικά τεστ εφελκυσμού: Μη στατιστικά και στατιστικά

### 9.16.1 Γενικές οδηγίες:

Το σημείο του μέλους από το οποίο θα λαμβάνονται τα δείγματα, πρέπει να επιλέγεται βάσει όσων αναγράφονται στα πρότυπα των προϊόντων. Το Παράρτημα A του EN 10025-1 (CEN, 2004) παρέχει καθοδήγηση για μέλη ψυχρής έλασης, ενώ το Παράρτημα C του EN 10219-1 (CEN, 2006) παρέχει καθοδήγηση για κοίλες διατομές.

Τα καταστροφικά τεστ εφελκυσμού καθορίζουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- αντοχή διαρροής,
- οριακή αντοχή,
- λόγος της οριακής αντοχής προς την αντοχή διαρροής, και
- επιμήκυνση κατά την αστοχία.

Η τελικώς καθορισμένη επιμήκυνση και οι αντοχές πρέπει να βασίζονται στα αποτελέσματα από τα καταστροφικά τεστ και όχι από τα μη καταστροφικά. Οι αντοχές πρέπει να συμφωνούν με τις αντοχές που δίνονται στο πρότυπο για τον εκάστοτε βαθμό χάλυβα (δηλαδή, επαλήθευση των τιμών μέσω των καταστροφικών τεστ).

### 9.16.2 Μη στατιστικές δοκιμές

Εκτός από τον μη καταστροφικό έλεγχο του 100% των μελών, πρέπει να γίνεται και ένας καταστροφικός σε ένα μέλος από κάθε γκρουπ, όπως έχει ήδη ειπωθεί. Λόγω του ότι γίνεται μόνο για ένα μέλος, η διαδικασία περιγράφεται ως «μη στατιστική» και προτείνεται για χάλυβα ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί σε κατασκευές κατηγορίας επιπτώσεων CC1 ή CC2.

### 9.16.3 Στατιστικές δοκιμές

Εάν ο ανακτημένος χάλυβας πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε κατασκευή κατηγορίας επιπτώσεων CC3, τότε χρειάζεται μία αυξημένη αξιοπιστία. Σε αυτήν την περίπτωση, οι μηχανικές ιδιότητες των χαλύβδινων μελών θα πρέπει να καθορίζονται αυξάνοντας τον αριθμό των καταστροφικών τεστ, βάσει EN 1990 (CEN, 2002).

Ελάχιστος απαιτούμενος αριθμός είναι αυτός των 3 μελών από ένα γκρουπ. Με την αύξηση των δοκιμών, θα αυξηθεί και η ακρίβεια των τιμών που προκύπτουν.

Οι χαρακτηριστικές τιμές των αντοχών (διαρροής και οριακών) για ολόκληρο το γκρουπ, θα πρέπει να καθορίζονται χρησιμοποιώντας τον Πίνακα 13 από το EN 1990 (CEN, 2002), υποθέτοντας το  $V_x$  ως γνωστό και υπολογίζοντας την παρακάτω έκφραση:

$$X_d = m - k_n V_x \quad (9)$$

όπου:

$X_d$  η χαρακτηριστική τιμή της αντοχής (διαρροής ή αντοχής),

$m$  ο μέσος όρος του δείγματος (δηλαδή του γκρουπ),

$V_x$  η τυπική απόκλιση των αποτελεσμάτων

$k_n$  λαμβάνεται από τον Πίνακα 13 του EN 1990 (CEN, 2002) για  $V_x$  γνωστή  
Πίνακας 13 Τιμές του  $k_n$  για τον αριθμό των τεστ (για  $V_x$  γνωστή)

Number of tests	1	2	3	4	5	6	8	10	20	30	$\infty$
$V_x$ known	-	-	1.89	1.83	1.80	1.77	1.74	1.72	1.68	1.67	1.64

Πηγή: CEN (2002)

### 9.17 Χημική Σύσταση

Η χημική σύσταση των μελών θα πρέπει να καθορίζεται βάσει καταστροφικών -και μη-δοκιμών, έτσι ώστε το CEV ("Carbon Equivalent Value") να υπολογίζεται βάσει EN 10025-1 (CEN, 2004) ή EN 10219-1 (CEN, 2006). Η τελική CEV τιμή θα είναι η μέγιστη από όλα τα τεστ, καταστροφικά και μη. Είναι αναγκαίο αυτή η διαδικασία να γίνει για όλα τα μέλη και εάν η υπολογισμένη περιεκτικότητα σε άνθρακα για ένα μέλος διαφέρει περισσότερο από 10% από τη μέση τιμή των υπόλοιπων μελών του γκρουπ, αυτό δε θα λαμβάνεται υπόψιν ως στοιχείο του γκρουπ.

### 9.18 Γεωμετρικές ανοχές

Οι διαστάσεις των διατομών όλων των μελών πρέπει να μετρούνται και να συμπεριλαμβάνονται στη διακήρυξη από τον υπεύθυνο για τη διαχείριση, τροποποίηση και αποθήκευση των μελών. Εάν αυτές βρεθούν εκτός των ορίων του αντίστοιχου προτύπου (Πίνακας 8), τότε οι διαστάσεις αυτές πρέπει να χρησιμοποιούνται, ώστε να καθορισθούν οι νέες ιδιότητες των υλικών.

Οι παραμορφώσεις πρέπει να ελέγχονται βάσει των αποκλίσεων στον EN 1090-2 (CEN, 2008) και εάν πέσουν εκτός αυτών, θα πρέπει κατά τη διάρκεια των τροποποιήσεων, πριν την εκ νέου ανέγερση, τα μέλη να επανέρχονται στην αρχική τους ευθεία κατάσταση και τα βέλη να εξαλείφονται.





# 10 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΕΧΝΗΤΗΣ ΝΟΗΜΟΣΥΝΗΣ ΣΤΗΝ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΗ

## 10.1 Παραγωγή των μοντέλων

Προκειμένου να αξιολογηθεί κατά πόσο μπορεί να λειτουργήσει η Τεχνητή Νοημοσύνη σαν εργαλείο στην επαναχρησιμοποίηση χάλυβα και να αξιοποιηθούν οι προοπτικές της, δημιουργήθηκαν δύο μοντέλα CNN (“Convolutional Neural Network -Deep Learning”) με τη βοήθεια της Roboflow, μίας πλατφόρμας που διευκολύνει το σχεδιασμό μοντέλων “Computer Vision” (Υπολογιστικής Όρασης). Η υπολογιστική όραση αποτελεί ένα πεδίο της Τεχνητής Νοημοσύνης (AI ή TN) που εκπαιδεύει και επιτρέπει στους υπολογιστές να αντλούν βασικές πληροφορίες από διάφορες πηγές, όπως ψηφιακές εικόνες και βίντεο (Big Blue Data Academy, [2023](#)).

## 10.2 1<sup>ο</sup> μοντέλο: Εντοπισμός Διάβρωσης

Για το πρώτο μοντέλο στοχευόταν με την εισαγωγή μίας εικόνας χάλυβα σε αυτό, να αποφαινόταν για το εάν υπάρχει διάβρωση ή όχι (“Classification”). Ωστόσο εξερευνήθηκε και η λύση του “Object Identification”, δηλαδή του εντοπισμού διαβρωμένων μελών εντός των παρατιθέμενων εικόνων.

Για τη δεύτερη λύση, τροφοδοτήθηκε το μοντέλο με 450 φωτογραφίες, σε κάθε μία από τις οποίες έπρεπε να εντοπισθεί και να καθορισθεί, εάν υπήρχε, Διαβρωμένος Χάλυβας “Corroded Steel” ή Υγιής Χάλυβας “Healthy Steel”, χειροκίνητα.



Σχήμα 25 Εικόνες από το περιβάλλον του RoboFlow όπου έχει βρεθεί και καθορισθεί (αριστερά) «Υγιής Χάλυβας» και (δεξιά) «Διαβρωμένος Χάλυβας»

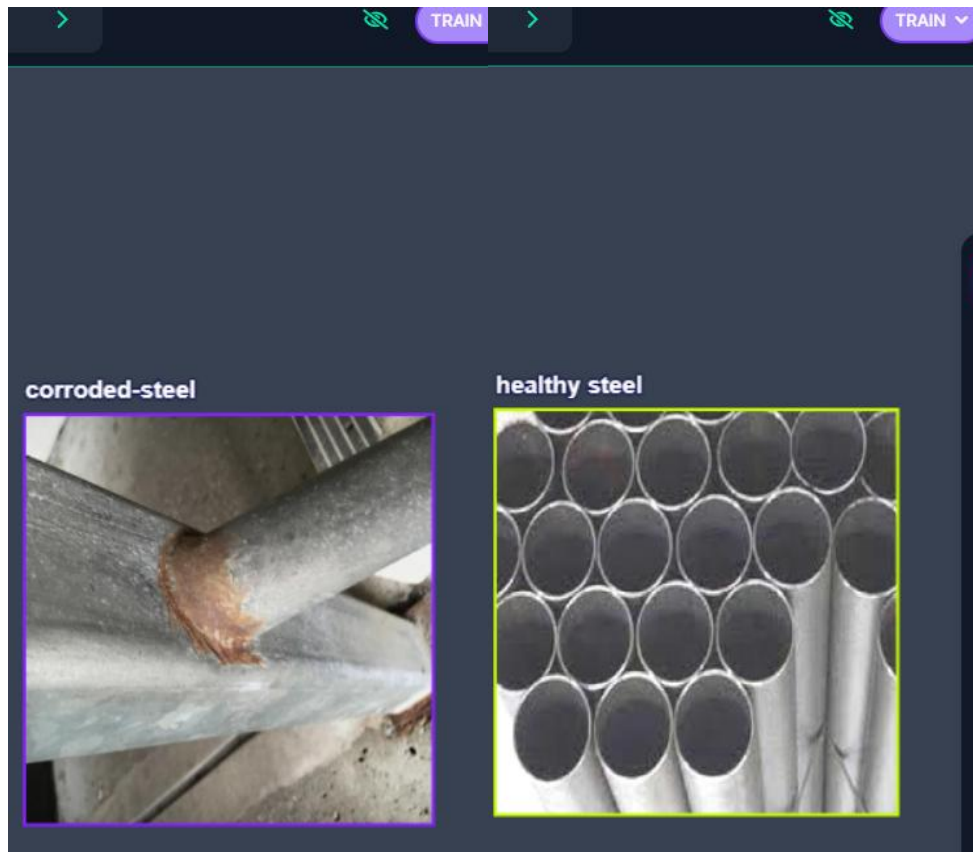
Η πρακτική που φαίνεται πάνω (κίτρινο περίβλημα για υγιή, μωβ για διαβρωμένο) έγινε για το σύνολο των 450 φωτογραφιών. Στη συνέχεια, τα δεδομένα έπρεπε να χωριστούν σε 3 σετ:

**Training Set:** Εδώ υπάγονται οι περισσότερες φωτογραφίες (περίπου το 85% από τις συνολικές). Αυτές οι εικόνες θα «προπονήσουν» (“train”) το μοντέλο, δηλαδή βάσει αυτών το μοντέλο θα μάθει τα μοτίβα και τις σχέσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών των εικόνων που τα καθιστούν διαβρωμένα ή υγιή.

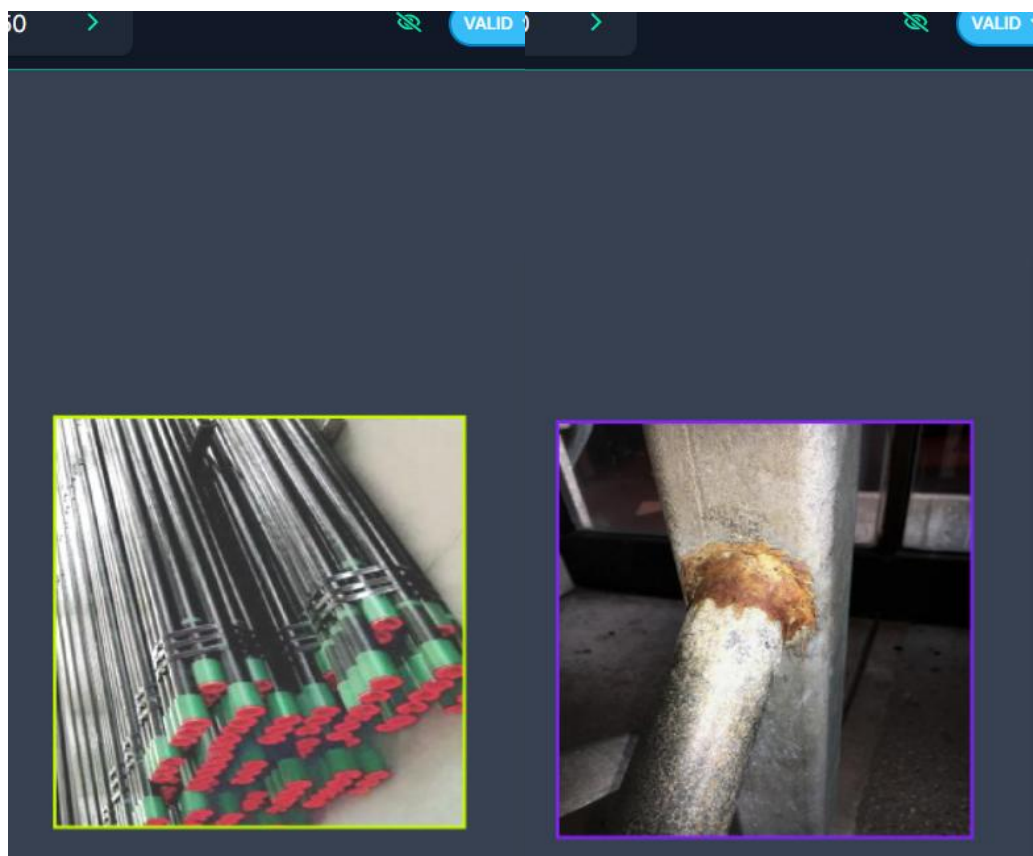
Το μοντέλο επαναλαμβανόμενα θα τροφοδοτείται και θα προπονείται με αυτά τα δεδομένα, χρησιμοποιώντας αλγορίθμους (όπως το “Gradient Descent”), ώστε να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα μεταξύ των προβλέψεων και των πραγματικών τιμών του “Training Set”.

**Validation Set:** Εδώ συγχρονίζονται οι τελικές παράμετροι (“hyperparameters”) και αξιολογείται η απόδοση του μοντέλου κατά τη διάρκεια της «προπόνησης» (“training”). Περίπου το 10% των δεδομένων καταλαμβάνεται από αυτό το σετ. Σε αντίθεση με το Training Set, στο Validation Set δεν αλλάζουν οι παράμετροι, αλλά αυτό λειτουργεί ως ένα ανεξάρτητο set δεδομένων, ώστε να εκτιμηθεί πόσο καλά λειτουργεί το μοντέλο σε δεδομένα που δεν έχει ξανά αντιμετωπίσει. Αξιολογώντας τα αποτελέσματα που προκύπτουν από αυτό το set, μπορούν να γίνουν διαμορφώσεις των hyperparameters, ώστε να βελτιωθεί η τελική απόδοση. Ουσιαστικά είναι το ενδιάμεσο απαιτούμενο στάδιο, για να πραγματοποιηθεί η μετάβαση από το Training στο Test, ομαλά.

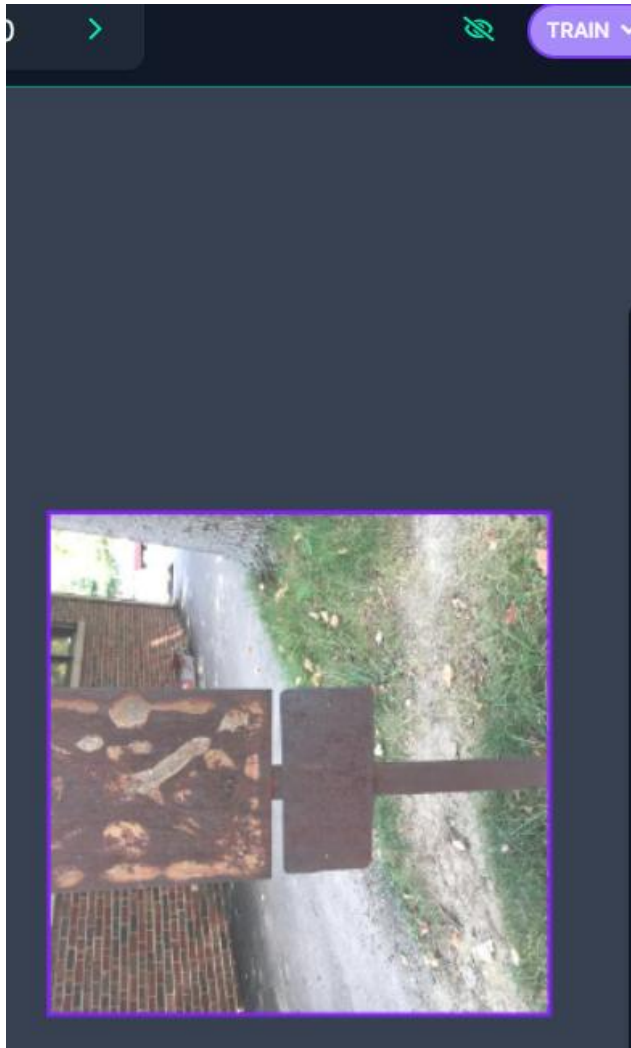
**Test Set:** Αυτό είναι ένα εξ ολοκλήρου ανεξάρτητο σετ δεδομένων, που χρησιμοποιείται μόνο αφού ολοκληρωθεί το Training και ο καθορισμός και συγχρονισμός όλων των παραμέτρων. Περίπου το 5% των δεδομένων καταλαμβάνεται από αυτό το σετ. Παρέχει μία αξιολόγηση και μία εποπτεία του πως λειτουργεί το τελικό μοντέλο σε δεδομένα που δεν έχει αντιμετωπίσει ποτέ ξανά (μία εκτίμηση του πόσο καλά μπορεί να λειτουργεί το μοντέλο σε πραγματικά παραδείγματα).



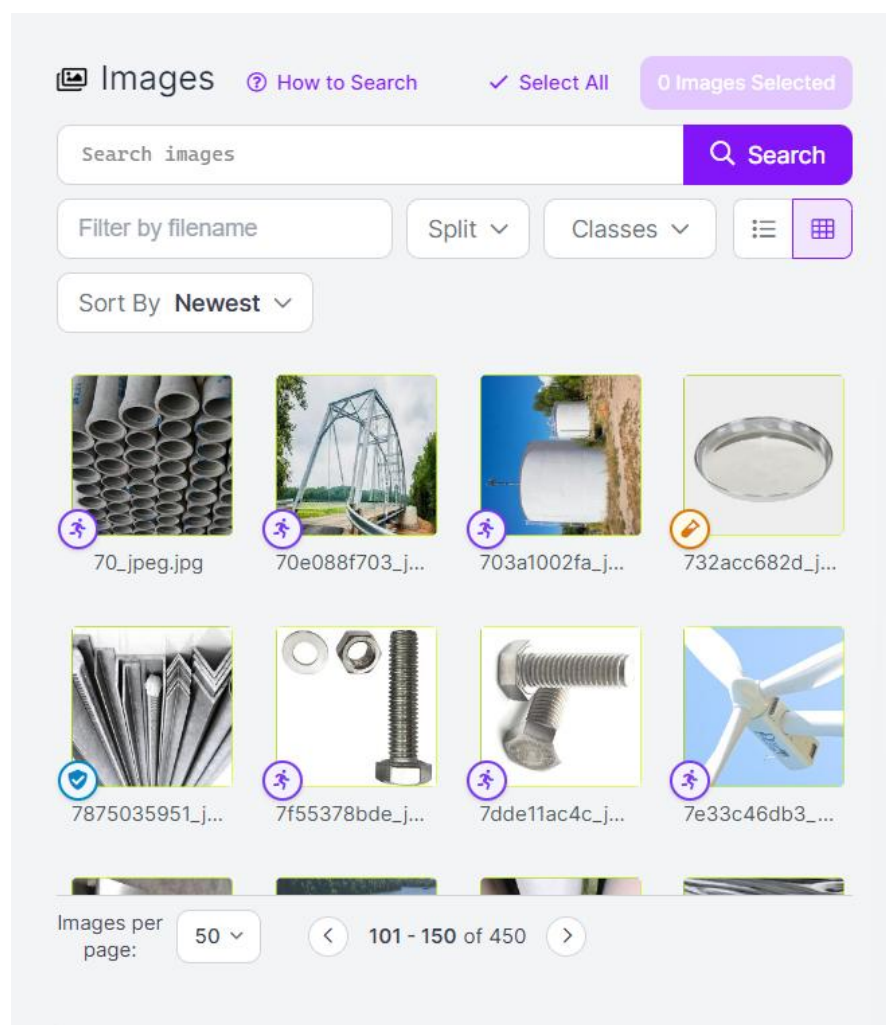
Σχήμα 26 2 Παραδείγματα δεδομένων από το Training Set, όπως φαίνεται πάνω δεξιά σε κάθε εικόνα, για το "Object Detection"



Σχήμα 27 2 Παραδείγματα δεδομένων από το Validation Set, όπως φαίνεται πάνω δεξιά για το "Object Detection"



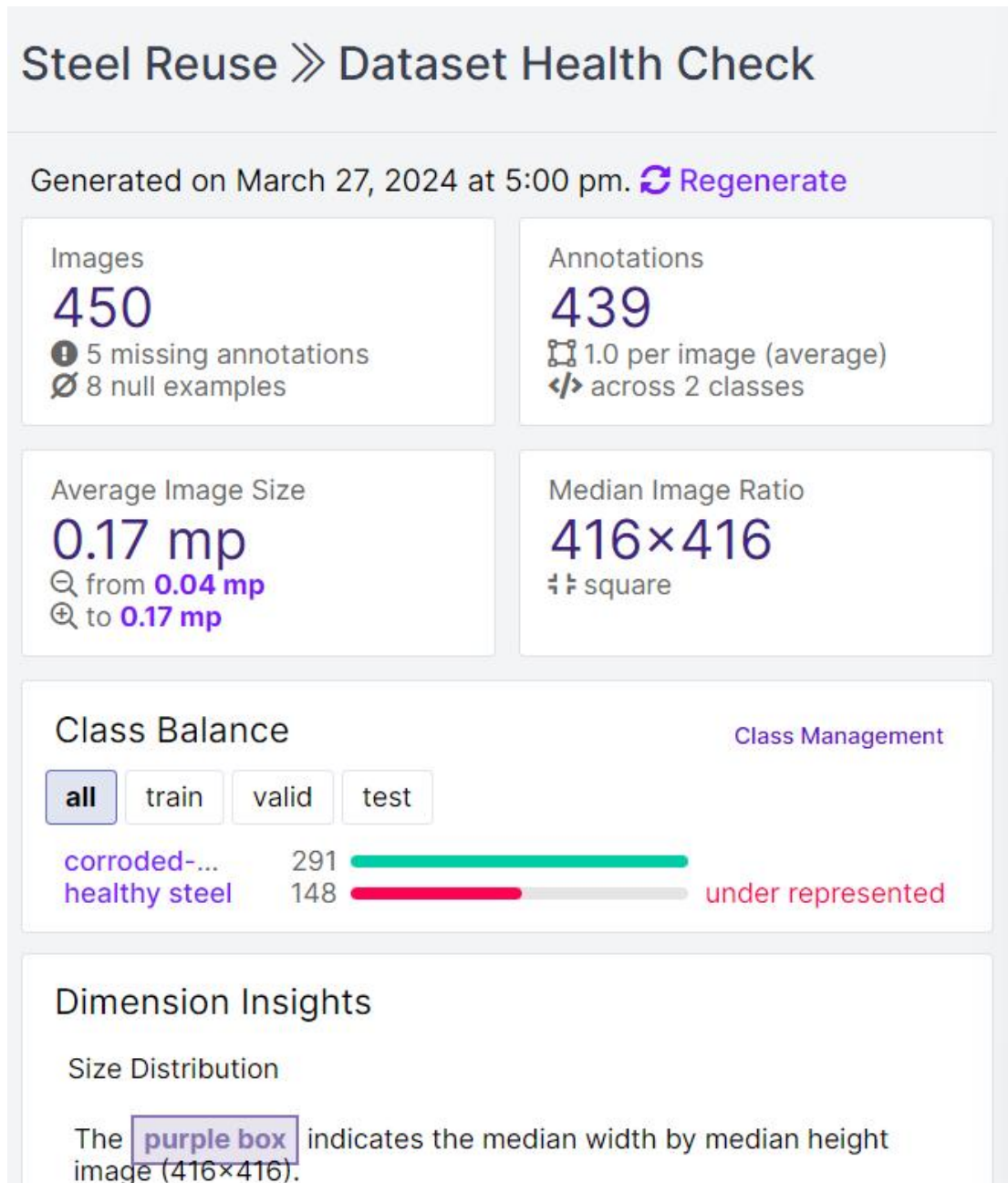
Σχήμα 28 Παράδειγμα από το Test Set (φαίνεται πάνω δεξιά) για το "Object Detection"



Σχήμα 29 Εικόνα από το περιβάλλον του Roboflow με τα εισερχόμενα δεδομένα για το "Object Detection"

Στη συνέχεια, γίνεται ο έλεγχος υγείας ("Health Check"), όπου φαίνεται το μέγεθος των εικόνων (416 x 416). Επιπλέον, φαίνεται πως οι εικόνες με διαβρωμένο χάλυβα είναι περισσότερες από αυτές με υγιή και πως οι τελευταίες θα έπρεπε εν γένει να είναι περισσότερες, προκειμένου να έχουμε σωστή εκπροσώπηση στο δείγμα ("under represented").

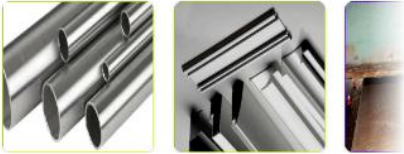




Σχήμα 30 Έλεγχος υγείας των δεδομένων για το μοντέλο Εύρεσης Περιεχομένου ("Object Detection")

Στη συνέχεια προκειμένου να αυξηθούν τα δεδομένα, άρα και η πιθανότητα-ικανότητα του μοντέλου να ανιχνεύσει τη διάβρωση, αντίγραφα των φωτογραφιών δημιουργήθηκαν και δέχτηκαν τροποποιήσεις, ήτοι 90 μοίρες στροφή, 15% περισσότερη ή λιγότερη φωτεινότητα, 25% περισσότερος ή λιγότερος κορεσμός (πιο έντονο χρώμα ή πιο ξεθωριασμένο), και θολότητα έως 80%. Με τον τρόπο αυτό, τελικά προέκυψαν 1094 φωτογραφίες-δεδομένα (αυξήθηκαν τα πιθανά σενάρια που θα μπορούσε να παρουσιαστεί μία εικόνα).

**1094**  
Total Images [View All Images →](#)



### Preprocessing

Auto-Orient: Applied  
Resize: Stretch to 416x416

---

### Dataset Split

TRAIN SET 88%

966 Images

VALID SET 8%

88 Images

TEST SET 4%

40 Images

### Augmentations

Outputs per training example: 3  
Flip: Horizontal  
90° Rotate: Clockwise, Counter-Clockwise  
Saturation: Between -25% and +25%  
Brightness: Between -15% and +15%  
Blur: Up to 0.8px

Σχήμα 31 Συνολικές εικόνες και τροποποιήσεις

Στη συνέχεια, σε ένα Python Notebook:

Αρχικά, γίνεται αντιγραφή των πληροφοριών από το YOLOv5 (repository), το οποίο χρησιμοποιείται για εφαρμογές Object Detection χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο YOLO ("You Only Look Once").

```
[ ] # clone YOLOv5 repository
!git clone https://github.com/ultralytics/yolov5 # clone repo
%cd yolov5
!git reset --hard 064365d8683fd002e9ad789c1e91fa3d021b44f0

Cloning into 'yolov5'...
remote: Enumerating objects: 16530, done.
remote: Counting objects: 100% (8/8), done.
remote: Compressing objects: 100% (8/8), done.
remote: Total 16530 (delta 1), reused 5 (delta 0), pack-reused 16522
Receiving objects: 100% (16530/16530), 15.07 MiB | 18.52 MiB/s, done.
Resolving deltas: 100% (11358/11358), done.
/content/yolov5/yolov5
HEAD is now at 064365d8 Update parse_opt() in export.py to work as in train.py (#10789
```

Στη συνέχεια «προετοιμάζεται» το περιβάλλον στο οποίο θα γίνει η εφαρμογή, «κατεβάζοντας» τη βιβλιοθήκη PyTorch (ανοιχτού κώδικα, ειδική για Μηχανική Μάθηση) και χρησιμοποιώντας τις δυνατότητές της σε πρόσβαση δεδομένων και σε εμφάνιση εικόνων (attempt\_download).



```
# install dependencies as necessary
!pip install -qr requirements.txt # install dependencies (ignore errors)
import torch

from IPython.display import Image, clear_output # to display images
from utils.downloads import attempt_download # to download models/datasets

# clear_output()
print('Setup complete. Using torch %s %s' % (torch.__version__, torch.cuda.get_device_properties(0) if torch.cuda.is_available() else 'CPU'))

===== 207.3/207.3 kB 5.6 MB/s eta 0:00:00
===== 62.7/62.7 kB 9.2 MB/s eta 0:00:00
===== 1.6/1.6 MB 65.7 MB/s eta 0:00:00
Setup complete. Using torch 2.2.1+cu121 _CudaDeviceProperties(name='Tesla T4', major=7, minor=5, total_memory=15102MB, multi_processor_count=40)
```

Ακολούθως, συνδέεται το περιβάλλον όπου δημιουργήθηκε το μοντέλο (Roboflow) με το Notebook και λαμβάνονται τα δεδομένα από εκεί.

```
!pip install roboflow

from roboflow import Roboflow
rf = Roboflow(api_key="CvWcG0ycyhXrsdJ99fgu")
project = rf.workspace("steel-reuse").project("steel-reuse")
version = project.version(4)
dataset = version.download("yolov5")

Requirement already satisfied: roboflow in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (1.1.27)
Requirement already satisfied: certifi==2023.7.22 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from roboflow) (2023.7.22)
Requirement already satisfied: chardet==4.0.0 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from roboflow) (4.0.0)
Requirement already satisfied: cyclerr==0.10.0 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from roboflow) (0.10.0)
Requirement already satisfied: idna==2.10 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from roboflow) (2.10)
Requirement already satisfied: kiwisolver>=1.3.1 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from roboflow) (1.4.5)
Requirement already satisfied: matplotlib in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from roboflow) (3.7.1)
Requirement already satisfied: numpy>=1.18.5 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from roboflow) (1.25.2)
Requirement already satisfied: opencv-python-headless==4.8.0.74 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from roboflow) (4.8.0.74)
Requirement already satisfied: Pillow>=7.1.2 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from roboflow) (9.4.0)
Requirement already satisfied: python-dateutil in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from roboflow) (2.8.2)
Requirement already satisfied: python-dotenv in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from roboflow) (1.0.1)
Requirement already satisfied: requests in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from roboflow) (2.31.0)
Requirement already satisfied: six in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from roboflow) (1.16.0)
Requirement already satisfied: urllib3>=1.26.6 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from roboflow) (2.0.7)
Requirement already satisfied: tqdm>=4.41.0 in /usr/local/lib/python3.10/dist-packages (from roboflow) (4.66.2)
```

Γίνεται αλλαγή του directory στο περιβάλλον του Notebook και ύστερα φαίνονται οι 2 ορισμένες κατηγορίες (corroded-steel, healthy-steel), και πως πλέον υπάρχουν τα σετ (train, valid, test) στο αρχείο data.yaml.

```
%cd /content/yolov5

/content/yolov5

# this is the YAML file Roboflow wrote for us that we're loading into this notebook with our data
%cat {dataset.location}/data.yaml

names:
- corroded-steel
- healthy steel
nc: 2
roboflow:
  license: CC BY 4.0
  project: steel-reuse
  url: https://universe.roboflow.com/steel-reuse/steel-reuse/dataset/4
  version: 4
  workspace: steel-reuse
test: ../test/images
train: Steel-Reuse-4/train/images
val: Steel-Reuse-4/valid/images
```

Ορίζεται ο αριθμός των κλάσεων, καθώς και παράμετροι του Object Detection, όπως "anchors" για κάθε layer.

```

# define number of classes based on YAML
import yaml
with open(dataset.location + "/data.yaml", 'r') as stream:
    ... num_classes = str(yaml.safe_load(stream)['nc'])

```

```

[5] #this is the model configuration we will use for our tutorial
%cat /content/yolov5/models/yolov5s.yaml

```

```

# YOLOv5 🚀 by Ultralytics, GPL-3.0 license

# Parameters
nc: 80 # number of classes
depth_multiple: 0.33 # model depth multiple
width_multiple: 0.50 # layer channel multiple
anchors:
  - [10,13, 16,30, 33,23] # P3/8
  - [30,61, 62,45, 59,119] # P4/16
  - [116,90, 156,198, 373,326] # P5/32

# YOLOv5 v6.0 backbone
backbone:
  # [from, number, module, args]
  [[-1, 1, Conv, [64, 6, 2, 2]], # 0-P1/2
  [-1, 1, Conv, [128, 3, 2]], # 1-P2/4
  [-1, 3, C3, [128]],
  [-1, 1, Conv, [256, 3, 2]], # 3-P3/8
  [-1, 6, C3, [256]],
  [-1, 1, Conv, [512, 3, 2]], # 5-P4/16
  [-1, 9, C3, [512]],
  [-1, 1, Conv, [1024, 3, 2]], # 7-P5/32
  [-1, 3, C3, [1024]],
  [-1, 1, SPPF, [1024, 5]], # 9

```

```

%%writetemplate /content/yolov5/models/custom_yolov5s.yaml

```

```

# parameters
nc: {num_classes} # number of classes
depth_multiple: 0.33 # model depth multiple
width_multiple: 0.50 # layer channel multiple

# anchors
anchors:
  - [10,13, 16,30, 33,23] # P3/8
  - [30,61, 62,45, 59,119] # P4/16
  - [116,90, 156,198, 373,326] # P5/32

# YOLOv5 backbone
backbone:
  # [from, number, module, args]
  [[-1, 1, Focus, [64, 3]], # 0-P1/2
  [-1, 1, Conv, [128, 3, 2]], # 1-P2/4
  [-1, 3, BottleneckCSP, [128]],
  [-1, 1, Conv, [256, 3, 2]], # 3-P3/8
  [-1, 9, BottleneckCSP, [256]],
  [-1, 1, Conv, [512, 3, 2]], # 5-P4/16
  [-1, 9, BottleneckCSP, [512]],

```

```

# YOLOv5 head
head:
  [[-1, 1, Conv, [512, 1, 1]],
   [-1, 1, nn.Upsample, [None, 2, 'nearest']],
   [[-1, 6], 1, Concat, [1]], # cat backbone P4
   [-1, 3, BottleneckCSP, [512, False]], # 13

   [-1, 1, Conv, [256, 1, 1]],
   [-1, 1, nn.Upsample, [None, 2, 'nearest']],
   [[-1, 4], 1, Concat, [1]], # cat backbone P3
   [-1, 3, BottleneckCSP, [256, False]], # 17 (P3/8-small)

   [-1, 1, Conv, [256, 3, 2]],
   [[-1, 14], 1, Concat, [1]], # cat head P4
   [-1, 3, BottleneckCSP, [512, False]], # 20 (P4/16-medium)

   [-1, 1, Conv, [512, 3, 2]],
   [[-1, 10], 1, Concat, [1]], # cat head P5
   [-1, 3, BottleneckCSP, [1024, False]], # 23 (P5/32-large)

   [[17, 20, 23], 1, Detect, [nc, anchors]], # Detect(P3, P4, P5)
  ]

```

Ήρθε η ώρα να «τρέξει» το μοντέλο για μέγεθος εικόνας 416\*416, μέγεθος του batch=16, δηλαδή πόσα training παραδείγματα θα χρησιμοποιούνται σε κάθε επανάληψη (θα επεξεργάζονται 16 εικόνες κάθε φορά πριν την εκ νέου ενημέρωση των παραμέτρων του μοντέλου), epochs=100, δηλαδή θα γίνουν 100 επαναλήψεις για το σύνολο των δεδομένων, προσαρμόζοντας κάθε φορά (στο τέλος κάθε επανάληψης) τις παραμέτρους, ώστε να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα και να αυξηθεί η απόδοση. Όλα τα αποτελέσματα αποθηκεύονται σε έναν φάκελο «yolov5s\_results4».

```

▶# train yolov5s on custom data for 100 epochs
# time its performance
%%time
%cd /content/yolov5/
!python train.py --img 416 --batch 16 --epochs 100 --data {dataset.location}/data.yaml --cfg ./models/custom_yolov5s.yaml

```

2	-1	1	19904	models.common.BottleneckCSP	[64, 64, 1]
3	-1	1	73984	models.common.Conv	[64, 128, 3, 2]
4	-1	3	161152	models.common.BottleneckCSP	[128, 128, 3]
5	-1	1	295424	models.common.Conv	[128, 256, 3, 2]
6	-1	3	641792	models.common.BottleneckCSP	[256, 256, 3]
7	-1	1	1180672	models.common.Conv	[256, 512, 3, 2]
8	-1	1	656896	models.common.SPP	[512, 512, [5, 9, 13]]
9	-1	1	1248768	models.common.BottleneckCSP	[512, 512, 1, False]
10	-1	1	131584	models.common.Conv	[512, 256, 1, 1]
11	-1	1	0	torch.nn.modules.upsampling.Upsample	[None, 2, 'nearest']
12	[-1, 6]	1	0	models.common.Concat	[1]
13	-1	1	378624	models.common.BottleneckCSP	[512, 256, 1, False]
14	-1	1	33024	models.common.Conv	[256, 128, 1, 1]
15	-1	1	0	torch.nn.modules.upsampling.Upsample	[None, 2, 'nearest']
16	[-1, 4]	1	0	models.common.Concat	[1]
17	-1	1	95104	models.common.BottleneckCSP	[256, 128, 1, False]
18	-1	1	147712	models.common.Conv	[128, 128, 3, 2]
19	[-1, 14]	1	0	models.common.Concat	[1]
20	-1	1	313088	models.common.BottleneckCSP	[256, 256, 1, False]
21	-1	1	590336	models.common.Conv	[256, 256, 3, 2]
22	[-1, 10]	1	0	models.common.Concat	[1]
23	-1	1	1248768	models.common.BottleneckCSP	[512, 512, 1, False]
24	[17, 20, 23]	1	18879	models.yolo.Detect	[2, [[10, 13, 16, 30, 33, 23], [30, 61, 62, 45,

custom YOLOv5s summary: 233 layers. 7257791 parameters. 7257791 gradients



Η διαδικασία αυτή διαρκεί αρκετή ώρα (εδώ: 17 λεπτά), καθώς πρέπει να γίνουν 100 επαναλήψεις (epochs) για όλα τα δεδομένα.

Epoch	GPU_mem	box_loss	obj_loss	cls_loss	Instances	Size	416: mAP50	416: mAP50-95
94/99	2.02G	0.02233	0.02168	0.01308	15	416: 100% 61/61	0.772	0.501
	Class	Images	Instances	P	R			
	all	88	86	0.759	0.683			
Epoch	GPU_mem	box_loss	obj_loss	cls_loss	Instances	Size	416: 100% 61/61	416: 100% 61/61
95/99	2.02G	0.02311	0.02156	0.01505	16	416: 100% 61/61 [00:08<00:00, 7.54it/s]	mAP50	mAP50-95: 100% 3/3 [00:00<00:00, 3.42it/s]
	Class	Images	Instances	P	R			
	all	88	86	0.682	0.692		0.707	0.457
Epoch	GPU_mem	box_loss	obj_loss	cls_loss	Instances	Size	416: 100% 61/61	416: 100% 61/61
96/99	2.02G	0.02098	0.02106	0.01269	17	416: 100% 61/61 [00:08<00:00, 7.41it/s]	mAP50	mAP50-95: 100% 3/3 [00:00<00:00, 4.44it/s]
	Class	Images	Instances	P	R			
	all	88	86	0.742	0.661		0.732	0.443
Epoch	GPU_mem	box_loss	obj_loss	cls_loss	Instances	Size	416: 100% 61/61	416: 100% 61/61
97/99	2.02G	0.02122	0.02118	0.01298	19	416: 100% 61/61 [00:09<00:00, 6.74it/s]	mAP50	mAP50-95: 100% 3/3 [00:00<00:00, 4.55it/s]
	Class	Images	Instances	P	R			
	all	88	86	0.838	0.66		0.786	0.485
Epoch	GPU_mem	box_loss	obj_loss	cls_loss	Instances	Size	416: 100% 61/61	416: 100% 61/61
98/99	2.02G	0.02269	0.021	0.01351	20	416: 100% 61/61 [00:09<00:00, 6.74it/s]	mAP50	mAP50-95: 100% 3/3 [00:00<00:00, 4.47it/s]
	Class	Images	Instances	P	R			
	all	88	86	0.751	0.716		0.777	0.493
Epoch	GPU_mem	box_loss	obj_loss	cls_loss	Instances	Size	416: 100% 61/61	416: 100% 61/61
99/99	2.02G	0.02355	0.02067	0.01343	15	416: 100% 61/61 [00:08<00:00, 7.19it/s]	mAP50	mAP50-95: 100% 3/3 [00:00<00:00, 3.11it/s]
	Class	Images	Instances	P	R			
	all	88	86	0.742	0.742		0.779	0.464

100 epochs completed in 0.276 hours.

Optimizer stripped from runs/train/yolov5s\_results4/weights/last.pt, 14.8MB

Optimizer stripped from runs/train/yolov5s\_results4/weights/best.pt, 14.8MB

Εδώ φαίνεται ότι στο validation set από τις 88 φωτογραφίες που υπήρχαν, στις 56 βρέθηκε διαβρωμένος χάλυβας και στις 30 υγιής.

Validating runs/train/yolov5s\_results4/weights/best.pt...

Fusing layers...

custom\_YOLOv5s summary: 182 layers, 7249215 parameters, 0 gradients

Class	Images	Instances	P	R	mAP50	mAP50-95
all	88	86	0.759	0.682	0.772	0.5
corroded-steel	88	56	0.792	0.749	0.81	0.544
healthy steel	88	30	0.725	0.616	0.733	0.456

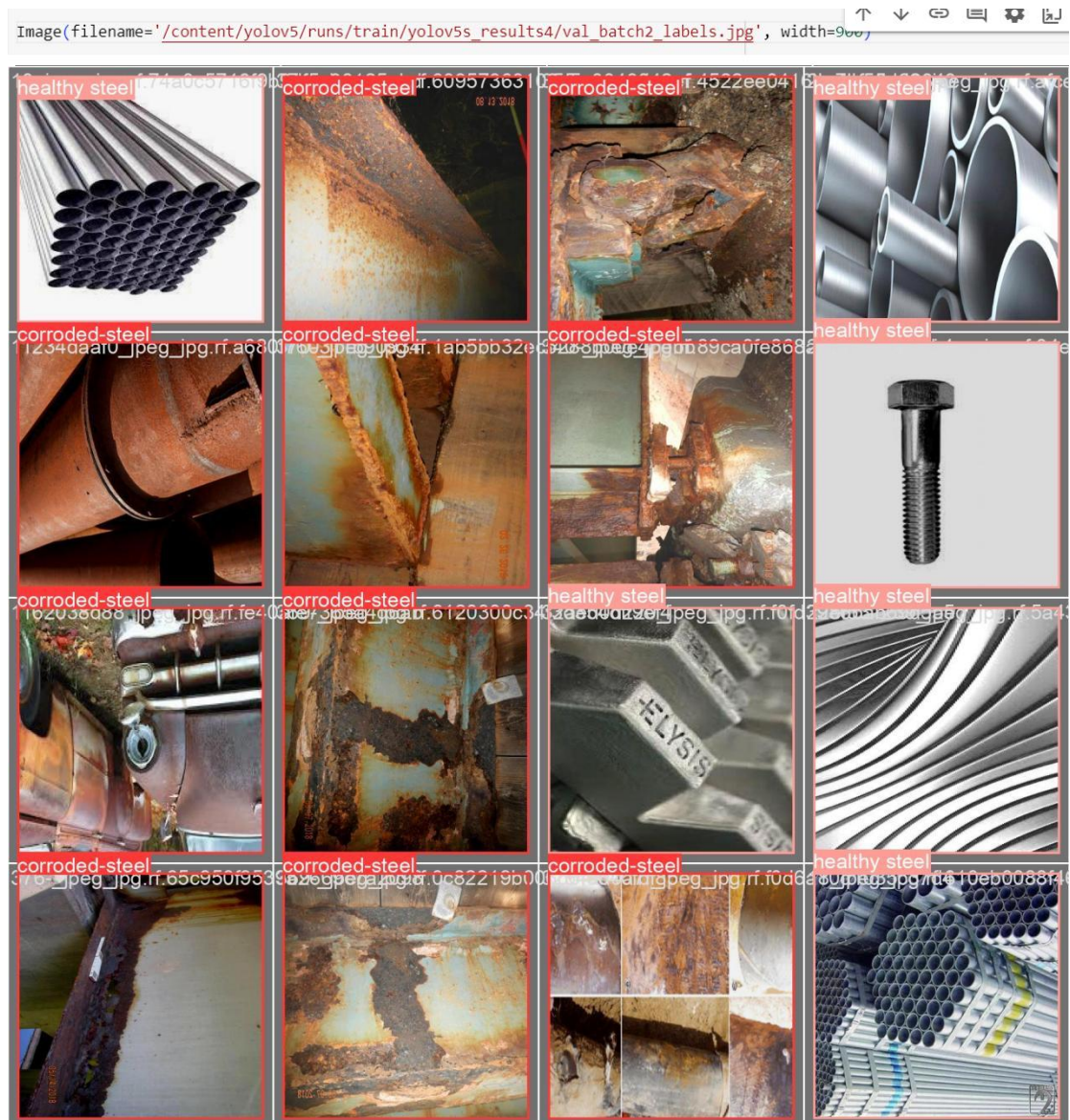
Results saved to runs/train/yolov5s\_results4

CPU times: user 12.1 s, sys: 1.32 s, total: 13.4 s

Wall time: 17min 5s

Το P ("Precision") δείχνει τι ποσοστό του συνόλου που προβλέφθηκαν να ανήκουν σε μία κατηγορία είναι σωστό και το R ("Recall") δείχνει τι ποσοστό του συνόλου κατάφερε το μοντέλο να εντοπίσει.

Το "mAP<sub>50</sub>" μετράει το μέσο Precision του μοντέλου όταν είναι τουλάχιστον 50% σίγουρο για τις προβλέψεις του ενώ το "mAP<sub>50-95</sub>" όταν είναι από 50-95% σίγουρο ("confidence level").

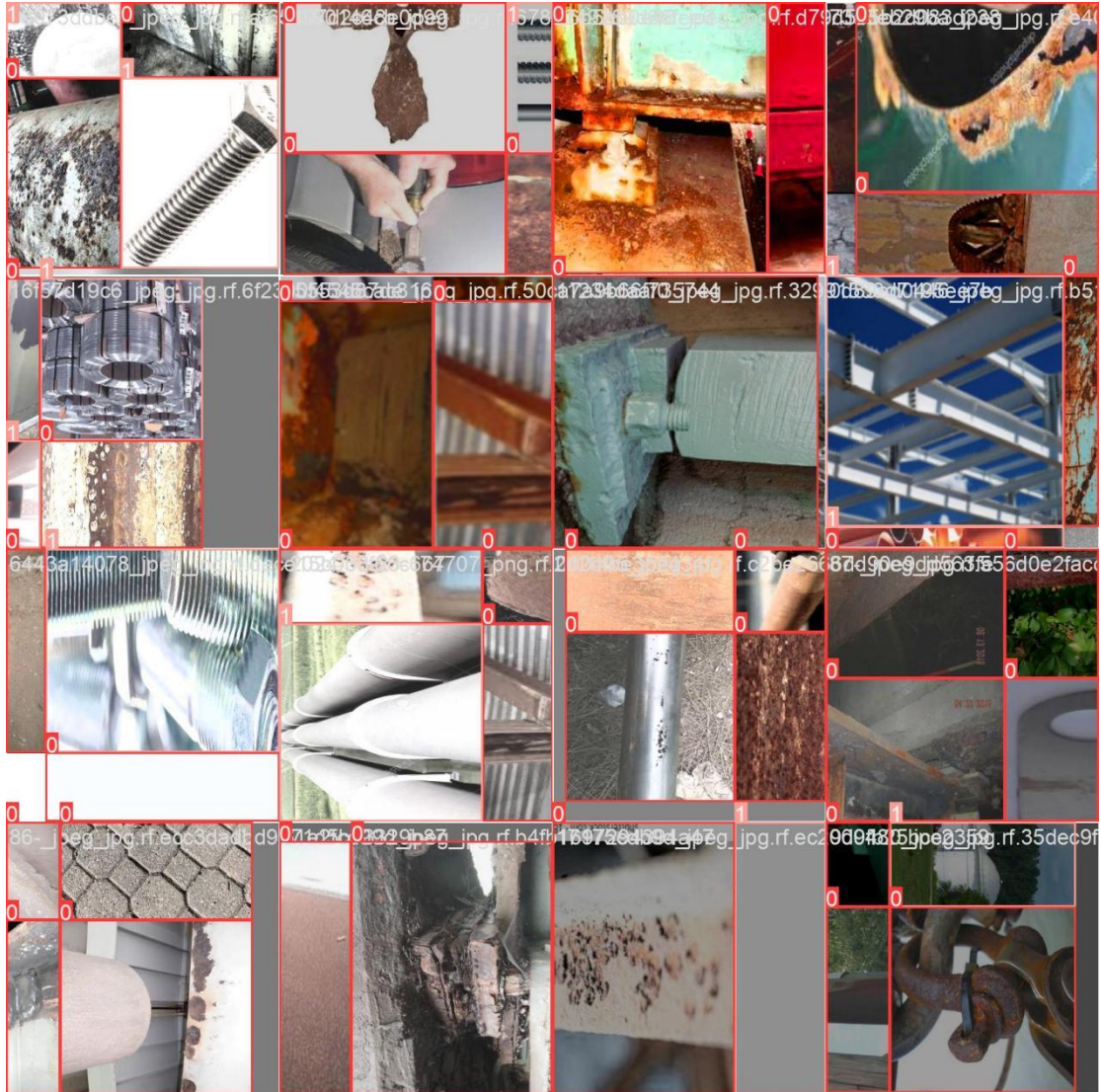


Σχήμα 32 Απόσπασμα από το Validation Set πριν τις τροποποιήσεις

Παραπάνω απεικονίζονται κάποια από τα δεδομένα του Validation Set.

```
# print out an augmented training example
print("GROUND TRUTH AUGMENTED TRAINING DATA:")
Image(filename='/content/yolov5/runs/train/yolov5s_results4/train_batch1.jpg', width=900)
```





Σχήμα 33 Απόσπασμα από το Validation Set μετά τις τροποποιήσεις

Ξανά απεικονίζονται δεδομένα, αλλά αυτή τη φορά ύστερα από τις τροποποιήσεις (φωτεινότητα, περιστροφή, κορεσμός, κλπ). «1» είναι ο υγιής χάλυβας και «0» ο διαβρωμένος.

Στη συνέχεια, αποθηκεύονται τα “weights”, δηλαδή οι παράμετροι που προέκυψαν από την όλη διαδικασία στο “train” του “runs” directory, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν για την δοκιμή του μοντέλου στο training set.

```
# trained weights are saved by default in our weights folder
%ls runs/
```

```
train/
```

```
%ls runs/train/yolov5s_results4/weights
```

```
best.pt last.pt
```



Προστίθενται στο μοντέλο 40 εικόνες από το Test Set (δηλαδή που δεν τις έχει ξανά αντιμετωπίσει ποτέ), ώστε να προσπαθήσει να τις προβλέψει με confidence=0,4, δηλαδή να προβλέπει όσες είναι σίγουρο πάνω από 40% ότι είναι σωστές και τις αποθηκεύει στο exp4 φάκελο ("Results saved to runs/detect/exp4")

```
%cd /content/yolov5/
!python detect.py --weights runs/train/yolov5s_results4/weights/best.pt --img 416 --conf 0.4 --source Steel-Reuse-4/test/ima
/content/yolov5
detect: weights=['runs/train/yolov5s_results4/weights/best.pt'], source=Steel-Reuse-4/test/images/, data=data/coco128.yaml, i
YOLOv5 v7.0-72-g064365d8 Python-3.10.12 torch-2.2.1+cu121 CUDA:0 (Tesla T4, 15102MiB)

Fusing layers...
custom_YOLOv5s summary: 182 layers, 7249215 parameters, 0 gradients
image 1/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/-2024-03-23-175130.png.rf.7d2e8014f8651f168ae6ed642a8439a.jpg: 416x416
image 2/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/-2024-03-23-175149.png.rf.d04aed84d99eeae1c559099dadf0200.jpg: 416x416
image 3/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/000387.jpeg.jpg.rf.7a78f8447565c636923444da1e5a5851.jpg: 416x416 1 corrc
image 4/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/000419.jpeg.jpg.rf.eba6f454fd74b95813d63fa4b343142a.jpg: 416x416 (no det
image 5/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/000541.jpeg.jpg.rf.109a1d2c8f801aa35b8d23fdb57035b9.jpg: 416x416 1 corrc
image 6/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/0940ca355a.jpeg.jpg.rf.817927784dc2e51faf397dd6cfdad66b7.jpg: 416x416 1 h
image 7/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/0e0cf2b5b5.jpeg.jpg.rf.0a89c5cdbc3f5eaa896874fc40c38bac.jpg: 416x416 (nc
image 8/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/1031140527.jpeg.jpg.rf.4c7e2532e97f78eeebfbae2c2d65605.jpg: 416x416 (nc
image 9/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/109e12d38e.jpeg.jpg.rf.6f4d126273d6f98a5e5c3837efd805a1.jpg: 416x416 (nc
image 10/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/10.jpeg.jpg.rf.7e4f7f2411364c7b5d9b38c2ff99caba.jpg: 416x416 1 healthy
image 11/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/112.jpeg.jpg.rf.f9ba32472299fd717fd91702a92877fb.jpg: 416x416 1 corrod
image 12/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/21.jpeg.jpg.rf.a05b74fe5d3783b563aec517ca58a420.jpg: 416x416 1 healthy
image 13/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/29f7828860.jpeg.jpg.rf.fcfb0b6550ca101fe0900fc9e9c54318.jpg: 416x416 (n
image 14/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/325.jpeg.jpg.rf.6b7dd3090f20e5d99835f83b5a9e1c99.jpg: 416x416 (no dete
image 15/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/33884db8e8.jpeg.jpg.rf.ba5df1c21f97fc4e8b0659d720a68dee.jpg: 416x416 (n
image 16/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/347.jpeg.jpg.rf.f46d087444bc73830d205f0c140053f4.jpg: 416x416 1 corrod
image 17/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/375.jpeg.jpg.rf.b7184eb83ccb4d0589b313c655eb463f.jpg: 416x416 (no dete
image 18/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/417ee671a6.jpeg.jpg.rf.9abc1f2c4f62b02862607cd3b986b1ef.jpg: 416x416 (n
image 19/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/422f213163.jpeg.jpg.rf.6f88860cc90af47e2b33b23396c9a944.jpg: 416x416 1
image 20/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/47a1b62692.jpeg.jpg.rf.4c46dc0379df0031669d2eb921be135f.jpg: 416x416 (n
image 21/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/507c2b6003.jpeg.jpg.rf.519b850584d6bb48d96071829becc3aa.jpg: 416x416 1
image 22/40 /content/yolov5/Steel-Reuse-4/test/images/59b8h4d6680.jpeg.jpg.rf.454a9527ce4b6c4097cd1ad6941b4f01.jpeg.jpg: 416x416 1
```



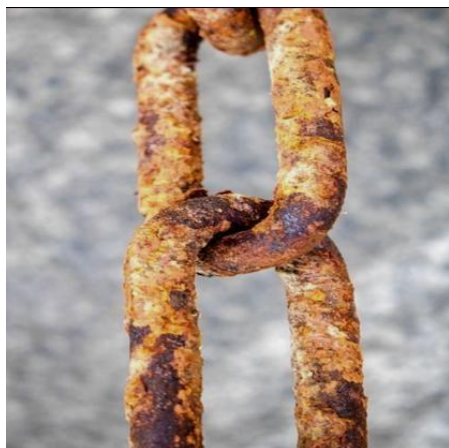
Σχήμα 34 Αποτελέσματα για το Test Set

Φαίνεται ότι το μοντέλο μπορεί να εντοπίζει υγιή και διαβρωμένο χάλυβα.

Ωστόσο, η «αυτοπεποίθησή» του δεν είναι τόσο μεγάλη, κάτι που οφείλεται στην εφαρμογή της λογικής "Object Detection", καθώς όπως φαίνεται, προσπαθεί να προσαρμόσει το μέγεθος του τετραγώνου (ή "anchor"), ώστε να εντοπίσει τη διάβρωση (ή την υγεία), ενώ αυτό που θα ήταν περισσότερο επιθυμητό και λογικό θα ήταν απλά να αποφαινεται για το αν υπάρχει



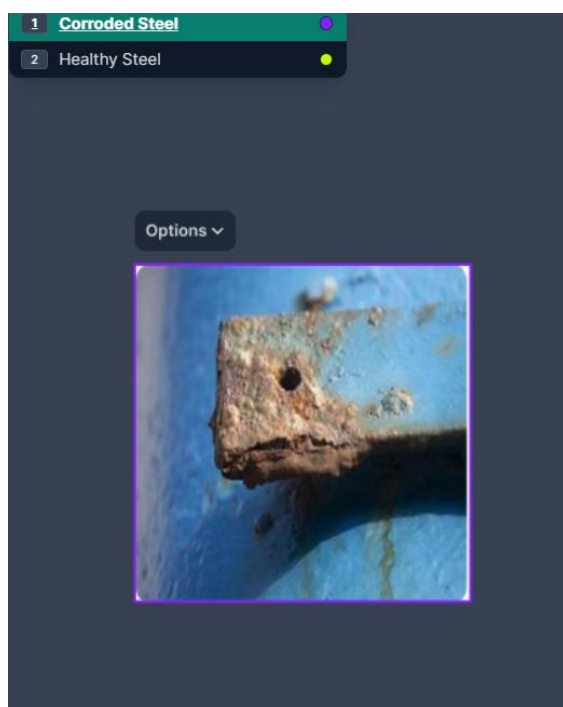
διάβρωση στο χάλυβα ή είναι υγιής. Επίσης, δεν κατάφερε να εντοπίσει διάβρωση σε περιπτώσεις όπως την παρακάτω:



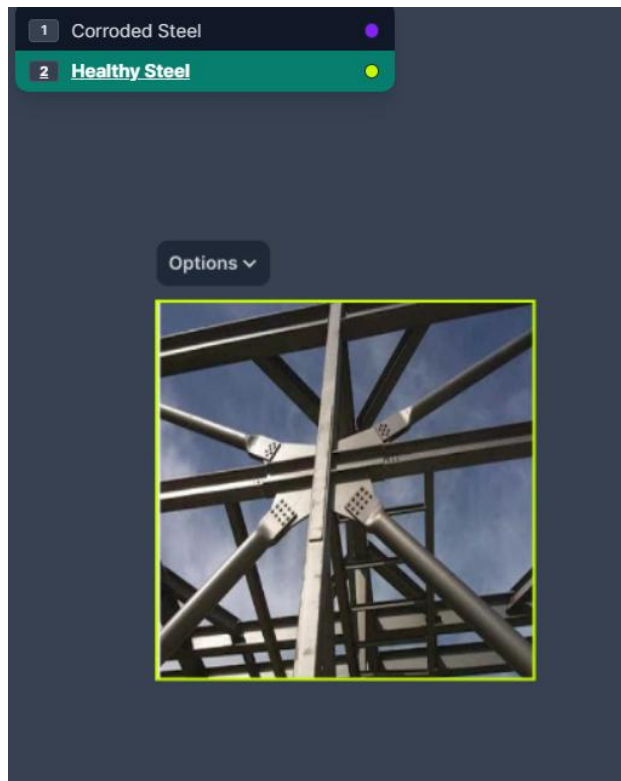
Σχήμα 35 Αποτυχία εντοπισμού διάβρωσης

Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η λογική της κατηγοριοποίησης ("Classification"), ώστε να αποφασίζεται αν ένας χάλυβας έχει διάβρωση ή όχι.

Έτσι, εισήλθαν 625 φωτογραφίες σε ένα νέο μοντέλο, ειδικά διαμορφωμένο για Classification, οι οποίες κατηγοριοποιήθηκαν ως Διαβρωμένος χάλυβας "Corroded Steel" ή Υγιής χάλυβας "Healthy Steel", χειροκίνητα.

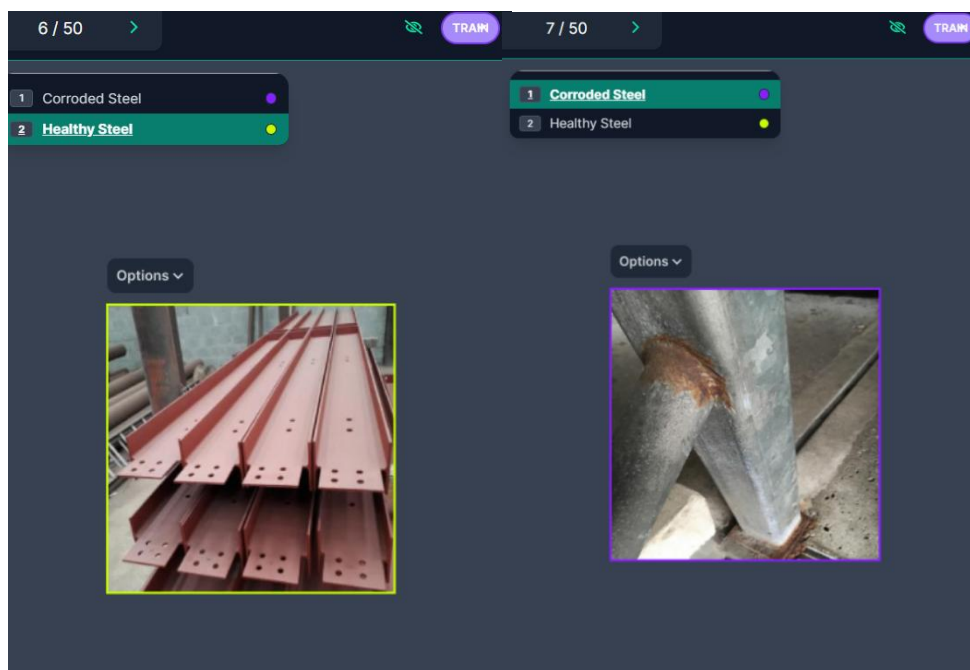


Σχήμα 36 Εικόνα χάλυβα από το περιβάλλον του Roboflow, όπου κατηγοριοποιείται ως «Διαβρωμένος» για το "Classification"

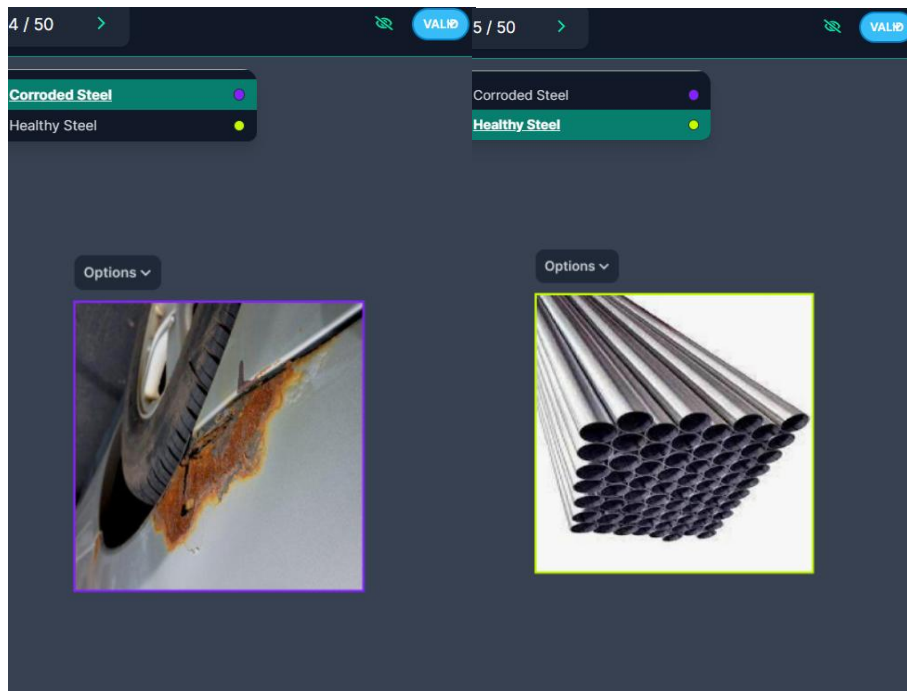


Σχήμα 37 Εικόνα χάλυβα από το περιβάλλον του Roboflow, όπου κατηγοριοποιείται ως «Υγιής» για το "Classification"

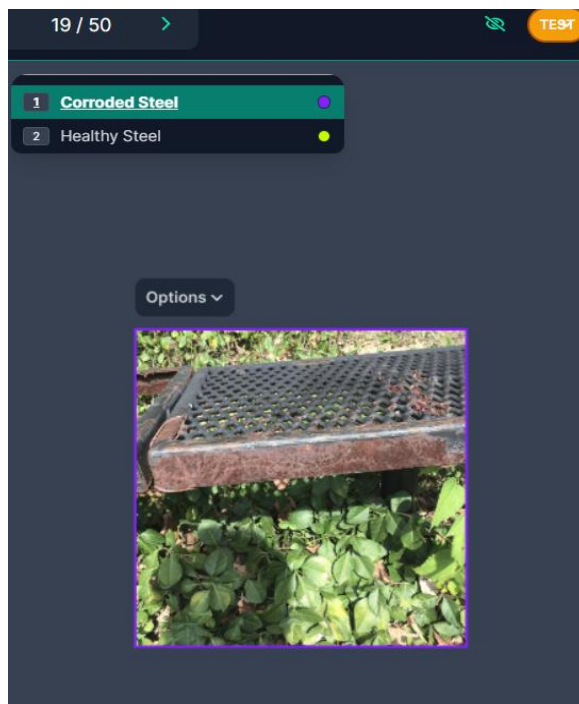
Η πρακτική που φαίνεται πάνω (κίτρινο περίβλημα για υγιή, μωβ για διαβρωμένο), όπως και πριν, έγινε για τις 626 φωτογραφίες. Στη συνέχεια, τα δεδομένα πρέπει να χωριστούν στα 3 σετ (Train, Validation, Test Set), όπως εξηγήθηκε και προηγουμένως (με παρόμοια ποσοστά).



Σχήμα 38 2 Παραδείγματα δεδομένων από το Training Set, όπως φαίνεται πάνω δεξιά για το "Classification"

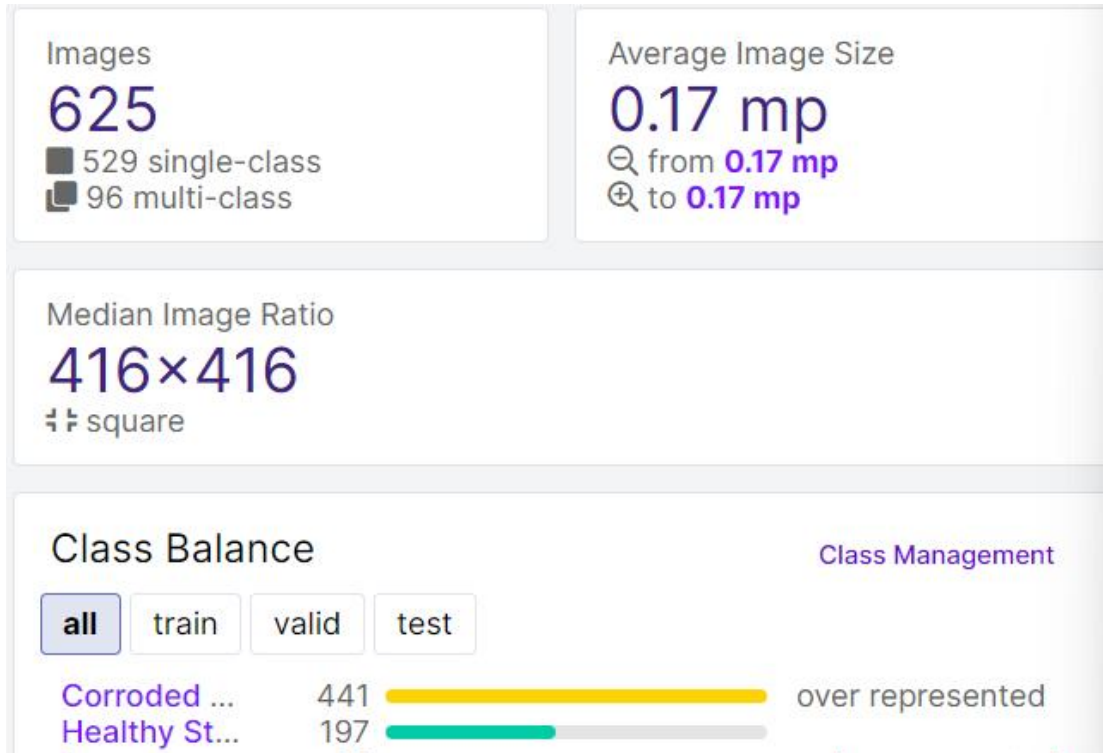


Σχήμα 39 2 Παραδείγματα δεδομένων από το Validation Set, όπως φαίνεται πάνω δεξιά σε κάθε εικόνα για το "Classification"



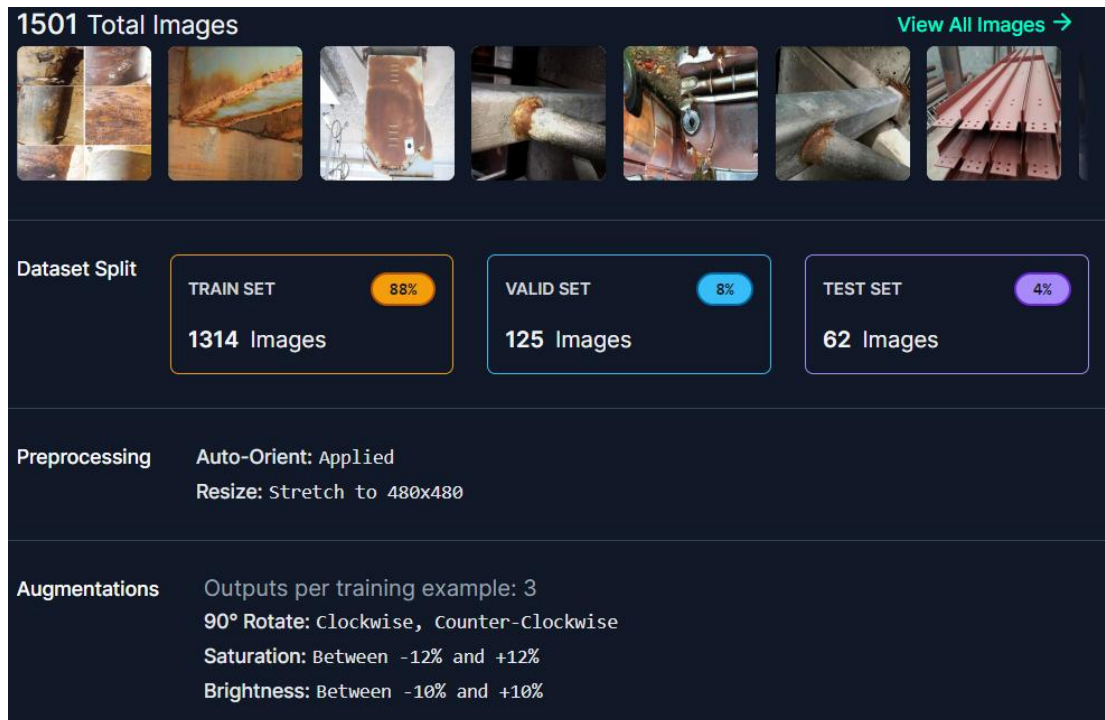
Σχήμα 40 Παράδειγμα από το Test Set (φαίνεται πάνω δεξιά) για το "Classification"

Έγινε ο καθιερωμένος έλεγχος υγείας, και προέκυψε ότι ο υγιής χάλυβας είχε επαρκή ποσότητα, ενώ ο διαβρωμένος περισσότερη από το απαραίτητο, κάτι που δεν είναι αρνητικό.



Σχήμα 41 Έλεγχος υγείας για το μοντέλο «Κατηγοριοποίησης»

Στη συνέχεια, προκειμένου να αυξηθούν τα δεδομένα άρα και η πιθανότητα-ικανότητα του μοντέλου να ανιχνεύει τη διάβρωση, αντίγραφα των φωτογραφιών δημιουργήθηκαν και επιδέχτηκαν τροποποιήσεις, ως προηγουμένως, πχ 90 μοίρες στροφή, 10% περισσότερη ή λιγότερη φωτεινότητα, 12% περισσότερος ή λιγότερος κορεσμός (πιο έντονο χρώμα ή πιο ξεθωριασμένο), ώστε να αυξηθούν και τα πιθανά σενάρια που θα παρουσιαστεί μία εικόνα. Με τον τρόπο αυτό, τελικά προέκυψαν 1501 φωτογραφίες-δεδομένα.

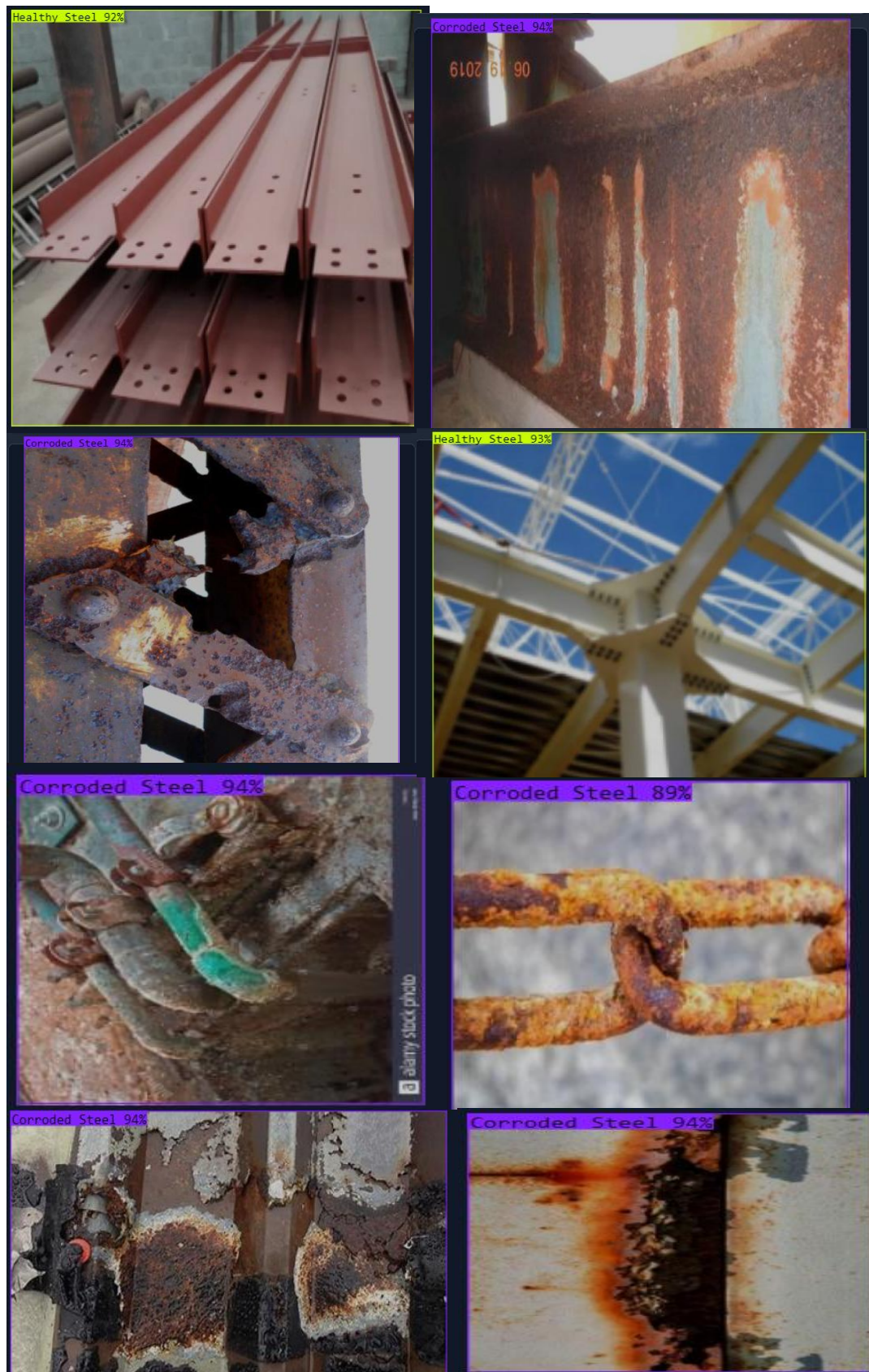


Σχήμα 42 Εικόνες σε κάθε σετ και "Augmentations" (Τροποποιήσεις) για το μοντέλο Κατηγοριοποίησης

Στη συνέχεια, εκτελέστηκε μοντέλο "Multi-label Classification" με τη βοήθεια του Roboflow (Roboflow 2.0 "Multi-label Classification") περίπου ως πριν και προέκυψε μία "Validation Accuracy" 98,7% (δηλαδή ο λόγος σωστών κατηγοριοποιήσεων-labels προς όλες τις κατηγοριοποιήσεις-overall labels).

Στη συνέχεια, εισήλθαν δεδομένα από το training set αλλά και νέα δεδομένα, και προβλέφθηκε η Κατηγορία τους.



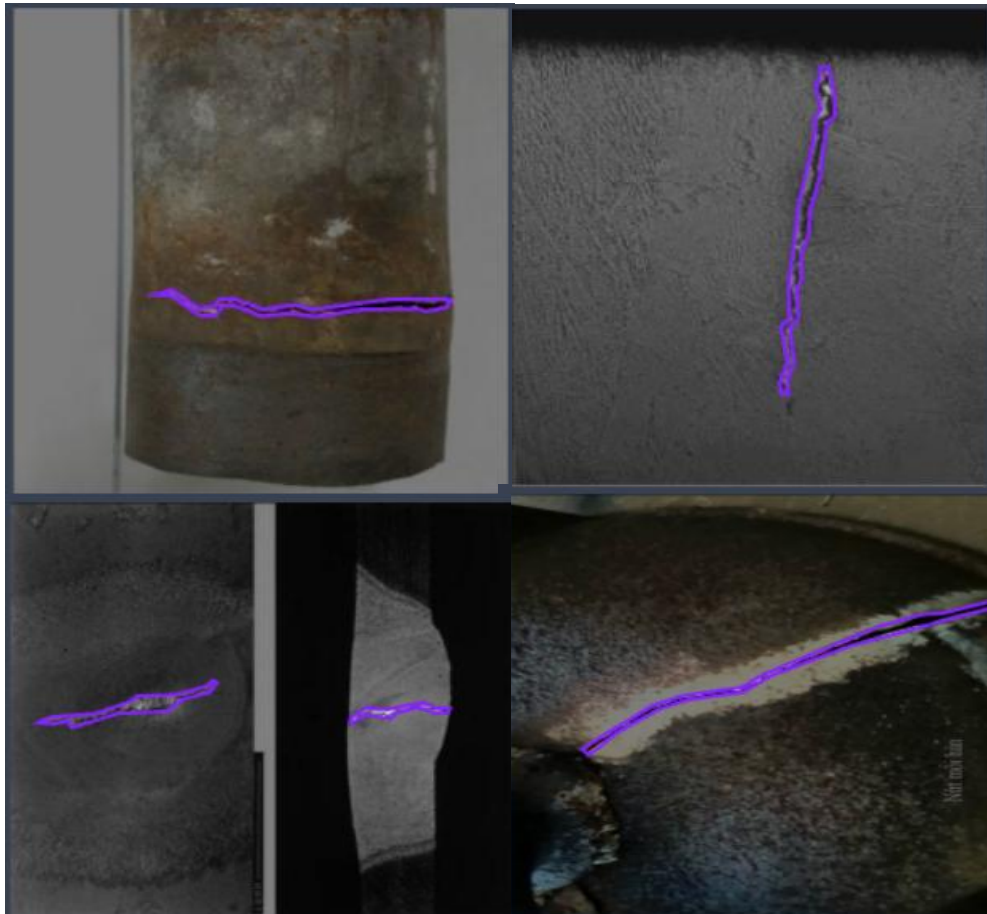


Σχήμα 43 Αποτελέσματα Κατηγοριοποίησης (Διαβρωμένος ή Υγιής Χάλυβας) από το Train Set, αλλά και από νέες εικόνες, εκτός του συνόλου.

### 10.3 10.3. 2<sup>ο</sup> Μοντέλο: Εντοπισμός ρωγμών

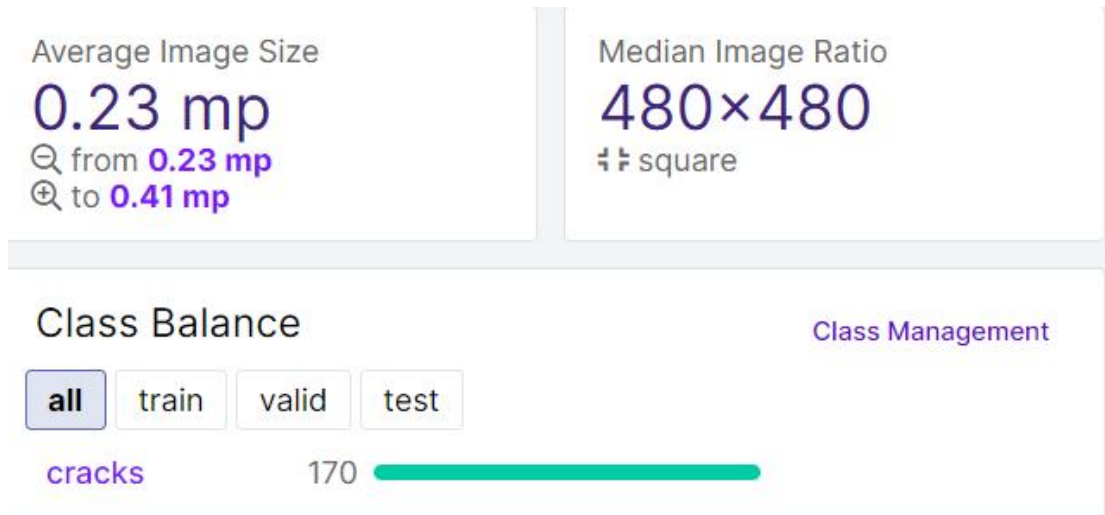
Κατά το σενάριο αυτό, έγινε προσπάθεια εύρεσης ρωγμών πάνω στα χαλύβδινα μέλη, έτσι ώστε να αποφεύγεται η επαναχρησιμοποίησή τους. Προκειμένου να γίνει ευκολότερος ο εντοπισμός των ρωγμών, χρησιμοποιήθηκε η λογική του "Instance Segmentation" (με τη βοήθεια του Roboflow: Roboflow 3.0 "Instance Segmentation"), δηλαδή εντοπίζεται το επιθυμητό χαρακτηριστικό με αλγορίθμους «Object Detection», όπως το YOLO (με "bounding boxes" γύρω από το χαρακτηριστικό Object, πχ ρωγμή). Στη συνέχεια, κατηγοριοποιείται το χαρακτηριστικό (εδώ έχουμε μόνο ένα, αλλά σε άλλες εφαρμογές μπορούν να υπάρχουν περισσότερα, πχ άνθρωποι, κατοικίδια, αυτοκίνητα, κλπ για εφαρμογές αυτόματης οδήγησης – "self-driving car"). Με τον τρόπο αυτό, το μοντέλο βρίσκει μοτίβα για κάθε χαρακτηριστικό και αυτόματα εντοπίζει παρόμοια χαρακτηριστικά σε φωτογραφίες που δεν έχει ξανά αντικρίσει. Ουσιαστικά, κάθε πίξελ κατηγοριοποιείται ως «ρωγμή» ή «όχι ρωγμή».

Αρχικά, με τη βοήθεια του χρήστη, τίθενται τα "Boundary boxes" των ρωγμών για διαφορετικές φωτογραφίες (Εδώ χρησιμοποιήθηκε το μικρό σύνολο δεδομένων των 131 φωτογραφιών).



Σχήμα 44 Καθορισμός ρωγμών από το χρήστη

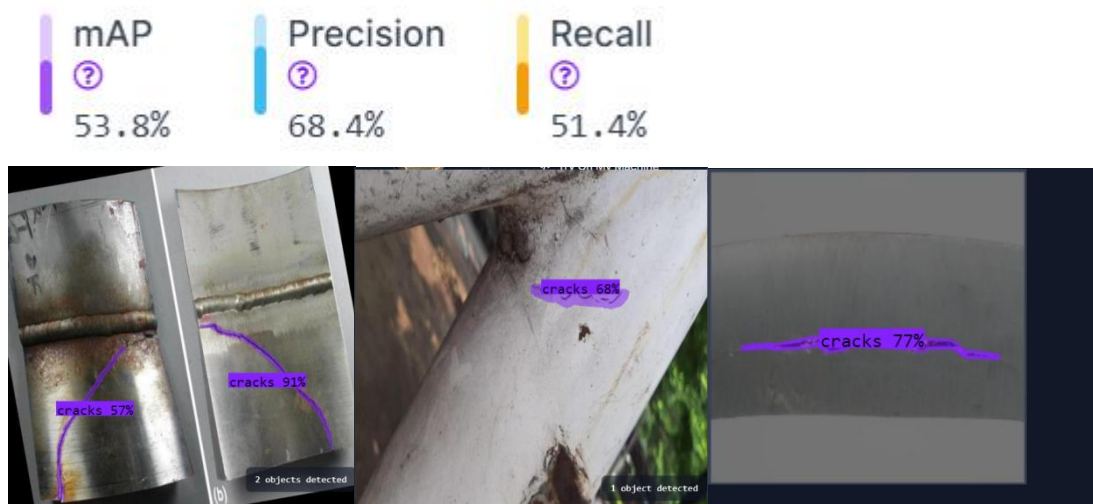




Σχήμα 45 Έλεγχος Υγείας για εύρεση των ρωγμών

Στη συνέχεια έγιναν οι καθιερωμένες τροποποιήσεις (“Augmentations”): Περιστροφή 90 μοιρών, κορεσμός 11%, φωτεινότητα 10%, ώστε να προκύψουν τελικά 315 φωτογραφίες (276 στο Train Set, 26 στο Valid Set, και 13 στο Test Set).

Αφού τρέξει το μοντέλο, λαμβάνονται τα παρακάτω αποτελέσματα:



Σχήμα 46 Αποτελέσματα Εύρεσης ρωγμών από το μοντέλο στο Train Set

Φαίνεται ότι παρόλο που τα ποσοστά mAP, Precision και Recall δεν είναι τα καλύτερα, οι ρωγμές ευρίσκονται με καλό ποσοστό. Ίσως να χρειάζονταν παραπάνω δεδομένα. Παρ’ όλ’ αυτά, στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής και για την εφαρμογή που θα χρειαστεί το μοντέλο, τα αποτελέσματα αυτά είναι αρκετά.

# 11 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΠΑΝΑΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗΣ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΜΕΛΩΝ

## 11.1 Ανάκτηση και αξιολόγηση μελών

Στα πλαίσια της παρούσης εργασίας, που αφορά στην επαναχρησιμοποίηση μελών χάλυβα, αποφασίστηκε να ληφθεί σαν υπόβαθρο επαναχρησιμοποίησης μία κατασκευή, στην οποία υπήρχε εύκολη πρόσβαση και μπορούσε να αποτυπωθεί. Η εν λόγω κατασκευή είναι το υπαίθριο θέατρο του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, το οποίο έχει ανεγερθεί εδώ και αρκετά χρόνια, αλλά δεν τέθηκε ποτέ σε ουσιαστική λειτουργία. Στην προσπάθεια περιβαλλοντικής μέριμνας για μείωση των εκπομπών από την παραγωγή νέου χάλυβα και από την απόρριψη του έργου, αποφασίστηκε να μελετηθεί η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησής των μελών του. Η νέα κατασκευή που επιλέχθηκε είναι ένας μεταλλικός δικτυωτός πυλώνας μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, σε διάταξη ευθυγραμμίας και μικρής γωνίας, για γραμμή μεταφοράς τάσης 150kV, λόγω της ομοιότητας των μελών που εν γένει χρησιμοποιούνται σε αυτές τις κατασκευές με το υπαίθριο θέατρο (κυρίως γωνιακά μέλη). Επιπλέον βάσει PROGRESS (2020), οι δικτυωτές κατασκευές ευνοούν την εξοικονόμηση υλικών.

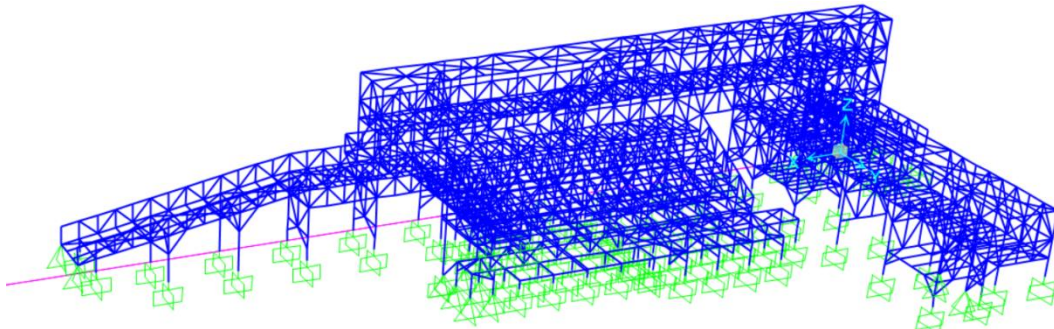
Αρχικά, είναι γεγονός πως όλες οι εργασίες αποτίμησης, αλλά και επαναχρησιμοποίησης χρειάζονται και εργασία επί τω πεδίω. Για το λόγο αυτό, το πρώτο από όλα τα βήματα ήταν να ληφθούν φωτογραφίες από όσο το δυνατόν περισσότερα μέλη της κατασκευής (ώστε να υπάρχει μία αρχική εικόνα και να μπορέσει να δημιουργηθεί μία Βάση Δεδομένων).



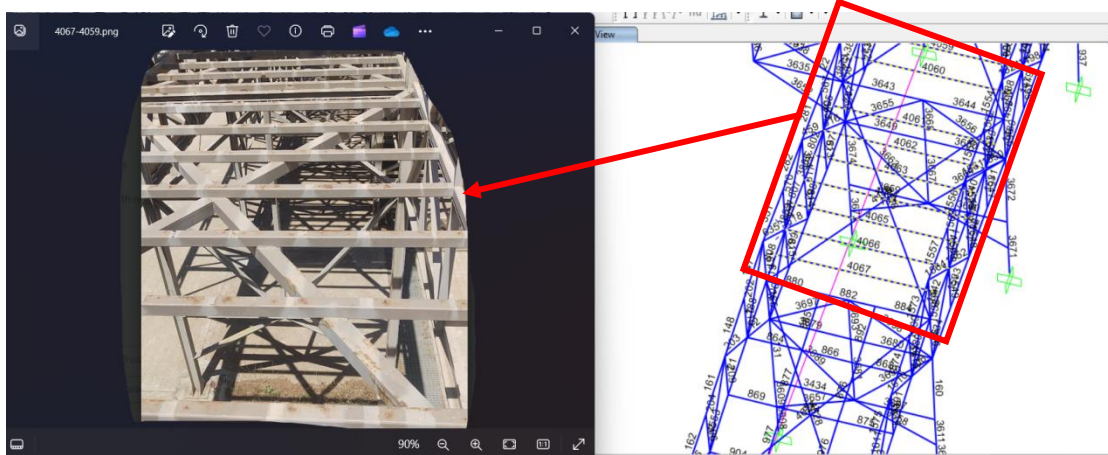
Σχήμα 47 Παραδείγματα φωτογραφιών από το πεδίο

Στη συνέχεια, λήφθηκε το μοντέλο της κατασκευής στο SAP2000. Από εκεί και έπειτα, είναι σημαντικό να αντιστοιχηθούν όλα τα μέλη από το πεδίο (φωτογραφίες) με τα αντίστοιχα του μοντέλου (στο SAP2000). Προκειμένου να δημιουργηθεί μία Βάση Δεδομένων από την οποία θα επιλέγονται τα μέλη για εκ νέου χρήση, δημιουργήθηκε αρχικά για κάθε μέλος μία ετικέτα στην οποία αναγράφονταν τα παρακάτω:

- Διατομή
- Μήκος
- Ποιότητα
- Αν έχει υποστεί διάβρωση ή όχι
- Αν έχει ρωγμές
- Αν έχει οπές κοχλίωσης
- Αν έχει αποκλίσεις από την ευθυγραμμία

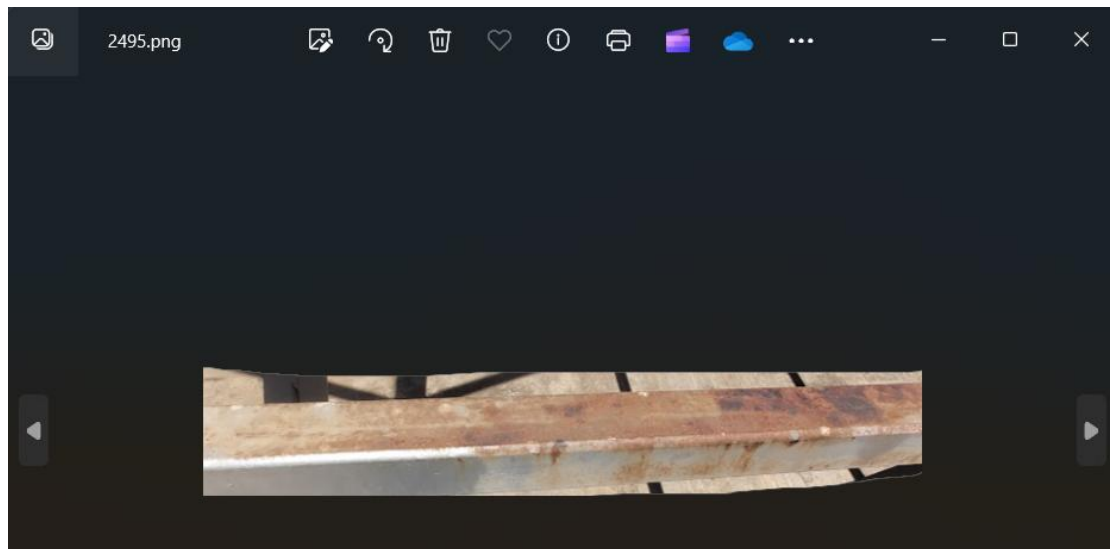


Σχήμα 48 Στιγμιότυπο από το SAP2000, όπου φαίνεται το υπαίθριο θέατρο ΕΜΠ

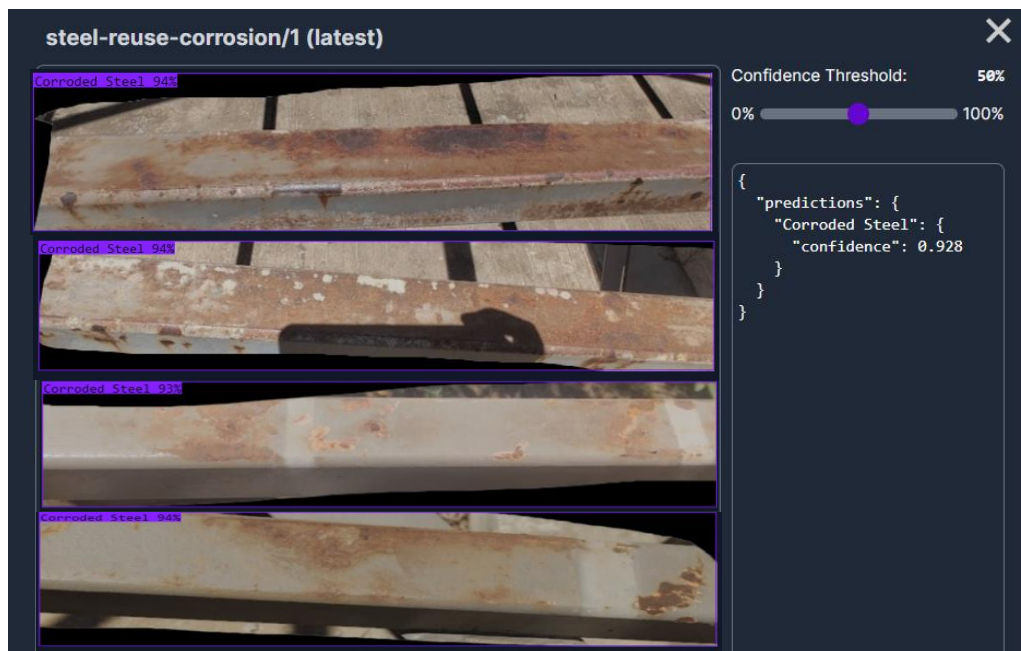


Σχήμα 49 Παράδειγμα αντιστοίχισης μελών 4059-4067 μεταξύ SAP και φωτογραφιών από το πεδίο. Η διαδικασία αυτή έγινε για όλα τα μέλη που ταυτοποιήθηκαν.

Όλες οι συνδέσεις μεταξύ των μελών, όπως μαρτυρούν και οι φωτογραφίες, έγιναν με συγκολλήσεις. Επιπλέον, ο χάλυβας που χρησιμοποιήθηκε για όλα τα μέλη ήταν S235. Ακόμα, δε φάνηκαν να υπάρχουν καμπυλώσεις στα μέλη (αυτό θα έπρεπε να ελεγχθεί κανονικά με εργαστηριακές δοκιμές). Η διατομή και το μήκος για κάθε μέλος εξήχθη από το λογισμικό χειροκίνητα. Όσον αφορά τον εντοπισμό διάβρωσης και ρωγμών, δημιουργήθηκε για κάθε μέλος (για τη μοναδική του ετικέτα) μία φωτογραφία, αυτή τροποποιήθηκε ώστε να έχει συμβατές διαστάσεις, και τροφοδοτήθηκαν τα 2 μοντέλα που δημιουργήθηκαν προηγουμένως ("Classification", "Instance Segmentation"), προκειμένου να αποφανθεί η Τεχνητή Νοημοσύνη εάν τα μέλη είναι συμβατά για επανάχρηση ή όχι.



Σχήμα 50 Μέλος 2495, με τροποποιημένες διαστάσεις εξαγμένο από το φάκελο "reuse" με το σύνολο των φωτογραφιών από το υπαίθριο θέατρο



Σχήμα 51 Αποφάσεις από το μοντέλο TN για 5 παραδείγματα διαβρώσεως (μέλη 2196, 2198, 941, 3930)





Σχήμα 52 Αποφάσεις από το μοντέλο TN για 4 παραδείγματα υγιούς χάλυβα (μέλη 868, 2083, 875, 1975)

Ρωγμές δεν εντοπίστηκαν (με 50% αυτοπεποίθηση):



Σχήμα 53 Παράδειγμα εντοπισμού ρωγμών – Μέλος 290 (δεν εντοπίστηκαν)

## 11.2 Δημιουργία Βάσης Δεδομένων

Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε ένα φύλλο Excel ως Βάση Δεδομένων, όπου για κάθε αριθμό-ετικέτα, στις διπλανές στήλες αναγράφονται τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά. Η αρίθμηση της ετικέτας αυτής είναι η ίδια στο SAP2000 (μοντέλο με το υπαίθριο θέατρο) και στο Excel, ώστε να μπορούν να ανακτηθούν τα μέλη σωστά. Συνολικά, στο SAP2000 υπήρχαν 4632 ετικέτες.

Για τη δημιουργία της Βάσης Δεδομένων χρησιμοποιήθηκαν δοκοί και τεγίδες, καθώς αυτές δεν αναλαμβάνουν ούτε σημαντικά σεισμικά, ούτε σημαντικά κατακόρυφα φορτία. Επιπλέον, δεδομένου ότι το κτίριο καταπονούνται μονάχα από το Ίδιο Βάρος του, θεωρήθηκε πως μπορούν να εξετασθούν και τα υποστυλώματα. Επιπλέον, δεν εισήλθαν κατακόρυφοι και οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας λόγω του ότι πιθανότατα θα έλαβαν σεισμικά φορτία ή φορτία ανέμου και μπορεί να εισήλθαν στην πλαστική περιοχή (να απέκτησαν μόνιμες, πλαστικές παραμορφώσεις). Σημειώνεται πως η συγκεκριμένη Βάση Δεδομένων είναι η αρχική και βάσει αυτής θα προκύψει η [τελική](#).

267	L60X6	1,94	OXI	S235	OXI
268	SHS60/5	0,49	NAI	S235	OXI
269	L60X6	1,94	OXI	S235	OXI
270				S235	OXI
271				S235	OXI
272	SHS60X5	1,95	OXI	S235	OXI
273				S235	OXI
274	SHS60X5	1,95	OXI	S235	OXI
275	SHS60X5	1,95	OXI	S235	OXI
276	L60X6	0,97	OXI	S235	OXI
277	L60X6	0,97	OXI	S235	OXI
278	L60X6	0,97	OXI	S235	OXI
279				S235	OXI
280				S235	OXI
281				S235	OXI
282				S235	OXI
283				S235	OXI
284				S235	OXI
285	SHS60X5	1,95	OXI	S235	OXI
286	L60X6	0,97	OXI	S235	OXI
287	L60X6	0,97	OXI	S235	OXI
288	L60X6	0,97	OXI	S235	OXI

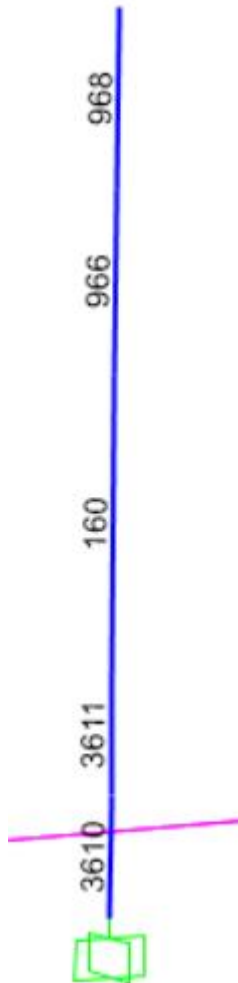
Σχήμα 54 Απόσπασμα από τη αρχική Βάση Δεδομένων

Βλέπουμε τις ετικέτες 267-288 (όπως έχουν ορισθεί στο SAP αρχείο για το υπαίθριο θέατρο και στην αρχική Βάση Δεδομένων), και δίπλα κατά σειρά:

- την εκάστοτε διατομή,
- το μήκος,
- το αν εντοπίζεται διάβρωση ή όχι,

- την ποιότητα χάλυβα, και
- την ύπαρξη ρωγμών.

Φαίνεται πως υπάρχουν κενά μεταξύ των ετικετών. Αυτό συμβαίνει είτε επειδή οι ετικέτες αυτές ανήκαν σε συνδέσμους δυσκαμψίας, είτε επειδή τα μέλη αυτά δεν κατορθώθηκε να εντοπισθούν και να αντιστοιχηθούν. Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι στο SAP2000 μία ετικέτα ("label") αντιστοιχεί σε κάθε μέλος ("element"), όπου μέλος βάσει του λογισμικού θεωρείται αυτό που βρίσκεται μεταξύ δύο κόμβων. Για παράδειγμα, ένα υποστύλωμα μπορεί να αποτελείται από παραπάνω από ένα μέλη (και κατ' επέκταση ετικέτες), ανάλογα πόσες συνδέσεις (και κατ' επέκταση κόμβοι) υπάρχουν σε αυτό, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 55 Εικόνα από το SAP, όπου φαίνονται οι διάφορες ετικέτες πάνω στο υποστύλωμα (Πηγή: SAP2000)

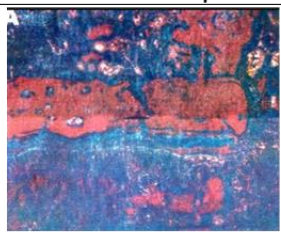



Βέβαια, στην πραγματικότητα, η αποσυναρμολόγηση θα γίνει για ολόκληρα τα μέλη, δηλαδή ολόκληρες τεγίδες, δοκούς, υποστυλώματα (πχ για το παραπάνω υποστύλωμα, οι 968, 966, 160, 3611, 3610 θα πρέπει να ενσωματωθούν σε μία νέα ετικέτα). Ωστόσο, για κάποια μέλη δεν είναι εύκολο να συμβεί αυτό, αφού είτε δεν υπάρχουν πληροφορίες για όλο το μήκος πχ μιας δοκού, είτε ενδιάμεσα αλλάζει η διατομή, είτε δεν βρίσκονται στην ίδια κατάσταση (πχ διάβρωση).

Οπότε προκειμένου να γίνει πιο εύκολη η εφαρμογή εκ νέου των μελών, αλλά και η αποσυναρμολόγησή τους, δημιουργήθηκε μία νέα Βάση Δεδομένων με ολόκληρα τα μέλη (όπως θα αποσυναρμολογηθούν) λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα παραπάνω (πχ στην περιγραφή/παρατηρήσεις). Τα τελικά μέλη με τη νέα, μοναδική ετικέτα είναι στο σύνολο 522.



Επίσης, αποφάνθηκε η διάβρωση να κατηγοριοποιηθεί, προκειμένου να είναι πιο εύκολη η τελική απόφαση για το αν θα επαναχρησιμοποιηθεί το εκάστοτε μέλος. Η *Βάση* περιέχει τις εξής πληροφορίες:

- Διατομή
- Μήκος
- Ποιότητα χάλυβα
- Ρωγμές
- Πρώην ετικέτες, δηλαδή από ποιες ετικέτες αποτελείται η νέα (όπως στο [παράδειγμα](#) του υποστυλώματος)
- Τυχόν πληροφορίες/παρατηρήσεις που εντοπίστηκαν κατά την αξιολόγηση των μελών και αξίζει να καταγραφούν
- Κατηγορία διάβρωσης, βάσει του ISO8501-1 (ISO, [2007](#))

Rust grade	Pictorial example	Description
A		Steel covered completely with adherent mill scale and with, if any little rust.
B		Steel surface which has begun to rust and from which the mill scale has begun to flake.
C		Steel surface on which the mill scale has rusted away or from which it can be scrapped, but with little pitting visible to the naked eye.
D		Steel surface on which the mill scale has rusted away and on which considerable pitting is visible to the naked eye.

Σχήμα 56 Κατηγορίες διάβρωσης (ISO, [2007](#))

ΜΕΛΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΧΑΛΥΒΑ	ΡΩΓΜΕΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΩΗΝ ΕΤΙΚΕΤΕΣ ΣΤΟ SAP
2	L60X6	1,21	A	S235	ΟΧΙ		1
3	L60X6	1,21	A	S235	ΟΧΙ		3
4	2UPN120X12	0,69	D	S235	ΟΧΙ	Κομμάτι υποστυλώματος διαβρωμένο	7
5	2L60X6	1,28	A	S235	ΟΧΙ		12
6	2L60X6	2,6	A	S235	ΟΧΙ		27,29
7	L60X6	4,8	A	S235	ΟΧΙ		24,26,28,30
8	2UPN120X12	9	A	S235	ΟΧΙ	Ίσως στα 41, 43 να χρειάζεται κόψιμο στη σύνδεση, λόγω διάβρωσης.	31, 33, 35, 37, 39, 41, 43, 44
9	SHS60X5-L60X6	13	B-C	S235	ΟΧΙ	Κάποια είναι B και άλλα C (40, 4583, 4589, 4601)	4601-32-4587-40-36-4585-4583-4581-4579-4577-4593-4591-4589
10	SHS60X5-L60X6	13	B-C	S235	ΟΧΙ	Κάποια είναι B και άλλα C (4473, 186, 45, 4553, 48)	4575, 4573, 186, 45, 4557, 61, 56, 52, 48, 4555, 4553, 21, 18, 8
11	2UPN120X12	9	A	S235	Ίσως	Ίσως στη μέση του 57 να υπάρχει μία ρωμή	1920, 1921, 49, 51, 53, 55, 57, 58, 60

Σχήμα 57 Απόσπασμα από τη νέα/τελική Βάση Δεδομένων. Όπως φαίνεται, η αρίθμηση των μελών ξεκινάει από το «2» (Βλ. και ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ).

Οπότε κάθε μέλος που είχε χαρακτηριστεί ως μη διαβρωμένο, αυτομάτως κατηγοριοποιήθηκε ως A, ενώ για τα υπόλοιπα χρειάστηκε εκ νέου χαρακτηρισμός.

Αξίζει να σημειωθεί ότι τα περισσότερα μέλη αξιολογήθηκαν ως A, ενώ ελάχιστα ως D. Παρόλο που κάποια μέλη είναι σκουριασμένα, θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν το γεγονός ότι θα ακολουθήσουν διεργασίες, όπως καθάρισμα, αμμοβολή και νέα στρώση (αντιδιαβρωτικής) προστασίας για όλα τα μέλη. Άρα τα περισσότερα, ουσιαστικά, μέλη θα είναι συμβατά (από πλευράς διάβρωσης) για επανάχρηση (εάν λάβουμε υπόψιν ότι το περιβάλλον της κατασκευής δεν διαθέτει νερό ή χημικά, ώστε να είναι εντονότερη η διάβρωση).

Ακόμα ένα στοιχείο άξιο σημείωσης είναι το γεγονός ότι η σκουριά είναι ένα είδος διάβρωσης: Η σκουριά συμβαίνει κυρίως στο χάλυβα, ύστερα από έκθεση στον αέρα (οξειδωση) και την υγρασία, ενώ η διάβρωση συμβαίνει σε μέταλλα και μη, ύστερα από έκθεση στον αέρα ή σε χημικά (και οι δύο μπορούν να επιταχυνθούν ύστερα από έκθεση σε χημικά ή θαλασσινό νερό) (Abbas, [2021](#), AREPA, [n.d.](#))



Σχήμα 58 Μέλος 133, που κατηγοριοποιήθηκε ως A



Σχήμα 59 Μέλος 129, που κατηγοριοποιήθηκε ως B

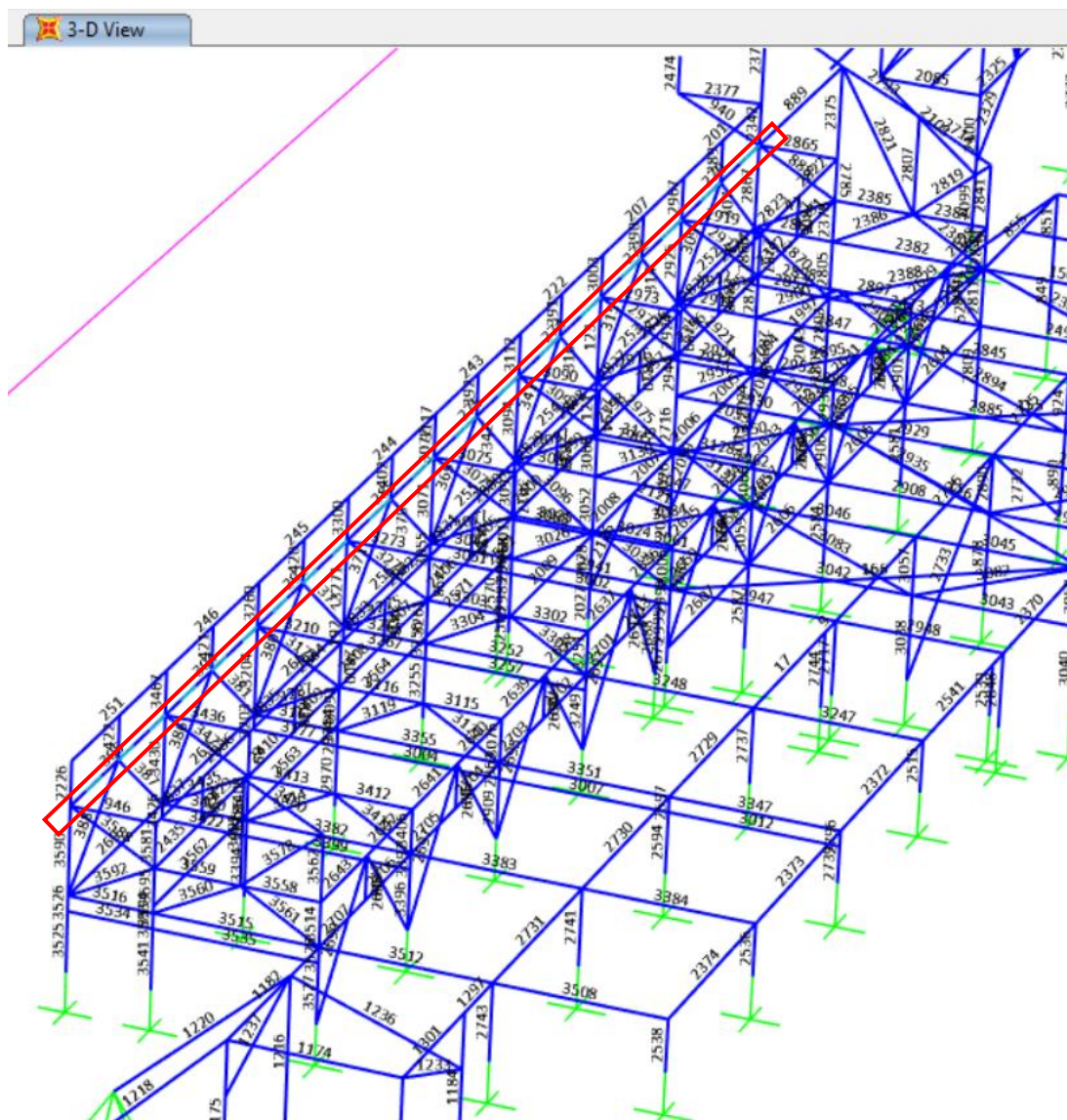


Σχήμα 60 Μέλος 140, που κατηγοριοποιήθηκε ως C



Σχήμα 61 Μέλος 251, που κατηγοριοποιήθηκε ως D (λόγω της διάβρωσης με απώλεια διατομής που υπάρχει στην άκρη)

Όπως έχει αναφερθεί, τα μέλη από το θέατρο είτε αποσυαρμολογούνται ολόκληρα (εάν όλα τα επιμέρους έχουν την ίδια κατηγορία διάβρωσης), είτε διακόπτονται λόγω απουσίας πληροφοριών ή διαφορετικής κατηγορίας διάβρωσης ή διαφορετικής διατομής.



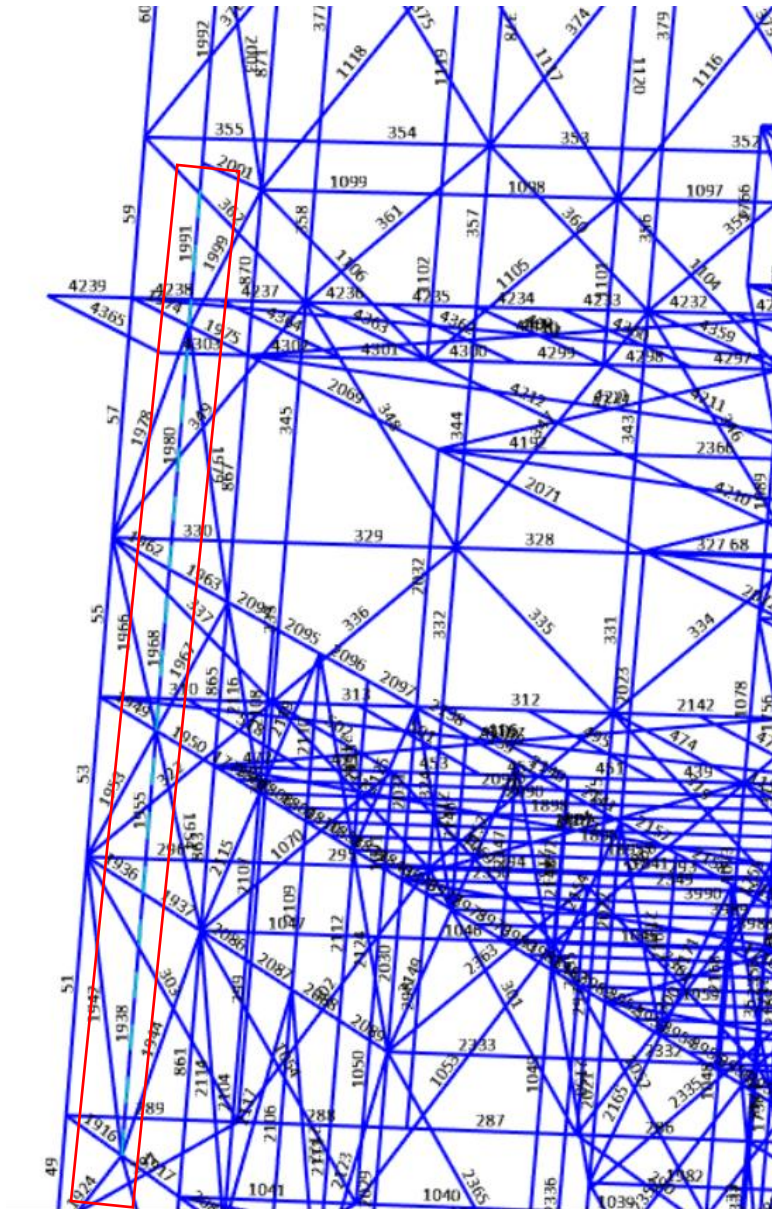
Σχήμα 62 Στιγμιότυπο από το SAP με το υπαίθριο θέατρο (κάποια μέλη έχουν αφαιρεθεί από την εικόνα για λόγους ευκρίνειας). Φαίνονται τα μέλη 305, 304, 292, 285, 275, 274, 272, 270



του SAP που θα αποσυναρμολογηθούν ως ενιαίο μέλος με ετικέτα «43» της [Βάσης Δεδομένων](#) και το μέλος αυτό θα ανεγερθεί και ως ενιαίο στην επόμενη εφαρμογή. Υπάρχουν δεδομένα για όλα τα μέλη και έχουν την ίδια κατηγορία διάβρωσης (A) βάσει Κατηγορίες διάβρωσης (ISO, 2007).

Πίνακας 14 Απόσπασμα από τη [Βάση Δεδομένων](#), όπου φαίνεται το μέλος 43 και οι πρώην ετικέτες (από το SAP με το υπαίθριο θέατρο)

ΜΕΛΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΧΑΛΥΒΑ	ΡΩΓΜΕΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΩΗΝ ΕΤΙΚΕΤΕΣ ΣΤΟ SAP
43	SHS60X5	10,8	A	S235	ΟΧΙ		305,304,292,285,275,274,272,270

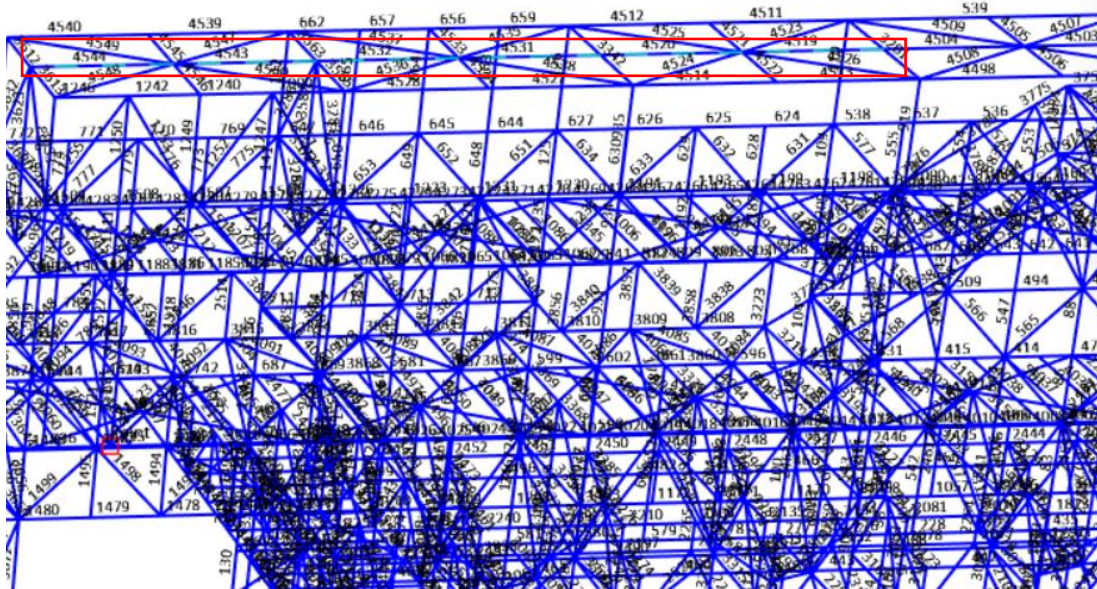


Σχήμα 63 Στιγμιότυπο από το SAP με το υπαίθριο θέατρο (κάποια μέλη έχουν αφαιρεθεί από την εικόνα για λόγους ευκρίνειας). Φαίνονται τα μέλη 1938, 1955, 1968, 1980, 1991 του SAP που θα αποσυναρμολογηθούν ως ενιαίο μέλος με ετικέτα «267» στη [Βάση Δεδομένων](#) και το μέλος αυτό θα ανεγερθεί και ως ενιαίο στην επόμενη εφαρμογή. Υπάρχουν δεδομένα για τα συγκεκριμένα μέλη και έχουν την ίδια κατηγορία διάβρωσης (A). Ωστόσο, για το μέλος 1992

δεν υπήρχαν δεδομένα (επειδή ήταν αρκετά ψηλά). Οπότε κατά την αποσυναρμολόγηση, θα ληφθεί ως ενιαίο το μέλος με την ετικέτα της Βάσης 267 και θα χωριστεί πριν το 1992.

Πίνακας 15 Απόσπασμα από τη [Βάση Δεδομένων](#), όπου φαίνεται το μέλος 267 και οι πρώην ετικέτες (από το SAP με το υπαίθριο θέατρο)

267	2L50X5	4,5	A	S235	ΟΧΙ	1955,1968,1980,1991
-----	--------	-----	---	------	-----	---------------------

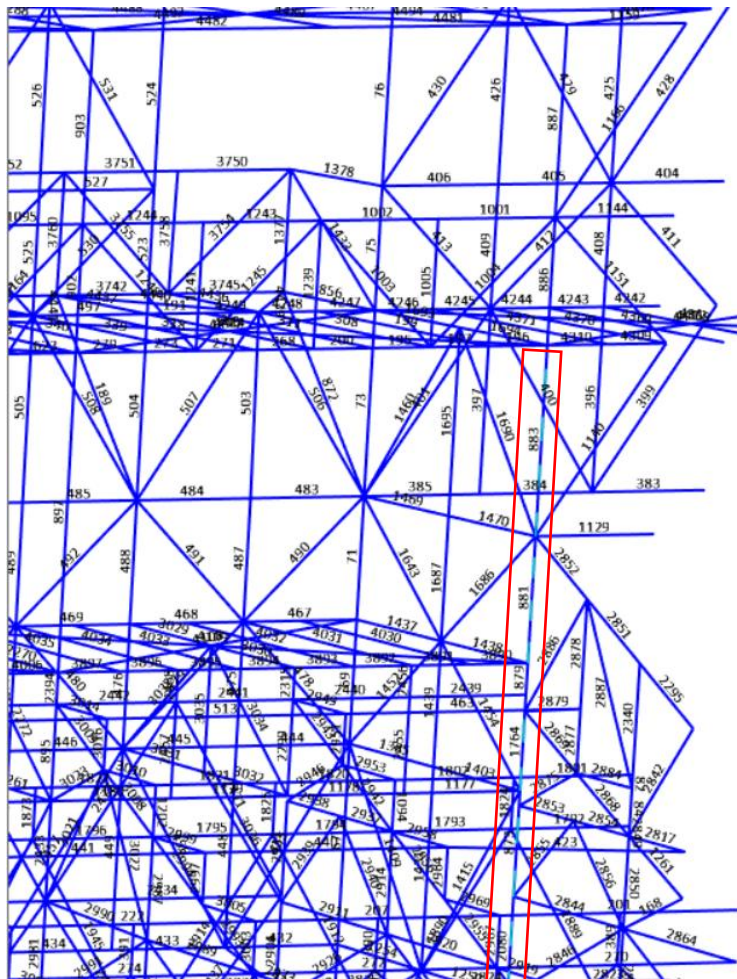


Σχήμα 64 Στιγμιότυπο από το SAP με το υπαίθριο θέατρο (κάποια μέλη έχουν αφαιρεθεί από την εικόνα για λόγους ευκρίνειας). Φαίνονται τα μέλη 4544, 4543, 4532, 4531, 4520, 4519 του SAP που θα αποσυναρμολογηθούν ως ενιαίο μέλος με ετικέτα «519» στη [Βάση Δεδομένων](#) και το μέλος αυτό θα ανεγερθεί και ως ενιαίο στην επόμενη εφαρμογή. Υπάρχουν δεδομένα για τα συγκεκριμένα μέλη και έχουν την ίδια κατηγορία διάβρωσης (A). Ωστόσο, για το μέλος 4504 δεν υπήρχαν δεδομένα (επειδή ήταν ψηλά και μακριά από κάποιο στήριγμα – δεν υπήρχε «δάπεδο επικαλύψεως», για να είναι δυνατό το βάδισμα επί των δοκαριών). Οπότε κατά την αποσυναρμολόγηση, θα ληφθεί ως ενιαίο το μέλος με την ετικέτα της Βάσης 519 και θα χωριστεί πριν το 4504.

Πίνακας 16 Απόσπασμα από τη [Βάση Δεδομένων](#), όπου φαίνεται το μέλος 519 και οι πρώην ετικέτες (από το SAP με το υπαίθριο θέατρο)

519	L60X6	11,7	A	S235	ΟΧΙ	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4544,4543,4532,4531,4520,4519
-----	-------	------	---	------	-----	---	-------------------------------





Σχήμα 65 Στιγμιότυπο από το SAP με το υπαίθριο θέατρο (κάποια μέλη έχουν αφαιρεθεί από την εικόνα για λόγους ευκρίνειας). Φαίνονται τα μέλη 883, 881, 879, 1764, 873, 2080, 2786, 2784, 1295 τα οποία θα αποσυναρμολογηθούν ως ενιαίο μέλος. Το συνολικό υποστύλωμα είναι 9 m, αλλά το εναπομείναν ενιαίο μέλος (2,5 m) που αποτελείται από τα μέλη 886 και 887, είναι κατηγορίας διάβρωσης Β, λόγω της διάβρωσης στη σύνδεση μεταξύ 883 και 886. Για το λόγο αυτό, χωρίζεται το υποστύλωμα, και τελικά για να ανεγερθεί, συνδέεται με ένα άλλο μήκους 2,6 m και κατηγορίας Α.

Πίνακας 17 Απόσπασμα από τη [Βάση Δεδομένων](#), όπου φαίνεται το μέλος 326 και οι πρώην ετικέτες (από το SAP με το υπαίθριο θέατρο)

326	2UPN120X1 2	6, 5	A	S235	OX I	883,881,879,1764,873,2080,2786,2784,1295
-----	----------------	---------	---	------	---------	--





Σχήμα 66 Μέλος 883 όπου φαίνεται η διάβρωση στη σύνδεση με το 886 (από πάνω)

Προκειμένου να γίνει πιο εύκολη η εύρεση των ανακτημένων μελών, θα μπορούσαν να προστεθούν μοναδικές ετικέτες με τη μέθοδο [RFID](#), όπου στην καθεμία είναι καταγεγραμμένος ο αντιπροσωπευτικός αριθμός της (ως στη Βάση Δεδομένων). Επιπλέον θα έπρεπε, [βάσει και του πρωτοκόλλου SCI και του οδηγού PROGRESS](#), να γίνουν οι απαραίτητες [δοκιμές](#) στα μέλη, ώστε να ελεγχθεί η καταλληλότητά τους για επαναχρησιμοποίηση. Βέβαια, τα παραπάνω υπερβαίνουν το σκοπό της διπλωματικής αυτής. Τέλος, θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι το ρόλο της τράπεζας υλικών στη συγκεκριμένη εφαρμογή διαδραματίζει ο συγγραφέας αυτής της διπλωματικής. Δηλαδή, εφόσον λάμβανε χώρα η εφαρμογή, θα ήταν υπεύθυνος για την αξιολόγηση, ανάκτηση, διαχείριση, έλεγχο και εκ νέου χρήση των μελών.

### 11.3 Σχεδιασμός Πυλώνα

#### 11.3.1 Γεωμετρία

Έχοντας τα παραπάνω υπόψιν, ξεκινάει ο σχεδιασμός του πυλώνα. Ο σχεδιασμός έγινε βάσει της βιβλιογραφίας (Καφαράκη, [2018](#), Στεφάνου, [2020](#)). Ο πυλώνας έχει συνολικό ύψος 32,5m, τετραγωνική κάτοψη διαστάσεων 5m στην βάση του, και αποτελείται από τρεις γέφυρες τριγωνικής κάτοψης, στις οποίες συνδέονται οι αγωγοί μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Η προσομοίωση του φορέα έγινε με τη χρήση του λογισμικού SAP2000.

Οι γραμμές μεταφοράς ενέργειας διακρίνονται σε γραμμές απλού κυκλώματος, διπλού κυκλώματος και πολλαπλών κυκλωμάτων. Ακόμη, ανάλογα με τη διεύθυνση της γραμμής μεταφοράς ενέργειας, οι πύργοι διακρίνονται σε πύργους ευθυγραμμίας, μικρής γωνίας, γωνίας 45° και γωνίας 75° ή τέρματος.

Η εργασία αυτή αφορά πυλώνες μεταφοράς τάσης 150KV, οι οποίοι διακρίνονται σε 12 τύπους, που παρουσιάζονται στον [Πίνακα 18](#) (Καφαράκη, [2018](#)). Ο πυλώνας που επιλέχθηκε είναι διπλού κυκλώματος και μικρής γωνίας.

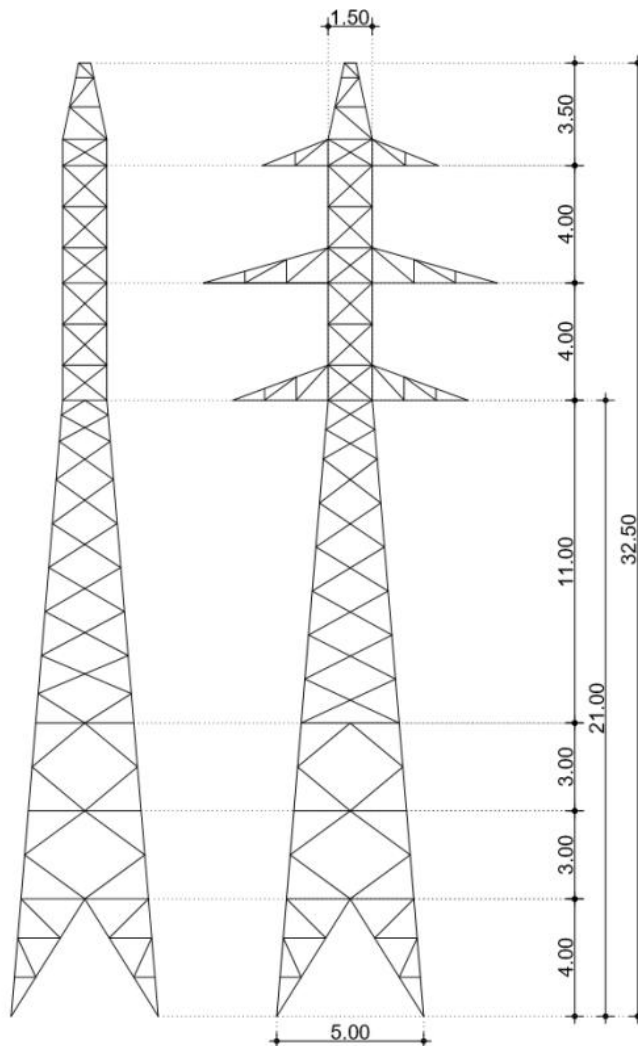
Πίνακας 18 Τύποι Πυλώνων μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας 150 kV

Κατηγορία	E	B	2B
Τύπος πύργου	Απλό κύκλωμα ελαφρού τύπου	Απλό κύκλωμα βαρέως τύπου	Διπλό κύκλωμα βαρέως τύπου
ευθυγραμμίας	S2	S3	S4
μικρής γωνίας	R2	R3	R4
γωνίας 45°	T2	T3	T4
γωνίας 75° ή τέρματος	Z2	Z3	Z4

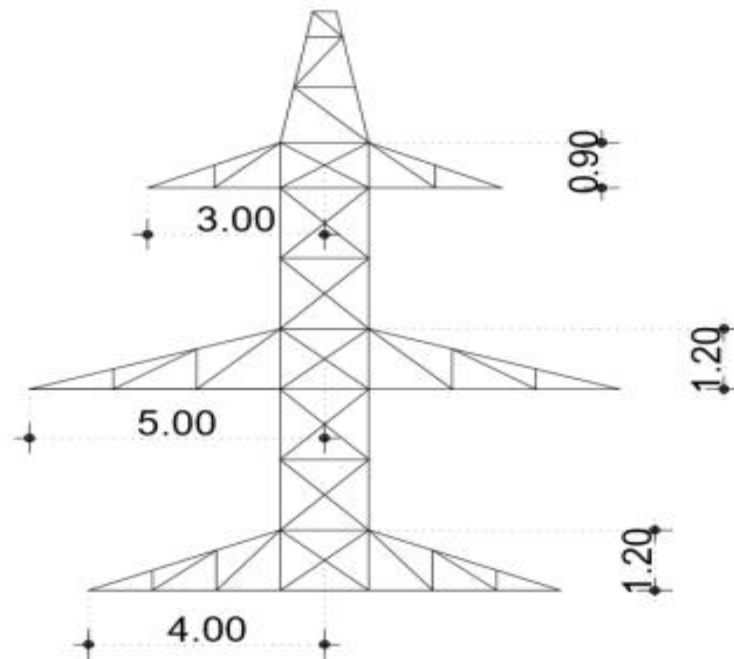
Πηγή: Καφαράκη (2018)

Το κάτω μέρος του πυλώνα έχει ύψος 21 m και στο επίπεδο αυτό η κάτοψη του έχει διαστάσεις 1,5 m x 1,5 m. Το πάνω μέρος του πυλώνα, δηλαδή από το σημείο που οι ορθοστάτες γίνονται παράλληλοι και έπειτα, έχει ύψος 11,5 m. Ο πυλώνας, στο τμήμα αυτό, αποτελείται από 3 γέφυρες τριγωνικής κατόψεως.

Επειδή οι πυλώνες αυτού του τύπου συνήθως αποτελούνται από γωνιακά μεγαλύτερης διατομής από τα διαθέσιμα και επειδή η ποιότητα του χάλυβα είναι σχετικά χαμηλή (S235), χρησιμοποιήθηκαν και τα υπόλοιπα, μη γωνιακά μέλη (SHS60X6, 2U65X42, 2UPN120/12, SHS50X5). Η γεωμετρία του φορέα φαίνεται στα Σχήματα 67, 68, 69, 70.



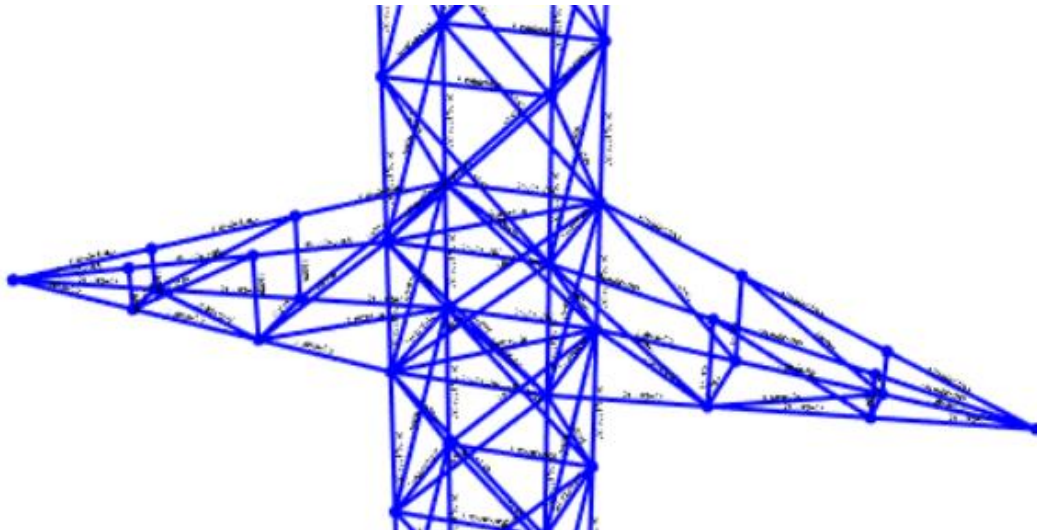
Σχήμα 67 Διαμήκης και εγκάρσια όψη πυλώνα



Σχήμα 68 Εγκάρσια Όψη των γεφυρών

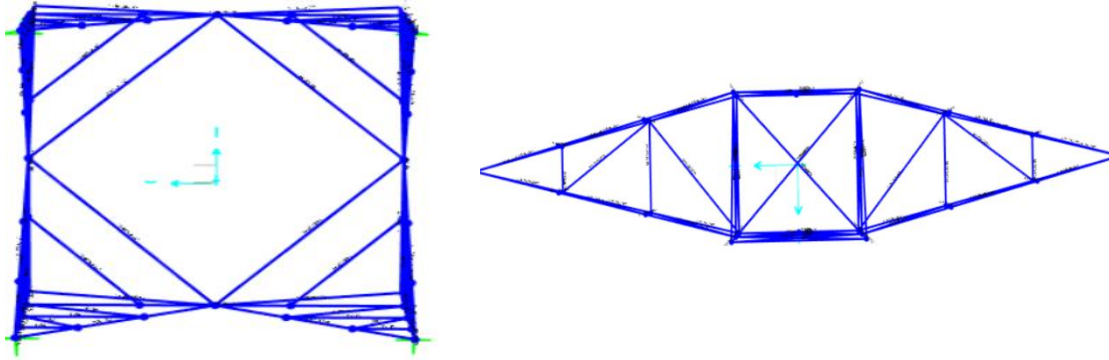


Σχήμα 69 Κάτοψη πέλματος (δεύτερης) γέφυρας



Σχήμα 70 Τρισδιάστατη απεικόνιση περιοχής γέφυρας από το περιβάλλον του SAP2000

Στις στάθμες +2,5 m και +4,0 m καθώς και στα οριζόντια επίπεδα πάνω και κάτω από κάθε γέφυρα, έχουν τοποθετηθεί οριζόντιοι σύνδεσμοι, για την ενίσχυση της οριζόντιας δυσκαμψίας του πυλώνα, οι οποίοι συνδέουν τα τέσσερα κατακόρυφα δικτυώματα (καθ' ύψος) των πλευρών του πυλώνα, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα:



Σχήμα 71 Τομή στο επίπεδα +4,0m (αριστερά) και +21,0m (δεξιά)

Τα τέσσερα δικτυώματα της βάσης του पुलώνα είναι συμμετρικά καθ' ύψος. Από τη στάθμη +10,0 m μέχρι +21,0 m, τα χιαστί στις δύο διευθύνσεις έχουν τοποθετηθεί διαφορετικά, ώστε οι συνδέσεις τους με τους ορθοστάτες να γίνεται σε διαφορετικές στάθμες, προκειμένου να κατασκευάζονται ευκολότερα.

Η λογική που ακολουθήθηκε για την επαναχρησιμοποίηση είναι η εξής:

- Γίνεται αναζήτηση για το μέλος με την επιθυμητή διατομή και το επιθυμητό μήκος στη Βάση Δεδομένων
- Εάν δεν υπάρχει κάποιο μέλος με το επιθυμητό μήκος στη Βάση (το πιο σύνηθες σενάριο), τότε είτε επιλέγεται ένα κατά τι μακρύτερο μέλος με σκοπό να υποστεί διεργασίες κοπής, είτε επιλέγονται δύο (ή τρία για τους ορθοστάτες, τους συνδέσμους Λ και τις οριζόντιες δοκούς των γεφυρών) κοντύτερα μέλη με την ίδια διατομή με σκοπό να συγκολληθούν κατά μήκος. Η επιλογή αυτή πρέπει να γίνει έχοντας ως γνώμονες την οικονομία υλικών και τη λιγότερη δυνατή επεξεργασία των μελών.
- Ελέγχεται ότι το επιθυμητό (τελικό) μέλος δεν έχει υποστεί ρωγμές.
- Ελέγχεται η κατηγορία διάβρωσής του. Σκοπός είναι πρώτα να εξαντληθούν όλα τα μέλη με κατηγορία Α, ύστερα με Β και τέλος (αν κι εφόσον χρειάζεται με C – εδώ δε χρειάστηκε). Δεν χρησιμοποιούνται μέλη με βαθμό διάβρωσης D (ούτως ή άλλως, είναι ελάχιστα).
- Ελέγχεται η περιγραφή δίπλα από κάθε μέλος και επιθεωρείται το μέλος αφού επιλεγεί, ώστε να ληφθούν τα αντίστοιχα μέτρα. Για παράδειγμα, ορισμένα μέλη έχουν οπές πιθανότατα από πρώην σύνδεση με ξύλα. Πρέπει να ληφθεί μία απόφαση για το αν οι οπές αυτές βρίσκονται εντός της κρίσιμης διατομής και εάν είναι μικρό ή μεγάλο ποσοστό (15%) αυτής. Εν ολίγοις, αν είναι μεγάλες ή μικρές.
- Αφού αποφασισθεί η διαμόρφωση του εκάστοτε μέλους και η χρησιμοποίησή του στο φορέα, καταγράφονται σε ένα νέο φύλλο Excel (ειδικό για τον पुलώνα) όλα τα καινούρια μέλη και αυτά από τα οποία προέρχονται (από τη Βάση Δεδομένων). Για τα μέλη προστίθενται μοναδικές ετικέτες (Πίνακας 19).
- Υπάρχει η επιλογή εάν μία διατομή αποτελείται από 2 άλλες (πχ 2L60X6 ή 2SHS60X5), να χωρισθεί σε 2 όμοιες (L60X6 ή SHS60X5) και αντιστοίχως, εάν υπάρχουν 2 όμοιες (L60X6) να συγκολληθούν κατάλληλα, ώστε να διαμορφωθεί μία ενιαία (2L60X6 ή SHS60X6, από δύο L60X6 ανάλογα τον τρόπο συγκόλλησής τους και 2SHS60X6 από δύο SHS60X6).
- Στη συνέχεια, ακολουθούν οι απαραίτητες διαδικασίες για κάθε μέλος (καθάρισμα, αμμοβολή και εφαρμογή νέας στρώσης αντιδιαβρωτικής προστασίας).

Πίνακας 19 Απόσπασμα από το φύλλο Excel του φορέα με τις ετικέτες των μελών

Ετικέτα	Πρώην ετικέτες (από τη Βάση)	Μήκος (m)	Τελικό Μήκος (m)
R1	61+70	4,88	4,73
R2	67+259	4,88	4,73
R3	324+323	4,92	4,73
R4	334+270	5,20	4,73
R5	353+112	5,20	4,73
R6	240+283+76	4,98	4,73
R7	249+52	4,88	4,73
R8	295+288	5,00	4,73
R9	502	2,60	2,53
R10	425	2,60	2,53
R11	426	2,60	2,53
R12	49	2,60	2,53
R13	68	2,60	2,53
R14	69	2,60	2,53
R15	74	2,60	2,53
R16	77	2,60	2,53
R17	383	2,93	2,53
R18	384	2,93	2,53
R19	408	2,93	2,53
R20	409	2,93	2,53
R21	410	2,93	2,53
R22	411	2,93	2,53
R23	412	2,93	2,53

Στον παραπάνω Πίνακα φαίνονται τα μέλη του φορέα με τις ετικέτες τους, τα μέλη της Βάσης (από τα οποία προέρχονται), το μήκος που έχουν, καθώς και το απαιτούμενο τελικό μήκος που θα έχουν μετά τις τροποποιήσεις. Προφανώς, το μήκος θα πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο με το τελικό και όπως φαίνεται από αυτό το μικρό δείγμα, είθισται να μην είναι ίσο. Βέβαια όταν υπάρχει μέλος με ίσο μήκος και διατομή με τα επιθυμητά, ο σχεδιαστής δράττεται της ευκαιρίας και το χρησιμοποιεί, ώστε να πετύχει τη λιγότερη δυνατή επεξεργασία. Στο Excel τα χρώματα αντιπροσωπεύουν τη διατομή και είναι σύμφωνα με τα χρώματα που έχουν



προσομοιωθεί τα μέλη στο SAP. Δηλαδή, μπλε για τα L60X6, μαύρο για τα R65X84, πράσινο για τα SHS50X5, κλπ. (Πίνακας 39)

Η επιλογή των διατομών περιορίστηκε στα παρακάτω εν τέλει:

- Ορθοστάτες: RHS120X110
- Σύνδεσμοι δυσκαμψίας Λ: RHS65X84
- Κατακόρυφα Χιαστί (από κάτω προς τα πάνω): SHS60X5, SHS60X6, L60X6, L60X5
- Λοιποί κατακόρυφοι σύνδεσμοι: L60X6, L50X5
- Μέλη γεφυρών: L60X6, L60X5, SHS50X5
- Οριζόντιοι σύνδεσμοι δυσκαμψίας: L60X6
- Οριζόντια μέλη (από κάτω προς τα πάνω): SHS60X5, L60X6, L50X5

Η αρχική επιλογή για τη διατομή των συνδέσμων δυσκαμψίας Λ ήταν U65X42. Λόγω, όμως, του ότι τελικά χρειάστηκε επιπρόσθετη αντοχή, επιλέχθηκαν 2U65X42.

Οι διατομές 2UPN120X12 και 2U65X42, για λόγους ευκολίας στη σύνδεση και για λόγους καλύτερης συμπεριφοράς σε καμπτικό και στρεπτοκαμπτικό λυγισμό, επιλέχθηκε να γίνουν κοίλες ορθογωνικές (έχουν την ίδια συμπεριφορά κατά τον ισχυρό και τον ασθενή άξονα για τον καμπτικό λυγισμό). Ήτοι, RHS120X110 και RHS65X84, αντίστοιχα. Άλλωστε, και βάσει PROGRESS (2020), οι δικτυωτές κατασκευές χρησιμοποιούν κοίλες διατομές για κολώνες λόγω της αντοχής τους στον λυγισμό.

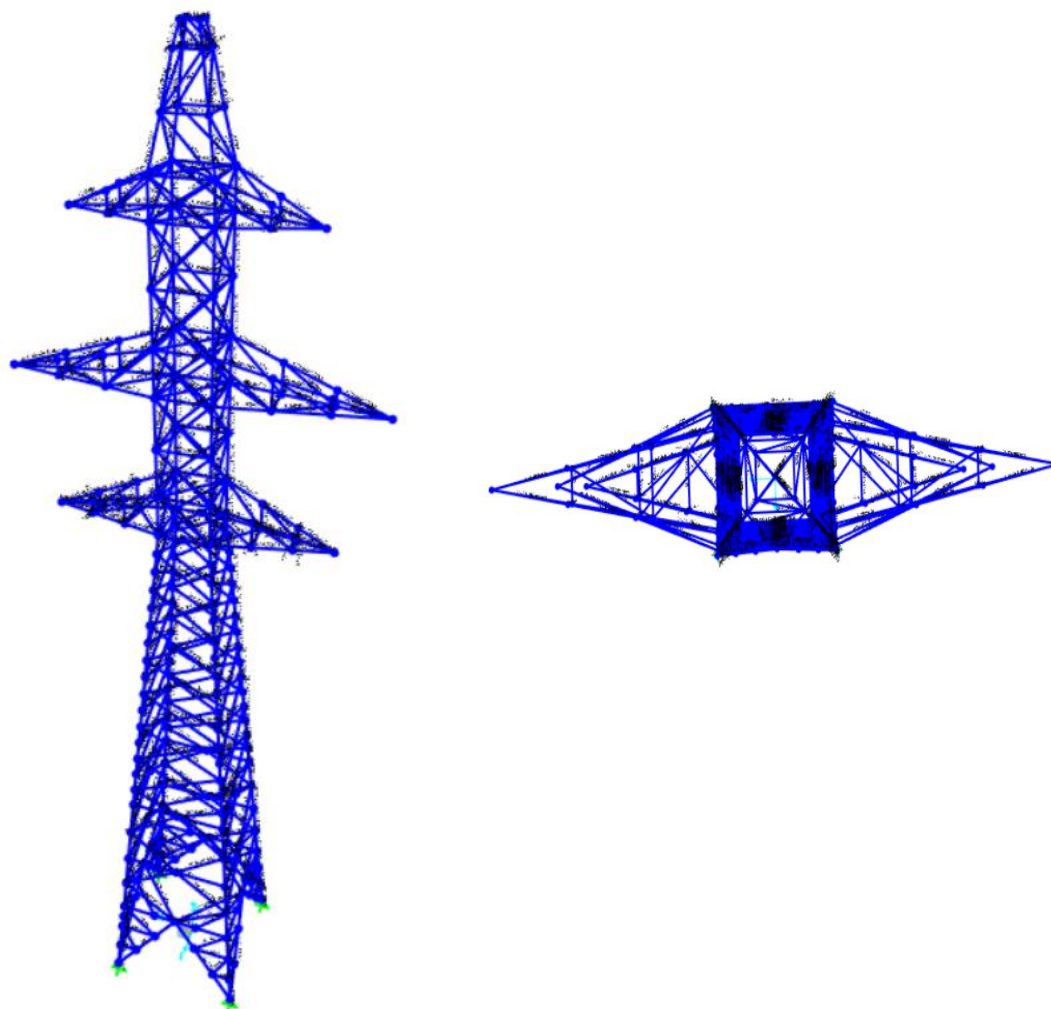
Επιπλέον, για τους ίδιους λόγους αποφασίσθηκε οι 2L60X6 και οι 2L50X5 να μετατραπούν σε SHS60X6 και SHS50X5, αντίστοιχα. Παρ' όλ' αυτά, ορισμένες 2L60X6 χρησιμοποιήθηκαν ως οριζόντια μέλη στις γέφυρες του πυλώνα κατά την αρχική διαστασιολόγηση.

Βέβαια, αξίζει να σημειωθεί ότι εφόσον αυτές οι διατομές θα είναι κοίλες και συνδεδεμένες με την υπόλοιπη κατασκευή, δε θα υπάρχει τρόπος να επιθεωρούνται εσωτερικά. Οπότε θα πρέπει να ληφθεί ιδιαίτερη μνεία για την εσωτερική κατάσταση των μελών, αφού δεν έχουν κατασκευασθεί, ώστε να είναι αμιγώς κοίλα, αλλά μετατρέπονται ύστερα από απόφαση του σχεδιαστή και με ήδη κατασκευασμένα μέλη (πχ 2L60X6 ή δύο L60X6). Για παράδειγμα, η εσωτερική αντιδιαβρωτική προστασία προτείνεται να είναι αρκετά ανθεκτική, ώστε το μέλος να μη χρειαστεί εκ νέου εσωτερική βαφή.

Οι λόγοι για τους οποίους προτιμήθηκαν οι διατομές αυτές αντί για επιπλέον SHS60X5 (για τις οποίες υπήρχε απόθεμα), ήταν οικονομίας (μικρότερη διατομή η SHS50X5) και καλύτερης κατηγορίας διάβρωσης (Α οι 2L60X6 σε αντίθεση με τις SHS60X5 του αποθέματος, που ήταν Β).

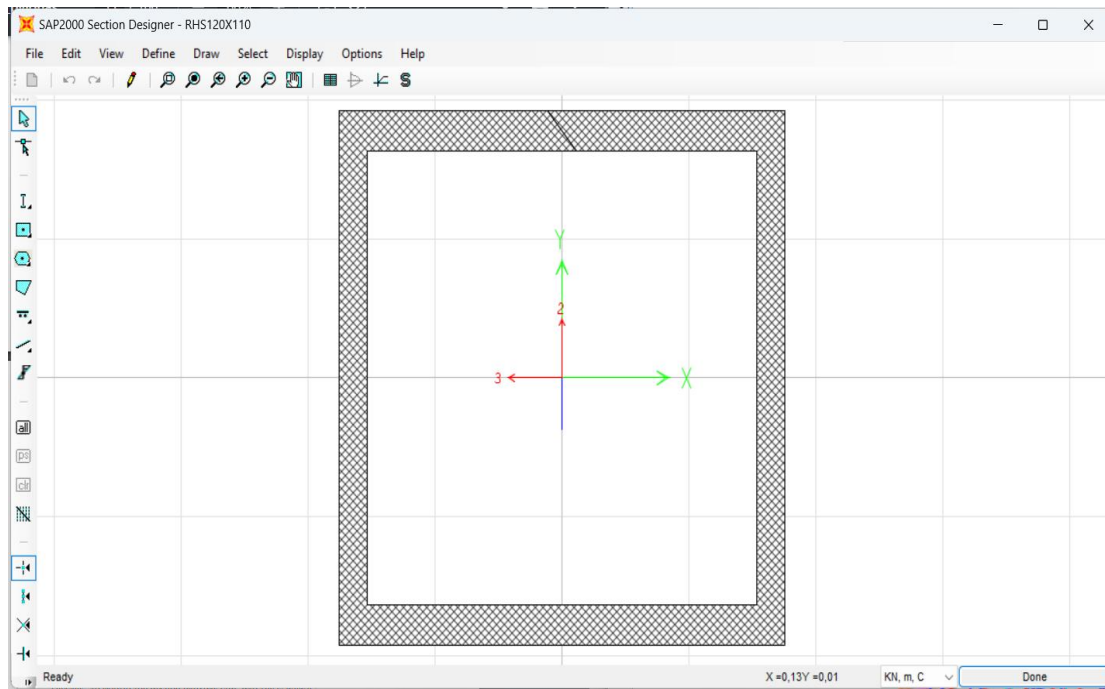
### 11.3.2 Προσομοίωση πυλώνα

Η προσομοίωση της κατασκευής έγινε με τη χρήση του λογισμικού SAP2000 και με τη λογική της επαναχρησιμοποίησης. Ο χάλυβας για όλα τα στοιχεία είναι κατηγορίας S235 και μέτρου ελαστικότητας  $E=210$  GPa. Στα άκρα των συνδέσμων δυσκαμψίας έγιναν απελευθερώσεις ροπών (στοιχεία δικτύματος).



Σχήμα 72 Τρισδιάστατη απεικόνιση πύλωνα από το περιβάλλον του SAP2000 (αριστερά) και Κάτοψη πύλωνα από το περιβάλλον του SAP2000 (δεξιά)

Επειδή στο SAP2000 δεν υφίστανται «αυτούσιες» οι διατομές RHS120X110 και RHS65X84, σχεδιάστηκαν χειροκίνητα και εισήχθησαν στο πρόγραμμα μέσω του "Section Designer":



Σχήμα 73 Στιγμιότυπο από το περιβάλλον του SAP2000, όπου μέσω του Section Designer σχεδιάζεται η RHS120X110

Αφού προσομοιώθηκε ο φορέας, κάθε μέλος στο SAP2000 χαρακτηρίστηκε με την αντίστοιχη ετικέτα, όπως στο φύλλο Excel του φορέα, όπου υπάρχουν όλα τα μέλη. Με τον τρόπο αυτό, μπορούν να γίνονται ευκολότερα οι αλλαγές στα μέλη, ώστε τελικά να επιτευχθεί ο βέλτιστος σχεδιασμός του φορέα με τα υπάρχοντα μέλη. Επιπλέον, κάθε μέλος έχει τη δική του ετικέτα και έτσι θα μπορεί να γίνει η ανέγερση πιο εύκολα.

	Frame Text	SectionType Text
▶	R1	Section Designer
	R2	Section Designer
	R3	Section Designer
	R4	Section Designer
	R5	Section Designer
	R6	Section Designer
	R7	Section Designer
	R8	Section Designer
	R9	Tube
	R10	Tube
	R11	Tube
	R12	Tube
	R13	Tube
	R14	Tube
	R15	Tube
	R16	Tube

Record: <<< < 1 > >>> of 616

Σχήμα 74 Στιγμιότυπο από το περιβάλλον του SAP2000 όπου φαίνονται τα μέλη με τις νέες ετικέτες τους

Οι ετικέτες στο σύνολό τους ήταν 616 (R1-R616). Ονομάστηκαν με αρχικό το R, ώστε να αντιπροσωπεύουν το "Reuse", αφού θα μπορούσαν να υπάρχουν και νέα μέλη, αλλά και για να είναι ξεκάθαρος ο διαχωρισμός τους από τα μέλη της Βάσης Δεδομένων (χωρίς R).

Η Βάση Δεδομένων είχε συνολικά 522 μέλη, κάποια εκ των οποίων παρέμειναν αχρησιμοποίητα. Οι λόγοι για τους οποίους οι ετικέτες του φορέα φαίνονται περισσότερες από αυτές της Βάσης είναι επειδή τα μέλη της τελευταίας ήταν είτε μεγάλου μήκους, οπότε μπορούσαν να εξυπηρετήσουν περισσότερα από ένα μέλος του φορέα, είτε επειδή ορισμένα διπλά (πχ 2L60X6) διαχωρίστηκαν και εισήλθαν στο προσομοίωμα ως μονά (δύο L60X6).

Για παράδειγμα, προκειμένου να βρεθούν τα 16 χιαστί της μεσαίας γέφυρας (R229-244) με μήκος 0,96 m έκαστο, χρησιμοποιήθηκαν 3 μέλη μήκους 3,9m και 3,95 m (92, 483, 482), που χωρίστηκαν στα 4, και 2 μέλη μήκους 2,6 m και 1,9 m (517 και 520) που χωρίστηκαν στα 2.

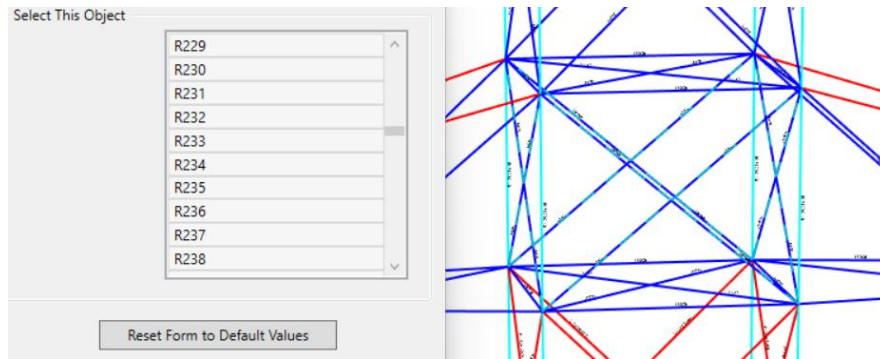
Προφανώς, τα 92, 483, 482 δε θα κοπούν πρωτίστως στα 4 και ύστερα θα ξανά κοπούν ακόμα 2 cm το καθένα. Αντίθετα, από το κάθε μέλος (πχ 92) θα κοπούν 4 μέρη των 0,96 m. Το ίδιο ισχύει για όλα τα υπόλοιπα μέλη που υπόκεινται σε αντίστοιχες επεξεργασίες. Το "0,98" είναι προϊόν της σχέσης 3,9/4, η οποία υπάρχει στο Excel για να υπενθυμίζει στο σχεδιαστή ότι από το μέλος θα προκύψουν 4 ίδια, το μήκος των οποίων φαίνεται διπλά ("0,96"). Η πράξη σύμφωνα με την οποία προκύπτει κάθε μέλος του φορέα υπάρχει «κρυμμένη» σε κάθε κελί.

Πίνακας 20 Απόσπασμα από το λογιστικό φύλλο του φορέα, όπου φαίνεται πως από ένα μέλος της Βάσης Δεδομένων μπορούν να προκύψουν πολλά για χρήση στο φορέα

R229	<b>92</b>	0,98	0,96
R230	<b>92</b>	0,98	0,96
R231	520	0,95	0,96
R232	517	1,30	0,96
R233	<b>483</b>	0,99	0,96
R234	<b>483</b>	0,99	0,96
R235	<b>482</b>	0,99	0,96
R236	<b>482</b>	0,99	0,96
R237	<b>92</b>	0,98	0,96
R238	520	0,95	0,96
R239	517	1,30	0,96
R240	<b>483</b>	0,99	0,96
R241	<b>483</b>	0,99	0,96
R242	<b>482</b>	0,99	0,96
R243	<b>482</b>	0,99	0,96
R244	<b>92</b>	0,98	0,96

Πίνακας 21 Απόσπασμα από τη Βάση Δεδομένων, όπου φαίνονται τα αρχικά μέλη 482,483

482	L60X6	3,95	A	S235	OXI		4211
483	L60X6	3,95	A	S235	OXI		4212

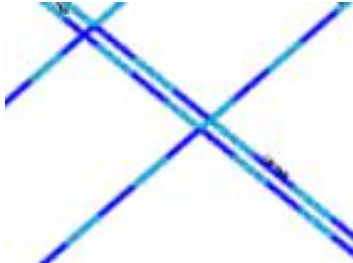


Σχήμα 75 Στιγμιότυπο από το περιβάλλον του SAP, όπου φαίνονται τα R229-244

<b>R236</b>	<b>482</b>	<b>=3,95/4</b>	<b>0,96</b>
<b>R3</b>	<b>353+335</b>	<b>=2,6+2,6</b>	<b>4,72</b>

Σχήμα 76 Αποσπάσματα από το λογιστικό φύλλο του φορέα, όπου φαίνονται οι βοηθητικές πράξεις

Στο SAP φαίνεται ότι ένα μέλος είναι επιλεγμένο από την εναλλαγή χρώματος του μέλους:

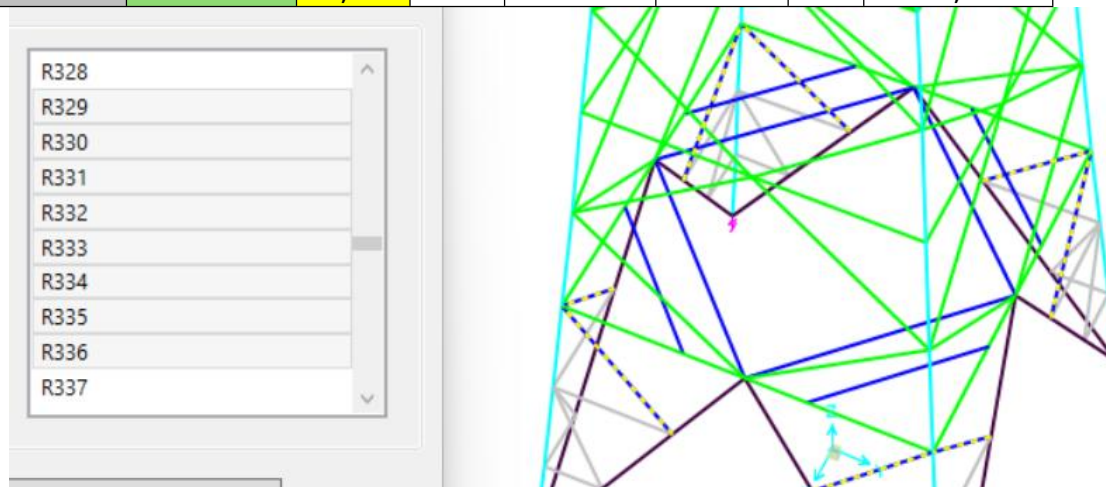


Σχήμα 77 Διευκρίνιση εμφάνισης επιλεγμένων στοιχείων στο SAP

Στο παρακάτω παράδειγμα, φαίνεται πως τη διατομή 2L60X6 (από το μέλος 119 της Βάσης) με μήκος 1,98 m χωρίστηκε, ώστε να προκύψουν 2 όμοιες L60X6 μήκους επίσης 1,98 m και να χρησιμοποιηθούν σαν 2 από τους 8 κατακόρυφους συνδέσμους L60X6 της βάσης του Πυλώνα.

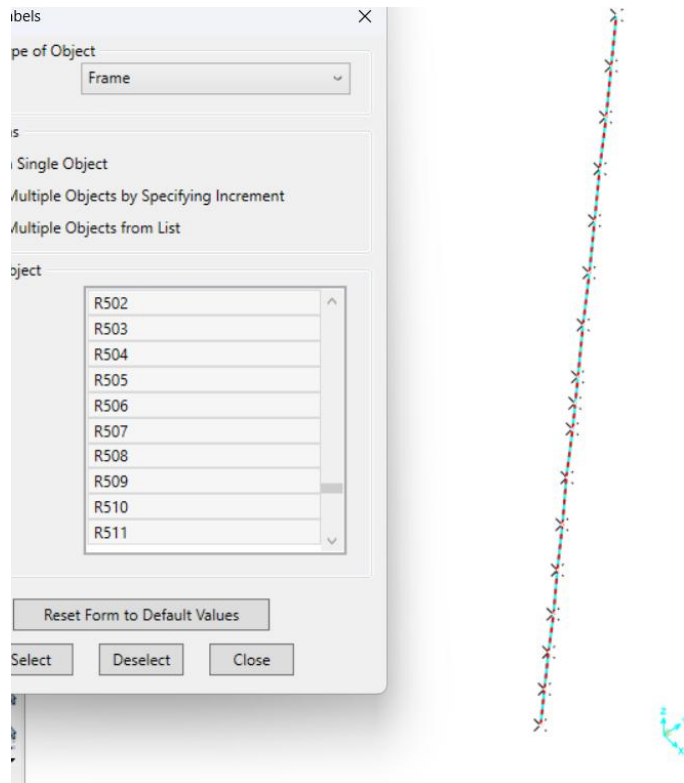


R329	257+262			2,00		1,88
R330	369+370			2,00		1,88
R331	303+304			2,00		1,88
R332	<b>119</b>			1,98		1,88
R333	<b>119</b>			1,98		1,88
R334	120			1,98		1,88
R335	98+99			2,00		1,88
R336	91+73			2,00		1,88
119	2L60X6	1,98	A	S235	OXI	802,805



Σχήμα 78 Παράδειγμα χρήσης του 2L60X6 για δημιουργία δύο L60X6 μελών

Επιπλέον, όσον αφορά τους ορθοστάτες, αυτοί για λόγους προσομοίωσης, χρειάστηκε να χωριστούν σε κομμάτια. Έτσι ένα μέλος ορθοστάτη μπορεί να έχει πολλές «ετικέτες», ενώ δε χωρίζεται στα αλήθεια σε τόσα μέλη.



Σχήμα 79 Στιγμιότυπο από το περιβάλλον του SAP, όπου φαίνονται μερικά από τα επιλεγμένα «εικονικά μέλη» ενός ορθοστάτη

R501			
R502			
R503			
R504			
R505			
R506			
R507			
R508	8+359+216	21,20	21,15
R509			
R510			
R511			
R512			
R513			
R514			
R515			

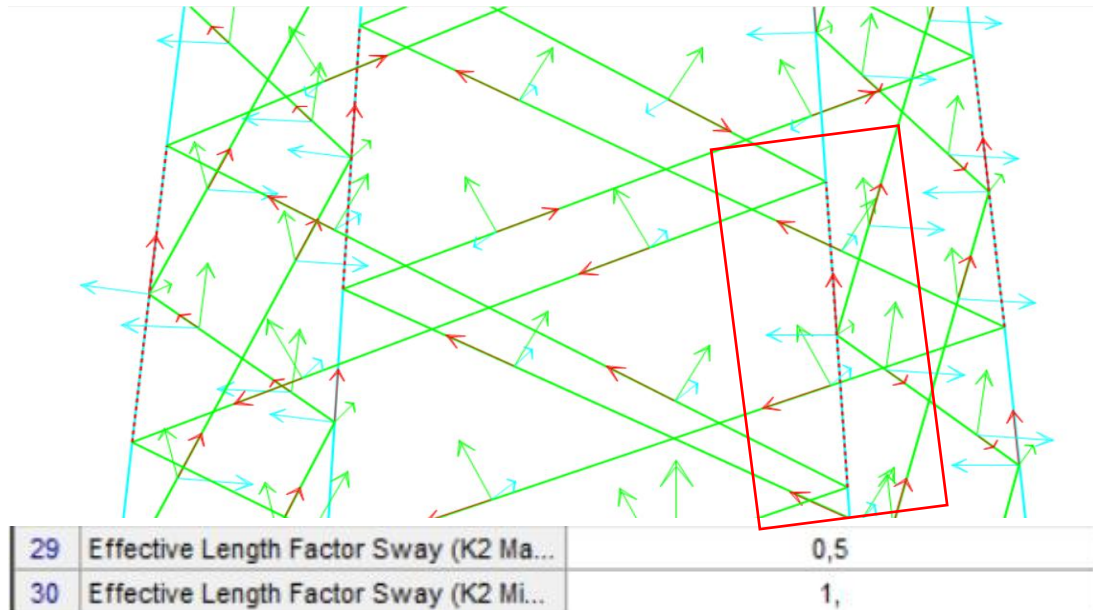
Σχήμα 80 Στιγμιότυπο από το λογιστικό φύλλο του φορέα, όπου φαίνονται οι ετικέτες του κεκλιμένου μέρους του ενός ορθοστάτη

Στα παραπάνω στιγμιότυπα φαίνεται πως το κεκλιμένο μέρος του ενός ορθοστάτη, το οποίο προέρχεται από τα πρώην μέλη 8, 11 και 216 έχει συνολικό μήκος 21,3 m και θα ανεγερθεί ενιαίο. Παρ' όλ' αυτά, για λόγους προσομοίωσης στο SAP2000 έχουν ορισθεί 15 επιμέρους «εικονικά μέλη», τα οποία έχουν τις αντίστοιχες ετικέτες, αλλά δεν είναι πραγματικές. Το μέλος αυτό μπορεί να ονομασθεί με την ετικέτα R501-R515.

Βέβαια, εάν τα 21,3 m φανούν μεγάλα για το διαθέσιμο χώρο αποθήκευσης ή για τη μεταφορά από το χώρο αποθήκευσης στο πεδίο ανέγερσης (δεδομένου ότι η ανέγερση θα

γίνει στο νησί της Ρόδου), τότε μπορούν να αποθηκευτούν ή να μεταφερθούν στα δύο (το κάθε κεκλιμένο μέρος). Συγκεκριμένα, αν αναλογισθούμε ότι τα κεκλιμένα μέλη απαρτίζονται (Σχήμα 80) από 3 επιμέρους, μήκους 9 m, 9 m και 3,3 m αντίστοιχα, θα μπορούσαν να μεταφερθούν στα μήκη των 12,3 m και 9 m.

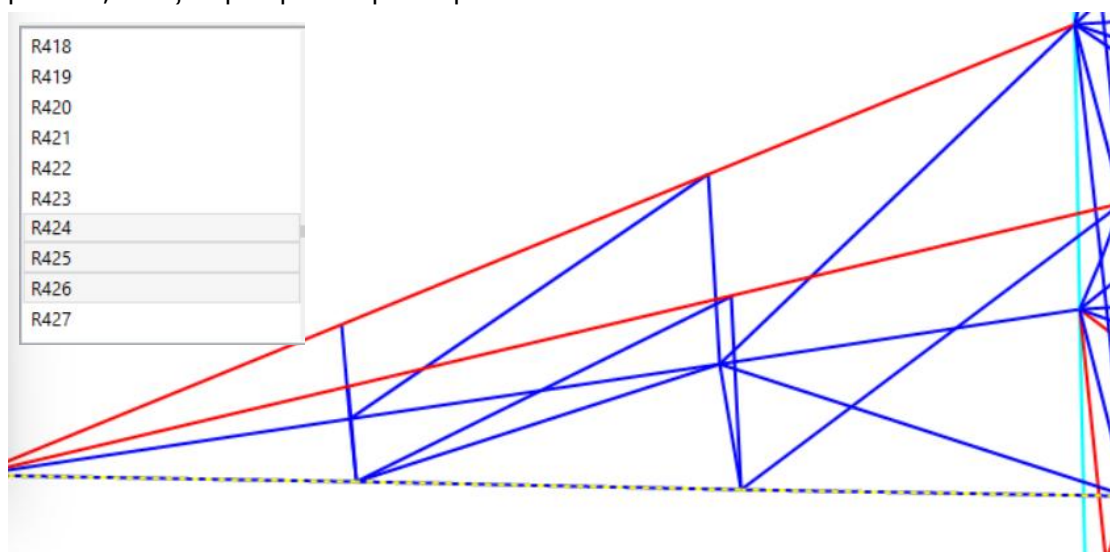
Για καθένα από τα «εικονικά μέλη» έχουν ορισθεί τα σωστά μήκη λυγισμού. Δηλαδή, επειδή το γαλάζιο βέλος έχει τη φορά του οριζόντιου τοπικού άξονα και η διατομή είναι 120\*110 (Ύψος\*Πλάτος), τότε ο ισχυρός άξονας είναι ο γαλάζιος. Άρα βάσει του τρόπου που έχουν ορισθεί τα «εικονικά μέλη», θα πρέπει το μήκος λυγισμού περί τον ισχυρό άξονα να είναι το μισό από αυτό περί τον ασθενή:



Σχήμα 81 Στιγμιότυπο από το SAP, όπου φαίνεται ότι για τους ορθοστάτες έχουν επιλεγεί τα σωστά μήκη λυγισμού.

Επιπλέον, κάθε χιαστί σύνδεσμος θα αποτελείται από 4 επιμέρους, οι οποίοι θα συνδέονται στο μέσο.

Όσον αφορά τις επικέτες των οριζοντίων μελών των γεφυρών, επίσης «χωρίστηκαν» στο μοντέλο, όπως στην περίπτωση των ορθοστατών:



Σχήμα 82 Στιγμιότυπο από το SAP, όπου φαίνονται τα οριζόντια μέλη της γέφυρας R424-R426

Για λόγους συνδεσιμότητας και ανέγερσης, αποφασίστηκε τα μέλη να συνδεθούν πρώτα και ύστερα να ανεγερθούν ως ολόκληρα (αφού πρώτα «κοπούν» στο κατάλληλο μήκος), όπως έγινε και με τους ορθοστάτες.

R424			
R425	228+285+196	4,30	4,25
R426			

Σχήμα 83 Στιγμιότυπο από το υπολογιστικό φύλλο του φορέα, όπου φαίνονται τα μέλη μιας δοκού της δεύτερης γέφυρας (ενιαία μέλη)

R375			
R376	233+291+293	4,20	3,30
R377			

Σχήμα 84 Στιγμιότυπο από το υπολογιστικό φύλλο του φορέα, όπου φαίνονται τα μέλη μιας δοκού της πρώτης γέφυρας (ενιαία μέλη)

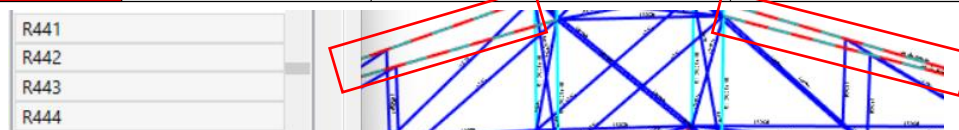
R485	137	2,93	2,25
R486			

Σχήμα 85 Στιγμιότυπο από το υπολογιστικό φύλλο του φορέα, όπου φαίνονται τα μέλη μιας δοκού της τρίτης γέφυρας (ενιαία μέλη)

Δηλαδή, όπως και στους ορθοστάτες, το ενιαίο μέλος που φαίνεται στο Σχήμα 84 θα έχει ως μοναδική ετικέτα την R375-R377, κ.ο.κ.

Όσον αφορά τη δημιουργία των μελών, προκειμένου να υλοποιηθούν τα 4 μέλη τετραγωνικής διατομής SHS60X6 της δεύτερης γέφυρας, χρησιμοποιήθηκαν 6 διατομές 2L60X6, οι οποίες αποκολλήθηκαν και συγκολλήθηκαν ανάποδα (ώστε να διαμορφώσουν κοίλες διατομές):

R441	350	5,10	4,42
R442	213	5,10	4,42
R443	358+5	5,12	4,42
R444	164+208	4,70	4,42



350	2L60X6	5,4	A	S235	OXI	3531,3533,3534,3535
-----	--------	-----	---	------	-----	---------------------

Σχήμα 86 Παράδειγμα χρήσης του 2L60X6 για δημιουργία SHS60X6

Η ίδια λογική ακολουθήθηκε στη δημιουργία RHS120X110 από 2UPN120X12 και RHS65X84 από 2U65X42.

Ακόμα, για να δημιουργηθούν οι SHS60X6 (ή οι 2L60X6), από δύο L60X6 συγκολλούνται και κόβεται το «έξτρα» κομμάτι της μακρύτερης:

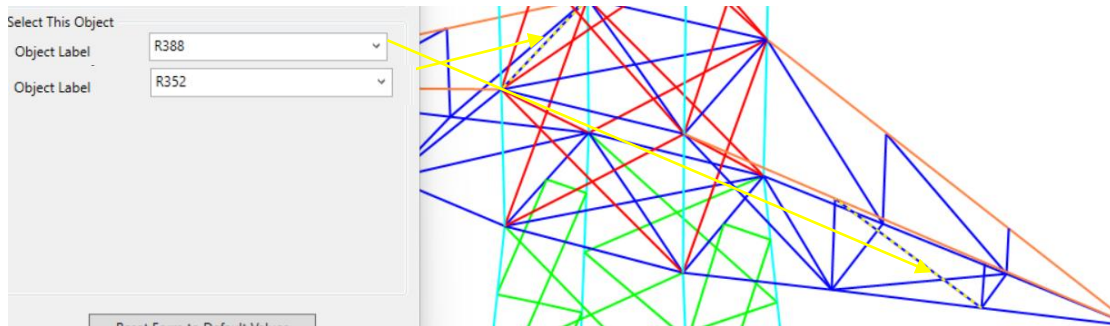
R227	275+312	1,26	1,05			
275	L60X6	1,26	A	S235	OXI	2103
312	L60X6	1,4	A	S235	OXI	2236

Σχήμα 87 Απόσπασμα από το εξέλ του φορέα και τη Βάση Δεδομένων, όπου φαίνεται πως το τελικό μέλος SHS60X6 έχει μήκος ίσο με το μικρότερο των δύο L60X6 που το συνθέτουν (1,26 m)

Προφανώς, γίνεται ένα μέλος να χωρισθεί και να χρησιμοποιηθεί σε διαφορετικά μέρη της κατασκευής:

Πίνακας 22 Απόσπασμα από το Excel του φορέα με τις ετικέτες R352 και R388, οι οποίες πηγάζουν από το μέλος 123 (3 m) και έχουν διαφορετικές θέσεις και χρήσεις στον πυλώνα. Προφανώς μεσολαβούν και άλλα μέλη στο λογιστικό φύλλο, τα οποία έχουν αποκοπεί για λόγους χώρου και ευκολίας στην κατανόηση. Ολόκληρο το φύλλο βρίσκεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΦΥΛΛΟ ΤΕΛΙΚΗΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΦΟΡΕΑ

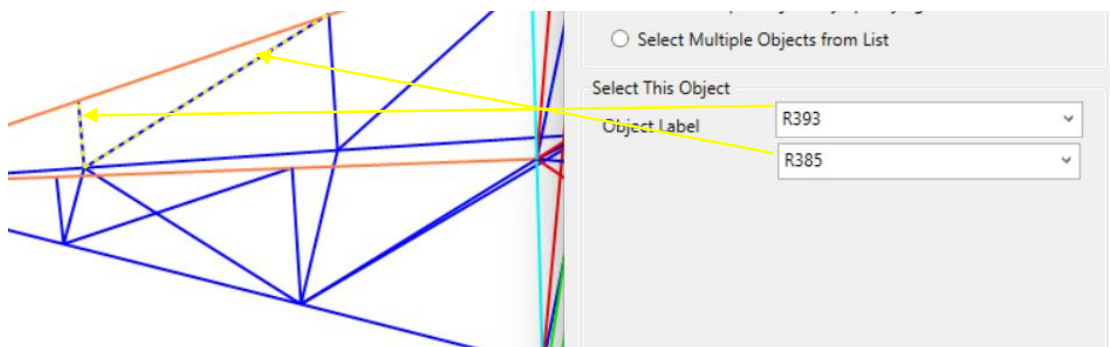
R352	123	1,50	1,50
R388	123	1,50	1,38



Σχήμα 88 Στιγμιότυπο από το SAP με τις ετικέτες R352 και R388, οι οποίες πηγάζουν από το μέλος 123 και έχουν διαφορετικές θέσεις και χρήσεις στον πυλώνα

Επιπρόσθετα, υπάρχει η επιλογή ένα μέλος να χωριστεί κατά μήκος σε δύο άνισα μέλη και το καθένα από αυτά να χρησιμοποιηθεί διαφορετικά: Απόσπασμα από το Excel του φορέα με τις ετικέτες R385 και R393, οι οποίες πηγάζουν από το μέλος 361 (2 m), έχουν διαφορετικά μήκη, θέσεις και χρήσεις στον πυλώνα. Προφανώς μεσολαβούν και άλλα μέλη στο λογιστικό φύλλο, τα οποία έχουν αποκοπεί για λόγους χώρου και ευκολίας στην κατανόηση. Ολόκληρο το φύλλο βρίσκεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΦΥΛΛΟ ΤΕΛΙΚΗΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΦΟΡΕΑ

R385	361	1,60	1,38
R393	361	0,40	0,40



Σχήμα 89 Στιγμιότυπο από το SAP με τις ετικέτες R385 και R393, οι οποίες πηγάζουν από το μέλος 361, έχουν διαφορετικά μήκη, διαφορετικές θέσεις και χρήσεις στον πυλώνα. Φυσικά, μπορούν να βρίσκονται και σε τελείως διαφορετικά μέρη του φορέα. Εδώ βρίσκονται δίπλα, επειδή κατά το σχεδιασμό χρειαζόταν να βρεθούν μέλη για τις 2 αυτές διπλανές θέσεις και το σωστό κόψιμο του μέλους 361 θα εξυπηρετούσε τόσο το μικρό μήκος, όσο και το μεγαλύτερο.



Επιπλέον, όσον αφορά τους διαγώνιους συνδέσμους Λ, οι οποίοι είναι διατομής RHS65X84 και προέρχονται από ενώσεις U65X84:

Αρχικά επιλέχθηκαν όλες οι 2U65X42 που είχαν κατηγορία διάβρωσης Α.

Ετικέτα	Πρώην ετικέτες (από τη Βάση)	Μήκος	Τελικό Μήκος
R1	324+323	4,92	4,72
323	2U65X42 2,96 A	S235	OXI
324	2U65X42 1,96 A	S235	OXI
			2747-2749
			2753,2754

Σχήμα 90 Απόσπασμα από το εξέλ του φορέα και τη Βάση Δεδομένων, όπου φαίνονται τα αρχικά μέλη που διαμόρφωσαν τα RHS65X84 και ήταν διατομής 2U65X42.

Δηλαδή, κάθε 2U65X42 αποκολλήθηκε στα δύο και στη συνέχεια συγκολλήθηκε ανάποδα («πρόσωπο με πρόσωπο»). Τέλος τα δύο προκύπτοντα RHS65X84 συνδέθηκαν μεταξύ τους, διαμορφώνοντας την τελική επιθυμητή διατομή. Ύστερα από τη διαμόρφωση 3 μελών (R1-R3), έμεινε ένα τελευταίο 2U65X42, το οποίο (αφού έγινε RHS65X84), συνδέθηκε με δύο U65X42:

Για αυτά, το μικρότερο θα συγκολληθεί με το μεγαλύτερο («πρόσωπο με πρόσωπο») και στη συνέχεια το εναπομείναν του μεγαλύτερου θα πρέπει να κοπεί στη μέση και να συγκολληθεί («πρόσωπο με πρόσωπο»), διαμορφώνοντας τελικά την κοίλη διατομή:

R4	240+336+338	5,10	4,72
R4	240+336+338	=2,6+1+(4-1)/2	4,72

Σχήμα 91 Απόσπασμα από το εξέλ του φορέα, όπου φαίνεται η ετικέτα R4 (RHS65X84), η οποία αποτελείται από τις 240 (U65X42 – 4 m), 336 (2U65X42 – 2,6 m) και 338 (U65X42 – 1 m). Επίσης, φαίνεται η βοηθητική πράξη, όπου το μικρό U65X42 (1 m) συγκολλάται με το μεγαλύτερο (U65X42 – 4 m) και το υπόλοιπο του τελευταίου (4-1= 3 m) κόβεται στη μέση, και τα επιμέρους τμήματά του συγκολλούνται μεταξύ τους (εξ' ου και η διαίρεση με το 2). Τελικά συνδέονται όλα (2,6 m, 1 m και 3 m) κατά μήκος και τελικά προκύπτει το μέλος RHS65X84 μήκους 5,10 m.

Με τον ίδιο τρόπο προκύπτουν και τα υπόλοιπα μέλη (χωρίς 2U65X42, αφού τελειώνει το απόθεμα):

R6	67+259	4,88	4,72
R6	67+259	=3,9+(5,85-3,9)/2	4,72

Σχήμα 92 Απόσπασμα από το εξέλ του φορέα, όπου φαίνεται η ετικέτα R6 (RHS65X84), η οποία αποτελείται από τις 67 (U65X42 – 5,85 m) και 259 (U65X42 – 3,9 m). Επίσης, φαίνεται η βοηθητική πράξη

Το τελευταίο μέλος προκύπτει από τρία U65X42: 249 (3,9 m), 464 (3,96 m) και 76 (1,95 m). Άρα το 249 θα συνδεθεί «πρόσωπο με πρόσωπο» με το 464 (3,9 m) και το 76 θα κοπεί στη μέση και τα επιμέρους τμήματά του θα συγκολληθούν μεταξύ τους:

R8	249+364+76	4,88	4,72
R8	249+364+76	=3,9+1,95/2	4,72

Σχήμα 93 Απόσπασμα από το εξέλ του φορέα, όπου φαίνεται η ετικέτα R8 και η βοηθητική πράξη

## 11.4 Φορτία κατασκευής

### 11.4.1 Μόνιμες δράσεις

Εδώ υπάγονται οι σταθερές δράσεις, οι οποίες δε μεταβάλλονται κατά την πάροδο του χρόνου και κατά τη διάρκεια ζωής της κατασκευής. Συγκεκριμένα, είναι το Ίδιο Βάρος του χαλύβδινου φορέα ( $g=78.5 \text{ kN/m}^3$ ) και τα φορτία των αγωγών μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και των καλωδίων προστασίας.

Το IB του φορέα εισάγεται στο προσομοίωμα αυτόματα μέσω του Load Pattern "Dead", όπου είναι μονάδα το "Self-weight multiplier", ενώ τα φορτία των αγωγών και των καλωδίων προστίθεται σαν έξτρα "Pattern".

Load Pattern Name	Type	Self Weight Multiplier
DEAD	Dead	1
DEAD	Dead	1
WINDX	Wind	0
SNOW	Snow	0
DEAD AGWGWN	Dead	0

Σχήμα 94 Στιγμιότυπο από το περιβάλλον του SAP2000, όπου φαίνεται το IB του φορέα και των αγωγών

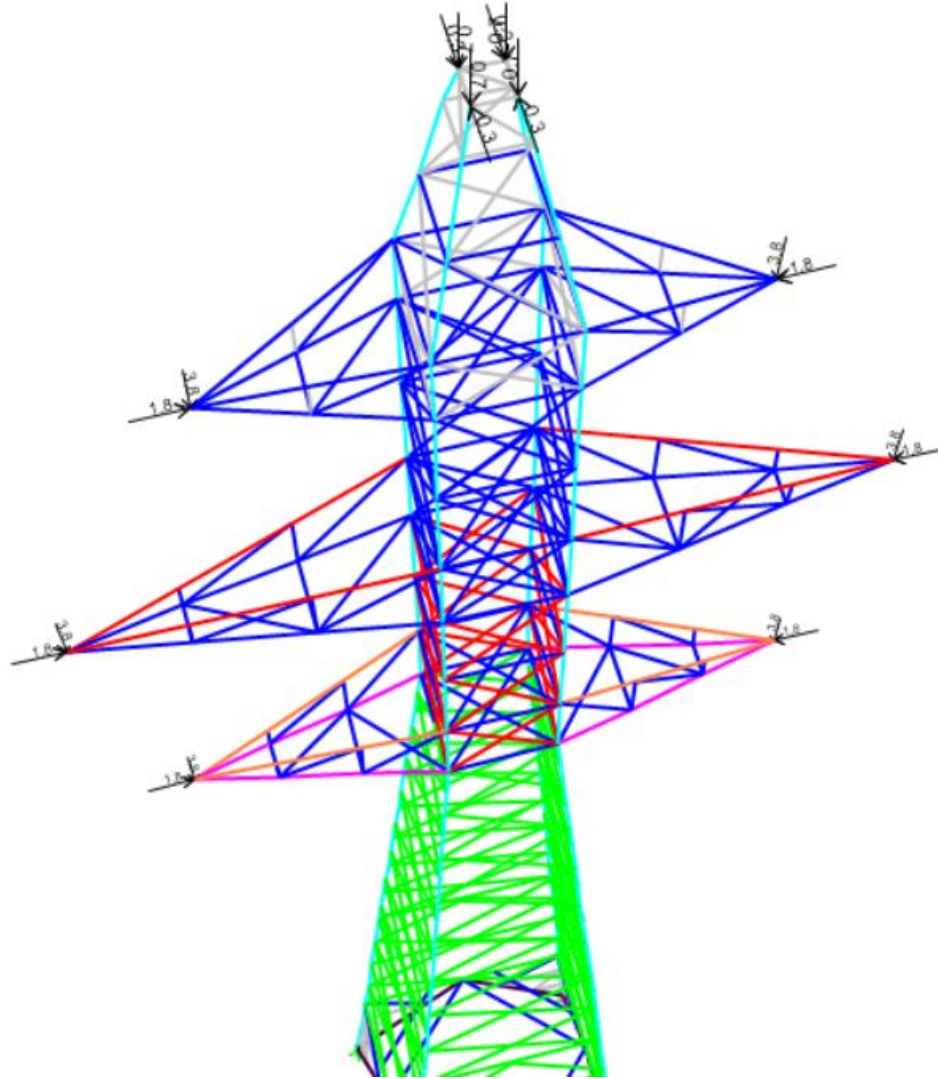
Τα φορτία των αγωγών και των καλωδίων προστασίας, για να υπολογισθούν, χρειάζεται ένα προσομοίωμα γραμμής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Επειδή το συγκεκριμένο ξεφεύγει από τα όρια της παρούσας διπλωματικής, τα φορτία λήφθηκαν σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Στεφάνου, 2020, Καφαράκη, 2018):

Για τους αγωγούς μεταφοράς ενέργειας:

- 3,8 kN στην κατακόρυφη διεύθυνση
- 1,8 kN στην οριζόντια διεύθυνση x

ενώ για τα καλώδια προστασίας:

- 0.7 kN στην κατακόρυφη διεύθυνση
- 0.3 kN στην οριζόντια διεύθυνση y



Σχήμα 95 Στιγμιότυπο από το περιβάλλον του SAP, όπου φαίνονται τα φορτία των αγωγών και των καλωδίων προστασίας

## 11.4.2 Μεταβλητές δράσεις

### 11.4.2.1 Φορτία Ανέμου

Στην κατηγορία αυτή των δράσεων υπεισέρχονται τα φορτία του ανέμου κατά τις διευθύνσεις +X (0 μοίρες) και +Y (90 μοίρες), καθώς και τις αντίθετες αυτών.

Ο υπολογισμός τους γίνεται σύμφωνα με τις διατάξεις του EN 1991-1-4 (CEN, 2005) και EN 1993-3-1 (CEN, 2006):

Η δύναμη του ανέμου (που δρα στην κατασκευή) υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$F_w = c_{s,c_d} * c_f * q_{p(z_e)} * A_{ref} \quad (10)$$

Όπου:

$c_{s,c_d}$  ο συνδυασμένος δυναμικός συντελεστής

$c_f$  ο συντελεστής δύναμης για την κατασκευή ή το στοιχείο

$q_{p(z_e)}$  η πίεση ταχύτητας αιχμής για ύψος αναφοράς  $z_e$

$A_{ref}$  η επιφάνεια αναφοράς της κατασκευής ή του στοιχείου

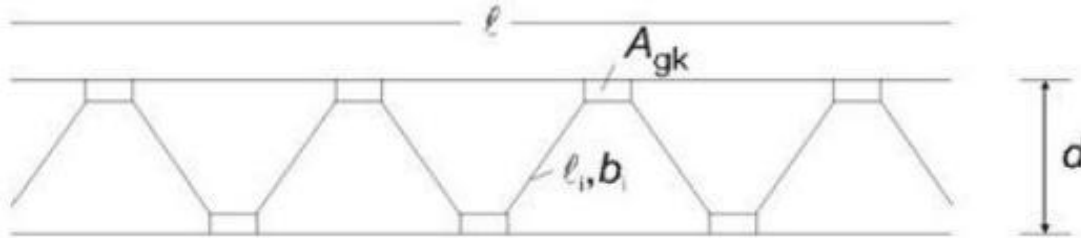
Ο συντελεστής  $c_f$  για τις δικτυωτές κατασκευές και τα ικριώματα προκύπτει από τη σχέση:

$$c_f = c_{f,0} * \psi_\lambda \quad (11)$$

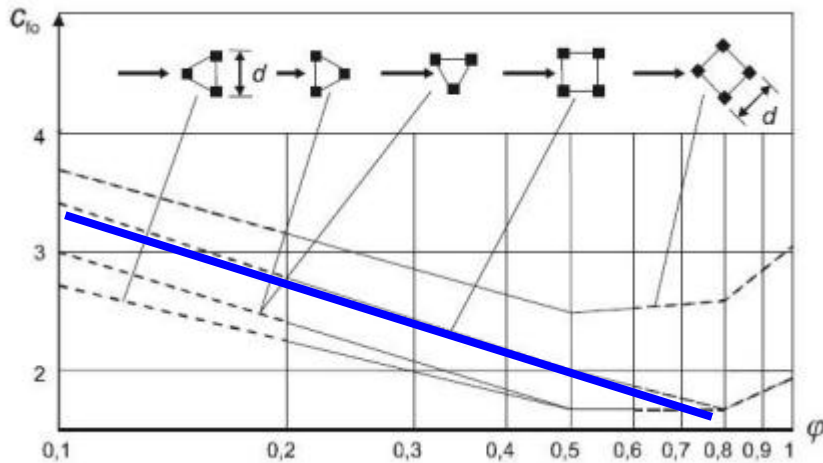
όπου:

$c_{f,0}$  ο συντελεστής δύναμης δικτυωτών κατασκευών και ικριωμάτων χωρίς την επίδραση άκρων

$\psi_\lambda$  ο συντελεστής επίδρασης άκρων ως συνάρτηση της λυγηρότητας της κατασκευής  $\lambda$ , η οποία υπολογίζεται με μήκος  $l$  και πλάτος  $b=d$ :



Σχήμα 96 Δικτύωμα ή ικριώμα (Πηγή: EN 1991-1-4: CEN, 2005)



Σχήμα 97 Συντελεστής δύναμης  $c_{f,0}$  για χωροδικτυωτή κατασκευή με μέλη από γωνίες ως συνάρτηση του συντελεστή πληρότητας (Πηγή: EN 1993-3-1: CEN, 2006)

Για την εύρεση του  $c_{f,0}$  θα χρησιμοποιηθεί το παραπάνω διάγραμμα απλοποιητικά, παρόλο που αφορά μέλη από γωνίες (βέβαια δεν υπάρχουν κυκλικές διατομές στο φορέα - για αυτές υπάρχει ξεχωριστό διάγραμμα - άρα είναι καλή η προσέγγιση). Επιπλέον, θα χρησιμοποιηθεί η καμπύλη για τετραγωνική κάτοψη (όπως φαίνεται με μπλε χρώμα στο διάγραμμα) και άνεμο που φυσάει κάθετα (όχι 45 μοίρες).

Ο συντελεστής πληρότητας καθορίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\varphi = A/A_c \quad (12)$$

Όπου:

$A$  είναι η αθροιστική προβαλλόμενη επιφάνεια των μελών και κομβοελασμάτων κάθετα στον άνεμο:  $A = \sum (b_i * l_i) + \sum A_{gk}$

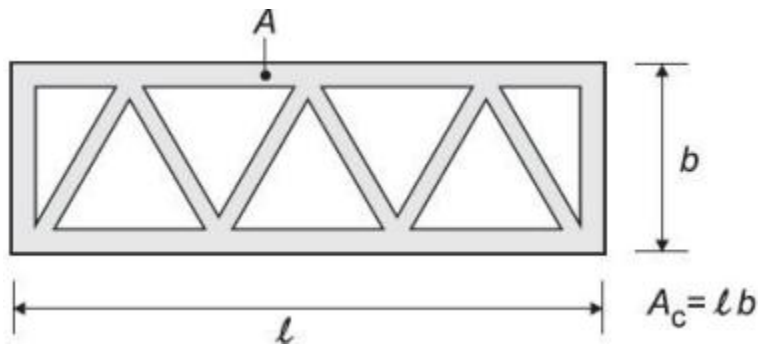
$A_c$  η επιφάνεια προβολής του περιγράμματος σε επίπεδο κάθετο προς τον άνεμο  $d * l$

$l$  μήκος του δικτυώματος

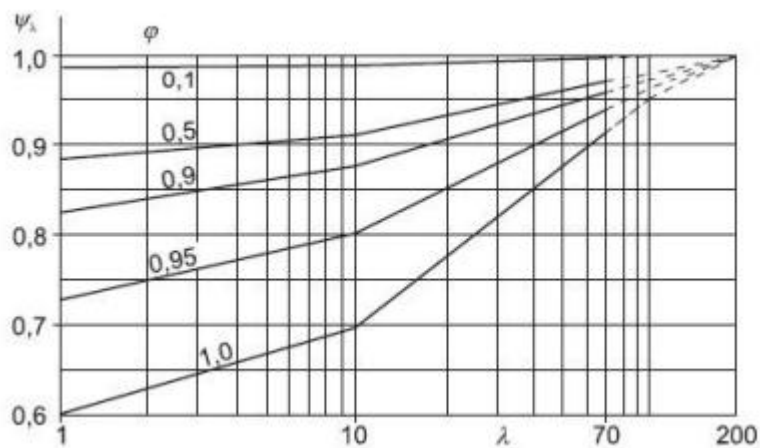
$d$  πλάτος δικτυώματος

$b_i, l_i$  το πλάτος και μήκος του μεμονωμένου μέλους προσβαλλόμενου κάθετη στην επιφάνεια

$A_{gk}$  η επιφάνεια του κομβοελάσματος  $k$



Σχήμα 98 Ορισμός του λόγου πληρώσεως  $\varphi$  (Πηγή: EN 1991-1-4: CEN, 2005)



Σχήμα 99 Ενδεικτικές τιμές του συντελεστή επίδρασης άκρων  $\psi_\lambda$  συναρτήσει του συντελεστή πληρώσεως  $\varphi$  και της λυγηρότητας  $\lambda$  (Πηγή: EN 1991-1-4: CEN, 2005)

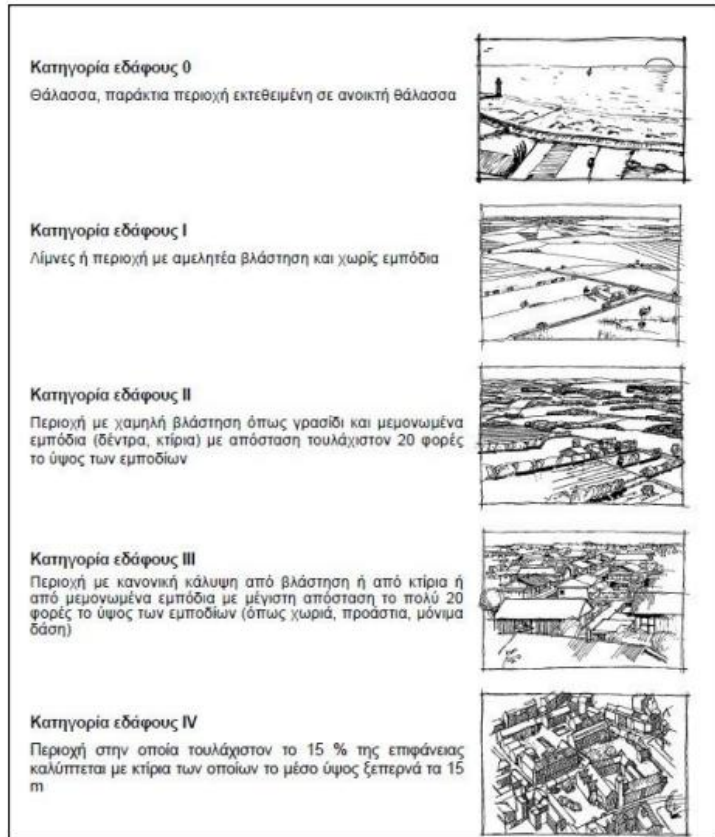
#### Κατηγορίες εδάφους – Παράμετροι εδάφους

Το έδαφος χωρίζεται σε 4 κατηγορίες ανάλογα με το ανάγλυφο της περιοχής, την τραχύτητά του και το ύψος των εμποδίων:

#### Πίνακας 23 Κατηγορίες και παράμετροι εδάφους

Κατηγορία εδάφους	$z_0$ m	$z_{min}$ m
0 Θάλασσα ή παράκτια περιοχή εκτεθειμένη σε ανοικτή θάλασσα	0,003	1
I Λίμνες ή επίπεδες και οριζόντιες περιοχές με αμελητέα βλάστηση και χωρίς εμπόδια	0,01	1
II Περιοχή με χαμηλή βλάστηση όπως γρασίδι και μεμονωμένα εμπόδια (δέντρα, κτίρια) με απόσταση τουλάχιστον 20 φορές το ύψος των εμποδίων	0,05	2
III Περιοχή με κανονική καλυψη βλάστησης ή με κτίρια ή με μεμονωμένα εμπόδια με μέγιστη απόσταση το πολύ 20 φορές το ύψος των εμποδίων (όπως χωριά, προάστια, μόνιμα δάση)	0,3	5
IV Περιοχή όπου τουλάχιστον το 15% της επιφάνειας καλύπτεται με κτίρια των οποίων το μέσο ύψος ξεπερνά τα 15m.	1,0	10





(Πηγή: EN 1991-1-4: CEN, 2005)

### Πίεση ταχύτητας αιχμής

Η πίεση ταχύτητας αιχμής για ύψος αναφοράς  $z_e$  δίνεται από την εξίσωση

$$q_{p(z_e)} = [1 + 7 \cdot I_{V(z_e)}] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v^2_{m(z_e)} \quad (13)$$

όπου:

$\rho$  η πυκνότητα του αέρα ( $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$ )

$I_{V(z_e)}$  η ένταση στροβιλισμού σε ύψος  $z_e$ :

$$I_V(z_e) = \frac{k_i}{c_e(z_e) \cdot \ln\left(\frac{z_e}{z_0}\right)}, \text{ για } z_{\min} \leq z_e \leq z_{\max} \quad (14)$$

$$I_V(z_e) = I_V(z_{\min}) \text{ για } z < z_{\min} \quad (15)$$

$k_i$  συντελεστής στροβιλισμού ( $k_i = 1$ )

$c_e$  συντελεστής έκθεσης:

$$c_e(z_e) = \frac{q_{p(z_e)}}{q_b}$$

Βασική πίεση  $q_b$ :

$$q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (16)$$

Όπου:

$v_b$  η βασική ταχύτητα του ανέμου συναρτήσει της εποχής και της διεύθυνσης του ανέμου σε ύψος 10 m πάνω από έδαφος κατηγορίας II:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} \quad (17)$$

$c_{dir}$  ο συντελεστής διεύθυνσης. Λαμβάνεται ίσος με 1

$c_{season}$  ο συντελεστής εποχής. Λαμβάνεται ίσος με 1

Μέση ταχύτητα ανέμου:

$$V_m(z) = C_{r(z)} * C_{0(z)} * V_b$$

$C_{0(z)}$  ο συντελεστής τοπογραφικής διαμόρφωσης. Για επίπεδο έδαφος θεωρείται ίσος με 1

$C_{r(z)}$  ο συντελεστής τραχύτητας. Υπολογίζεται βάση της σχέσης:

$$C_{r(z_e)} = k_r * \ln\left(\frac{z_e}{z_0}\right), \text{ για } z_{\min} < z_e < z_{\max} \quad (18)$$

$$C_r = C_{r(z_{\min})}, \text{ για } z_e < z_{\min} \quad (19)$$

$z_0$  το μήκος τραχύτητας που δίνεται στον [Πίνακα 23](#)

$k_r$  ο συντελεστής εδάφους. Εξαρτάται από το μήκος τραχύτητας  $z_0$  και δίνεται από τη σχέση:

$$k_r = 0,19 * \left(\frac{z_0}{z_{0,II}}\right)^{0,07} \quad (20)$$

όπου:

$z_{0,II}$  ίσο με 0,05 m (κατηγορία εδάφους II, [Πίνακας 23](#))

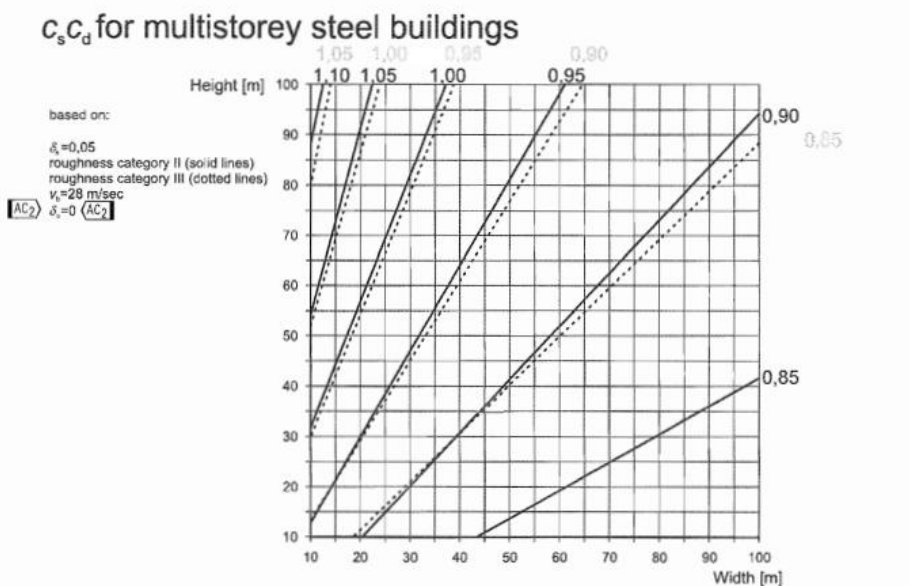
$z_{\min}$  το ελάχιστο ύψος που ορίζεται από τον [Πίνακα 23](#)

$z_{\max}$  λαμβάνεται ίσος προς 200 m.

*Δυναμικός συντελεστής  $c_s c_d$*

Ο Δυναμικός συντελεστής  $c_s c_d$  εξαρτάται από τον τύπο της κατασκευής, το ύψος και το πλάτος της. Υπολογίζεται βάσει μίας σύνθετης διαδικασίας ή εκτιμάται.

Στην προκειμένη περίπτωση θα εκτιμηθεί και θα ληφθεί ως μονάδα. Επειδή δεν υπάρχουν πολλά δεδομένα στη βιβλιογραφία, θα χρησιμοποιηθεί το παρακάτω διάγραμμα σαν γνώμονας για την εκτίμηση:



Σχήμα 100 Εκτίμηση δυναμικού συντελεστή για πολυώροφα κτίρια βάσει διαγράμματος (Πηγή: EN 1991-1-4: CEN, 2005)

Παρόλο που το διάγραμμα αφορά πολυώροφα κτίρια και η βασική ταχύτητα είναι 28 m/s, βλέπουμε ότι για το ύψος των 30 m και το μικρό πλάτος των 5 μέτρων, μπορεί να ληφθεί μονάδα, απλοποιητικά.

Τελικοί υπολογισμοί για το φορέα:

Λαμβάνονται ως δεδομένα:

- Κατηγορία εδάφους: II

- Πυκνότητα αέρα:  $\rho=1,25 \text{ kg/m}^3$
- Βασική ταχύτητα ανέμου  $v_b=33 \text{ m/s}$
- $z_e=32,5 \text{ m}$
- Δυναμικός συντελεστής  $c_s c_d=1$

Βάσει των όσων παρουσιάστηκαν παραπάνω, προκύπτουν τα εξής:

- $z_o= 0,01 \text{ m}$
- $z_{\min}= 1 \text{ m}$
- $K_r= 0,19$
- $c_{r(32,5)}= 1,23$
- $I_{v(32,5)}= 0,15$
- $v_b= 33 \text{ m/s}$
- $v_m= 40,61 \text{ m/s}$
- $q_b= 0,681 \text{ kN/m}^2$
- $q_p = 2,15 \text{ kN/m}^2$
- $c_{e(32,5)} = 3,16$

Για τον υπολογισμό της τελικής δύναμης πάνω στα μέλη, χρειάζεται ο λόγος πληρώσεως  $\phi$ . Έτσι, υπολογίστηκε το  $\phi$  καθ' ύψος του πυλώνα, χωρίζοντάς τον σε 10 υψομετρικές στάθμες, όπως φαίνεται παρακάτω:

Πίνακας 24 Υπολογισμός λόγου πληρώσεως  $\phi$  σε 10 υψομετρικές στάθμες καθ' ύψος του φορέα

ΣΤΑΘΜΗ (m)	A (m <sup>2</sup> )	A <sub>c</sub> (m <sup>2</sup> )	$\phi$
4	2,75	20	0,137
7	2,06	12,9	0,159
10	2,06	11,49	0,179
21	5,06	36,63	0,138
22,2	2,35	9,72	0,242
25	1,76	4,2	0,420
26,2	3,10	12	0,258
29	1,62	4,2	0,387
29,9	1,62	5,4	0,301
32,5	1,26	3,9	0,323

Κανονικά θα έπρεπε να βρεθούν οι δυνάμεις καθ' ύψος του φορέα και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν, ώστε προκύψουν τα φορτία του ανέμου. Αντ' αυτού, απλοποιητικά, υπολογίστηκε ένα μέσο  $\phi=0,27$  και μία μέση λυγηρότητα  $\lambda=12$  (σύμφωνα με τον [Πίνακα 25](#)) και βάσει αυτού θα υπολογιστεί μία μέση δύναμη για όλο το φορέα.

Πίνακας 25 Προτεινόμενες τιμές λυγηρότητας (EN 1991-1-4)

No.	Position of the structure, wind normal to the plane of the page	Effective slenderness $\lambda$
1		<p>For polygonal, rectangular and sharp edged sections and lattice structures:</p> <p>for <math>\ell \geq 50</math> m, <math>\lambda = 1,4 \ell/b</math> or <math>\lambda = 70</math>, whichever is smaller</p>
2		<p>for <math>\ell &lt; 15</math> m, <math>\lambda = 2 \ell/b</math> or <math>\lambda = 70</math>, whichever is smaller</p> <p>For circular cylinders:</p> <p>for <math>\ell \geq 50</math>, <math>\lambda = 0,7 \ell/b</math> or <math>\lambda = 70</math>, whichever is smaller</p> <p>for <math>\ell &lt; 15</math> m, <math>\lambda = \ell/b</math> or <math>\lambda = 70</math>, whichever is smaller</p>
3		<p>For intermediate values of <math>\ell</math>, linear interpolation should be used</p>

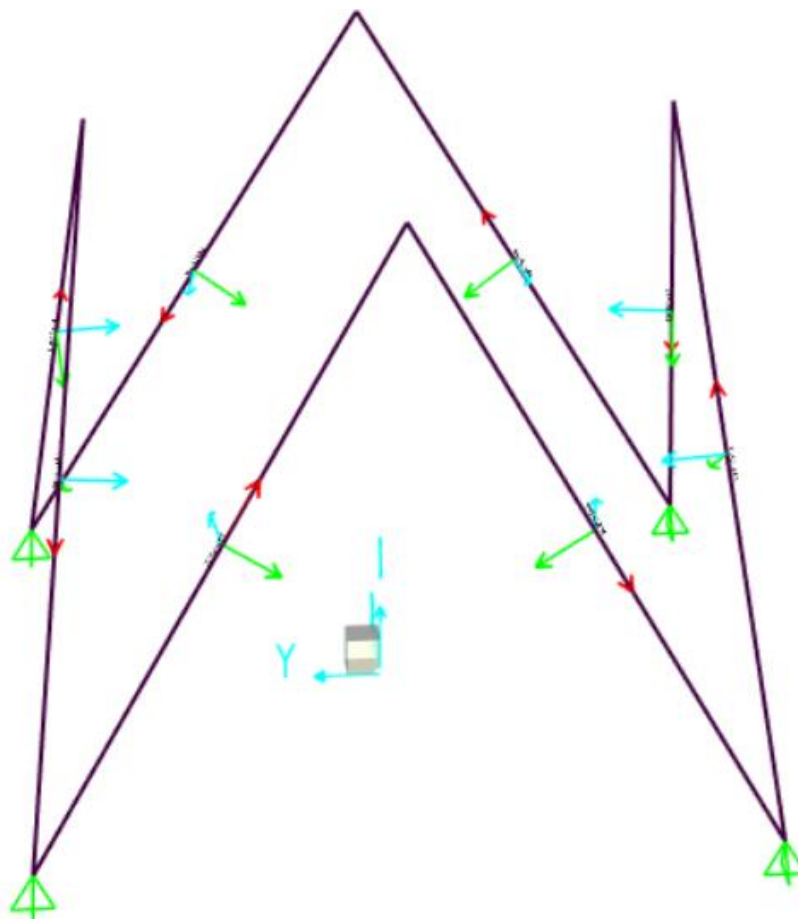
Πηγή: EN 1991-1-4 (CEN, 2005)

Βάσει του Σχήματος 99, προκύπτει ότι  $\psi_\lambda = 0,95$  και βάσει του Σχήματος 97 ότι  $c_{fo} = 2,5$

Τότε (10):  $F_w = c_{sd} \cdot \psi_\lambda \cdot c_{fo} \cdot q_{p(32,5)} \cdot A_{ref} = 5,11 \cdot A_{ref}$  (kN)

Δηλαδή, υφίσταται ένα φορτίο 5,11 kN/m<sup>2</sup> κατά μήκος και πλάτος κάθε μέλους (προσβαλλόμενη επιφάνεια ανέμου). Άρα εάν πολλαπλασιασθεί το 5,11 με το πλάτος της διατομής του κάθε μέλους, τότε θα προκύψουν τα γραμμικά φορτία του ανέμου για κάθε μέλος (κατά μήκος αυτού). Όσες διατομές έχουν τις ίδιες διαστάσεις, θα έχουν το ίδιο προσβαλλόμενο πλάτος και άρα το ίδιο φορτίο για άνεμο και προς τις 2 διευθύνσεις. Για τις υπόλοιπες, πρέπει να ληφθεί υπόψιν η θέση τους στο χώρο.

Λόγω του ότι η κυρίαρχη φόρτιση είναι ο άνεμος και το φορτίο εξαρτάται από την προσβαλλόμενη επιφάνεια, επιλέχθηκε οι σύνδεσμοι Λ να διαταχθούν έτσι ώστε μόνο το πλάτος των 64 χιλιοστών να προσβάλλεται.

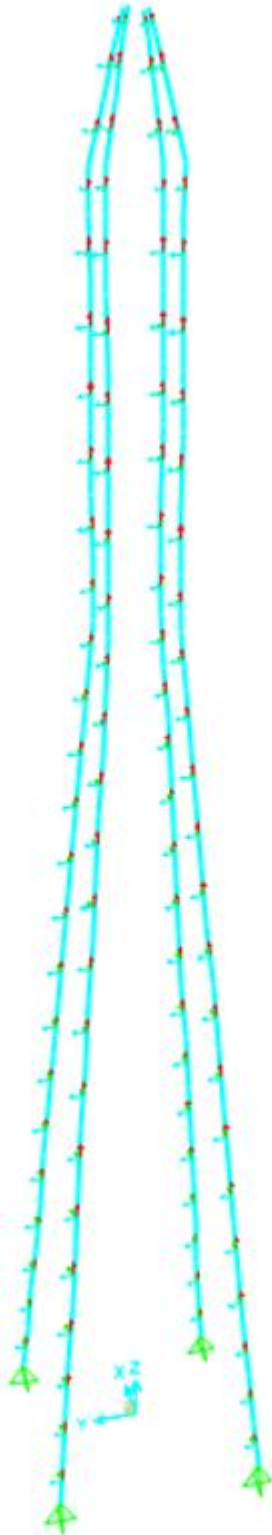


Σχήμα 101 Τοπικοί άξονες συνδέσμων Λ

Ως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, όλοι οι σύνδεσμοι έχουν προσανατολισμένη την κατακόρυφη πλευρά (65 mm, αφού είναι 65X84 ορισμένοι και το γαλάζιο βέλος δείχνει τον οριζόντιο τοπικό άξονα του μέλους) με τέτοιο τρόπο, ώστε ο άνεμος να προσβάλλει μόνο αυτή.

Οι ορθοστάτες θα προσβάλλονται κατά τη μία διεύθυνση (Y) με πλάτος 120 mm και κατά την άλλη (X) με 110 mm.





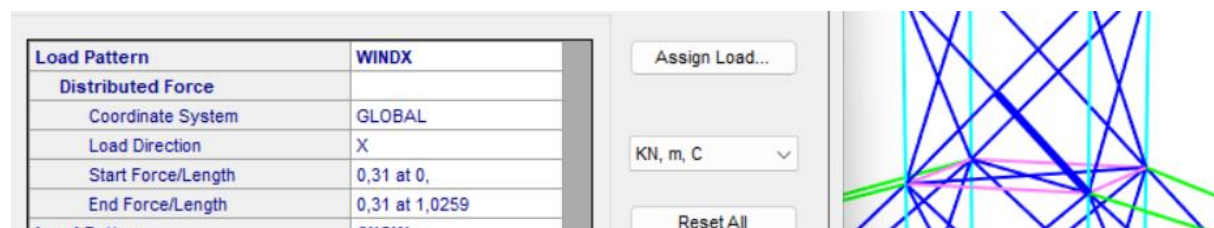
Σχήμα 102 Τοπικοί άξονες ορθοστατών

Ως φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, οι ορθοστάτες έχουν όλοι την οριζόντια πλευρά (110 mm) προσανατολισμένη με τέτοιο τρόπο, ώστε να προσβάλλεται από τον άνεμο κατά X (κάθετο στην οθόνη).

Τα συνολικά φορτία για κάθε διατομή και κάθε διεύθυνση φαίνονται παρακάτω:

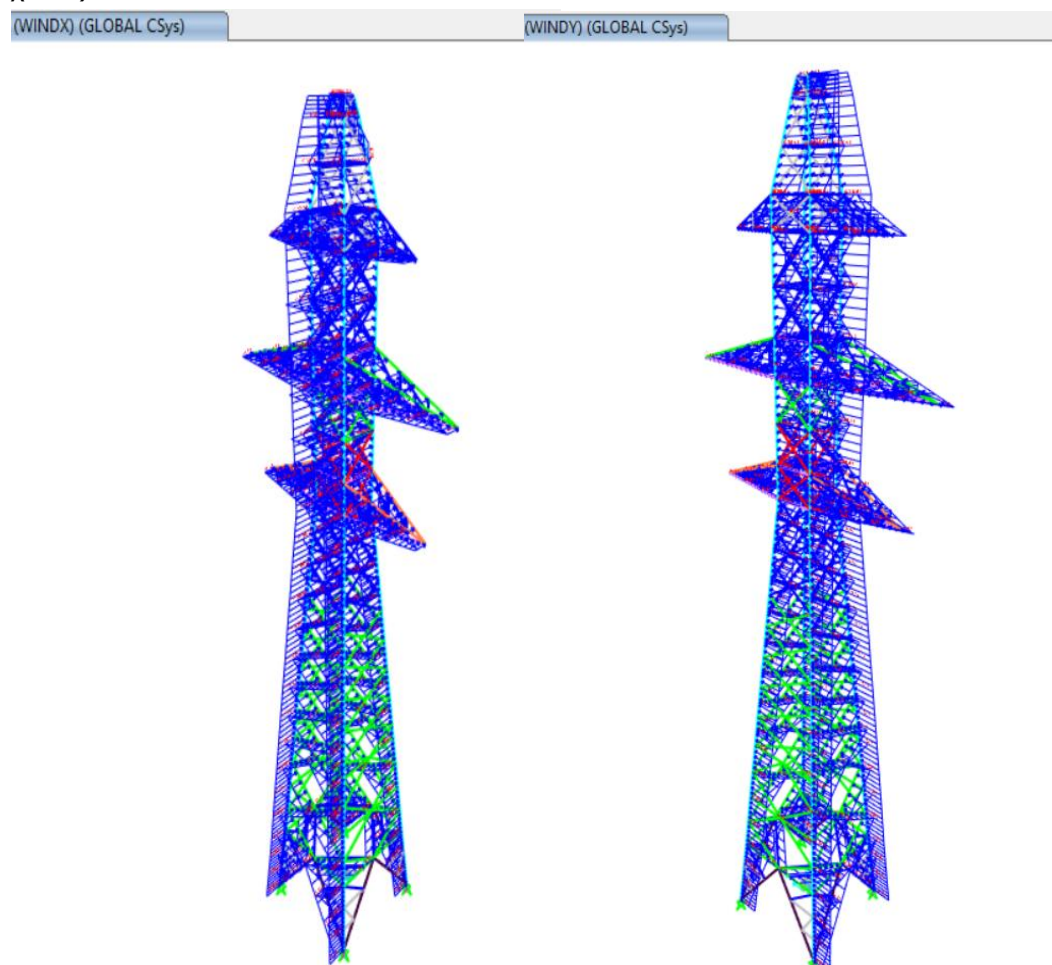
Πίνακας 26 Φορτία ανέμου για τις διατομές

ΔΙΑΤΟΜΗ	Y	X
SHS60X5	0,31	0,31
SHS60X6	0,31	0,31
L60X6	0,31	0,31
2L60X6	0,31	0,31
SHS50X5	0,26	0,26
L50X5	0,26	0,26
RHS65X84	0,33	0,33
RHS120X110	0,61	0,56



Σχήμα 103 Φορτίο ανέμου για μέλος με διατομή L60X6 που προσβάλλεται μόνο κατά X

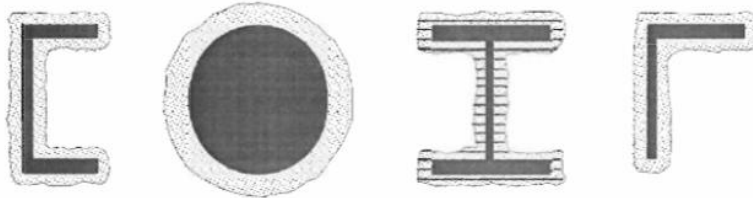
Τα μέλη που φορτίζονται στην εκάστοτε περίπτωση είναι αυτά των όψεων της διεύθυνσης που προσβάλλεται (καθώς και τα ενδιάμεσα, αφού τα διαπερνάει ο άνεμος, πχ τα οριζόντια χιαστί):



Σχήμα 104 Φορτία Ανέμου κατά Χ (αριστερά) και κατά Υ (δεξιά) (SAP2000)

#### 11.4.2.II Φορτία χιονιού

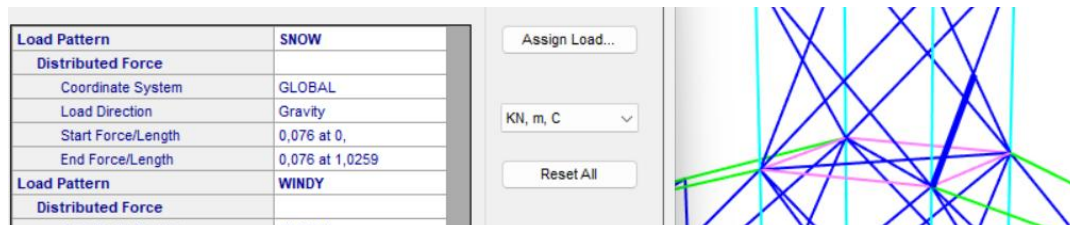
Στην παρούσα εργασία, το φορτίο του χιονιού δεν υπολογίζεται αναλυτικά, αλλά έχει φανεί από την εμπειρία ότι είναι καλή πρακτική να θεωρείται ως πάχος χιονιού 25 mm περιμετρικά της εκάστοτε διατομής (το λεγόμενο «glazed ice»). Το ειδικό βάρος του χιονιού θεωρείται ίσο με  $\gamma_s=9 \text{ kN/m}^3$ . Έτσι, για κάθε διατομή υπολογίστηκε το εμβαδό του χιονιού περιμετρικά αυτής και στη συνέχεια πολλαπλασιάστηκε με το  $\gamma_s$ , ώστε να προκύψει το τελικό επιθυμητό γραμμικό φορτίο (προφανώς έχει τη φορά της βαρύτητας):



Σχήμα 105 Παραδείγματα φορτίων χιονιού γύρω από διατομές (EN 1993-3-1: CEN, 2006)

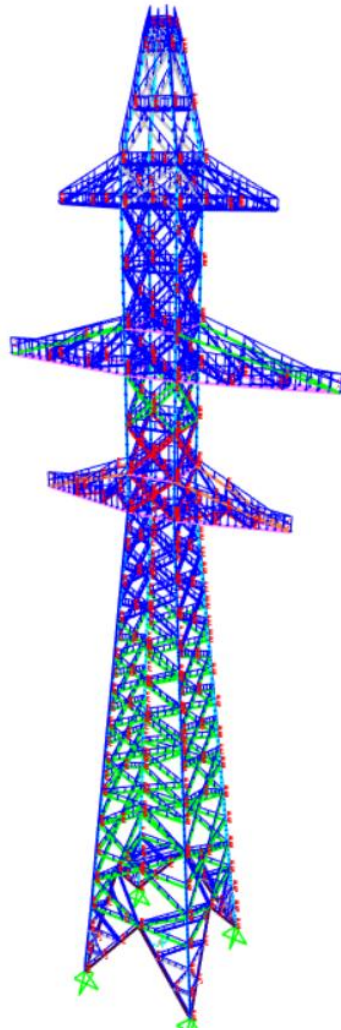
Πίνακας 27 Φορτία χιονιού για κάθε διατομή

ΔΙΑΤΟΜΗ	ΦΟΡΤΙΟ
SHS60X5	0,068
SHS60X6	0,077
L60X6	0,077
2L60X6	0,076
SHS50X5	0,148
L50X5	0,066
RHS65X84	0,090
RHS120X110	0,126



Σχήμα 106 Φορτίο χιονιού για μέλος με διατομή L60X6

(SNOW) (GLOBAL CSys)



Σχήμα 107 Φορτία χιονιού στο φορέα (SAP2000)

#### **11.4.2.III Σεισμός**

Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 8 (CEN, 2004), οι απαιτήσεις συμπεριφοράς των κατασκευών σε σεισμικές δράσεις περιλαμβάνουν δύο βασικές αρχές:

1. Αποφυγή Κατάρρευσης για το Σεισμό Σχεδιασμού:

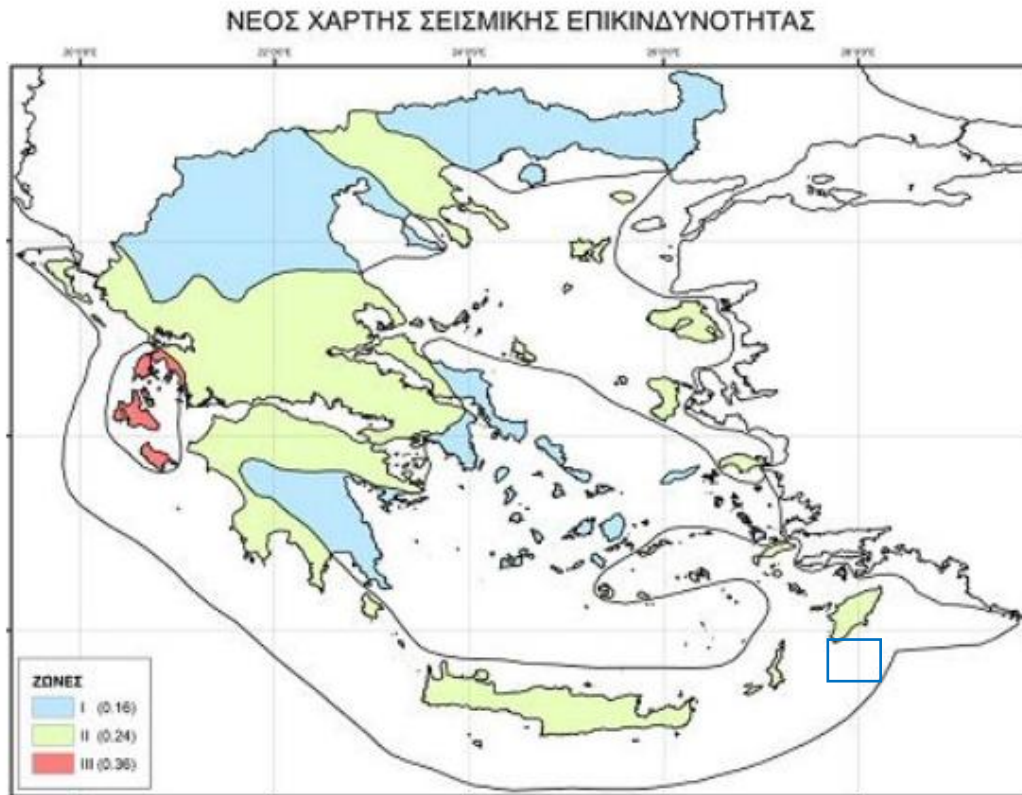
Η βασική απαίτηση είναι να εξασφαλιστεί ότι το κτίριο ή η κατασκευή δεν θα καταρρεύσει κατά τη διάρκεια ενός σεισμού σχεδιασμού. Αυτό σημαίνει ότι η κατασκευή πρέπει να διατηρήσει την ακεραιότητά της και να μην οδηγηθεί σε ολική κατάρρευση, προστατεύοντας έτσι τη ζωή των ανθρώπων που βρίσκονται στο εσωτερικό της. Ο σεισμός σχεδιασμού συνήθως αντιστοιχεί σε ένα σεισμικό γεγονός με πιθανότητα υπέρβασης 10% σε 50 έτη, δηλαδή περίοδο επαναφοράς 475 έτη (ένας σεισμός που μπορεί να συμβεί μία φορά κάθε 475 χρόνια).

2. Περιορισμός των Βλαβών:

Η δεύτερη απαίτηση είναι να περιορίζονται οι βλάβες σε ένα μικρότερο σεισμικό φαινόμενο, το οποίο συχνά ονομάζεται "σεισμική δράση περιορισμού βλαβών". Στόχος είναι η κατασκευή να παραμείνει σε λειτουργική κατάσταση ή να υποστεί μόνο περιορισμένες και επισκευάσιμες ζημιές κατά τη διάρκεια ενός πιο συχνού, αλλά λιγότερο έντονου σεισμού. Αυτός ο τύπος σεισμού είναι συνήθως πιο ήπιος από τον σεισμό σχεδιασμού και έχει υψηλότερη πιθανότητα εμφάνισης.

Αυτές οι απαιτήσεις διασφαλίζουν ότι οι κατασκευές είναι ανθεκτικές σε διαφορετικά επίπεδα σεισμικής δράσης και ότι παρέχουν ένα επίπεδο ασφάλειας και βιωσιμότητας τόσο για τους κατοίκους όσο και για την κατασκευή ίδια.

Το έδαφος που επιλέχθηκε ήταν Β και η Ζώνη Ζ2 (Ρόδος), και συνεπώς  $a_{gR} = 0,24g$  ( $m/s^2$ ).



Σχήμα 108 Ζώνες σεισμικής επικινδυνότητας Ελλάδας (Πηγή: ΟΑΣΠ/ΕΑΚ-2000)

Επειδή η κατασκευή θα αφορά στη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας και ενδεχόμενη αστοχία της θα έχει επιπτώσεις στο ηλεκτρικό δίκτυο, θεωρήθηκε σαν Κατηγορία Σπουδαιότητας III και συνεπώς η  $a_g = a_{g,R} * \gamma_I = 0,24g * 1,2 = 0,288 * g$   $m/s^2$ .

Πίνακας 28 Κατηγορίες Σπουδαιότητας

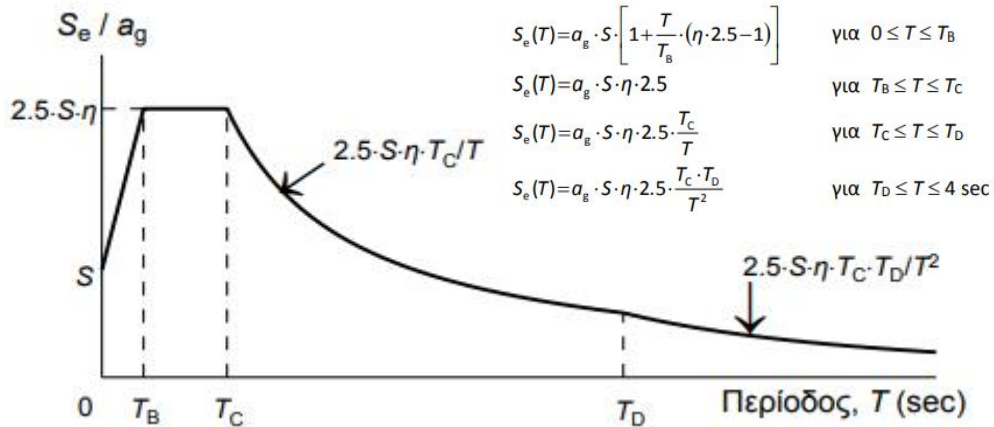
<b>Κατηγορίες σπουδαιότητας για κτίρια</b>		
Κατηγορία σπουδαιότητας	$\gamma_I$	Περιγραφή
I	0.80	Κτίρια δευτερεύουσας σημασίας για τη δημόσια ασφάλεια, π.χ. γεωργικά κτίρια, κλπ.
II	1.00	Συνήθη κτίρια, που δεν ανήκουν στις άλλες κατηγορίες.
III	1.20	Κτίρια των οποίων η σεισμική ασφάλεια είναι σημαντική, λαμβάνοντας υπόψη τις συνέπειες κατάρρευσης, π.χ. σχολεία, αίθουσες συνάθροισης, πολιτιστικά ιδρύματα κλπ.
IV	1.40	Κτίρια των οποίων η ακεραιότητα κατά τη διάρκεια σεισμών είναι ζωτικής σημασίας για την προστασία των πολιτών, π.χ. νοσοκομεία, πυροσβεστικοί σταθμοί, σταθμοί παραγωγής ενέργειας, κλπ.



Πηγή: Ψυχάρης, 2014 (βάσει Ευρωκώδικα 8)

Φάσμα σχεδιασμού στην οριζόντια διεύθυνση:

- Για  $T_B \leq T \leq T_C$ : Περιοχή σταθερής φασματικής επιτάχυνσης
- Για  $T_C \leq T \leq T_D$ : Περιοχή σταθερής φασματικής ταχύτητας
- Για  $T_D \leq T \leq 4.0$ : Περιοχή σταθερής φασματικής μετακίνησης



Σχήμα 109 Γενική μορφή ελαστικού φάσματος σχεδιασμού EC8 (Πηγή: Ψυχάρης, 2014, βάσει Ευρωκώδικα 8)

Για ανελαστική συμπεριφορά:

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[ \frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left( \frac{2.5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right] \quad \text{για } 0 \leq T \leq T_B$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \quad \text{για } T_B \leq T \leq T_C$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C}{T} \geq \beta \cdot a_g \quad \text{για } T_C \leq T \leq T_D$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \geq \beta \cdot a_g \quad \text{για } T_D \leq T \leq 4 \text{ sec}$$

Σχήμα 110 Σχέσεις ανελαστικού φάσματος EC8 (Πηγή: Ψυχάρης, 2014, βάσει Ευρωκώδικα 8)

Σύμφωνα με το Εθνικό Προσάρτημα, η τιμή  $\beta$  ορίζεται σε  $\beta=0.2$

Πίνακας 29 Τιμές χαρακτηριστικών περιόδων και συντελεστή εδάφους για την οριζόντια συνιστώσα της σεισμικής διέγερσης

Κατηγορία εδάφους	S	$T_B$ (sec)	$T_C$ (sec)	$T_D$ (sec)
A	1.00	0.15	0.40	2.50
B	1.20	0.15	0.50	2.50
C	1.15	0.20	0.60	2.50
D	1.35	0.20	0.80	2.50
E	1.40	0.15	0.50	2.50

Πηγή: Ψυχάρης, 2014, βάσει Ευρωκώδικα 8

*Ανάλυση για τη σεισμική δράση*

Η ανάλυση έγινε στο SAP2000 σύμφωνα με την ιδιομορφική φασματική ελαστική μέθοδο (ή «ιδιομορφική μέθοδο φάσματος απόκρισης»).

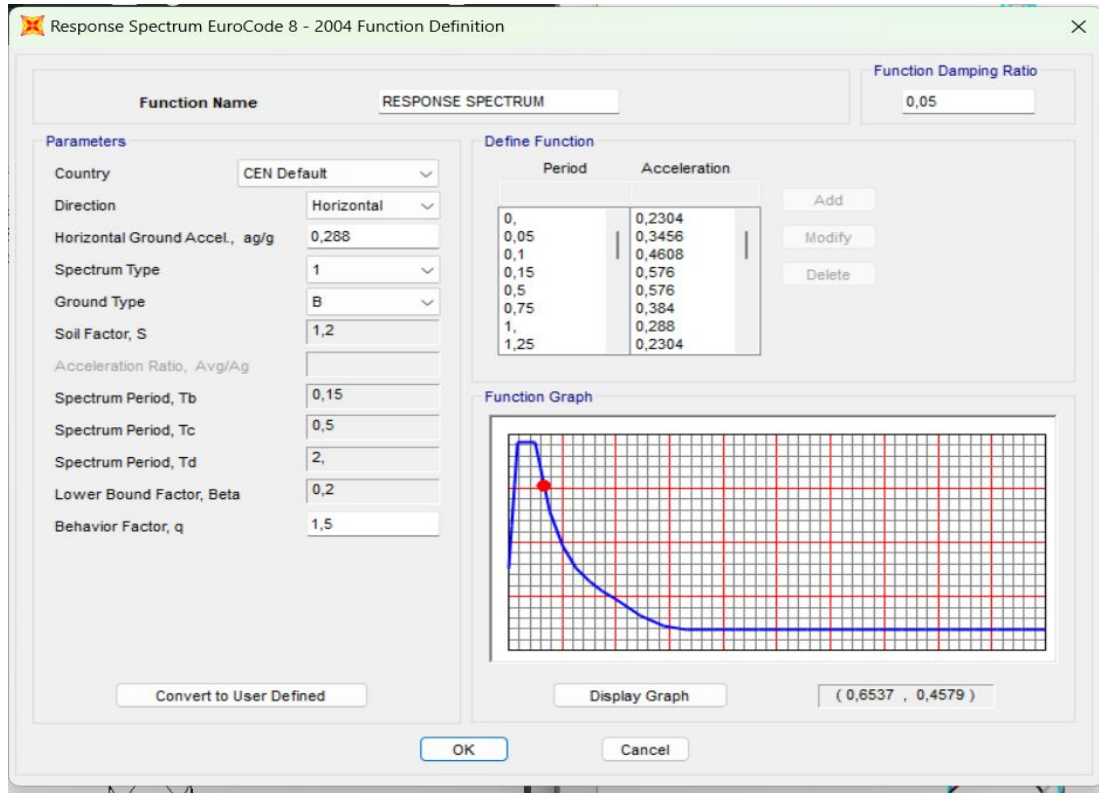
Επιλέχθηκε ένας συντελεστής συμπεριφοράς  $q=1,5$ , παρόλο που η κατασκευή έχει δικτυωτούς συνδέσμους με εκκεντρότητα (πιο συντηρητικός σχεδιασμός). Επίσης, πρέπει να υπενθυμιστεί ότι τα μέλη είναι προϊόντα επαναχρησιμοποίησης. Οπότε παρόλο που είναι ζητούμενο να μην έχουν παραμορφωθεί (να είναι στην ελαστική περιοχή), καλό είναι να μην παρθεί τέτοιο ρίσκο. Επιπρόσθετα, το 1,5 είναι κοντά στο 1 που προτείνεται από τα πρωτόκολλα για ΚΠ1. Επιπλέον, ενώ δεν ενδείκνυται η χρήση εκ νέου μελών σε μία κατασκευή που παίρνει σεισμικές φορτίσεις, αξίζει να σημειωθεί ότι:

- κυρίαρχη φόρτιση είναι ο άνεμος,
- η παλιά κατασκευή δεν είχε ιδιαίτερες φορτίσεις (όχι κινητά, άρα λιγότερη ταλαντώμενη μάζα, όχι ιδιαίτερα σεισμικά φορτία),
- τα ανακτημένα μέλη θα πρέπει να ελεγχθούν για πλαστικές παραμορφώσεις, αν και δεν είναι σύνδεσμοι δυσκαμψίας, και
- η εφαρμογή είναι ακαδημαϊκού επιπέδου.

Πίνακας 30 Μέγιστες τιμές του συντελεστή συμπεριφοράς  $q$

Υλικό	Δομικό σύστημα	$q$
Οπλισμένο Σκυρόδεμα	α. Πλαίσια ή μικτά συστήματα	3.50
	β. Συστήματα τοιχωμάτων που λειτουργούν ως πρόβολοι	3.00
	γ. Συστήματα στα οποία τουλάχιστον το 50% της συνολικής μάζας βρίσκεται στο ανώτερο 1/3 του ύψους	2.00
Χάλυβας	Πλαίσια	4.00
	Δικτυωτοί σύνδεσμοι με εκκεντρότητα	4.00
	Δικτυωτοί σύνδεσμοι χωρίς εκκεντρότητα:	
	• Διαγώνιοι σύνδεσμοι	3.00
• Σύνδεσμοι τύπου V ή L	1.50	
• Σύνδεσμοι τύπου K (όπου επιτρέπεται)	1.00	
Τοιχοποιία	Με οριζόντια διαζώματα	1.50
	Με οριζόντια και κατακόρυφα διαζώματα	2.00
	Οπλισμένη (κατακόρυφα και οριζόντια)	2.50
Ξύλο	Πρόβολοι	1.00
	Δοκοί-Τόξα-Κολλητά πετάσματα	1.50
	Πλαίσια με κοιλώσεις	2.00
	Πετάσματα με ηλώσεις	3.00

Πηγή: Καφάρκη, [2018](#)

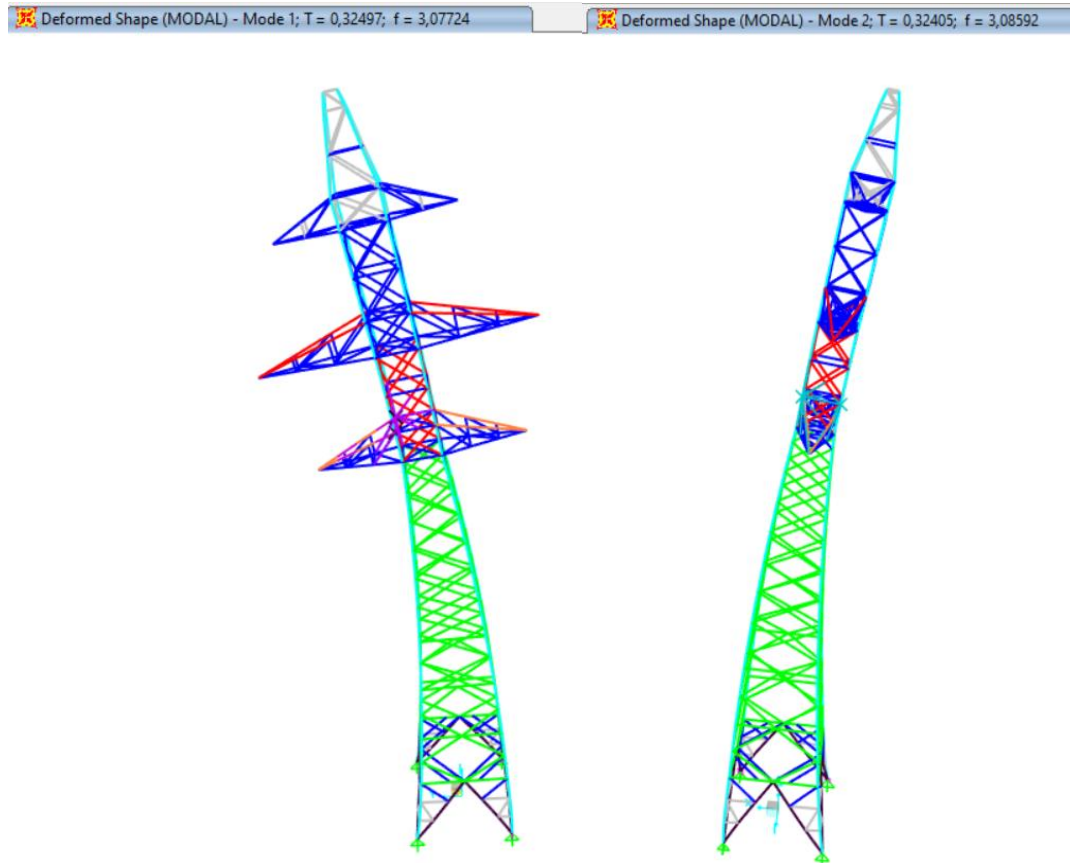


Σχήμα 111 Ορισμός φάσματος απόκρισης στο SAP. Φαίνεται πως  $a_g/g = 0,288$

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης. Η δεσπόζουσα ιδιοπερίοδος κατά την διεύθυνση x (1<sup>η</sup> ιδιομορφή) ισούται με  $T = 0,331$  sec με ποσοστό ιδιομορφικής μάζας 54% και η δεσπόζουσα ιδιοπερίοδος κατά την διεύθυνση y (2<sup>η</sup> ιδιομορφή) ισούται με  $T = 0,33$  sec με ποσοστό ιδιομορφικής μάζας 55%. Οι 2 ιδιομορφές είναι τόσο «κοντά» λόγω της σχετικής συμμετρίας του φορέα και των φορτίσεων.

Πίνακας 31 Ποσοστά «ενεργών» ιδιομορφικών μαζών

TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumU X	SumU Y
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	<b>0,330853</b>	0,0000155	<b>0,54036</b>	3,658E-10	0,00001551	0,54036
MODAL	Mode	2	<b>0,329706</b>	<b>0,54792</b>	0,00001553	1,411E-10	0,54793	0,54038
MODAL	Mode	3	0,212461	1,498E-10	2,68E-11	4,711E-07	0,54793	0,54038
MODAL	Mode	4	0,108738	3,278E-12	7,648E-09	0,00002144	0,54793	0,54038
MODAL	Mode	5	0,108295	9,881E-08	6,708E-08	1,874E-09	0,54793	0,54038



Σχήμα 112 Παραμορφωμένη κατάσταση του φορέα κατά την 1<sup>η</sup> (αριστερά) και 2<sup>η</sup> (δεξιά) ιδιομορφή

Πίνακας 32 Συνολικό ποσοστό συμμετοχής ιδιομορφικής μάζας

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
MODAL	Acceleration	UX	100	<b>99,9799</b>
MODAL	Acceleration	UY	100	<b>99,9813</b>
MODAL	Acceleration	UZ	12,763	6,5607

Η ταλαντώμενη μάζα υπολογίστηκε για το συνδυασμό μόνιμα\*1, καθώς δεν υπάρχουν κινητά.

Για να επιτευχθεί το επιθυμητό ποσοστό ιδιομορφικής μάζας (90%) κατά την διεύθυνση X απαιτήθηκαν 73 ιδιομορφές ενώ κατά την Y απαιτήθηκαν 72 ιδιομορφές.

Πίνακας 33 Ποσοστά ενεργών ιδιομορφικών μαζών, όπου ξεπερνούν το 90%

TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY
Text	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	<b>72</b>	0,036702	0,000002827	0,01659	2,906E-07	0,89195	<b>0,9064</b>
MODAL	Mode	<b>73</b>	0,033835	0,01415	0,00058	0,00024	<b>0,9061</b>	0,90698

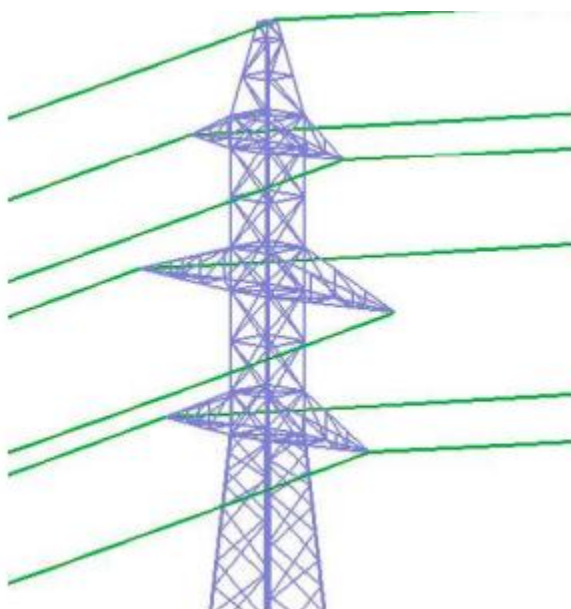
**11.4.2.IV Φορτία σπασμένων αγωγών**

Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι δράσεις από τα φορτία των αγωγών στην περίπτωση που κάποιος από αυτούς σπάσει. Η συγκεκριμένη ανήκει στις τυχηματικές φορτίσεις. Τα φορτία σπασμένου αγωγού προέκυψαν από προσομοίωμα γραμμής μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας (Στεφάνου, 2020, Καφαράκη, 2018). Υποτίθεται ότι ο αγωγός που σπάει ανήκει στη δεύτερη γέφυρα του μεσαίου πυλώνα της γραμμής (Σχήμα 113). Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας υπόψιν ότι ο κόμβος 1 είναι του σπασμένου αγωγού:

Πίνακας 34 Φορτία σπασμένου αγωγού (για σπασμένο τον μπροστινό αγωγό του κόμβου 1)

	κόμβος 1	κόμβος 2
Ny	25.66 kN	0.11 kN
Nx	0.71 kN	1.74 kN
Nz	2.65 kN	5.03 kN

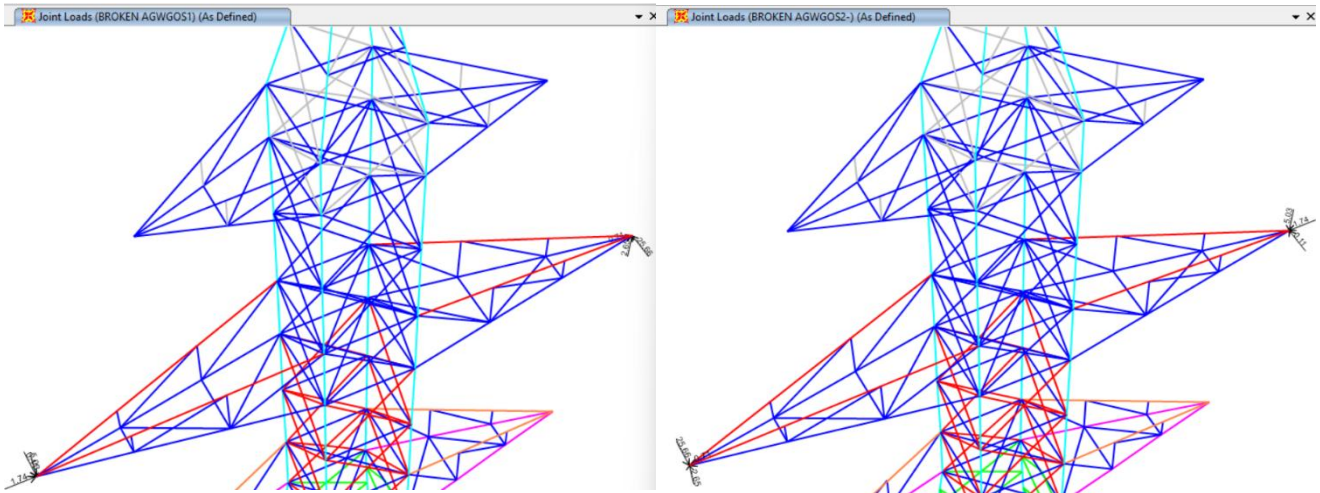
Πηγή: Καφαράκη, 2018



Σχήμα 113 Απεικόνιση σπασμένου αγωγού (Καφαράκη, 2018)

Προκειμένου να ληφθούν υπόψιν όλες οι πιθανές περιπτώσεις, δημιουργήθηκαν 4 "load patterns", για κάθε σπασμένο αγωγό κάθε κόμβου της γέφυρας.





Σχήμα 114 Δύο από τα 4 "load patterns" ("1" και "2-" ) για τη φόρτιση σπασμένου αγωγού.

Το "1" και το "2" δείχνουν τον κόμβο που σπάει κάθε φορά και το "-" δείχνει ότι σπάει το πίσω καλώδιο (αντί για το μπροστά).

### 11.4.3 Συνδυασμοί φορτίσεων

Οι οριακές καταστάσεις διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, την οριακή κατάσταση αστοχίας (Ο.Κ.Α.) και την οριακή κατάσταση λειτουργικότητας (Ο.Κ.Λ.).

Η οριακή κατάσταση αστοχίας σχετίζεται με απώλεια ισορροπίας του φορέα, αστοχία λόγω υπερβολικών παραμορφώσεων, μετατροπή του φορέα ή μέρος του σε μηχανισμό, θραύσης και απώλεια της ευστάθειάς του και αστοχία λόγω κόπωσης, που θέτουν σε κίνδυνο ανθρώπινες ζωές. Οι τιμές των συντελεστών ασφαλείας των δράσεων για πύργους στην Ο.Κ.Α. εξαρτώνται από την κατηγορία αξιοπιστίας του έργου. Οι κατηγορίες αυτές παρουσιάζονται στον Πίνακα που ακολουθεί:

Πίνακας 35 Κατηγορίες αξιοπιστίας για πύργους

Reliability Class	
3	towers and masts erected in urban locations, or where their failure is likely to cause injury or loss of life; towers and masts used for vital telecommunication facilities; other major structures where the consequences of failure would be likely to be very high
2	all towers and masts that cannot be defined as class 1 or 3
1	towers and masts built on unmanned sites in open countryside; towers and masts, the failure of which would not be likely to cause injury to people

Πηγή: EN 1993-3-1 (CEN, 2006)

Ο πυλώνας αυτής της εργασίας λαμβάνεται υπόψη ως κατηγορίας αξιοπιστίας 2. Οι συντελεστές που αντιστοιχούν στην κατηγορία αυτή είναι  $\gamma_g=1,1$  και  $\gamma_q=1,4$  για μη τυχηματικές μόνιμες και κινητές δράσεις, αντίστοιχα, ενώ για τυχηματικές είναι  $\gamma_g=\gamma_q=1$ . Δεν λαμβάνονται ευμενείς δράσεις.

Πίνακας 36 Συντελεστές ασφαλείας των δράσεων στην Ο.Κ.Α.

Type of Effect	Reliability Class, see NOTE to 2.1.2	Permanent Actions	Variable Actions ( $Q_s$ )
unfavourable	3	1,2	1,6
	2	1,1	1,4
	1	1,0	1,2
favourable	All Classes	1,0	0,0
Accidental situations		1,0	1,0

Πηγή: EN 1993-3-1 (CEN, 2006)

Η πιθανότητα χρονικής σύμπτωσης των μέγιστων τιμών διαφόρων ανεξάρτητων δράσεων είναι μικρή. Για το λόγο αυτό κατά την εξέταση των συνδυασμών των μεταβλητών δράσεων εισάγονται οι συντελεστές συνδυασμού  $\psi$ . Οι συντελεστές αυτοί εκφράζουν το ποσοστό της χαρακτηριστικής τιμής μιας δράσης, το οποίο, για την εξεταζόμενη κατάσταση, έχει μεγάλη πιθανότητα χρονικής ταύτισης με άλλες δράσεις. Οι συντελεστές αυτοί χρησιμοποιούνται για να διασφαλίσουν ότι οι υπολογισμοί των συνδυασμών δράσεων θα είναι πιο ρεαλιστικοί και ασφαλείς, λαμβάνοντας υπόψη την πιθανότητα χρονικής ταύτισης διαφορετικών δράσεων. Αυτοί οι συντελεστές είναι καθορισμένοι στον Ευρωκώδικα 1 (CEN, 2002), που καθορίζει τις βασικές αρχές για τις φορτίσεις και τους συνδυασμούς τους και μπορεί να τροποποιούνται ή να καθορίζονται περαιτέρω από τα Εθνικά Προσαρτήματα ("National Annexes") κάθε χώρας. Εν προκειμένω, για την περίπτωση της φόρτισης ανέμου λαμβάνεται  $\psi=0,60$  και χιονιού  $\psi=0,50$ .

Αξίζει σε αυτό το σημείο να επισημάνουμε πως υπάρχει το ενδεχόμενο κατά τη διάρκεια χιονόπτωσης, ταυτόχρονα να προσβάλλει ο άνεμος επιφάνειες καλυμμένες με χιόνι.

Προκειμένου να βρεθούν τα νέα φορτία του ανέμου για χιονισμένα μέλη (δηλαδή πάχος 25 mm γύρω από το μέλος), βρέθηκε εκ νέου το  $\phi$  για χιονισμένο φορέα,  $\phi_{ice}$ :

Πίνακας 37 Υπολογισμός λόγου πληρώσεως  $\phi_{ice}$  για χιονισμένο φορέα σε 10 υψομετρικές στάθμες καθ' ύψος του φορέα

$A_c$ (m <sup>2</sup> )	$A_{ice}$ (m <sup>2</sup> )	$\phi_{ice}$
20	4,7445	0,237225
12,9	3,49	0,270775
11,49	3,49	0,304003
36,63	8,36	0,228228
9,72	4,3452	0,447037
4,2	3,071	0,73119
12	5,5848	0,4654
4,2	2,831	0,674048
5,4	2,906	0,538148
3,9	2,16	0,553846

Το μέσο  $\phi_{ice}$  προκύπτει 0,45, δηλαδή περίπου 1,7 φορές μεγαλύτερο από το  $\phi$ . Σημειώνεται εδώ ότι στον υπολογισμό των  $A_{ice}$  λήφθηκε υπόψιν μόνο το πάχος χιονιού πάνω και κάτω από το μέλος. Δηλαδή, προστέθηκαν 2\*25mm πλάτους διατομών. Κανονικά, θα έπρεπε να γίνει το ίδιο και για το μήκος των μελών, αλλά δεν έγινε, λόγω του ότι τα 50 mm είναι μικρά σε σχέση με τα μήκη των μελών, και ακολουθείται μία προσεγγιστική μέθοδος. Συνεπώς, μπορεί να ληφθεί πολύ απλοποιητικά ότι  $F_{w,ice}=1,7*F_w$  (ουσιαστικά, μειώνεται το  $c_f$ , αλλά αυξάνεται το  $A_{ref}$  – ίσως να ήταν πιο συνετό να βρεθεί το νέο  $c_{f0}$ , να διαιρεθεί με το παλιό  $c_{f0}$  και να

πολλαπλασιασθεί με το 1,7 – αυτή που έγινε ήταν πιο συντηρητική προσέγγιση - βάσει της βιβλιογραφίας: Καφαράκη, 2018, Στεάνου, 2020, η τιμή αυτή είναι λογική).

Ωστόσο, δεν είναι ρεαλιστικό να λαμβάνεται υπόψη το πλήρες φορτίο και των δύο δράσεων ταυτόχρονα. Άρα η τιμή αυτή πρέπει να απομειωθεί, ήτοι να πολλαπλασιαστεί με ένα συντελεστή  $k=0,60$ , βάσει EN 1993-3-1 και του ISO 12494 (CEN, 2006, International Organization for Standardization. 2014).

Όσον αφορά στις τυχηματικές δράσεις, επειδή στη βιβλιογραφία δε βρέθηκε κάτι συγκεκριμένο για σπασμένους αγωγούς και επειδή για σεισμικές τυχηματικές δράσεις είναι  $\psi_2=0$  και  $\psi_2=0,2$  για τον άνεμο και το χιόνι, αντίστοιχα, εν προκειμένω, δυσμενώς θα λάβουμε  $\psi_2=0,2$  και για τα 2 φορτία.

Συνοψίζοντας, οι συνδυασμοί φορτίσεων στην οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ) διαμορφώνονται ως εξής:

1.  $1,1 * G$
2.  $1,1 * G + 1,4 * W_x$
3.  $1,1 * G + 1,4 * W_y$
4.  $1,1 * G - 1,4 * W_x$
5.  $1,1 * G - 1,4 * W_y$
6.  $1,1 * G + 1,4 * S$
7.  $1,1 * G + 1,4 * 0,6 W_{x,ice} + 1,4 * 0,5 * S$
8.  $1,1 * G + 1,4 * 0,6 W_{y,ice} + 1,4 * 0,5 * S$
9.  $1,1 * G + 1,4 * 0,6 * 0,6 * W_{x,ice} + 1,4 * S$
10.  $1,1 * G + 1,4 * 0,6 * 0,6 * W_{y,ice} + 1,4 * S$
11.  $1,1 * G - 1,4 * 0,6 W_{x,ice} + 1,4 * 0,5 * S$
12.  $1,1 * G - 1,4 * 0,6 W_{y,ice} + 1,4 * 0,5 * S$
13.  $1,1 * G - 1,4 * 0,6 * 0,6 * W_{x,ice} + 1,4 * S$
14.  $1,1 * G - 1,4 * 0,6 * 0,6 * W_{y,ice} + 1,4 * S$
15.  $1 * G + 1 * E_x + 0,3 * E_y$
16.  $1 * G + 0,3 * E_x + 1 * E_y$

Επιπλέον, πρέπει να ληφθούν υπόψιν όλες οι περιπτώσεις σπασμένων αγωγών:

17.  $1 * G + 1 * Q_{ba,11}$
18.  $1 * G + 1 * Q_{ba,11} + 0,2 * W_x$
19.  $1 * G + 1 * Q_{ba,11} + 0,2 * W_y$
20.  $1 * G + 1 * Q_{ba,11} - 0,2 * W_x$
21.  $1 * G + 1 * Q_{ba,11} - 0,2 * W_y$
22.  $1 * G + 1 * Q_{ba,11} + 0,2 * S$
23.  $1 * G + 1 * Q_{ba,21}$
24.  $1 * G + 1 * Q_{ba,21} + 0,2 * W_x$
25.  $1 * G + 1 * Q_{ba,21} + 0,2 * W_y$
26.  $1 * G + 1 * Q_{ba,21} - 0,2 * W_x$
27.  $1 * G + 1 * Q_{ba,21} - 0,2 * W_y$
28.  $1 * G + 1 * Q_{ba,21} + 0,2 * S$
29.  $1 * G + 1 * Q_{ba,22}$
30.  $1 * G + 1 * Q_{ba,22} + 0,2 * W_x$
31.  $1 * G + 1 * Q_{ba,22} + 0,2 * W_y$
32.  $1 * G + 1 * Q_{ba,22} - 0,2 * W_x$
33.  $1 * G + 1 * Q_{ba,22} - 0,2 * W_y$
34.  $1 * G + 1 * Q_{ba,22} + 0,2 * S$
35.  $1 * G + 1 * Q_{ba,12}$

36.  $1*G + 1*Q_{ba,12} + 0,2W_X$
37.  $1*G + 1*Q_{ba,12} + 0,2*W_Y$
38.  $1*G + 1*Q_{ba,12} - 0,2W_X$
39.  $1*G + 1*Q_{ba,12} - 0,2*W_Y$
40.  $1*G + 1*Q_{ba,12} + 0,2*S$

Όπου:

G: Τα μόνιμα φορτία (IB και φορτία αγωγών)

$W_X$ : Φορτίο ανέμου κατά τη διεύθυνση X (0 μοίρες)

$W_Y$ : Φορτίο ανέμου κατά τη διεύθυνση Y (90 μοίρες)

$W_{X,ice}$ : Φορτίο ανέμου κατά τη διεύθυνση X (0 μοίρες), όταν υπάρχει και χιόνι ( $W_{X,ice}=1,7*W_X$ )

$W_{Y,ice}$ : Φορτίο ανέμου κατά τη διεύθυνση Y (90 μοίρες), όταν υπάρχει και χιόνι ( $W_{Y,ice}=1,7*W_Y$ )

S: Φορτίο χιονιού

$E_x$ : σεισμικό φορτίο κατά X

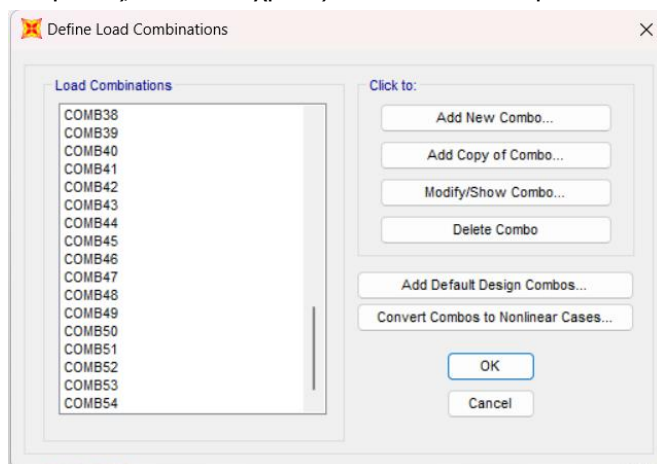
$E_y$ : σεισμικό φορτίο κατά Y

$Q_{ba,ij}$ : Φορτίο κόμβου i και σπασμένου αγωγού j (j=1 ο αγωγός μπροστά και j=2 ο πίσω)

Οι συνδυασμοί στην Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (ΟΚΛ) είναι οι εξής:

1.  $1*G$
2.  $1*G + 1*W_X$
3.  $1*G + 1*W_Y$
4.  $1*G - 1*W_X$
5.  $1*G - 1*W_Y$
6.  $1*G + 1*S$
7.  $1*G + 1*0,6*W_{X,ice} + 0,5*S$
8.  $1*G + 1*0,6*0,6*W_{X,ice} + S$
9.  $1*G + 1*0,6*W_{Y,ice} + 0,5*S$
10.  $1*G + 1*0,6*0,6*W_{Y,ice} + S$
11.  $1*G - 1*0,6*W_{X,ice} + 0,5*S$
12.  $1*G - 1*0,6*0,6*W_{X,ice} + S$
13.  $1*G - 1*0,6*W_{Y,ice} + 0,5*S$
14.  $1*G - 1*0,6*0,6*W_{Y,ice} + S$

Επομένως, συνολικά χρειάζονται 54 συνδυασμοί:



Σχήμα 115 Συνδυασμοί που εισήχθησαν στο SAP2000. Στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ ΜΕΛΩΝ ΠΥΛΩΝΑ, υπάρχουν και οι αντίστοιχοι κρίσιμοι συνδυασμοί ολογράφως.

### 11.5 Ανάλυση και διαστασιολόγηση του φορέα

Η διαστασιολόγηση των μελών της κατασκευής έγινε βάσει του EN 1993-1-1 (CEN, 2005) και του EN 199-3-3-1 (CEN, 2006). Η ανάλυση (ελαστική) έγινε με τη βοήθεια του SAP2000. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε ένα φύλλο Excel ως Βάση Δεδομένων και άλλο ένα που περιείχε τα μέλη της κατασκευής.

Αρχικά, επιλέχθηκαν τα μέλη βάσει της βιβλιογραφίας, της κρίσης του σχεδιαστή και φυσικά, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα της Βάσης. Συγκεκριμένα, βάσει των ανακτημένων διατομών, έγινε μια πρώτη διαστασιολόγηση του φορέα: Ανάλογα με το μήκος και τη διατομή που ήταν επιθυμητά, γινόταν αναζήτηση στη βάση δεδομένων για να ληφθεί η βέλτιστη λύση για το εκάστοτε μέλος.

Στην περίπτωση που δεν υπήρχε το ακριβές μήκος για κάποια διατομή, τότε οι παρακάτω εναλλακτικές εξετάζονταν (όπως έχει προαναφερθεί):

- είτε επιλογή κάποιου λίγο μακρύτερου μέλους (ώστε να κοπεί και το κομμένο εναπομείναν μήκος να είναι το μικρότερο δυνατό),
- είτε κάποιου μέλους με μήκος που θα ικανοποιούσε 2 καταστάσεις ταυτόχρονα (για παράδειγμα μέλος με μήκος 1,5 μέτρα μπορεί εφόσον κοπεί να τοποθετηθεί σε μία θέση 1 m και μία 0,5 m)
- είτε 2 (ή 3) κοντύτερων μελών, τα οποία θα συγκολλούνταν μεταξύ τους, ώστε να προκύψει το επιθυμητό μήκος
- είτε διαχωρισμός μίας διατομής στις αρχικές της (πχ 2L60X6)

Η Βάση Δεδομένων καθώς και το λογιστικό φύλλο με τα μέλη του φορέα που τελικά χρησιμοποιήθηκαν βρίσκονται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ και στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΦΥΛΛΟ ΤΕΛΙΚΗΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΦΟΡΕΑ. Προφανώς χρησιμοποιήθηκαν πρωτίστως μέλη με κατηγορία διάβρωσης Α και όταν εξαντλούνταν αυτά, γινόταν επιλογή αυτών με Β. Συγκεκριμένα, για τις διατομές RHS120X100, RHS65X84, L60X6, SHS60X6, τα μέλη που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μόνο κατηγορίας Α, ενώ για τα υπόλοιπα (SHS60X5, L50X5, SHS50X5) χρησιμοποιήθηκαν Α και Β (όπως φαίνεται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ). Για το λόγο αυτό, άλλωστε, προτιμήθηκε να δημιουργηθούν οι SHS60X6 και να μη χρησιμοποιηθούν περισσότερες SHS60X5.

Όπως φαίνεται από τα παρακάτω στιγμιότυπο από τη Βάση Δεδομένων, τα μέλη που επιλέγονται σηματοδοτούνται με κίτρινο χρώμα.



19	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI		127
20	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI		129
21	2UPN120X12	9	A	S235	OXI		128-130-132-943-134-136-138-141-142
22	SHS60X5	2,93	A	S235	OXI		133
23	SHS60X5	2,93	C	S235	OXI		135
24	SHS60X5	2,93	C	S235	OXI		140
25	SHS60X5	2,93	C	S235	OXI		144
26	2UPN120X12	3,3	A	S235	OXI		145,146
27	SHS60X5	2,93	A	S235	OXI		149
28	SHS60X5	2,93	A	S235	OXI		151
29	2UPN120X12	9	A	S235	OXI		3442,3674,150,152,154,157
30	2L60X6	2,6	A	S235	OXI		159,906
31	2UPN120X12	5	A	S235	OXI		3610,3611,160,966,968
32	2UPN120X12	5	A	S235	OXI		3608,3609,165,131,167
33	2SHS60X5	0,87	B	S235	OXI		925
34	L60X6	1,55	A	S235	OXI		208
35	L60X6	1,55	A	S235	OXI		216
36	L60X6	1,55	A	S235	OXI		219
37	L60X6	15,5	A	S235	OXI	Στο 666 υπάρχει ιγνος σκουριάς. Παρ' όλ' αυτά, δεν είναι αρκετή για να την κατεβάσει κατηγορία.	669,668,667,666,581-578,277,276,228,223,435,434,433,432
38	L60X6	7,8	A	S235	OXI		289-286,242-239
39	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI		199
40	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI		1693,1694
41	SHS60X5	2	C	S235	OXI		268,200,195,197
42	L60X6	3,9	A	S235	OXI		269,267
43	SHS60X5	10,8	A	S235	OXI		305,304,292,285,275,274,272,270
44	L60X6	1,2	A	S235	OXI		290
45	L60X6	1,2	A	S235	OXI		291
46	L60X6	3,9	A	S235	OXI		296,295,294,293
47	L60X6	1,2	A	S235	OXI		278

Σχήμα 116 Στιγμιότυπο από τη Βάση Δεδομένων, όπου φαίνεται μέρος μελών (με κίτρινο) που θα επαναχρησιμοποιηθούν για την ανέγερση του Πυλώνα

Στις περισσότερες περιπτώσεις που επιλέχθηκε μία διατομή να χωριστεί στις 2 που την απαρτίζουν, χρησιμοποιήθηκαν και οι 2 εκ νέου. Ωστόσο, άμα μία από τις 2 δεν επρόκειτο να χρησιμοποιηθεί στον Πυλώνα, σηματοδοτείτο με το κατάλληλο χρώμα (πορτοκαλί άμα αυτή που δεν χρησιμοποιείτο ήταν η δεύτερη, αλλιώς μπλε).

521	U65-L60X6	3,9	A	S235	OXI		4527,4528
522	SHS60X5-L60X6	2,1	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4573,4575
523	SHS60X5-L60X6	2,1	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4577,4579

Σχήμα 117 Παραδείγματα «διπλών» διατομών, εκ των οποίων χρησιμοποιήθηκε η μία από τις δύο

Επιπρόσθετα, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα σχόλια/παρατηρήσεις. Για παράδειγμα, σε αρκετά μέλη υπάρχουν οπές, ενώ σε άλλα «διπλά» μέλη υπάρχουν κάποια θέματα στις μεταξύ τους συγκολλήσεις. Για το λόγο αυτό, θα πρέπει να διαβάζονται οι παρατηρήσεις/περιγραφή και εφόσον κρίνεται απαραίτητο, κατά την εκ νέου επιθεώρηση του μέλους (πριν την ανέγερση ή ακόμα και κατά την επιλογή των μελών) να λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα. Για παράδειγμα, εάν 2 διατομές είναι ελλειπώς ή ανασφαλώς συγκολλημένες μεταξύ τους (ή εάν η συγκόλληση είναι διαβρωμένη), μπορούν να διαχωριστούν και στη συνέχεια να συγκολληθούν ξανά σε νέες θέσεις. Εξάλλου, εν προκειμένω, αρκετά από τα μέλη που έχουν τέτοιο θέμα, έτσι και αλλιώς χωρίζονται (είτε για να υλοποιήσουν μία κοίλη διατομή, είτε 2

γωνιακές). Επιπλέον, σύμφωνα και με τα [Πρωτόκολλα](#), όλες οι συγκολλήσεις που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν εκ νέου, θα πρέπει να επιθεωρούνται οπτικά. Από την άλλη, οι οπές των μελών δεν αναμένεται γενικότερα να προκαλέσουν προβλήματα. Σύμφωνα με τα [Πρωτόκολλα](#), εάν βρίσκονται εντός της κρίσιμης διατομής και τη μειώνουν περισσότερο από 15%, θα πρέπει να χρησιμοποιείται η καθαρή διατομή, κάτι που πιθανότατα δεν ισχύει στις προκείμενες περιπτώσεις, καθώς καταλαμβάνουν πολύ μικρή επιφάνεια. Αυτά είναι τα δύο κυρίαρχα περιεχόμενα των παρατηρήσεων.

Αφού επιλέγονταν τα μέλη από τη Βάση Δεδομένων, τότε γινόταν προσθήκη τους σε ένα ξεχωριστό φύλλο Excel, ανάλογα με το πως θα συνέθεταν κάθε νέο μέλος του πυλώνα. Τα νέα μέλη έχουν τις μοναδικές ετικέτες τους, οι οποίες συμφωνούν με τις αντίστοιχες του μοντέλου λογισμικού.

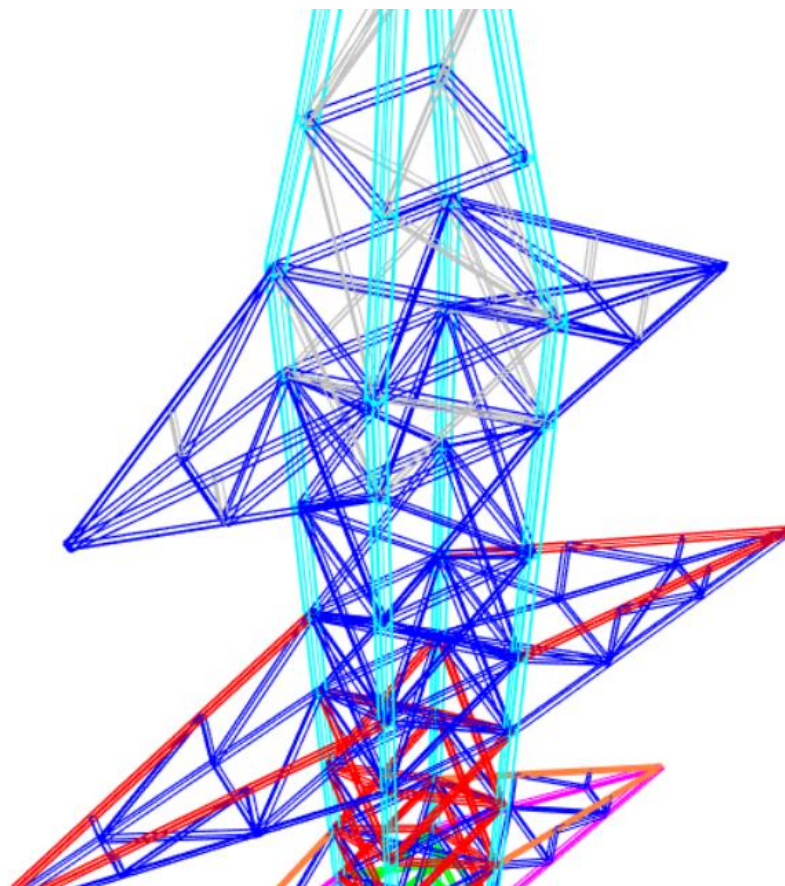
R34	109	2,60	2,33
R35	170	2,60	2,33
R36	171	2,60	2,33
R37	172	2,60	2,33
R38	198	2,60	2,33
R39	199	2,60	2,33
R40	160	2,60	2,33
R41	17	4,53	4,30
R42	17	4,53	4,30
R43	17	4,53	4,30
R44	145	5,20	4,30
R45	213	5,10	3,04
R46	213	5,10	3,04
R47	274	5,20	3,04
R48	360	5,28	3,04
R49	272	2,00	2,00
R50	272	2,00	2,00
R51	234+169	2,00	2,00
R52	217	2,00	2,00
R53	486	1,88	1,80
R54	486	1,88	1,80
R55	486	1,88	1,80
R56	486	1,88	1,80
R57	252	1,96	1,80

Σχήμα 118 Νέο απόσπασμα από το φύλλο Excel του φορέα με τις ετικέτες των μελών

Έτσι, φαίνεται πως το ρόλο της τράπεζας υλικών, δηλαδή την αναζήτηση στη Βάση Δεδομένων, την επιλογή και τροποποίηση των μελών, διαδραματίζει εν προκειμένω ο σχεδιαστής/συγγραφέας.

Αξίζει, επίσης, να σημειωθεί ότι ύστερα από την ανάκτηση των μελών και προτού επαναχρησιμοποιηθούν, όπως φάνηκε στα [Πρωτόκολλα](#), είναι αναγκαίο να γίνουν τα απαραίτητα τεστ, καταστροφικά -και μη-, και ακολούθως οι αναγκαίες πιστοποιήσεις. Τα παραπάνω, ωστόσο, ξεπερνούν τα όρια αυτής της εργασίας ακαδημαϊκού επιπέδου.

Όσον αφορά τον προσανατολισμό των γωνιακών μελών, όλα είναι στραμμένα προς το κέντρο του πυλώνα.



Σχήμα 119 Στιγμιότυπο από το SAP, όπου φαίνεται ο προσανατολισμός των γωνιακών μελών. Επίσης βάσει των Πρωτοκόλλων, επιλέχθηκε ένας συντελεστής ασφαλείας  $\gamma_{M1,mod} = 1,15 \cdot \gamma_{M1} = 1,15$ , ενώ οι άλλοι επιλέχθηκαν ως στην περίπτωση νέων χαλύβων.

12	GammaM0	1,
13	GammaM1	1,15
14	GammaM2	1,25

Σχήμα 120 Στιγμιότυπο από το SAP, όπου φαίνονται οι συντελεστές ασφαλείας

Τα μέλη δικτυωτού πυλώνα γενικά αναμένεται να έχουν μόνο αξονική ένταση. Οι έλεγχοι που γίνονται από το λογισμικό αφορούν την αντοχή των διατομών (σε αξονικό εφελκυσμό και αξονική θλίψη), αλλά και των μελών (σε καμπτικό λυγισμό).

## 11.6 Αποτελέσματα και αντοχές

### 11.6.1 Αντοχή διατομών

Έλεγχος σε αξονικό εφελκυσμό:

Η τιμή σχεδιασμού της εφελκυστικής δύναμης  $N_{Ed}$  σε κάθε διατομή πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \quad (21)$$

Όπου:

$N_{t,Rd}$  η αντοχή σχεδιασμού σε εφελκυσμό.

Για διατομές με οπές η  $N_{t,Rd}$  πρέπει να λαμβάνεται ως:

$$N_{t,Rd} = \min \left[ A * \frac{f_y}{\gamma_{M0}}, 0,9 * A_{net} * \frac{f_y}{\gamma_{M2}} \right] \quad (22)$$

όπου:

A το εμβαδό της πλήρους διατομής

$A_{net}$  το εμβαδόν της καθαρής διατομής (με τις οπές)

$f_y$  το όριο διαρροής του χάλυβα  $\gamma_{M0}$  ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας του χάλυβα  $\gamma_{M2}$  ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας του χάλυβα σε θραύση

Έλεγχος σε αξονική θλίψη:

Η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης  $N_{Ed}$  σε κάθε διατομή θλιβόμενου μέλους πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:

$$N_{Ed} \leq N_{c,Rd} \quad (23)$$

Όπου:

$N_{c,Rd}$  η αντοχή σχεδιασμού της διατομής σε ομοιόμορφα επιβεβλημένη θλίψη. Για διατομές κατηγορίας 1,2,3 η  $N_{c,Rd}$  υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$N_{c,Rd} = A * \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (24)$$

### 11.6.2 Αντοχή μελών

Έλεγχος σε καμπτικό λυγισμό:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} \quad (25)$$

Όπου:

$N_{Ed}$  η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης

$N_{b,Rd}$  η αντοχή του θλιβόμενου μέλους σε λυγισμό

Για διατομές κατηγορίας 1,2,3 η  $N_{b,Rd}$  υπολογίζεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$N_{b,Rd} = \chi * A * \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad (26)$$

Όπου:

$\chi$  ο μειωτικός συντελεστής

$\gamma_{M1}$  ο επιμέρους συντελεστής ασφαλείας του χάλυβα έναντι απώλειας της ευστάθειας

Ο μειωτικός συντελεστής  $\chi$  δίνεται από τη σχέση:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \leq 1.0 \quad (27)$$

Όπου:

$$\phi = 0,5 * [1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] \quad (28)$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A * f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} * \frac{1}{\lambda_1} = \frac{\lambda}{\lambda_1}, \text{ η ανηγμένη λυγηρότητα για διατομές κατηγορίας 1, 2, 3}$$

Όπου  $\alpha$  ο συντελεστής ατελειών

$N_{cr}$  το ελαστικό κρίσιμο φορτίο

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{f_y}} \text{ η οριακή χαρακτηριστική λυγηρότητα}$$

$$\lambda = \frac{L_{cr}}{i} \text{ η λυγηρότητα για την ανάλογη μορφή λυγισμού}$$

$L_{cr}$  το ισοδύναμο μήκος λυγισμού στο υπό θεώρηση επίπεδο λυγισμού

Σύμφωνα με τον EN 1993-3-1 (CEN, 2006), ο  $\chi$  πρέπει να υπολογίζεται βάσει της ενεργής λυγηρότητας  $\lambda_{eff}$  και όχι της ανηγμένης  $\bar{\lambda}$ :

$$\lambda_{eff} = k \bar{\lambda}$$

Όπου:

k ο συντελεστής ενεργούς λυγηρότητας και προκύπτει από τον παρακάτω Πίνακα.

Πίνακας 38 Συντελεστής k για ορθοστάτες (αριστερά) και για συνδέσμους δυσκαμψίας (δεξιά)

Symmetrical bracing			Unsymmetrical bracing			Type of restraint	Examples	Axis	k				
Section	Axis	Axis	Section	Axis	Axis								
<p>Case (a) Primary bracing at both ends</p>	v-v	y-y	<p>Case (d) Primary bracing at both ends</p>	v-v	y-y	Discontinuous both end (i.e. single bolted at both ends of member)		v-v	$0,7 + \frac{0,35}{\lambda_1}$				
									y-y	$0,7 + \frac{0,58}{\lambda_1}$			
								z-z	$0,7 + \frac{0,58}{\lambda_1}$				
<p>Case (b) Primary bracing at one end and secondary bracing at the other</p>	v-v	y-y	<p>Case (d) Primary bracing at both ends</p>	v-v	y-y	Continuous one end (i.e. single bolted at one end and either double bolted or continuous at other end of member)		v-v	$0,7 + \frac{0,35}{\lambda_1}$				
												y-y	$0,7 + \frac{0,40}{\lambda_1}$
												z-z	$0,7 + \frac{0,40}{\lambda_1}$
<p>Case (c) Secondary bracing at both ends</p>	v-v	y-y	<p>Case (e) Primary bracing at both ends</p>	v-v	y-y	Continuous both ends (i.e. double bolted at both ends, double bolted at one end and continuous at other end, or continuous at both ends of the member)		v-v	$0,7 + \frac{0,35}{\lambda_1}$				
												z-z	$0,7 + \frac{0,40}{\lambda_1}$

Πηγή: EN 1993-3-1 (CEN, 2006)

Απλοποιητικά και λόγω του ότι αυτές οι τιμές είναι κοντά στη μονάδα, λήφθηκε (δυσμενώς) k=1.

Αρχικά δημιουργήθηκε το μοντέλο της πρώτης διαστασιολόγησης με τις παρακάτω διατομές:



Σχήμα 121 Μοντέλο πρώτης διαστασιολόγησης

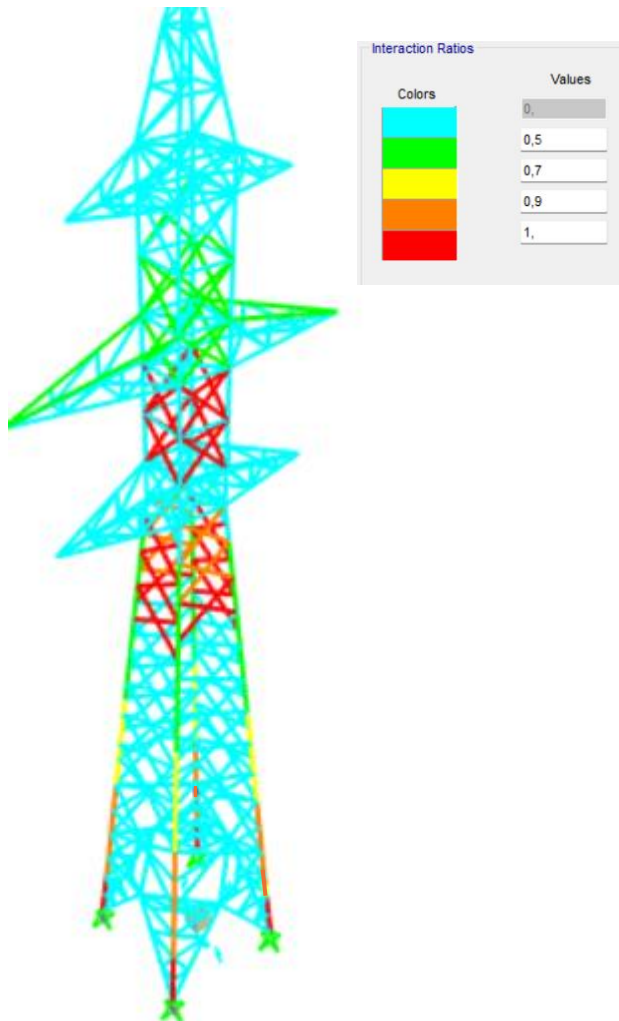
Τα μέλη είναι χρωματισμένα ανάλογα με τη διατομή τους τόσο στο SAP όσο και στο φύλλο Excel του φορέα.

Πίνακας 39 Χρώματα διατομών στο Excel του φορέα και στο SAP

SHS50X5
SHS60X5
SHS60X6
L60X6
2L60X6
L50X5
RHS65X84
RHS120X110



Όταν, όμως, έγινε το “Design” του φορέα με τη βοήθεια του SAP και φάνηκαν τα αποτελέσματα της ανάλυσης, παρατηρήθηκε ότι κάποιες διατομές ξεπερνούσαν το όριο διαρροής τους, δηλαδή είχαν μία εκμετάλλευση μεγαλύτερη του 1, και συνάμα κάποιες άλλες είχαν πολύ μικρή.

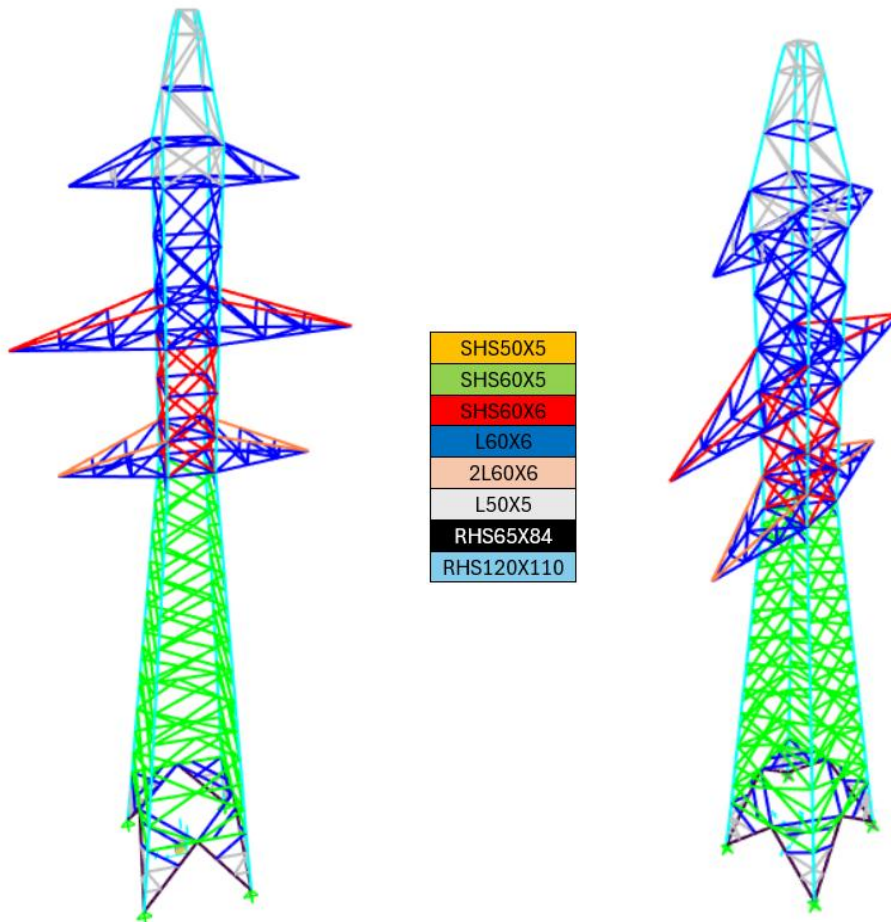


Σχήμα 122 Ποσοστά αξιοποίησης-εκμετάλλευσης διατομών πρώτου μοντέλου

Για το λόγο αυτό, πραγματοποιήθηκε εκ νέου η διαδικασία με γνώμονα τη μη αστοχία ουδεμίας διατομής και το βέλτιστο δυνατό σχεδιασμό. Δηλαδή, η τελική διαστασιολόγηση αφορά στο βέλτιστο δυνατό σχεδιασμό του πυλώνα.

Τα χιαστί L60X6 που αστοχούσαν, αλλά και τα συμμετρικά τους αντικαταστάθηκαν από SHS60X5. Από εκεί και πέρα, προστέθηκαν όσες L60X6 ήταν δυνατό από την πρώτη γέφυρα και πάνω, και στην κορυφή του πυλώνα εισήχθησαν επιπρόσθετες L50X5 (που δε χρησιμοποιούνταν πλέον για να δημιουργήσουν κοίλες τετραγωνικές SHS50X5 διατομές, όπως στην πρώτη διαστασιολόγηση). Είναι γεγονός πως αν υπήρχαν διαθέσιμες στη Βάση Δεδομένων περισσότερες L50X5 θα μπορούσαν εύκολα να προστεθούν αντί κάποιων L60X6, αφού κοντά στην κορυφή του πυλώνα οι εκμεταλλεύσεις είναι μικρές. Παρόλα αυτά, δεν ανακτήθηκαν αρκετές τέτοιες διατομές. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν L60X6 για να δημιουργήσουν SHS60/6 και να υποκαταστήσουν τις SHS60X5 (λόγω υψηλότερης κατηγορίας διάβρωσης).

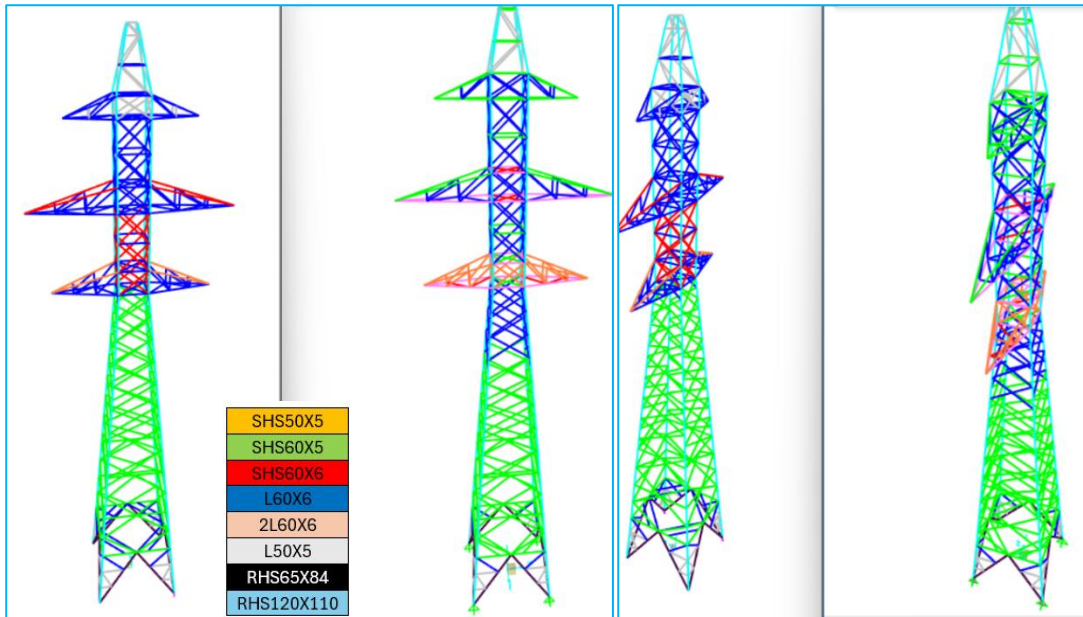
Έτσι, προέκυψε το παρακάτω μοντέλο:



Σχήμα 123 Μοντέλο δεύτερης διαστασιολόγησης

Για να πραγματοποιηθεί η τελική διαστασιολόγηση, δημιουργήθηκε αντίγραφο του Excel που αφορά στο «νέο» φορέα (αφού από εκεί και έπειτα θα είχε διαφορετικές διατομές) και έγιναν οι απαραίτητες μεταβολές στα μέλη. Δηλαδή, κάποια SHS60X5 αντικαταστάθηκαν με L60X6 (που προηγουμένως αστοχούσαν) και όταν αυτό δεν ήταν δυνατό, χρησιμοποιούνταν επιπρόσθετες διατομές από τη Βάση Δεδομένων. Τελικά, χρησιμοποιήθηκαν σχεδόν όλα τα μέλη με διατομές L60X6 και κατηγορία διάβρωσης A. Τα υπόλοιπα μέλη αναμένεται να παραμείνουν στη Βάση Δεδομένων για επόμενη εφαρμογή (αφού φυσικά εμπλουτισθεί η Βάση με νέα μέλη).

Σύγκριση των 2 μοντέλων:

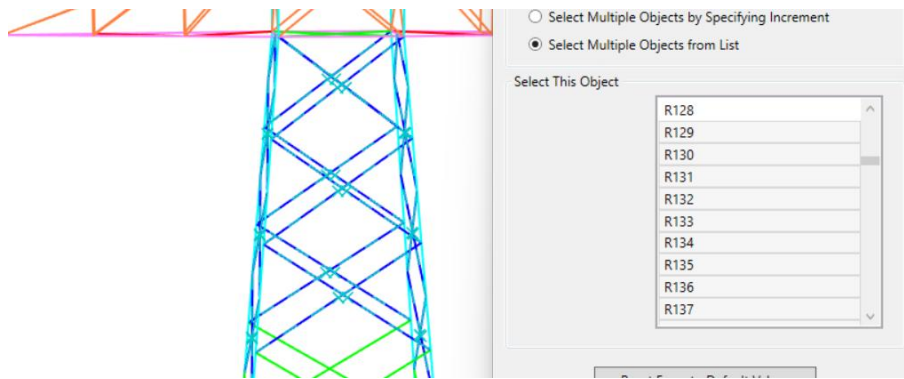


Σχήμα 124 Σύγκριση των 2 μοντέλων (πρώτη και δεύτερη-τελική διαστασιολόγηση). Σε κάθε στιγμιότυπο από τα δύο παραπάνω, το αριστερό σχήμα είναι το τελικό.

Παρακάτω φαίνονται 2 παραδείγματα αλλαγής των μελών από την πρώτη διαστασιολόγηση στη δεύτερη-τελική. Στο πρώτο μετατρέπονται τα χιαστί του κορμού (κάτω από την πρώτη γέφυρα) από L60X6 σε SHS60X5, και στο δεύτερο τα χιαστί στη γέφυρα και πάνω από αυτήν από L60X6 σε SHS60X6.

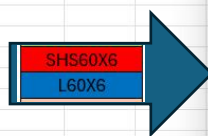
A	B	C	D	E	F	G	H	I
R129	229	1,40	1,30	130	R129	114	1,30	1,30
R130	230	1,40	1,30	131	R130	114	1,30	1,30
R131	53	1,28	1,30	132	R131	135	1,28	1,30
R132	53	1,28	1,30	133	R132	135	1,28	1,30
R133	195	1,40	1,30	134	R133	149	1,30	1,30
R134	196	1,40	1,30	135	R134	149	1,30	1,30
R135	53	1,28	1,30	136	R135	150	1,30	1,30
R136	53	1,28	1,30	137	R136	150	1,30	1,30
R137	327	1,50	1,20	138	R137	488	1,30	1,20
R138	311	1,40	1,20	139	R138	489	1,30	1,20
R139	312	1,40	1,20	140	R139	492	1,30	1,20
R140	296	1,40	1,20	141	R140	488	1,30	1,20
R141	44	1,20	1,20	142	R141	489	1,30	1,20
R142	45	1,20	1,20	143	R142	492	1,30	1,20
R143	47	1,20	1,20	144	R143	51	1,30	1,20
R144	355	1,75	1,20	145	R144	51	1,30	1,20
R145	313	1,30	1,15	146	R145	493	1,30	1,15
R146	163	1,32	1,15	147	R146	493	1,30	1,15
R147	115	1,25	1,15	148	R147	494	1,30	1,15
R148	116	1,25	1,15	149	R148	494	1,30	1,15
R149	313	1,30	1,15	150	R149	504	1,30	1,10
R150	163	1,32	1,15	151	R150	505	1,30	1,10
R151	115	1,25	1,15	152	R151	504	1,30	1,10
R152	116	1,25	1,15	153	R152	505	1,30	1,10

Σχήμα 125 1<sup>ο</sup> παράδειγμα: Στιγμιότυπο από τα 2 Excel (πρώτο και τελικό), όπου φαίνονται κάποια από τα χιαστί του κορμού που από L60X6 μετατράπηκαν σε SHS60X5

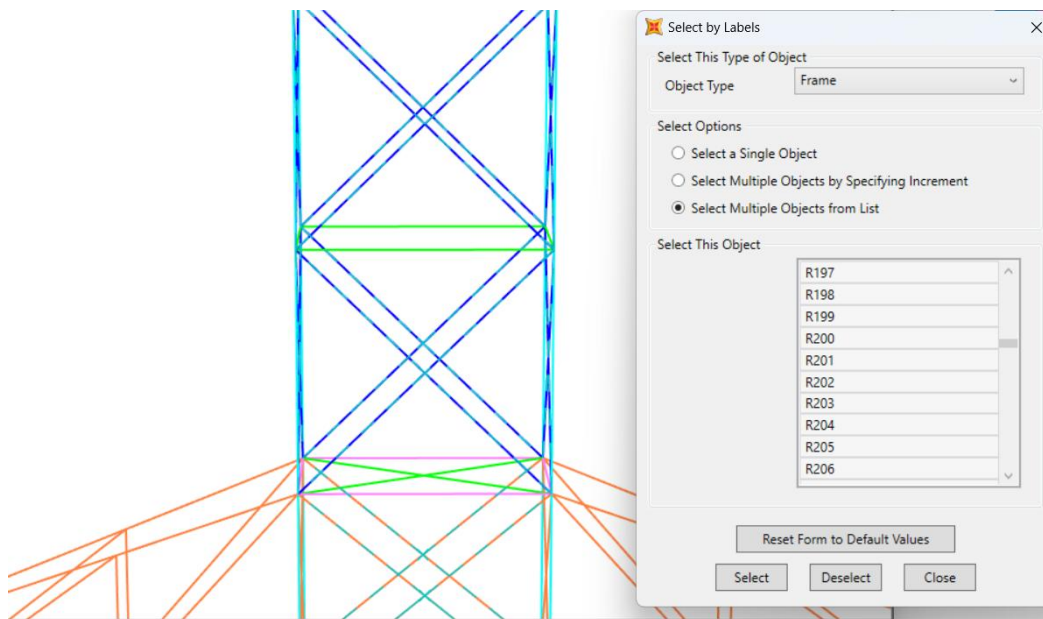


Σχήμα 126 1<sup>ο</sup> παράδειγμα: Στιγμιότυπο από το SAP (πρώτη διαστασιολόγηση), όπου φαίνονται τα μέλη πριν αλλάξουν

Member ID	Material	Length	Area	Member ID	Material	Length	Area	
R197	218	1,75	1,05	198	R197	519	1,17	1,05
R198	37	1,29	1,05	199	R198	519	1,17	1,05
R199	519	1,17	1,05	200	R199	519	1,17	1,05
R200	519	1,17	1,05	201	R200	519	1,17	1,05
R201	519	1,17	1,05	202	R201	519	1,17	1,05
R202	519	1,17	1,05	203	R202	7	1,20	1,05
R203	519	1,17	1,05	204	R203	7	1,20	1,05
R204	7	1,20	1,05	205	R204	218	1,75	1,05
R205	7	1,20	1,05	206	R205	263	1,30	1,05
R206	37	1,29	1,05	207	R206	263	1,30	1,05
R207	37	1,29	1,05	208	R207	37	1,29	1,05
R208	37	1,29	1,05	209	R208	37	1,29	1,05
R209	37	1,29	1,05	210	R209	37	1,29	1,05
R210	37	1,29	1,05	211	R210	37	1,29	1,05
R211	37	1,29	1,05	212	R211	37	1,29	1,05
R212	37	1,29	1,05	213	R212	37	1,29	1,05
R213	218	1,75	1,05	214	R213	136	1,28	1,05
R214	519	1,17	1,05	215	R214	311+312	1,40	1,05
R215	519	1,17	1,05	216	R215	296+47	1,20	1,05
R216	519	1,17	1,05	217	R216	44+45	1,20	1,05
R217	519	1,17	1,05	218	R217	313	1,30	1,05
R218	519	1,17	1,05	219	R218	163	1,32	1,05
R219	37	1,29	1,05	220	R219	115	1,25	1,05
R220	7	1,20	1,05	221	R220	116	1,25	1,05
R221	7	1,20	1,05	222	R221	297+298	1,40	1,05



Σχήμα 127 2<sup>ο</sup> παράδειγμα: Στιγμιότυπο από τα 2 Excel (πρώην και νυν), όπου φαίνονται κάποια από τα χιαστί της γέφυρας και πάνω που, από L60X6 μετατράπηκαν σε SHS60X6. Έχουν χρωματισθεί τα μέλη για λόγους ευκρίνειας (με τα ίδια χρώματα φαίνονται τα ίδια μέλη)



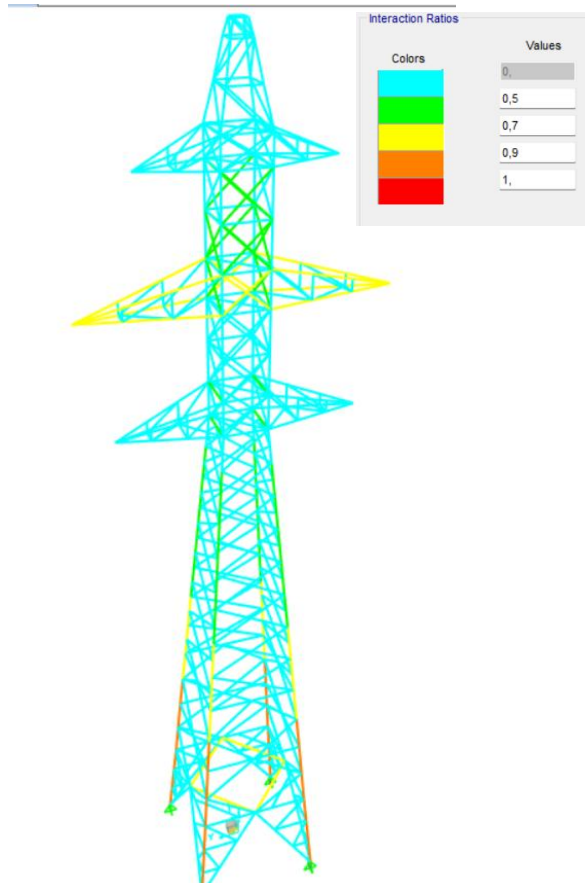
Σχήμα 128 2<sup>ο</sup> παράδειγμα: Στιγμιότυπο από το SAP (πρώτη διαστασιολόγηση), όπου φαίνονται τα μέλη πριν αλλάξουν



Όσον αφορά το δεύτερο παράδειγμα, είναι αξιοσημείωτο πως χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια μέλη και στις 2 περιπτώσεις. Στην περίπτωση των L60X6, τα μέλη είναι διπλάσια (σε πλήθος) από τα αντίστοιχα για τα SHS60X6 (που προέκυψαν από τη συγκόλληση των L60X6). Για παράδειγμα, το 519 ήταν L60X6 και 11,7 m. Στην πρώτη διαστασιολόγηση, εισήλθε 10 φορές ως L60X6, ενώ στη δεύτερη 5 φορές ως SHS60X6 (προϊόν συγκόλλησης δύο L60X6 «πρόσωπο με πρόσωπο»). Το 218 ήταν 2L60X6 και 1,75 m, οπότε στη δεύτερη περίπτωση εισήλθε ως συγκολλημένο ανάποδα (SHS60X6), ενώ στην πρώτη διαχωρίστηκε και λήφθηκε 2 φορές υπόψη (ως L60X6). Επίσης φαίνεται το μέλος 7 (μήκους 4,8 m) και το μέλος 37 (15,5 m – χωρίστηκε στα 12 στην πρώτη διαστασιολόγηση και έτσι 3 «μέρη» του δε φαίνονται στο αριστερό στιγμιότυπο του Σχήματος 128).

Επιπλέον, ισχύει ότι όσο το δυνατόν περισσότερα L60X6 προστέθηκαν στο φορέα (όπως τα αντικατεστημένα από τα SHS60X5 της πρώτης διαστασιολόγησης - του πρώτου παραδείγματος επάνω - και όπως τα υπόλοιπα της Βάσης Δεδομένων). Αυτό συνέβη, επειδή τα προηγούμενα είχαν μικρή εκμετάλλευση κατά την αρχική διαστασιολόγηση (πχ 2L60X6 στις γέφυρες ή SHS60X5 ή SHS60X6). Ομοίως, τα SHS50X5 που απαρτιζόνταν από δύο L50X5 της πρώτης γέφυρας μετατράπηκαν σε L60X6 και τα L50X5 αυτά τοποθετήθηκαν στην κορυφή του φορέα (σαν χιαστί ή οριζόντιοι σύνδεσμοι). Τέλος, τα μοναδικά αμιγή SHS50X5 στις διαγωνίους της γέφυρας παρέμειναν αλώβητα.

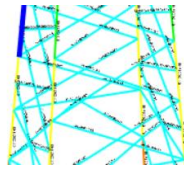
Ως φαίνεται παρακάτω, όλοι οι έλεγχοι ικανοποιούνται και οι εκμεταλλεύσεις είναι καλύτερες από προηγούμενως:



Σχήμα 129 Ποσοστά αξιοποίησης-εκμετάλλευσης διατομών δεύτερου μοντέλου

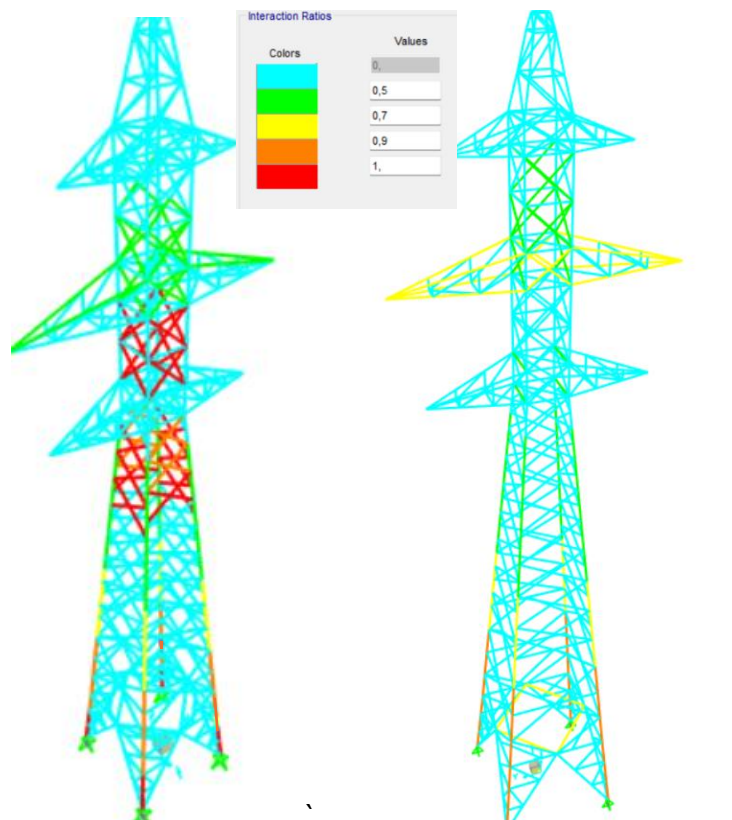
Όλα τα μέλη με τις εκμεταλλεύσεις τους φαίνονται στον Πίνακα του ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ Γ: ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ ΜΕΛΩΝ ΠΥΛΩΝΑ.

Πάντως, από το παρακάτω απόσπασμα φαίνεται πως οι ορθοστάτες έχουν όμοιες εκμεταλλεύσεις για συνδυασμούς ανάλογα με τη φορά του ανέμου κατά Υ (λόγω του ότι είναι μεγαλύτερα τα φορτία κατά Υ στους ορθοστάτες, όπως φάνηκε προηγουμένως) λόγω συμμετρίας.



Filter:	Frame Text	DesignSect Text	DesignType Text	Status Text	Ratio Unitless	RatioType Text	Combo Text	Location m
	R501	RHS120X110	Column	No Messages	0,775456	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,75519
	R546	RHS120X110	Column	No Messages	0,775475	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,75519
	R516	RHS120X110	Column	No Messages	0,775688	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,75519
	R531	RHS120X110	Column	No Messages	0,775664	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,75519

Σχήμα 130 Απόσπασμα Πίνακα με εκμεταλλεύσεις (ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ ΜΕΛΩΝ ΠΥΛΩΝΑ), όπου φαίνεται πως οι ορθοστάτες της ίδιας στάθμης έχουν παρόμοιες εκμεταλλεύσεις



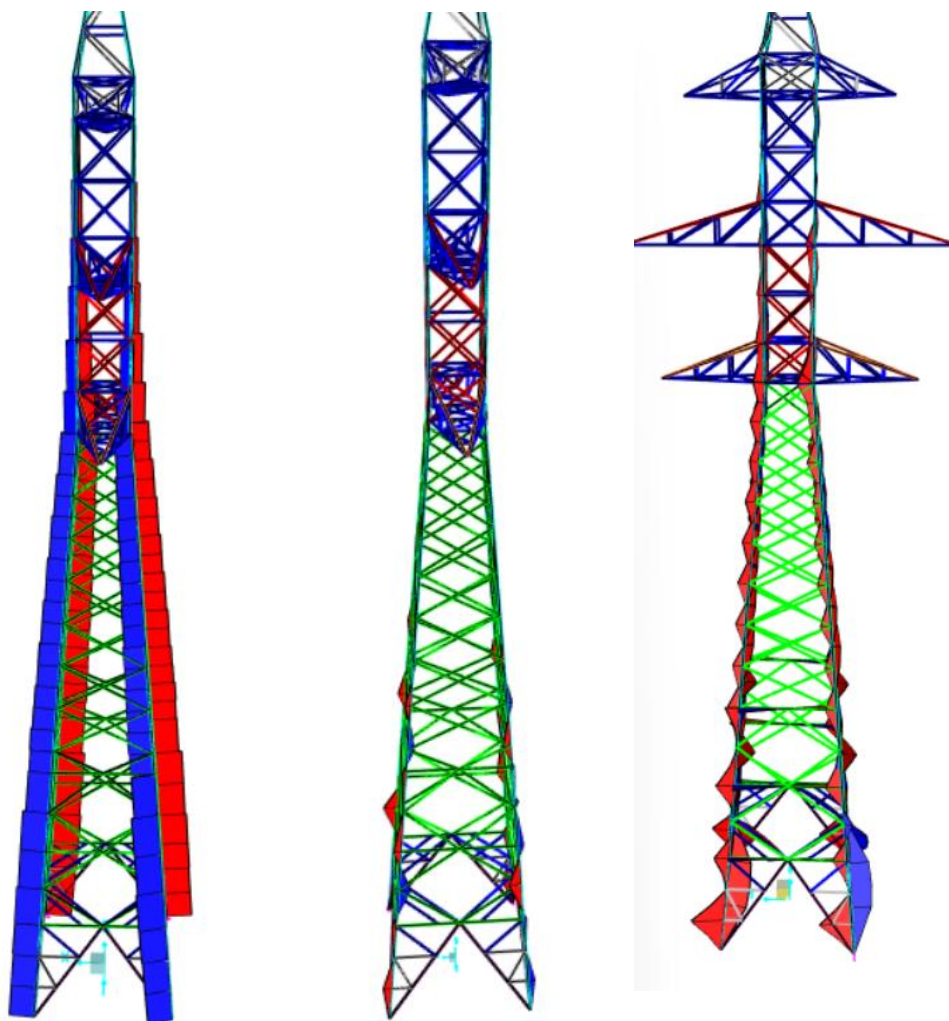
Σχήμα 131 Σύγκριση ποσοτών αξιοποίησης-εκμετάλλευσης διατομών των 2 μοντέλων

Γενικά, αυτά ήταν τα μέγιστα (σε πλήθος) L60X6 που μπορούσαν να προστεθούν χωρίς να υπάρξει αστοχία, και αυτή που παρουσιάζεται είναι η βέλτιστη (με βάση κατηγορίες διαβρώσεων, πληθώρα στοιχείων και οικονομίας). Περαιτέρω στοιχεία, πχ L60X6 ή L50X5 ενδεχόμενα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν, αλλά τα μεν ήταν χαμηλότερης κατηγορίας διάβρωσης και τα δε δεν υπήρχαν στη Βάση. Εάν υπήρχε κάποιο μέλος που αστοχούσε και δεν υπήρχε άλλη λύση επαναχρησιμοποίησης, τότε θα ο σχεδιαστής θα όφειλε να ωθηθεί στη χρήση νέων μελών (με  $\gamma_{M1} = 1$  για τους ελέγχους τους).

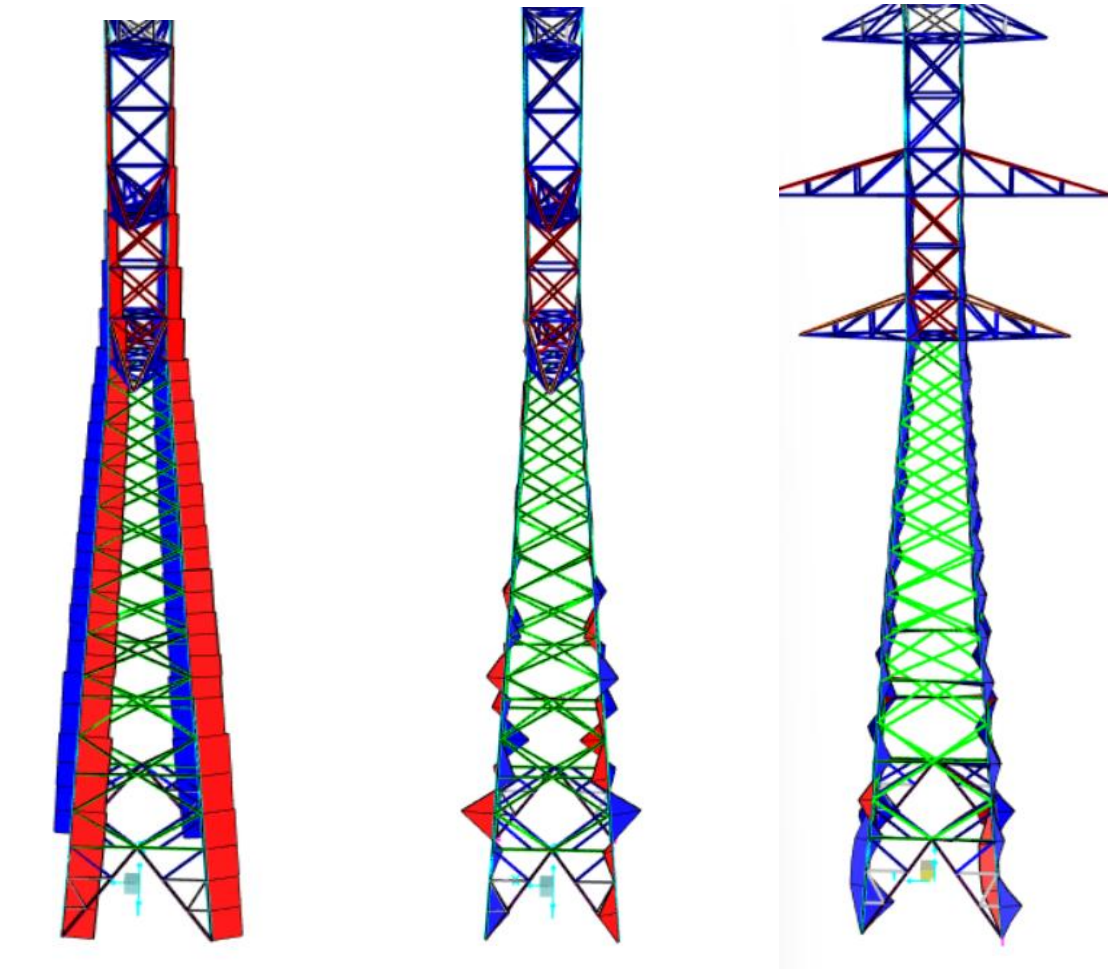
Παρακάτω φαίνονται τα διαγράμματα αξονικών και ροπών περί τον κύριο και τον ασθενή άξονα για τους δυσμενείς συνδυασμούς  $1,1*G + 1,4*0,6W_{Y,ice} + 1,4*0,5*S$  και  $1,1*G - 1,4*0,6W_{Y,ice} + 1,4*0,5*S$

Οι συνδυασμοί αυτοί είναι δυσμενείς γιατί έχουν τη διεύθυνση του ανέμου κατά Υ, που τα φορτία είναι μεγαλύτερα (0,61 kN/m) από τα αντίστοιχα κατά Χ (0,56 kN/m) στους ορθοστάτες, οι οποίοι έχουν τις μεγαλύτερες εντάσεις.





Σχήμα 132 Διαγράμματα αξονικών και ροπών περί τον κύριο και τον ασθενή άξονα για το συνδυασμό  $1,1 \cdot G - 1,4 \cdot 0,6 W_{\text{ice}} + 1,4 \cdot 0,5 \cdot S$



Σχήμα 133 Διαγράμματα αξονικών και ροπών περί τον κύριο και τον ασθενή άξονα για το συνδυασμό  $1,1*G + 1,4*0,6W_{\gamma_{ice}} + 1,4*0,5*S$

Όπως αναμενόταν, οι αξονικές είναι το μέγιστο (στους ορθοστάτες) περί τα 500 kN και οι ροπές είναι πολύ μικρές (5 kNm περί τον ισχυρό και 3 kNm περί τον ασθενή).

*Έλεγχος παραμορφώσεων*

Όσον αφορά τα βέλη, ελέγχονται για την Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (ΟΚΛ).

Στον EN 1993-3-1 (CEN, 2006), δεν υπάρχουν οδηγίες για *κατακόρυφες μετακινήσεις*. Ωστόσο, εδώ παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για λόγους πληρότητας.

Για το δυσμενέστερο συνδυασμό  $1*G + 1*0,6*W_{\gamma_{ice}} + 0,5*S$  προέκυψαν τα ακόλουθα μεγαλύτερα βέλη στους κόμβους των γεφυρών:

Joint Displacements				Joint Displacements			
Joint Object	425			Joint Object	480		
	1	2	3		1	2	3
Trans	-7,507E-05	0,10532	-0,02109	Trans	-4,264E-05	0,05504	-0,02503
Rotn	-0,00692	1,591E-05	-4,411E-06	Rotn	-0,00635	2,026E-05	-1,985E-05

Joint Displacements			
Joint Object	457		
	1	2	3
Trans	-9,836E-05	0,07914	-0,03469
Rotn	-0,00722	-3,420E-05	1,044E-04

Σχήμα 134 Μέγιστες κατακόρυφες μετακινήσεις στους κόμβους τρίτης, πρώτης και δεύτερης γέφυρας

Για την τρίτη ισχύει 21 mm.

Για την πρώτη ισχύει 25 mm.

Για τη δεύτερη ισχύει 34 mm. Στον EN 1993-3-1 (CEN, 2006) δεν υπάρχουν οδηγίες για *οριζόντιες μετακινήσεις*. Ωστόσο, εδώ παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για λόγους πληρότητας.

Η μέγιστη μετακίνηση για τον ίδιο συνδυασμό  $1 \cdot G + 1 \cdot 0,6 \cdot W_{y,ice} + 0,5 \cdot S$  (η ίδια προκύπτει και χωρίς χιόνι, αφού δεν επιδρά στις οριζόντιες) είναι στην κορυφή του πυλώνα:



	Joint Object 93		
	Joint Element 93		
	1	2	3
Trans	4,279E-06	0,12812	5,484E-04
Rotn	-0,0064	1,885E-05	9,216E-05

Σχήμα 135 Μέγιστη οριζόντια μετακίνηση στην κορυφή του πυλώνα

Είναι 128 mm.



## 12 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας,

Μέσα από την παρούσα διπλωματική και την παραπάνω εφαρμογή φάνηκε πως είναι δυνατό να υλοποιηθούν οι πρακτικές της επαναχρησιμοποίησης για την ανέγερση μίας νέας κατασκευής, ακόμη και αν αφορούν στο σύνολο (100%) των μελών της. Μέσα από τη μη χρήση ή την ελαχιστοποίηση νέων ή ανακυκλωμένων μελών, βελτιώνεται κατά μεγάλο βαθμό το ανθρακικό αποτύπωμα της ανέγερσης. Αυτό συμβαίνει, γιατί δεν πραγματοποιούνται διεργασίες υψηλών εκπομπών, όπως εξαγωγή υλικών, επεξεργασίες, παραγωγή μελών, απορρίψεις και κατεδαφίσεις. Ακόμα και στην περίπτωση της ανακύκλωσης το προϊόν υπόκειται σε θερμογόνες διαδικασίες επεξεργασίας, που το μετατρέπουν αρχικά σε σκραπ και στη συνέχεια σε χαλύβδινο μέλος. Από την άλλη, στην περίπτωση της επανάχρησης, η μόνη απαραίτητη διαδικασία είναι οι τροποποιήσεις ύστερα από την ανάκτηση των μελών (καθάρισμα, αμμοβολή, νέα στρώση, κόψιμο, συγκόλληση).

Θα ήταν ενδιαφέρον να πραγματοποιηθούν διαφορετικά σενάρια χρήσης νέου, ανακυκλώσιμου και επαναχρησιμοποιούμενου χάλυβα, και μέσα από Αναλύσεις Κύκλου Ζωής και Κόστους Κύκλου Ζωής να συγκριθούν τα αποτελέσματά τους. Παρόλα αυτά, λόγω της πληθώρας δεδομένων που απαιτούνται για να γίνει, για παράδειγμα, μία AKZ (ποσότητες πρώτων υλών και αερίων που εκπέμπονται κατά την εξαγωγή υλικών, μηχανήματα που χρησιμοποιούνται κατά την ανέγερση και αποσυναρμολόγηση των κτιρίων και αντίστοιχες εργατοώρες) και του χρονικού περιορισμού, κρίθηκαν εκτός των ορίων αυτής της εργασίας. Βέβαια, από τη βιβλιογραφία, απεδείχθη ότι σε μία εφαρμογή, οι εκπομπές μπορούν να μειωθούν έως και 77%, αφού το μεγαλύτερο ποσοστό δημιουργείται κατά τη διάρκεια παραγωγής των υλικών.

Όσον αφορά τη νέα κατασκευή της συγκεκριμένης εφαρμογής, αξίζει να σημειωθεί ότι σκόπιμα επιλέχθηκε να έχει σχετικά απλή γεωμετρία και περιορισμένο πλήθος μελών με μικρά μήκη. Δηλαδή, με τη διαθέσιμη [Βάση Δεδομένων](#), εάν ο σχεδιασμός αφορούσε μία άλλη κατασκευή με πολύπλοκη γεωμετρία και με καμπύλα μέλη ή πιο μεγάλες διατομές, ίσως να μην ήταν δυνατή η 100% επανάχρηση. Βέβαια, προκειμένου να ολοκληρωθεί μία τέτοια εφαρμογή, είναι προτιμητέο να υπάρχουν αποθηκευμένα μέλη από διάφορες εφαρμογές, αφού όπως φάνηκε, το υπαίθριο θέατρο είχε πολλά μέλη, αλλά αρκετά από αυτά δεν ήταν δυνατό να επαναχρησιμοποιηθούν (είτε λόγω διαβρώσεως, ρωγμών, μικρών μηκών ή διατομών, αδυναμίας αξιολόγησής τους, είτε λόγω του ότι ήταν σύνδεσμοι δυσκαμψίας, οπότε ίσως να είχαν παραμορφωθεί πλαστικά από κάποιο παλαιότερο σεισμικό γεγονός).

Όσον αφορά τη συνολική διαδικασία, από την αρχή μέχρι το τέλος της, είναι προφανώς αρκετά πιο επίπονη από την αντίστοιχη με χρήση νέου ή ανακυκλωμένου χάλυβα, καθώς θα πρέπει αρχικά να επιθεωρηθεί η πηγάζουσα κατασκευή (υπαίθριο θέατρο) και τα στοιχεία της, και να αποσυναρμολογηθεί προσεκτικά, αποκολλώντας τα μέλη (αφού υπάρχουν συγκολλήσεις και όχι κοχλιώσεις). Στη συνέχεια, κάθε μέλος θα πρέπει να αξιολογηθεί ξεχωριστά και να δημιουργηθεί η [Βάση Δεδομένων](#), από την οποία θα μπορούν να λαμβάνονται τα μέλη της νέας κατασκευής. Το εγχείρημα γίνεται ακόμα πιο δύσκολο όταν ο



σχεδιαστής επιθυμεί να επιτύχει το βέλτιστο αποτέλεσμα, αφού δεν αρκούν οι επαναλήψεις στο μοντέλο (πχ SAP2000), αλλά πρέπει να συνοδεύονται από αλλαγές στη [Βάση Δεδομένων](#) και στα αντίστοιχα φύλλα Excel των διαστασιολογήσεων των φορέων.

Σίγουρα οι παραπάνω διαδικασίες μπορούν να γίνουν πιο εύκολες, εφόσον οι βασικές εργασίες χωρίζονται σε επιμέρους, και αναλαμβάνονται από διαφορετικά μέλη, ενώ ταυτόχρονα υπάρχει και μία τράπεζα υλικών (ο ρόλος της μπορεί να επωμίζεται από κάποιο από τα επιμέρους μέλη). Δηλαδή, οι εργασίες μπορούν να χωρίζονται σε: Αποσυναρμολόγηση παλιάς κατασκευής/Επιθεώρηση/Καταγραφή/Δημιουργία Βάσης Δεδομένων (Τράπεζα Υλικών) /Εκτέλεση Ελέγχων/Πιστοποιήσεις/Σχεδιασμός νέας κατασκευής/Απαραίτητες τελικές τροποποιήσεις/Ανέγερση νέας κατασκευής.

Η εφαρμογή βασίστηκε σε 2 πρωτόκολλα επαναχρησιμοποίησης. Βέβαια, το ένα αφορά μονώροφα κτίρια και το άλλο εφαρμογές εντός του Ηνωμένου Βασιλείου, οπότε χρειάστηκε να γίνουν αρκετές παραδοχές. Προκειμένου να εδραιωθούν οι πρακτικές της επανάχρησης στην Ελλάδα και σε μεγαλύτερες από την παρούσα εφαρμογές, απαιτούνται παραπάνω «οδηγοί» και σίγουρα νομοθεσίες που θα εμπεριέχουν τις αντίστοιχες καθοδηγήσεις, ελέγχους, πιστοποιήσεις και θα ωθούν τους σχεδιαστές στην υιοθέτηση των πρακτικών της. Επιπλέον, απαιτούνται ειδικά διαμορφωμένοι χώροι αποθήκευσης και εφαρμογή ετικετών σε όλα τα μέλη. Με την υιοθέτηση πιο σύγχρονων τεχνικών (πχ Τεχνητής Νοημοσύνης για αποσυναρμολόγηση, εύρεση μελών, αποθήκευση ή απόφαση για ύπαρξη διάβρωσης ή ρωγμών, όπως στην παρούσα διπλωματική) και με γνώμονα ένα πιο «πράσινο» κατασκευαστικό τομέα, μπορεί η διαδικασία να γίνει πιο ελκυστική, λιγότερο κοστοβόρα και να καταλήξει ως η κυρίαρχη πρακτική καταπολέμησης της κλιματικής κρίσης.

Επιπλέον, είναι αναγκαίο να αποφάινεται ο απομένον χρόνος ζωής των ανακτημένων μελών και αυτός να είναι μεγαλύτερος από τα έτη «Ζωής» της νέας κατασκευής. Για το λόγο αυτό και επειδή ο σχεδιασμός αφορά ανακτημένα μέλη, θα πρέπει να γίνονται συχνές επιθεωρήσεις στη νέα κατασκευή και αντίστοιχες εργασίες συντηρήσεως (ειδικά σε μέλη που έχουν καταπονηθεί από σεισμικά φορτία και είναι υπαρκτό το ενδεχόμενο ανάπτυξης πλαστικών παραμορφώσεων, ή που δεν τοποθετήθηκαν σε υψηλή κατηγορία διάβρωσης).

Επιπρόσθετα, όπως προαναφέρθηκε, το θέμα της πλαστιμότητας και του συντελεστή συμπεριφοράς απαιτούν περαιτέρω μελλοντική διερεύνηση. Προς το παρόν, τα επαναχρησιμοποιούμενα μέλη είναι προτιμότερο να εισάγονται σε κτίρια και θέσεις, όπου δεν προσδοκάται απορρόφηση σημαντικής σεισμικής ενέργειας.

Τέλος, επειδή σαν διαδικασία είναι νέα, θα χρειαστεί χρόνος έως ότου να εξοικειωθούν οι σχεδιαστές, οι εργολάβοι, οι εργάτες και λοιποί υπεύθυνοι με αυτήν. Γι' αυτό, θα πρέπει να γίνονται έλεγχοι και επαληθεύσεις καθ' όλα τα στάδια της (μέχρι αυτά να γίνουν αυτοματοποιημένα και να αναληφθούν από μοντέλα Τεχνητής Νοημοσύνης). Δηλαδή, από την αρχική επιθεώρηση των μελών μέχρι τις εναλλαγές τους μεταξύ Βάσης, φύλλων Excel φορέων (αρχική - τελική διαστασιολόγηση) και μοντέλου λογισμικού, ώστε να είναι σίγουρο ότι για παράδειγμα κάποιο μέλος δεν θα χρησιμοποιηθεί παραπάνω φορές στο φορέα από το επιθυμητό (ειδικά εάν είναι πχ διατομής 2L και μεγάλου μήκους, οπότε αποχωρίζεται και κόβεται, δημιουργώντας πολλά μέλη) ή ότι δε θα έχει απαγορευτικά διαβρωτικά φαινόμενα ή ρωγμές.

Πάντως, ακόμα και με τα υπάρχοντα εργαλεία (όπως απεδείχθη σε ακαδημαϊκό επίπεδο), μία εφαρμογή επαναχρησιμοποίησης μπορεί να πραγματοποιηθεί και στην πράξη. Ωστόσο, προκειμένου να θεμελιωθεί σαν πρακτική, απαιτούνται αρκετές καινοτομίες (ως προαναφέρθηκαν), οι οποίες με τη δεδομένη εξέλιξη της τεχνολογίας είναι δυνατό να επιτευχθούν. Το σίγουρο είναι πως, η επαναχρησιμοποίηση μπορεί να αποφέρει θετικά αποτελέσματα στο περιβάλλον και στην «εικόνα» του τομέα, σε μία περίοδο που το ανθρακικό αποτύπωμα της κάθε χώρας και του κάθε επαγγέλματος κατακρίνεται διαρκώς από τη διεθνή κοινότητα και παράλληλα, γίνεται ανελλιπής προσπάθεια, προκειμένου να φτάσει στο βέλτιστο δυνατό επίπεδο, στο δρόμο για έναν πλανήτη μηδενικών εκπομπών ("net zero emissions").

## 13 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Abbas, Adeel. (2021). "7 differences between Rust and corrosion-rust vs corrosion". <https://themasterchemistry.com/differences-between-rust-and-corrosion/> [5/5/2024]
2. Akbarnezhad, Ali, Khim Chye Gary Ong, and Lado Riannevo Chandra. (2014). "Economic and environmental assessment of deconstruction strategies using building information modeling." *Automation in construction* 37: 131-144.
3. Alberta CRD Waste Advisory Committee. (2006). About Construction, Renovation & Demolition Waste, <https://open.alberta.ca/dataset/d0f1f951-dd68-435e-9f5e-3ec3810003d4/resource/02bd7aa7-1bc9-4b6f-b947-4d02b4f67c66/download/wastereductiondiversion-apr27-2006.pdf>
4. Alcorn, Andrew. (2003). "Embodied energy and CO coefficients for NZ building materials." The Centre
5. Allwood, J.M.; Cullen, J.M.; Carruth, M.A.; Cooper, D.R.; McBrien, M.; Milford, R.L.; Moynihan, M.C.; Patel, A.C. (2012). "Sustainable Materials: With both Eyes Open"; UIT: Cambridge, UK
6. Allwood, Julian M., et al. (2013). "Material efficiency: providing material services with less material production." *Philosophical transactions of the royal society a: mathematical, physical and engineering sciences* 371.1986: 20120496.
7. AREPA. (n.d.) "Corrosion vs. Rust – What's the Difference?"; <https://www.arepa.com/resources/blog/corrosion-vs-rust-what-s-the-difference/> [1/5/2024]
8. Ashby, Michael F. (2012). "Materials and the environment: eco-informed material choice." Elsevier: 465
9. Assefa, G., & Ambler, C. (2017). "To demolish or not to demolish: Life cycle consideration of repurposing buildings." *Sustainable Cities and Society*, 28, 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.09.011>
10. Ayres, R. (1997). "Metals recycling: economic and environmental implications"
11. Bertin, I.; Mesnil, R.; Jaeger, J.M.; Feraille, A.; Le Roy, R. (2020). A BIM-based framework and databank for reusing load-bearing structural elements. *Sustainability*, 12, 3147.
12. Big Blue Data Academy. (2023). "Υπολογιστική Όραση (Computer Vision): Ορισμός και Εφαρμογές. Τι Είναι η Υπολογιστική Όραση." <https://bigblue.academy/gr/upologistikiki-orasi> [9/5/2024]
13. BIO Intelligence Service. (2013). "Sectoral resource maps. Prepared in response to an information hub request." European Commission.
14. BlueScope Steel (2008). "Submission to Garnaut Climate Change Review." p.5 [http://www.garnautreview.org.au/ca25734e0016a131/WebObj/D0846055ETSsubmission-BlueScopeSteel/\\$File/D08%2046055%20ETS%20submission%20-%20BlueScope%20Steel.pdf](http://www.garnautreview.org.au/ca25734e0016a131/WebObj/D0846055ETSsubmission-BlueScopeSteel/$File/D08%2046055%20ETS%20submission%20-%20BlueScope%20Steel.pdf) [16/3/2024]

15. BlueScope Steel (n.d.). "Recycling in Steel Industry." [16/3/2024]
16. BlueScope Steel (n.d.). "Sustainability" [16/3/2024]
17. Bribián, Ignacio Zabalza, Antonio Valero Capilla, and Alfonso Aranda Usón. (2011). "Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential." *Building and environment* 46.5: 1133-1140.
18. British Standards Institution. (2008). "National Annex to BS EN 1993-1-11: Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-11: Design of structures with tension components." London: British Standards Institution.
19. Brockhaus, S., et al. (2014). "In-line inspection (ILI) methods for detecting corrosion in underground pipelines." *Underground pipeline corrosion*. Woodhead Publishing. 255-285.
20. Broniewicz, Elżbieta, and Karolina Dec. (2022). "Environmental impact of demolishing a steel structure design for disassembly." *Energies* 15.19: 7358.
21. Brütting, J., de Wolf, C., & Fivet, C. (2019). "The reuse of load-bearing components. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*", p.8 <https://doi.org/10.1088/1755-1315/225/1/012025>
22. Businessdictionary.com (2020). "What is direct reduced iron (DRI)? definition and meaning."
23. Cai, G., Waldmann, D. (2019). "A material and component bank to facilitate material recycling and component reuse for a sustainable construction: Concept and preliminary study." *Clean Technol. Environ. Policy*, 21, 2015–2032.
24. Casey Tina. (2024) "How the Circular Economy Can Transform Buildings Into 'Material Banks'" <https://www.triplepundit.com/story/2024/circular-economy-construction-industry/792721> [10/2/2024]
25. CEN (2000). CEN ISO/TR 15608: "Welding - Guidelines on terminology." Brussels: European Committee for Standardization.
26. CEN. (2002). EN 1990: Eurocode 0: "Basis of structural design." Brussels: European Committee for Standardization
27. CEN (2002). Eurocode 1: "Actions on structures." Brussels, Belgium: European Committee for Standardization.
28. CEN (2004). EN 10025-1: "Hot rolled products of structural steels - Part 1: General technical delivery conditions." Brussels: European Committee for Standardization.
29. CEN (2004). Eurocode 8: "Design of structures for earthquake resistance." Brussels: European Committee for Standardization.
30. CEN (2005). EN 1991-1-4: Eurocode 1: "Actions on structures - Part 1-4: General actions - Wind actions." Brussels, Belgium: European Committee for Standardization.
31. CEN (2005). EN 1993-1-1: Eurocode 3: "Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings." Brussels: European Committee for Standardization.
32. CEN (2005). EN 1993-1-8: Eurocode 3: "Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints." Brussels: European Committee for Standardization.
33. CEN (2005). ENV 1993-1-1: Eurocode 3: "Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings." Brussels: European Committee for Standardization.
34. CEN (2006). EN 10210: "Hot finished structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels - Part 1: Technical delivery conditions." Brussels: European Committee for Standardization.
35. CEN (2006). EN 10219: "Cold formed welded structural hollow sections of non-alloy and fine grain steels - Part 1: Technical delivery conditions." Brussels: European Committee for Standardization.
36. CEN (2006). EN 1993-3-1: Eurocode 3: "Design of steel structures - Part 3-1: Towers, masts and chimneys - Towers and masts." Brussels: European Committee for Standardization.

37. CEN (2006). EN 1993-3-2: Eurocode 3: Design of steel structures - Part 3-2: Towers, masts and chimneys - Chimneys. Brussels: European Committee for Standardization.
38. CEN (2008). EN 1090: "Execution of steel and aluminium structures." Brussels: European Committee for Standardization.
39. CEN (2008). EN 1090-1: "Execution of steel structures and aluminium structures - Part 1: Requirements for conformity assessment of structural components." Brussels: European Committee for Standardization.
40. CEN (2008). EN 1090-2: "Execution of steel structures and aluminium structures - Part 2: Technical requirements for steel structures." Brussels: European Committee for Standardization.
41. CEN (2019). EN 10219-2: "Cold formed welded steel structural hollow sections - Part 2: Tolerances, dimensions and sectional properties." Brussels: European Committee for Standardization.
42. Çetin, S., de Wolf, C., & Bocken, N. (2021). "Circular digital built environment: An emerging framework." Sustainability.
43. CG&S. (2000). "Construction, Renovation and Demolition (CRD) Waste Characterization Study", for the Alberta CRD Waste Advisory Committee. <https://www.eurogypsum.org/wp-content/uploads/2015/05/N107.pdf>
44. Circular Economy. Wikipedia. (2024). [https://en.wikipedia.org/wiki/Circular\\_economy](https://en.wikipedia.org/wiki/Circular_economy)
45. Cleveland Steel & Tubes LTD. (n.d.). "NTS Warehouse".
46. de Wolf, C., Hoxha, E., & Fivet, C. (2020). "Comparison of environmental assessment methods when reusing building components: A case study." Sustainable Cities and Society, 61, 66. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102322>
47. Wikipedia. (2024). "Direct reduced iron.". [https://en.wikipedia.org/wiki/Direct\\_reduced\\_iron](https://en.wikipedia.org/wiki/Direct_reduced_iron)
48. Doodoo, Ambrose, Leif Gustavsson, and Roger Sathre. (2009). "Carbon implications of end-of-life management of building materials." Resources, conservation and recycling 53.5: 276-286.
49. Dolan, Patrick J., Richard Lampo, and Jacqueline C. Dearborn. (1999). "Concepts for reuse and recycling of construction and demolition waste."
50. Dunant, Cyrille F., et al. (2018). "Options to make steel reuse profitable: An analysis of cost and risk distribution across the UK construction value chain." Journal of Cleaner Production 183: 102-111.
51. Dunant, Cyrille F., et al. (2017). "Real and perceived barriers to steel reuse across the UK construction value chain." Resources, Conservation and Recycling 126: 118-131.
52. Eleftheriadis, S.; Mumovic, D.; Greening, P. (2017). "Life cycle energy efficiency in building structures: A review of current developments and future outlooks based on BIM capabilities." Renew. Sustain. Energy Rev. 67, 811–825.
53. Ellen Macarthur Foundation. (2022). "Circular Economy Introduction."
54. EMR. (2024). Reusable Steel EPD Declaration. <https://Uk.Emrgroup.Com/>.
55. Errandonea, I., Beltrán, S., & Arrizabalaga, S. (2020). "Digital Twin for maintenance: A literature review." Computers in Industry, 123, 103316
56. European Commission. (2022). "Proposal for a Regulation laying down harmonised conditions for the marketing of construction products, amending Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Regulation (EU) 305/2011."
57. European Commission (n.d.) "Research Fund for Coal and Steel (RFCS)" [https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/research-fund-coal-and-steel-rfcs\\_en](https://research-and-innovation.ec.europa.eu/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/research-fund-coal-and-steel-rfcs_en) [1/2/2024]
58. Gao, Seijun, et al. (2001). "Energy impacts of recycling disassembly material in residential buildings." Energy and buildings 33.6: 553-562.

59. Gonzalez, R. E., Stephens, M. T., Toma, C. L., Elwood, K. J., & Dowdell, D. (2021). "Quantifying the embodied carbon cost from demolitions following the Canterbury Earthquakes."
60. Guy, Brad. (2014). "Design for Reuse of Building Materials in the USA." *Barriers for Deconstruction and Reuse/Recycling of Construction Materials*: 161-172
61. Hammond, Geoff, and Craig Jones. (2008). "Inventory of carbon & energy: ICE. Vol. 5." Bath, UK: Sustainable Energy Research Team, Department of Mechanical Engineering, University of Bath: 49
62. Heyne Tillett Steel. (2023). "Holbein Gardens: delivering a low-carbon structure with reclaimed steel."
63. Hollberg, A.; Genova, G.; Habert, G. (2020). "Evaluation of BIM-based LCA results for building design." *Autom. Constr.*, 109, 102972.
64. Honic, M.; Kovacic, I.; Rechberger, H. (2019). "Improving the recycling potential of buildings through material passports (MP): An Austrian case study." *J. Clean. Prod.* 217, 787–797.
65. Hoxha, Endrit, and Corentin Fivet. (2018). "Environmental Benefits when Reusing Load-Bearing Components in Office Buildings: A case study." *Proceedings of the PLEA 2018 Conference*.
66. Hradil, P. (2014). "Barriers and opportunities of structural elements re-use." Research report. VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo. <https://www.researchgate.net/publication/271849055>
67. Hradil, P., Talja, A., Ungureanu, V., Koukkari, H., & Fülöp, L. (2017). "Reusability indicator for steel-framed buildings and application for an industrial hall."
68. Iacovidou, Eleni, Phil Purnell, and Ming K. Lim. (2018) "The use of smart technologies in enabling construction components reuse: A viable method or a problem creating solution?." *Journal of environmental management* 216: 214-223.
69. International Organization for Standardization. (2006). "Environmental Management: Life Cycle Assessment; Principles and Framework ISO14040; ISO: Geneva, Switzerland
70. International Organization for Standardization. (2006). "Environmental Management: Life Cycle Assessment; Requirements and Guidelines." ISO14044; ISO: Geneva, Switzerland
71. International Organization for Standardization. (2023). ISO 6507-1:2023: "Metallic materials -- Vickers hardness test -- Part 1: Test method." Geneva: International Organization for Standardization.
72. International Organization for Standardization. (2014). ISO 12494: "Atmospheric icing of structures" Geneva: International Organization for Standardization.
73. International Organization for Standardization. (2007). ISO 8501-1:2007: "Preparation of steel substrates before application of paints and related products — Visual assessment of surface cleanliness — Part 1: Rust grades and preparation grades of uncoated steel substrates and of steel substrates after overall removal of previous coatings." Geneva: International Organization for Standardization.
74. Jaskowska-Lemańska, J., and J. Sagan. (2019). "Non-destructive testing methods as a main tool supporting effective waste management in construction processes." *Archives of Civil Engineering* 65.4: 263-276.
75. Jayasinghe, L.B.; Waldmann, D. (2020). "Development of a BIM-based web tool as a material and component bank for a sustainable construction industry." *Sustainability*, 12, 1766.
76. Jeong, K.; Ji, C.; Koo, C.; Hong, T.; Park, H.S. (2015). "A model for predicting the environmental impacts of educational facilities in the project planning phase." *J. Clean. Prod.*, 107, 538–549.
77. Jiménez-Rivero, Ana, and Justo García-Navarro. (2017). "Exploring factors influencing post-consumer gypsum recycling and landfilling in the European Union." *Resources, Conservation and Recycling* 116: 116-123.



78. Jun, H. B., Shin, J. H., Kim, Y. S., Kiritsis, D., & Xirouchakis, P. (2009). "A framework for RFID applications in product lifecycle" management. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 22(7), 595-615.
79. Kanyilmaz, A., Birhane, M., Fishwick, R. et al. (2023a). "Reuse of Steel in the Construction Industry: Challenges and Opportunities." *Int J Steel Struct* 23, 1399–1416. <https://doi.org/10.1007/s13296-023-00778-4>
80. Kanyilmaz, A., & Kondratenko, A. (2023b). "How does conceptual design impact the cost and carbon footprint of structures?" In *Structures* (Vol. 58, p. 105102). Elsevier.
81. Kaur, Mandeep, et al. (2011). "RFID technology principles, advantages, limitations & its applications." *International Journal of Computer and Electrical Engineering* 3.1: 151.
82. Kenton Will. (2020) "Cap and Trade Basics: What It Is, How It Works, Pros & Cons." <https://www.investopedia.com/terms/c/cap-and-trade.asp> [1/2/2024]
83. Kim, S.; Kim, S.-A. (2020) "Framework for Designing Sustainable Structures through Steel Beam Reuse." *Sustainability*. 12, 9494. <https://doi.org/10.3390/su12229494>
84. KORONA POS. (2024). "How Much Do RFID Tags Cost Retailers?". <https://koronapos.com/blog/how-much-do-rfid-tags-cost/#:~:text=Basic%20passive%20RFID%20tags%20typically%20range%20from%20a,to%20consider%20specific%20requirements%20when%20determining%20the%20price.> [7/4/2024]
85. Kumar, Sandeep. (2022). "Material Test Certificates Explained: 2.1, 2.2, 3.1 and 3.2." *Material Welding*. [https://www.materialwelding.com/material-test-certificates-explained/#google\\_vignette](https://www.materialwelding.com/material-test-certificates-explained/#google_vignette) [27/2/24]
86. Lawson, Nigel, et al. (2001). "Recycling construction and demolition wastes—a UK perspective." *Environmental Management and Health* 12.2: 146-157.
87. Le Den, X., Steinmann, J., Röck, M., Birgisdottir, H., Horup, L. H., Tozan, B., & Sørensen, A. (2022). "Towards embodied carbon benchmarks for buildings in Europe." 4. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6397514>
88. Letsrecycle.com (2024). "Ferrous Scrap Metal Prices 2024." <http://www.letsrecycle.com/prices/metals/ferrous-metal-prices/ferrous-metal-prices-2015/> [2/5/2024]
89. Lo, Carlos Wing-Hung, Gerald E. Fryxell, and Wilson Wai-Ho Wong. (2006). "Effective regulations with little effect? The antecedents of the perceptions of environmental officials on enforcement effectiveness in China." *Environmental Management* 38: 388-410.
90. Lynch, Jerome P., and Kenneth J. Loh. (2006). "A summary review of wireless sensors and sensor networks for structural health monitoring." *Shock and vibration digest* 38.2: 91-130.
91. Agarwal, R., Chandrasekaran, S., & Sridhar, M. (2016). "Imagining construction's digital future." *McKinsey & Company*, 24(06), 1-13.
92. Minunno, Roberto, et al. (2020). "Exploring environmental benefits of reuse and recycle practices: A circular economy case study of a modular building." *Resources, Conservation and Recycling* 160: 104855.
93. Motamedi, Ali, and Amin Hammad. (2009). "Lifecycle management of facilities components using radio frequency identification and building information model." *Journal of Information Technology in Construction (ITCON)* 14.18: 238-262.
94. MVR. (2021). "Återbruk av stål i bärande konstruktioner Krav- & Processbeskrivning."
95. National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2023) "Hydrogen Can Turn Steelmaking Green". [Video] <https://youtu.be/F2Y9oaKvtAM?si=IvLkk1j71MUu2pSi> [20/06/24]
96. Ness, David, et al. (2015). "Smart steel: new paradigms for the reuse of steel enabled by digital tracking and modelling." *Journal of cleaner production* 98: 292-303.

97. Noman, A. A., Akter, U. H., Pranto, T. H., & Haque, A. K. M. B. (2022). "Machine learning and artificial intelligence in circular economy: A bibliometric analysis and systematic literature review." In *Annals of emerging technologies in computing* (vol. 6, Issue 2, pp. 13–40).
98. Norgate, Terry E., Sharf Jahanshahi, and William J. Rankin. (2007). "Assessing the environmental impact of metal production processes." *Journal of cleaner production* 15.8-9: 838-848.
99. PROGRESS. (2017-2020). "EUROPEAN RECOMMENDATIONS FOR REUSE OF STEEL PRODUCTS IN SINGLE-STOREY BUILDINGS". ECCS (European Convention for Constructional Steelwork). <https://www.steelconstruct.com/eu-projects/progress/> [27/3/24]
100. Rakhshan, K., Morel, J. C., & Daneshkhah, A. (2021). "Predicting the technical reusability of load-bearing building components: A probabilistic approach towards developing a Circular Economy framework." *Journal of Building Engineering*.
101. Ranasinghe, Damith C., et al. (2011). "Enabling through life product-instance management: Solutions and challenges." *Journal of Network and Computer Applications* 34.3: 1015-1031.
102. RICS Professional Standard. (2023). "Whole Life Carbon Assessment for the Built Environment." [https://Consultations.Rics.Org/Connect.Ti/Whole life carbon standard/ConsultationHome](https://Consultations.Rics.Org/Connect.Ti/Whole%20life%20carbon%20standard/ConsultationHome).
103. Rose, C. (2019). "Systems for Reuse, Repurposing and Upcycling of Existing Building Components." UCL (University College London): London, UK
104. Roussat, Nicolas, Jacques Méhu, and Christiane Dujet. (2009). "Indicators to assess the recovery of natural resources contained in demolition waste." *Waste management & research* 27.2: 159-166.
105. Santos, R.; Costa, A.A.; Silvestre, J.D.; Pyl, L. (2019). "Integration of LCA and LCC analysis within a BIM-based environment." *Autom. Constr.*, 103, 127–149
106. Sano, Mitsuhiro, et al. (2014). "Measurement of material properties of steel sheets using laser ultrasonic technology." *Procedia Engineering* 81: 1414-1419.
107. Sasmal, S., & Voggu, S. (2021). "Digital Twin Technology for Monitoring and Predictive Maintenance of Civil Infrastructure A Proof of Concept through an RC Bridge Structure."
108. Scheuer, Chris, Gregory A. Keoleian, and Peter Reppe. (2003). "Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications." *Energy and buildings* 35.10: 1049-1064.
109. Schultmann, Frank, and Nicole Gollenbeck-Sunke. (2010). "The contribution of RFID to life cycle management in construction." *Industrialised, Integrated, Intelligent Sustainable Construction*: 149-160
110. Smol, Marzena, et al. (2015). "The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy." *Journal of Cleaner Production* 95: 45-54.
111. Stahel, Walter R. (2013). "Policy for material efficiency—sustainable taxation as a departure from the throwaway society." *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 371.1986: 20110567.
112. Stahel, Walter R. (1982). "The product life factor." *An Inquiry into the Nature of Sustainable Societies: The Role of the Private Sector* (Series: 1982 Mitchell Prize Papers), NARC : 74-96.
113. Standardisation of safety assessment procedures across brittle to ductile failure modes (SAFEBRITILE). (2017). "RFCS project RFSR-CT-2013-00023." European Commission. [5/04/2024]
114. Steel Piling Group. (n.d.). "Port of Dundee East Redevelopment."
115. steeluniversity. (2021). "Basic Oxygen Steelmaking Simulation User Guide version 2.00".

- [https://content.steeluniversity.org/simulators/sc13/bos/help/BOS\\_User\\_Guide\\_EN\\_ver02.pdf](https://content.steeluniversity.org/simulators/sc13/bos/help/BOS_User_Guide_EN_ver02.pdf)  
[2/04/2024]
116. Storey, John B., and Maibritt Pedersen. (2014). "Overcoming the barriers to deconstruction and materials reuse in New Zealand." *Barriers for deconstruction and reuse/recycling of construction materials*: 130-145.
  117. Sun, Chengshuang, Fan Jiang, and Shaohua Jiang. (2013). "Research on RFID Applications in Construction Industry." *J. Networks* 8.5: 1221-1228.
  118. Swann, W. (2021). "Developing a low-carbon, circular economy for steel." *The Structural Engineer*, 99(4), 1–7.
  119. Taylor, M., S. Coady, and J. Chesser. (2009). "Radio frequency identification (RFID) and building information modelling (BIM): integrating the lean construction process." *Proc. 12th Int. Conf. Civ. Struct. Environ. Eng.* 1e4 September, Funchal, Madeira, Portugal.
  120. Taylor, J. M. (2010). "Radio frequency identification (RFID) and the lean construction process." *W078-Special Track 18th CIB World Building Congress* May 2010 Salford, United Kingdom: 41-51
  121. The Alliance for Sustainable Building Products. (2024). "Sloane Square House."
  122. The Dynamo Primer. (n.d.). "What is Dynamo?" [https://primer.dynamobim.org/01\\_Introduction/1-2\\_what\\_is\\_dynamo.html](https://primer.dynamobim.org/01_Introduction/1-2_what_is_dynamo.html) [9/4/24]
  123. The Steel Construction Institute (SCI). (2019). *SCI P427: "Structural Steel Reuse (Assessment, Testing and Design Principles)." Silwood Park, Ascot, Berkshire. SL5 7QN UK*
  124. Thormark, Catarina. (2001). "Conservation of energy and natural resources by recycling building waste." *Resources, conservation and recycling* 33.2: 113-130.
  125. Thormark, Catarina. (2006). "The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building." *Building and environment* 41.8: 1019-1026.
  126. Tingley, Danielle Densley, Simone Cooper, and Jonathan Cullen. (2017). "Understanding and overcoming the barriers to structural steel reuse, a UK perspective." *Journal of Cleaner Production* 148: 642-652.
  127. UNEP. (2022). "2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a zero-emissions, efficient and resilient buildings and construction sector" <https://globalabc.org/our-work/tracking-progress-global-status-report>
  128. U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. (2024). "Embodied Carbon Reduction in New Construction". *Office of ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY*: 1
  129. Valero, Enrique, Antonio Adán, and Carlos Cerrada. (2015). "Evolution of RFID applications in construction: A literature review." *Sensors* 15.7: 15988-16008.
  130. *WeldersHandbook*. "Execution classes (EXC)". (2023). <https://welders-handbook.com/execution-classes-exc/> [27/3/2024]
  131. World Steel. (n.d.). "Steel industry key messages." <https://worldsteel.org/about-steel/key-messages/> [15/3/2024]
  132. Xie, H., W. Shi, R. Issa. (2011). "Using RFID and real-time virtual reality simulation for optimization in steel construction".
  133. Yang, L.; Cheng, J.C.P.; Wang, Q. (2020). "Semi-automated generation of parametric BIM for steel structures based on terrestrial laser scanning data. *Autom. Constr.*, 112, 103037.
  134. Yeheyis, Muluken, et al. (2013). "An overview of construction and demolition waste management in Canada: a lifecycle analysis approach to sustainability." *Clean technologies and environmental policy* 15: 81-91.
  135. Young, Olivia. (2023). "What Is Embodied Carbon? Overview and Examples". <https://www.treehugger.com/what-is-embodied-carbon-6950716> [2/2/24]
  136. ΕΛΟΤ. (2009). ΣΕΠ ΕΛΟΤ 1493-1-1 Εθνικό Προσάρτημα στο ΕΛΟΤ EN 1993-1-1:2005, Ευρωκώδικας 3: "Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα - Μέρος 1-1: Γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια." Αθήνα: ΕΛΟΤ.

137. Καφαράκη, Μαρία. (2018). "Σχεδιασμός Μεταλλικού Δικτυωτού Πυλώνα Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας." Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
138. Κωσταντζος Γιώργος (2023). "ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ (ΑΚΖ)." Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.  
[https://helios.ntua.gr/pluginfile.php/235094/mod\\_folder/content/0/Konstantzos%20-%20LCA\\_Presentation\\_2023.11.pdf?forcedownload=1](https://helios.ntua.gr/pluginfile.php/235094/mod_folder/content/0/Konstantzos%20-%20LCA_Presentation_2023.11.pdf?forcedownload=1) [20/2/2024]
139. Λιακοπούλου, Νίκη Β. (2013). "Σχεδιασμός δικτυωτού μεταλλικού πυλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας." Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
140. Στεφάνου, Παναγιώτης. (2020). "Σχεδιασμός μεταλλικού πυλώνα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας." Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
141. Ψυχάρης, Γιάννης. (2014). «ΒΑΣΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 8» Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.

## 14 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

ΜΕΛΟΣ	ΔΙΑΤΟΜΗ	ΜΗΚΟΣ (m)	ΒΑΘΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ	ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΧΑΛΥΒΑ	ΡΩΓΜΕΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ	ΠΡΩΗΝ ΕΤΙΚΕΤΕΣ ΣΤΟ SAP
2	L60X6	1,21	A	S235	ΟΧΙ		1
3	L60X6	1,21	A	S235	ΟΧΙ		3
4	2UPN120X1 2	0,69	D	S235	ΟΧΙ	Κομμάτι υποστυλώματος διαβρωμένο	7
5	2L60X6	1,28	A	S235	ΟΧΙ		12
6	2L60X6	2,6	A	S235	ΟΧΙ		27,29
7	L60X6	4,8	A	S235	ΟΧΙ		24,26,28,30
8	2UPN120X1 2	9	A	S235	ΟΧΙ	Ίσως στα 41,43 να χρειάζεται κόψιμο στη σύνδεση, λόγω διάβρωσης.	31,33,35,37,39,41,43,44
9	SHS60X5	2,6	B	S235	ΟΧΙ		4052
10	SHS60X5	2,6	B	S235	ΟΧΙ		4053
11	2UPN120X1 2	9	A	S235	Ίσως	Ίσως στη μέση του 57 να υπάρχει μία ρωμή	1920,1921,49,51,53,55,57,59,60
12	2UPN120X1 2	9	A	S235	ΟΧΙ		63,65,67,69,71,73,75,76
13	2UPN120X1 2	9	A	S235	ΟΧΙ		79,81,83,86,88,90,93,94

14	SHS60X5	2,93	C	S235	OXI	Υπάρχουν οπές, πιθανόν από πρώην σύνδεση ξύλων	95
15	2UPN120X1 2	9	A	S235	OXI		96,98,100,102,104,106,108,109,110
16	SHS60X5	2,93	C	S235	OXI		92
17	SHS60X5	13,6	A	S235	OXI		474,115,143,1644,1720,1721,1770- 72,3968-3975,3944-3949
18	2UPN120X1 2	9	A	S235	OXI	για το 116 ίσως χρειαστεί να κοπεί στα 2 λόγω της συγκόλλησης	112,114,116,118,120,122,125,126
19	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI		127
20	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI		129
21	2UPN120X1 2	9	A	S235	OXI		128-130-132-943-134-136-138-141-142
22	SHS60X5	2,93	A	S235	OXI		133
23	SHS60X5	2,93	C	S235	OXI		135
24	SHS60X5	2,93	C	S235	OXI		140
25	SHS60X5	2,93	C	S235	OXI		144
26	2UPN120X1 2	3,3	A	S235	OXI		145,146
27	SHS60X5	2,93	A	S235	OXI		149
28	SHS60X5	2,93	A	S235	OXI		151
29	2UPN120X1 2	9	A	S235	OXI		3442,3674,150,152,154,157
30	2L60X6	2,6	A	S235	OXI		159,906
31	2UPN120X1 2	5	A	S235	OXI		3610,3611,160,966,968
32	2UPN120X1 2	5	A	S235	OXI		3608,3609,165,131,167
33	2SHS60X5	0,87	B	S235	OXI		925
34	L60X6	1,55	A	S235	OXI		208
35	L60X6	1,55	A	S235	OXI		216
36	L60X6	1,55	A	S235	OXI		219
37	L60X6	15,5	A	S235	OXI	Στο 666 υπάρχει ίχνος σκουριάς. Παρ' όλ' αυτά, δεν είναι αρκετή για να την κατεβάσει κατηγορία.	669,668,667,666,581- 578,277,276,228,223,435,434,433,432
38	L60X6	7,8	A	S235	OXI		289-286,242-239



39	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI	199
40	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI	1693,1694
41	SHS60X5	2	C	S235	OXI	268,200,195,197
42	L60X6	3,9	A	S235	OXI	269,267
43	SHS60X5	10,8	A	S235	OXI	305,304,292,285,275,274,272,270
44	L60X6	1,2	A	S235	OXI	290
45	L60X6	1,2	A	S235	OXI	291
46	L60X6	3,9	A	S235	OXI	296,295,294,293
47	L60X6	1,2	A	S235	OXI	278
48	L60X6	5,1	A	S235	OXI	298,324,332,344,357,378
49	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI	311
50	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI	317
51	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI	318
52	U65X42	3,9	A	S235	OXI	327-330
53	L60X6	5,1	A	S235	OXI	299,323,333,345,358,377
54	SHS60X5	2,6	C	S235	OXI	339
55	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI	340
56	L60X6	2	A	S235	OXI	364,814
57	2L60X6	3,9	A	S235	OXI	382-85
58	2L50X5	1,5	A	S235	OXI	424
59	L60X6	3,9	A	S235	OXI	432-435
60	2L60X6	2,1	A	S235	OXI	438,596
61	U65X42	7,8	A	S235	OXI	440-443
62	L60X6	1,9	A	S235	OXI	444,445
63	L60X6	1,64	A	S235	OXI	448
64	L60X6	1,64	A	S235	OXI	449
65	L60X6	1,64	A	S235	OXI	450
66	L60X6	2	A	S235	OXI	454,815
67	U65X42	5,85	A	S235	OXI	460-462
68	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI	473
69	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI	474
70	U65X42	1,95	A	S235	OXI	482
71	L60X6	1	A	S235	OXI	487
72	L60X6	1	A	S235	OXI	488
73	L60X6	1	A	S235	OXI	489
74	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI	495
75	U65X42	1,95	A	S235	OXI	496
76	U65X42	1,95	A	S235	OXI	499
77	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI	500
78	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI	501
79	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI	502
80	2L60X6	0,97	C	S235	OXI	509
81	2L60X6	0,97	C	S235	OXI	511

82	U65X42-L60X6	3,88	B	S235	OXI	Υπάρχουν οπές, πιθανόν από πρώην σύνδεση ξύλων	517,519,520
83	L60X6	1,5	C	S235	OXI	Απόσπασμα από υποστυλώμα: Φαίνεται χτυπημένο	524
84	L60X6	1,5	B	S235	OXI		526
85	UPN100-1	3,92	A	S235	OXI		527,528,535-538
86	L60X6	1,64	A	S235	OXI		543
87	L60X6	1,64	A	S235	OXI		542
88	L60X6	1,64	A	S235	OXI		543
89	L60X6	1	A	S235	OXI		553
90	L60X6	1	A	S235	OXI		554
91	L60X6	1	A	S235	OXI		555
92	L60X6	3,9	A	S235	OXI		578-581
93	2L60X6	4	A	S235	OXI		599,602,3860,3861,596
94	L60X6	1,64	A	S235	OXI		604
95	L60X6	1,64	A	S235	OXI		605
96	L60X6	1,64	A	S235	OXI		606
97	UPN100-1	2,34	A	S235	OXI		624-626
98	L60X6	1	A	S235	OXI		628
99	L60X6	1	A	S235	OXI		629
100	2UPN120X1 2	2,6	A	S235	OXI		638,639
101	SHS60X5	1,96	C	S235	OXI		641,642,643,680
102	L60X6	2,93	A	S235	OXI		667,668.669
103	L60X6	1,96	A	S235	OXI		678,679
104	L60X6	1,64	B	S235	OXI	Πιθανή ύπαρξη ρωγμών στο μέλος	693
105	L60X6	1,64	A	S235	OXI		692
106	L60X6	1,64	A	S235	OXI		694
107	L60X6	1,94	A	S235	OXI		734,735
108	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI	Υπάρχουν οπές, πιθανόν από πρώην σύνδεση ξύλων	741
109	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		746
110	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI	Υπάρχουν οπές, πιθανόν από πρώην σύνδεση ξύλων	747
111	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI		748
112	2U65X42	2,6	A	S235	OXI		2278
113	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI	Υπάρχουν οπές, πιθανόν από πρώην σύνδεση ξύλων	757
114	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI	Υπάρχουν οπές, πιθανόν από πρώην σύνδεση ξύλων	765
115	L60X6	2,5	A	S235	OXI		781,782

116	L60X6	2,5	A	S235	OXI		786,787
117	L50X5	0,99	A	S235	OXI		785
118	L60X6	3,9	A	S235	OXI		797-800
119	2L60X6	1,98	A	S235	OXI		802,805
120	2L60X6	0,99	A	S235	OXI		808
121	L50X5	1	B	S235	OXI	Υπάρχουν ίχνη διάβρωσης στη βάση του μέλους και κάποιες οπές	821
122	SHS60X5	4	A	S235	OXI		766,767,768,803,806,809,812,841
123	2L60X6	1,5	A	S235	OXI		802,805
124	2L60X6	0,99	A	S235	OXI		808
125	2UPN120X1 2	1,64	A	S235	OXI		842
126	2UPN120X1 2	9	A	S235	OXI		1930,1931,859,861,863,865,867,870,871
127	L60X6	1,4	C	S235	OXI		856
128	2SHS60X5	0,87	A	S235	OXI		868
129	2SHS60X5	0,87	A	S235	OXI		875
130	SHS60X5	2,94	B	S235	OXI		876,976,998
131	2SHS60X5	0,87	B	S235	OXI		882
132	2UPN120X1 2	2,5	B	S235	OXI	Στη σύνδεση μεταξύ 883 και 886 υπάρχει σκουριά	886,887
133	SHS60X5	3	B	S235	OXI		885,877,1007
134	SHS60X5	3	B	S235	OXI		876,892,998
135	2SHS60X5	1,28	A	S235	OXI		869,874,875
136	2L60X6	1,28	A	S235	OXI		12
137	2L60X6	2,93	A	S235	OXI		893,894,908
138	SHS60X5	2,93	C	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	95
139	2SHS60X5	2,61	C	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	896,900,901
140	L50X5	1,47	A	S235	OXI		898
141	L50X5	1,47	A	S235	OXI		899
142	2UPN120X1 2	1,5	A	S235	OXI		903
143	2UPN120X1 2	1,64	A	S235	OXI		909
144	2UPN120X1 2	4	A	S235	OXI		915,918,919
145	2SHS60X5	2,61	A	S235	OXI		917,921,922

146	2SHS60X5	2,61	B	S235	OXI	Υπάρχει και αποχρωματισμός	930,932,933
147	2UPN120X1 2	2,5	A	S235	OXI		934,935
148	2UPN120X1 2	2,2	A	S235	OXI		937,939,2479
149	SHS60X5	2,61	B	S235	OXI		936,938,941
150	2SHS60X5	2,61	A	S235	OXI	Στο 944 υπάρχει ένας κοχλίας	942,944,948
151	2UPN120X1 2	5,14	A	S235	OXI		959,957,955,3672
152	SHS60X5	6,1	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	954,960,961,967,1122,1110
153	L60X6	4	A	S235	OXI		970-973
154	2L60X6	3,88	A	S235	OXI		978-981
155	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		994
156	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		995
157	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI		996
158	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	997
159	U65X42	0,98	A	S235	OXI		1002
160	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	1006
161	L60X6	1,21	A	S235	OXI		1008
162	L60X6	1,21	A	S235	OXI		1009
163	L60X6	2,64	A	S235	OXI		1018,1019
164	2L60X6	3	A	S235	OXI		1038-140
165	L60X6	1,21	A	S235	OXI		1042
166	L60X6	1,21	A	S235	OXI		1043
167	SHS60X5	1	A	S235	OXI		1076
168	L60X6	1	A	S235	OXI		1082
169	L60X6	1	A	S235	OXI		1083
170	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		1086
171	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		1087
172	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		1088
173	2SHS60X5	2,6	C	S235	OXI		993
174	SHS60X5	1,96	B	S235	OXI		999,974
175	U65X42	0,98	A	S235	OXI		1095

176	2SHS60X5	0,85	B	S235	OXI	Η διάβρωση βρίσκεται στην άκρη του μέλους	1107
177	2L60X6	3	A	S235	OXI		1039,1040,1041
178	SHS60X5-L60X6	13	B-C	S235	OXI	Κάποια είναι Β και άλλα C (40,4583,4589,4601)	4601,32,4587,40,36,4585,4583,4581,4579,4577,4593,4591,4589
179	SHS60X5-L60X6	13	B-C	S235	OXI	Κάποια είναι Β και άλλα C (4473,186,45,4553,48)	4575,4573,186,45,4557,61,56,52,48,4555,4553,21,188
180	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		1130
181	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		1131
182	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		1132
183	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		1133
184	U65X42-L60X6	1,94	A	S235	OXI		1156,1157
185	L60X6	1,5	A	S235	OXI		1161
186	L60X6	1,5	A	S235	OXI		1162
187	L60X6	1,5	A	S235	OXI		1167
188	SHS60X5	1,4	A	S235	OXI		1168
189	SHS60X5	1,93	A	S235	OXI		1174
190	SHS60X5	1,35	A	S235	OXI		1175
191	SHS60X5	1,35	B	S235	OXI		1184
192	L60X6	1	A	S235	OXI		1187
193	L60X6	1	A	S235	OXI		1192
194	L60X6	1,5	A	S235	OXI		1195
195	L60X6	1,5	A	S235	OXI		1196
196	L60X6	1,5	A	S235	OXI		1204
197	L60X6	1	A	S235	OXI		1205
198	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		1206
199	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		1207
200	L60X6	1,4	A	S235	OXI		1203
201	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		1216
202	SHS60/6	2,6	B	S235	OXI		1218
203	SHS60/6	2,6	A	S235	OXI		1219
204	SHS60/6	2,6	A	S235	OXI		1220
205	U65X42	1,96	A	S235	OXI		1243,1244
206	2L60X6	2,6	A	S235	OXI		1254,1259
207	2L60X6	1,3	A	S235	OXI		1254
208	2L60X6	1,7	A	S235	OXI		1283
209	U65X42	0,99	C	S235	OXI		1286
210	2UPN120X12	2,16	A	S235	OXI		2080, 1295
211	2L60X6	2,6	A	S235	OXI		1385,1403
212	2UPN120X12	2	A	S235	OXI		1399,1414
213	2L60X6	5,1	A	S235	OXI		1431,1439,1687,1695
214	2L60X6	2,6	A	S235	OXI		1437,1438

215	2UPN120X1 2	9	A	S235	OXI		1983,1443,1447,1449,1451
216	2UPN120X1 2	3,3	A	S235	OXI	Το 1459 ίσως χρειαστεί να χωριστεί λόγω ελαφράς διάβρωσης στην ένωση	2778,1456,1459
217	SHS60X5- L60X6	1,98	A	S235	OXI		1487,1488
218	L60X6	3,5	A	S235	OXI		1495,1521,1522
219	SHS60/6- L60X6	3,88	B	S235	OXI		1539-1542
220	L60X6	1	A	S235	OXI		1558
221	L60X6	1	A	S235	OXI		1559
222	L60X6	1	A	S235	OXI		1560
223	UPN100A	11	C	S235	OXI		1573-1583
224	2UPN120X1 2	3,2	A	S235	OXI		1637,2783,2782
225	SHS60X5	0,5	A	S235	OXI		1644
226	2U65X42	2,6	B	S235	OXI		1693,1694
227	L60X6	1,4	A	S235	OXI		1752
228	L60X6	1,4	A	S235	OXI		1756
229	L60X6	1,4	A	S235	OXI		1757
230	L60X6	1,4	A	S235	OXI		1761
231	U65X42	3,88	A	S235	OXI		1766-1769
232	SHS60X5	1,5	A	S235	OXI		1770-1772
233	L60X6	1,4	A	S235	OXI		1776
234	L60X6	1	A	S235	OXI		1777
235	L60X6	1,4	A	S235	OXI		1778
236	L60X6	1	A	S235	OXI		1779
237	L60X6	1,4	A	S235	OXI		1780
238	L60X6	1,4	A	S235	OXI		1781
239	L60X6	1	A	S235	OXI		1782
240	U65X42	4	A	S235	OXI		1803-1806
241	SHS60X5	2	A	S235	OXI		1807-1810
242	L60X6	1	A	S235	OXI		1813
243	L60X6	1	A	S235	OXI		1814
244	L60X6	1	A	S235	OXI		1815
245	L60X6	1,4	A	S235	OXI		1816
246	L60X6	1,4	A	S235	OXI		1817
247	L60X6	1,4	A	S235	OXI		1818
248	L60X6	1,4	A	S235	OXI		1819
249	U65X42	3,92	A	S235	OXI		1834-1837
250	SHS60X5	1,5	A	S235	OXI		1838-1841
251	SHS60X5	2,93	D	S235	OXI	Στην άκρη υπάρχει διάβρωση με απώλεια διατομής	1841
252	2SHS60X5	3,92	A	S235	OXI		1846-1849



253	L60X6	1,65	A	S235	OXI		1850
254	L60X6	1	A	S235	OXI		1852
255	L60X6	1,65	A	S235	OXI		1854
256	L60X6	1	A	S235	OXI		1856
257	L60X6	1	A	S235	OXI		1859
258	L60X6	1,65	A	S235	OXI		1861
259	U65X42	3,92	A	S235	OXI		1891-1894
260	SHS60X5	3	C	S235	OXI		1895
261	L60X6	1	A	S235	OXI		1899
262	L60X6	1	A	S235	OXI		1901
263	2L60X6	2,6	A	S235	OXI		1916,1917
264	2L50X5	1,52	A	S235	OXI	Ελαφρά διάβρωση στη συγκόλληση	1924
265	2L50X5	1,52	A	S235	OXI		1925
266	2L60X6	2,6	A	S235	OXI		1936,1937
267	2L50X5	4,5	A	S235	OXI		1955,1968,1980,1991
268	L60X6	1,3	A	S235	OXI		1962
269	L60X6	1,3	A	S235	OXI		1963
270	2U65X42	1,3	A	S235	OXI		1974
271	SHS60X5-L60X6	3,95	A	S235	OXI		2069
272	L60X6	4	A	S235	OXI		2082-2085
273	2L60X6	2	A	S235	OXI		2088,2089
274	2L60X6	2,6	A	S235	OXI		2102,2292
275	L60X6	1,26	A	S235	OXI		2103
276	L60X6	2	A	S235	OXI		2.110,2109
277	L60X6	1	A	S235	OXI		2108
278	L60X6	1,64	A	S235	OXI		2111
279	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2116
280	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2119
281	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2120
282	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2125
283	U65X42	4	A	S235	OXI		2138-2141
284	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2151
285	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2152
286	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2153
287	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2154
288	U65X42	4	A	S235	OXI		2157-2160
289	L60X6	1,4	C	S235	OXI		2165
290	L60X6	1,4	C	S235	OXI		2166
291	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2170
292	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2171
293	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2172
294	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2173
295	U65X42	6	A	S235	OXI		2176-2179,2225,2231

296	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2185
297	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2186
298	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2187
299	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2188
300	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2189
301	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2190
302	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2191
303	L60X6	1	A	S235	OXI		2192
304	L60X6	1	A	S235	OXI		2193
305	L60X6	1,4	C	S235	OXI		2186
307	SHS60X5	0,98	A	S235	OXI		2194
308	SHS60X5	6,86	C	S235	OXI		2195,2196,2198
309	SHS60X5-L60X6	3,97	A	S235	OXI		2215,2220,2221
310	L60X6	3,9	A	S235	OXI		2232,2247
311	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2233
312	L60X6	1,4	A	S235	OXI		2236
313	L60X6	2,6	A	S235	OXI		2255,2256
314	2L60X6	1,64	A	S235	OXI		2573
315	2L50X5	1,93	A	S235	OXI		2576
316	2L50X5	1,91	A	S235	OXI		2593
317	2L50X5	1,91	A	S235	OXI		2613
318	2L60X6	1,91	A	S235	OXI		2618
319	2L50X5	1,91	A	S235	OXI		2620
320	2L50X5	1,91	A	S235	OXI		2672
321	2L50X5	1,91	A	S235	OXI		2686
322	SHS60X5	5,85	A	S235	OXI		2729,2730,2731
323	2U65X42	2,96	A	S235	OXI		2747-2749
324	2U65X42	1,96	A	S235	OXI		2753,2754
325	2UPN120X1 2	9	A	S235	OXI		2778,1456,1459,1463,198,1467
326	2UPN120X1 2	6,5	A	S235	OXI		883,881,879,1764,873,2080,2784
327	L60X6	1,5	A	S235	OXI		3004
328	L50X5	1,5	A	S235	OXI		3007
329	L50X5	1,3	A	S235	OXI		3015
330	L50X5	1,3	A	S235	OXI		3062
331	L60X6	1,63	A	S235	OXI		3063
332	L50X5	1,6	A	S235	OXI		3170
333	2L50X5	1,64	A	S235	OXI		3183
334	2U65X42	2,6	A	S235	OXI		3205,3206
335	2U65X42	2,6	A	S235	OXI		3342
336	2U65X42	2,6	A	S235	OXI		3345

337	L60X6	1,6	A	S235	OXI		3360
338	U65X42	1	A	S235	OXI		3365
339	L60X6	1	A	S235	OXI		3375
340	L50X5	1,6	A	S235	OXI		3380
341	L50X5	1,5	A	S235	OXI		3382
342	L50X5	1,5	A	S235	OXI		3383
343	L60X6	1,6	A	S235	OXI		3402
344	2L60X6	2,6	A	S235	OXI		3434,3607
345	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		3442
346	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		3443
347	L50X5	1,6	A	S235	OXI		3449
348	SHS60X5-L60X6	7,6	A	S235	OXI		4141-4143,3442,4145,3443,4147,3460,4149,3464,4151,4152,4153,3492,4158
349	L50X5	7,45	A	S235	OXI		3512,3515,3516,3517,3518
350	2L60X6	5,4	A	S235	OXI		3531,3533,3534,3535
351	2UPN120X12	3,2	A	S235	OXI		131,3609,3608
352	2UPN120X12	3,2	A	S235	OXI		160,3610,3611
353	2U65X42	2,6	A	S235	OXI	Η μεταξύ τους ένωση φαίνεται να έχει θέμα	3618,3619
354	L60X6	1	A	S235	OXI		3636
355	L60X6	1,75	A	S235	OXI		3638
356	2U65X42	2,6	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	3643,3644
357	2L60X6	2,6	B	S235	OXI		3649,365
358	2L60X6	2,64	A	S235	OXI		3667,3668
359	2UPN120X12	9	A	S235	OXI		3671,3672,955,957,959,962,963
360	2L60X6	2,64	A	S235	OXI		3681,3693
361	2L60X6	1	A	S235	OXI		3703
362	2UPN120X12	2,6	A	S235	OXI		3718,3729
363	U65X42	2,82	C	S235	OXI		3775,3785,3786
364	U65X42	3,96	A	S235	OXI		3831,3832.3833,3834
365	L60X6	1	A	S235	OXI		3850
366	L60X6	1	A	S235	OXI		3851
367	L60X6	1	A	S235	OXI		3852

368	L60X6	1	A	S235	OXI		3854
369	L60X6	1	A	S235	OXI		3856
370	L60X6	1	A	S235	OXI		3857
371	SHS60X5	2,93	C	S235	OXI		3930
372	SHS60X5	2,93	C	S235	OXI	Υπάρχει κοχλίας	3931
373	SHS60X5	2,93	C	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	3932
374	SHS60X5	2,93	C	S235	OXI		3933
375	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI		3934
376	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI		3935
377	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI		3936
378	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI		3937
379	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	3938
380	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI		3939
381	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	3940
382	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI		3941
383	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	3942
384	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI		3943
385	SHS60X5	0,49	A	S235	OXI		3944
386	SHS60X5	0,49	A	S235	OXI		3945
387	SHS60X5	0,49	A	S235	OXI		3946
388	SHS60X5	0,49	A	S235	OXI		3947
389	SHS60X5	0,49	A	S235	OXI		3948
390	SHS60X5	0,49	A	S235	OXI		3949
391	SHS60X5	0,5	A	S235	OXI		3950
392	SHS60X5	0,5	A	S235	OXI		3968
393	SHS60X5	0,5	A	S235	OXI		3969
394	SHS60X5	0,5	A	S235	OXI		3970
395	SHS60X5	0,5	A	S235	OXI		3971

396	SHS60X5	0,5	A	S235	OXI		3972
397	SHS60X5	0,5	A	S235	OXI		3973
398	SHS60X5	0,5	A	S235	OXI		3974
399	SHS60X5	0,5	A	S235	OXI		3975
400	SHS60X5	0,5	A	S235	OXI		3976
401	SHS60X5	0,5	A	S235	OXI		3977
402	SHS60X5	0,5	A	S235	OXI		3978
403	SHS60X5	0,5	A	S235	OXI		3979
404	SHS60X5	0,5	A	S235	OXI		3980
405	SHS60X5	0,5	A	S235	OXI		3981
406	SHS60X5	0,5	A	S235	OXI		3982
407	SHS60X5	0,5	A	S235	OXI		3983
408	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI		3984
409	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI		3985
410	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI		3986
411	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI		3987
412	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI		3988
413	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI		3989
414	SHS60X5	2,93	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	3990
415	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI		4030
416	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI		4031
417	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI		4032
418	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4048
419	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI		4049
420	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI		4050
421	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI		4051
422	2L50X5	1,64	A	S235	OXI		1938
423	2U65X42	1,3	A	S235	OXI		1975
424	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4054
425	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4055
426	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4056

427	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4057
428	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4058
429	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4059
430	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4060
431	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4061
432	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4062
433	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4063
434	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4064
435	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4065
436	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4066
437	SHS60X5	2,6	C	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4067



438	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4124
439	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4125
440	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4126
441	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4127
442	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4128
443	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4129
444	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4130
445	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4131
446	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4132
447	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4133
448	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4134
449	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4135
450	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4136
451	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4137
452	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4141
453	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4142
454	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4143
455	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4145
456	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4147
457	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4149
458	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4151
459	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4152
460	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4153
461	SHS60X5-L60X6	0,5	A	S235	OXI		4155
462	SHS50X5	1,95	C	S235	OXI		4156
463	SHS50X5	1,95	C	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4157
464	SHS50X5	1,95	C	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4158
465	SHS50X5	1,95	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4159
466	SHS50X5	1,95	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4160

467	SHS50X5	1,95	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4161
468	SHS50X5	1,95	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4162
469	SHS50X5	1,95	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4163
470	SHS50X5	1,95	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4164
471	SHS50X5	1,95	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4165
472	SHS50X5	1,95	B	S235	OXI		4166
473	SHS50X5	1,95	B	S235	OXI		4167
474	SHS50X5	1,95	B	S235	OXI		4168
475	SHS50X5	1,95	B	S235	OXI		4169
476	SHS50X5	1,95	C	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4170
477	SHS60X5	1,95	C	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4171
478	SHS60X5	1,95	C	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4172
479	SHS60X5	1,95	C	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4173
480	SHS60X5	1,95	C	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4174

481	SHS60X5	1,95	C	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4175
482	L60X6	3,95	A	S235	OXI		4211
483	L60X6	3,95	A	S235	OXI		4212
484	SHS60X5	0,51	A	S235	OXI		4223
485	SHS60X5	9	A	S235	OXI		4223,4224,4231-4246
486	SHS60X5	7,5	B	S235	OXI		4287-4302
487	SHS60X5	2,5	C	S235	OXI		4305-4309
488	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		4351
489	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		4352
490	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		4353
491	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		4354
492	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		4355
493	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		4356
494	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		4357
495	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		4358
496	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		4359
497	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		4360
498	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		4361
499	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		4362
500	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		4363
501	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		4364
502	SHS60X5	2,6	A	S235	OXI		4365
503	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI		4366
504	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI		4367
505	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI		4368
506	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI		4369
507	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI		4370
508	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI		4371
509	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI		4372
510	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4373
511	SHS60X5	2,6	B	S235	OXI		4374
512	2L60X6	1,5	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4424
513	2L60X6	1,5	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4425

514	L60X6	1,75	B	S235	OXI	Υπάρχει κοχλίας	1,75
515	L60X6	1,75	B	S235	OXI	Υπάρχει κοχλίας	1,75
516	L60X6	2,6	B	S235	OXI		4490,4489
517	L60X6	2,6	B	S235	OXI		4505,4506
518	U65-L60X6	1,95	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4514,4527,4528
519	L60X6	11,7	A	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4544,4543,4532,4531,4520,4519
520	L60X6	2,6	A	S235	OXI		4521,4522
521	U65-L60X6	3,9	A	S235	OXI		4527,4528
522	SHS60X5-L60X6	2,1	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4573,4575
523	SHS60X5-L60X6	2,1	B	S235	OXI	Υπάρχουν κοχλίες, πιθανώς από πρώην σύνδεση με ξύλο	4577,4579

Πίνακας 40 Επεξήγηση Χρωμάτων

"ΜΗΚΟΣ (m)"	ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΙ
"ΜΗΚΟΣ (m)"	ΕΧΕΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΙ
"ΜΗΚΟΣ (m)"	ΕΧΕΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΙ ΤΟ ΠΡΩΤΟ
"ΜΗΚΟΣ (m)"	ΕΧΕΙ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΙ ΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

## 15 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β: ΦΥΛΛΟ ΤΕΛΙΚΗΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ ΦΟΡΕΑ

Ετικέτα	Πρώην ετικέτες (από τη Βάση)	Μήκος	Τελικό Μήκος
R1	324+323	4,92	4,72
R2	334+112	5,20	4,72
R3	353+335	5,20	4,72
R4	240+336+338	5,10	4,72
R5	61+70	4,88	4,72
R6	67+259	4,88	4,72
R7	295+288	5,00	4,72
R8	249+364+76	4,88	4,72
R9	502	2,60	2,53
R10	425	2,60	2,53
R11	426	2,60	2,53
R12	49	2,60	2,53
R13	68	2,60	2,53
R14	69	2,60	2,53
R15	74	2,60	2,53
R16	77	2,60	2,53
R17	383	2,93	2,53
R18	384	2,93	2,53
R19	408	2,93	2,53
R20	409	2,93	2,53
R21	410	2,93	2,53
R22	411	2,93	2,53
R23	412	2,93	2,53
R24	413	2,93	2,53
R25	157	2,60	2,33
R26	158	2,60	2,33
R27	146	2,60	2,33
R28	146	2,60	2,33
R29	495	2,60	2,33

R30	496	2,60	2,33
R31	497	2,60	2,33
R32	490	2,60	2,33
R33	78	2,60	2,33
R34	109	2,60	2,33
R35	170	2,60	2,33
R36	171	2,60	2,33
R37	172	2,60	2,33
R38	198	2,60	2,33
R39	199	2,60	2,33
R40	160	2,60	2,33
R41	17	4,53	4,30
R42	17	4,53	4,30
R43	17	4,53	4,30
R44	145	5,20	4,30
R45	213	5,10	3,04
R46	213	5,10	3,04
R47	274	5,20	3,04
R48	360	5,28	3,04
R49	272	2,00	2,00
R50	272	2,00	2,00
R51	234+169	2,00	2,00
R52	217	2,00	2,00
R53	486	1,88	1,80
R54	486	1,88	1,80
R55	486	1,88	1,80
R56	486	1,88	1,80
R57	252	1,96	1,80
R58	252	1,96	1,80
R59	252	1,96	1,80
R60	252	1,96	1,80
R61	485	1,80	1,80
R62	485	1,80	1,80
R63	485	1,80	1,80
R64	485	1,80	1,80
R65	485	1,80	1,70
R66	523	2,00	1,70
R67	522	2,00	1,70
R68	241	2,00	1,70
R69	201	2,60	1,70
R70	182	2,60	1,70
R71	128	1,74	1,70
R72	129	1,74	1,70
R73	217	1,98	1,70
R74	219	1,90	1,70
R75	219	1,90	1,70



R76	189	1,93	1,70
R77	271	1,98	1,70
R78	271	1,98	1,70
R79	155	2,60	1,70
R80	156	2,60	1,70
R81	428	2,60	1,60
R82	429	2,60	1,60
R83	430	2,60	1,60
R84	322	1,95	1,60
R85	322	1,95	1,60
R86	322	1,95	1,60
R87	176	1,70	1,60
R88	431	2,60	1,60
R89	414	2,60	1,60
R90	415	2,60	1,60
R91	416	2,60	1,60
R92	417	2,60	1,60
R93	432	2,60	1,60
R94	424	2,60	1,60
R95	27	2,93	1,60
R96	22	2,93	1,60
R97	408	1,47	1,40
R98	409	1,47	1,40
R99	410	1,47	1,40
R100	411	1,47	1,40
R101	408	1,47	1,40
R102	409	1,47	1,40
R103	410	1,47	1,40
R104	411	1,47	1,40
R105	232	1,50	1,47
R106	43	1,54	1,47
R107	43	1,54	1,47
R108	43	1,54	1,47
R109	43	1,54	1,47
R110	43	1,54	1,47
R111	43	1,54	1,47
R112	43	1,54	1,47
R113	498	1,30	1,30
R114	499	1,30	1,30
R115	500	1,30	1,30
R116	501	1,30	1,30
R117	498	1,30	1,30
R118	499	1,30	1,30
R119	500	1,30	1,30
R120	501	1,30	1,30
R121	379	1,45	1,40

R122	380	1,45	1,40
R123	381	1,45	1,40
R124	382	1,45	1,40
R125	379	1,45	1,40
R126	380	1,45	1,40
R127	381	1,45	1,40
R128	382	1,45	1,40
R129	114	1,30	1,30
R130	114	1,30	1,30
R131	135	1,28	1,30
R132	135	1,28	1,30
R133	149	1,30	1,30
R134	149	1,30	1,30
R135	150	1,30	1,30
R136	150	1,30	1,30
R137	488	1,30	1,20
R138	489	1,30	1,20
R139	492	1,30	1,20
R140	488	1,30	1,20
R141	489	1,30	1,20
R142	492	1,30	1,20
R143	51	1,30	1,20
R144	51	1,30	1,20
R145	493	1,30	1,15
R146	493	1,30	1,15
R147	494	1,30	1,15
R148	494	1,30	1,15
R149	504	1,30	1,10
R150	505	1,30	1,10
R151	504	1,30	1,10
R152	505	1,30	1,10
R153	506	1,30	1,10
R154	507	1,30	1,10
R155	506	1,30	1,10
R156	507	1,30	1,10
R157	508	1,30	1,10
R158	509	1,30	1,10
R159	508	1,30	1,10
R160	509	1,30	1,10
R161	418	1,30	1,10
R162	418	1,30	1,10
R163	419	1,30	1,10
R164	419	1,30	1,10
R165	420	1,30	1,10
R166	420	1,30	1,10
R167	421	1,30	1,10

R168	421	1,30	1,10
R169	402+403	1,00	1,00
R170	404+405	1,00	1,00
R171	406+407	1,00	1,00
R172	393+394	1,00	1,00
R173	445+446	1,00	1,00
R174	447+448	1,00	1,00
R175	449+450	1,00	1,00
R176	451+452	1,00	1,00
R177	453+459	1,00	1,00
R178	460+461	1,00	1,00
R179	484+390	1,00	1,00
R180	345+392	1,00	1,00
R181	348	0,95	0,95
R182	348	0,95	0,95
R183	348	0,95	0,95
R184	348	0,95	0,95
R185	60	1,05	0,95
R186	61	1,05	0,95
R187	95+96	1,64	0,95
R188	206	1,30	0,95
R189	30	1,30	0,95
R190	206	1,30	0,95
R191	30	1,30	0,95
R192	57	1,20	0,95
R193	56	1,00	0,95
R194	309	0,97	0,95
R195	276	1,00	0,95
R196	309	0,97	0,95
R197	519	1,17	1,05
R198	519	1,17	1,05
R199	519	1,17	1,05
R200	519	1,17	1,05
R201	519	1,17	1,05
R202	7	1,20	1,05
R203	7	1,20	1,05
R204	218	1,75	1,05
R205	263	1,30	1,05
R206	263	1,30	1,05
R207	37	1,29	1,05
R208	37	1,29	1,05
R209	37	1,29	1,05
R210	37	1,29	1,05
R211	37	1,29	1,05
R212	37	1,29	1,05
R213	136	1,28	1,05

R214	311+312	1,40	1,05
R215	296+47	1,20	1,05
R216	44+45	1,20	1,05
R217	313	1,30	1,05
R218	163	1,32	1,05
R219	115	1,25	1,05
R220	116	1,25	1,05
R221	297+298	1,40	1,05
R222	343+96	1,60	1,05
R223	161+162	1,21	1,05
R224	165+166	1,21	1,05
R225	268+269	1,30	1,05
R226	314	1,64	1,05
R227	275+312	1,26	1,05
R228	310	1,95	1,05
R229	92	0,98	0,96
R230	92	0,98	0,96
R231	520	0,95	0,96
R232	517	1,30	0,96
R233	483	0,99	0,96
R234	483	0,99	0,96
R235	482	0,99	0,96
R236	482	0,99	0,96
R237	92	0,98	0,96
R238	520	0,95	0,96
R239	517	1,30	0,96
R240	483	0,99	0,96
R241	483	0,99	0,96
R242	482	0,99	0,96
R243	482	0,99	0,96
R244	92	0,98	0,96
R245	48	1,28	1,00
R246	48	1,28	1,00
R247	38	1,30	1,00
R248	38	1,30	1,00
R249	38	1,30	1,00
R250	37	1,29	1,00
R251	37	1,29	1,00
R252	37	1,29	1,00
R253	37	1,29	1,00
R254	37	1,29	1,00
R255	37	1,29	1,00
R256	42	1,95	1,00
R257	46	1,95	1,00
R258	348	1,27	1,00
R259	348	1,27	1,00

R260	348	1,27	1,00
R261	48	1,28	1,00
R262	48	1,28	1,00
R263	38	1,30	1,00
R264	38	1,30	1,00
R265	38	1,30	1,00
R266	37	1,29	1,00
R267	37	1,29	1,00
R268	37	1,29	1,00
R269	37	1,29	1,00
R270	37	1,29	1,00
R271	37	1,29	1,00
R272	42	1,95	1,00
R273	46	1,95	1,00
R274	348	1,27	1,00
R275	348	1,27	1,00
R276	348	1,27	1,00
R277	315	0,97	0,95
R278	316	0,97	0,95
R279	317	0,96	0,95
R280	319	0,96	0,95
R281	320	0,96	0,95
R282	321	0,96	0,95
R283	315	0,96	0,95
R284	316	0,96	0,95
R285	317	0,96	0,95
R286	319	0,96	0,95
R287	320	0,96	0,95
R288	321	0,96	0,95
R289	315	0,96	0,95
R290	316	0,96	0,95
R291	315	0,96	0,95
R292	316	0,96	0,95
R293	349	1,86	1,70
R294	349	1,86	1,70
R295	349	1,86	1,70
R296	349	1,86	1,70
R297	340	1,60	1,35
R298	341	1,50	1,35
R299	342	1,50	1,35
R300	328	1,50	1,35
R301	329	1,30	0,70
R302	330	1,30	0,70
R303	332	0,80	0,70
R304	332	0,80	0,70
R305	117	0,99	0,72

R306	121	1,00	0,72
R307	140	0,74	0,72
R308	140	0,74	0,72
R309	141	0,74	0,72
R310	141	0,74	0,72
R311	58	0,75	0,72
R312	58	0,75	0,72
R313	347	1,60	1,47
R314	264	1,52	1,47
R315	264	1,52	1,47
R316	265	1,52	1,47
R317	265	1,52	1,47
R318	267	1,50	1,47
R319	267	1,50	1,47
R320	267	1,50	1,47
R321	267	1,50	1,43
R322	267	1,50	1,43
R323	422	1,64	1,43
R324	422	1,64	1,43
R325	267	1,54	1,43
R326	278	1,64	1,43
R327	333	1,64	1,43
R328	333	1,64	1,43
R329	257+262	2,00	1,88
R330	369+370	2,00	1,88
R331	303+304	2,00	1,88
R332	119	1,98	1,88
R333	119	1,98	1,88
R334	120	1,98	1,88
R335	98+99	2,00	1,88
R336	91+73	2,00	1,88
R337	202+190	3,95	3,83
R338	191+183	3,95	3,83
R339	309	3,97	3,83
R340	377+307	3,97	3,83
R341	383+387	3,42	3,33
R342	381+388	3,42	3,33
R343	384+385	3,42	3,33
R344	382+386	3,42	3,33
R345	34	1,55	1,50
R346	35	1,55	1,50
R347	59	1,95	1,50
R348	59	1,95	1,50
R349	331	1,60	1,50
R350	86	1,64	1,50
R351	184	1,94	1,50



R352	123	1,50	1,50
R353	299	1,40	1,05
R354	301	1,40	1,05
R355	280	1,40	1,05
R356	282	1,40	1,05
R357	229	1,40	1,05
R358	230	1,40	1,05
R359	294	1,40	1,05
R360	287	1,40	1,05
R361	253	1,65	1,65
R362	258	1,65	1,65
R363	279	1,40	1,32
R364	281	1,40	1,32
R365	254	0,50	0,50
R366	254	0,50	0,50
R367	256	1,00	1,00
R368	261	1,00	1,00
R369			
R370	245+247+302	4,20	3,25
R371			
R372			
R373	227+284+286	4,20	3,25
R374			
R375			
R376	233+291+293	4,20	3,25
R377			
R378			
R379	296+298+300	4,20	3,25
R380			
R381	465+466	3,90	3,46
R382	467+468	3,90	3,46
R383	469+470	3,90	3,46
R384	471+472	3,90	3,46
R385	361	1,60	1,38
R386	314	1,64	1,38
R387	237	1,40	1,38
R388	123	1,50	1,38
R389	87	1,64	1,64
R390	64	1,64	1,64
R391	63	1,64	1,64
R392	65	1,64	1,64
R393	361	0,40	0,40
R394	461	0,50	0,40
R395	460	0,50	0,40
R396	459	0,50	0,40
R398	94	0,82	0,80

R398	103	0,98	0,80
R399	94	0,82	0,80
R400	103	0,98	0,80
R401	118	1,95	1,50
R402	118	1,95	1,50
R403	271	1,98	1,50
R404	271	1,98	1,50
R405	255	1,65	1,50
R406	278	1,65	1,50
R407	36	1,55	1,50
R408	177	1,50	1,50
R409	177	1,50	1,50
R410	177	1,50	1,50
R411	177	1,50	1,50
R412	337	1,60	1,50
R413	318	1,64	1,05
R414	207	1,30	1,05
R415	207	1,30	1,05
R416	145	1,28	1,05
R417	145	1,28	1,05
R418	53	1,28	1,05
R419	102	1,47	1,05
R420	102	1,47	1,05
R421			
R422	185+246+248	4,30	4,25
R423			
R424			
R425	228+285+196	4,30	4,25
R426			
R427			
R428	235+292+195	4,30	4,25
R429			
R430			
R431	194+200+297	4,30	4,25
R432			
R433	266	2,60	1,88
R434	62	1,90	1,88
R435	153	2,00	1,60
R436	153	2,00	1,60
R437	445	0,50	0,50
R438	446	0,50	0,50
R439	192	1,00	1,00
R440	168	1,00	1,00
R441	350	5,10	4,42
R442	213	5,10	4,42
R443	358+5	5,12	4,42

R444	164+208	4,70	4,42
R445	450	0,50	0,40
R446	451	0,50	0,40
R447	452	0,50	0,40
R448	453	0,50	0,40
R449	365	1,00	0,80
R450	366	1,00	0,80
R451	367	1,00	0,80
R452	368	1,00	0,80
R453	318	1,64	1,64
R454	105	1,64	1,64
R455	106	1,64	1,64
R456	107	1,64	1,64
R457	71+72	2,00	1,87
R458	153	2,00	1,87
R459	153	2,00	1,87
R460	89+90	2,00	1,87
R461	88	1,64	1,50
R462	66	2,00	1,50
R463	93	2,00	1,50
R464	93	2,00	1,50
R465	93	2,00	1,50
R466	93	2,00	1,50
R467	57	1,50	1,50
R468	57	1,50	1,50
R469	94	1,64	1,05
R470	154	1,11	1,05
R471	154	1,11	1,05
R472	154	1,11	1,05
R473	154	1,11	1,05
R474	154	1,11	1,05
R475	154	1,11	1,05
R476	154	1,11	1,05
R477	273	2,00	1,50
R478	273	2,00	1,50
R479	274	2,60	1,50
R480	274	2,60	1,50
R481	344	2,60	2,25
R482			
R483	344	2,60	2,25
R484			
R485	137	2,93	2,25
R486			
R487	137	2,93	2,25
R488			
R489	214	2,60	1,60

R490	214	2,60	1,60
R491	124	0,99	0,75
R492	124	0,99	0,75
R493	317	0,88	0,45
R494	319	0,88	0,45
R495	320	0,88	0,45
R496	321	0,88	0,45
R497	354+345	1,50	1,48
R498	339+346	1,50	1,49
R499	186	1,50	1,49
R500	187	1,50	1,49
R501			
R502			
R503			
R504			
R505			
R506			
R507			
R508	8+359+216	21,20	21,15
R509			
R510			
R511			
R512			
R513			
R514			
R515			
R516			
R517			
R518			
R519			
R520			
R521			
R522			
R523			
R524	325+12+352	21,20	21,15
R525			
R526			
R527			
R528			
R529			
R530			
R531			
R532			
R533			
R534			
R535			

R536			
R537			
R538			
R539	29+21+351	21,20	21,15
R540			
R541			
R542			
R543			
R544			
R545			
R546			
R547			
R548			
R549			
R550			
R551			
R552			
R553			
R554	215+126+224	21,20	21,15
R555			
R556			
R557			
R558			
R559			
R560			
R561			
R562			
R563			
R564	326+362	9,10	8,90
R565			
R566			
R567			
R568			
R569			
R570			
R571	13	9,00	8,90
R572			
R573			
R574			
R575			
R576			
R577			
R578	15	9,00	8,90
R579			
R580			
R581			

R582			
R583			
R584			
R585	18	9,00	8,90
R586			
R587			
R588			
R589			
R590	26	3,30	2,71
R591			
R592			
R593	151	5,10	2,71
R594			
R595			
R596	31	5,00	2,71
R597			
R598			
R599	32	5,00	2,71
R600			
R601	197	1,00	1,00
R602	207	1,00	1,00
R603	2	1,21	1,00
R604	3	1,21	1,00
R605	317	0,63	0,63
R606	319	0,63	0,63
R607	320	0,63	0,63
R608	321	0,63	0,63
R609	317	0,40	0,40
R610	319	0,40	0,40
R611	320	0,40	0,40
R612	321	0,40	0,40
R613	6	2,60	2,42
R614	6	2,60	2,42
R615	211	2,60	2,42
R616	211	2,60	2,42

Πίνακας 41 Επεξήγηση Χρωμάτων

SHS50/5
SHS60/5
SHS60/6
L60/6
2L60/6
L50/5
RHS65X84
RHS120X110



# 16 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ: ΕΚΜΕΤΑΛΛΕΥΣΕΙΣ ΜΕΛΩΝ ΠΥΛΩΝΑ

TABLE: Steel Design 1 - Summary Data - Eurocode 3-2005									
Frame	DesignSect	DesignType	Status	Ratio	RatioType	Combo	Location	ErrMsg	WarnMsg
Text	Text	Text	Text	Unitless	Text	Text	m	Text	Text
R501	RHS120X110	Column	No Messages	0,775669	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,75519	No Messages	No Messages
R546	RHS120X110	Column	No Messages	0,775687	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,75519	No Messages	No Messages
R516	RHS120X110	Column	No Messages	0,7759	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,75519	No Messages	No Messages
R531	RHS120X110	Column	No Messages	0,775875	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,75519	No Messages	No Messages
R502	RHS120X110	Column	No Messages	0,691344	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,73037	No Messages	No Messages
R547	RHS120X110	Column	No Messages	0,691428	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,73037	No Messages	No Messages
R517	RHS120X110	Column	No Messages	0,69182	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,73037	No Messages	No Messages
R532	RHS120X110	Column	No Messages	0,691879	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,73037	No Messages	No Messages
R503	RHS120X110	Column	No Messages	0,629253	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R548	RHS120X110	Column	No Messages	0,629625	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,70471	No Messages	No Messages
R518	RHS120X110	Column	No Messages	0,62986	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R533	RHS120X110	Column	No Messages	0,629825	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R504	RHS120X110	Column	No Messages	0,600578	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,67947	No Messages	No Messages
R549	RHS120X110	Column	No Messages	0,599709	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R519	RHS120X110	Column	No Messages	0,600884	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0,67947	No Messages	No Messages
R534	RHS120X110	Column	No Messages	0,601029	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0,67947	No Messages	No Messages
R505	RHS120X110	Column	No Messages	0,561278	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,65464	No Messages	No Messages
R550	RHS120X110	Column	No Messages	0,565728	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,65464	No Messages	No Messages
R520	RHS120X110	Column	No Messages	0,562068	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0,65464	No Messages	No Messages
R535	RHS120X110	Column	No Messages	0,562201	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0,65464	No Messages	No Messages
R506	RHS120X110	Column	No Messages	0,528421	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,62939	No Messages	No Messages
R551	RHS120X110	Column	No Messages	0,528313	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,62939	No Messages	No Messages
R530	RHS120X110	Column	No Messages	0,528539	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0,62939	No Messages	No Messages
R536	RHS120X110	Column	No Messages	0,528891	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0,62939	No Messages	No Messages
R507	RHS120X110	Column	No Messages	0,482349	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	1,2083	No Messages	No Messages
R552	RHS120X110	Column	No Messages	0,483627	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,60415	No Messages	No Messages
R521	RHS120X110	Column	No Messages	0,483784	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	1,2083	No Messages	No Messages
R537	RHS120X110	Column	No Messages	0,481083	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0,60415	No Messages	No Messages

R561	RHS120X110	Column	No Messages	0,384048	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R588	RHS120X110	Column	No Messages	0,383917	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R568	RHS120X110	Column	No Messages	0,38213	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R575	RHS120X110	Column	No Messages	0,381608	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R562	RHS120X110	Column	No Messages	0,28871	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R582	RHS120X110	Column	No Messages	0,288115	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R569	RHS120X110	Column	No Messages	0,289443	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R576	RHS120X110	Column	No Messages	0,288668	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R563	RHS120X110	Column	No Messages	0,200857	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R583	RHS120X110	Column	No Messages	0,201194	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R570	RHS120X110	Column	No Messages	0,201266	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R577	RHS120X110	Column	No Messages	0,201358	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R564	RHS120X110	Column	No Messages	0,139706	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R584	RHS120X110	Column	No Messages	0,13892	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,6	No Messages	No Messages
R571	RHS120X110	Column	No Messages	0,137851	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,6	No Messages	No Messages
R578	RHS120X110	Column	No Messages	0,137437	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,6	No Messages	No Messages
R565	RHS120X110	Column	No Messages	0,091324	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R585	RHS120X110	Column	No Messages	0,090801	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R572	RHS120X110	Column	No Messages	0,091983	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R579	RHS120X110	Column	No Messages	0,091585	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R566	RHS120X110	Column	No Messages	0,052068	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R586	RHS120X110	Column	No Messages	0,051363	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R573	RHS120X110	Column	No Messages	0,052692	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R580	RHS120X110	Column	No Messages	0,053269	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R567	RHS120X110	Column	No Messages	0,034217	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,9	No Messages	No Messages
R587	RHS120X110	Column	No Messages	0,034131	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,9	No Messages	No Messages
R574	RHS120X110	Column	No Messages	0,03217	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,9	No Messages	No Messages
R581	RHS120X110	Column	No Messages	0,032957	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,9	No Messages	No Messages
R589	RHS120X110	Brace	No Messages	0,020747	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R598	RHS120X110	Brace	No Messages	0,030679	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R592	RHS120X110	Brace	No Messages	0,032574	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R595	RHS120X110	Brace	No Messages	0,034975	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R590	RHS120X110	Brace	No Messages	0,013726	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,54371	No Messages	No Messages
R599	RHS120X110	Brace	No Messages	0,016618	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R593	RHS120X110	Brace	No Messages	0,013559	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R596	RHS120X110	Brace	No Messages	0,014693	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R591	RHS120X110	Brace	No Messages	0,006397	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R600	RHS120X110	Brace	No Messages	0,007935	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R594	RHS120X110	Brace	No Messages	0,008714	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R597	RHS120X110	Brace	No Messages	0,006762	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R337	SHS60X60X5	Beam	No Messages	0,486933	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	1,915	No Messages	No Messages
R338	SHS60X60X5	Beam	No Messages	0,484547	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	1,915	No Messages	No Messages
R339	SHS60X60X5	Beam	No Messages	0,439187	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0,9575	No Messages	No Messages
R340	SHS60X60X5	Beam	No Messages	0,435009	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	1,915	No Messages	No Messages
R341	SHS60X60X5	Beam	No Messages	0,328205	PMM	1,1G+1,4WY	1,665	No Messages	No Messages
R342	SHS60X60X5	Beam	No Messages	0,326424	PMM	1,1G-1,4WY	1,665	No Messages	No Messages

R343	SHS60X60X5	Beam	No Messages	0,428743	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R344	SHS60X60X5	Beam	No Messages	0,429325	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R345	L60X6	Beam	No Messages	0,514261	PMM	G+Qba,11+0,2WX	0	No Messages	No Messages
R346	L60X6	Beam	No Messages	0,52977	PMM	G+Qba,22-0,2WX	1,5	No Messages	No Messages
R347	L60X6	Beam	No Messages	0,25135	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R352	L60X6	Beam	No Messages	0,527936	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,5	No Messages	No Messages
R348	L60X6	Beam	No Messages	0,520263	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,5	No Messages	No Messages
R349	L60X6	Beam	No Messages	0,312435	PMM	1,1G+1,4WX	0	No Messages	No Messages
R350	L60X6	Beam	No Messages	0,312706	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R401	L60X6	Beam	No Messages	0,311807	PMM	1,1G+1,4WY	1,5	No Messages	No Messages
R402	L60X6	Beam	No Messages	0,3376	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,5	No Messages	No Messages
R403	L60X6	Beam	No Messages	0,340108	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R404	L60X6	Beam	No Messages	0,362734	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R405	L60X6	Beam	No Messages	0,154658	PMM	1,1G+1,4WY	1,5	No Messages	No Messages
R406	L60X6	Beam	No Messages	0,171061	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R407	L60X6	Beam	No Messages	0,35937	PMM	G+Qba,22-0,2WY	0	No Messages	No Messages
R408	L60X6	Beam	No Messages	0,343975	PMM	G+Qba,11+0,2WX	1,5	No Messages	No Messages
R409	L60X6	Beam	No Messages	0,191619	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1	No Messages	No Messages
R410	L60X6	Beam	No Messages	0,209478	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R411	L60X6	Beam	No Messages	0,260185	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	1,5	No Messages	No Messages
R412	L60X6	Beam	No Messages	0,230833	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1,5	No Messages	No Messages
R464	L60X6	Beam	No Messages	0,106313	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	1,5	No Messages	No Messages
R463	L60X6	Beam	No Messages	0,131134	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R462	L60X6	Beam	No Messages	0,175347	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	1,5	No Messages	No Messages
R461	L60X6	Beam	No Messages	0,183141	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	1,5	No Messages	No Messages
R465	L60X6	Beam	No Messages	0,098908	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R466	L60X6	Beam	No Messages	0,093407	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R467	L60X6	Beam	No Messages	0,186223	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R468	L60X6	Beam	No Messages	0,168949	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1,5	No Messages	No Messages
R477	L60X6	Beam	No Messages	0,12756	PMM	1,1G+1,4WY	0	No Messages	No Messages
R478	L60X6	Beam	No Messages	0,157105	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R479	L60X6	Beam	No Messages	0,144546	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	1,5	No Messages	No Messages
R480	L60X6	Beam	No Messages	0,1289	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	1,5	No Messages	No Messages
R601	L60X6	Beam	No Messages	0,051781	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0,68667	No Messages	No Messages
R602	L60X6	Beam	No Messages	0,055687	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0,68667	No Messages	No Messages
R603	L60X6	Beam	No Messages	0,09014	PMM	1,1G-1,4WY	1,03	No Messages	No Messages
R604	L60X6	Beam	No Messages	0,064722	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R605	L50X5	Beam	No Messages	0,041393	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,315	No Messages	No Messages
R606	L50X5	Beam	No Messages	0,03545	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,315	No Messages	No Messages
R607	L50X5	Beam	No Messages	0,054388	PMM	1,1G-1,4WY	0,63	No Messages	No Messages
R608	L50X5	Beam	No Messages	0,064189	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,63	No Messages	No Messages
R609	L50X5	Beam	No Messages	0,032008	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,4	No Messages	No Messages
R610	L50X5	Beam	No Messages	0,029646	PMM	G+Qba,22-0,2WY	0,4	No Messages	No Messages
R611	L50X5	Beam	No Messages	0,061288	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,4	No Messages	No Messages
R612	L50X5	Beam	No Messages	0,072487	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,4	No Messages	No Messages
R45	L60X6	Beam	No Messages	0,879334	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages

R46	L60X6	Beam	No Messages	0,880657	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	3,04056	No Messages	No Messages
R47	L60X6	Beam	No Messages	0,877072	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	3,04056	No Messages	No Messages
R48	L60X6	Beam	No Messages	0,880314	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R11	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,313086	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R12	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,336324	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R13	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,335981	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	2,52881	No Messages	No Messages
R9	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,311303	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	2,52881	No Messages	No Messages
R14	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,320302	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R15	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,348824	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R16	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,349797	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	2,52881	No Messages	No Messages
R17	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,318108	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	2,52881	No Messages	No Messages
R18	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,316711	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R19	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,336627	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R10	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,337057	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	2,52881	No Messages	No Messages
R20	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,312263	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	2,52881	No Messages	No Messages
R21	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,318872	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R22	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,350687	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R23	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,35067	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	2,52881	No Messages	No Messages
R24	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,317533	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	2,52881	No Messages	No Messages
R25	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,228195	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R26	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,284294	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R27	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,28457	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	2,33874	No Messages	No Messages
R28	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,228383	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	2,33874	No Messages	No Messages
R29	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,243771	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R30	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,276623	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R31	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,276636	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	2,33874	No Messages	No Messages
R32	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,243109	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	2,33874	No Messages	No Messages
R33	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,226459	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	2,33874	No Messages	No Messages
R34	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,226742	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R35	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,282493	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R36	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,282243	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	2,33874	No Messages	No Messages
R37	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,243647	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	2,33874	No Messages	No Messages
R38	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,243661	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R39	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,277062	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R40	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,277057	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	2,33874	No Messages	No Messages
R53	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,165809	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R54	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,164971	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	1,78116	No Messages	No Messages
R293	L50X5	Brace	No Messages	0,256446	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R297	L50X5	Brace	No Messages	0,16466	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R301	L50X5	Brace	No Messages	0,044038	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,69351	No Messages	No Messages
R294	L50X5	Brace	No Messages	0,257145	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R298	L50X5	Brace	No Messages	0,16234	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R302	L50X5	Brace	No Messages	0,042481	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R295	L50X5	Brace	No Messages	0,255681	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R299	L50X5	Brace	No Messages	0,202709	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R303	L50X5	Brace	No Messages	0,043274	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,69351	No Messages	No Messages

R304	L50X5	Brace	No Messages	0,04259	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R300	L50X5	Brace	No Messages	0,16234	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R296	L50X5	Brace	No Messages	0,275696	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	1,69276	No Messages	No Messages
R351	L60X6	Beam	No Messages	0,31317	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R508	RHS120X110	Column	Overstressed	0,997985	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R509	RHS120X110	Column	Overstressed	0,996027	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R510	RHS120X110	Column	No Messages	0,902709	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,67175	No Messages	No Messages
R522	RHS120X110	Column	Overstressed	0,998043	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R523	RHS120X110	Column	Overstressed	0,996092	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R524	RHS120X110	Column	No Messages	0,902781	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,67175	No Messages	No Messages
R554	RHS120X110	Column	Overstressed	0,997277	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R555	RHS120X110	Column	Overstressed	0,99495	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R556	RHS120X110	Column	No Messages	0,906467	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,67175	No Messages	No Messages
R538	RHS120X110	Column	Overstressed	0,997952	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R539	RHS120X110	Column	Overstressed	0,996006	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R55	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,165284	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R56	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,165912	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	1,78116	No Messages	No Messages
R305	L50X5	Beam	No Messages	0,11868	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R329	L60X6	Brace	No Messages	0,230734	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R306	L50X5	Beam	No Messages	0,116425	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R313	L50X5	Brace	No Messages	0,407748	PMM	1,1G+1,4WY	0	No Messages	No Messages
R321	L50X5	Beam	No Messages	0,197943	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R330	L60X6	Brace	No Messages	0,230161	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R307	L50X5	Beam	No Messages	0,105771	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R314	L50X5	Brace	No Messages	0,375582	PMM	1,1G+1,4WX	0	No Messages	No Messages
R322	L50X5	Beam	No Messages	0,198064	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R331	L60X6	Brace	No Messages	0,230157	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R308	L50X5	Beam	No Messages	0,105768	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R315	L50X5	Brace	No Messages	0,375559	PMM	1,1G+1,4WX	0	No Messages	No Messages
R323	L50X5	Beam	No Messages	0,198141	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R332	L60X6	Brace	No Messages	0,235373	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R309	L50X5	Beam	No Messages	0,118684	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R316	L50X5	Brace	No Messages	0,414775	PMM	1,1G-1,4WY	0	No Messages	No Messages
R324	L50X5	Beam	No Messages	0,198976	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R333	L60X6	Brace	No Messages	0,230727	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R310	L50X5	Beam	No Messages	0,118671	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R317	L50X5	Brace	No Messages	0,41474	PMM	1,1G-1,4WY	0	No Messages	No Messages
R325	L50X5	Beam	No Messages	0,199023	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,95556	No Messages	No Messages
R334	L60X6	Brace	No Messages	0,235877	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R311	L50X5	Beam	No Messages	0,105729	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R318	L50X5	Brace	No Messages	0,368901	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R326	L50X5	Beam	No Messages	0,198159	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R335	L60X6	Brace	No Messages	0,230214	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R312	L50X5	Beam	No Messages	0,104288	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R319	L50X5	Brace	No Messages	0,36426	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R327	L50X5	Beam	No Messages	0,197359	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages

R336	L60X6	Brace	No Messages	0,23495	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R328	L50X5	Beam	No Messages	0,198999	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R320	L50X5	Brace	No Messages	0,414789	PMM	1,1G+1,4WY	1,46676	No Messages	No Messages
R177	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,174675	PMM	G+Qba,21+0,2WX	1,00125	No Messages	No Messages
R178	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,17389	PMM	G+Qba,22-0,2WX	0	No Messages	No Messages
R179	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,158171	PMM	G+Qba,12-0,2WX	0	No Messages	No Messages
R180	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,158178	PMM	G+Qba,11+0,2WX	1,00125	No Messages	No Messages
R1	RHS65X84	Brace	No Messages	0,316832	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R8	RHS65X84	Brace	No Messages	0,318232	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	4,72996	No Messages	No Messages
R3	RHS65X84	Brace	No Messages	0,34857	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R2	RHS65X84	Brace	No Messages	0,34823	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	4,72996	No Messages	No Messages
R4	RHS65X84	Brace	No Messages	0,318025	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R5	RHS65X84	Brace	No Messages	0,317111	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	4,72996	No Messages	No Messages
R6	RHS65X84	Brace	No Messages	0,348008	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R7	RHS65X84	Brace	No Messages	0,34766	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	4,72996	No Messages	No Messages
R511	RHS120X110	Column	Overstressed	0,993398	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,75459	No Messages	No Messages
R512	RHS120X110	Column	No Messages	0,932459	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,75459	No Messages	No Messages
R557	RHS120X110	Column	Overstressed	0,996181	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,75459	No Messages	No Messages
R558	RHS120X110	Column	No Messages	0,930776	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R525	RHS120X110	Column	Overstressed	0,993482	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,75459	No Messages	No Messages
R526	RHS120X110	Column	No Messages	0,932439	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,75459	No Messages	No Messages
R540	RHS120X110	Column	Overstressed	0,993307	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,75459	No Messages	No Messages
R541	RHS120X110	Column	No Messages	0,932385	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,75459	No Messages	No Messages
R513	RHS120X110	Column	No Messages	0,921343	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R514	RHS120X110	Column	No Messages	0,768948	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,75519	No Messages	No Messages
R559	RHS120X110	Column	No Messages	0,930224	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R560	RHS120X110	Column	No Messages	0,773049	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R542	RHS120X110	Column	No Messages	0,921433	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R543	RHS120X110	Column	No Messages	0,767545	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R515	RHS120X110	Column	No Messages	0,853561	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,78002	No Messages	No Messages
R553	RHS120X110	Column	No Messages	0,852874	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,78002	No Messages	No Messages
R527	RHS120X110	Column	No Messages	0,853682	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,78002	No Messages	No Messages
R544	RHS120X110	Column	No Messages	0,853621	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,78002	No Messages	No Messages
R545	RHS120X110	Column	No Messages	0,902657	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,67175	No Messages	No Messages
R528	RHS120X110	Column	No Messages	0,921486	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R529	RHS120X110	Column	No Messages	0,769619	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R181	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,245092	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,96047	No Messages	No Messages
R182	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,24524	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R183	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,195084	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,96047	No Messages	No Messages
R184	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,194047	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R185	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,24813	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0,96047	No Messages	No Messages
R186	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,249035	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R187	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,251394	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R188	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,252646	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R197	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,247367	PMM	G+Qba,12-0,2WX	1,02591	No Messages	No Messages
R198	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,247916	PMM	G+Qba,12-0,2WX	0	No Messages	No Messages



R199	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,249313	PMM	G+Qba,22-0,2WX	0	No Messages	No Messages
R200	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,248946	PMM	G+Qba,22-0,2WX	0,51296	No Messages	No Messages
R201	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,24716	PMM	G+Qba,11+0,2WX	0	No Messages	No Messages
R202	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,247815	PMM	G+Qba,11+0,2WX	0,51296	No Messages	No Messages
R203	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,247752	PMM	G+Qba,21+0,2WX	0	No Messages	No Messages
R204	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,247855	PMM	G+Qba,21+0,2WX	0,51296	No Messages	No Messages
R229	L60X6	Brace	No Messages	0,652038	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R230	L60X6	Brace	No Messages	0,64707	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R231	L60X6	Brace	No Messages	0,665782	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R232	L60X6	Brace	No Messages	0,658803	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R233	L60X6	Brace	No Messages	0,640386	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R234	L60X6	Brace	No Messages	0,632805	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R235	L60X6	Brace	No Messages	0,639217	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R236	L60X6	Brace	No Messages	0,633915	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R245	L60X6	Brace	No Messages	0,455696	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R246	L60X6	Brace	No Messages	0,449991	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R247	L60X6	Brace	No Messages	0,458216	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R248	L60X6	Brace	No Messages	0,450851	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R249	L60X6	Brace	No Messages	0,450612	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R250	L60X6	Brace	No Messages	0,443229	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R251	L60X6	Brace	No Messages	0,446751	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R252	L60X6	Brace	No Messages	0,44155	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R277	L50X5	Brace	No Messages	0,35251	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,87464	No Messages	No Messages
R278	L50X5	Brace	No Messages	0,347833	PMM	1,1G+1,4WY	0	No Messages	No Messages
R279	L50X5	Brace	No Messages	0,353278	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,87464	No Messages	No Messages
R280	L50X5	Brace	No Messages	0,353364	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R281	L50X5	Brace	No Messages	0,338577	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,87464	No Messages	No Messages
R282	L50X5	Brace	No Messages	0,338811	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R283	L50X5	Brace	No Messages	0,354418	PMM	1,1G-1,4WY	0,87464	No Messages	No Messages
R284	L50X5	Brace	No Messages	0,345539	PMM	1,1G-1,4WY	0	No Messages	No Messages
R413	L60X6	Beam	No Messages	0,439683	PMM	G+Qba,22+0,2S	0	No Messages	No Messages
R414	L60X6	Beam	No Messages	0,436632	PMM	G+Qba,22+0,2S	0	No Messages	No Messages
R415	L60X6	Beam	No Messages	0,436205	PMM	G+Qba,21+0,2S	0	No Messages	No Messages
R416	L60X6	Beam	No Messages	0,438734	PMM	G+Qba,21+0,2S	0	No Messages	No Messages
R417	L60X6	Beam	No Messages	0,299323	PMM	G+Qba,22+0,2S	0	No Messages	No Messages
R418	L60X6	Beam	No Messages	0,304049	PMM	G+Qba,22+0,2S	0	No Messages	No Messages
R419	L60X6	Beam	No Messages	0,302205	PMM	G+Qba,21+0,2S	0	No Messages	No Messages
R420	L60X6	Beam	No Messages	0,29722	PMM	G+Qba,21+0,2S	0	No Messages	No Messages
R469	L60X6	Beam	No Messages	0,185893	PMM	1,1G+1,4S+0,9WY	0	No Messages	No Messages
R470	L60X6	Beam	No Messages	0,179699	PMM	1,1G+1,4S+0,9WX	1,06066	No Messages	No Messages
R471	L60X6	Beam	No Messages	0,191025	PMM	1,1G+1,4S-0,9WX	0	No Messages	No Messages
R472	L60X6	Beam	No Messages	0,184025	PMM	1,1G+1,4S+0,9WY	1,06066	No Messages	No Messages
R473	L60X6	Beam	No Messages	0,162623	PMM	1,1G+1,4S-0,9WY	1,06066	No Messages	No Messages
R474	L60X6	Beam	No Messages	0,16495	PMM	1,1G+1,4S-0,9WX	0	No Messages	No Messages
R475	L60X6	Beam	No Messages	0,164134	PMM	1,1G+1,4S-0,9WY	1,06066	No Messages	No Messages
R476	L60X6	Beam	No Messages	0,16237	PMM	1,1G+1,4S-0,9WY	0	No Messages	No Messages

R253	L60X6	Brace	No Messages	0,622112	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R254	L60X6	Brace	No Messages	0,614131	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0,51296	No Messages	No Messages
R205	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,26104	PMM	G+Qba,21+0,2WX	0	No Messages	No Messages
R206	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,260693	PMM	G+Qba,21+0,2WX	0	No Messages	No Messages
R207	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,261325	PMM	G+Qba,22-0,2WX	0	No Messages	No Messages
R208	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,260217	PMM	G+Qba,22-0,2WX	0	No Messages	No Messages
R209	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,261206	PMM	G+Qba,11+0,2WX	0	No Messages	No Messages
R210	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,259283	PMM	G+Qba,11+0,2WX	0	No Messages	No Messages
R211	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,260053	PMM	G+Qba,12-0,2WX	1,02591	No Messages	No Messages
R212	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,26025	PMM	G+Qba,12-0,2WX	1,02591	No Messages	No Messages
R255	L60X6	Brace	No Messages	0,621051	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R256	L60X6	Brace	No Messages	0,612954	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,51296	No Messages	No Messages
R257	L60X6	Brace	No Messages	0,621577	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R258	L60X6	Brace	No Messages	0,613353	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0,51296	No Messages	No Messages
R259	L60X6	Brace	No Messages	0,609801	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,51296	No Messages	No Messages
R260	L60X6	Brace	No Messages	0,617849	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	1,02591	No Messages	No Messages
R65	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,380755	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R69	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,379131	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R66	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,380447	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R70	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,378823	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R81	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,310074	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R82	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,308698	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R83	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,310251	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R84	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,308876	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R106	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,26317	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R107	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,262008	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R108	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,26305	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R109	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,261888	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R121	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,241206	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R122	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,240223	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R123	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,241431	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R124	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,240447	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R129	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,215545	PMM	G+Qba,21+0,2WX	0	No Messages	No Messages
R130	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,215072	PMM	G+Qba,21+0,2WX	0	No Messages	No Messages
R131	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,215463	PMM	G+Qba,22-0,2WX	0	No Messages	No Messages
R132	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,214989	PMM	G+Qba,22-0,2WX	0	No Messages	No Messages
R145	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,212283	PMM	G+Qba,21+0,2WX	0	No Messages	No Messages
R146	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,211879	PMM	G+Qba,21+0,2WX	0	No Messages	No Messages
R147	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,212068	PMM	G+Qba,22-0,2WX	1,15053	No Messages	No Messages
R148	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,212473	PMM	G+Qba,22-0,2WX	1,15053	No Messages	No Messages
R161	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,218917	PMM	G+Qba,22-0,2WX	1,04996	No Messages	No Messages
R162	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,219266	PMM	G+Qba,22-0,2WX	1,04996	No Messages	No Messages
R163	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,219202	PMM	G+Qba,21+0,2WX	1,04996	No Messages	No Messages
R164	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,219202	PMM	G+Qba,21+0,2WX	0	No Messages	No Messages
R165	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,219112	PMM	G+Qba,11+0,2WX	1,04996	No Messages	No Messages
R166	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,219461	PMM	G+Qba,11+0,2WX	1,04996	No Messages	No Messages

R167	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,218767	PMM	G+Qba,12-0,2WX	1,04996	No Messages	No Messages
R168	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,219116	PMM	G+Qba,12-0,2WX	1,04996	No Messages	No Messages
R149	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,211417	PMM	G+Qba,11+0,2WX	1,15053	No Messages	No Messages
R150	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,211821	PMM	G+Qba,11+0,2WX	1,15053	No Messages	No Messages
R151	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,211629	PMM	G+Qba,12-0,2WX	1,15053	No Messages	No Messages
R152	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,212034	PMM	G+Qba,12-0,2WX	1,15053	No Messages	No Messages
R133	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,214691	PMM	G+Qba,11+0,2WX	1,25545	No Messages	No Messages
R134	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,215165	PMM	G+Qba,11+0,2WX	1,25545	No Messages	No Messages
R135	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,214566	PMM	G+Qba,12-0,2WX	1,25545	No Messages	No Messages
R136	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,215039	PMM	G+Qba,12-0,2WX	1,25545	No Messages	No Messages
R125	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,237371	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1,36359	No Messages	No Messages
R126	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,238354	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1,36359	No Messages	No Messages
R127	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,237533	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	1,36359	No Messages	No Messages
R128	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,238517	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	1,36359	No Messages	No Messages
R110	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,259005	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1,4771	No Messages	No Messages
R111	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,260167	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1,4771	No Messages	No Messages
R112	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,260167	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R105	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,259005	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R85	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,305816	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1,59688	No Messages	No Messages
R86	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,307192	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1,59688	No Messages	No Messages
R87	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,307014	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R88	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,305638	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R71	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,375604	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1,71957	No Messages	No Messages
R67	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,377228	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1,71957	No Messages	No Messages
R68	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,377713	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R72	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,376089	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R169	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,20819	PMM	G+Qba,11-0,2WY	1,00125	No Messages	No Messages
R170	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,20819	PMM	G+Qba,11-0,2WY	0	No Messages	No Messages
R171	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,208108	PMM	G+Qba,21+0,2WY	0	No Messages	No Messages
R172	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,207782	PMM	G+Qba,21+0,2WY	0	No Messages	No Messages
R173	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,209181	PMM	G+Qba,12-0,2WY	0	No Messages	No Messages
R174	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,208855	PMM	G+Qba,12-0,2WY	0	No Messages	No Messages
R175	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,208557	PMM	G+Qba,22+0,2WY	1,00125	No Messages	No Messages
R176	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,208557	PMM	G+Qba,22+0,2WY	0	No Messages	No Messages
R189	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,249445	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,96047	No Messages	No Messages
R190	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,244296	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R191	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,249164	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,96047	No Messages	No Messages
R192	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,244491	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R193	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,251751	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,96047	No Messages	No Messages
R194	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,246389	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R213	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,253136	PMM	G+Qba,22-0,2WY	0	No Messages	No Messages
R214	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,254216	PMM	G+Qba,22-0,2WY	0	No Messages	No Messages
R215	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,253322	PMM	G+Qba,12+0,2WY	1,02591	No Messages	No Messages
R216	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,253826	PMM	G+Qba,12+0,2WY	0	No Messages	No Messages
R217	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,253485	PMM	G+Qba,21-0,2WY	1,02591	No Messages	No Messages
R218	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,254889	PMM	G+Qba,21-0,2WY	0	No Messages	No Messages

R219	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,253904	PMM	G+Qba,11+0,2WY	1,02591	No Messages	No Messages
R220	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,254603	PMM	G+Qba,11+0,2WY	0	No Messages	No Messages
R237	L60X6	Brace	No Messages	0,858758	PMM	G+Qba,22-0,2WY	0	No Messages	No Messages
R238	L60X6	Brace	No Messages	0,860061	PMM	G+Qba,22-0,2WY	0	No Messages	No Messages
R239	L60X6	Brace	No Messages	0,853175	PMM	G+Qba,12+0,2WY	0,96047	No Messages	No Messages
R240	L60X6	Brace	No Messages	0,853458	PMM	G+Qba,12+0,2WY	0	No Messages	No Messages
R241	L60X6	Brace	No Messages	0,851106	PMM	G+Qba,21-0,2WY	0,96047	No Messages	No Messages
R242	L60X6	Brace	No Messages	0,850944	PMM	G+Qba,21-0,2WY	0	No Messages	No Messages
R243	L60X6	Brace	No Messages	0,870506	PMM	G+Qba,11+0,2WY	0,96047	No Messages	No Messages
R244	L60X6	Brace	No Messages	0,86029	PMM	G+Qba,11+0,2WY	0	No Messages	No Messages
R261	L60X6	Brace	No Messages	0,526606	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R262	L60X6	Brace	No Messages	0,519681	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,51296	No Messages	No Messages
R263	L60X6	Brace	No Messages	0,524243	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R264	L60X6	Brace	No Messages	0,51721	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,51296	No Messages	No Messages
R265	L60X6	Brace	No Messages	0,522271	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R266	L60X6	Brace	No Messages	0,515206	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0,51296	No Messages	No Messages
R267	L60X6	Brace	No Messages	0,525807	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R268	L60X6	Brace	No Messages	0,519177	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,51296	No Messages	No Messages
R285	L50X5	Brace	No Messages	0,364476	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,87464	No Messages	No Messages
R286	L50X5	Brace	No Messages	0,34767	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R287	L50X5	Brace	No Messages	0,386668	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,87464	No Messages	No Messages
R288	L50X5	Brace	No Messages	0,360381	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R289	L50X5	Brace	No Messages	0,388853	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0,87464	No Messages	No Messages
R290	L50X5	Brace	No Messages	0,38936	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R291	L50X5	Brace	No Messages	0,352752	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,87464	No Messages	No Messages
R292	L50X5	Brace	No Messages	0,352517	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R353	L60X6	Beam	No Messages	0,228349	PMM	1,1G+1,4S+0,9WY	0	No Messages	No Messages
R354	L60X6	Beam	No Messages	0,245485	PMM	1,1G+1,4S+0,9WX	1,06066	No Messages	No Messages
R355	L60X6	Beam	No Messages	0,190684	PMM	1,1G+1,4S-0,9WX	0	No Messages	No Messages
R356	L60X6	Beam	No Messages	0,207446	PMM	1,1G+1,4S+0,9WY	1,06066	No Messages	No Messages
R357	L60X6	Beam	No Messages	0,16571	PMM	1,1G+1,4S-0,9WY	1,06066	No Messages	No Messages
R358	L60X6	Beam	No Messages	0,166885	PMM	1,1G+1,4S-0,9WY	0	No Messages	No Messages
R359	L60X6	Beam	No Messages	0,167452	PMM	1,1G+1,4S-0,9WY	1,06066	No Messages	No Messages
R360	L60X6	Beam	No Messages	0,166278	PMM	1,1G+1,4S-0,9WY	0	No Messages	No Messages
R57	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,43561	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R58	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,43385	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R59	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,43366	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	1,78116	No Messages	No Messages
R60	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,43542	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	1,78116	No Messages	No Messages
R73	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,350128	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R74	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,348632	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R75	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,35031	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R76	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,348814	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R89	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,286028	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R90	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,284765	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R91	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,285953	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R92	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,284689	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages

R97	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,260425	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R98	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,259358	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R99	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,259786	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R100	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,258719	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R113	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,225575	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R114	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,224669	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R115	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,225636	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R116	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,224731	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R137	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,202179	PMM	G+Qba,22+0,2WY	0	No Messages	No Messages
R138	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,201742	PMM	G+Qba,22+0,2WY	0	No Messages	No Messages
R153	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,198421	PMM	G+Qba,22+0,2WY	0	No Messages	No Messages
R154	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,198046	PMM	G+Qba,22+0,2WY	0	No Messages	No Messages
R117	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,223215	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	1,30884	No Messages	No Messages
R118	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,22412	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	1,30884	No Messages	No Messages
R101	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,258167	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	1,41858	No Messages	No Messages
R102	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,259234	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	1,41858	No Messages	No Messages
R93	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,283999	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	1,53583	No Messages	No Messages
R94	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,285263	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	1,53583	No Messages	No Messages
R77	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,347855	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	1,65814	No Messages	No Messages
R78	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,34935	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	1,65814	No Messages	No Messages
R61	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,433176	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	1,78116	No Messages	No Messages
R62	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,434936	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	1,78116	No Messages	No Messages
R63	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,434735	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R64	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,432975	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R79	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,349539	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R80	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,348044	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R95	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,285338	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R96	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,284075	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R103	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,259115	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R104	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,258048	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R119	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,223668	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R120	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,222762	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R139	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,201962	PMM	G+Qba,12-0,2WY	0	No Messages	No Messages
R140	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,201525	PMM	G+Qba,12-0,2WY	0	No Messages	No Messages
R141	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,201822	PMM	G+Qba,21+0,2WY	0	No Messages	No Messages
R142	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,201385	PMM	G+Qba,21+0,2WY	0	No Messages	No Messages
R143	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,201128	PMM	G+Qba,11-0,2WY	1,20234	No Messages	No Messages
R144	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,201566	PMM	G+Qba,11-0,2WY	1,20234	No Messages	No Messages
R155	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,198605	PMM	G+Qba,12-0,2WY	0	No Messages	No Messages
R156	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,19823	PMM	G+Qba,12-0,2WY	0	No Messages	No Messages
R157	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,198084	PMM	G+Qba,21+0,2WY	0	No Messages	No Messages
R158	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,197709	PMM	G+Qba,21+0,2WY	0	No Messages	No Messages
R159	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,197881	PMM	G+Qba,11-0,2WY	1,09904	No Messages	No Messages
R160	SHS60X60X5	Brace	No Messages	0,198256	PMM	G+Qba,11-0,2WY	1,09904	No Messages	No Messages
R221	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,230981	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	1,02591	No Messages	No Messages
R222	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,232409	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	1,02591	No Messages	No Messages

R223	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,227344	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	1,02591	No Messages	No Messages
R224	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,228642	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R225	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,229535	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	1,02591	No Messages	No Messages
R226	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,228261	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R227	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,233851	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	1,02591	No Messages	No Messages
R228	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,232882	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R269	L60X6	Brace	No Messages	0,541409	PMM	1,1G-1,4WY	1,02591	No Messages	No Messages
R270	L60X6	Brace	No Messages	0,548608	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	1,02591	No Messages	No Messages
R271	L60X6	Brace	No Messages	0,52955	PMM	1,1G+1,4WY	1,02591	No Messages	No Messages
R272	L60X6	Brace	No Messages	0,536442	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	1,02591	No Messages	No Messages
R273	L60X6	Brace	No Messages	0,550613	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R274	L60X6	Brace	No Messages	0,543537	PMM	1,1G+1,4WY	0	No Messages	No Messages
R275	L60X6	Brace	No Messages	0,534588	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R276	L60X6	Brace	No Messages	0,52764	PMM	1,1G-1,4WY	0	No Messages	No Messages
R41	SHS60X60X5	Beam	No Messages	0,109333	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	1,79167	No Messages	No Messages
R42	SHS60X60X5	Beam	No Messages	0,119684	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	1,79167	No Messages	No Messages
R43	SHS60X60X5	Beam	No Messages	0,100192	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	2,15	No Messages	No Messages
R44	SHS60X60X5	Beam	No Messages	0,120288	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1,79167	No Messages	No Messages
R49	L60X6	Beam	No Messages	0,18725	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	2,02704	No Messages	No Messages
R50	L60X6	Beam	No Messages	0,185867	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	2,02704	No Messages	No Messages
R51	L60X6	Beam	No Messages	0,183499	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	2,02704	No Messages	No Messages
R52	L60X6	Beam	No Messages	0,187282	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R491	L60X6	Beam	No Messages	0,038202	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R489	L60X6	Beam	No Messages	0,191002	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R497	L60X6	Brace	No Messages	0,144467	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R493	L50X5	Column	No Messages	0,02066	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R498	L60X6	Brace	No Messages	0,132436	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R494	L50X5	Column	No Messages	0,019892	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R481	L60X6	Beam	No Messages	0,182691	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R482	L60X6	Beam	No Messages	0,206186	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0,39528	No Messages	No Messages
R483	L60X6	Beam	No Messages	0,231521	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,79057	No Messages	No Messages
R484	L60X6	Beam	No Messages	0,207404	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	1,18585	No Messages	No Messages
R613	L60X6	Brace	No Messages	0,455835	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R614	L60X6	Brace	No Messages	0,459311	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	2,53673	No Messages	No Messages
R492	L60X6	Beam	No Messages	0,037749	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R490	L60X6	Beam	No Messages	0,189255	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R495	L50X5	Column	No Messages	0,022415	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R499	L60X6	Brace	No Messages	0,144467	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R500	L60X6	Brace	No Messages	0,144467	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R496	L50X5	Column	No Messages	0,020248	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R485	L60X6	Beam	No Messages	0,217381	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R486	L60X6	Beam	No Messages	0,194468	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R487	L60X6	Beam	No Messages	0,215668	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R488	L60X6	Beam	No Messages	0,226598	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,39528	No Messages	No Messages
R615	L60X6	Brace	No Messages	0,427674	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R616	L60X6	Brace	No Messages	0,479844	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages



R441	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,873129	PMM	G+Qba,11+0,2WX	2,98626	No Messages	No Messages
R442	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,873323	PMM	G+Qba,12-0,2WX	4,4794	No Messages	No Messages
R449	L60X6	Column	No Messages	0,296817	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R457	L60X6	Brace	No Messages	0,171955	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1,87335	No Messages	No Messages
R450	L60X6	Column	No Messages	0,344827	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R458	L60X6	Brace	No Messages	0,154179	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R433	L60X6	Beam	No Messages	0,373679	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1,8893	No Messages	No Messages
R437	L60X6	Beam	No Messages	0,491827	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R445	L60X6	Column	No Messages	0,356524	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R446	L60X6	Column	No Messages	0,271974	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R453	L60X6	Brace	No Messages	0,188541	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R454	L60X6	Brace	No Messages	0,164691	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R435	L60X6	Beam	No Messages	0,3024	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	1,20221	No Messages	No Messages
R439	L60X6	Beam	No Messages	0,310427	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1	No Messages	No Messages
R443	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,875883	PMM	G+Qba,21+0,2WX	4,4794	No Messages	No Messages
R444	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,868794	PMM	G+Qba,22-0,2WX	4,4794	No Messages	No Messages
R451	L60X6	Column	No Messages	0,210372	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R459	L60X6	Brace	No Messages	0,179562	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R460	L60X6	Brace	No Messages	0,157844	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	1,87335	No Messages	No Messages
R434	L60X6	Beam	No Messages	0,392381	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R436	L60X6	Beam	No Messages	0,314631	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R440	L60X6	Beam	No Messages	0,250262	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R438	L60X6	Beam	No Messages	0,3702	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0,5	No Messages	No Messages
R447	L60X6	Column	No Messages	0,295766	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R448	L60X6	Column	No Messages	0,318334	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R455	L60X6	Brace	No Messages	0,177711	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R456	L60X6	Brace	No Messages	0,16979	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,82302	No Messages	No Messages
R452	L60X6	Column	No Messages	0,364048	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,8	No Messages	No Messages
R381	SHS50X50X5	Brace	No Messages	0,256261	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R382	SHS50X50X5	Brace	No Messages	0,257774	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R390	L60X6	Brace	No Messages	0,177701	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R397	L60X6	Column	No Messages	0,04158	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0,8	No Messages	No Messages
R385	L60X6	Brace	No Messages	0,124531	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R393	L60X6	Column	No Messages	0,011653	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R389	L60X6	Brace	No Messages	0,19257	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R398	L60X6	Column	No Messages	0,03883	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0,8	No Messages	No Messages
R386	L60X6	Brace	No Messages	0,133434	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R394	L60X6	Column	No Messages	0,011668	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R361	L60X6	Beam	No Messages	0,228731	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R364	L60X6	Beam	No Messages	0,130977	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R365	L60X6	Beam	No Messages	0,007134	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R367	L60X6	Beam	No Messages	0,047207	PMM	1,1G+1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R383	SHS50X50X5	Brace	No Messages	0,254726	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R384	SHS50X50X5	Brace	No Messages	0,256069	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R395	L60X6	Column	No Messages	0,011259	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R387	L60X6	Brace	No Messages	0,124537	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages

R399	L60X6	Column	No Messages	0,039239	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0,8	No Messages	No Messages
R391	L60X6	Brace	No Messages	0,177688	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R363	L60X6	Beam	No Messages	0,131086	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1,33294	No Messages	No Messages
R368	L60X6	Beam	No Messages	0,047201	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R362	L60X6	Beam	No Messages	0,22872	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	1,66446	No Messages	No Messages
R396	L60X6	Column	No Messages	0,011657	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R388	L60X6	Brace	No Messages	0,133505	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R400	L60X6	Column	No Messages	0,038836	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0,8	No Messages	No Messages
R392	L60X6	Brace	No Messages	0,192654	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R366	L60X6	Beam	No Messages	0,007136	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R195	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,252263	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R196	SHS60X60X6	Brace	No Messages	0,245837	PMM	1,1G-1,4WY+0,7S	0	No Messages	No Messages
R421	L60X6	Beam	No Messages	0,805781	PMM	G+Qba,12+0,2WX	0,47952	No Messages	No Messages
R422	L60X6	Beam	No Messages	0,769712	PMM	G+Qba,12+0,2WY	1,43856	No Messages	No Messages
R423	L60X6	Beam	No Messages	0,830024	PMM	G+Qba,12-0,2WX	1,43856	No Messages	No Messages
R424	L60X6	Beam	No Messages	0,813458	PMM	G+Qba,11+0,2WX	0	No Messages	No Messages
R425	L60X6	Beam	No Messages	0,77797	PMM	G+Qba,11+0,2WX	0	No Messages	No Messages
R426	L60X6	Beam	No Messages	0,83767	PMM	G+Qba,11-0,2WX	0,95904	No Messages	No Messages
R427	L60X6	Beam	No Messages	0,742759	PMM	G+Qba,21+0,2WX	0	No Messages	No Messages
R428	L60X6	Beam	No Messages	0,833862	PMM	G+Qba,21+0,2WX	0,47952	No Messages	No Messages
R429	L60X6	Beam	No Messages	0,764522	PMM	G+Qba,21-0,2WX	0,95904	No Messages	No Messages
R430	L60X6	Beam	No Messages	0,771283	PMM	G+Qba,22+0,2WX	0,47952	No Messages	No Messages
R431	L60X6	Beam	No Messages	0,80859	PMM	G+Qba,22-0,2WY	0,95904	No Messages	No Messages
R432	L60X6	Beam	No Messages	0,774942	PMM	G+Qba,22-0,2WX	1,43856	No Messages	No Messages
R369	L60X6	Beam	No Messages	0,208461	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R370	L60X6	Beam	No Messages	0,197126	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R371	L60X6	Beam	No Messages	0,168753	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1,12837	No Messages	No Messages
R372	L60X6	Beam	No Messages	0,169127	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R373	L60X6	Beam	No Messages	0,176218	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R374	L60X6	Beam	No Messages	0,2453	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1,12886	No Messages	No Messages
R375	L60X6	Beam	No Messages	0,210229	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R376	L60X6	Beam	No Messages	0,198897	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R377	L60X6	Beam	No Messages	0,167389	PMM	G+Qba,11+0,2WX	1,12853	No Messages	No Messages
R378	L60X6	Beam	No Messages	0,167621	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R379	L60X6	Beam	No Messages	0,174639	PMM	1,1G-1,4WX+0,7S	0	No Messages	No Messages
R380	L60X6	Beam	No Messages	0,247107	PMM	1,1G+1,4WX+0,7S	1,12923	No Messages	No Messages