



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΕΤΕΡΟΓΕΝΩΝ ΜΕΙΓΜΑΤΩΝ  
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΥΣΗΣ

**Περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε Κτίριο Μεταλλικής  
Κατασκευής με την χρήση λογισμικού**

Διπλωματική Εργασία

Σιόντας Στυλιανός

Επιβλέπουσα : Φούντη Μαρία  
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Σεπτέμβριος 2016  
ΑΘΗΝΑ



# **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι να γίνει μία σύγκριση μεταξύ μίας συμβατικής και μίας μεταλλικής κατασκευής ως προς την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Ως συμβατική κατασκευή, θα θεωρήσουμε την κατασκευή του κτιρίου με υλικά από τούβλα, σίδηρο, σκυρόδεμα κ.ο.κ. ενώ ως μεταλλική θα θεωρήσουμε την κατασκευή από έναν μεταλλικό σκελετό με γυψοσανίδες αποτελούμενη ενδιάμεσα της τοιχοποιίας αυτής από μονωτικά υλικά που θα αναφερθούν στην συνέχεια της εργασίας.

Η μελέτη αυτή πραγματοποιείται σε 3 στάδια. Στο πρώτο στάδιο γίνεται μία διερεύνηση και ανάλυση του κύκλου ζωής για κάθε υλικό ξεχωριστά από άποψης πρωτογενούς κατανάλωσης και συνεισφοράς αυτών στα αέρια του θερμοκηπίου. Στο δεύτερο στάδιο επιλέγεται ως functional unit το  $1\text{m}^2$  της εκάστοτε τοιχοποιίας αποτελούμενη από τα διάφορα υλικά που την αποτελούν και γίνεται μία πρώτη σύγκριση μεταξύ των διαφόρων πάνελ. Στο τρίτο και τελευταίο στάδιο γίνεται σύγκριση έχοντας τώρα ως functional unit το ίδιο το κτίριο και στην συνέχεια παρατίθενται τα σχετικά αποτελέσματα.

Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την μελέτη αυτή είναι η Ανάλυση του Κύκλου Ζωής (AKZ). Η AKZ περιλαμβάνει πλήθος περιβαλλοντικών δεικτών που εξετάζουν διάφορες συνιστώσες της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης που μπορεί να επιφέρει ένα υλικό ή μία διεργασία καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής του. Στην παρούσα διπλωματική εργασία η μεθοδολογία AKZ πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού SimaPro.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν γίνεται μια εκτενής αναφορά των υλικών που θα χρησιμοποιηθούν στα δύο κτίρια καθώς και όλες οι διεργασίες που απαιτούνται για να φτάσει το κάθε υλικό στο σημείο που βρίσκεται το πιλοτικό μας κτίριο.

Στα βασικά συμπεράσματα που εξήχθησαν από την εν λόγω διπλωματική εργασία είναι ότι η μεταλλική κατασκευή έχει μακράν την χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και το μικρότερο δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη έναντι αυτή της συμβατικής κατασκευής.

## ABSTRACT

The present thesis aims to make a comparison between a conventional and a metal construction in terms of energy consumption and greenhouse gas emissions. As a conventional structure, we will consider the construction of a building made by bricks, iron, concrete, etc. and as a metal , we will consider the construction of a metal frame with plasterboard consisting intermediates of that wall of insulating materials which will be mentioned in continuation of the labor.

This study was carried out in 3 stages. The first stage is one investigation and analysis of the life cycle for each material separately from primary consumption perspective and contribution in these greenhouse gases. In the second stage is selected as a fuctional unit a 1m<sup>2</sup> of masonry, consisting of the different materials that compose it and becomes a first comparison between the different panels. In the third and final stage we compare the same panels having now as fuctional unit the whole building. Afterwards we list the results of these comparisons.

The methodology used for this study is the Life Cycle Analysis (LCA). The LCA includes numerous environmental indicators that examine various components of the environmental burden that can bring about a material or process throughout the life cycle. This thesis LCA methodology was conducted via the SimaPro software.

In the following chapters there is a comprehensive reference of the materials that will be used in both buildings and all the processes required to reach any material point in to our pilot building.

As a basic conclusion drawn from this thesis is that the metal structure has far lower power consumption and smaller global warming potential compared with that of the conventional structure.

## Περιεχόμενα

### Table of Contents

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	8
1.1 Γενικά.....	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ.....	9
2.1 Ορισμός.....	9
2.2 Μεθοδολογία.....	10
2.3 Ορισμός Περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε κτίρια .....	16
2.3.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις.....	17
2.4 Διαθέσιμα πρότυπα και Λογισμικά.....	20
2.4.1 Διαθέσιμα πρότυπα.....	20
2.4.2 Διαθέσιμα λογισμικά για ΑΚΖ .....	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΣΕ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΚΤΙΡΙΑ.....	28
3.1 Ιστορική ανασκόπηση .....	28
3.2 Φάσεις ΑΚΖ σε κτίρια .....	30
3.3 Ανάλυση του Κύκλου Ζωής για επιμέρους υλικά δόμησης.....	31
3.3.1 Πετροβάμβακας .....	33
3.3.2 Φύλλο γυψοσανίδας.....	37
3.3.3 Παραγωγική διαδικασία τούβλου .....	46
3.3.4 Παραγωγική διαδικασία οπλισμού από χάλυβα .....	57
3.3.5 Παραγωγή τσιμέντου και σκυροδέματος.....	60
3.3.6 Παραγωγή διογκωμένης πολυστερίνης XPS .....	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	72
4.1 Μεταλλική κατασκευή.....	73
4.2 Συμβατική Κατασκευή.....	80
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ.....	83
5.1 Προσδιορισμός του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης .....	83
5.1.1 Σκοπός ανάλυσης του κύκλου ζωής .....	83
5.1.2 Όρια του συστήματος .....	84
5.1.3 Λειτουργική μονάδα .....	84
5.1.4 Μεθοδολογία.....	84
5.1.5 Περιβαλλοντικοί δείκτες.....	84

5.2	Υλικά Μεταλλικής κατασκευής.....	86
5.2.1	Γυψοσανίδα.....	86
5.2.2	Μόνωση .....	90
5.2.3	Χάλυβας.....	99
5.2.4	Αποτελέσματα.....	107
5.3	Συμβατική Κατασκευή.....	129
5.3.1	Τουβλο .....	129
5.3.2	Μόνωση .....	132
5.3.3	Σκυρόδεμα .....	136
5.3.4	Επίχρισμα.....	138
5.3.5	Αποτελέσματα.....	138
5.4	Συγκριτική μελέτη σε επίπεδο κτιρίου.....	155
5.4.1	Μεταλλική Κατασκευή.....	155
5.4.2	Συμβατική Κατασκευή.....	156
5.4.3	Αποτελέσματα συγκριτικής μελέτης.....	157
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....		184
ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....		187

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

## 1.1 Γενικά

Η παρούσα διπλωματική έχει στόχο να προβάλει μέσω της ανάλυσης που θα ακολουθήσει μία φιλικότερη προς το περιβάλλον και ταυτόχρονα γρηγορότερη μέθοδο κατασκευής ενός κτιρίου. Τα στοιχεία που συνθέτουν κατά κύριο λόγο την κατασκευή αυτή είναι η γυψοσανίδα και ο γαλβανισμένος χάλυβας (μεταλλικός σκελετός).

Γι αυτόν τον σκοπό γίνεται μία σύγκριση μεταξύ της κατασκευής αυτής (μεταλλικής) και της συμβατικής, η οποία αποτελείται από τούβλο, σκυρόδεμα και σίδηρο.

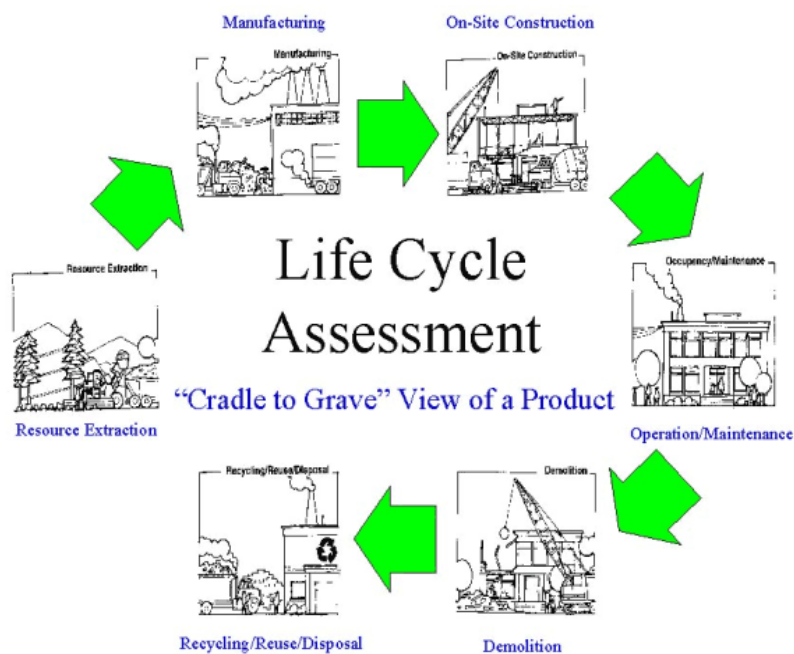
Η ανάλυση και η σύγκριση αυτή επιτυγχάνεται μέσω της μεθόδου Ανάλυση του Κύκλου Ζωής των υλικών, (AKZ) που θα αναλυθεί στα επόμενα κεφάλαια.

Στην συνέχεια ακολουθούν αναλυτικά όλες οι διαδικασίες που γίνονται για την επίτευξη της ανάλυσης και σύγκρισης αυτής καθώς και τα αποτελέσματα της έρευνας με τα σχετικά διαγράμματα και πίνακες.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

### 2.1 Ορισμός



Σχήμα 2.1: Σχηματικό διάγραμμα της διαδικασίας Ανάλυση του Κύκλου Ζωής και όρια του συστήματος [1]

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μια αύξηση, από πλευράς κρατών και επιχειρήσεων, της ευαισθητοποίησης τους για την προστασία του περιβάλλοντος καθώς και των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων των υλικών που κατασκευάζονται και καταναλώνονται. Λόγω αυτής της ευαισθητοποίησης έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για ανάπτυξη μεθόδων για την καλύτερη κατανόηση και αντιμετώπιση αυτών των επιπτώσεων. Μια τέτοια μέθοδος που αναπτύσσεται έντονα τα τελευταία χρόνια είναι αυτή της Ανάλυση του Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ).

Η μέθοδος ΑΚΖ είναι ένα εργαλείο για την συστηματική ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και πορείας των προϊόντων κατά την διάρκεια της ζωής τους, συμπεριλαμβανομένης της εξόρυξης πρώτων υλών, την κατασκευή, τη χρήση και το τέλος της ζωής τους ή/και ανακύκλωσης τους.

Η ιδέα για την μελέτη του κύκλου ζωής άρχισε να αναπτύσσεται στα μέσα της δεκαετίας του 1970 (LCA for WA) και επικεντρώθηκε κυρίως στην ποσοτικοποίηση της ενέργειας και των υλικών που χρησιμοποιούνται καθώς και την ενέργεια αυτών των υλικών που χάνεται στο περιβάλλον κατά την διάρκεια ζωής του υλικού.

Ο διεθνής οργανισμός τυποποίησης ISO: International Organization for Standardization [2] υιοθέτησε το 1990 έναν κανονισμό (ISO 14040 Environmental Management-Life Cycle Assessment-Principles and framework) με αυτόν ακριβώς

τον σκοπό, την θέσπιση μεθοδολογιών LCA. Υπάρχουν και άλλοι οργανισμοί που έχουν εκδώσει και εκείνοι παρόμοιους κανονισμούς, θα δοθεί σχετικός πίνακας παρακάτω.

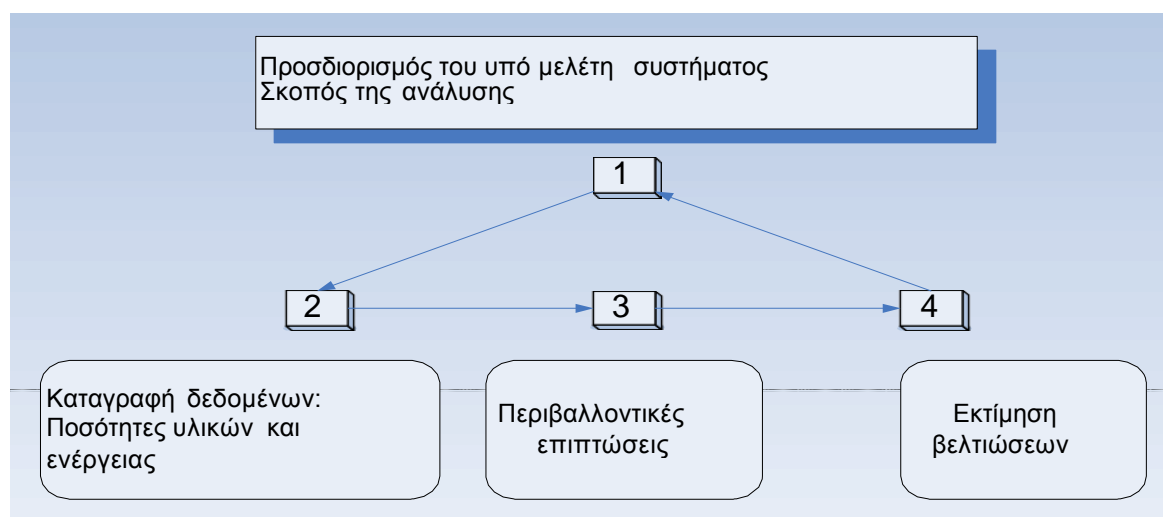
Με μία γρήγορη ματιά μπορούμε να πούμε ότι η AKZ μπορεί να βοηθήσει στα εξής σημεία :

- στον εντοπισμό ευκαιριών για την βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης ενός υλικού καθ' όλη την διάρκεια ζωής του
- την ενημέρωση των αντίστοιχων φορέων, κυβερνητικών ή μη οργανισμών, για την σχεδίαση και την επίδοση ενός υλικού
- στην επιλογή των σχετικών δεικτών των περιβαλλοντικών επιδόσεων
- καθώς και στο μάρκετινγκ.

## 2.2 Μεθοδολογία

Η AKZ περιέχει 4 στάδια [3,4]:

- καθορισμός του στόχου και του σκοπού (Goal Definition and Scoping).
- συλλογή δεδομένων (Inventory Analysis)
- εκτίμηση και αξιολόγηση των επιπτώσεων (Impact Assessment)
- ερμηνεία των αποτελεσμάτων (Interpretation)



Σχήμα 2.2: Τεχνικό πλαίσιο AKZ [5]

### Πρώτο στάδιο

Στο πρώτο στάδιο ο μελετητής καθορίζει τους σκοπούς και τους στόχους του πλαισίου του AKZ, συμπεριλαμβανομένων των ορίων, του πλάτους και του

βάθους ανάλυσης της μελέτης. Απαντώνται γενικά ερωτήματα όπως: α) ποιος ο σκοπός της ΑΚΖ, β) ποια απόφαση προορίζεται να στηρίξει η ανάλυση, γ) ποια είναι τα όρια της περιβαλλοντικής επίπτωσης ώστε να σχεδιαστούν δευτερεύουσες και τριτογενείς περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Περιλαμβάνει όλες τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις ή μόνο ένα προκαθορισμένο υποσύνολο των επιπτώσεων.

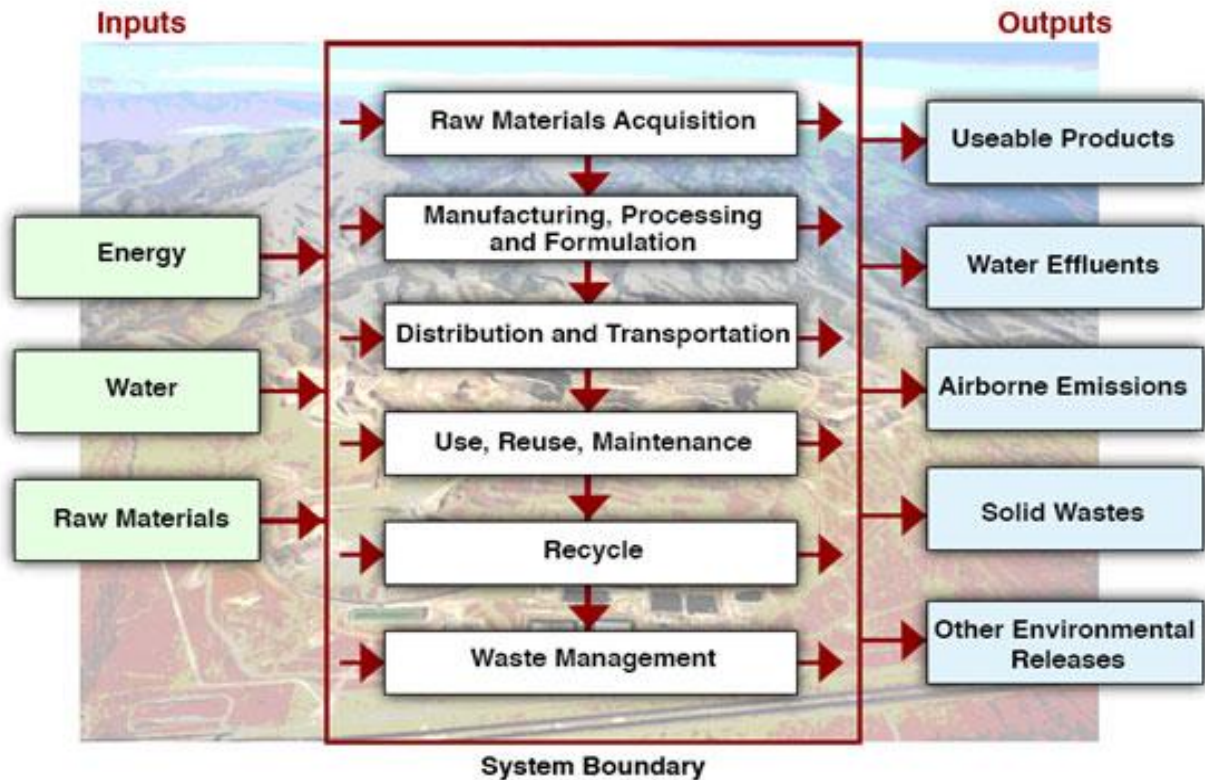
Ο καθορισμός του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης (ISO 14040, 1997) πρέπει να περιλαμβάνει τις εξής ενέργειες :

- 1) Ορισμός των αντικειμενικών στόχων της μελέτης: Σαφής σκοπός μελέτης και το πρόβλημα που καλείται να αντιμετωπίσει.
- 2) Επιλογή λειτουργικής μονάδας: Μονάδα αναφοράς στην οποία ανατίθενται όλες οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις και επιτρέπει την σύγκριση μεταξύ διαφορετικών υπηρεσιών και προϊόντων. Έτσι, η λειτουργική μονάδα πρέπει να είναι συνεπής με το στόχο και το πεδίο της μελέτης που έχει καθορισθεί στο πρώτο στάδιο. Όταν συγκρίνονται διάφορες αναλύσεις υλικών , αυτές θα πρέπει να έχουν την ίδια μονάδα λειτουργίας ειδάλλως η σύγκριση δεν θα είναι σωστή.
- 3) Καθορισμός ορίων συστήματος: Περιγραφή του υπό ανάλυση συστήματος και καθορισμός ξεκάθαρων ορίων.
- 4) Καθορισμός ποιότητας δεδομένων: Έμφαση σε αξιόπιστες πηγές

### **Δεύτερο στάδιο**

Στο δεύτερο στάδιο έχουμε την απογραφή δεδομένων (ISO 14041, 1998) όπου περιλαμβάνει τις εξής ενέργειες:

- δημιουργία διαγραμμάτων ροής,
- συλλογή δεδομένων,
- χρήση δεδομένων,
- μεθόδους κατανομής περιβαλλοντικών φορτίων,
- υπολογισμός περιβαλλοντικών φορτίων,
- αναγνώριση σημαντικότερων σταδίων με βάση τα περιβαλλοντικά φορτία.



Σχήμα 2.3: Εισροές-εκροές προϊόντος [6]

Αποτέλεσμα της απογραφής δεδομένων αποτελούν η εκτενής καταγραφή όσων στοιχείων εισέρχονται (εισροές) και όσων εξέρχονται (εκροές) από το σύστημα. Οι εισροές (πρώτες ύλες, πόροι) και οι εκροές (εκπομπές αερίων, απόβλητα υγρά - στερεά) είναι χρήσιμο να παρουσιάζονται σε πίνακα για καλύτερη κατανόηση.

#### Κατανομή Περιβαλλοντικών Επιβαρύνσεων

Σε μερικές περιπτώσεις τίθεται θέμα κατανομής των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανάμεσα στα διάφορα προϊόντα εξαιτίας του γεγονότος ότι:

- Το σύστημα περιέχει περισσότερα από ένα προϊόντα ή διεργασίες,
- Η επεξεργασία των αποβλήτων από τα διάφορα στάδια της κατεργασίας γίνεται σε ένα κοινό σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων,
- Το σύστημα περιέχει τουλάχιστον ένα βρόγχο ανακύκλωσης.

Συχνά η κατανομή των επιβαρύνσεων γίνεται με βάση τη μάζα των προϊόντων. Στην πρώτη περίπτωση που στο σύστημα υπάρχουν δυο προϊόντα, η κατανομή των περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων ανάμεσα τους γίνεται με βάση τη σχέση των μαζών τους στο σύστημα.

Στην δεύτερη περίπτωση που η επεξεργασία των αποβλήτων, από όλα τα στάδια της βιομηχανικής παραγωγής, γίνεται σε ένα κοινό στάδιο (στάδιο επεξεργασίας των αποβλήτων), η κατανομή των ρύπων που προέρχονται από αυτή καθ' αυτή την επεξεργασία των αποβλήτων γίνεται με βάση την μάζα τους. Με αυτό το τρόπο το

κύριο προϊόν επιβαρύνεται μόνο με τους ρύπους που του αναλογούν. Στην τρίτη περίπτωση, που περιέχεται τουλάχιστον ένας βρόγχος ανακύκλωσης, από το σύστημα A ξεκινάει μια ενέργεια και καταλήγει μέσω του βρόγχου ανακύκλωσης στο σύστημα B για να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη.

Αυτά τα δυο συστήματα φαινομενικά εξυπηρετούν δυο διαφορετικές λειτουργίες, στην πραγματικότητα σχετίζονται μεταξύ τους, διότι οι όποιες μεταβολές στις εισόδους του συστήματος A επηρεάζουν τις εισόδους στο σύστημα B. Με βάση αυτή την αλληλεπίδραση πρέπει να εκτελούνται διαδοχικά οι υπολογισμοί. Όταν υπάρχουν πολλοί ανοιχτοί βρόγχοι ανακύκλωσης μέσα σε ένα σύστημα (π.χ. τα προϊόντα ενός διυλιστηρίου), το κάθε σύστημα θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ανεξάρτητο. Στην παρούσα εργασία η κατανομή περιβαλλοντικών επιβαρύνσεων δεν κρίνεται απαραίτητη αφού οι βιομηχανίες που εξετάζονται δεν περιλαμβάνονται στις τρεις παραπάνω προϋποθέσεις. Η κάθε μια εξετάζεται για ένα και μόνο τελικό προϊόν χωρίς βρόγχο ανακύκλωσης και χωρίς κοινό σύστημα επεξεργασίας αποβλήτων.

### **Τρίτο στάδιο**

Στο τρίτο στάδιο έχουμε την εκτίμηση των επιπτώσεων όπου είναι μια ποσοτική και ποιοτική διαδικασία που χρησιμοποιείται, για να χαρακτηρίσει και να εκτιμήσει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προσδιορίζονται κατά την φάση της απογραφής δεδομένων.

Η περιβαλλοντική επίπτωση ενός προϊόντος μπορεί να περιγραφεί με διάφορους τρόπους, αλλά γενικά καταλήγει στον υπολογισμό της επίπτωσης του προϊόντος εξετάζοντας τις εκροές, τις επιδράσεις ή καταστροφές που προκαλούνται σε μια ή περισσότερες φάσεις του κύκλου ζωής.

Ένα προϊόν ή σύστημα έχει κάποιες εκροές που αντιστοιχούν σε επιπτώσεις στο περιβάλλον, στο στάδιο αυτό ουσιαστικά γίνεται η αντιστοίχιση των εκπομπών με συγκεκριμένα κρούσματα (πχ όξυνση), υιοθετώντας μια προσέγγιση που αναλύει το πώς η χρήση της πρώτης ύλης καταλήγει στις συγκεκριμένες επιπτώσεις στο περιβάλλον.

Αρχικά, τα στοιχεία ταξινομούνται σε μια κατηγορία επιπτώσεων. Κατόπιν, τα στοιχεία αυτά χαρακτηρίζονται μέσα στις κατηγορίες επιπτώσεων.

Η αξιολόγηση των επιπτώσεων αποτελείται σε γενικές γραμμές από τα ακόλουθα βήματα :

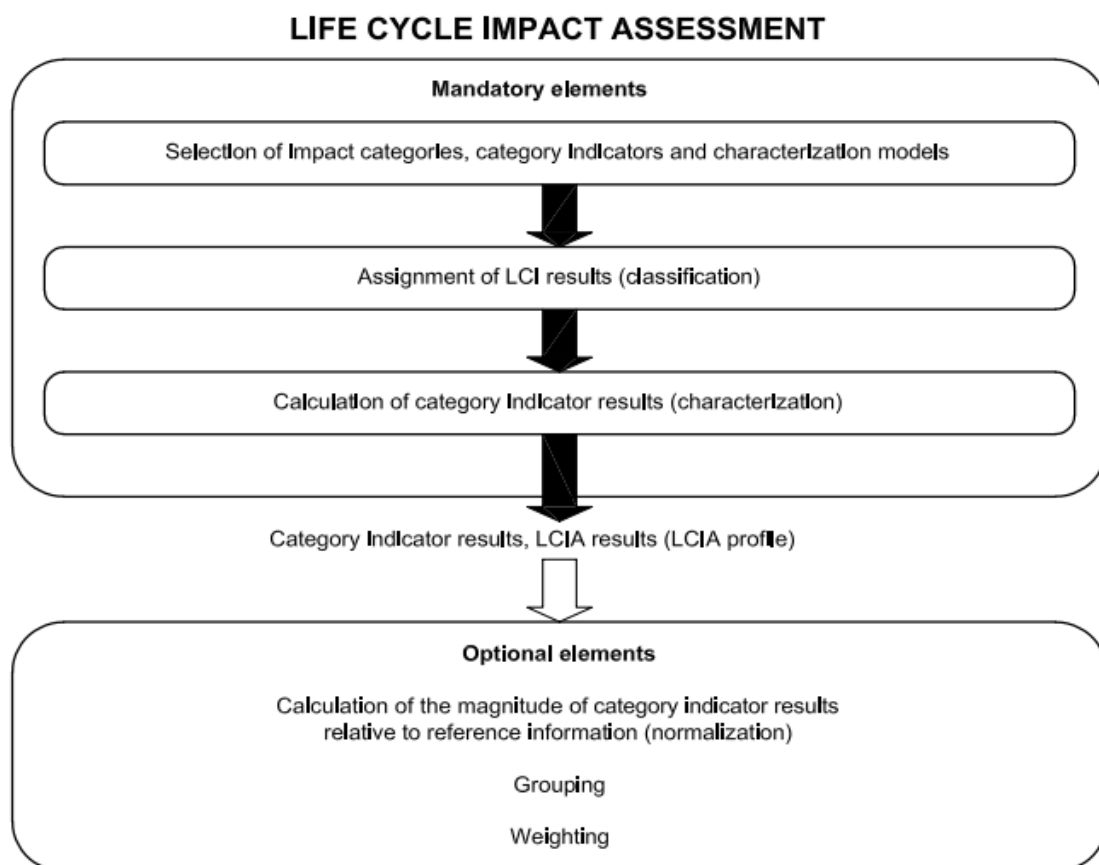
- Κατηγοριοποίηση
- Χαρακτηρισμό
- Κανονικοποίηση
- Ομαδοποίηση
- Στάθμιση

Η κανονικοποίηση και η στάθμιση μερικές φορές δεν χρησιμοποιούνται επειδή θεωρούνται προαιρετικά στάδια, στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν με στόχο την καλύτερη δυνατή εικόνα για το πρόβλημα που αντιμετωπίζει η εργασία. Οι ενέργειες που πρέπει να γίνουν στο στάδιο της εκτίμησης επιπτώσεων είναι:

- i. επιλογή των κατηγοριών επιπτώσεων,
- ii. επιλογή των ρευμάτων που θα αθροιστούν ανά κατηγορία επίπτωσης,
- iii. καθορισμός της συνεισφοράς των ρευμάτων ανά κατηγορία επιπτώσεων,
- iv. υπολογισμός των επιπτώσεων,
- v. αναγνώριση των μεγαλύτερων ρευμάτων ανά κατηγορία επίπτωσης.

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO14042,( Environmental management -- Life cycle assessment -- Life cycle impact assessment ), το οποίο αφορά στην εκτίμηση επιπτώσεων, τρεις είναι οι μεγάλες κατηγορίες επιπτώσεων που θα πρέπει να λαμβάνονται πάντα υπόψη σε μια μελέτη ΑΚΖ και αυτές είναι οι εξής :

- Επιπτώσεις στο οικοσύστημα
- Επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία
- Επιπτώσεις στους φυσικούς πόρους



Σχήμα 2.4: Στοιχεία φάσης LCIA κατά ISO 14040

#### **Τέταρτο στάδιο**

Στο τελευταίο στάδιο βρίσκεται η ερμηνεία και τα αποτελέσματα. Η ερμηνεία είναι μια συστηματική διαδικασία προσδιορισμού, καταλληλότητας, ελέγχου και εκτίμησης των πληροφοριών από τα συμπεράσματα της ανάλυσης απογραφής δεδομένων ή/και την εκτίμηση των επιδράσεων ενός συστήματος και τα παρουσιάζει προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις της εφαρμογής, όπως περιγράφονται στη φάση προσδιορισμού του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης.

Είναι μια διαδικασία επικοινωνίας και έχει σχεδιαστεί για να δώσει αξιοπιστία στα αποτελέσματα των περισσότερων τεχνικών φάσεων της ΑΚΖ, δηλαδή στην φάση της απογραφής των δεδομένων, την φάση της εκτίμησης, και είναι κατανοητή και χρήσιμη στους λήπτες αποφάσεων. Η ερμηνεία περιέχει τα ακόλουθα κύρια στοιχεία:

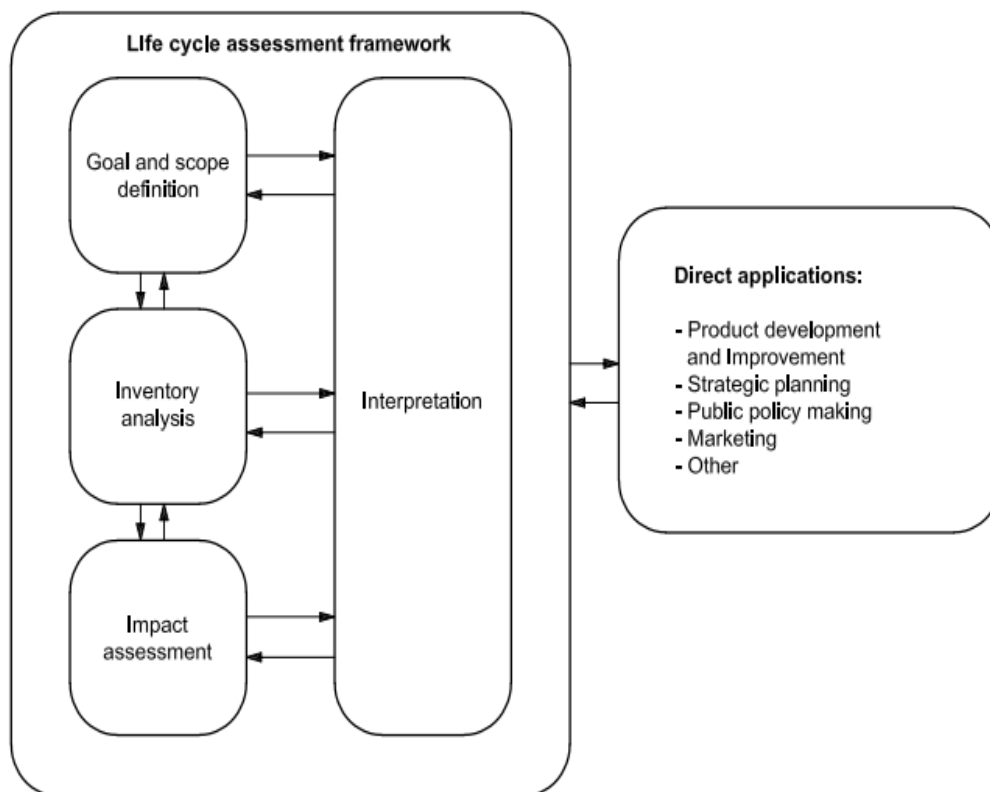
- Αξιολόγηση αποτελεσμάτων
- Ανάλυση αποτελεσμάτων
- Συμπεράσματα και Συστάσεις.

Η ερμηνεία εκτελείται παράλληλα με τις άλλες φάσεις της AKZ. Εάν τα αποτελέσματα της φάσης απογραφής δεδομένων ή της φάσης εκτίμησης επιπτώσεων δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις που καθορίζονται στην φάση προσδιορισμού σκοπού και αντικειμένου, η φάση απογραφής δεδομένων πρέπει να βελτιωθεί για παράδειγμα με την επιθεώρηση των ορίων του συστήματος, περαιτέρω συλλογή δεδομένων κλπ. Στην συνέχεια να ακολουθήσει μια πιο βελτιωμένη εκτίμηση επιπτώσεων.

Αυτή η επαναληπτική διαδικασία πρέπει να επαναλαμβάνεται έως ότου ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις της φάσης προσδιορισμού του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης.

Οι ενέργειες που πρέπει να γίνουν στο στάδιο της ερμηνείας είναι εξής:

- i. αναγνώριση δυνατών και αδύνατων σημείων στην μελέτη,
- ii. εκπλήρωση των στόχων της μελέτης,
- iii. επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων,
- iv. ανάλυση ευαισθησίας,
- v. προτάσεις



Σχήμα 2.5: Στάδια της AKZ κατά ISO 14040

## 2.3 Ορισμός Περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε κτίρια



Μέσω της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής , ISO 14042( Environmental management -- Life cycle assessment -- Life cycle impact assessment) «Εκτίμηση επιπτώσεων», μπορούμε να αναλύσουμε καλύτερα τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις στα κτίρια. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως οι αρχές και η διαδικασία μέσω αυτού του προτύπου έχει χωριστεί σε τέσσερις περιοχές: ταξινόμηση , χαρακτηρισμό , ανάλυση «σπουδαιότητας» και αξιολόγηση. Ένας βασικός κύκλος διεργασιών της ΑΚΖ περιλαμβάνει τα ακόλουθα βασικά στάδια :

- **Στάδιο χρήσης πρώτων υλών**

Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει την καταγραφή των ποσοτήτων πρώτων υλών που σχετίζονται με τις διεργασίες του υπό μελέτη συστήματος, καθώς και όλες τις διεργασίες που σχετίζονται με τις πρώτες ύλες (διαδικασία εξόρυξης, παραγωγής, μεταφοράς, διαχείρισης, τοποθέτησης , κτλ). Στην παρούσα εργασία πρώτες ύλες θεωρούνται τα δομικά υλικά , τα οποία θα μελετηθούν αναλυτικά στην συνέχεια.

- **Στάδιο κατασκευής**

Το στάδιο κατασκευής αφορά στις διεργασίες κατασκευής, προκειμένου να προκύψει το τελικό προϊόν. Στο στάδιο αυτό συμπεριλαμβάνονται και η διεργασία συσκευασίας και η διεργασία μεταφοράς/ διανομής του τελικού προϊόντος.

- **Στάδιο χρήσης**

Στο στάδιο αυτό μελετάται το προϊόν κατά τη λειτουργία του. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του κτιρίου μελετώνται οι εισροές ενέργειας κατά τη λειτουργία του κτιρίου και οι εκροές από τις οποίες προσδιορίζονται κατόπιν οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

- **Στάδιο διαχείρισης**

Στο στάδιο αυτό, το υπό μελέτη προϊόν βρίσκεται στο τέλος της ωφέλιμης ζωής του και μελετώνται τα σενάρια διαχείρισης του , τα οποία μπορεί να αφορούν την εναπόθεση του προϊόντος σε χώρους υγειονομικής ταφής, την ανακύκλωση του, την κατεδάφιση του ή την επαναχρησιμοποίηση του.

### **2.3.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις**

Έπειτα έχουμε την εκτίμηση των επιπτώσεων. Στο στάδιο αυτό εφαρμόζονται διάφορες μέθοδοι με σκοπό να αποτυπώσουν τη συμβολή των εισερχόμενων και εξερχόμενων ροών υλικών και ενέργειας του υπό μελέτη συστήματος σε μία σειρά από συγκεκριμένες περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι υπό εξέταση περιβαλλοντικές

επιπτώσεις δεν είναι πάντα οι ίδιες για όλες τις μεθοδολογίες και μπορεί α μην είναι και μόνο περιβαλλοντολογικές. Μπορεί για παράδειγμα να εξεταστούν εκτός από αυτές και επιπτώσεις όπως οικονομικές, πολιτικές, κοινωνικές, ασφάλειας κτλ. (Πρότυπο2000a Pre,1996,2000,2001). Στο στάδιο της εκτίμησης των επιπτώσεων τα δεδομένα απογραφής συσχετίζονται με τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αφορούν στα σύγχρονα περιβαλλοντικά προβλήματα, όπως το φαινόμενο του θερμοκηπίου, τον ευτροφισμό, την οξείνιση, το νέφος, κτλ. Η συμβολή στην κάθε περιβαλλοντική επίπτωση ποσοτικοποιείται στο στάδιο του χαρακτηρισμού και με τη χρήση συντελεστών. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι για το στάδιο του χαρακτηρισμού, αυτή όμως που εφαρμόζεται συνήθως είναι η χρήση των ισοδύναμων συντελεστών. Οι ισοδύναμοι συντελεστές δείχνουν το ποσοστό συμμετοχής μιας ουσίας στην υπό εξέταση περιβαλλοντική επίπτωση σε σχέση με μία ουσία αναφοράς.

Για παράδειγμα στο φαινόμενο του θερμοκηπίου η ουσία αναφοράς είναι το CO<sub>2</sub> (διοξείδιο του άνθρακα) και η συμμετοχή των γνωστών αερίων του θερμοκηπίου μετατρέπεται με την χρήση των συντελεστών σε ισοδύναμα g ή kg CO<sub>2</sub>. Η μετατροπή των g (γραμμάρια) ή kg (κιλά) μίας ουσίας μετατρέπεται σε ισοδύναμα g (γραμμάρια) ή kg (κιλά) της ουσίας αναφοράς αφού πολλαπλασιαστούν με τους χαρακτηριστικούς συντελεστές.

Με τον τρόπο αυτό, όλες οι ουσίες που συμβάλουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου μετατρέπονται σε ισοδύναμα g ή kg CO<sub>2</sub> και αθροιζόμενες δίνουν μία συνολική τιμή επιβάρυνσης στην υπό εξέταση περιβαλλοντική επίπτωση. Κατά την κατηγοριοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων δίνεται έμφαση στις επιπτώσεις ανάλογα με τους βασικούς στρεσογόνους περιβαλλοντολογικούς παράγοντες. Τα βασικά περιβαλλοντολογικά προβλήματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1.

Πίνακας 2.1: Συνηθέστερες κατηγορίες περιβαλλοντικών επιπτώσεων [7]

Κατηγορία Περιβαλλοντικής επίπτωσης	Κλίμακα	Κύριες εκπομπές που σχετίζονται με την επίπτωση	Περιγραφή συντελεστή κατηγοροποίησης
Φαινόμενο του θερμοκηπίου	Παγκόσμια	CO <sub>2</sub> , NO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CFCs, HCFCs	Ισοδύναμη ποσότητα CO <sub>2</sub> . Το ισοδύναμο του φαινομένου του θερμοκηπίου είναι για 10, 50ή και 500 έτη.
Στροσφαιρικό όζον	Παγκόσμια	CFCs, HCFCs, Αλογονούχες ενώσεις(Halons)	Ισοδύναμη ποσότητα τριχλωροφθορομεθανίου (CFC-11)
Οξίνιση	Περιφερειακή, τοπική	SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , HCl, HF, NH <sub>4</sub>	Ισοδύναμη ποσότητα ιόντων υδρογόνου H <sup>+</sup>
Ευτροφισμός	Τοπική	PO <sub>4</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub>	Ισοδύναμη ποσότητα αιθανίου C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>

Τοξικότητα εδάφους	Τοπική	Χημικές τοξικές ουσίες με δημοσιευμένη θανατηφόρα επίπτωση σε τρωκτικά ζώα	Μετατροπή του LC50 σε ισοδύναμη ποσότητα με χρήση μοντέλων
Τοξικότητα νερού	Τοπική	Χημικές τοξικές ουσίες με δημοσιευμένη θανατηφόρα επίπτωση σε ψάρια	Μετατροπή του LC50 σε ισοδύναμη ποσότητα με χρήση μοντέλων
Φωτοχημικός νέφος	Τοπική	NMHC (non methane hydrocarbon)	Μετατροπή του LC50 σε ισοδύναμη ποσότητα με χρήση μοντέλων
Ανθρώπινη υγεία	Παγκόσμια, περιφερειακή , τοπική	Συνολικές εκπομπές στον αέρα , στο νερό και στο έδαφος	Μετατροπή του LC50 σε ισοδύναμη ποσότητα με χρήση μοντέλων
Μείωση φυσικών πηγών	Παγκόσμια, περιφερειακή , τοπική	Ποσότητες ορυκτών και φυσικών καυσίμων που χρησιμοποιούνται	Μετατροπή των εισερχόμενων δεδομένων σε λόγο των ποσοτήτων των φυσικών πηγών που χρησιμοποιούνται προς τις ποσότητες αυτών που έχουν μείνει ως απόθεμα
Χρήση γης	Παγκόσμια, περιφερειακή , τοπική	Διαθεσιμότητα γης	Μετατρέπεται η μάζα των στερεών αποβλήτων σε όγκο με χρήση της πυκνότητας
Χρήση νερού	Περιφερειακή , τοπική	Έλλειμμα υδάτινου δυναμικού	Μετατροπή των εισερχόμενων δεδομένων σε λόγο των ποσοτήτων των υδάτινων πόρων που χρησιμοποιούνται προς τις ποσότητες αυτών που έχουν μείνει ως απόθεμα

Γενικά έχουν καθιερωθεί δύο μέθοδοι αποτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων [8]:

- Η μέθοδος των “ενδιάμεσων” (mid-points) που στοχεύει στον προσδιορισμό του προβλήματος (problem-oriented method). Η μέθοδος αυτή ασχολείται με την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του φαινομένου του θερμοκηπίου, του ευτροφισμού , της οξίνισης , του νέφους κτλ.
- Η μέθοδος “κατάληξης” (end point) που στοχεύει στον προσδιορισμό της βλάβης (damage oriented method). Πιο συγκεκριμένα , σε αυτή τη μέθοδο εξετάζεται η περιβαλλοντική επίπτωση- βλάβη κάθε περιβαλλοντικής πτυχής σε τρεις κατηγορίες , στον άνθρωπο, στο φυσικό περιβάλλον και στις φυσικές πηγές.

## 2.4 Διαθέσιμα πρότυπα και Λογισμικά

### 2.4.1 Διαθέσιμα πρότυπα

Τόσο οι εθνικές και διεθνείς φορείς τυποποίησης αναπτύσσουν πρότυπα LCA κατά τα τελευταία 20 χρόνια. Τα πρότυπα ISO 14040 και 14044 είναι διεθνώς αναγνωρισμένα ως τα αρχικά πρότυπα για την ανάλυση του κύκλου ζωής και είναι συχνά αναφέρονται και από άλλα πρότυπα, μοντέλα και εργαλεία, καθώς και μελέτες AKZ. Το ISO 14025 παρέχει τις οδηγίες για την υποβολή εκθέσεων σχετικά με τις περιβαλλοντικές απαιτήσεις επιδόσεων, όπως τα EPDs (environmental product declarations, περιβαλλοντική δήλωση προϊόντος). Τα EPDs χρησιμοποιούν τη μέθοδο ISO και συγκεκριμένα την ISO 14025, για να δηλώσουν το «περιβαλλοντικό αποτύπωμα» ενός υλικού ή προϊόντος και μπορεί να γίνει αντιληπτή ως ισοδύναμο μιας «επισήμανσης των τροφίμων» του περιβάλλοντος όσον αφορά τα προϊόντα.

Ένα EPD αναφέρει τα αποτελέσματα της AKZ κατά τρόπο συνεπή και προσυμφωνημένες κατά κανόνες. Τα πρότυπα αυτά έχουν σχεδιαστεί ώστε να είναι αρκετά γενικά ώστε να ισχύουν για όλα τα προϊόντα, από ρουχισμό μέχρι αυλαία τοιχώματα (ISO 14025, ISO 21930, CEN 15804).

Κανόνες ειδικά για τον κλάδο των κατασκευών (Κανόνες Κατηγορίας Προϊόντων / PCR) απαιτούνται για να βελτιώσουμε τα πρότυπα αναφοράς EPDs και τον υπολογισμό της AKZ για την αντιμετώπιση των συνθηκών κατασκευής, χρήσης και τέλος της ζωής των υλικών μας. Για τη σύγκριση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος ενός υλικού ή προϊόντος, πρέπει κανείς να είναι σίγουρος ότι οι συνεπείς παραδοχές που γίνονται όταν το αποτύπωμα αξιολογούνται. Χωρίς «κατηγορία» - ειδικά οι PCR, δεν είναι δυνατόν να δημιουργήσουν συγκρίσιμα EPDs. Τα PCR είναι σε ισχύ περιβαλλοντικά λογιστικά πρότυπα. Αν αναπτυχθούν και χρησιμοποιηθούν σωστά, τα EPDs μπορεί να είναι κατάλληλα για χρήση κατά τη σύγκριση των προϊόντων, αν αναπτυχθούν χρησιμοποιώντας τους ίδιους κανόνες κατηγορία προϊόντων.

Το προσφάτως εγκριθέν ευρωπαϊκό πρότυπο CEN 15804, καθώς και το ISO 21930(LCA for WA) παρέχει πρόσθετες διευκρινίσεις σχετικά με τα EPDs των υλικών και προϊόντων που χρησιμοποιούνται στα κτίρια. Όλα αυτά τα πρότυπα προβλέπουν κάποια ευελιξία στην έγκριση, και ως εκ τούτου πρόσθετες διευκρινίσεις από εθνικά πρότυπα ή οδηγοί θα είναι χρήσιμη.

Πίνακας 2.2: Πρότυπα Ανάλυσης κύκλου Ζωής

<b>Standard</b> ή <b>προτεινόμενο Standard</b>	<b>Περιγραφή</b>
ASTM D7075--04	Πρότυπη πρακτική για την αξιολόγηση και την υποβολή εκθέσεων περιβαλλοντικών επιδόσεων των BIO - Προϊόντων

ASTM WK23356	Προτεινόμενη νέα πρακτική για PCRs για χρήση στην ανάπτυξη περιβαλλοντικών δηλώσεων για την οικοδόμηση προϊόντων και συστημάτων
ASTM WK28938	Νέος οδηγός ή πρακτικής για ολόκληρο το κτίριο AKZ (τίτλος υπό ανάπτυξη)
ASTM WK31993	Νέα πρακτική για την ανακοίνωση της βιωσιμότητας των προϊόντων
EN 15643--1:2010	Μέρος 1: Γενικό πλαίσιο
EN 15643--2:2011	Μέρος 2: Πλαίσιο για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων
EN 15804:2011	Κανόνες βασικοί για την κατηγορία των προϊόντων των δομικών προϊόντων
EN 15942:2011	EPD*1 - Μορφή Ανακοίνωσης - Business to Business
EN 15978:2011	Αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων των κτιρίων - Μέθοδος υπολογισμού
ISO 14020:2000	Eid - Γενικές Αρχές
ISO 14021:1999	Δήλωση περιβαλλοντικών απαιτήσεων
ISO 14025:2006	Αρχές και διαδικασίες περιβαλλοντικής μελέτης
ISO 14040:2006	LCA Βασικές αρχές
ISO 14044	LCA Απαιτήσεις και οδηγίες
ISO 15392:2008	Γενικές Αρχές
ISO 15686--6:2004	Κτίρια και περιουσιακά στοιχεία- Σχεδιασμός της διάρκειας ζωής ---- Μέρος 6: Διαδικασίες για την εξέταση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων
ISO 21930:2007	Περιβαλλοντική δήλωση οικοδομικών προϊόντων
PD CEN/TR 15941:2010	Βιωσιμότητα της Κατασκευής Έργων - Περιβαλλοντικές Δηλώσεις Προϊόντων - Μεθοδολογία για την επιλογή και τη χρήση



Σχήμα 2.6: Σύνδεση EPDs με την AKZ [9]

Πέρα από τα πρότυπα που μόλις αναφέραμε έχουν διατυπωθεί και διάφοροι κώδικες, νομοθεσίες και συστήματα διαβάθμισης που σκοπό έχουν να βοηθήσουν στην καλύτερη κατανόηση και λειτουργία των μελετών AKZ. Υπάρχουν δύο γενικές προσεγγίσεις : η προσέγγιση AKZ για ολόκληρο το κτίριο που στην ουσία συγκρίνει το προτεινόμενο κτίριο με ένα «κτίριο αναφοράς» του αντίστοιχου είδους, και μια μέθοδος η οποία επικεντρώνεται στην επιβράβευση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που έχουμε σε ένα κτίριο μέσω της χρήσης των EPDs.

Παρακάτω αναθέτεται αναλυτικά ο αντίστοιχος πίνακας με τις σχετικές νομοθεσίες και κώδικες.

Πίνακας 2.3: Νομοθεσίες και Κώδικες

<b>Κώδικες</b>	<b>Σύντομη περιγραφή</b>
ANSI/ASHRAE/ USGBC/IES 189.1  (ASHRAE 189.1)	ASHRAE 189.1 εγκρίθηκε το 2011 ως πρότυπο για τον σχεδιασμό της υψηλής απόδοσης για τα Πράσινα κτίρια (εκτός από χαμηλή - κτίρια κατοικιών). Είναι μια εναλλακτική λύση για την IECC του 2012 και δημοσιεύεται μαζί με το εν λόγω έγγραφο. Έκδοση του παρόντος κώδικα είναι περιορισμένη. Δήμοι έχουν τη δυνατότητα να θεσπίζουν ή και τα δύο από αυτούς τους κωδικούς. Εάν εγκριθούν οι δύο, οι επαγγελματίες πρέπει να επιλέξουν έναν από τους κωδικούς που θα ακολουθήσουν.
	Το προαιρετικό τμήμα LCA (Ενότητα 9.5) περιγράφει μια διαδικασία AKZ για ένα ολόκληρο κτίριο που παρέχει ένα πρότυπο με βάση τη μέθοδο αξιολόγησης για το υλικό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων μεταξύ τουλάχιστον δύο εναλλακτικών κτιρίων και πρέπει να φέρει τουλάχιστον μία βελτίωση 5% σε τουλάχιστον δύο επιπτώσεις  κατηγοριών όπως (χρήση γης (ή αλλοίωση των ενδιαιτημάτων), τη χρήση των πόρων, την κλιματική αλλαγή, την εξάντληση στοιβάδας του όζοντος, τις επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, την οικοτοξικότητα, αιθαλομίχλη, την οξίνιση και τον ευτροφισμό). Ο ΔΚΕ συνυπολογίζει και διάφορες εθνικές προδιαγραφές εκπομπών ρύπων για την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα, τα αέρια του φαινομένου του θερμοκηπίου και των επικίνδυνων ατμοσφαιρικών ρύπων, όπως αναφέρονται στο Clean Air Act. Αυτή η προαιρετική μέθοδος LCA θα αντικαταστήσει μια περιοριστική επιλογή για την επιλογή των υλικών (Ενότητα 9.4) για την αύξηση ανακυκλωμένου περιεχομένου, περιφερειακά υλικά, βιο - προϊόντα με βάση και την οικοδόμηση.
CalGreen	Ολόκληρο το τμήμα A5.409.2 είναι μια εθελοντική AKZ για το κτίριο. Απαιτεί τουλάχιστον ένα 10% βελτίωση για τουλάχιστον τρεις κατηγορίες επιπτώσεων, μία από τις οποίες πρέπει να είναι η

	αλλαγή του κλίματος.
IgCC 2012	Κυκλοφόρησε τον Μάρτιο του 2012, το τμήμα 303 που σχετίζεται με την AKZ ενός ολόκληρου κτιρίου καλύπτει μόνο την αλλαγή του κλίματος και μια επιλογή από δύο ή περισσότερες πρόσθετες περιβαλλοντικές επιπτώσεις (επιλογή: τη χρήση πρωτογενούς ενέργειας, οξίνιση, ευτροφισμός, καταστροφή του όζοντος ή αιθαλομίχλη). Το παρόν τμήμα καθορίζει τη δημιουργία μίας AKZ και συγκρίνετε με ένα (δεν προσδιορίζεται) βασικό κατασκευαστικό κτίριο όπου καταδεικνύουν μείωση τουλάχιστον 20% μείωση στις καθορισμένες κατηγορίες επιπτώσεων. Η υιοθέτηση αυτού του κώδικα είναι περιορισμένη.
	Αν ακολουθηθεί, στη συνέχεια, τα έργα δεν χρειάζονται να συμμορφώνονται με το άρθρο 505, Υλικό Επιλογής, το οποία καλύπτει ένα συνδυασμό επαναχρησιμοποιούμενων, ανακυκλώσιμων αλλά και γήινων υλικών. Επιπλέον, η IgCC 2012 διαθέτει ένα ολοκληρωμένο κεφάλαιο 6 για την Εξοικονόμηση Ενέργειας, την αποτελεσματικότητα και τη μείωση των εκπομπών ισοδύναμου CO2 για την αποτελεσματική χρήση της ενέργειας σε ένα κτίριο.
<b>Νομοθεσίες</b>	
Dutch LCA analysis	Ξεκινώντας το 2013, το ολλανδικό πρότυπο LCA μπορεί να απαιτήσει AKZ όλων των νέων κτιρίων .
Exec. Order 13514 Sec. 13 Interagency Group	(ΣΕ ΑΝΑΠΤΥΞΗ). Προτεινόμενες κατευθυντήριες γραμμές για τα πρότυπα σχετικά με τα πράσινα σπίτια για την κυβέρνηση των ΗΠΑ. Το σχέδιο για δημόσιο σχολιασμό έχει επανειλημμένα καθυστερήσει. Αναμένεται να χρησιμεύσει ως πρότυπο για τα κράτη και οργανισμούς στις ΗΠΑ.
French EPD& LCA legislation	Η γαλλική νομοθεσία υποχρεώνει τη δημιουργία Περιβαλλοντικών Δηλώσεων Προϊόντων (ΠΔΠ) για όλα τα προϊόντα που πωλούνται στη Γαλλία, που δημοσιεύονται με οποιοδήποτε περιβαλλοντικό ισχυρισμό. Σε εξέλιξη τα τελευταία αρκετά χρόνια, η νομοθεσία αυτή οδήγησε στη δημιουργία των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη μιας βάσης δεδομένων AKZ.
German & Swiss LCA Certification	Τόσο η Γερμανία όσο και η Ελβετία έχουν υιοθετήσει ολόκληρη την AKZ κτιρίου ως μέρος των πράσινων συστημάτων πιστοποίησης κτιρίων τους. Σε περιφερειακό επίπεδο ειδικά εργαλεία και βάσεις δεδομένων έχουν αναπτυχθεί και δοκιμάζονται αυτή τη στιγμή για να καθορίσουν εάν μπορούν να αναπτυχθούν κατάλληλες βασικές γραμμές για να προτείνουν κατασκευή κτιρίων κατά των πρότυπων μετρήσεων.

## 2.4.2 Διαθέσιμα λογισμικά για AKZ

Τα εργαλεία που στηρίζουν την εφαρμογή της AKZ είναι πολλά και κατά βάση χωρίζονται σε τρία επίπεδα ανάλυσης (επίπεδο 1: αξιολόγηση υλικού, επίπεδο 2: αξιολόγηση κτιρίου από τη φάση του σχεδιασμού και έμφαση στη λήψη αποφάσεων και τέλος επίπεδο 3: αξιολόγηση κτιρίου με έμφαση στη διαχείριση) [10-12].

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για την περιβαλλοντική αξιολόγηση των επιμέρους δομικών υλικών όπως είναι το GaBi, το SimaPro, το Gemis κ.τ.λ. [12-14]. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει εργαλεία που αξιολογούν το σύνολο της κατασκευής στον κύκλο ζωής της. Εργαλεία που ανήκουν στην κατηγορία αυτή είναι το Athena, το Envest, το BEES, κτλ [11, 15,16]. Τέλος, η τρίτη κατηγορία περιλαμβάνει εργαλεία που στοχεύουν στην ολοκληρωμένη αξιολόγηση των κατασκευών. Τα εργαλεία αυτά στηρίζονται στη μεθοδολογία της AKZ και η αξιολόγηση επιτυγχάνεται με την εφαρμογή συγκεκριμένων κριτηρίων στις κατασκευές. Εργαλεία που ανήκουν στην κατηγορία αυτή είναι ΣΑ όπως το LEED, το BREEAM, το GBTool, κτλ [16-18].

Τα Συστήματα Αξιολόγησης είναι περιβαλλοντικά εργαλεία διαχείρισης, που στόχο έχουν τη βιωσιμότητα με παράλληλα οικονομικά και κοινωνικά οφέλη. Τα ΣΑ αποτελούν ολοκληρωμένα εργαλεία, τα οποία στηρίζονται σε άλλες μεθοδολογίες και διαχειριστικά εργαλεία. Για παράδειγμα πολλά από τα ΣΑ στηρίζονται στη μεθοδολογία της AKZ και στα Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης. Επιπλέον, τα ΣΑ βασίζονται στη φιλοσοφία των ενεργειακών ελέγχων, επεκτείνονται όμως και σε άλλα περιβαλλοντικά θέματα όπως τη χρήση νερού, την ποιότητα εσωτερικού αέρα, την επιλογή υλικών, τη διαχείριση αποβλήτων κ.α.

Είναι ουσιαστικά συστήματα των οποίων η δομή στηρίζεται στη συλλογή μονάδων και έχουν σχεδιαστεί για να αξιολογούν νέα και υφιστάμενα κτίρια με βάση συγκεκριμένο πρότυπο αξιολόγησης της περιβαλλοντικής επίδοσης. Ο βιώσιμος σχεδιασμός στοχεύει στην αξιολόγηση των περιβαλλοντικών θεμάτων στον κύκλο ζωής των κτιρίων και συγκεκριμένα στο στάδιο του σχεδιασμού, της κατασκευής και της λειτουργίας. Βασικά κριτήρια με βάση τα οποία αξιολογούνται και επιλέγονται τα ΣΑ είναι τα ακόλουθα [19]:

- Μετρησιμότητα: Χρησιμοποιεί το σύστημα μετρήσιμα χαρακτηριστικά για να ενσωματώνει το βιώσιμο σχεδιασμό στον κύκλο ζωής του κτιρίου.
- Εφαρμοσιμότητα: Μπορεί το σύστημα να εφαρμοστεί σε όλους τους τύπους κτιρίων (εμπορικά, κατοικίες, γραφεία, νοσοκομεία κ.α.).
- Διαθεσιμότητα: Μπορεί το σύστημα να εφαρμοστεί και σε άλλες χώρες με ευκολία; Για παράδειγμα μπορεί ένα ευρωπαϊκό κτίριο κατοικίας να



πιστοποιηθεί με ένα αμερικανικό σύστημα αξιολόγησης και το αντίστροφο.

- **Ανάπτυξη:** Με βάση ποια μεθοδολογία έχει δημιουργηθεί το σύστημα αξιολόγησης; Βασίζεται πάνω στη νομοθεσία, σε πρότυπα, σε περιβαλλοντικά εργαλεία όπως η AKZ και τα Συστήματα Περιβαλλοντικής Διαχείρισης.
- **Χρηστικότητα:** Είναι πρακτικό και φιλικό προς το χρήστη; Περιλαμβάνει πρακτικούς οδηγούς που να διαχωρίζουν την εφαρμογή του συστήματος ανάλογα με τον τύπο κτιρίων.
- **Ωριμότητα:** Το κριτήριο αυτό σχετίζεται με το έτος δημιουργίας του συστήματος, τον αριθμό των κτιρίων που έχει πιστοποιήσει, το έτος αναδιαμόρφωσης του συστήματος.
- **Τεχνικό περιεχόμενο:** Και αυτή είναι σημαντική παράμετρος και σχετίζεται με την εξέταση των περιβαλλοντικών πτυχών κατά τη διαδικασία της πιστοποίησης.
- **Επικοινωνία:** Ποιος είναι ο τρόπος με τον οποίο ανακοινώνονται τα αποτελέσματα της διαδικασίας αξιολόγησης; Πώς γνωστοποιείται στο κοινό και στους οργανισμούς ένα πιστοποιημένο κτίριο;
- **Κόστος:** Και αυτό είναι ένα σημαντικό κριτήριο και περιλαμβάνει το κόστος του κτιρίου κατά τη διαδικασία αξιολόγησης.

Σύμφωνα με την διδ. Κυρ. Γιαμά [20], η σύγκριση των πέντε από τα πιο αντιπροσωπευτικά συστήματα αξιολόγησης, τα οποία θεώρησαν ως από τα πιο «ώριμα» και πιο άρτια σχεδιασμένα, φαίνεται στον Πίνακα 2.4 Επιπλέον, η αξιολόγηση δεν αφορά μόνο την Ευρώπη, αλλά και άλλες χώρες καθώς τα συστήματα προέρχονται από την Αμερική, τον Καναδά, την Κορέα και την Ιαπωνία. Αναλυτικότερα τα συστήματα που εξετάστηκαν είναι τα:

- **GB TOOL:** προέρχεται από τον Καναδά αλλά είναι διαθέσιμο προς εφαρμογή και σε άλλες χώρες. Για την αξιολόγηση των κτιρίων το σύστημα αυτό χρησιμοποιεί ποσοτικά στοιχεία [21].
- **BREEAM:** το σύστημα αυτό είναι το πιο δημοφιλές στην Ευρώπη. Χρησιμοποιεί και αυτό, κατά την αξιολόγηση των κτιρίων, ποσοτικούς δείκτες και είναι διαθέσιμο σε χώρες εντός και εκτός της Ευρώπης, ενώ είναι πολύ πρακτικό κατά την εφαρμογή του [22]
- **LEED:** το σύστημα αυτό προέρχεται από την Αμερική είναι και αυτό όμως διαθέσιμο και σε άλλες χώρες. Είναι φιλικό στο χρήστη καθώς είναι διαθέσιμο μέσω δικτύου. Τέλος χρησιμοποιεί και αυτό ποσοτικοποιημένους δείκτες για την αξιολόγηση των κτιρίων [23].
- **CASBEE:** το σύστημα αυτό προέρχεται από την Ιαπωνία, χρησιμοποιεί ποσοτικοποιημένους δείκτες για την αξιολόγηση των κτιρίων και είναι διαθέσιμο προς εφαρμογή σε άλλες χώρες [24]
- **Green Globes US:** το σύστημα αυτό είναι από τον Καναδά χρησιμοποιεί και αυτό ποσοτικοποιημένους δείκτες για την αξιολόγηση των κτιρίων και διατίθεται προς

εφαρμογή σε άλλες χώρες [25]

Μία ουσιαστική διαφορά των ΣΑ έγκειται στους βαθμούς που δίνει το εκάστοτε σύστημα αξιολόγησης ανά περιβαλλοντική πτυχή. Στον πίνακα 1.4 δίνονται πληροφορίες για τον τρόπο που δημοσιοποιούνται τα αποτελέσματα πιστοποίησης στο κοινό.

Πίνακας 2.4: «Επικοινωνία» συστημάτων αξιολόγησης με το κοινό – Δημοσιοποίηση αποτελεσμάτων πιστοποίησης.

Σύστημα Αξιολόγησης	Κατάταξη αποτελεσμάτων	Παρουσίαση αποτελεσμάτων
GB TOOL	Ιστογράμματα	Δεν είναι διαθέσιμα τα στοιχεία
BREEAM	Βάση (pass), καλό (good), πολύ καλό (very good), άριστο (excellent)	Πιστοποιητικό
LEED	Πιστοποιήσιμο (40%), ασημένιο (50%), χρυσό (60%), πλατινένιο (80%)	Γράμμα τεκμηρίωσης της πιστοποίησης από το φορέα, πλακέτα και πιστοποιητικό
CASBEE	Διαγράμματα, ιστογράμματα	Πιστοποιητικό και ηλεκτρονικά δημοσιευμένα αποτελέσματα στην ιστοσελίδα του συστήματος
Green Globes US, Canada	Μία με τέσσερις σφαίρες (1=35-54%, 2=55-69%, 3=70-84%, 4=85%+)	Πλακέτα, σχετική έκθεση τεκμηρίωσης της πιστοποίησης και case study

Στην εργασία αυτή το λογισμικό που θα χρησιμοποιήσουμε είναι το SimaPro [26]. Το SimaPro είναι ένα λογισμικό με κυρίαρχο ρόλο στον τομέα ανάλυσης του κύκλου ζωής των υλικών με πάνω από 25 χρόνια εμφάνισης στον κλάδο και το έχουν εμπιστευτεί εταιρίες και ακαδημίες σε περισσότερες από 80 χώρες στον κόσμο. Το SimaPro είναι ένα επαγγελματικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για τη συλλογή δεδομένων που αναλύουν και παρακολουθούν την απόδοση της βιωσιμότητας των προϊόντων και υπηρεσιών από τα αντίστοιχα υλικά που γίνεται η ανάλυση του κύκλου ζωής. Μέσω του εργαλείου αυτού μπορούμε να αντλήσουμε πληροφορίες σχετικά με την βιωσιμότητα των υλικών, τις εκπομπές σε άνθρακα και άλλα καθώς επίσης μας βοηθάει και στον σχεδιασμό του προϊόντος για καλύτερη μελλοντική χρήση τους, τη δημιουργία περιβαλλοντικών δηλώσεων για τα προϊόντα, και τέλος τον προσδιορισμό βασικών δεικτών απόδοσης. Τα δεδομένα αυτά βρίσκονται ήδη σε ηλεκτρονικές βιβλιοθήκες που απαρτίζουν το λογισμικό χωρισμένες σε κατηγορίες ανάλογα τα υλικά και οι οποίες έχουν φτιαχτεί έπειτα από πολλές μελέτες. Επίσης

δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη εύκολα να προσθέσει μία δικιά του πληροφορία στην βιβλιοθήκη. Το πρόγραμμα παρέχει επίσης την δυνατότητα δημιουργίας διαγράμματος της ενεργειακής ροής καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής των υλικών με χαρακτηριστικές γραμμές που δηλώνουν ένα "καλό" περιβαλλοντικό αποτέλεσμα των διεργασιών ή μη.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ ΣΕ ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΚΤΙΡΙΑ

### 3.1 Ιστορική ανασκόπηση

Ο χώρος των κατασκευών αποτελεί μία ενδιαφέρουσα αλλά και συγχρόνως δύσκολη εφαρμογή της μεθοδολογίας ΑΚΖ. Αυτό οφείλεται κυρίως:

- Στη μεγάλη διάρκεια ζωής των κτιρίων, η οποία πολλές φορές ξεπερνά και τα 50 χρόνια.
- Στις αλλαγές, στις επισκευές και στις αντικαταστάσεις που γίνονται κατά τη διάρκεια ζωής ενός κτιρίου.
- Στο ότι πολλές από τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις που προκαλεί ένα κτίριο στον κύκλο ζωής του οφείλεται κυρίως στα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του.
- Στην ανάγκη για πολλά αρχικά δεδομένα, προκειμένου να εφαρμοστεί η μεθοδολογία της ΑΚΖ και να προκύψουν αξιόπιστα συμπεράσματα.
- Στη μοναδικότητα κάθε κτιρίου και στη δυσκολία τυποποίησης των διαδικασιών επεξεργασίας.
- Στην εμπλοκή πολλών ατόμων που σχετίζονται με το σχεδιασμό, την κατασκευή, τη λειτουργία και την τελική διαχείριση ενός κτιρίου.

Κατά τη μελέτη ενός κτιρίου μία αρκετά ορθολογική αλλά και αρκετά επίπονη διαδικασία αξιολόγησης είναι ο επιμερισμός του κτιρίου στα επιμέρους υλικά του. Διαχωρίζουμε δηλαδή το κτίριο στα επιμέρους δομικά του στοιχεία και εφαρμόζουμε μεθοδολογία αξιολόγησης για το καθένα, αθροίζοντας στο τέλος της ανάλυσης τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις για το σύνολο του κτιρίου. Γενικά βέβαια λόγω του όγκου των αρχικών δεδομένων που απαιτούνται σε υλικά και ενέργεια η εφαρμογή της ΑΚΖ τόσο σε δομικά υλικά και πολύ περισσότερο στο σύνολο του κτιρίου χρειάζεται υποθέσεις και εκτιμήσεις [27]. Η επιδίωξη κατά την εφαρμογή της ΑΚΖ σε ένα κτίριο εστιάζει κυρίως στην εξοικονόμηση ενέργειας και ειδικότερα στη λειτουργία του κτιρίου, στην εφαρμογή θερμομόνωσης, στη χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Από την άλλη, η εφαρμογή της ΑΚΖ σε υλικά έχει ως στόχο τον εντοπισμό υλικών με λιγότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και την εισαγωγή στην αγορά καινοτόμων προϊόντων δόμησης, αποδοτικών και φιλικών προς το περιβάλλον. Επιπλέον, το υπό μελέτη σύστημα των υλικών είναι σαφέστατα πιο απλοποιημένο σε σχέση με του κτιρίου.

Σύμφωνα με τον Otiz [28], η εφαρμογή της μεθοδολογίας της ΑΚΖ στα κτίρια μπορεί να χωριστεί σε τρία βασικά επίπεδα ανάλυσης ΑΚΖ:

1. Σε δομικά υλικά.

- .2. Σε κατασκευαστικές διατομές.
- .3. Στο σύνολο της κατασκευής του κτιρίου.

Είναι φανερό πως υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι προσέγγισης του ζητήματος της περιβαλλοντικής αξιολόγησης των κτιρίων και διάφορα επίπεδα ανάλυσης.

Από το 2000 μέχρι και το 2007 έχουν συνολικά δημοσιευθεί 25 εργασίες, που αφορούν στην εφαρμογή της ΑΚΖ στον τομέα των κτιριακών κατασκευών. Από αυτές το 68% αφορούν στην ΑΚΖ σε δομικά υλικά ή σε κατασκευαστικές διατομές κτιρίων και το υπόλοιπο 32% σε ΑΚΖ στο σύνολο του κτιρίου.

Πίνακας 3.1: Πρόσφατες εφαρμογές ΑΚΖ σε δομικά υλικά και επιμέρους στοιχεία του κτιρίου

Αναφορά	Προέλευση	Περιεχόμενο
[29] Ardenne, 2005	Ιταλία	ΑΚΖ σε ηλιακούς συλλέκτες
[30] Asif et.al., 2005	Σκωτία	ΑΚΖ σε δημοφιλή δομικά υλικά
[31] Citherlet et.al., 2000	Ελβετία	ΑΚΖ σε παράθυρα LCA
[32] Gustavsson and Sathre, 2006	Σουηδία	ΑΚΖ στο ξύλο και στο τσιμέντο
[33] Koroneos and Doprois, 2006	Ελλάδα	ΑΚΖ στο τούβλο
[34] Nebel et.al., 2006	Γερμανία	ΑΚΖ σε δάπεδα
[35] Nicoletti et.al., 2002	Ιταλία	ΑΚΖ σε υλικά δαπέδων
[36] Nyman and Simonson, 2005	Φιλανδία	ΑΚΖ σε συστήματα αερισμού σε κτίρια κατοικιών
[37] Petrsen and Solberg 2005	Σουηδία	ΑΚΖ σε ξύλο και εναλλακτικά υλικά
[38] Giama and Papadopoulos, 2005	Ελλάδα	Περιβαλλοντική αξιολόγηση στην παραγωγή πετροβάμβακα και υιοθέτηση περιβαλλοντικών δεικτών
[39] Prek, 2004	Slovenia	ΑΚΖ σε κλιματιστικές μονάδες
[40] Ross and Evans, 2003	Αυστραλία	ΑΚΖ στο πλαστικό με έμφαση στην ανακύκλωση και στην επαναχρησιμοποίηση

[41] Saiz, 2006	Ισπανία	AKZ σε πράσινες στέγες
[42] Seppala, 2002	Φιλανδία	AKZ σε μεταλλικά προϊόντα
[43] Van de Lugt et.al., 2004	Ολλανδία	AKZ στο ξύλο, στο χάλυβα και στο τσιμέντο
[44] Wu et.al., 2005	Κίνα	Χρήση εναλλακτικών δομικών υλικών
[45] Kloppfer et.al., 2003	Αυστρία	Συγκριτική αξιολόγηση τριων μονωτικών με AKZ

Πίνακας 3.2: Πρόσφατες εφαρμογές AKZ σε κτίρια

Αναφορά	Προέλευση	Περιεχόμενο
[46] Arena and Rosa, 2003	Αργεντινή	AKZ σε σενάρια παρεμβάσεων για την εξοικονόμηση ενέργειας σε κτίρια σχολείων
[47] Adalberth et.al., 2001	Σουηδία	AKZ σε τέσσερα διαμερίσματα
[48] Jian et.al., 2003	Ιαπωνία	AKZ σε αστικές περιοχές
[49] Junilla, 2004	Φιλανδία	AKZ σε κτίριο γραφείων
[50] Koroneos and Kottas, 2007	Ελλάδα	AKZ σε διαμέρισμα στη Θεσσαλονίκη με έμφαση στην κατανάλωση ενέργειας στη φάση χρήσης
[50] Papadopoulos and Giama, 2006	Ελλάδα	AKZ στο κτίριο του Παιδαγωγικού στη Θεσσαλονίκη
[51] Peuportier, 2001	Γαλλία	AKZ σε τρεις διαφορετικούς τύπους κτιρίων κατοικιών
[52] Scheuer et.al., 2003	ΗΠΑ	AKZ σε κτίριο τριτοβάθμιας εκπαίδευσης

### 3.2 Φάσεις AKZ σε κτίρια

Οι βασικές φάσεις στο σύστημα περιβαλλοντικής αξιολόγησης του υλικού είναι: η

χρήση πρώτων υλών, η παραγωγική διαδικασία, η τοποθέτηση και η τελική διάθεση. Αντίστοιχα, το υπό μελέτη σύστημα για το κτίριο περιλαμβάνει: χρήση πρώτων υλών, κατασκευή, λειτουργία, επισκευή - ανακαίνιση, κατεδάφιση. Ο όγκος πληροφορίας και αρχικών δεδομένων για το κτίριο απαιτεί διάφορες πηγές για παράδειγμα, αρχιτέκτονες, κατασκευαστές, μηχανικούς, χρήστες, ερευνητές, ενώ για την περιβαλλοντική αξιολόγηση των δομικών υλικών αρκεί η χρήση πληροφοριών από τη βιομηχανία.

Ουσιαστικά, κατά την ανάλυση του κτιρίου σε επιμέρους φάσεις μπορούμε να διακρίνουμε τρεις βασικές διεργασίες, οι οποίες όμως σίγουρα μπορούν να υποδιαιρεθούν και σε άλλες υποδιεργασίες [5].

Πιο συγκεκριμένα:

- **Φάση κατασκευής:** Στη φάση κατασκευής ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην επιλογή, χρήση και αξιολόγηση των υλικών. Επίσης, στο στάδιο αυτό σημαντική συμβολή στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις έχει και η διαδικασία μεταφοράς των υλικών αλλά και οι διεργασίες κατασκευής ενός κτιρίου.
- **Φάση λειτουργίας κτιρίου:** Στη φάση λειτουργίας αναλύονται οι λειτουργίες (φωτισμός, χρήση ηλεκτρικών συσκευών, κ.τ.λ.) και τα συστήματα (ψύξης, θέρμανσης, κλιματισμού, χρήσης ζεστού νερού, κ.τ.λ.) ενός κτιρίου.
- **Φάση τελικής διάθεσης:** Ουσιαστικά σε αυτή τη φάση μελετάται η τελική διάθεση των υλικών κατασκευής αλλά και των υλικών λειτουργίας του κτιρίου (υιοθέτηση χωριστών χώρων συλλογής αποβλήτων, ανακύκλωση, επαναχρησιμοποίηση, κ.τ.λ.).

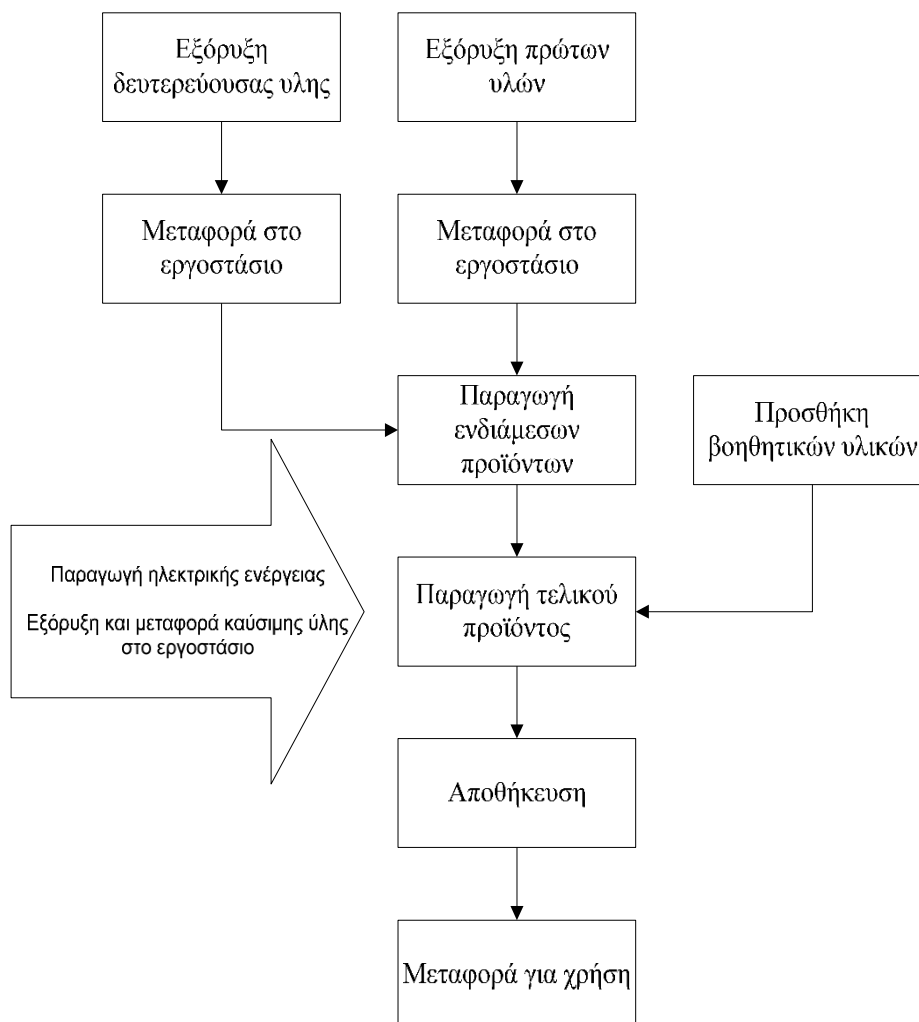
### **3.3 Ανάλυση του Κύκλου Ζωής για επιμέρους υλικά δόμησης**

Ο σκοπός είναι η ενσωμάτωση της μεθοδολογίας της AKZ ως βασική μέθοδο μιας ευρύτερης διαδικασίας οικολογικού σχεδιασμού για τη φάση του αρχικού σχεδιασμού των κτιρίων και στη δημιουργία εργαλείου για το συνυπολογισμό του περιβαλλοντικού κριτηρίου στη χρήση δομικών υλικών και κατασκευών.

Τα αποτελέσματα εφαρμογής της AKZ σε δομικά υλικά και κατασκευές χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για τον υπολογισμό της περιβαλλοντικής επίδοσης των κτιρίων.

Τα υπό εξέταση δομικά υλικά που μελετώνται χωρίζονται στις παρακάτω βασικές κατηγορίες: θερμομονωτικά υλικά, υλικά τοιχοποιίας, στην πρώτη περίπτωση είναι η γυψοσανίδα και στην δεύτερη το μπετό και το τούβλο, υλικά κελύφους αντίστοιχα με πριν έχουμε το μεταλλικό κέλυφος για την μία περίπτωση και στην άλλη έχουμε τον σίδηρο, επιχρίσματα.

Η περιβαλλοντική αξιολόγηση περιλαμβάνει τις διεργασίες εξόρυξης και παραγωγής πρώτων υλών, τη μεταφορά των πρώτων υλών στους χώρους παραγωγής, την παραγωγική διαδικασία του υπό μελέτη δομικού υλικού, τη μεταφορά του τελικού προϊόντος στο χώρο κατασκευής και την τοποθέτηση του υλικού.



Σχήμα 3.1: Γενική απεικόνιση της γραμμής παραγωγής των υλικών

Παρακάτω, παρουσιάζεται αναλυτικά η παραγωγική διαδικασία, η οποία εφαρμόζεται στην ελληνική βιομηχανία για την παραγωγή πετροβάμβακα με οριζόντιο προσανατολισμό ινών και πλεχτής ίνας, φύλλων γυψοσανίδας, διογκωμένης πολυστερίνης, τσιμέντου, χάλυβα οπλισμού, σκυροδέματος μέταλλο. Επίσης, για κάθε δομικό υλικό, παρουσιάζεται διάγραμμα ροής της παραγωγικής διαδικασίας με στοιχεία εισροών ενέργειας και υλικών, καθώς και εκροών.



### 3.3.1 Πετροβάμβακας

#### 3.3.1.1 Παραγωγική διαδικασία πετροβάμβακα με οριζόντιο προσανατολισμό ινών

Ο πετροβάμβακας είναι υλικό ινώδους μορφής, αποτελείται από μια μάζα ινών (διάμετρος < 4 ή 5 μm) και παρασκευάζεται από μίγμα ορυκτογενών πετρωμάτων, που αφθονούν στη φύση, όπως βασάλτη, μεταβασάλτη, διαβάση, αμφιβολίτη, ασβεστόλιθο, δολομίτη και βωξίτη. Για την παραγωγή του πετροβάμβακα, το μίγμα των ορυκτογενών πετρωμάτων θερμαίνεται και λιώνει είτε μέσα σε υψικάμινου είτε σε ηλεκτρικό φούρνο. Το λιώσιμο του ορυκτογενούς μίγματος σε ηλεκτρικό φούρνο αποτελεί πιο σύγχρονη μέθοδο, σε σύγκριση με τη λειτουργία της υψικάμινου για τη θερμική επεξεργασία του ορυκτογενούς μίγματος. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η μέθοδος αυτή δίνει διαστασιακή ομοιομορφία στις παραγόμενες ίνες μέσω της σταθερά ελεγχόμενης θερμοκρασίας του τήγματος. Επιπλέον, η μέθοδος αυτή προκαλεί μικρότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις σε σχέση με τη μέθοδο της υψικάμινου. Στη συνέχεια και με τη βοήθεια της φυγοκέντρισης το μίγμα παίρνει την τελική ινώδη μορφή του. Η συγκόλληση των ινών μεταξύ τους επιτυγχάνεται με την προσθήκη συνθετικής φαινολικής ρητίνης και σιλικονέλαιου.

Ειδικότερα, η παραγωγική διαδικασία του πετροβάμβακα με οριζόντιο προσανατολισμό ινών [53,54] είναι ως εξής: Για την παραγωγή του αρχικού ορυκτογενούς μίγματος χρησιμοποιείται αμφιβολίτης σε ποσοστό 70%, δολομίτης ή ασβεστόλιθος σε ποσοστό 10 - 20% και βωξίτης που προστίθεται για να αυξηθεί η συμμετοχή του Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Προκειμένου να συγκολληθούν οι ίνες μεταξύ τους και να διαμορφωθεί το υλικό σε μορφή πλάκας ή παπλώματος, χρησιμοποιούνται ως συνδετικά υλικά η συνθετική φαινολική ρητίνη και συνδετικό λάδι.

Η παραγωγή του πετροβάμβακα γίνεται σε ηλεκτρικό φούρνο ισχύος 3500 kW, στο οποίο η τροφοδοσία των πρώτων υλών γίνεται από το επάνω μέρος (μέγεθος υλικού < 8 mm). Μέσα στο φούρνο υπάρχουν τρία ηλεκτρόδια από γραφίτη και με τη διοχέτευση του ηλεκτρικού ρεύματος επέρχεται η τήξη των πετρωμάτων. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στο εσωτερικό του φούρνου για την αποφυγή ανεπιθύμητων αντιδράσεων, διοχετεύεται στο εσωτερικό του, αδρανές αέριο (άζωτο).

Από το φούρνο, η παραγόμενη λάβα με κατάλληλη διάταξη της εγκατάστασης φτάνει στον ινοποιητή όπου και παράγεται η ίνα. Η θερμοκρασία της λάβας κατά τη διαδικασία της παραγωγής, πρέπει να είναι τουλάχιστον 1400 °C, με συνήθη όρια λειτουργίας μεταξύ 1450 – 1520 °C. Ταυτόχρονα με την παραγωγή της ίνας στον ινοποιητή, διενεργείται και ψεκασμός ρητίνης πάνω στην ίνα, που σκοπό έχει να πάρει το προϊόν την τελική του μορφή, έχοντας τις επιθυμητές κάθε φορά ιδιότητες (π.χ. δημιουργία του επιθυμητού πάχους στην πλάκα του πετροβάμβακα, αντοχή σε εφελκυσμό κτλ).

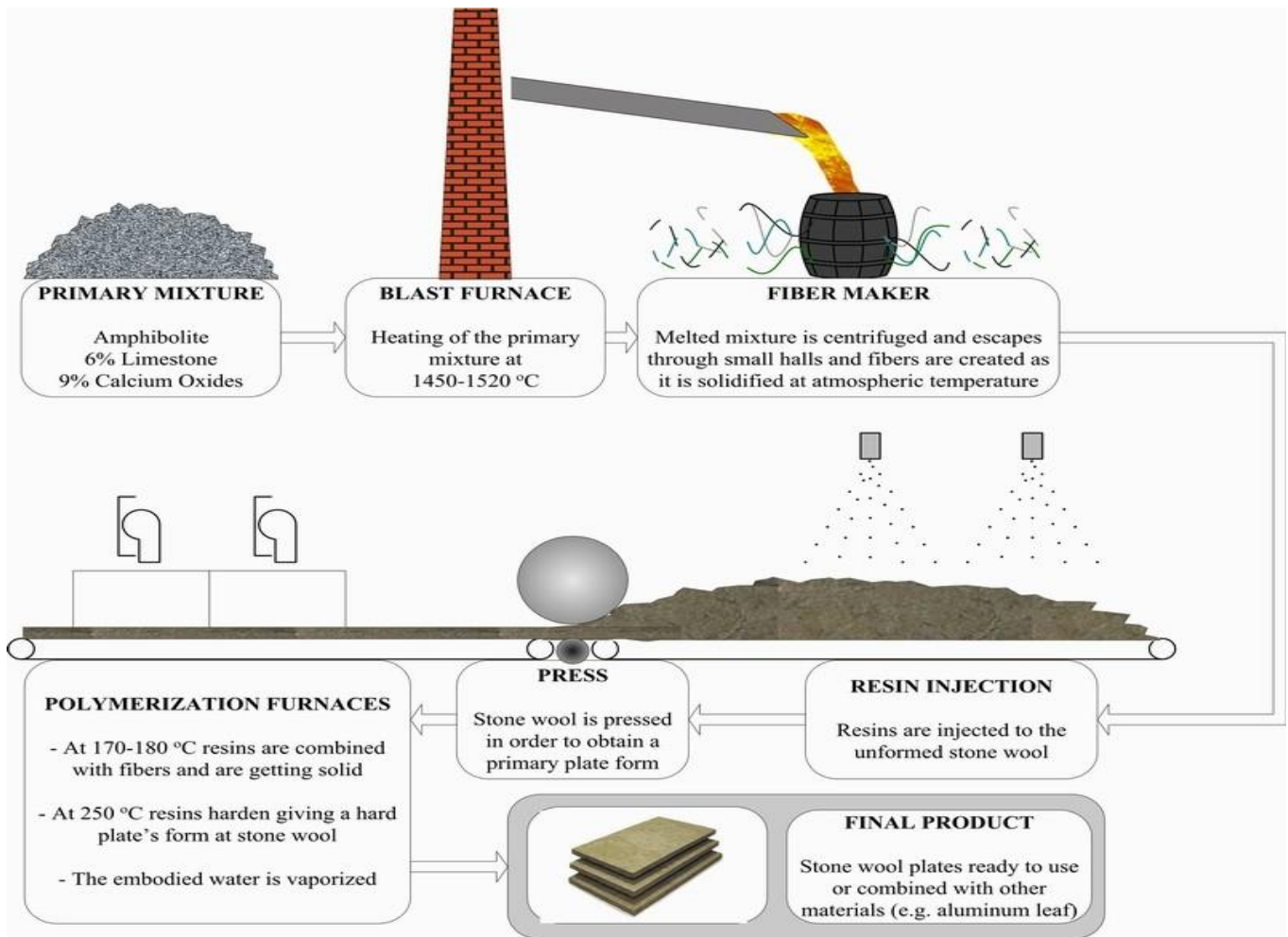
Η ρητίνη που χρησιμοποιείται είναι ρητίνη φαινόλης – φορμαλδεΐδης που ανήκει στην κατηγορία των θερμοσκληρυνόμενων ρητινών. Στην αρχική της πρώιμη μορφή η ρητίνη είναι υγρή και μπορεί εύκολα να ψεκάσθει πάνω στις ίνες του πετροβάμβακα, ενώ στη συνέχεια περνώντας κατά μήκος της γραμμής παραγωγής μέσα από φούρνο θερμοκρασίας ~ 270 οC (φούρνος πολυμερισμού), πολυμερίζεται, σκληραίνει και δίνει στο προϊόν την τελική του μορφή.

Το ποσοστό της ρητίνης που προστίθεται δεν είναι σταθερό αλλά εξαρτάται από τη φύση του προϊόντος, όπως πλάκα ή ρολό καθώς και από την πυκνότητα, με συνήθη όρια μεταξύ 2 - 3 % του βάρους της ίνας.

Κατά την παραγωγή του πετροβάμβακα –είτε χρησιμοποιείται ρητίνη είτε όχι– το μίγμα ψεκάζεται και με ειδικό λάδι (dust oil). Το λάδι σκοπό έχει να λιπάνει τις ίνες και να μειώσει τη σκόνη που προκαλείται κατά τη μεταξύ τους τριβή. Το ποσοστό του λαδιού που χρησιμοποιείται είναι σταθερά 0,3% του βάρους της ίνας.

Μετά το φούρνο πολυμερισμού το υλικό συμπιέζεται, ώστε να πάρει το τελικό του πάχος και έπειτα διαμορφώνονται οι τελικές του διαστάσεις στα μηχανήματα κοπής. Ο πετροβάμβακας παράγεται σε πλάκες από 40 έως 200 kg/m<sup>3</sup> και σε ρολά με κοτετσόσυρμα από 65 έως 100 kg.

Στο σχήμα 3.2 που ακολουθεί παρουσιάζεται και σχηματικά η παραγωγή του πετροβάμβακα.



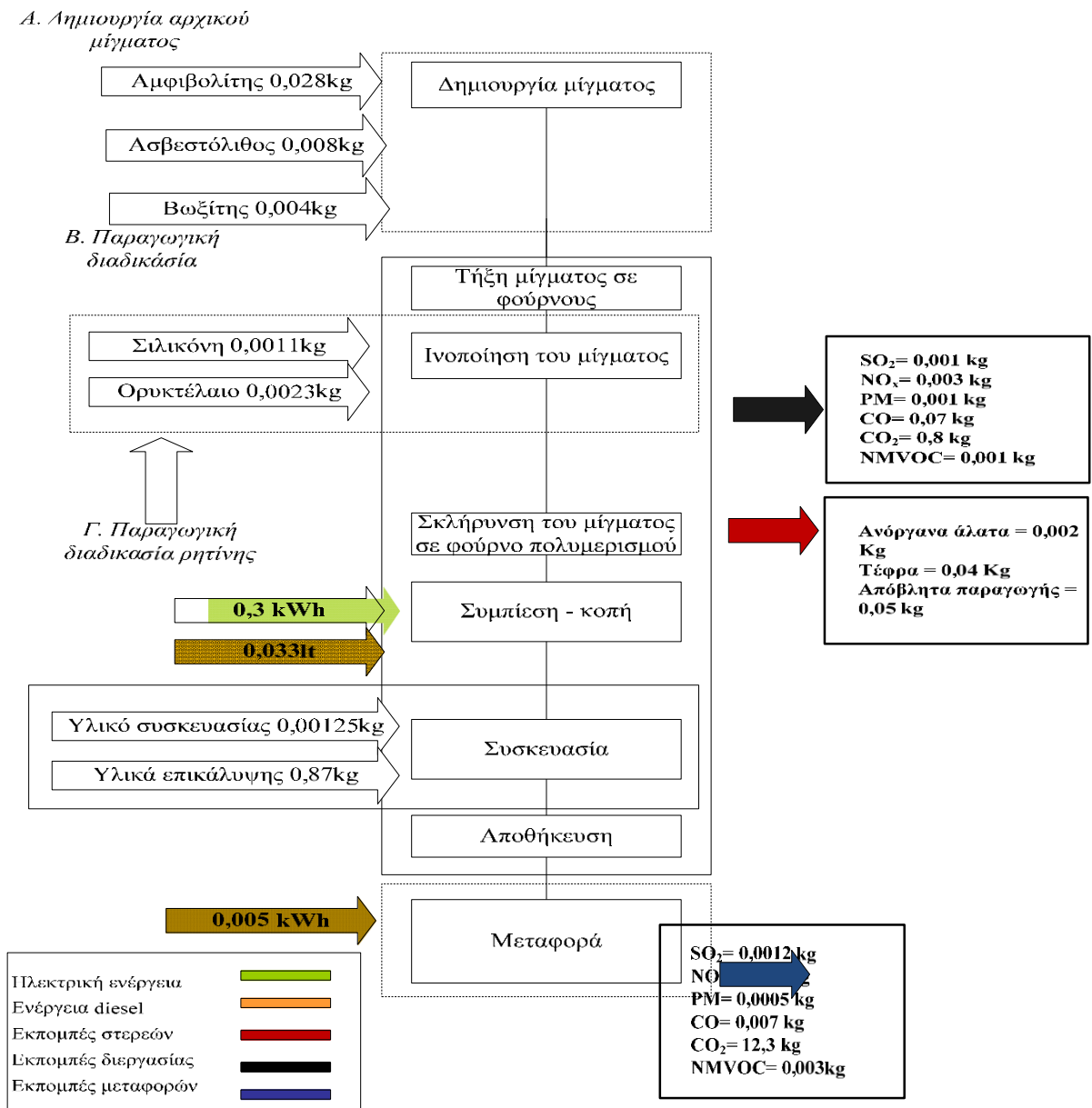
Σχήμα 3.2 Γραφική απεικόνιση παραγωγικής διαδικασίας πετροβάμβακα [55]

### 3.3.1.2 Παραγωγική διαδικασία πετροβάμβακα πλεχτής ίνας

Η παραγωγική διαδικασία προϊόντων πετροβάμβακα με τυχαίο προσανατολισμό ινών διαφοροποιείται από την παραγωγική διαδικασία που αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο μετά από την έξοδο από τον ινοποιητή. Στη γραμμή παραγωγής που μεσολαβεί μεταξύ του ινοποιητή και του φούρνου πολυμερισμού προστέθηκαν τέσσερα (4) ζεύγη κυλίνδρων με τέτοια διάταξη, ώστε, λόγω της μείωσης της ταχύτητας της γραμμής παραγωγής στο σημείο αυτό και της απόστασης των κυλίνδρων, το υλικό να συμπιέζεται και εξαιτίας της περιστροφικής κίνησης των κυλίνδρων να μπλέκονται οι ίνες του. Με τον τρόπο αυτό αλλάζει ο προσανατολισμός των ινών του πετροβάμβακα. Η υπόλοιπη παραγωγική διαδικασία δεν σημειώνει κάποια διαφοροποίηση με την παραγωγική διαδικασία του πετροβάμβακα με οριζόντιο προσανατολισμό ινών.

Στο διάγραμμα ροής της παραγωγικής διαδικασίας του πετροβάμβακα (σχήμα 3.3)

παρουσιάζονται οι εισροές ενέργειας και υλικών, καθώς και οι σημαντικότερες εκροές.



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα ροής παραγωγικής διαδικασίας πετροβάμβακα [56]

Στο σχήμα 3.4 που ακολουθεί παρουσιάζεται αναλυτικά η παραγωγική διαδικασία της ρητίνης που αποτελεί σημαντικό βοηθητικό υλικό για την παραγωγή του πετροβάμβακα.

*Γ. Παραγωγική διαδικασία ρητίνης*



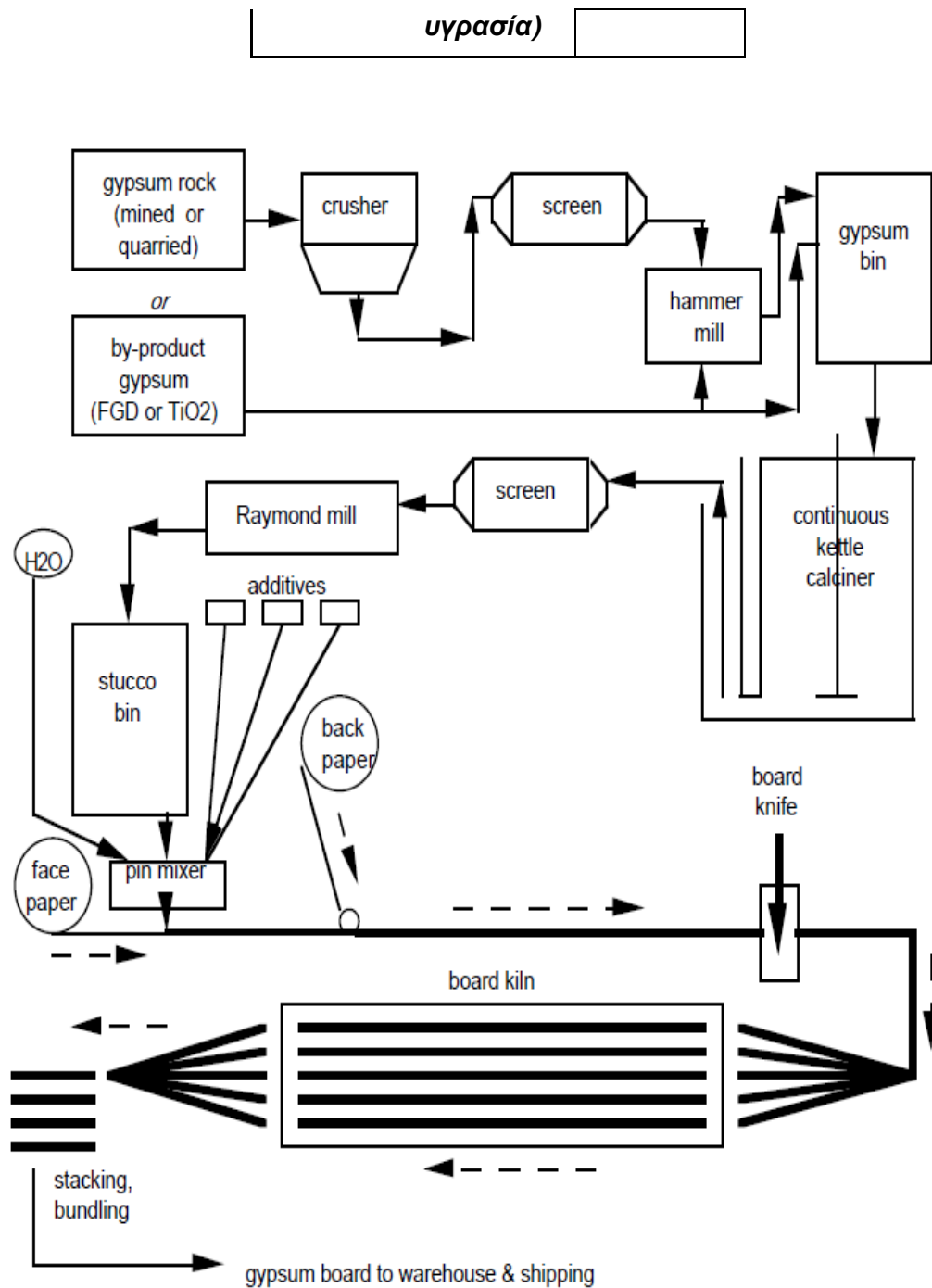
Σχήμα 3.4: Παραγωγική διαδικασία ρητίνης [56]

### 3.3.2 Φύλλο γυψοσανίδας

Για την παραγωγική διαδικασία της γυψοσανίδας απαιτείται γύψος, χαρτί, νερό και πρόσθετα για τη βελτιστοποίηση του μίγματος. Το μίγμα των πρώτων υλών τοποθετείται στον αναμικτήρα προς ομογενοποίηση. Έπειτα, το παραγόμενο μίγμα οδηγείται στο διάδρομο παραγωγής, προκειμένου να πάρει τη μορφή πλάκας και ακολουθεί η διεργασία ξήρανσης της πλάκας. Τέλος, η πλάκα της γυψοσανίδας οδηγείται προς κοπή και συσκευασία. Παραστατικά η παραγωγική διαδικασία της γυψοσανίδας παρουσιάζεται στο σχήμα 3.5.

Πίνακας 3.3: Μέσος όρος  $\text{kg/m}^2$  πρώτων υλών γυψοσανίδας 1/2'' [57]

<b>1/2" Γυψοσανίδα</b>	
<b>Στόκος</b>	63.610
<b>Χαρτί</b>	0.4715
<b>Νερό</b>	54.273
<b>Διάφορα</b>	0.1108
<b>Περλίτης</b>	0.0000
<b>Σύνολο</b>	<b>(βάρος με υγρασία)</b>
	123.706
	<b>(βάρος χωρίς)</b>
	80.632



Σχήμα 3.5: Παραγωγική διαδικασία γυψοσανίδας [53]

Ας δούμε τώρα καλύτερα τι γίνεται σε κάθε διεργασία για την κατασκευή μίας γυψοσανίδας.

### Αρχικός κομματισμός

Στον πρωτογενή θραυστήρα, ο γύψος σε μορφή πετρώματος μειώνεται σε περίπου 2"-5" ή λιγότερο σε μέγεθος. Από εδώ το θρυμματισμένο πλέον πέτρωμα μπορεί να σταλεί για δευτερογενή θραύση και μετά να μεταφερθεί απευθείας στο μύλο.

Μερικές φορές μπορεί να αποθηκευτεί σε ειδικές δεξαμενές στο λατομείο, ή, όπως γίνεται στις περισσότερες περιπτώσεις επειδή το λατομείο και οι εγκαταστάσεις παραγωγής συνήθως δεν είναι στην ίδια θέση, μπορεί να αποσταλεί με τραίνο ή με φορτηγό ή και με πλοίο μερικές φορές ανάλογα το που βρίσκεται ο τόπος εξόρυξης, στο εργοστάσιο παραγωγής.

### **Δευτερογενή θραύση, ξήρανση, άλεση**

Μετά την πρώτη θραύση, ο γύψος σε μορφή πετρώματος μπορεί να αποσταλεί μέσω των στεγνωτηρίων. Κανονικά το πέτρωμα του γύψου έχει 1-3% περιεκτικότητα σε υγρασία (λατομείο νερού). Σε αυτό το επίπεδο υγρασίας, μπορεί να παρακάμψει το στεγνωτήριο. Ωστόσο, αν η περιεκτικότητα σε υγρασία είναι υψηλότερη (τυπικά μέχρι 10%), όπως είναι συχνά στη περίπτωση που το υλικό έχει αποθηκευτεί έξω, η μερική ξήρανση του σε απευθείας θερμαινόμενο περιστροφικό στεγνωτήριο είναι απαραίτητη, προκειμένου να μειωθεί η υγρασία στο επίπεδο κάτω του 3%. Στους δεύτερους θραυστήρες, συνήθως σφυρόμυλους, γίνεται μείωση του πετρώματος περαιτέρω σε περίπου 1" σε διάμετρο. Συνήθως χρησιμοποιούνται ειδικοί σάκκοι για τη συλλογή λεπτών σωματιδίων, αν και ορισμένα εργοστάσια χρησιμοποιούν ηλεκτροστατικά φίλτρα ή κυκλώνες. Οι εργασίες αυτές πραγματοποιούνται συνήθως στο χώρο του εργοστασίου παραγωγής.

Στις περισσότερες από τις διεργασίες ο θρυμματισμένος γύψος τροφοδοτείται στον κύλινδρο ή άλλο τύπο μύλου, όπου το μέγεθος του μειώνεται περαιτέρω, έτσι ώστε το 90% να διέρχεται από κόσκινο 150 μm. Η προκύπτουσα μορφή γύψου ονομάζεται ως γύψος γης, αναφερόμενος σε μια από τις πιθανές χρήσεις του. Σε μερικές διεργασίες (Imp Mills, για παράδειγμα) η ασβεστοποίηση και η άλεση μπορεί να πραγματοποιηθούν ταυτόχρονα και, σε μια τέτοια περίπτωση, δεν απαιτείται προηγούμενη άλεση. Η ξήρανση του πετρώματος / άλεση καταναλώνει περίπου το ~ 6% της συνολικής ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή μίας γυψοσανίδας.

### **Άλλες πηγές γύψου**

Τα λατομεία ή τα ορυχεία γύψου αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μέρος της προσφοράς και της κατανάλωσης γύψου. Ωστόσο, υπάρχουν δύο πρόσθετες πηγές πρώτων υλών γύψου που μπορεί να χρησιμοποιηθούν: Απόβλητα γύψου και αυτά των βιομηχανικών προϊόντων γύψου.

Ο όρος γύψος αποβλήτων νοείται ως εσωτερικά παραγόμενων αποβλήτων των εργοστασίων παραγωγής γύψου, όπου πρόσφατα, επίσης, νέες κατασκευές για την συλλογή των αποβλήτων έχουν σχεδιαστεί με σκοπό την μεταφορά τους πίσω στις εγκαταστάσεις παραγωγής. Όταν είναι να κατασκευαστεί γυψοσανίδα αποβλήτων, γίνεται περαιτέρω ανάλυση στο στάδιο του φιλοκομματος και θραύσης. Υπάρχει ποικιλία από διάφορα υλικά και τεχνικές που χρησιμοποιούνται για αυτό τον σκοπό

όπως : οι θραυστήρες Norba οι οποίοι φαίνεται να είναι οι πιο αποτελεσματικοί και ευνοημένοι. Συνήθως, τα εργοστάσια γυψοσανίδας που ανακυκλώνουν τις γυψοσανίδες χρησιμοποιούν έως και περίπου 20% των αποβλήτων αυτών στη συνολική ροή εργασιών.

Εκτός αν εμποδίζεται από κάποιους τεχνικούς λόγους, πολλά εργοστάσια θέλουν να επωφελούνται από αυτή την χρήση των αποβλήτων , καθώς καθιστά όχι μόνο από περιβαλλοντικά πλευράς, αλλά και από οικονομικής άποψης καλύτερη επιλογή.

### **Χρήση των υποπροϊόντων γύψου**

Αποθείωσης καυσαερίων (*FGD*) γύψου

Λόγω της αυξανόμενης συνειδητοποίησης της περιβαλλοντικής ζημίας που προκαλείται από τις εκπομπές SO<sub>2</sub> και την προκύπτουσα όξινη βροχή, διάφορες νομοθετικές ενέργειες, ώθησαν την έρευνα και την ανάπτυξη ενός μεγάλου αριθμού των διαδικασιών *FGD* . Οι υγρές διεργασίες *FGD* είναι οι πιο δημοφιλείς και οι μόνες διαδικασίες που έχουν τη δυνατότητα να παράγουν καλή ποιότητα γύψου για χρήση σε γυψοσανίδες.

Οι διαδικασίες αυτές έχουν καθιερωθεί και έχουν εφαρμοστεί σε πολλές ιαπωνικές και γερμανικές επιχειρήσεις κοινής ωφελείας, και όλο και περισσότερο στη Βόρειο Αμερική. Ο ροφητής ασβέστης αντιδρά με το SO<sub>2</sub> για την παραγωγή θειώδες ασβεστίου ημιένυδρο, το οποίο μπορεί να οξειδωθεί προς διένυδρο θειικό ασβέστιο (γύψος). Η παραγωγή γύψου έχει τέσσερα στάδια:

#### **Στάδιο 1**

- Η αποθείωση: Το καυσαέριο ψεκάζεται σε έναν πύργο πλύσης με ένα εναιώρημα ασβεστόλιθου σε εκμετάλλευση αντιρροής. Ο πρωταρχικός σκοπός της αποθείωσης επιτυγχάνεται με την εξάλειψη του SO<sub>2</sub> από το καυσαέριο. Το θειώδες ασβέστιο που λαμβάνεται έτσι εμφανίζεται ως ιλύς στον αποσβεστήρα του πύργου πλύσης.

#### **Στάδιο 2**

- Καταναγκαστική Οξείδωση: Μετατροπή της λάσπης θειώδους ασβεστίου σε γύψο η οποία επιτυγχάνεται μέσω της οξείδωσης του στην συσκευή σβησίματος του δοχείου αντίδρασης *FGD* χρησιμοποιώντας το ατμοσφαιρικό οξυγόνο. Αρχικά, το άκρως αδιάλυτο θειώδες ασβέστιο αντιδρά με περαιτέρω SO<sub>2</sub> ώστε να παράγουν όξινο θειώδες ασβέστιο, το οποίο διαλύεται εύκολα στο νερό, που στη συνέχεια αντιδρά αυθόρμητα με το ατμοσφαιρικό οξυγόνο που διοχετεύεται μέσα στον αντιδραστήρα για να παραχθεί διένυδρο θειικό ασβέστιο, δηλ τον γύψο. Αυτό το δεύτερο στάδιο είναι η λειτουργία που οδηγεί στην ουσία την μετατροπή του θειώδους απόβλητα σε προϊόν δηλαδή το γύψο. Κατά τη διάρκεια αυτού του σταδίου, οι κρύσταλλοι γύψου αυξάνονται σημαντικά σε μέγεθος και φτάνουν μέχρι και ένα μέσο όρο των 50 μm.

#### **Στάδιο 3**

- Διαχωρισμός γύψου: Οι μεγάλοι κρύσταλλοι του επιθυμητού μεγέθους διαχωρίζονται μέσω του υδροκυκλώνα και συλλέγονται σε ένα ξεχωριστό δοχείο.



#### **Στάδιο 4**

- Πλύσιμο και αφυδάτωση: Τέλος, στο τελευταίο στάδιο, το αιώρημα κρυστάλλων γύψου διηθείται ή φυγοκεντρείται, και το μίγμα γύψου πλένεται με καθαρό νερό για να απομακρυνθούν υδατοδιαλυτές ουσίες, ιδιαίτερα τα χλωριούχα, νάτριο και ιόντα μαγνησίου.

Αφυδάτωση σε ποσοστό λιγότερο από 10% υγρασία επιτυγχάνεται με τη βοήθεια φίλτρων κενού ή φυγοκεντρητών. Η γύψος που λαμβάνεται έτσι είναι ένα προϊόν χημικώς ταυτόσημο με το φυσικό γύψο.

Η επεξεργασία των υποπροϊόντων γύψου από τους παραγωγούς γυψοσανίδας θέτει προκλήσεις και για τους ίδιους. Λόγω του πολύ λεπτού μεγέθους των σωματιδίων του και την υπολειμματική υγρασία του, ο χειρισμός του παραπροϊόντος γύψου μπορεί να είναι αρκετή δύσκολη. Ακόμη και αν χρησιμοποιηθούν σύγχρονα πιεστήρια και φυγοκεντρητές για την μείωση της υγρασίας του γύψου, η περιεκτικότητα σε υγρασία γύψου είναι στην περιοχή 8 έως 10%, όταν παραδίδονται στα εργοστάσια γυψοσανίδας. Συνήθως, το υποπροϊόν γύψου πρέπει να στεγνώσει πριν από την ασβεστοποίηση του χρησιμοποιώντας ένα πιστολάκι για τα flash ή ένα στεγνωτήριο ρευστοποιημένης κλίνης, απαιτώντας μια σημαντική τροποποίηση / την αναβάθμιση της υφιστάμενης λειτουργίας χειρισμού φυσικού γύψου. Για την ξήρανση των υποπροϊόντων γύψου με 10% περιεκτικότητα σε υγρασία απαιτεί περίπου 0,55 GJ θερμικής ενέργειας και 0,04 GJ ηλεκτρικής ενέργειας ανά τόνο γύψου.

#### **Διαπύρωση**

Η διαπύρωση είναι ίσως το πιο σημαντικό βήμα της διαδικασίας κατασκευής επεξεργασίας γύψου και γυψοσανίδας. Κατά τη διάρκεια της πύρωσης, ο γύψος που σε μορφή διένυδρου περιέχει 21% κατά βάρος χημικά δεσμευμένου νερού ,θερμαίνεται και μετατρέπεται σε στόκο, θειικό ασβέστιο ημιυδρίτη:

#### Καύση



Αν και διάφοροι τύποι εξοπλισμού είναι διαθέσιμα για πύρωση γύψου, οι βραστήρες ασβεστοποίησης που μπορεί να λειτουργούν είτε σε παρτίδες ή με συνεχή λειτουργία είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη διαδικασία. Για την παραγωγή γυψοστοκαρίσματος, οι συνεχείς βραστήρες ασβεστοποίησης που χρησιμοποιούνται συνήθως έχουν διακίνηση 300 έως 500 τόνους την ημέρα.

Παρά το γεγονός ότι πολλά σχέδια είναι διαθέσιμα, η βασική αρχή περιλαμβάνει έναν εξωτερικά θερμαινόμενο κυλινδρικό δοχείο με ύψος μεγαλύτερο από τη διάμετρό του, που περικλείεται μέσα σε ένα πυρίμαχο κέλυφος με αναδευτήρα,

καπνοδόχους και εσωτερικά διαφράγματα. Οι βραστήρες μπορούν να λειτουργούν με άνθρακα, πετρέλαιο ή φυσικό αέριο.

Ο γύψος τροφοδοτείται στον βραστήρα από την κορυφή. Η θερμότητα εισάγεται από εστία που βρίσκεται στο κάτω μέρος και ρέει προς τα πάνω γύρω από το δοχείο.

Στο βυθισμένο βραστήρα καύσης, ένα σύγχρονο είδος συνεχούς βραστήρα, έχει εγκατασταθεί μία σωλήνα έτσι ώστε τα αέρια καύσης να εκχέονται στη μάζα ασβεστοποίησης. Τα περιεχόμενα του βραστήρα έχουν βράσει βίαια, ως χημικά δεσμευμένο νερό ελευθερώνεται ως ατμός σε περίπου 120 ° C. Ο βαρύτερος στόκος τείνει να εγκατασταθεί στο κατώτερο τμήμα του βραστήρα από όπου εξάγεται συνεχώς μέσω ενός βυθισμένου σωλήνα σε ένα καυτό λάκκο όπου λαμβάνει χώρα η ψύξη. Στην πράξη, λόγω της αδυναμίας να θερμάνει όλα τα σωματίδια του γύψου ομοιόμορφα, ο στόκος θα περιέχει συχνά μικρές ποσότητες μη ασβεστοποιημένου γύψου καθώς και εντελώς αφυδατωμένα ανυδρίτη.

Οι σύγχρονοι βραστήρες συνεχούς ασβεστοποίησης απαιτούν περίπου 0,9 GJ έως 1,0 GJ ενέργειας ανά τόνο τελικών stucco. Σε παλαιότερους, λιγότερο ενεργειακά απόδοσης βραστήρες, η κατανάλωση ενέργειας μπορεί να είναι τόσο υψηλές όσο 1,3 GJ / τόνο. Αντίστοιχες απαιτήσεις ηλεκτρικής ενέργειας δίνονται μεταξύ 0,01 GJ / τόνο και 0,03 GJ / τόνο. Η πύρωση καταναλώνει περίπου ~ 27% της συνολικής ενέργειας που απαιτείται για την παραγωγή γυψοσανίδας, και αποτελεί το δεύτερο πιο ενεργοβόρες βήμα της παραγωγής γυψοσανίδας. Έπειτα, το γύψος περνάει στον μύλο, (Raymond Mill) και στον κάδο (stucco bin) για περαιτέρω άλεση για να πάρει την λεπτότητα που απαιτείται. Ο στόκος στον μύλο μαζεύεται από κυλίνδρους που κινούνταν φυγοκεντρικά κατά του στατικού εξωτερικού δακτυλίου.

### **Διαδικασία της μίξης**

Ο στόκος που χρειάζεται για την παραγωγή γυψοσανίδων έχει πάει τώρα από τους κάδους τροφοδοσίας ή στους μύλους στο εργοστάσιο κατασκευής. Το ποσοστό του στόκου μετριέται και τροφοδοτείται στο σύστημα τροφοδοσίας. Στη συνέχεια ξηρά προσθετικά που χρειάζεται η σανίδα και προσμίξεις όπως άμυλο, επιταχυντής, επιβραδυντής, και άλλα συστατικά ανάλογα με τον τύπο της σανίδας που θέλουμε μεταφέρονται και αναμιγνύονται με το στόκο σε ένα μεταφορέα κοχλία μίξης. Τα αναμεμιγμένα ξηρά υλικά μαζί με νερό και άλλα υγρά πρόσθετα όπως μειωτές νερού και αφρός τροφοδοτούνται απευθείας μέσα στον αναμικτήρα ακίδων, και η προκύπτουσα ιλύς αποτίθεται σε ένα αριθμό ρευμάτων από χαρτί και έτσι ξεκινά να σχηματίζεται η σανίδα. Για να επιτευχθεί το σωστή ρευστότητα του πολτού, συνήθως χρειάζεται να προστεθεί μία ποσότητα νερού σε περίσσεια της ποσότητας που απαιτείται για την πλήρη ενυδάτωση πρέπει να χρησιμοποιηθεί. (Αυτή η περίσσεια ποσότητα νερού αργότερα αποβάλλεται κατά τη διάρκεια της ξήρανσης.) Υπάρχουν δύο μικρά μίξερ στην άκρη του μηχανήματος που χρησιμοποιούνται συχνά για να προετοιμάσουν και να καταθέσουν πολτό από

στόκο υψηλότερης πυκνότητας στις άκρες του σανίδας να βελτιώσει την αντοχή τους και ιδιότητες της.

## **Χαρτί**

Η γυψοσανίδα συχνά περιγράφεται ως ένα σάντουιτς, με γύψο στον πυρήνα της και το χαρτί ως όψεις. Η διαδικασία της προετοιμασίας του χαρτιού για την γυψοσανίδα είναι τόσο περίπλοκη όσο με την διαδικασία με παρασκευής ολόκληρης της γυψοσανίδας ως σύνολο.

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται είναι τα απορρίμματα χαρτιού από την εφημερίδα, τα περιοδικά, και το παλιό κυματοειδές χαρτόνι. Τα απορρίμματα χαρτιού τροφοδοτούνται από μεταφορέα σε ένα πολτοποιητή, ένα μεγάλο "μπλέντερ" που αποσυντεθεί και διαλύει το παλιό χαρτί σε ένα πολτό, πολτό από ίνες χαρτιού. Ο πολτός αυτός κατόπιν καθαρίζεται από διάφορα αντικείμενα όπως σύρματα, συνδετήρες, κόλλα και μελάνι και έπειτα τροφοδοτείται εντός της μηχανής παρασκευής τους χαρτιού.

Έχουμε δύο τύπους μηχανών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρασκευή χαρτιού τους περιστρεφόμενους κυλίνδρους και τις μηχανές .

Μια κυλινδρική μηχανή περιστρέφει ένα μεγάλο τύμπανο μέσα στον κάδο του πολτού. Ένας μεγάλος ιμάντας περνάει πάνω από την κορυφή του στρεφόμενου τυμπάνου. Ο κύλινδρος τραβά τον πολτό και τον πιέζει προς τον πυθμένα του πιλήματος, όπου κολλά για να σχηματίσει ένα μονό φύλλο χαρτιού. Χρειάζονται εννέα κυλινδρικές μηχανές να πιέζουν ταυτόχρονα για να κάνουν ένα ενιαίο συνεχές φύλλο γυψοσανίδας .

Τα χαρακτηριστικά του πολτού που εισέρχεται στις δεξαμενές διατυπώνουν αν το σύστημα παράγει στόκο σε μορφή κρέμας το οποίο ονομάζεται συχνά και «ελεφαντόδοντο», όπου χρησιμοποιείται συνήθως στην κύρια όψη της γυψοσανίδας ή κρέμα σε γκρι απόχρωση που χρησιμοποιείται στην πίσω πλευρά.

Η μέθοδος Fourdrinier χρησιμοποιεί δύο μηχανές αντί εννέα για να κάνει ένα χαρτί δύο στρωμάτων με τα ίδια χαρακτηριστικά απόδοσης όπως η μηχανή με τους 9 κυλίνδρους. Ο πολτός συστηματικά τροφοδοτείται σε ένα κινούμενο συρμάτινο πλέγμα (η Fourdrinier). Καθώς το πλέγμα μετακινείται προς τα εμπρός, το νερό στραγγίζεται από τον πολτό και έτσι δημιουργεί το χαρτί. Μία Fourdrinier φτιάχνει την μία όψη της γυψοσανίδας και η άλλη την άλλη, ποία όψη κάνει η κάθε μηχανή εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του πολτού που αναφέραμε και παραπάνω.

Από αυτό το σημείο, τα δύο συστήματα λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο. Στο στάδιο της πίεσης του πολτού, τα φύλλα πιέζονται μαζί για να διασπαστούν από την περίσσεια του νερού. Στη συνέχεια, μπαίνουν σε μια σειρά από στεγνωτήρια υψηλής θερμοκρασίας όπου εκεί θα αφαιρεθεί οποιαδήποτε ποσότητα νερού. Η μπροστινή όψη και η πλάτη του χαρτιού ζυγίζουν περίπου 45 έως 55 lb / MSF η κάθε μία.

## Γραμμή παρασκευής της γυψοσανίδας

Το χαρτί από τις προηγούμενες διεργασίες έχει τοποθετηθεί στα ράφια δίπλα από το μίξερ όπου ο πολτός στόκου έχει αναμιχθεί με νερό. Τα ράφια τρέχουν πάνω και κάτω από την έξοδο του αναμικτήρα έτσι ώστε ο στόκος να μπορεί να είναι ανάμεσα στο χαρτί. Ο πολτός στη συνέχεια απλώνεται πάνω στο χαρτί το οποίο κινούμενο πάνω σε μάντα καλύπτει όλη την επιφάνεια. Καθώς η σανίδα διέρχεται κατά μήκος της γραμμής του μάντα σχηματίζονται και διαμορφώνονται τα άκρα της γυψοσανίδας. Η γυψοσανίδα καθ' όλη την διάρκεια της κατασκευής της βρίσκεται πάνω σε μάντες για περίπου 200-275 μέτρα.

Κατά την διάρκεια αυτής της διαδρομής που διαρκεί περίπου 4 λεπτά επιτρέπεται στον στόκο να σκληρύνει πριν να κοπεί.

## Κόψιμο, σταθμός μεταφοράς

Μια αυτόματη συσκευή χρησιμοποιώντας ειδικά μαχαίρια κόβουν κάθε σανίδα στο σωστό μήκος. Οι επιμέρους σανίδες μεταφέρονται, στοιβάζονται σε έξι ή ακόμα και σε οκτώ στρώματα πηγαίνουν στο κλίβανο ξήρανσης.

## Κλίβανος γύψου

Στον κλίβανο ξήρανσης απομακρύνουμε τη περίσσεια ποσότητα του νερού που εισάγεται στον πολτό, προκειμένου να έχουμε τα σωστά χαρακτηριστικά. Οι πιο κύριες πηγές ενέργειας για τον κλίβανο είναι το πετρέλαιο, το φυσικό αέριο ή ακόμη και ηλεκτρική ενέργεια. Η διαδικασία της ξήρανσης της γυψοσανίδας στο καμίνι καταναλώνει την περισσότερη ενέργεια από όλα τα άλλα στάδια της διαδικασίας παραγωγής γυψοσανίδων που αντιπροσωπεύει περίπου ~ 67% του συνόλου.

Η θερμοκρασία και η υγρασία στον κλίβανο είναι στενά ελεγχόμενες σε τρία ή τέσσερα χωριστά τμήματα, πρώτα έχουμε πολλή θερμότητα και σταδιακά λιγότερη. Μετά από περίπου 60 λεπτά ξήρανσης της σανίδας, αυτή επιθεωρείται, στοιβάζεται και είναι έτοιμες για αποστολή.

Παρακάτω παρατίθεται πίνακας με τις ενέργειες που απαιτούνται για να φτιαχτεί μία γυψοσανίδα 1/2''.

Πίνακας 3.4: Μέσος όρος ενέργειας σε MJ/M<sup>2</sup> για την εξόρυξη γύψου

Πηγή	Καύσιμο Diesel	Κάρβουνο	Λάδια	Ηλεκτρισμός	Σύνολο
------	----------------	----------	-------	-------------	--------

<b>MJ/M<sup>2</sup></b>	0.1898	0.0000	0.0000	0.0765	0.2662
-------------------------	--------	--------	--------	--------	--------

Πηγή: LIFE CYCLE ANALYSIS OF GYPSUM BOARD AND ASSOCIATED FINISHING PRODUCTS of the ATHENA<sup>TM</sup> Sustainable Materials Institute

Για την μεταφορά του γύψου υποθέσαμε ότι η μεταφορά γίνεται με φορτηγό και η κατανάλωση καυσίμου είναι 1,18MJ/ton-km.

Πίνακας 3.5: Μέσος όρος MJ/ the ATHENA<sup>TM</sup> Sustainable Materials Institute <sup>2</sup> προετοιμασίας στόκου για την γυψοσανίδα 1/2 ''

<b>Δευτερεύουσα θραύση</b>	<b>Στέγνωμα</b>	<b>Λείανση</b>	<b>Ασβεστοποίηση</b>	<b>Λείανση στόκου</b>	<b>Μεταφορά στόκου</b>	<b>Σύνολο</b>
0.3304	4.1267	0.1618	7.5272	0.0810	0.3081	12.5352

Πηγή: LIFE CYCLE ANALYSIS OF GYPSUM BOARD AND ASSOCIATED FINISHING PRODUCTS of the ATHENA<sup>TM</sup> Sustainable Materials Institute

Πίνακας 3.6: Μορφή ενέργειας MJ/M<sup>2</sup> για 1/2 ''

<b>Φυσικό αέριο</b>	<b>Λάδια</b>	<b>Ντίζελ</b>	<b>Ηλεκτρισμός</b>	<b>Σύνολο παραγωγής στόκου</b>
8,5007	2,9714	0.0000	11,0630	12,5352

Πηγή: LIFE CYCLE ANALYSIS OF GYPSUM BOARD AND ASSOCIATED FINISHING PRODUCTS of the ATHENA<sup>TM</sup> Sustainable Materials Institute

Πίνακας 3.7: Μορφή ενέργειας σε MJ/M<sup>2</sup> για την παρασκευή του χαρτιού

<b>Φυσικό αέριο</b>	<b>Λάδια</b>	<b>Ηλεκτρισμός</b>	<b>Σύνολο παραγωγής χαρτιού</b>
5,4720	0.2880	1,3744	7,1344

Πηγή: LIFE CYCLE ANALYSIS OF GYPSUM BOARD AND ASSOCIATED FINISHING PRODUCTS of the ATHENA<sup>TM</sup> Sustainable Materials Institute

Πίνακας 3.8: Μορφή ενέργειας σε MJ/M<sup>2</sup> για την κατασκευή γυψοσανίδας

<b>Φυσικό αέριο</b>	<b>Λάδια</b>	<b>Ηλεκτρισμός</b>	<b>Σύνολο παραγωγής γυψοσανίδας</b>
14,6351	3,8536	0.4096	18,8984

Πηγή: LIFE CYCLE ANALYSIS OF GYPSUM BOARD AND ASSOCIATED FINISHING PRODUCTS of the ATHENA<sup>TM</sup> Sustainable Materials Institute

### 3.3.3 Παραγωγική διαδικασία τούβλου

Το τούβλο αποτελεί ένα από τα κυριότερα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των κτιρίων. Η παρούσα ανάλυση μελετά τα διάφορα στάδια που ακολουθούνται κατά την παραγωγή των τούβλων και των υλικών και της ενέργειας που χρησιμοποιείται σε κάθε στάδιο. Ο σκοπός είναι να προσδιοριστούν τα πιο σημαντικά σημεία, δηλαδή τα μέρη του κύκλου ζωής που είναι σημαντικά για το σύνολο των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Η ανάλυση γίνεται με τη χρήση αξιολόγησης κύκλου ζωής AKZ, η οποία είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό και την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών επιδόσεων μιας διαδικασίας ή ενός προϊόντος από την εξόρυξη μέχρι την ταφή. Η μεθοδολογία AKZ παρέχει μια ποσοτική βάση για την αξιολόγηση των δυνατοτήτων βελτίωσης της περιβαλλοντικής απόδοσης ενός συστήματος καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής. Το σύστημα που θα διερευνηθεί περιλαμβάνει την απόκτηση των πρώτων υλών, τη βιομηχανική παραγωγή, τη συσκευασία και τη μεταφορά. Οι κύριες ενεργειακές εισροές στο σύστημα παραγωγής είναι αυτή της ηλεκτρικής ενέργειας, του πετρελαίου και των στερεών καυσίμων (pet-coke). Οι περιβαλλοντικές επιβαρύνσεις που προκύπτουν από τη λειτουργία της βιομηχανίας τούβλων οφείλονται κυρίως στις αέριες εκπομπές που προέρχονται από τη χρήση ορυκτών καυσίμων.

Πίνακας 3.9: Χαρακτηριστικά τούβλου

<i>Βάρος μετά από όλες τις διαδικασίες (kg)</i>	<i>Διαστάσεις τούβλου (cm)</i>
5.945	17*14*18

Ο κύριος στόχος της περιβαλλοντικής αξιολόγησης είναι να προσδιοριστούν τα βασικά ζητήματα που σχετίζονται με τον κύκλο ζωής του τούβλου που παράγονται και χρησιμοποιούνται στην Ελλάδα. Το εργοστάσιο από το οποίο λαμβάνονται τα απαραίτητα στοιχεία για την ανάλυση μας βρίσκεται στη βιομηχανική περιοχή της Σίνδου, στις παρυφές της πόλης της Θεσσαλονίκης.

Το εργοστάσιο παραγωγής τούβλων παράγει περισσότερα από ένα τύπο ένα τούβλο. Αυτοί οι τύποι διαφέρουν ως προς το βάρος και τις διαστάσεις. Για τους σκοπούς της παρούσας μελέτης διαλέγουμε το 1m<sup>2</sup> ως λειτουργική μονάδα (functional unit). Ένας τοίχος 1m<sup>2</sup> χρησιμοποιεί περίπου 152kg από αυτά τα τούβλα (26 μονάδες).

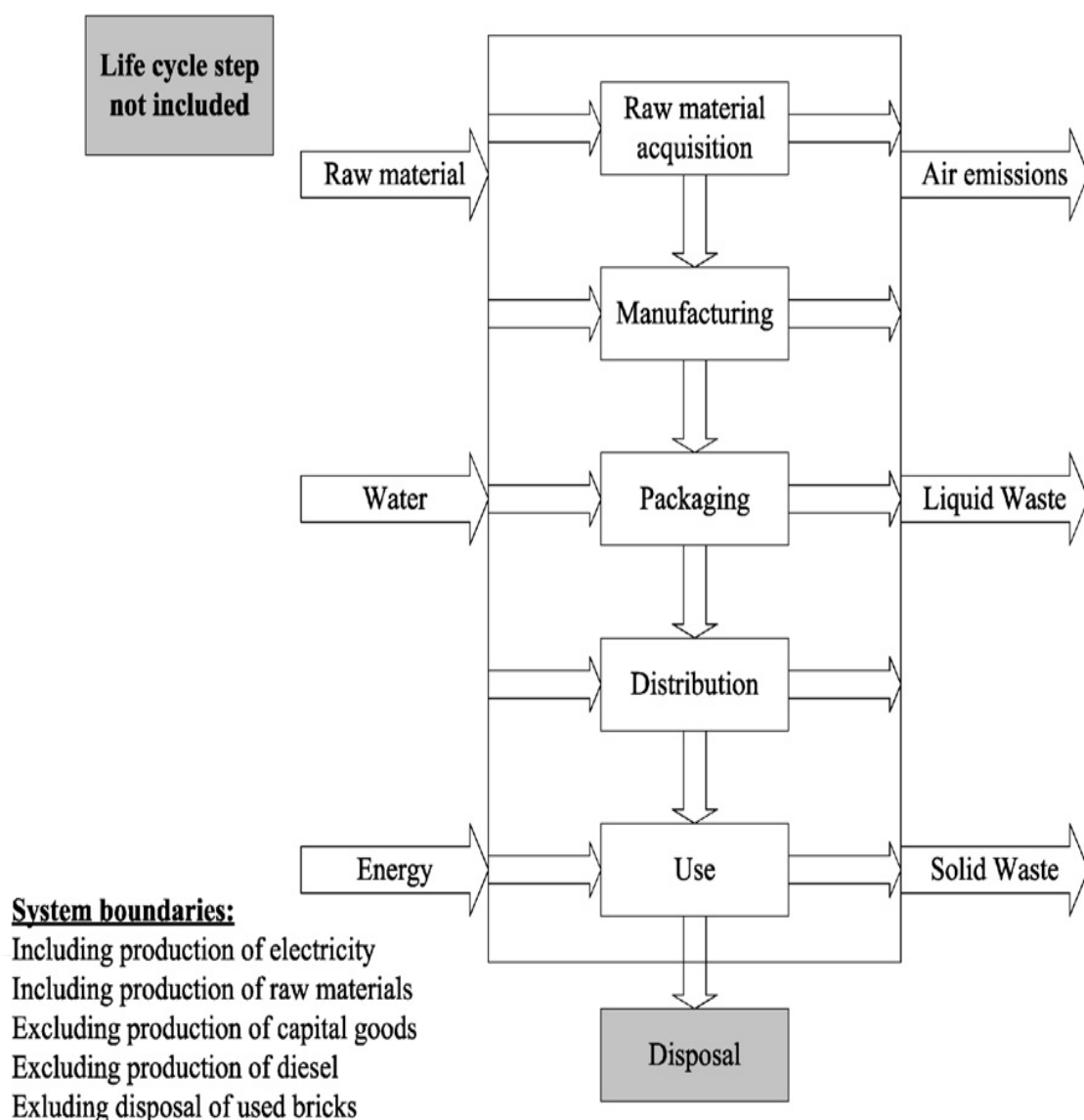
Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα μελέτη AKZ αποτελούν από:

- ανεπεξέργαστα δεδομένα που δόθηκαν από το εργοστάσιο παραγωγής τούβλων στην Ελλάδα
- στοιχεία μετρήσεων
- δεδομένα που βασίζονται σε βιβλιογραφικές πληροφορίες

Παρακάτω παρατίθεται ένας συνοπτικός πίνακας με τα ετήσια στοιχεία του εργοστασίου

Πίνακας 3.10: Συνολικά ετήσια στοιχεία της εταιρίας.(Environmental assessment of brick production in Greece)

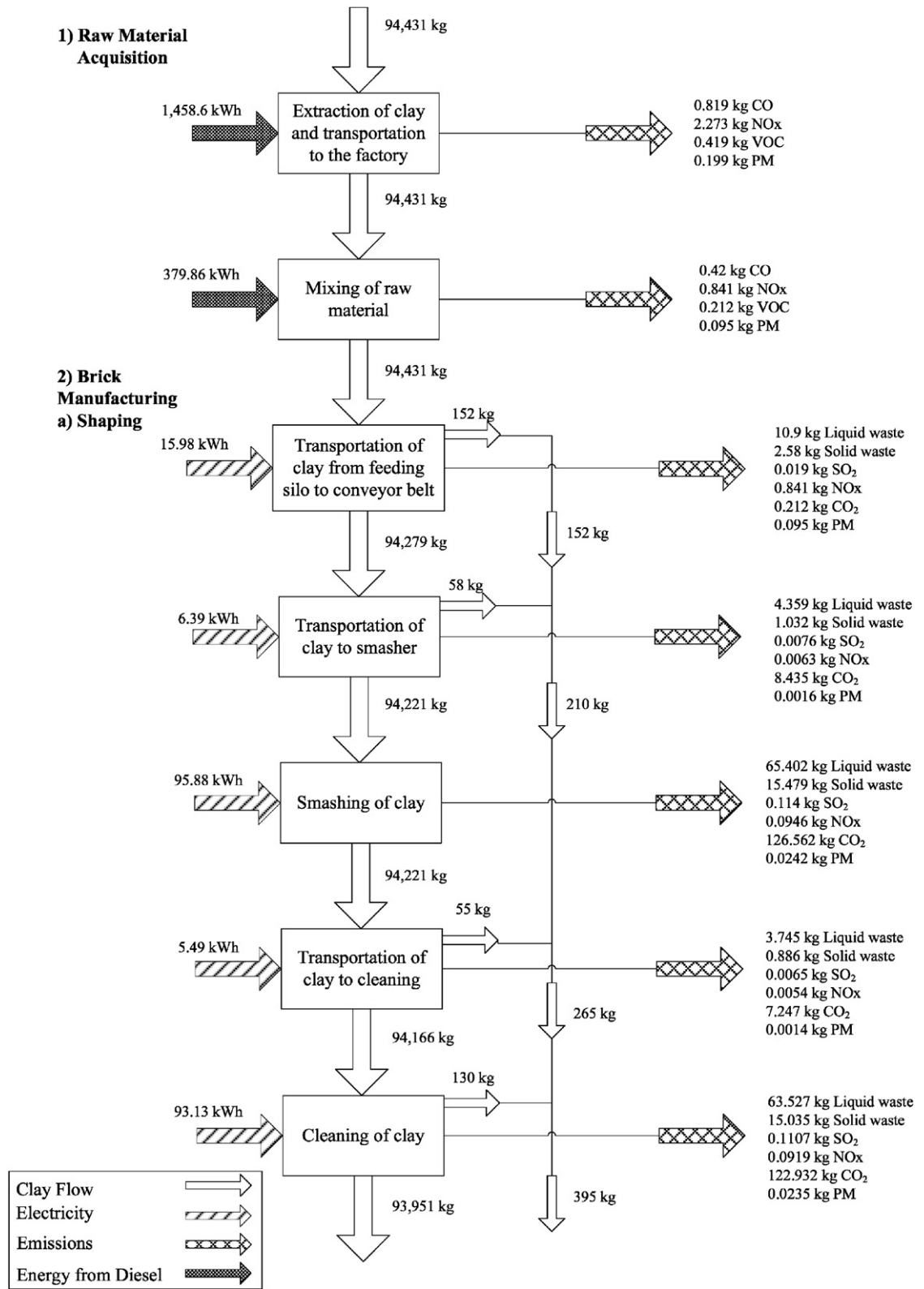
Ετήσια παραγωγή του εργοστασίου	7,387,000kg
Ημερήσια παραγωγή τούβλων	13,080
Ημέρες εργασίας/ έτος	95
Ετήσια ηλεκτρική κατανάλωση	105,050kWh
Ετήσια κατανάλωση pet-coke	397,365kg
Κατανάλωση diesel για την μεταφορά καθ' όλες τις διεργασίες	37,365lt
Κατανάλωση diesel για την εξόρυξη πρώτων υλών	10,592lt
Ετήσια παραγωγή σκάρτων τούβλων	16,910kg

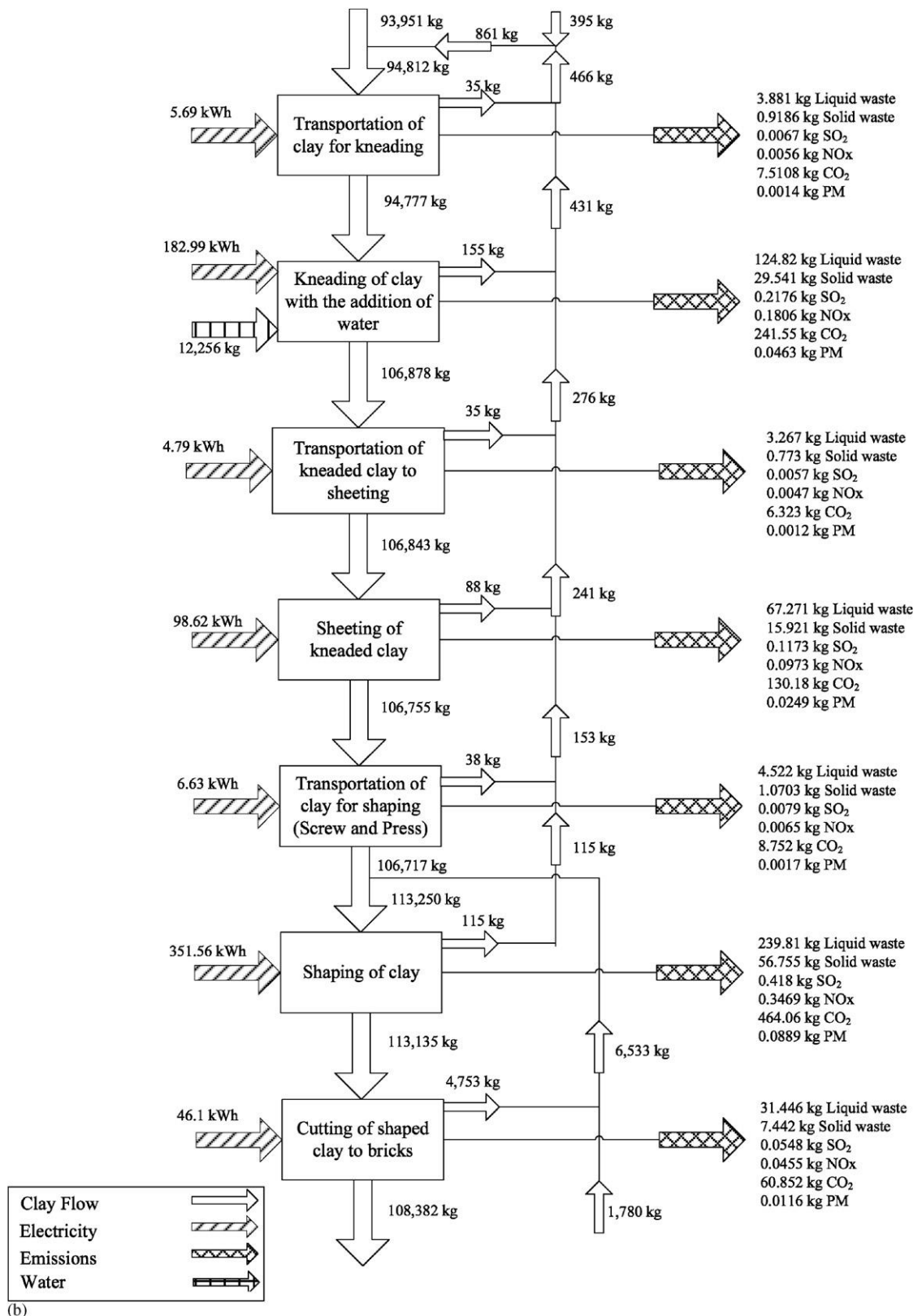


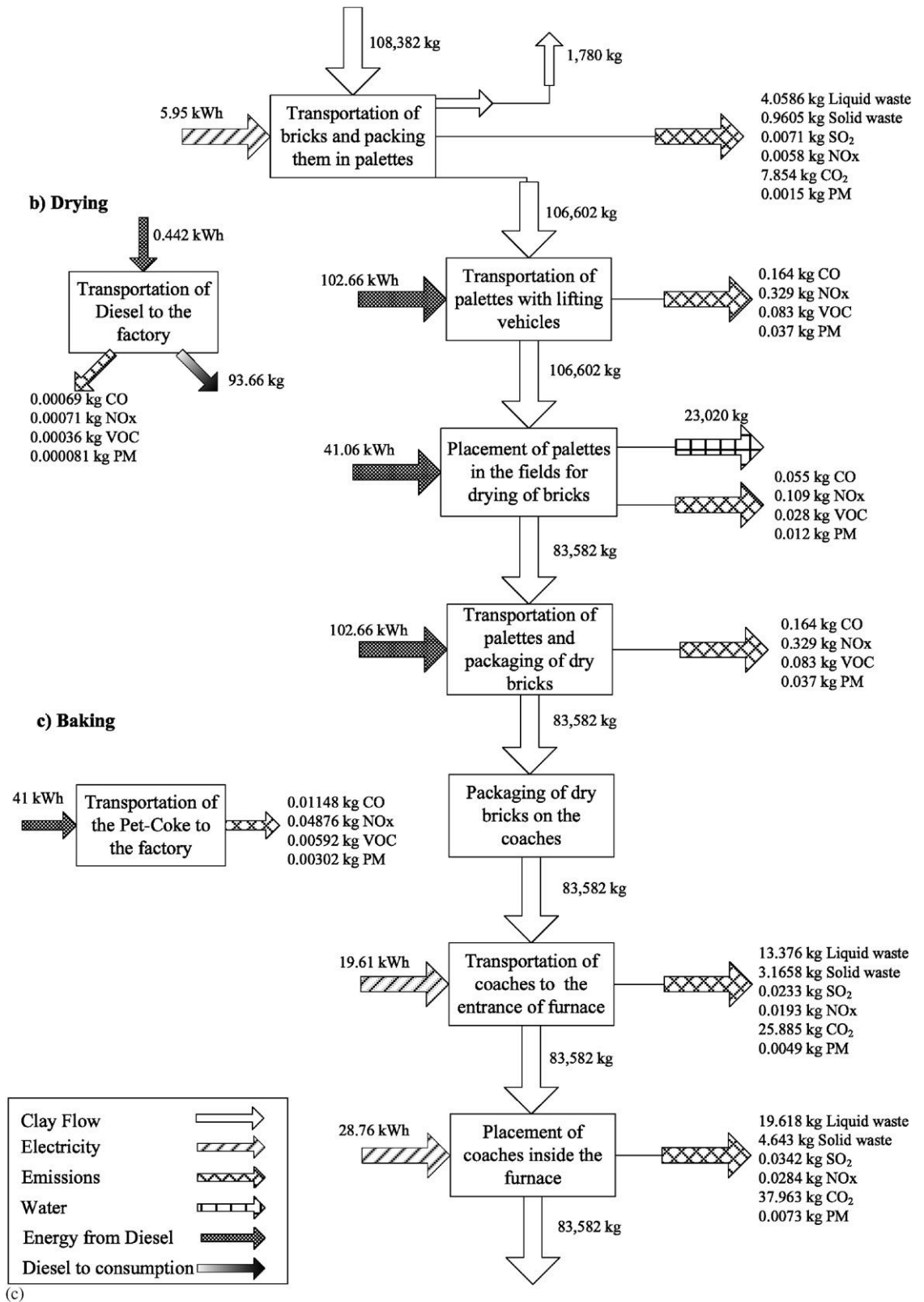
Σχήμα 3.6: Εισροές και εκροές για την παραγωγή του τούβλου

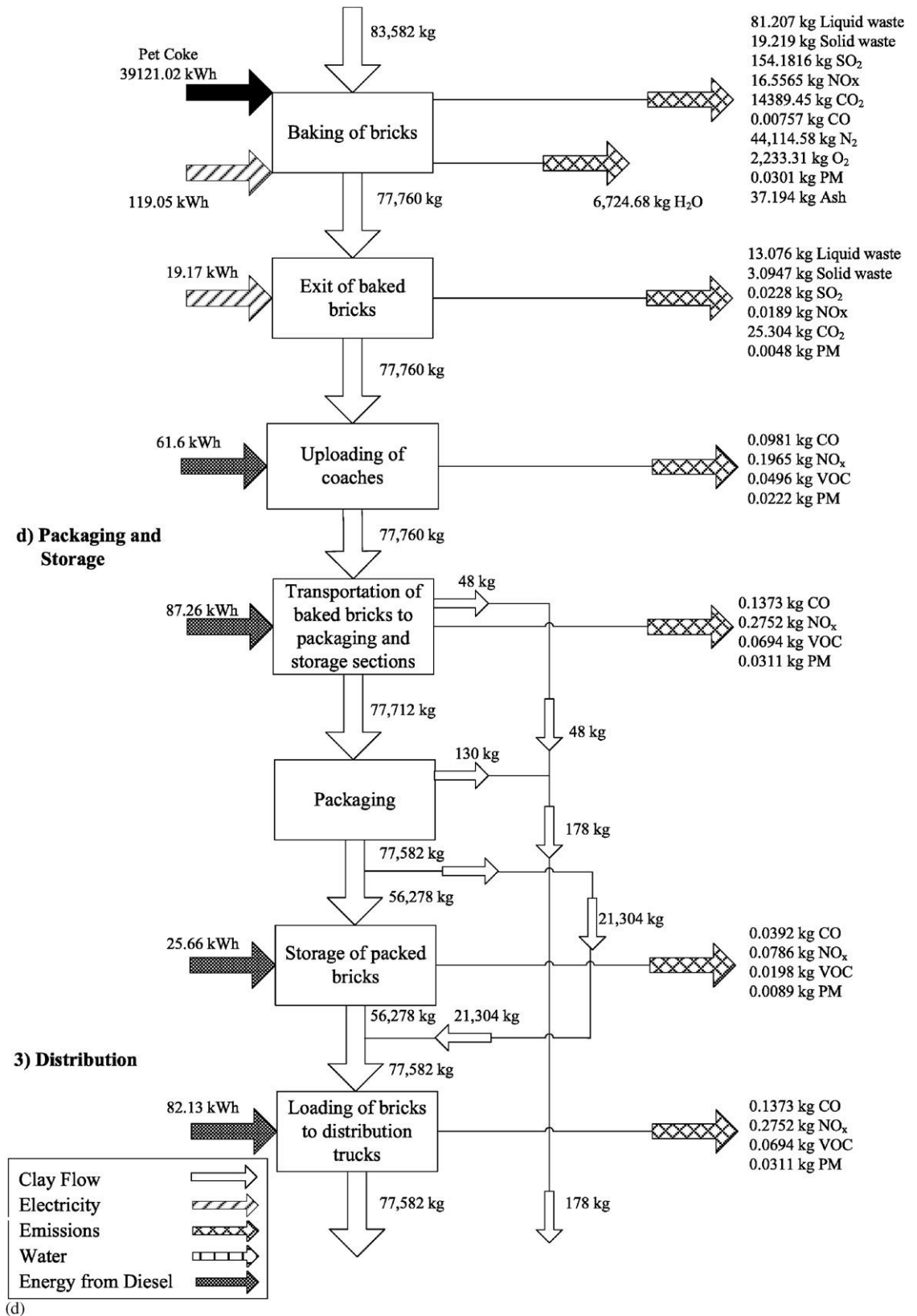
Ακολουθεί αναλυτικό διάγραμμα με τις παραγωγικές διαδικασίες για την κατασκευή 1,000kg τούβλων (6,6m<sup>2</sup> τοίχου) και έπειτα παρατίθεται σχετικός πίνακας με τις αναγωγές που έχουν γίνει ώστε να έχουμε αποτελέσματα για την δικιά μας λειτουργική μονάδα ,1m<sup>2</sup>.

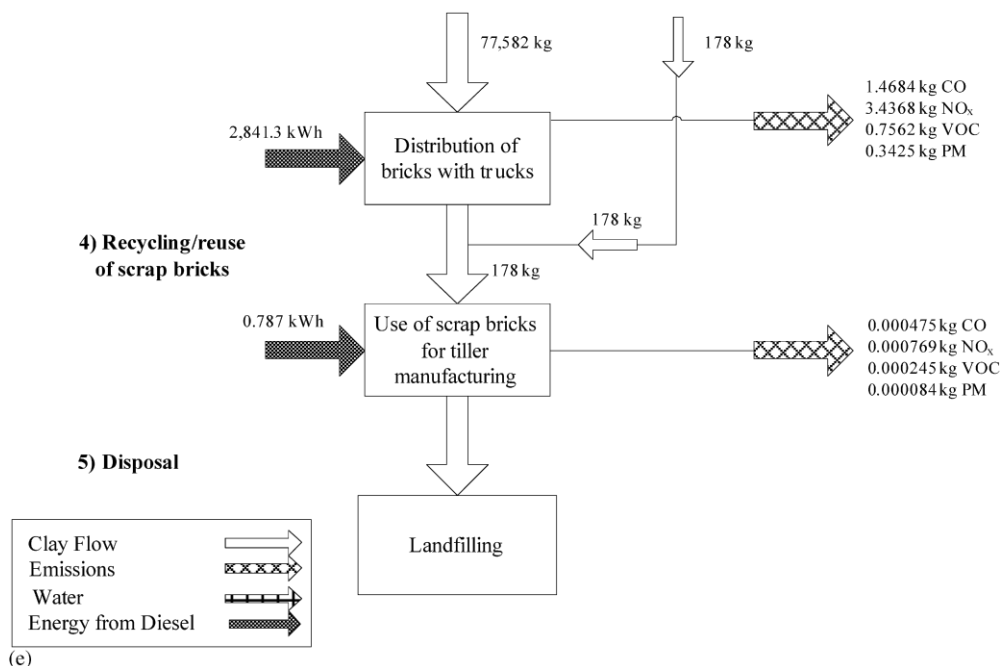












Σχήμα 3.7: Εισροές και εκροές για την παραγωγή 1 τόνου τούβλων

### Απόκτηση πρώτων υλών.

Πρώτη ύλη: Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται για την παραγωγή των τούβλων είναι άργιλος, η οποία μεταφέρεται στο εργοστάσιο με φορηγά χωρητικότητας 15,1 m<sup>3</sup>. Το βασικό συστατικό του πηλού είναι καολίνη ( $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ ). Το ποσοστό των καολίνη επηρεάζει την πλαστικότητα του πηλού. Οι άργιλοι με υψηλή περιεκτικότητα σε καολίνη ονομάζεται λιπαρό άργιλοι ενώ αυτά με χαμηλή περιεκτικότητα ονομάζεται μη λιπαρά. Οι λιπαροί άργιλοι έχουν υψηλή απορροφητικότητα νερού και όταν αναμιγνύεται με νερό έχει υψηλή πλαστικότητα, που τους καθιστά εύκολο να επεξεργαστούν. Το τούβλο που κατασκευάζεται με λιπαρό πηλό μπορεί να σπάσει και να συρρικνωθεί κατά τη διάρκεια των διεργασιών ψησίματος και ξήρανσης. Το τούβλο με μη λιπαρό πηλό είναι πιο δύσκολο να επεξεργαστεί, αλλά τα τούβλα αυτά δεν συρρικνώνονται ή σπάνε κατά τη διάρκεια των διεργασιών ψησίματος και ξήρανσης.

### Διαδικασία παρασκευής.

Τα στοιχεία λειτουργίας της εγκατάστασης παρουσιάζονται στον Πίνακα 3.4.2 όπου δείχνουν υψηλή χρήση της ενέργειας με τη μορφή ηλεκτρικής ενέργειας, pet coke και ντίζελ. Η διαδικασία κατασκευής αποτελείται από τα ακόλουθα υποσυστήματα.

#### *(A) Ανάμιξη και σίτιση:*

Ο πηλός φτάνει στο εργοστάσιο που βρίσκεται στη Σίνδο και αποθηκεύεται σε σωρούς, όπου παραμένει για 20 ημέρες πριν από τη χρήση του. Κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα καταστρέφει τα

αναερόβια βακτήρια που υπάρχουν στο φυσικό άργιλο. Έχει αποδειχθεί εμπειρικά ότι η ύπαρξη μικροοργανισμών στον πηλό προκαλεί προβλήματα στις διαδικασίες ξήρανσης και ψησίματος.

Για να επωφεληθούμε από τις ιδιότητες των λιπαρών και μη λιπαρό αργίλων χρησιμοποιείται ένα μίγμα και από τα δύο. Οι διαδικασίες ανάμιξης και σίτιση γίνονται χρησιμοποιώντας το σκαπτικές μηχανές.

#### *(B) Διαμόρφωση:*

Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας ο άργιλος αρχικά κομματιάζεται προκειμένου να μειωθεί το μέγεθος των σωματιδίων του (μέχρι και 25 mm) και καθαρίζεται από τα ανεπιθύμητα υλικά. Στη συνέχεια, ο άργιλος αναμιγνύεται με νερό μέσω μιας διαδικασίας ζυμώματος. Η πλαστικότητα του μίγματος εξαρτάται από την ποσότητα του νερού που προστίθεται και το αρχικό μίγμα από το λιπαρό και μη λιπαρή πηλό. Το ποσοστό αυτό κυμαίνεται από 1,5: 1 έως 2,5: 1. Μετά τη διαδικασία ζυμώματος ο πηλός περνά ανάμεσα σε δύο περιστρεφόμενους κυλίνδρους με πολύ μικρό διάκενο (~ 2 mm) για να συνθλίψει όλα τα μεγάλα σωματίδια που υπάρχουν στον άργιλο. Ο επεξεργασμένος πηλός περνά μέσα από ένα κοχλία σαν συμπιεστή όπου μορφοποιείται και κόβεται για να σχηματιστεί το τούβλο. Τα μη-ψημένα τούβλα τοποθετούνται σε παλέτες.

#### *Γ) Ξήρανση:*

Τα μη ψημένα τούβλα τοποθετούνται σε ένα έναν χώρο για 4-5 ημέρες για να στεγνώσουν.

#### *(Δ) Διαδικασία ψησίματος:*

Τα αποξηραμένα τούβλα τοποθετούνται σε ειδικούς πάγκους και στη συνέχεια μέσω των σιδηροδρόμων μεταφέρονται μέσα σε ένα κλίβανο που λειτουργεί σε 980-1030 1C. Ο ειδικός πάγκος κινείται αργά μέσα στον κλίβανο και ο χρόνος παραμονής στο εσωτερικό του κλιβάνου είναι περίπου 100-130 λεπτά. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται στον κλίβανο είναι το pet-coce.

#### *(E) Συσκευασία και αποθήκευση των τούβλων:*

### **3. Κατανομή των τούβλων για χρήση στην κατασκευή κτιρίου:**

Τα τούβλα μεταφέρονται από βαρέα οχήματα σε χώρους διανομής και των κατασκευών.

#### *4. Ανακύκλωση / επαναχρησιμοποίηση των τούβλων θραύσματα:*

Τα άχρηστα τούβλα αποτελούν το 0,23% της παραγωγικής δυναμικότητας του εργοστασίου. Αυτά συλλέγονται και χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για την

παραγωγή κεραμιδιών αν και ένα μείγμα πάνω από 30% σκάρτων τούβλων θα μπορούσε να επαναχρησιμοποιηθεί επιτόπου ως πρόσθετο υλικό για την παραγωγή τούβλων, συμβάλλοντας έτσι οικονομικά και περιβαλλοντικά στο εργοστάσιο παραγωγής.

#### **4.Τελικό στάδιο του κύκλου ζωής του τούβλου:**

Τελική διάθεση των τούβλων πραγματοποιείται είτε από το τέλος του κύκλου ζωής ενός κτιρίου ή κατά τη διάρκεια των διαδικασιών ανασυγκρότησης. Η διάρκεια ζωής ενός κτιρίου θεωρείται ότι είναι 80 έτη. Η ανακύκλωση των αποβλήτων από τις κατασκευές και τις κατεδαφίσεις προωθείται πολύ έντονα από την Ευρωπαϊκή Ένωση στο πλαίσιο της προστασίας του περιβάλλοντος και της πολιτικής για τη διαχείριση των αποβλήτων έτσι αναμένεται μέσα στα επόμενα χρόνια, ο όγκος των απορριμμάτων που επαναχρησιμοποιούνται στην Ελλάδα να μεγαλώσει.

Παρακάτω παρατίθεται ο πίνακας με τα δεδομένα ανηγμένα στην δικιά μας λειτουργική μονάδα.

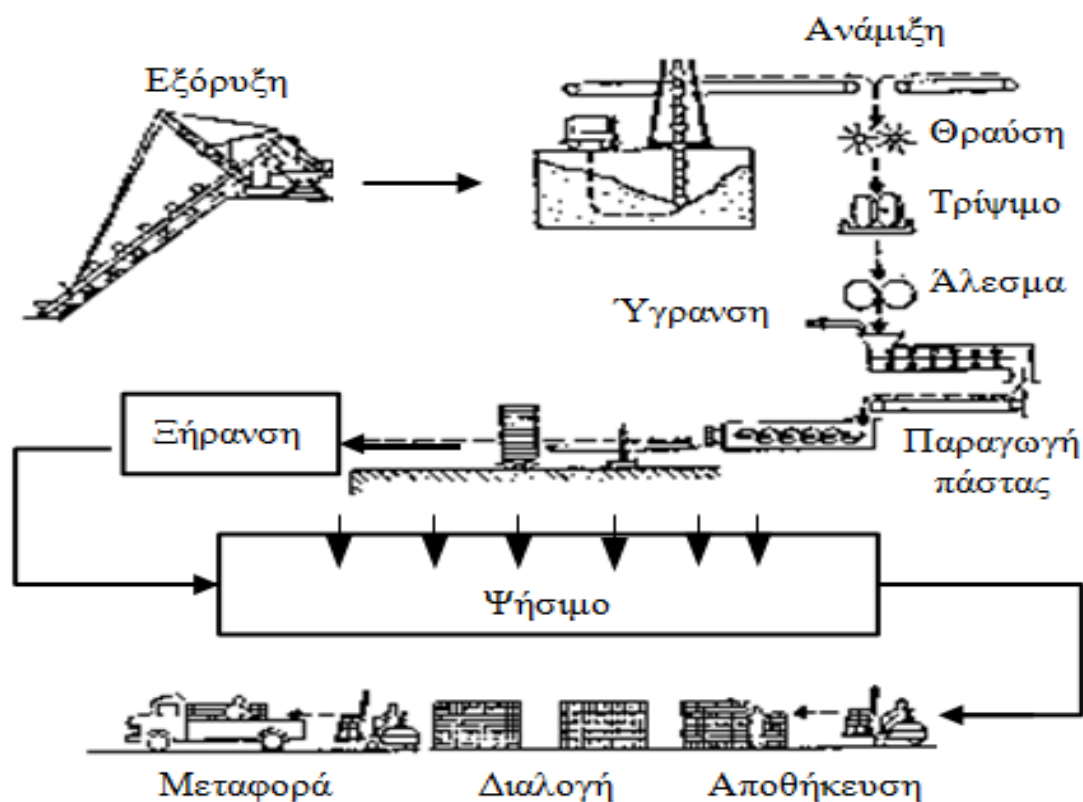
Πίνακας 3.11: Διεργασίες κατασκευής τούβλων για 1m<sup>2</sup>

Φάσεις	Value	Unit	Διαδικασίες	kWh
			Εξόρυξη και μεταφορά στο εργοστασιο	2,899
<b>Απόκτηση απεξέργαστο υλικό/Raw material</b>	187,7	kg	Ανεκάτεμα πρώτης ύλης	0,755
<b>Κατασκευή τούβλου</b>			Μεταφορά πηλού σε ιμάντα μεταφοράς	0,0317
	184,7	kg	Μεταφορά πηλού σε διασπάστη	0,0125
	184,587	kg	Διάσπαση πηλού	0,187
			Μεταφορά πηλού για καθαρισμό	0,0107
	184,479	kg	Καθαρισμός πηλού	0,182
	186,01	kg	Μεταφορά πηλού για ζύμωμα	0,0111
(προσθήκη 24.05lt νερο)	185,94	kg	Ζύμωμα πυλού με προσθήκη νερού	0,35
	209,75	kg	Μεταφορά πηλού για επίστρωμα	0,0094
	209,68	kg	Επίστρωση ζυμωμένου πηλού	0,193
	209,5	kg	Μεταφορά πηλού για φορμάρισμα	0,013
	209,43	kg	Φορμάρισμα πηλού	0,65
	209,21	kg	Κόψιμο φορμαρισμένου πηλού σε τούβλα	0,085

	200,42	kg	Μεταφορά τούβλων για τοποθέτηση σε παλέτες	0,011
<b>Στέγνωμα</b>	197,12	kg	Μεταφορά παλετών με ανυψωτικό μηχάνημα	0,189
	197,12	kg	Τοποθέτηση παλετών για στέγνωμα των τούβλων	0,075
	154,55	kg	Μεταφορά παλετών ώστε να συσκευαστούν τα τούβλα	0,189
<b>Ψήσιμο</b>	154,55	kg	Τοποθέτηση τούβλων στην ειδική άμαξα για ψήσιμο	0
	154,55	kg	Μεταφορά της άμαξας στην είσοδο του φούρνου	0,036
	154,55	kg	Τοποθέτηση τούβλων στον φούρνο	0,053
	154,55	kg	Ψήσιμο τούβλων	72,55
	142,11	kg	Έξοδος ψημένων τούβλων	0,035
	142,11	kg	Φόρτωμα στην ειδική άμαξα	0,112
<b>Συσκευασία και αποθήκευση</b>	142,11	kg	Μεταφορά τούβλων για συσκευασία και αποθήκευση	0,159
	142,022	kg	Συσκευασία	0
	137,89	kg	Αποθήκευση τούβλων	0,06
<b>Διανομή</b>	142,022	kg	Φόρτωμα τούβλων σε φορτηγό	0,15
	142,022	kg	Διανομή στη τοποθεσία του κτιρίου	0,0052

Μπορούμε με μία γρήγορη ματιά να δούμε ότι αρχικά έχουμε περίπου 188kg πρώτη ύλη και στο τελευταίο στάδιο έχουμε τελικό προϊόν 144kg. Δηλαδή ένα ποσοστό της τάξεως του 23% ‘‘χάνεται’’ κατά την διάρκεια των διεργασιών και αυτό το ποσοστό είναι ακόμα μεγαλύτερο αν συνυπολογίσουμε ότι έχουμε και προσθήκη περίπου 25lt νερού.





Σχήμα 3.8: Παραστατική εικόνα διεργασιών για την κατασκευή των τούβλων

### 3.3.4 Παραγωγική διαδικασία οπλισμού από χάλυβα

Μελετήθηκε η παραγωγική διαδικασία του χάλυβα η οποία βασίζεται στην EAF διεργασία (ΣΙΔΕΝΟΡ, 2008). Η γραμμή παραγωγής της περιλαμβάνει μόνο τη χρήση παλαιοσίδηρου (scrap) ως πρώτη ύλη, ενώ χρησιμοποιείται και οξείδιο του ασβεστίου (CaO) -προερχόμενο από ασβεστόλιθο με θερμική αποσύνθεση –σε μικρό ποσοστό για τον καθαρισμό του scrap.

Ο έλεγχος της ποιότητας του προϊόντος γίνεται σε όλα τα στάδια παραγωγής και περιλαμβάνει μεταλλουργικούς ελέγχους, μετρήσεις των γεωμετρικών χαρακτηριστικών και μηχανικές δοκιμές. Για την παραγωγή του χάλυβα που χρησιμοποιείται στις οικοδομικές κατασκευές, διακρίνονται δύο κύριες διαδικασίες:

- Η διαδικασία παραγωγής χάλυβα με τη χρήση οξυγόνου (Basic Oxygen Steelmaking-BOS), όπου απαιτείται χυτοσίδηρος να εισρεύσει στον μεταλλάκτη εμφύσησης O<sub>2</sub> μαζί με παλαιοσίδηρο.
- Η κάμινος ηλεκτρικού τόξου (Electric Arc Furnace-EAF) που ορίζεται ως αυτοτελής διεργασία και δεν απαιτείται ο συνδυασμός της με προηγούμενη διεργασία προπαρασκευής υλικού. Βασίζεται στην ανάτηξη του παλαιοσίδηρου

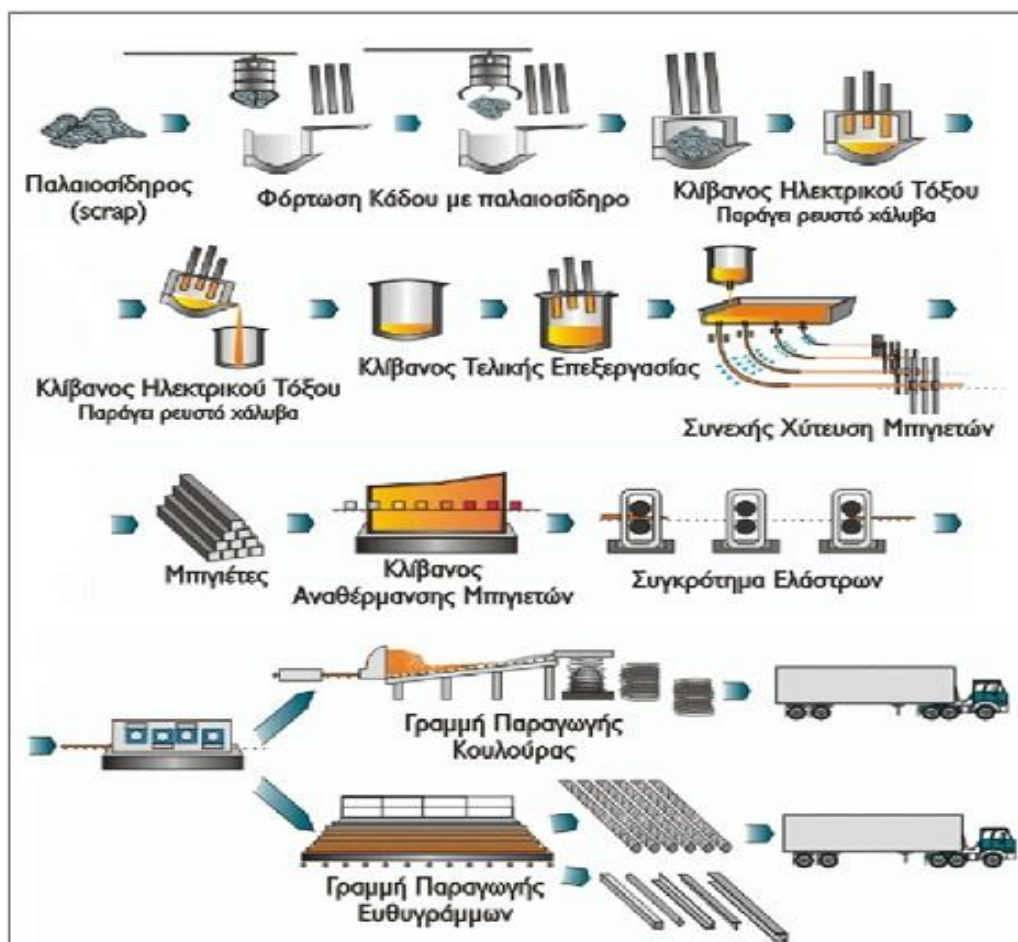
(scrap).

Η διαδικασία BOS περιλαμβάνει τη διαχείριση των πρώτων υλών, την προετοιμασία και την συσσώρευση ορυκτών, την παραγωγή κοκ και τη διαχείριση παραπροϊόντων, την παραγωγή χυτοσίδηρου, την κατασκευή χάλυβα, τη μορφοποίηση και τη διαμόρφωση. Αντίθετα η EAF περιλαμβάνει μόνο τη διαχείριση πρώτων υλών, την παραγωγή χάλυβα, τη μορφοποίηση και τη διαμόρφωση.

Και στις δύο διαδικασίες, οι πρώτες ύλες τροφοδοσίας για την παραγωγή του ακατέργαστου χάλυβα είναι ο ακατέργαστος σίδηρος (pig-iron) σε χυτή ή στερεή μορφή (έπειτα από ψύξη) καθώς και ο παλαιοσίδηρος (scrap). Ο ακατέργαστος σίδηρος περιλαμβάνει μεγάλο ποσοστό άνθρακα (περίπου 3,5%) που τον κάνει ψαθυρό και μη αξιοποιήσιμο ως υλικό χρήσης. Παρόλο που στις δύο διαδικασίες παραγωγής εισάγονται ποσοστιαία και τα τέσσερα υλικά, ο χυτοσίδηρος χρησιμοποιείται κυρίως στην BOS.

Ο παλαιοσίδηρος χρησιμοποιείται σε ποσοστό 20% στην BOS και μέχρι 100% στην EAF διεργασία. Τα υλικά από τα οποία αποτελείται προέρχονται από τα μεταλλικά μέρη των αυτοκινήτων, από είδη κουζίνας, μεταλλικούς κεσέδες αλλά και απόβλητα των οικοδομικών κατασκευών.

Σχήμα 3.8: Παραστατική εικόνα παραγωγής χάλυβα (ΣΙΔΕΝΟΡ, 2008)

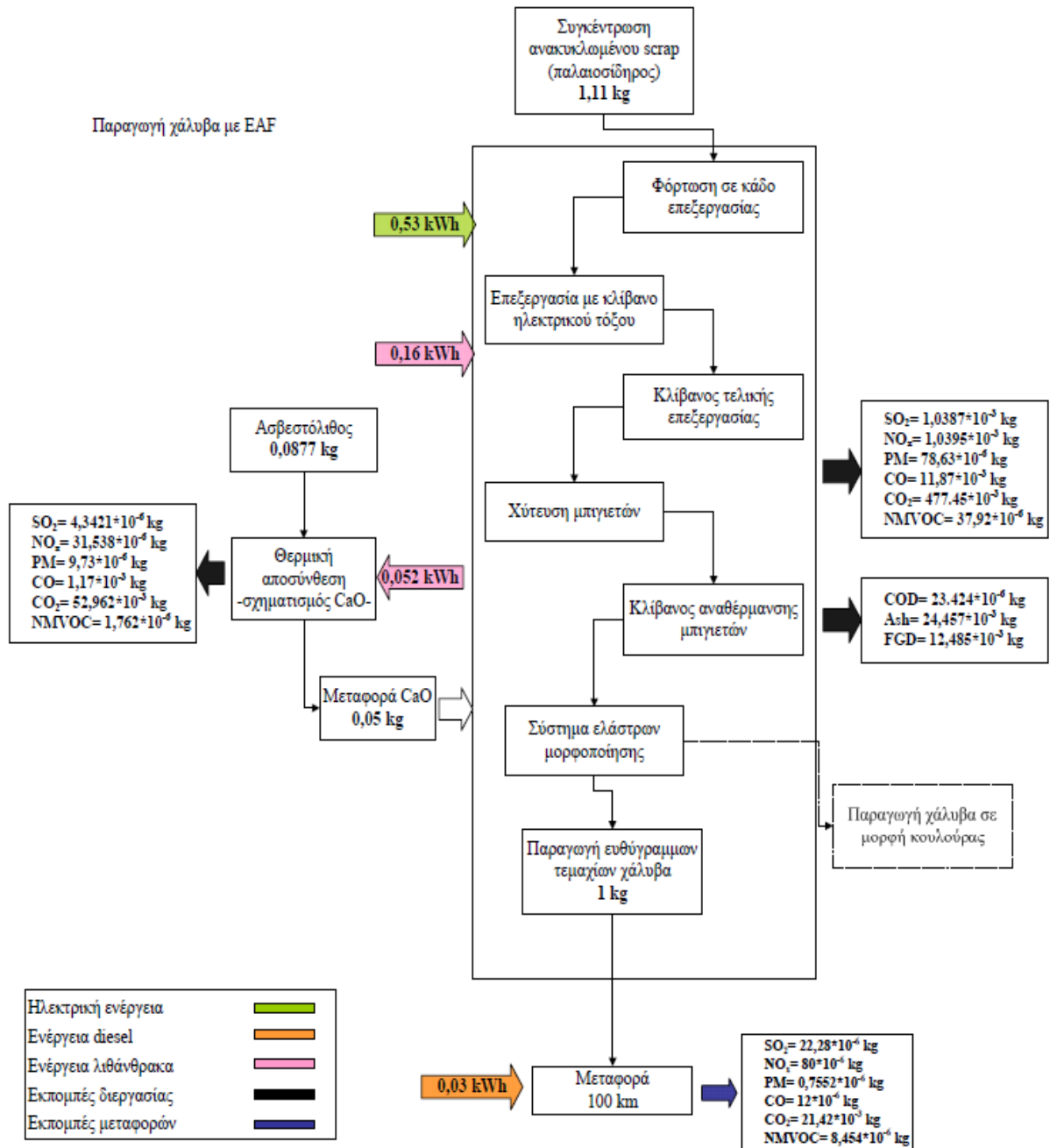


Η κυριότερη μορφή ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του χάλυβα είναι η ηλεκτρική σε ποσοστό 76,8 %. Το υπόλοιπο 23,2 % καλύπτεται από την χρήση

λιθάνθρακα.

Για την παραγωγή ενός (1) kg χάλυβα απαιτείται 1,11 kg πρώτης ύλης, γεγονός που προσδίδει στη διαδικασία βαθμό απόδοσης 90,09 %.

Σχήμα 3.9: Διάγραμμα ροής παρασκευής χάλυβα [56]



### 3.3.5 Παραγωγή τσιμέντου και σκυροδέματος

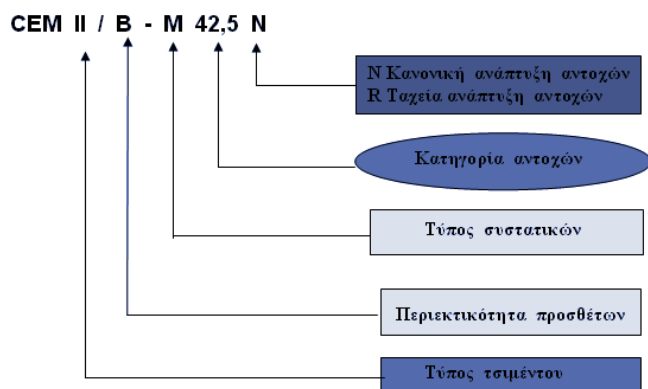
Κάθε χώρα, ανάλογα με τις πηγές πρώτων υλών που διαθέτει, παρασκευάζει διαφορετικά είδη τσιμέντου, π.χ. το καθαρό τσιμέντο, με ποζολάνη, με ιπτάμενη τέφρα, με σκωρία υψικαμίνου κ.α. Οι ποιότητες αυτές υπόκεινται σε κάποια ευρωπαϊκά πρότυπα, βάσει των οποίων καθορίζονται τα ποσοστά των συστατικών που θα χρησιμοποιηθούν. Ο ΕΛΟΤ έχει εκδώσει τα αντίστοιχα Ελληνικά πρότυπα EN 197-1 και 2.

Επίσης υπάρχουν τρεις βασικές κατηγορίες αντοχής και για κάθε μία εισάγονται και κατηγορίες πρώιμης αντοχής N και R, στις οποίες κατατάσσονται τα τσιμέντα ανάλογα με την αντοχή τους σε θλίψη σε κονίαμα πρότυπης σύνθεσης, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ. Κάθε κατηγορία έχει ένα κατώτερο και ένα ανώτερο όριο αντοχής. Η κατηγορία χαρακτηρίζεται από το κατώτερο όριο των 28 ημερών.

Ο συμβολισμός των διαφόρων ειδών τσιμέντου, σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ EN 197-1, γίνεται με την εξής σειρά:

- Τύπος τσιμέντου.
- Ποσότητα κλίνκερ.
- Τύπος κύριου δευτέρου συστατικού.
- Κατηγορία αντοχής.
- Επίπεδο πρώιμης αντοχής.

Στο υπό μελέτη σύστημα παράγεται κοινό τσιμέντο Portland υψηλής αντοχής CEM II 32,5 και CEM II 42,5 αντίστοιχα. Οι ποιότητες αυτές αποτελούν και το συστατικό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή του σκυροδέματος. Τα στοιχεία για την παραγωγική διαδικασία προέρχεται από την εταιρεία TITAN (2008).



Σχήμα 3.10: Ονοματολογία τσιμέντου κατά ΕΛΟΤ EN 197-1

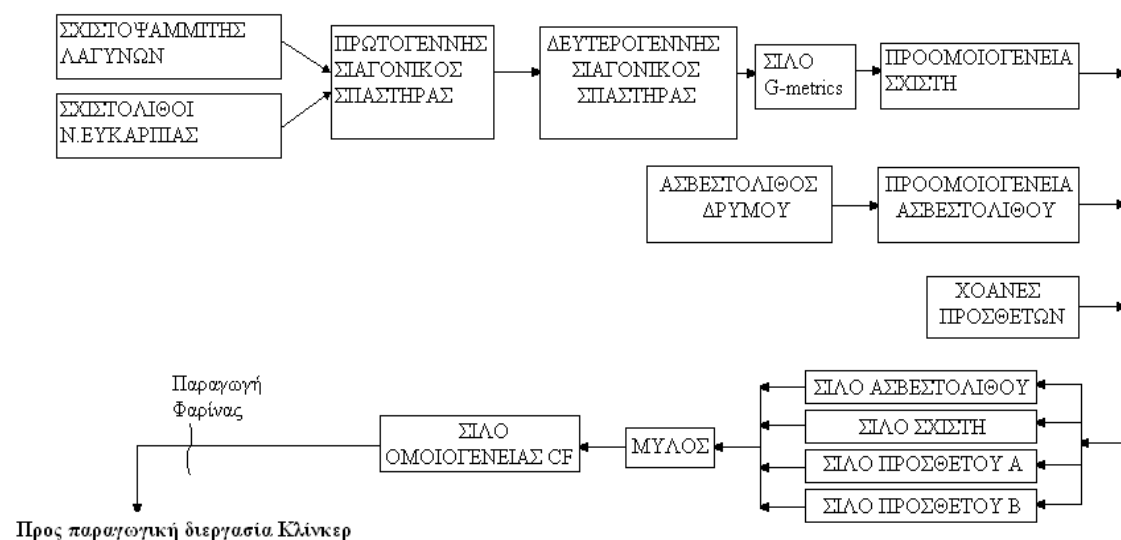
Το υπό εξέταση σύστημα περιλαμβάνει τρεις βασικές διεργασίες: τη δημιουργία της φαρίνας, το σχηματισμό του ημιέτοιμου υλικού, που ονομάζεται κλίνκερ, και την

τελική παρασκευή του τσιμέντου.

*Πρώτο στάδιο παραγωγής τσιμέντου - παραγωγή φαρίνας*

Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή της φαρίνας είναι ο σχιστοψαμμίτης, ο σχιστόλιθος, καθώς και ο ασβεστόλιθος. Η διαδικασία, με την οποία επιτυγχάνεται η παραγωγή της φαρίνας, περιλαμβάνει τη συγκέντρωση της απαραίτητης ποσότητας του σχιστοψαμμίτη και του σχιστόλιθου. Κατόπιν, τα υλικά αυτά διέρχονται από έναν πρωτογενή και ένα δευτερογενή σιαγονικό θραυστήρα, προκειμένου να θρυμματιστούν. Έπειτα, οδηγούνται σε ένα μεταλλικό σιλό όπου αποθηκεύονται προσωρινά. Στη βάση του σιλό υπάρχει ένας ζυγιστικός τροφοδότης απ' όπου ελευθερώνεται η απαιτούμενη, ανάλογα με τις ανάγκες, ποσότητα σχιστόλιθου. Αυτή οδηγείται, μέσω ενός συστήματος μεταφορικών ταινιών, στο σύστημα G-metrics το οποίο ελέγχει τη σύσταση και το μέγεθός του υλικού προκειμένου να γίνει ενδεχόμενη διόρθωση στους σιαγονικούς θραυστήρες. Στη συνέχεια, το υλικό οδηγείται πάλι μέσω ταινιών στο χώρο προομοιογένειας όπου ένα μηχάνημα σχηματίζει δύο σωρούς του υλικού κάνοντας οριζόντια παλινδρομική κίνηση, ενώ ένα δεύτερο μηχάνημα, μεταξύ των δύο σωρών, το συλλέγει με κάθετη, στο ίδιο επίπεδο, παλινδρομική κίνηση και το μεταβιβάζει σε μεταφορικό διάδρομο ώστε να οδηγηθεί στο σιλό αποθήκευσης. Παράλληλα η απαιτούμενη ποσότητα του ασβεστόλιθου προομοιοποιείται με απλούστερη διαδικασία και κατόπιν αποθηκεύεται. Τα πρόσθετα υλικά, όπως η καλαμίνα και η πυριτική άμμος, οδηγούνται από τις χοάνες που βρίσκονται χύμα στα σιλό αποθήκευσης.

Σχήμα 3.11: Παραγωγική διαδικασία φαρίνας [58]



Τα προθραυσμένα και προομοιοποιημένα συστατικά που βρίσκονται ξεχωριστά αποθηκευμένα, οδηγούνται από τα σιλό στο μύλο χώματος. Η αναλογία ανάμιξης είναι 75% σχιστόλιθος και ασβεστόλιθος με 25% πρόσθετα. Η είσοδός τους γίνεται από το κάτω μέρος του μύλου, ενώ γίνεται και είσοδος καυσαερίων, ώστε να

θερμάνουν το μίγμα και να επιτευχθεί η αφαίρεση της περιεχόμενης υγρασίας των υλικών. Τα καυσαέρια αυτά προέρχονται από τη διαδικασία της όπτησης στον κλίβανο και έχουν ψυχθεί μόνο από την τελευταία βαθμίδα του πύργου ψύξης.

Η έξοδος του κονιορτοποιημένου υλικού γίνεται από το πάνω μέρος του μύλου με αναρρόφηση και διέλευση από ένα σύστημα κυκλώνων. Η είσοδος στους κυκλώνες γίνεται ακτινικά με αποτέλεσμα η φαρίνα να πέφτει κάτω και να συλλέγεται με περιστροφικό φράκτη τεσσάρων πτερυγίων.

Το καυσαέριο εξέρχεται από το πάνω μέρος των κυκλώνων και οδηγείται στα σακόφιλτρα προκειμένου να συγκρατηθούν τα υπολείμματα σκόνης που περιέχει. Αυτά οδηγούνται και πάλι μαζί με την φαρίνα στον κλίβανο.

Από τους κυκλώνες, η φαρίνα οδηγείται με αερομεταφορά στο σιλό ομοιογένειας, όπου γίνεται αναμόγχευση του υλικού με αέρα.

#### *Δεύτερο στάδιο παραγωγής τσιμέντου - παραγωγή κλίνκερ*

Η φαρίνα από διάφορα σημεία της βάσης του σιλό που βρίσκεται αποθηκευμένη, διοχετεύεται σε άλλο σιλό με δυναμοκυψέλη ώστε να ελέγχεται η ποσότητα που λαμβάνεται. Έπειτα, με αερομεταφορά οδηγείται στη βάση του προθερμαντήρα, απ' όπου με αναβατήρα οδηγείται στην κορυφή του. Διασχίζοντας τις πέντε βαθμίδες, φτάνει στην είσοδο του κλιβάνου στον οποίο επικρατεί θερμοκρασία περίπου 1000 °C.

Το καυσαέριο που χρησιμοποιείται στον προθερμαντήρα, αναρροφάται με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα και έπειτα διέρχεται από τον πύργο ψύξης. Από εκεί οδηγείται στα σακόφιλτρα ή στο μύλο χώματος.

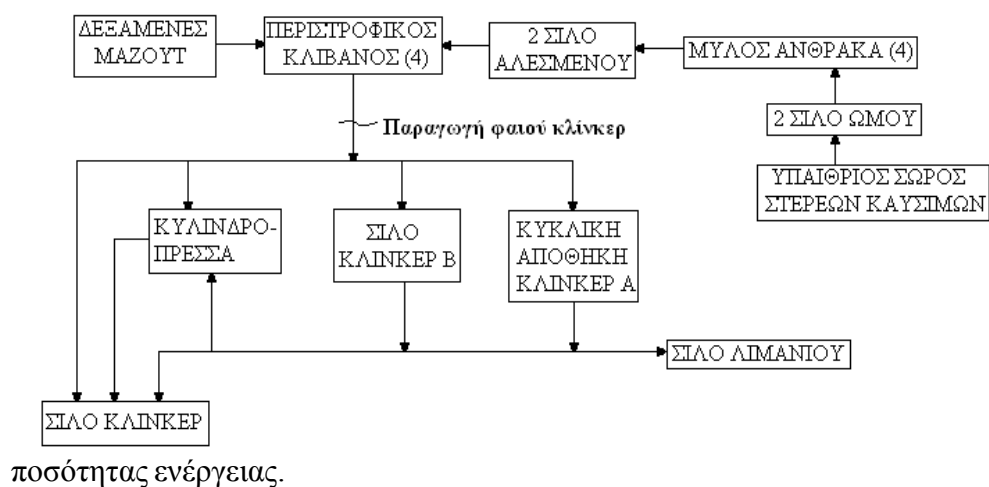
Από την τελευταία βαθμίδα του προθερμαντήρα το μίγμα εισάγεται στην περιστροφική κάμινο. Εκεί, λόγω της κλίσης της καμίνου αλλά και της περιστροφικής της κίνησης, το υλικό οδηγείται προς την έξοδό της, ενώ ταυτόχρονα θερμαίνεται. Η κλινκεροποίηση του υλικού επιτυγχάνεται με την περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας του ως τους 1200 °C κατά τη διαδικασία της όπτησης. Η θερμική αυτή κατεργασία έχει ως συνέπεια την απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) από το μίγμα και την παραγωγή του κλίνκερ. Η χημική διεργασία που προκαλείται είναι η διάσπαση του ανθρακικού ασβεστίου ( $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ) καθώς και των αργιλοπυριτικών ενώσεων και η αντίδραση των οξειδίων του ασβεστίου, του αργιλίου και του πυριτίου μεταξύ τους, προς τον σχηματισμό υλικού. Η τελική του μορφή είναι κοκκώδης. Το καύσιμο που χρησιμοποιείται σε αυτή τη διαδικασία είναι το πετ-κοκ ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις υπάρχει παράλληλη καύση γλυκερίνης, η οποία είναι παράγωγο του βιοντίζελ.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα καυσαέρια αυτής της διαδικασίας χρησιμοποιούνται για την προθέρμανση της φαρίνας στον προθερμαντήρα αλλά και στο μύλο χώματος.

Αφού σχηματιστεί το κλίνκερ στο τέλος της καμίνου, οδηγείται στους ψύκτες. Η ψύξη

γίνεται σε έναν θάλαμο όπου το κλίνκερ μετακινείται πάνω σε μεταλλικές, πυρίμαχες πλάκες μέσω παλινδρομικών κινήσεων. Για την κατάλληλη ψύξη διοχετεύεται αέρας από έξι ανεμιστήρες στην κάτω πλευρά των μεταφορέων. Τα καυσαέρια που εκπέμπονται από αυτή τη διαδικασία οδηγούνται στα ηλεκτρόφιλτρα όπου δεσμεύονται πάλι υπολείμματα σκόνης. Στη συνέχεια, το υλικό που έχει ψυχθεί, οδηγείται στην κυκλική αποθήκη.

Η ετήσια παραγωγή του ημιέτοιμου υλικού κλίνκερ είναι 1.615.400 τόνοι. Υπολογίζεται ότι απαιτούνται περίπου 1.863.920 τόνοι ασβεστολιθικών και σχιστολιθικών ορυκτών ετησίως καθώς και 621.300 τόνοι πρόσθετων υλικών, προκειμένου να παραχθεί αυτή η ποσότητα κλίνκερ. Ο βαθμός απόδοσης αυτού του σταδίου ανέρχεται στο 65% και παρατηρείται η κατανάλωση της μεγαλύτερης

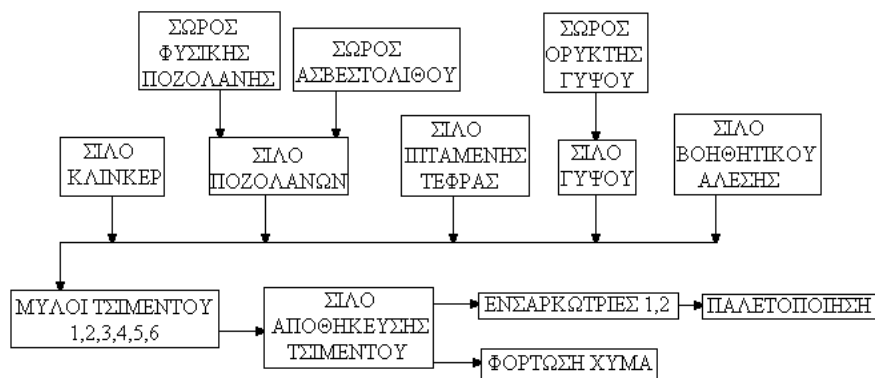


Σχήμα 3.12: Παραγωγική διαδικασία κλίνκερ [58]

### Τρίτο στάδιο παραγωγής τσιμέντου – παραγωγή τελικού προϊόντος

Η κυκλική αποθήκη είναι ο χώρος που συλλέγεται το κλίνκερ μετά την παραγωγή του. Στην κάτω πλευρά αυτής βρίσκεται συλλέκτης που λαμβάνει την απαιτούμενη ποσότητα για την παραγωγή του τσιμέντου. Ανάλογα με την επιθυμητή ποιότητα τσιμέντου υπάρχουν επτά μύλοι, οι πέντε εκ των οποίων είναι σφαιρόμυλοι και οι δύο κάθετοι. Το κλίνκερ που οδηγείται στους σφαιρόμυλους περνά από την κυλινδροπρέσσα προκειμένου να αποκτήσει πολύ μικρή δομή.

Για την παραγωγή του τελικού προϊόντος γίνεται ανάμιξη του κλίνκερ, της φυσικής ποζολάνης αναμεμιγμένη με ασβεστόλιθο, του γύψου, της ιπτάμενης τέφρας και των βοηθητικών άλεσης. Η δοσολογία των υλικών εξαρτάται από τον τύπο του τσιμέντου και την επιδιωκόμενη αντοχή.



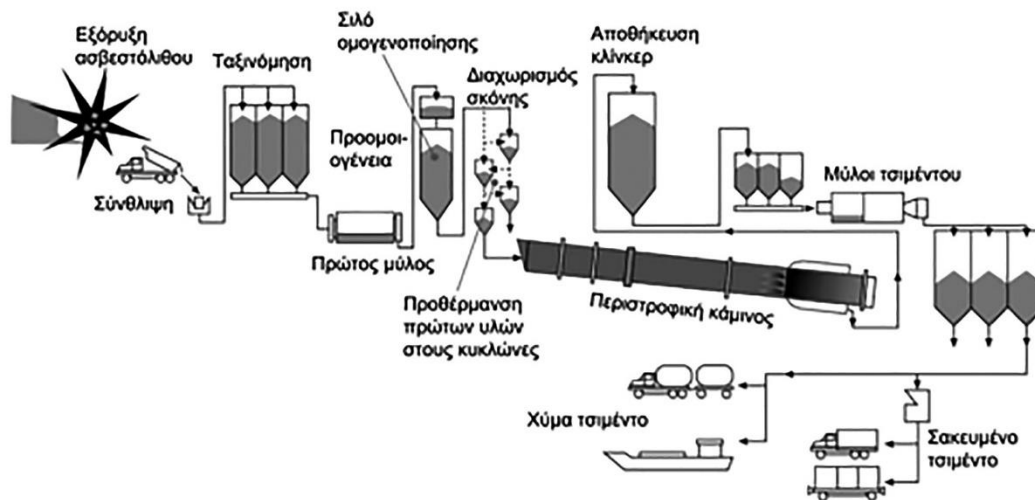
Σχήμα 3.13: Παραγωγική διαδικασία τσιμέντου [58]

Στους μύλους εισάγονται και καυσαέρια προκειμένου να θερμανθεί και να αφυγρανωθεί το τσιμέντο. Η είσοδος των καυσαερίων γίνεται από το κάτω μέρος. Εξέρχονται από το πάνω μέρος του μύλου μαζί με το αλεσμένο υλικό και οδηγούνται στο σακόφιλτρο. Εκεί το καυσαέριο διαπερνά τα φίλτρα και εξέρχεται από το εσωτερικό τους, ενώ το κονιοροποιημένο τσιμέντο επικάθεται στην

εξωτερική πλευρά των φίλτρων και με απότομη εκτόνωση αέρα αποδεσμεύεται και συλλέγεται στην ταινία περισυλλογής. Από εκεί οδηγείται στα σιλό αποθήκευσης.

Η φόρτωση και διανομή του τσιμέντου γίνεται είτε χύμα από τα σιλό σε φορητά, είτε σε συσκευασμένη μορφή. Στη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιούνται οι ενσαρκώτριες όπου το προϊόν συσκευάζεται σε σάκους των 50 κιλών, με μέγιστη απόδοση των μηχανών 3.000 σάκους ανά ώρα. Πρόσφατα ξεκίνησε η συσκευασία του τσιμέντου σε σάκους των 25 κιλών. Έπειτα οδηγούνται μέσω συστήματος μεταφορικών ταινιών στην παλετοποίηση και αποθήκευσή του. Συνολικά η παραγωγική διαδικασία φαίνεται στο σχήμα 3.13 καθώς και στο διάγραμμα ροής (σχήμα 3.14).





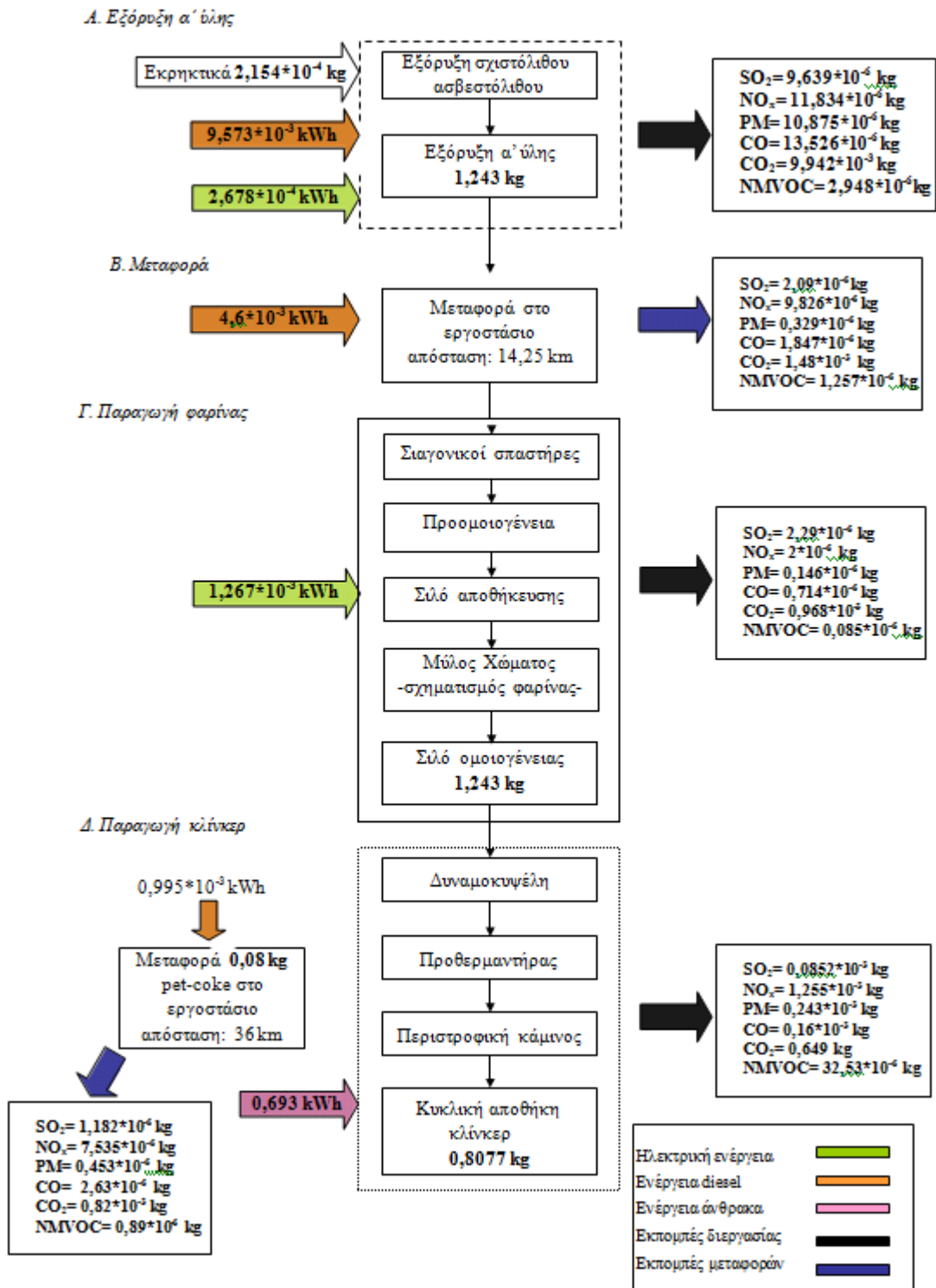
Σχήμα 3.14: Παραγωγική διαδικασία τσιμέντου [58]

### Παραγωγική διαδικασία σκυροδέματος

Τα αδρανή υλικά, χαλίκι, άμμος και γαρμπίλι, μεταφέρονται από τους χώρους εξόρυξης στο εργοστάσιο και εναποτίθενται σε αποθήκες. Αντίστοιχα το τσιμέντο τοποθετείται σε σιλό ενώ το νερό σε δεξαμενές. Μόλις γίνεται παραγγελία κάποιας ποσότητας σκυροδέματος στην εταιρία, ξεκινάει η παραγωγή του.

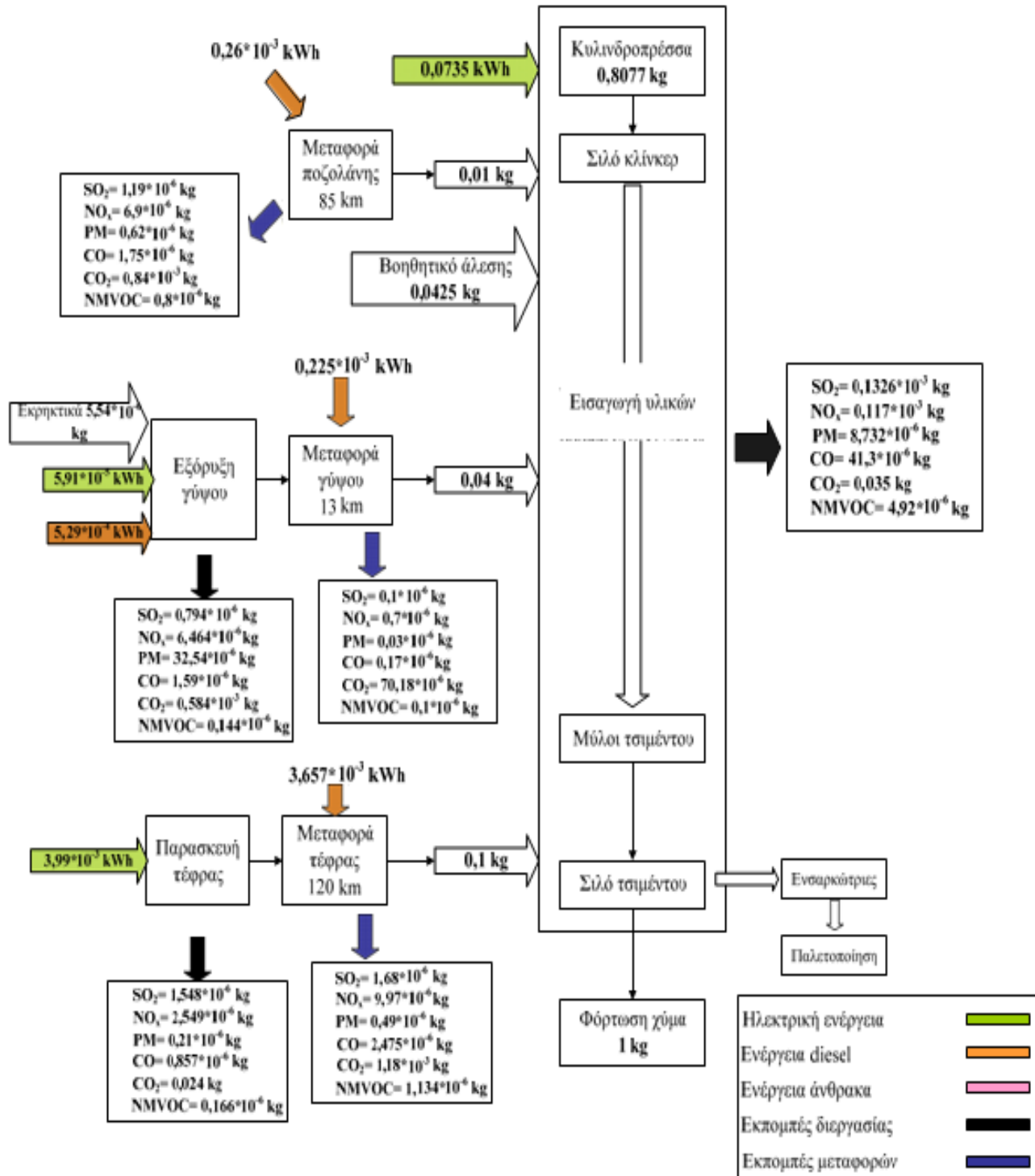
Αυτός ο τρόπος λειτουργίας οφείλεται στο γεγονός ότι το σκυροδέμα δεν μπορεί να αποθηκευτεί σε υγρή μορφή, καθώς έχει διάρκεια ζωής δύο (2) ώρες, προτού χάσει ένα ποσοστό από τις ιδιότητες του σε αντοχή και σκληρότητα.

Τα αδρανή υλικά μεταφέρονται μέσω ταινιών στο μίξερ, ενώ το τσιμέντο μέσω ενός συστήματος κοχλιών περιστρεφόμενων σπειρών. Όλα τα υλικά πριν εισέλθουν στη συσκευή άλεσης, διέρχονται από ζυγιστικά μηχανήματα προκειμένου να ρυθμιστεί η απαιτούμενη ποσότητα.



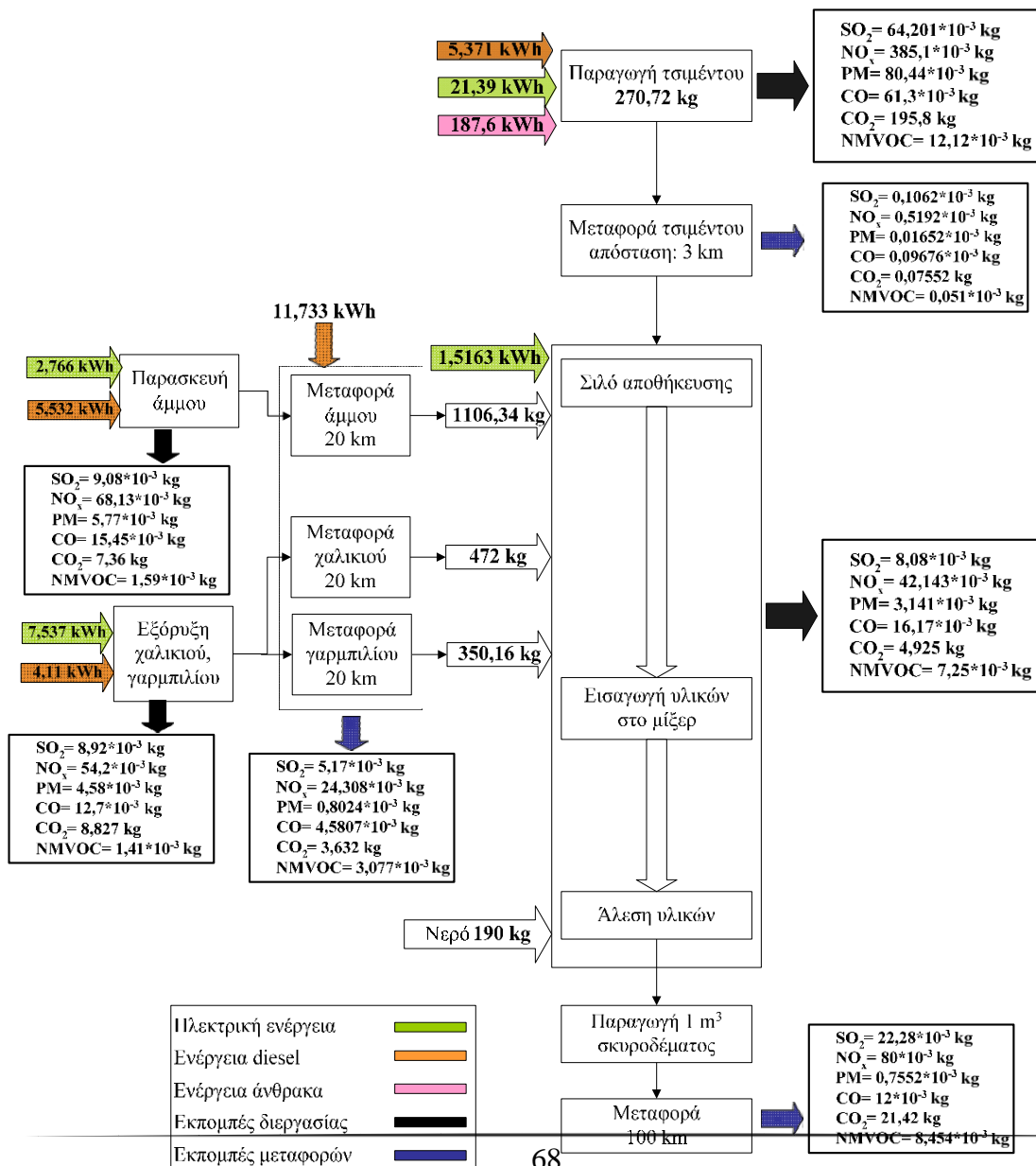
Σχήμα 3.15α: Διάγραμμα ροής παραγωγής τσιμέντου [56]

E. Παραγωγή τσιμέντου



Σχήμα 3.15β: Διάγραμμα ροής παραγωγής τσιμέντου [56]

Έπειτα, καταλήγουν στο μίξερ όπου γίνεται βίαιη ανάμιξη τους για 20 δευτερόλεπτα. Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία, ανοίγει μία διάδοος που βρίσκεται στον πυθμένα του μίξερ και το μίγμα χύνεται στην βαρέλα του φορτηγού. Αυτή θα περιστρέφεται σε όλη τη διάρκεια της μεταφοράς του σκυροδέματος μέχρι το σημείο χρήσης, προκειμένου να διατηρηθεί σε υγρή και εύκολα επεξεργάσιμη μορφή. Στις εγκαταστάσεις της εταιρείας της οποίας η παραγωγική διαδικασία μελετάται, υπάρχουν δύο (2) αναμεικτήρες. Καθένας διαθέτει τα δικά του σιλό αποθήκευσης των αδρανών υλικών ενώ υπάρχουν και δύο (2) σιλό για το τσιμέντο.



Σχήμα 3.16: Διάγραμμα ροής παραγωγικής διαδικασίας 1 m<sup>3</sup> σκυροδέματος [56]



### 3.3.6 Παραγωγή διογκωμένης πολυστερίνης XPS

Η πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται αποτελείται από πολυστυρένιο, στη μορφή μικροσκοπικών κόκκων στο οποίο εμπεριέχονται διογκωτικά αέρια (κατά κύριο λόγο πεντάνιο). Όταν οι κόκκοι θερμανθούν, μέσω της επαφής τους με ατμό, μαλακώνουν και λόγω της παρουσίας των διογκωτικών αερίων, τα οποία διαστέλλονται, οι αρχικά μικροσκοπικοί κόκκοι διογκώνονται σε όγκο περίπου 50 φορές μεγαλύτερο του αρχικού. Στη διογκωμένη του μορφή ένας κόκκος πολυστυρένιου περιέχει πολυάριθμες μικροσκοπικές κλειστές κυψελίδες με αέρια, που δίνουν στο υλικό τις χαρακτηριστικές του μονωτικές ιδιότητες.

Η διόγκωση των μικροσκοπικών κόκκων πολυστερίνης πραγματοποιείται στο διογκωτήρα, με την διοχέτευση κορεσμένου ατμού (θερμοκρασίας ως 105 οC) μέσω απλών αναδευτήρων. Το μέτρο του βαθμού διόγκωσης των μικροσκοπικών κόκκων είναι η τελική τους πυκνότητα (Kg/m<sup>3</sup>).

Μετά τη διεργασία της διόγκωσης ακολουθεί το 'στέγνωμα' των διογκωμένων κόκκων. Μετά από το στεγνωτήριο τα σφαιρίδια δεν είναι ακόμα κατάλληλα για περαιτέρω επεξεργασία (δεύτερη διόγκωση ή διαμόρφωση) διότι παραμένουν μηχανικά ασταθή ή περιέχουν περισσότερο πεντάνιο από όσο είναι αναγκαίο. Γι' αυτό το λόγο διοχετεύονται με φουσητήρες σε σιλό για 'ωρίμανση'. Ο αναγκαίος ελάχιστος χρόνος παραμονής των διογκωμένων σφαιριδίων στα σιλό για ωρίμανση διαφέρει ανάλογα με την α' ύλη, την πυκνότητα, το μέγεθος των διογκωμένων κόκκων καθώς και τις καιρικές συνθήκες και εξαρτάται επίσης και από το αν τα 'μπαλάκια' προορίζονται για διαμόρφωση ή δεύτερη διόγκωση.

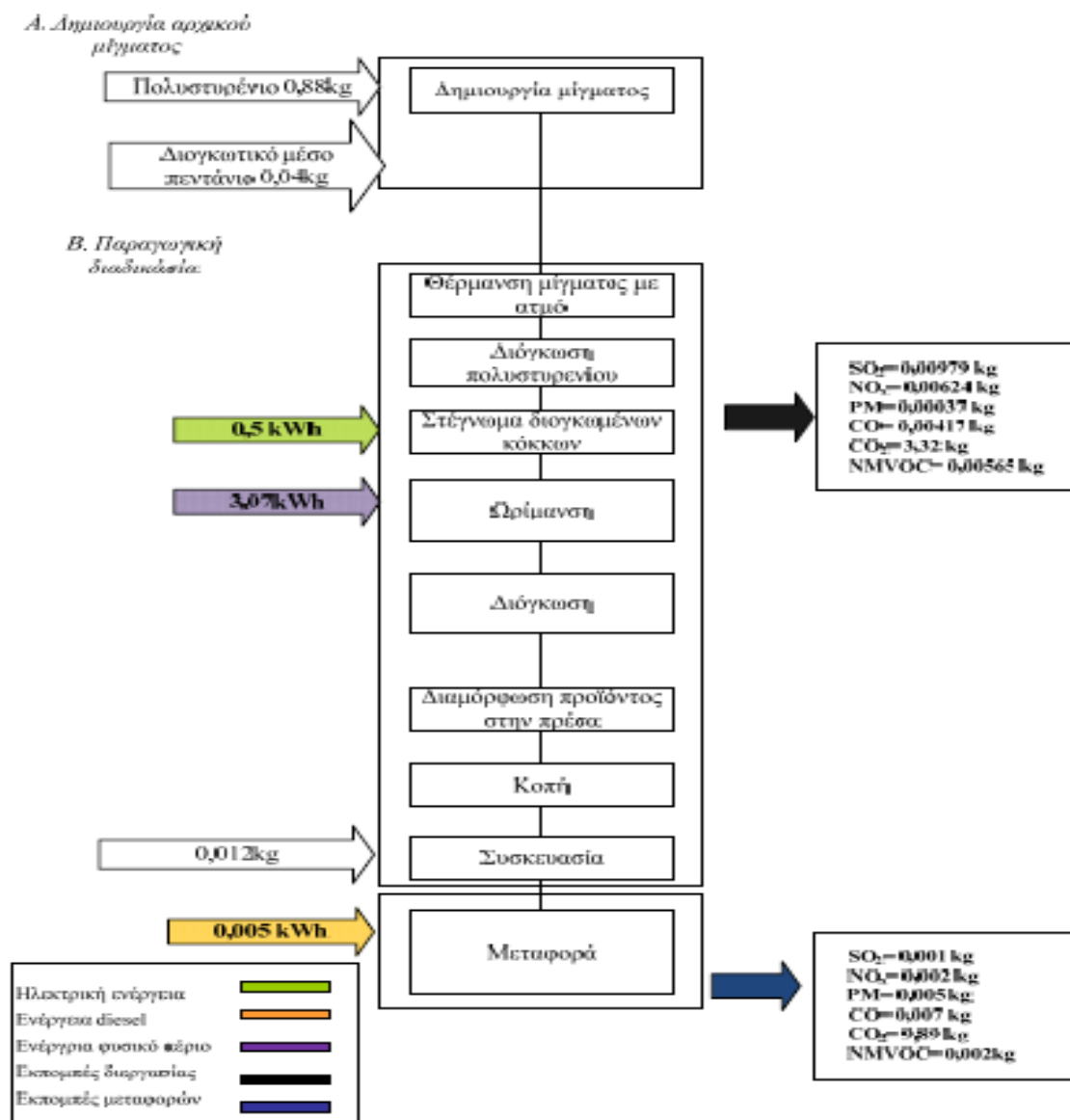
Το δεύτερο ή και τρίτο στάδιο διόγκωσης (για μπαλάκια που προορίζονται για λευκές πλάκες) γίνεται στον ίδιο διογκωτήρα όταν χρειάζεται να επιτευχθούν χαμηλές πυκνότητες. Το διογκωμένο υλικό που πρόκειται να υποστεί δεύτερη διόγκωση οδηγείται μέσω των απορροφητήρων από το σιλό αποθήκευσης προς το σιλό (ζυγαριά) του διογκωτήρα, από εκεί διοχετεύεται στο θάλαμο διόγκωσης όπου ακολουθείται παρόμοια διαδικασία διόγκωσης όπως περιγράφηκε και παραπάνω.

Τα διογκωμένα 'μπαλάκια' διαμορφώνονται σε λευκά ή μπλε μπλοκ σε ειδικό μηχάνημα πρέσας. Η διαμόρφωση αποτελεί ουσιαστικά μικρής κλίμακας διόγκωση που πραγματοποιείται στον περιορισμένο χώρο του καλουπιού της πρέσας. Η παρουσία θερμού ατμού αυξάνει την πίεση των υπολειμμάτων διογκωτικών αερίων και αέρα στο εσωτερικό των διογκωμένων σφαιριδίων (μπαλάκια) τα οποία διογκώνονται ελαφρώς (φουσκώνουν) ενώ ταυτόχρονα 'λιώνει' η επιφάνειά τους. Ως αποτέλεσμα τα μπαλάκια επεκτείνονται και συμπιέζονται ώστε τελικά να καταλάβουν όλα τα ενδιάμεσα μεταξύ τους κενά, να συγκολληθούν και να αποκτήσουν το σχήμα του καλουπιού.

Αν οι ανάγκες ικανοποίησης των παραγγελιών το απαιτούν, τότε είναι δυνατόν να κοπούν και μπλοκ που έχουν διαμορφωθεί την ίδια ημέρα αλλά έχουν παραμείνει για στέγνωμα τουλάχιστον τρεις (3) ώρες. Η άμεση κοπή των μπλοκ δεν ενδείκνυται, καθώς απαιτεί αργές ταχύτητες κοπής και ως εκ τούτου επιβραδύνεται η παραγωγή

παρόλο που δεν υποβαθμίζεται η ποιότητα του προϊόντος.

Η κοπή των μπλοκ πραγματοποιείται σε κοπτικά μηχανήματα που λειτουργούν με θερμαινόμενα σύρματα. Τα σύρματα θερμαίνονται με ηλεκτρικό ρεύμα (χαμηλού δυναμικού) σε υψηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να λιώνουν το μπλοκ στα σημεία επαφής όπως το διαπερνούν. Τα σύρματα συγκρατούνται με ελατήρια για να αντισταθμίζεται η συστολή / διαστολή τους λόγω της θέρμανσης και να παραμένουν πάντα τεντωμένα. Η θερμοκρασία των συρμάτων αυξάνεται ανάλογα με την επιθυμητή ταχύτητα κοπής και την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το υλικό (περισσότερο ή λιγότερο στεγνό). Τα στοιχεία για την παραγωγική διαδικασία της διογκωμένης πολυστερίνης προέρχονται από την εταιρεία Πανμονωτική [59].

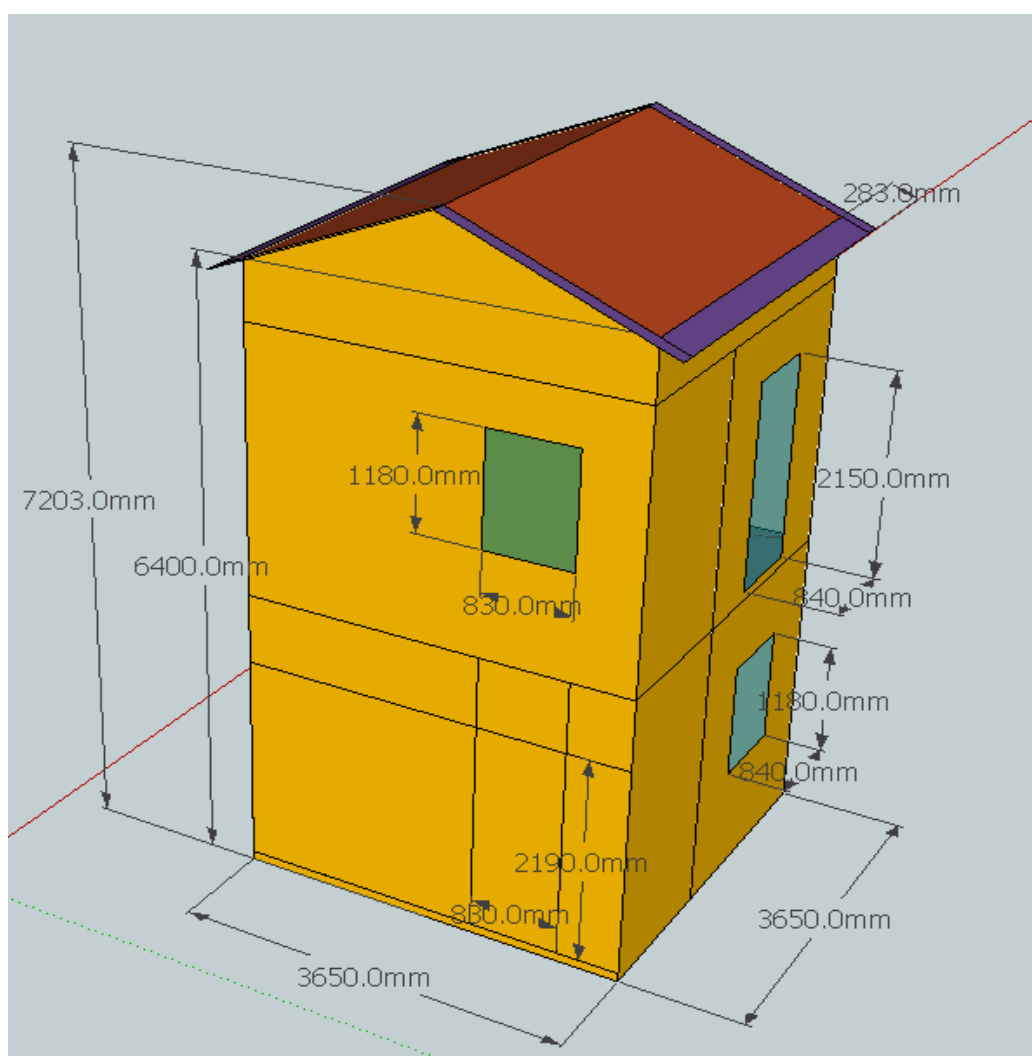


Σχήμα 3.17: Διάγραμμα ροής παραγωγικής διαδικασίας διογκωμένης πολυστερίνης [56]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Για την ανάγκη αυτής της εργασίας θα χρησιμοποιηθεί ένα πιλοτικό κτίριο το οποίο βρίσκεται στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στην περιοχή της Αττικής. Σκοπός λοιπόν της μελέτης αυτής, είναι να εφαρμοσθεί η ανάλυση του κύκλου ζωής των υλικών με δεδομένα και στοιχεία που βασίζονται, όσο αυτό ήταν δυνατόν, στα δεδομένα της Ελλάδας, δηλαδή τις υπάρχουσες νομοθεσίες και κανονισμούς καθώς και τις κλιματολογικές συνθήκες.

Για τις ανάγκες της μελέτης θα εξετασθεί ένα κτίριο των 13,3 m<sup>2</sup>. Παρακάτω ακολουθεί ένα τρισδιάστατο σχέδιο του κτιρίου με τις βασικές του διαστάσεις. Το κτίριο θα εξετασθεί με δυο τυπικές κατασκευές: i) μεταλλική κατασκευή με γυψοσανίδα και ii) τυπική κατασκευή με τούβλο και σκυρόδεμα.



Σχήμα 4.1: Διαστασιολόγηση πιλοτικού κτιρίου.



Πίνακας 4.1: Εμβαδόν κτιρίου

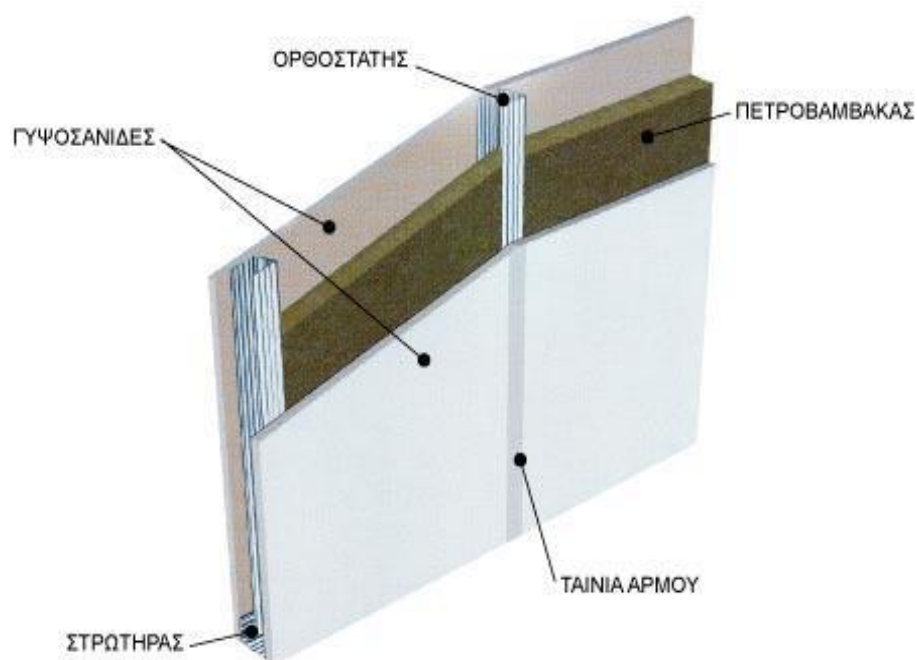
Τετραγωνικά κτιρίου (m2)	
Δάπεδο	13.32
Εσ. Πάτωμα	13.32
Παράθυρα - πόρτες	5.58
Εξωτερικοί Τοίχοι	90.79
Σκεπή	31.086
Εσ. Τοίχοι	11.68

Στον Πίνακα 4.1 παρουσιάζεται το εμβαδόν του πιλοτικού κτιρίου, καθώς και το εμβαδόν των επιμέρους στοιχείων του.

Στα επόμενα κεφάλαια παρουσιάζονται αναλυτικότερα τα δεδομένα και οι σχετικοί πίνακες με τις ποσότητες των υλικών και τις ιδιότητες τους που χρησιμοποιήθηκαν για τις δύο αυτές περιπτώσεις.

## 4.1 Μεταλλική κατασκευή

Σε αυτή την περίπτωση το κτίριο μας έχει κατασκευαστεί με μεταλλική κατασκευή (σκελετός). Η τοιχοποιία αποτελείται από γυψοσανίδες ½'' με τους κατάλληλους ορθοστάτες και διωστήρες όπου αυτοί χρήζουν αναγκαίοι. Ανάμεσα στις γυψοσανίδες υπάρχει η κατάλληλη μόνωση και έπειτα πάλι μια γυψοσανίδα. (βλ. Σχήμα 4.2).



#### Σχήμα 4.2 Τομή τοιχοποιίας με γυψοσανίδα

Και στις δύο περιπτώσεις έχουν επιλεχθεί παράθυρα και πόρτες καθώς και υλικά σοβαντίσματος (λεπτόκοκκός σοβάς) και χρώματα κοινά και για τα δύο κτίρια.

Παρακάτω ακολουθούν πίνακες με τις ποσότητες καθώς και τις ιδιότητες των υλικών για την περίπτωση τις μεταλλικής κατασκευής.

#### **Γυψοσανίδα:**

Η γυψοσανίδα Standard η οποία και θα χρησιμοποιήσουμε είναι ένα ορθογώνιο παραλληλόγραμμο φύλλο κατασκευασμένο κατά κύριο λόγο από φυσικό γύψο. Η γυψοσανίδα έχει βρει μεγάλο φάσμα εφαρμογών για τον λόγο ότι πλέον είναι μια οικονομική, ποιοτική καθώς και γρήγορη λύση για την κάλυψη των αναγκών κατασκευής σε πολλούς χώρους όπως σπίτια, ειδικά χωρίσματα δωματίων σε ξενοδοχεία και καταστήματα αλλά και λεπτομέρειες διακόσμησης. Οι συνήθεις διαστάσεις του συγκεκριμένου τύπου είναι 2000\*1200\*12,5mm και με ονομαστικό βάρος τα 8,5 kg/m<sup>2</sup> κατά DIN 18180. Η θλιπτική της αντοχή είναι  $f_{c,90,k} \geq 3,5 \text{ N/mm}^2$  ενώ η αντίστοιχη καμπτικής είναι  $f_{m,k} \geq 2,0 \text{ N/mm}^2$ . Επίσης το μέτρο ελαστικότητας της είναι  $E \geq 2.8000 \text{ N/mm}^2$  σε διαμήκη διεύθυνση ενώ σε εγκάρσια είναι  $E \geq 2.2000 \text{ N/mm}^2$ . Ενδιαφέρον χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης γυψοσανίδας είναι η ακτίνα καμπύλωσης της σε υγρή και ξηρή καμπύλωση.

Για την στερέωση των γυψοσανίδων χρησιμοποιούνται μεταλλικοί οδηγοί(διωστήρες) και ορθοστάτες οι οποίοι βιδώνονται είτε στον τοίχο από τσιμέντο είτε όπως στην δική μας περίπτωση τον μεταλλικό σκελετό. Αυτά τα μεταλλικά ελάσματα ποικίλουν σε διαστάσεις αλλά οι συνήθεις τους είναι 30\*50mm των 3 ή 4 μέτρων.



Σχήμα 4.3: Ορθοστάτης γυψοσανίδας

Για την ένωση των γυψοσανίδων και την καλύτερη στήριξη μεταξύ τους χρησιμοποιούνται τα γωνιόκρανα .



Σχήμα 4.4: Γωνιόκρανο γυψοσανίδας.

Στους εξωτερικούς τοίχους έχουμε και την σχετική μόνωση που αποτελείται από υλικό OSB (oriented strand board) και rock wool (πετροβάμβακα). Παρακάτω φαίνονται οι ιδιότητες τους.

### **OSB (oriented strand board):**

Το OSB είναι ένα βιομηχανικό υλικό για οικοδομικές επιφάνειες, το οποίο κερδίζει γρήγορα έδαφος σε διάφορες εφαρμογές. Είναι μία επιφάνεια ξύλου στην οποία μακριές φλούδες ξύλου ενώνονται μεταξύ τους, με μία συνθετική ρητινοφόρα ουσία. Οι αδιάβροχοι και ασφαλείς στις υψηλές θερμοκρασίες ρητινοφόροι δεσμοί, συνδυάζονται με τις φλούδες του ξύλου προκειμένου να βελτιωθεί η εσωτερική σταθερότητα, η ακαμψία και η αντοχή στην υγρασία. Η ομοιομορφία του OSB το κάνει ιδανικό για ποικίλες χρήσεις καθώς δεν έχει εσωτερικά κενά, εξογκώματα ή διαχωριστικά προβλήματα. Το OSB φτιάχνεται από μικρούς κορμούς σε υψηλά αυτοματοποιημένες κτιριακές εγκαταστάσεις. Είναι πιο αποτελεσματικό από το κόντρα πλακέ, παρόλο που για την κατασκευή του χρησιμοποιείται ο ίδιος τύπος ρητινοφόρας ουσίας.

Πιο συγκεκριμένα το OSB διαφοροποιείται στα εξής στοιχεία:

- Αποδίδει υψηλή αξία για την τιμή του: το OSB είναι ένα ποιοτικό και ευπροσάρμοστο οικοδομικό υλικό, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλές εφαρμογές. Έχει άριστη αντίσταση σε μεγάλο βάρος και είναι εύκολο στη μεταχείριση καθώς και στην εγκατάσταση του, χρησιμοποιώντας τα τυπικά κατασκευαστικά εργαλεία.
- Δεν διαχωρίζεται σε διαφορετικά στρώματα, δεν έχει εσωτερικά κενά , ούτε εξογκώματα. Η διαδικασία παραγωγής δεν επιτρέπει την δημιουργία κενών ή

ρόζων. Εξελιγμένες τεχνικές συμπίεσης αποτρέπουν τον διαχωρισμό ανάμεσα στα στρώματα.

- Το OSB έχει ιδιότητες ακαμψίας και αντοχής στο λύγισμα, στο τέντωμα και στη συμπίεση -ιδιότητες που το καθιστούν ισάξιο με το κόντρα πλακέ.
- Το OSB έχει μεγάλη δύναμη συνοχής που οφείλεται στην ομοιογενή δομή του. Η αντοχή του δεν επηρεάζεται από την υγρασία. Σε περίπτωση μακροχρόνιας έκθεσης του όμως-κατά τη διάρκεια κατασκευαστικών καθυστερήσεων-, μπορεί να υπάρξουν κάποια φουσκώματα στις άκρες της επιφάνειας.
- Το OSB κατασκευάζεται σε μεγάλα πιεστήρια και γι' αυτό το λόγο μπορεί να διατεθεί σε μεγάλη ποικιλία από μεγέθη προκειμένου να καλύψει κάθε είδους ανάγκη.
- Συνδυάζει κατασκευαστικές και διακοσμητικές ιδιότητες. Οι ποικίλες ιδιότητες του δεν περιορίζουν τη χρήση του μόνο για κατασκευές.

Το OSB έχει διάσταση φύλλου 2,44x 1.22m και υπάρχουν δύο ποιότητες, το i) OSB2 με πάχη 9,11,13,15,18,22 τα οποία είναι αδιάβροχα, και η ποιότητα ii) OSB3 με τα ίδια πάχη αλλά τα οποία δεν είναι αδιάβροχα εκ κατασκευής, αλλά γίνονται απαλείφοντας σε αυτά ειδικές κόλλες οι οποίες τα καθιστούν αδιάβροχα.



Σχήμα 4.5: Φύλλο OSB

### **Πετροβάμβακας (rock wool):**

Ο πετροβάμβακας ανακαλύφθηκε στη Χαβάη στις αρχές του αιώνα και προέρχεται από τη διαδικασία επαναστερεοποίησης, με μορφή ινών, της λιωμένης λάβας που εκτοξεύεται στον αέρα κατά τη διάρκεια των ηφαιστειακών εκρήξεων. Είναι συνεπώς ένα εντελώς φυσικό προϊόν που συνδυάζει την αντοχή του πετρώματος με τα θερμομονωτικά χαρακτηριστικά του βάμβακα.

Εκτός από το γεγονός ότι είναι ένα απολύτως φυσικό προϊόν με υψηλή θερμομονωτική ικανότητα, ο πετροβάμβακας, χάρη στην ανοιχτή κυψελοειδή δομή του, είναι και ένα εξαιρετικό ηχομονωτικό υλικό. Συγκεκριμένα, είναι το μοναδικό υλικό που κατορθώνει να συνδυάσει πέντε βασικά χαρακτηριστικά.

#### **Θερμομόνωση**

Η παρουσία απειράριθμων κυψελών στη δομή του πετροβάμβακα επιτρέπει στο προϊόν να εμποδίζει τη διέλευση της θερμότητας και του ψύχους και συνεπώς να παρέχει ισχυρή μονωτική δράση.

#### **Ηχομόνωση**

Η δομή ανοιχτής κυψέλης του πετροβάμβακα ευνοεί την απορρόφηση των ακουστικών κυμάτων και επιτρέπει την εξασθένηση της έντασης και της διάδοσης του θορύβου.

#### **Εξαιρετική συμπεριφορά στη φωτιά**

Ο πετροβάμβακας είναι κατά κύριο λόγο ανόργανο υλικό που λιώνει σε θερμοκρασίες άνω των 1000 °C. Συνεπώς δεν συμβάλλει ούτε στην εξέλιξη και στην εξάπλωση της πυρκαγιάς αλλά ούτε στις εκπομπές τοξικών αερίων.

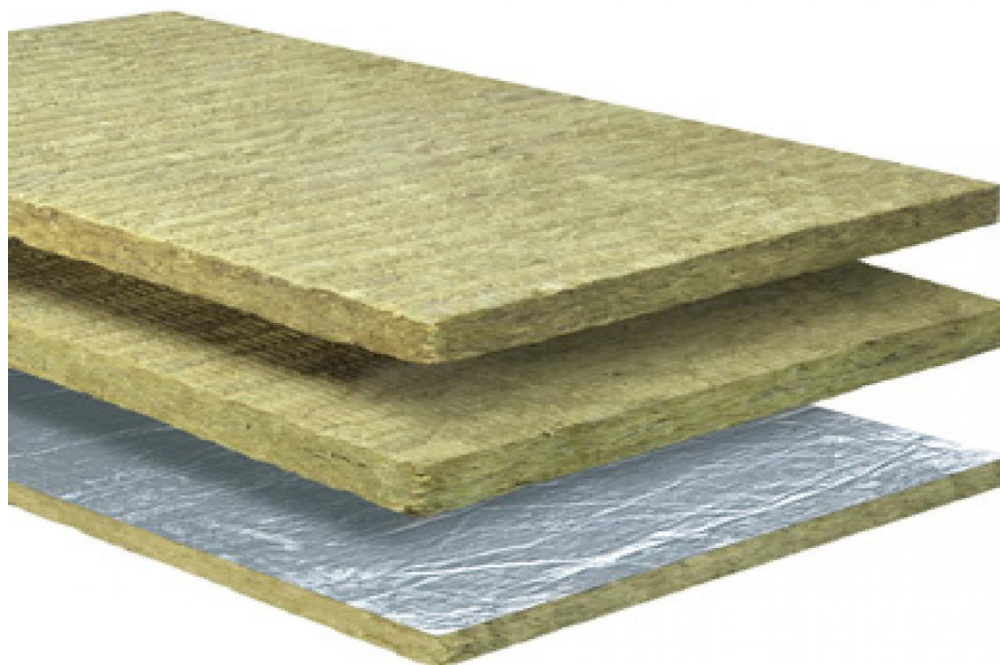
#### **Σταθερότητα στην υγρασία**

Ο πετροβάμβακας, λόγω της ιδιαίτερης δομής του, δεν απορροφά ούτε νερό ούτε υγρασία, διατηρώντας συνεπώς αναλλοίωτα τα χαρακτηριστικά του στο χρόνο.

#### **Διαστασιολογική σταθερότητα**

Ο πετροβάμβακας διατηρεί αναλλοίωτα τα χαρακτηριστικά του στο χρόνο και δεν υφίσταται μεταβολές διαστάσεων ή επιδόσεων όταν μεταβάλλονται οι θερμικές και υγρομετρικές συνθήκες του περιβάλλοντος..

Ο πετροβάμβακας μπορεί να βρεθεί είτε σε φύλλα είτε σε ρολά. Υπάρχουν πλέον και φύλλα πετροβάμβακα με επένδυση αλουμινίου για καλύτερη θερμομόνωση τα οποία χρησιμοποιούνται κυρίως σε τοίχους πίσω από σόμπες ,τζάκια ή στα λεβητοστάσια.



Σχήμα 4.6: Φύλλα πετροβάμβακα



### **Εξηλασμένη πολυστερίνη XPS :**

Η εξηλασμένη πολυστερίνη XPS είναι ένα αφρώδες συνθετικό υλικό, ευρύτατα διαδεδομένο στη χώρα μας αλλά και παγκοσμίως με πολλές οικοδομικές χρήσεις. Είναι «κλειστής κυψελικής δομής», η οποία με διαδικασία πολυμερισμού και διαρκούς εξέλασης παίρνει τη μορφή θερμομονωτικών πλακών.

Κατά τη διάρκεια της παραγωγής εξηλασμένη πολυστερίνη, το μίγμα των πρώτων υλών ομογενοποιείται και ρευστοποιείται, κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης, σε ειδικούς εξηλαστήρες. Κατά την έξοδο από τον εξηλαστήρα και καθώς η πίεση πέφτει τα αέρια διογκώνονται προκαλώντας τη σχηματοποίηση του μίγματος υπό μορφή αφρού που τελικά διαμορφώνεται σε πλάκες που οδηγούνται σε ειδικές μηχανές για κοπή, επεξεργασία της επιφάνειας και διαμόρφωση ακμών.

Το τελικό προϊόν είναι ένα ομογενές-μονωτικό υλικό κλειστής κυψελικής δομής διαμέτρου από 0,05 ως 0,5 mm και με τοίχος πάχους μόνο 1mm. Αξιοσημείωτο είναι ότι παρά το γεγονός ότι το 97% του όγκου του αποτελείται από αδρανές αέριο και το υπόλοιπο 3% είναι τα τοιχώματα που μοιάζουν με κυψέλη. Είναι υδροαπωθητικό, ιδιαίτερα ανθεκτικό απέναντι στην υγρασία σε αντίθεση με τα περισσότερα θερμομονωτικά υλικά κάτι που το καθιστά ιδανικό σε εφαρμογές περιμέτρου, αντεστραμμένου ή φυτεμένου δώματος και άλλων.

Έχει πολύ υψηλές μηχανικές αντοχές, (Θλιπτική αντοχή σε 10 % παραμόρφωση, εφελκυστική αντοχή κάθετα στις όψεις, διατμητική αντοχή) και συνεπώς υψηλή φέρουσα ικανότητα που είναι ιδιαίτερα σημαντική στα δώματα, στα δάπεδα κτιρίων, στα δάπεδα βιομηχανικών εγκαταστάσεων κλπ.

Οι κύριες διαστάσεις της είναι 250x60 με διάφορα πάχη όπου στον χώρο της οικοδομής τα πιο διαδεδομένα αυτά των 3cm και των 5cm.



Σχήμα 4.7: Φύλλα XPS

Ακολουθώς φαίνεται ο σχετικός πίνακας  $\text{kg/m}^2$  και  $\text{m}^3/\text{m}^2$  για την μεταλλική κατασκευή .

Πίνακας 4.2: Ποσότητες υλικών μεταλλικής κατασκευής

<b>Πίνακας υλικών ανα <math>\text{m}^2</math></b>		
	<b>Υλικό</b>	<b>1<math>\text{m}^2</math></b>
Δάπεδο	Κεραμικά πλακάκια	4 kg
	Σκυρόδεμα	0.8 $\text{m}^3$
	XPS	1 kg
Πάτωμα	Γυψοσανίδα	17 kg
	OSB	3 kg
	Rockwool	3 kg
	Αλουμίνιο	5 kg
	Μπογιά	0.1 kg
Σκεπή	Πλάκα τσιμέντου	2 kg
	XPS	0.5kg
	Τσιμέντο	0.01 $\text{m}^3$
	Rockwool	2 kg
	Αλουμίνιο	5 kg
	OSB	0.01 $\text{m}^3$
	Γυψοσανίδα	17 kg
	Μπογιά	0.1 kg
Εσ. Τοίχος	Γυψοσανίδα	17 kg
	Αλουμίνιο	5 kg
	Μπογιά	0.1 kg
Εξ. Τοίχος	XPS	0.5kg
	OSB	0.01 $\text{m}^3$
	Rockwool	2 kg
	Αλουμίνιο	5 kg
	Γυψοσανίδα	17 kg
	Μπογιά	0.1 kg

## 4.2 Συμβατική Κατασκευή

Στην συμβατική κατασκευή η τοιχοποιία αποτελείται από μπετό, τούβλο, σίδηρό για τον οπλισμό καθώς και την αντίστοιχη μόνωση με τα φύλλα την εξηλασμένης πολυστερίνης που αναφέρθηκαν παραπάνω. Παρακάτω αναφέρονται βασικές ιδιότητες των υλικών αυτών καθώς και εικόνες με την τοιχοποιία.

### **Σκυρόδεμα:**

Το σκυρόδεμα είναι ένα μείγμα αδρανών υλικών (χαλίκια), τσιμέντου και νερού που μετά από χημική αντίδραση μετατρέπεται σε στερεό σώμα. Έχει πολλά πλεονεκτήματα στις κατασκευές, όπως η ευκολία που έχει να παίρνει σχήμα με καλούπια, η μεγάλη θλιπτική αντοχή του, η αντοχή στο χρόνο, η αντοχή στη φωτιά και το σχετικά μικρό κόστος. Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα είναι και η σχετικά χαμηλή κατανάλωση ενέργειας για την παραγωγή του που έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Το κυριότερο μειονέκτημα του σκυροδέματος είναι η πολύ μικρή αντοχή του σε εφελκυσμό.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις, το τσιμέντο είναι τουλάχιστον το 11% έως 17% του συνολικού βάρους ενώ το νερό το πολύ 48% έως 70% του βάρους του τσιμέντου. Το νερό δεν χάνεται από το τελικό σκυρόδεμα αλλά δεσμεύεται χημικά. Η αύξηση της ποσότητας του νερού στο αρχικό μείγμα αυξάνει την εργασιμότητα αλλά οδηγεί σε προβλήματα όπως μειωμένη αντοχή, ρηγματώσεις, μειωμένη προστασία του οπλισμού στο οπλισμένο σκυρόδεμα και άλλα. Το μεγαλύτερο μέρος του βάρους είναι το βάρος των αδρανών. Τα αδρανή πρέπει να είναι γωνιώδη και να έχουν καλή διαβάθμιση από λεπτόκοκκα έως πιο χονδρόκοκκα. Στο σκυρόδεμα μπορούν να προστεθούν χημικές ενώσεις που μεταβάλουν ιδιότητές του όπως τον χρόνο πήξης, την ευκολία ροής και άλλες.

### **Οπλισμός, χάλυβας:**

Το υλικό του οπλισμού για να καλύψει την αδυναμία του σκυροδέματος πρέπει να έχει μεγάλη αντοχή σε εφελκυσμό. Επιπλέον, για να μπορεί να συνεργαστεί με το σκυρόδεμα όταν μεταβάλλεται η θερμοκρασία θα πρέπει να έχει και παρόμοιο συντελεστή θερμικής διαστολής. Ο χάλυβας έχει και τις δύο αυτές ιδιότητες. Μειονέκτημα του χάλυβα είναι η ευαισθησία του σε διάβρωση (σκουριάζει) και στη φωτιά. Η σκουριά είναι το αποτέλεσμα οξείδωσης. Το σκυρόδεμα όμως σχηματίζει αλκαλικό περιβάλλον που δεν επιτρέπει την οξείδωση του χάλυβα και όταν έχει αρκετό πάχος τον προστατεύει από τις υψηλές θερμοκρασίες της φωτιάς. Έτσι τα δύο υλικά καλύπτουν το ένα τις αδυναμίες του άλλου. Ο οπλισμός μπαίνει στο σκυρόδεμα είτε ως ίνες ανακατεμένες στο μείγμα του (ινοπλισμένο σκυρόδεμα), είτε ως ράβδοι σε επιλεγμένες θέσεις που προκύπτουν από την στατική ανάλυση της κατασκευής. Οι ράβδοι τοποθετούνται κυρίως στις θέσεις που εμφανίζονται εφελκυστικές τάσεις ή γενικότερα όπου δεν επαρκεί η αντοχή του σκυροδέματος.



Λόγω του υψηλότερου κόστους του οπλισμού γίνεται προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί μόνο εκεί που είναι απαραίτητος.

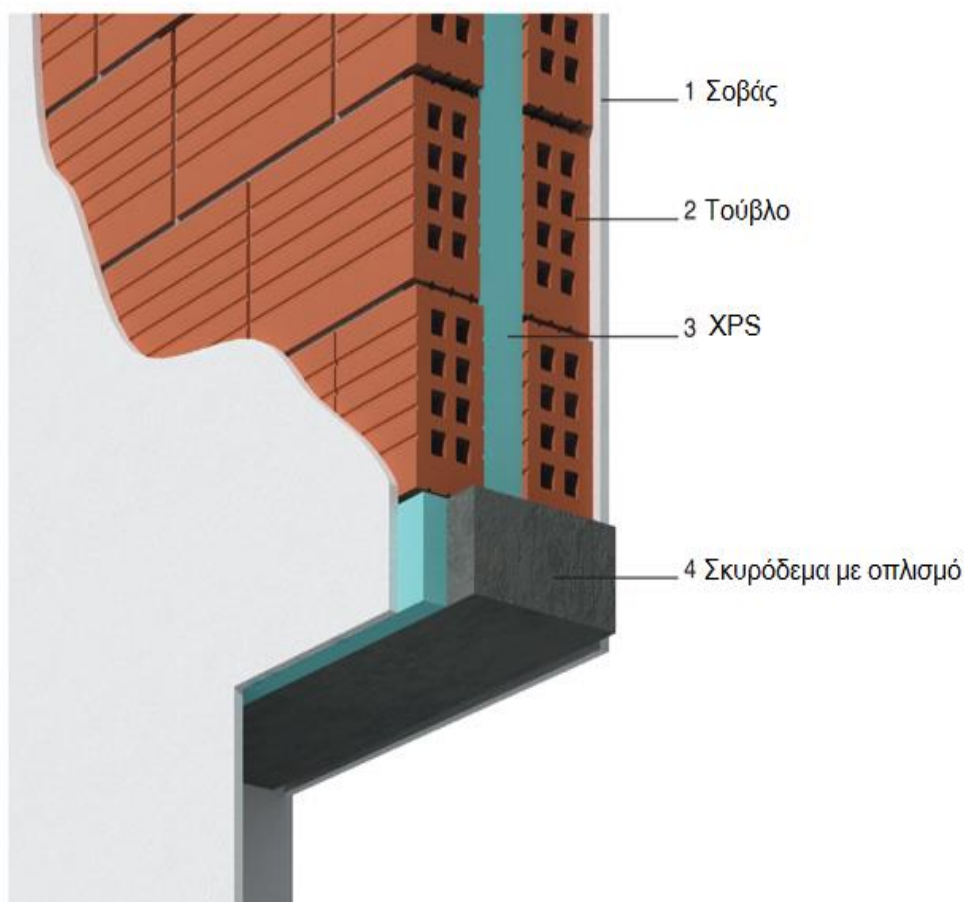
## **Τούβλο**

Το τούβλο αποτελεί ένα από τα κυριότερα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των κτιρίων. Οι διαστάσεις των τούβλων που θα χρησιμοποιηθούν στην κατασκευή μας αυτήν έχουν διαστάσεις 17\*14\*18 με βάρος 5.945kg. Η αντοχή σε θλίψη των τούβλων είναι γενικά υψηλή και αρκετά υψηλότερη από την απαιτούμενη σε τοιχοποιία. Οι τοίχοι από τούβλα έχουν μεγάλη αντοχή σε οριζόντια φορτία, όπως των σεισμών. Σημαντικό ρόλο στην απορρόφηση της σεισμικής ενέργειας παίζει η μάζα της τοιχοποιίας και σε αυτόν τον τομέα η τοιχοποιία από τούβλα έχει σαφές πλεονέκτημα σε σχέση με εναλλακτικές μορφές δόμησης. Τα τούβλα έχουν μεγάλη μηχανική αντοχή και στερεότητα ενισχύοντας τον σκελετό της οικοδομής και αυξάνοντας την ασφάλεια της κατασκευής. Τα τούβλα είναι ένα υλικό με εξαιρετική αντοχή στη φωτιά και κατατάσσεται στην υψηλότερη κατηγορία πυραντίστασης. Κατά την καύση του δεν εκλύει τοξικές επιβλαβείς ουσίες ή αέρια. Ένας τοίχος από οπτόπλινθους πάχους 12 cm εξασφαλίζει πυραντίσταση 180 λεπτών και ένας τοίχος 19 cm έχει πυραντίσταση 240 λεπτών. Επί πλέον δεν υφίστανται δομική βλάβη κατά τη διάρκεια μιας φωτιάς διατηρώντας τις ιδιότητες του μετά από την επισκευή του κτιρίου. Το τούβλο είναι ένα προϊόν το οποίο παράγεται από καθαρά φυσικές πρώτες ύλες, αργιλόχωμα και νερό. Η εξαγωγή του αργιλοχώματος γίνεται με αειφόρο τρόπο παρέχοντας τη δυνατότητα αποκατάστασης του χώρου εξόρυξης.

Η παραγωγή τούβλων δεν δημιουργεί απόβλητα που να ρυπαίνουν το περιβάλλον. Τα μόνα απορρίμματα που δημιουργούνται είναι τα υπολείμματα των υλικών συσκευασίας που χρησιμοποιούνται, τα οποία ανακυκλώνονται.

Ο κύκλος ζωής του τούβλου είναι πολύ μεγάλος ξεπερνώντας τα 100 χρόνια, οπότε η επιβάρυνση του περιβάλλοντος από τις παραγωγές διοξειδίου του άνθρακα είναι ελάχιστες. Τέλος όταν σταματήσει να χρησιμοποιείται και απορριφθεί, απορροφάται πλήρως από το περιβάλλον, χωρίς να αφήνει υπολείμματα, καθώς τα συστατικά του είναι φυσικά στοιχεία.

Παρακάτω φαίνεται η συμβατική τοιχοποιία που θα έχει η κατασκευή μας.



Σχήμα 4.8: Συμβατική τοιχοποιία.

Ακολουθεί πίνακας υλικών για την συμβατική κατασκευή.

	<b>Υλικό</b>	<b>Ανα m2</b>
Δάπεδο	Κεραμικά πλακάκια	4 kg
	Σκυρόδεμα	0.8 m3
	XPS	1 kg
Εξ. Τοίχος	Τούβλο	304 kg
	XPS	0.5 kg
	Σίδηρος	7 kg
	Τσιμέντο	0.01 m3
	Μπογιά	0.1 kg
Σκεπή	Πλάκα τσιμέντου	2 kg
	XPS	0.5kg

	Τσιμέντο	0.01 m <sup>3</sup>
	Rockwool	2 kg
	Αλουμίνιο	5 kg
	OSB	0.01 m <sup>3</sup>
	Γυψοσανίδα	17 kg
	Μπογιά	0.1 kg
Εσ. Τοίχος	Τούβλο	304 kg
	Τσιμέντο	0.01 m <sup>3</sup>
	Μπογιά	0.1 kg
Πάτωμα	Κεραμικά πλακάκια	4 kg
	Σκυρόδεμα	0.8 m <sup>3</sup>
	XPS	1 kg

Πίνακας 4.3: Ποσότητες υλικών συμβατικής κατασκευής

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΣΤΗΝ ΕΞΕΤΑΖΟΜΕΝΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ

### 5.1 Προσδιορισμός του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης

#### 5.1.1 Σκοπός ανάλυσης του κύκλου ζωής

Το κύριο αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι να καθορίσουμε και να εκτιμήσουμε τα περιβαλλοντολογικά αντίκτυπα της ανάλυσης του κύκλου ζωής για ένα σπίτι φτιαγμένο από γυψοσανίδα (regular gypsum board) με μεταλλικό σκελετό και να το

συγκρίνουμε με το κλασσικό σπίτι φτιαγμένο από τούβλο και τσιμέντο. Τα κύρια υλικά τα οποία θα μελετηθούν είναι η γυψοσανίδα , το τούβλο, μία κοινή μόνωση και για τις δύο περιπτώσεις ,το μέταλλο, το OSB ,το σίδερο και το τσιμέντο. Για να πετύχουμε αυτό τον στόχο θα κάνουμε μία cradle-to-grave LCA ανάλυση για αυτά τα υλικά.

### **5.1.2 Όρια του συστήματος**

Ως όρια συστήματος (system,boundary) για την εργασία αυτή έχουμε επιλέξει το cradle-to-gate, δηλαδή, από την εξόρυξη , την επεξεργασία, την παραγωγή των υλικών μέχρι και την μεταφορά τους στο χώρο όπου θα είναι η τελική θέση του ιδεατού μας κτιρίου. Όσο αναφορά τα γεωγραφικά όρια, τα περισσότερα δεδομένα που συλλέξαμε είναι από χώρες τις Ευρώπης και της Ελλάδας. Για τα χρονικά όρια του συστήματος μαζέψαμε δεδομένα από έρευνες και επιστημονικά άρθρα της τελευταίας δεκαετίας.

### **5.1.3 Λειτουργική μονάδα**

Ως λειτουργική μονάδα (functional unit) για την εργασία μας έχουμε επιλέξει το 1m<sup>2</sup> στην περίπτωση που αναφερόμαστε στα επιμέρους συστήματα τοιχοποιίας και το σύνολο του κτιρίου, όταν εξετασθεί ολόκληρο το κτίριο.

### **5.1.4 Μεθοδολογία**

Για τον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών επιπτώσεων των υλικών, θα πρέπει να υιοθετηθεί η ιδέα της ανάλυσης του κύκλου ζωής τους. Η μεθοδολογία AKZ υποστηρίζει επακριβώς αυτή την ιδέα και είναι ένα ισχυρό εργαλείο για να συγκρίνουμε έπειτα και τις διαφορές μεταξύ των δύο κτιρίων μας σχετικά με τις περιβαλλοντικές τους επιδόσεις. Έτσι, θα γίνει μία προσέγγιση LCA cradle-to-gate πράγμα που σημαίνει ότι η ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων ξεκινά από την εξόρυξη των πρώτων υλών, τη μεταφορά τους στα αντίστοιχα εργοστάσια, και, τέλος, την παραγωγή και την μεταφορά τους στο χώρο της κατασκευής του κτιρίου μας.

### **5.1.5 Περιβαλλοντικοί δείκτες**

#### ***Αθροιστική Ενεργειακή Απαίτηση***

Ο δείκτης Αθροιστικής ενεργειακής Απαίτησης (Cumulative energy Demand-CED) για ένα προϊόν εκφράζει την άμεση και έμμεση ενεργειακή χρήση που ενσωματώνεται σε αυτό , δηλαδή όλη την ενέργεια που χρειάζεται για διανύσει το προϊόν όλο τον κύκλο ζωής του. Συμπεριλαμβάνονται σε αυτό το δείκτη και η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την εξόρυξη, παρασκευή και απόθεση των πρώτων υλών (Ecoinvent report No.3). Αποτελεί έναν αρκετά παλιό και αναπτυγμένο δείκτη

για το LCA. Είναι αρκετά αξιόπιστος για την επιλογή μεταξύ συγκεκριμένων αποφάσεων και απαιτεί αρκετές παραδοχές, ως προς την μέτρηση της απαιτούμενης ενέργειας. Για παράδειγμα, μπορεί κάποιος μελετητής να επιλέξει μετρώντας την Ανώτατη Θερμογόνο Δύναμη της πρωτογενούς ενέργειας ή την Κατώτατη Θερμογόνο Δύναμη. Το μέτρο αυτό φαίνεται αρκετά χρήσιμο στην σύγκριση των αποτελεσμάτων μια μελέτης LCA, όπου χρησιμοποιούνται μόνο πρωτογενείς πηγές ενέργειας. Παρόλο αυτά, έχει αναπτυχθεί αρκετά, ώστε να χειρίζεται πυρηνική και υδροηλεκτρική ενέργεια. Το μειονέκτημα του είναι πως δεν έχει τυποποιηθεί ακόμα ο τρόπος μελέτης και μέτρησης του. Η έννοια και ο τρόπος μέτρησης του CED εκφράζονται πάλι Ecoinvent Report No.3, όπου το CED χωρίζεται σε 2 μεγάλες κατηγορίες ενεργειακών πηγών: τις ανανεώσιμες και τις μη ανανεώσιμες. Οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χωρίζονται σε 5 υποκατηγορίες: βιομάζα, αιολική ενέργεια, υδροηλεκτρική ενέργεια, ηλιακή και γεωθερμική. Η μη ανανεώσιμες χωρίζονται σε 3 υποκατηγορίες: ορυκτά καύσιμα, πυρηνικά και πρωτογενή ξυλεία (primary forest). Η παραδοχή που γίνεται εδώ είναι πως όλοι οι ενεργειακοί φορείς έχουν μια εγγενή τιμή. Αυτή η εγγενής τιμή καθορίζεται από την ενέργεια που παραλαμβάνει από το περιβάλλον, η οποία πρέπει να είναι κοινή και για τις 8 υποκατηγορίες. Για αυτό και τα CED εκφράζεται σε ισοδύναμα MJ, MJ-eq. Ο λόγος που εκφράζεται με αυτή τη μονάδα μέτρησης είναι ώστε να είναι κοινός ο ορισμός της ενέργειας για όλες τις πηγές. Έτσι, λοιπόν η τελική ενέργεια που χρησιμοποιείται για τον Κύκλο Ζωής ενός προϊόντος δεν αποτελείται από την πρωτογενή ενέργεια της ενεργειακής πηγής (της εκάστοτε υποκατηγορίας) μόνο, αλλά και π.χ. από την ενέργεια που έχει δαπανηθεί για την μεταφορά των πρώτων υλών στο εργοστάσιο κ.τ.λ.. Για παράδειγμα, για κάθε MJ που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενός κιλού μιας ουσίας να δαπανώνται 3MJ πρωτογενούς ενέργειας και 2,5MJ ενέργεια για μεταφορές. Τότε στην παραγωγή του αυτό το προϊόν έχει 5,5 MJ-eq. Τυπικές τιμές για το δείκτη αυτό είναι από 50-200MJ.

#### ***Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη***

«Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη» ή «GWP» : το δυναμικό θέρμανσης του κλίματος ενός αερίου του θερμοκηπίου σε σχέση με το αντίστοιχο δυναμικό του διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>), που υπολογίζεται ως το δυναμικό θέρμανσης, εντός 100 ετών, ενός χιλιόγραμμου αερίου του θερμοκηπίου σε σχέση με ένα χιλιόγραμμο CO<sub>2</sub>, όπως ορίζεται στους πίνακες του παραρτήματος.

Η ιδέα του Δυναμικού Παγκόσμιας Θέρμανσης (ΔΠΘ, global warming potential) αναπτύχθηκε για να συγκρίνει την ικανότητα κάθε αερίου του θερμοκηπίου σε σχέση με την ικανότητα του CO<sub>2</sub> να απορροφήσει την ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα και να συμβάλει έτσι στην παγκόσμια θέρμανση. Το δυναμικό του CO<sub>2</sub> ορίστηκε 1, με την υπόθεση ότι ο μέσος χρόνος παραμονής του στην ατμόσφαιρα είναι 100 χρόνια. Έτσι, για την ίδια ποσότητα εκπομπών η σειρά (από μεγάλες τιμές) του ΔΠΘ είναι CFC>N<sub>2</sub>O>Ch<sub>4</sub>>CO<sub>2</sub>. Δεν έχουν προταθεί ΔΠΘ για τους ρυπάντες Co, NO<sub>x</sub>, μη

μεθανιούχες οργανικές ουσίες και SO<sub>2</sub>, επειδή δεν υπάρχει αξιόπιστη μέθοδος εκτίμησης της άμεσης ή έμμεσης επίδρασης τους

Το GWP εξαρτάται από χαρακτηριστικά όπως: (α) η απορροφητικότητα του αερίου στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος, (β) τη φασματοσκοπική περιοχή απορρόφησης και (γ) από τον χρόνο ζωής του αερίου στην ατμόσφαιρα.

Το GWP μετριέται, στην παρούσα περίπτωση, με τον ορισμό που δίνεται από το Ecoinvent Report No.3 (Implementation of Life Cycle Assessment methods) με ισοδύναμα CO<sub>2</sub> ανά μονάδα μάζας την μελετώμενης ουσίας (Ecoinvent Report No.3). Δηλαδή, το GWP μετριέται σε μάζα του CO<sub>2</sub> σε kg, που έχει το ίδιο GWP όσο και 1 kg της μελετώμενης ουσίας. Όταν μια ουσία έχει, για παράδειγμα GWP=10kg CO<sub>2</sub>-eq, σημαίνει πως 1kg της μελετώμενης ουσίας προκαλεί στο φαινόμενο του θερμοκηπίου την ίδια επιβάρυνση όσο και 10kg CO<sub>2</sub> σαν αέριο αναφοράς, μιας και είναι το πιο γνωστό και καλά μελετημένο θερμοκηπικό αέριο. Τυπικές τιμές για το δείκτη αυτό είναι 1-10 [60].

## **5.2 Υλικά Μεταλλικής κατασκευής**

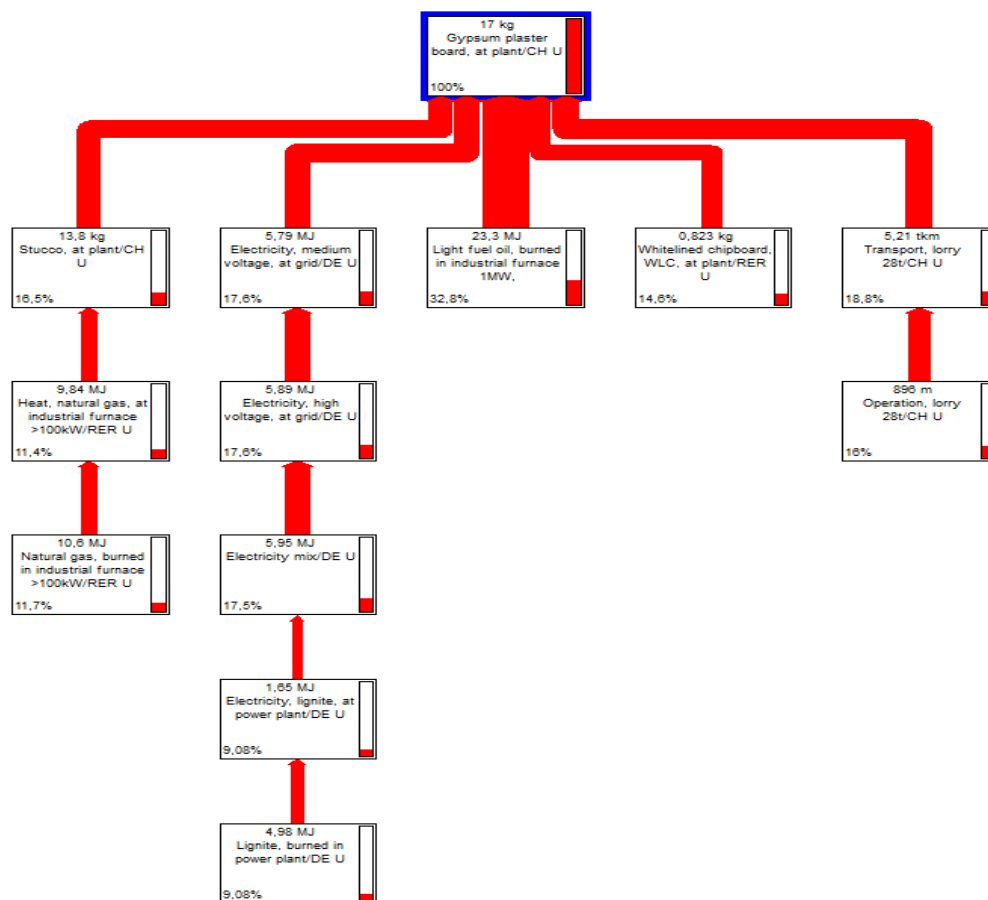
### **5.2.1 Γυψοσανίδα**

Η συλλογή των πληροφοριών για το συγκεκριμένο υλικό έγινε από έρευνα που έγινε στον Καναδά και συγκεκριμένα από το Athena Sustainable Materials Institute καθώς και από τον όμιλο Knauf κυρίως για τις γενικές πληροφορίες. Η έρευνα περιείχε πληροφορίες για ολόκληρη την διαδικασία παρασκευής της γυψοσανίδας, από την εξόρυξη της αρχικής πρώτης ύλης, τον γύψο, μέχρι την τελική της μεταφορά στο σημείο που θέλουμε. Έχοντας τα δεδομένα της έρευνας για την γυψοσανίδα REGULAR ½", η οποία και μας ενδιαφέρει, και εκμεταλλευόμενοι το λογισμικό του SIMA PRO προσαρμόσαμε τα δεδομένα αυτά στις δικές μας ανάγκες. Στο πρόγραμμα εξ αρχής βάλαμε δεδομένα για τη κατασκευή 1m<sup>2</sup> γυψοσανίδας, δηλαδή τις ανάλογες ποσότητες νερού, γύψου καθώς και ενέργειας και ότι άλλο χρειάζεται μία γυψοσανίδα για τα παρασκευαστεί. Επίσης, έγιναν και οι ανάλογες υποθέσεις και αλλαγές στο πρόγραμμα. Αυτές ήταν κυρίως στις πηγές ενέργειας, ηλεκτρισμό και μίγμα καυσίμων, καθώς επίσης και στο στάδιο της μεταφοράς της γυψοσανίδας τόσο στα ενδιάμεσα στάδια της παρασκευής της όσο και στον τελικό της προορισμό. Το database που χρησιμοποιήθηκε ήταν το Ecoinvent unit processes και το processes ήταν το Gypsum plaster board, at plant CH/U με συλλογή δεδομένων από την Ελβετία.

Για το συγκεκριμένο υλικό έγινε η υπόθεση ότι το τελικό υλικό μεταφέρεται από εργοστάσιο της Αμφιλοχίας στην Αθήνα, όπου είναι και το κτίριο μας. Η απόσταση αυτή υπολογίστηκε στα 320km και με φορτηγό των 32t. Δηλαδή έχουμε  $320 \cdot 0,017 = 5,44 \text{tkm}$ .

Αρχικά θα δούμε το δίκτυο που κατασκευάζει το SimaPro για την διεργασία της γυψοσανίδας μέσω της μεθόδου «CML 2 baseline 2000» και θα βγάλουμε τα αποτελέσματα για τον δείκτη GWP και στην συνέχεια με την μέθοδο «Cumulative Energy Demand» θα βγάλουμε τα αποτελέσματα για τον δείκτη CED.  
Η ίδια διαδικασία θα ακολουθήσει και για τα υπόλοιπα υλικά.

## GWP :



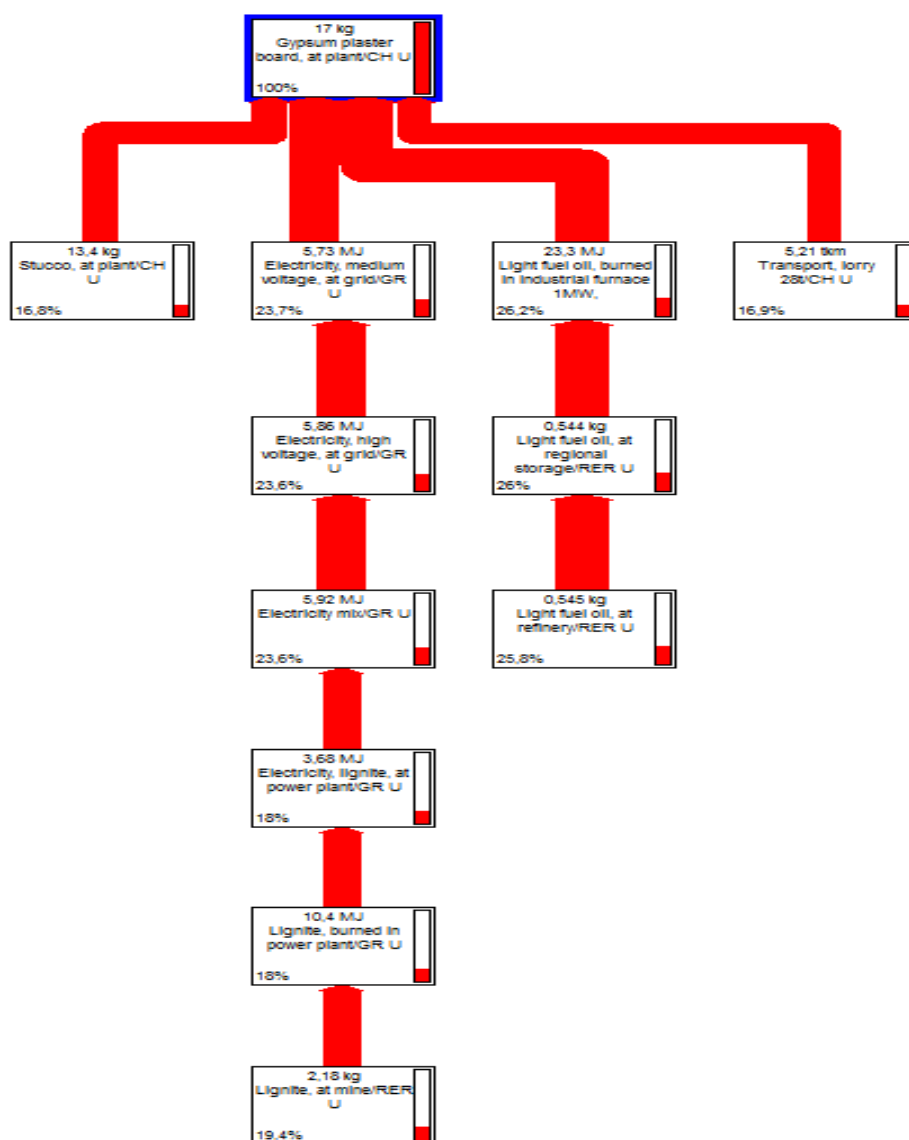
Διάγραμμα 5.2.1.1 Δίκτυο διεργασιών για την παραγωγή ενός φύλλου γυψοσανίδας ½'' μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 (SimaPro)

Impact category	Unit	Gypsum Plaster Board, at plant
Abiotic depletion	Kg Sb eq	0.0513
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	6.73
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	6.83E-7
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	1.8
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	0.835
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	3.76E3
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0.0252
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0.00121
Acidification	Kg SO2 eq	0.0294
Eutrophication	Kg PO4---eq	0.00334

Πίνακας 5.2.1.1 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 φύλλου γυψοσανίδας



EE:



Διάγραμμα 5.2.1.2 Δίκτυο διεργασιών για την παραγωγή ενός φύλλου γυψοσανίδας ½” μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Gypsum Plaster Board, at plant
Non renewable, fossil	MJ-Eq	100
Non renewable, nunclear	MJ-Eq	7.4
Renewable,biomass	MJ-Eq	3.11
Renewable,wind,solar,geothe	MJ-Eq	0.358
Renewable, water	MJ-Eq	2.72
Total	MJ-Eq	113,588

Πίνακας 5.2.1.1 Αποτελέσματα ανάλυσης CED φύλλου γυψοσανίδας μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

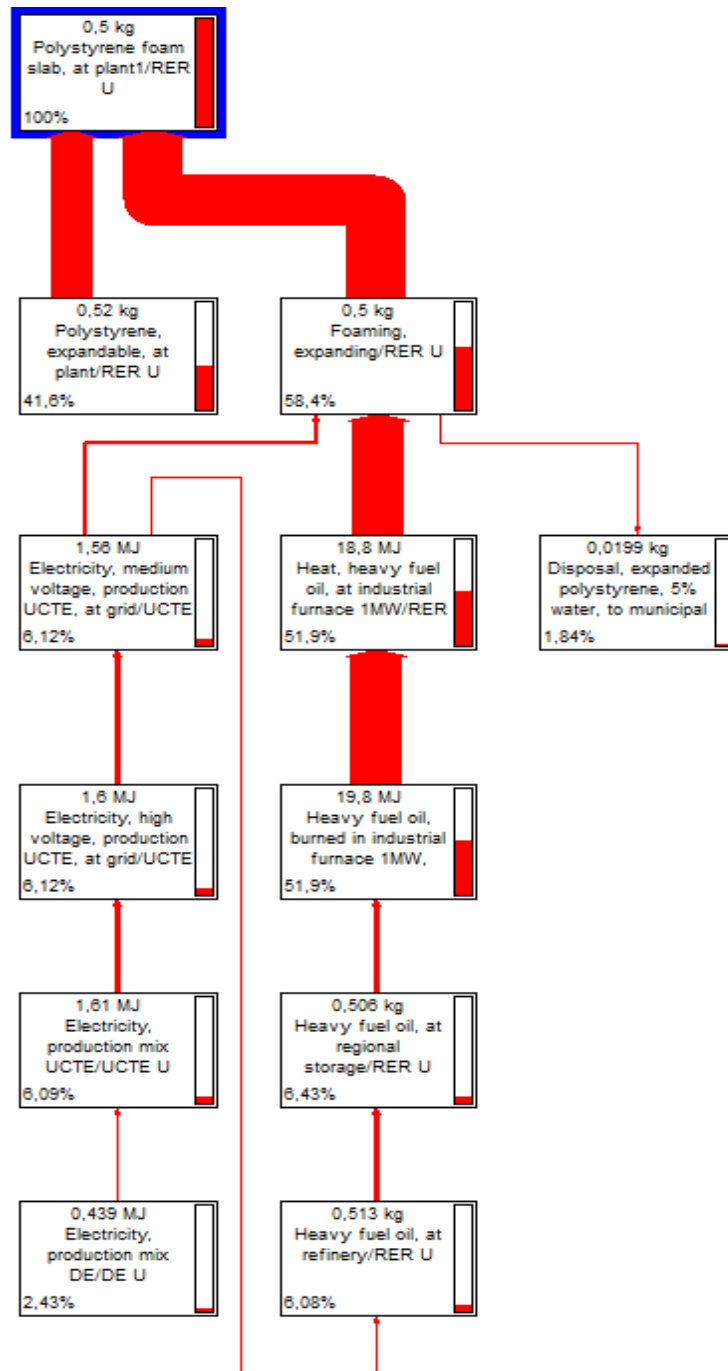
Και από τα δύο διαγράμματα παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση αντιστοιχεί στην παραγωγή και κατανάλωση υγρών καυσίμων και στην συνέχεια ακολουθεί αυτή του ηλεκτρικού ρεύματος και της μεταφοράς από τα φορτηγά. Στην συνέχεια, η μεγαλύτερη συνεισφορά όσον αφορά τις εκπομπές αερίων είναι αυτή της οικοτοξικότητας θαλάσσιων υδροβίων και στην συνέχεια αυτή της παγκόσμιας θέρμανσης.

### **5.2.2 Μόνωση**

Η συλλογή δεδομένων για την μόνωση μας (XPS) έγινε από την εταιρία Πανμονωτική καθώς επίσης και έρευνα του πανεπιστημίου Tecnico Lisboa της Λισαβόνας. Έπειτα πάλι μέσω του SIMA PRO έγιναν οι ανάλογες αλλαγές στις πηγές ενέργειας και σε ότι άλλο θεωρήθηκε αναγκαίο, προσαρμόζοντας έτσι τα δεδομένα μας στις δικές μας ανάγκες. Το database είναι το ίδιο με της γυψοσανίδας και το processes που χρησιμοποιήθηκε είναι το Polystyrene foam slab/at plant RER/U. Όμοια με την XPS έγινε και η έρευνα για τα υπόλοιπα μονωτικά υλικά, Rockwool και OSB με την συλλογή δεδομένων από έρευνες και άρθρα καθώς και από δεδομένα της εταιρίας FIBRAN. Το functional unit ήταν το 1kg, έπειτα έγινε ποσοτικοποίηση αυτών των υλικών για το 1m<sup>2</sup>.

Ως απόσταση για τον υπολογισμό της μεταφοράς των υλικών μόνωσης (XPS, OSB, Rockwool) θεωρήθηκε εργοστάσιο που απέχει 10km από το κτίριο μας. Η μεταφορά έγινε με φορτηγό και σε αυτή την περίπτωση των 32t.

XPS:  
GWP:

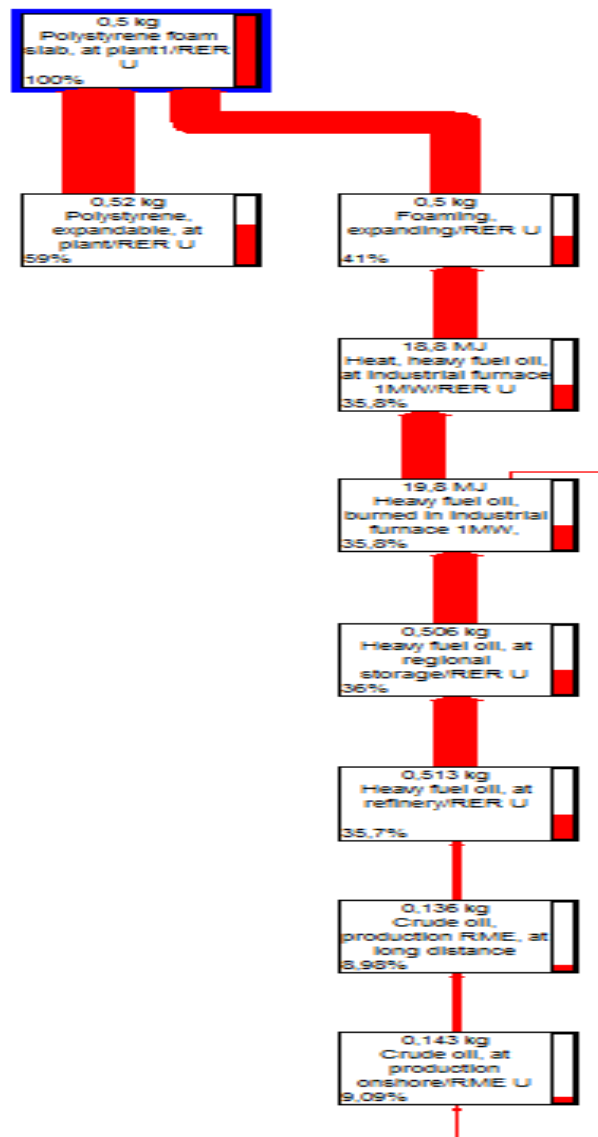


Διάγραμμα 5.2.2.1 Δίκτυο διεργασιών εξηλασμένης πολυστερίνης μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 ( SimaPro)

Impact category	Unit	Polystyrene foam slab,at plant
Abiotic depletion	Kg Sb eq	0.0326
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	3.41
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	2.29E-7
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	1.28
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	0.158
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	1.13E3
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0.0391
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0.00851
Acidification	Kg SO2 eq	0.0233
Eutrophication	Kg PO4---eq	0.00146

Πίνακας 5.2.2.1 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 εξηλασμένης πολυστερίνης

EE:



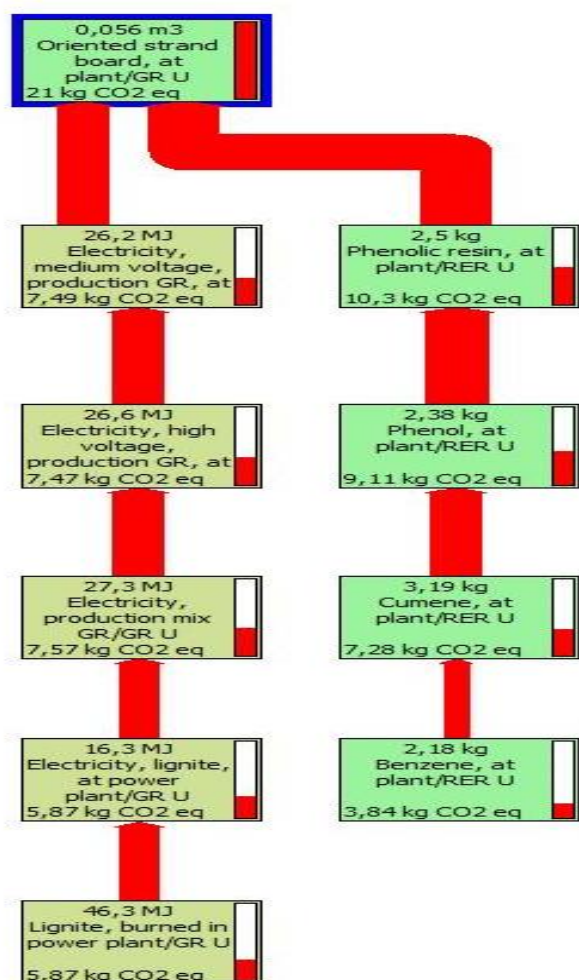
Διάγραμμα 5.2.2.2 Δίκτυο διεργασιών για την παραγωγή ενός φύλλου πολυστερίνης μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Polystyrene foam slab, at plant
Non renewable, fossil	MJ-Eq	70.6
Non renewable, nuclear	MJ-Eq	2.96
Renewable, biomass	MJ-Eq	0.0552
Renewable, wind, solar, geother	MJ-Eq	0.0534
Renewable, water	MJ-Eq	0.366
Total	MJ-Eq	74,034

Πίνακας 5.2.2.2 Αποτελέσματα ανάλυσης CED φύλλου XPS μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Παρατηρώντας τα διαγράμματα και τα πινακάκια βλέπουμε ότι η μεγαλύτερη συνεισφορά όσον αφορά τις εκπομπές αερίων είναι αυτή της οικοτοξικότητας θαλάσσιων υδροβίων και στην συνέχεια αυτή της παγκόσμιας θέρμανσης.

**OSB:**  
**GWP:**

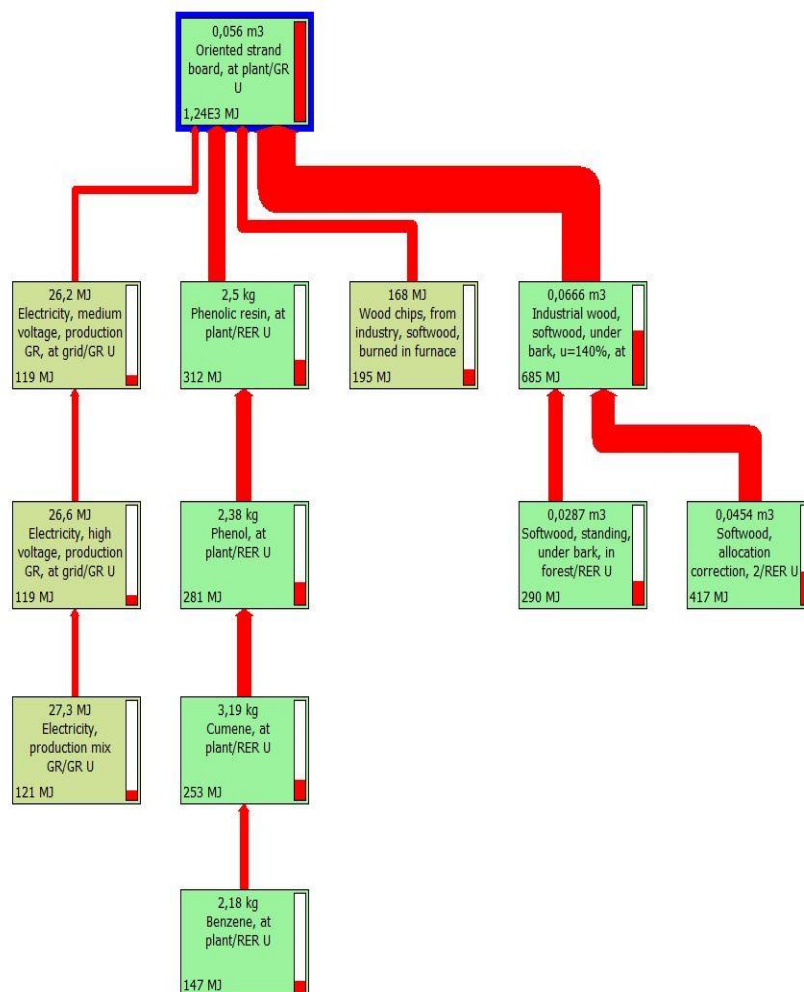


Διάγραμμα 5.2.2.3 Δίκτυο διεργασιών OSB μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 (SimaPro)

Impact category	Unit	OSB,at plant
Abiotic depletion	Kg Sb eq	0.236
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	21
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	8.52E-7
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	43
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	15.1
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	2.9E4
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0.0855
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0.0121
Acidification	Kg SO2 eq	0.102
Eutrophication	Kg PO4---eq	0.0864

Πίνακας 5.2.2.3 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 για OSB (SimaPro)

CED:



Διάγραμμα 5.2.2.4 Δίκτυο διεργασιών για την παραγωγή ενός φύλλου OSB μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	OSB,at plant
Non renewable, fossil	MJ-Eq	457
Non renewable, nunclear	MJ-Eq	35.6
Renewable,biomass	MJ-Eq	741
Renewable,wind,solar,geothe	MJ-Eq	1
Renewable, water	MJ-Eq	7.41
Total	MJ-Eq	1242,01

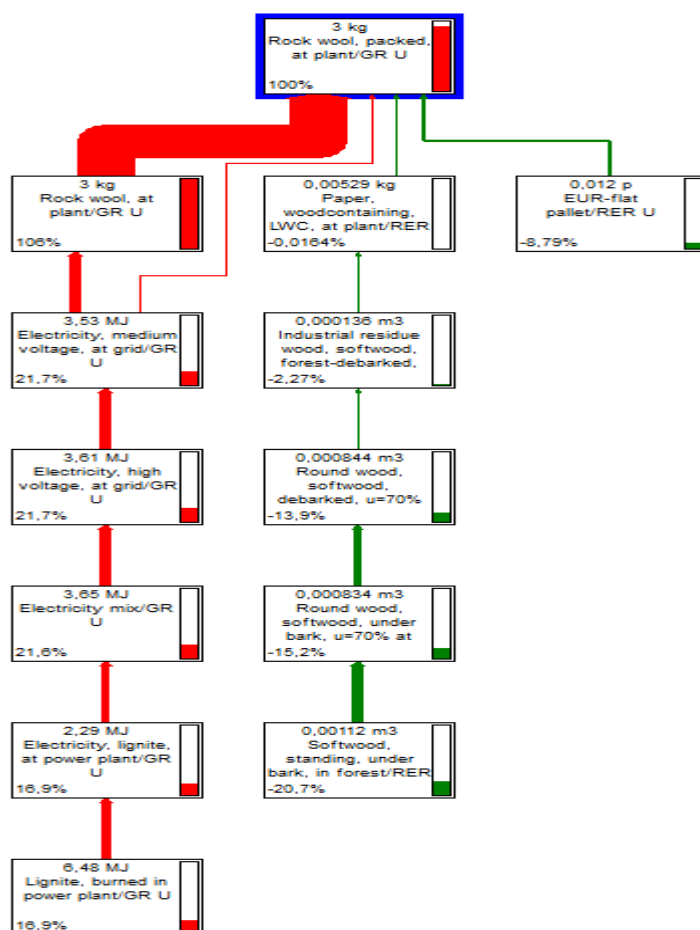
Πίνακας 5.2.2.4 Αποτελέσματα ανάλυσης CED του OSB μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Μέσω των διαγραμμάτων του δείκτη GWP παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση βρίσκεται στην παραγωγή και χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας.



Ομοίως και για το υλικό Rock-wool:

GWP:



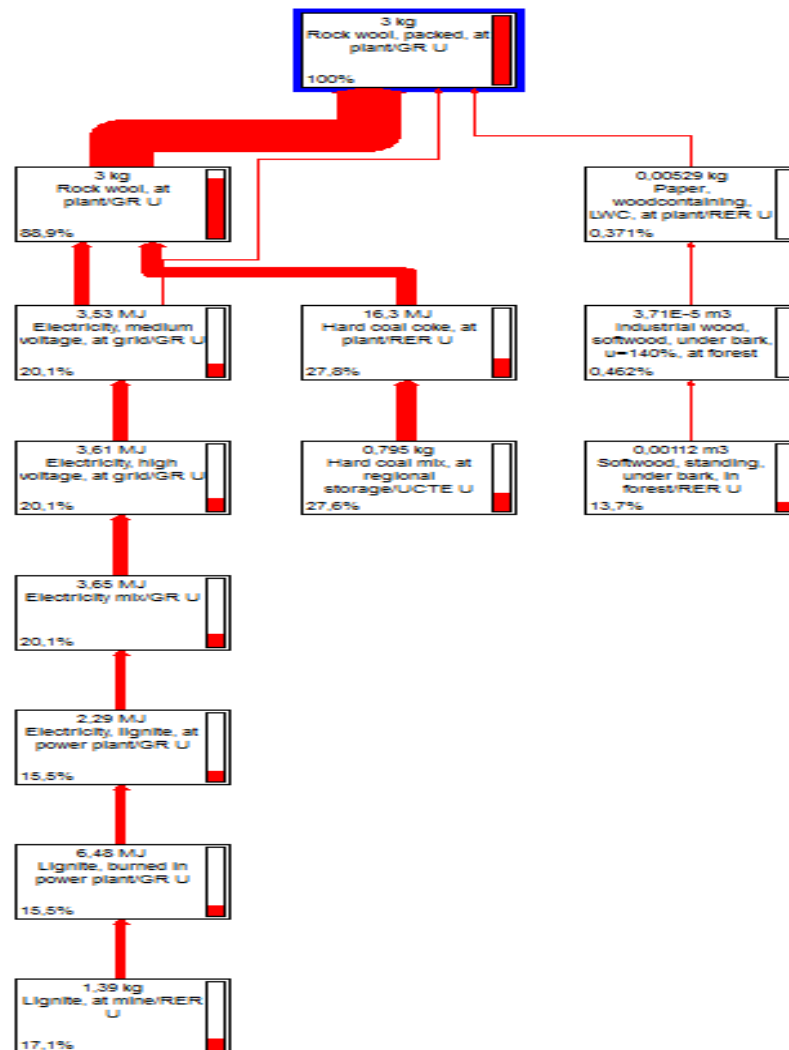
Διάγραμμα 5.2.2.5 Δίκτυο διεργασιών Rockwool μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 ( SimaPro)

Impact category	Unit	Rockwood,packed,at plant
Abiotic depletion	Kg Sb eq	0.0407
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	4.84
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	1.998E-7
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	1.99
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	0.492
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	2.77E3

Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0.0125
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0.00166
Acidification	Kg SO2 eq	0.0319
Eutrophication	Kg PO4---eq	0.00304

Πίνακας 5.2.2.5 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 Rockwool (SimaPro)

CED:



Διάγραμμα 5.2.2.6 Δίκτυο διεργασιών για την παραγωγή Rockwool μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Rock wool,packed,at plant
Non renewable, fossil	MJ-Eq	69,6
Non renewable, nunclear	MJ-Eq	4,76
Renewable,biomass	MJ-Eq	6,71
Renewable,wind,solar,geothe	MJ-Eq	0,231

Renewable, water	MJ-Eq	1,31
Total	MJ-Eq	82,611

Πίνακας 5.2.2.6 Αποτελέσματα ανάλυσης Rockwool μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

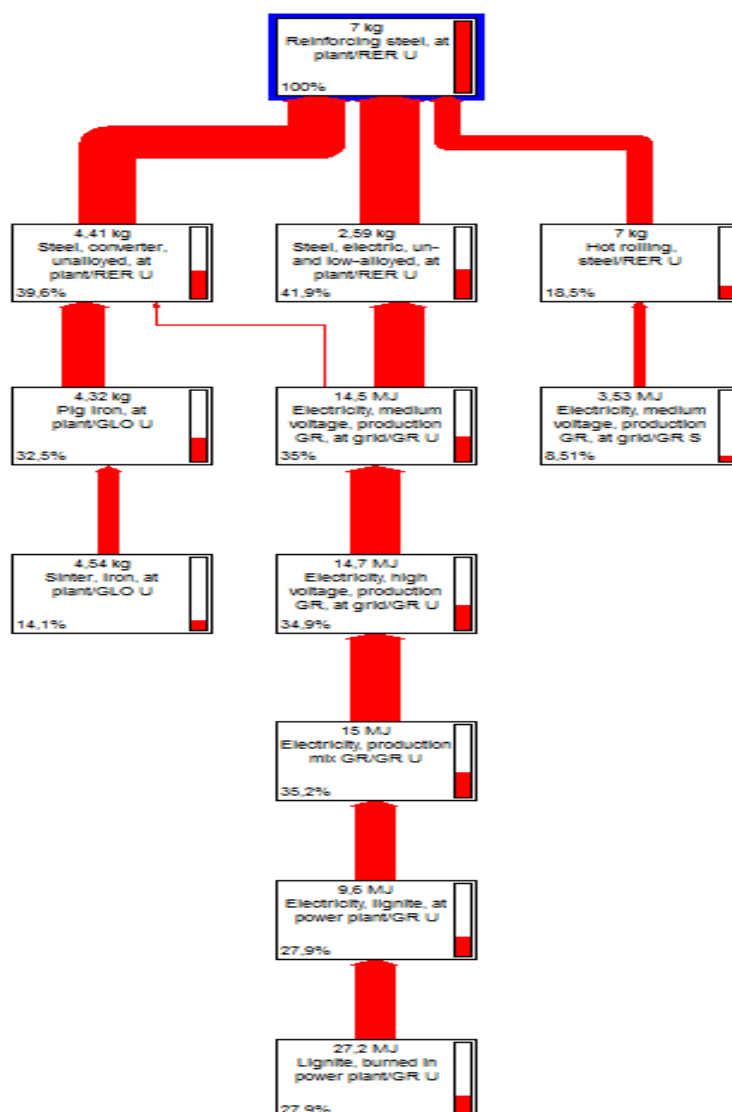
Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ενεργειακής κατανάλωσης αντιστοιχεί στην παραγωγή, μεταφορά και κατανάλωση του ηλεκτρικού ρεύματος. Στην συνεισφορά των αερίων του θερμοκηπίου στην πρώτη θέση βρίσκεται η οικοτοξικότητα των θαλάσσιων υδροβίων ενώ στην δεύτερη θέση βρίσκεται η παγκόσμια θέρμανση.

### 5.2.3 Χάλυβας

Η συλλογή δεδομένων έγινε από την εταιρία ΣΙΔΕΝΟΡ καθώς και από έρευνες πάνω στον γαλβανισμένο χάλυβα που χρησιμοποιήθηκε στην ένωση και στερέωση των γυψοσανίδων. Στην συνέχεια μέσω του processes Steel, converter ,at plant/RER/U και Reinforcing steel, at plant/RER/U ανάγαμε τα δεδομένα αυτά στις δικές μας ανάγκες. Το functional unit ήταν το 1kg ,έπειτα έγινε ποσοτικοποίηση αυτών των υλικών για το 1m<sup>2</sup> .

Για το υλικό αυτό υποτέθηκε εργοστάσιο το οποίο βρίσκεται στην περιοχή της Θεσσαλονίκης και η μεταφορά έγινε πάλι με φορτηγά των 32t. Η απόσταση μετρήθηκε στα 500km, δηλαδή  $0,001 \cdot 500 = 0,5 \text{tkm}$ .

**Ελαφρύ μέταλλο:**  
GWP:

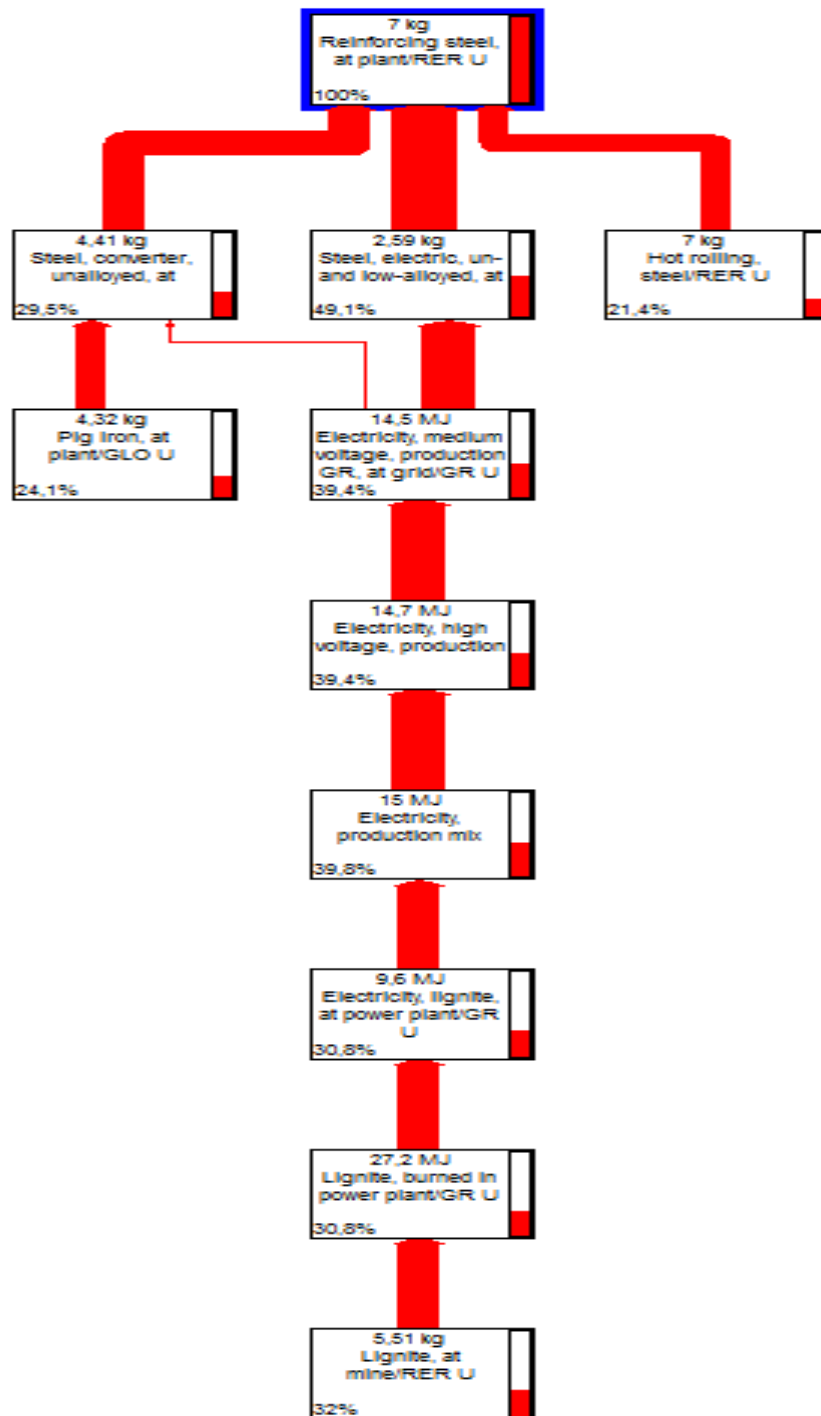


Διάγραμμα 5.2.3.1 Δίκτυο διεργασιών Reinforcing Steel μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 ( SimaPro)

Impact category	Unit	Reinforcing steel, at plant
Abiotic depletion	Kg Sb eq	0.0965
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	12.4
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	5.08E-7
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	6.7
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	6.62
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	1.62E4
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0.218
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0.00659
Acidification	Kg SO2 eq	0.0624
Eutrophication	Kg PO4---eq	0.00941

Πίνακας 5.2.3.1 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 για Reinforcing Steel (SimaPro)

EE:



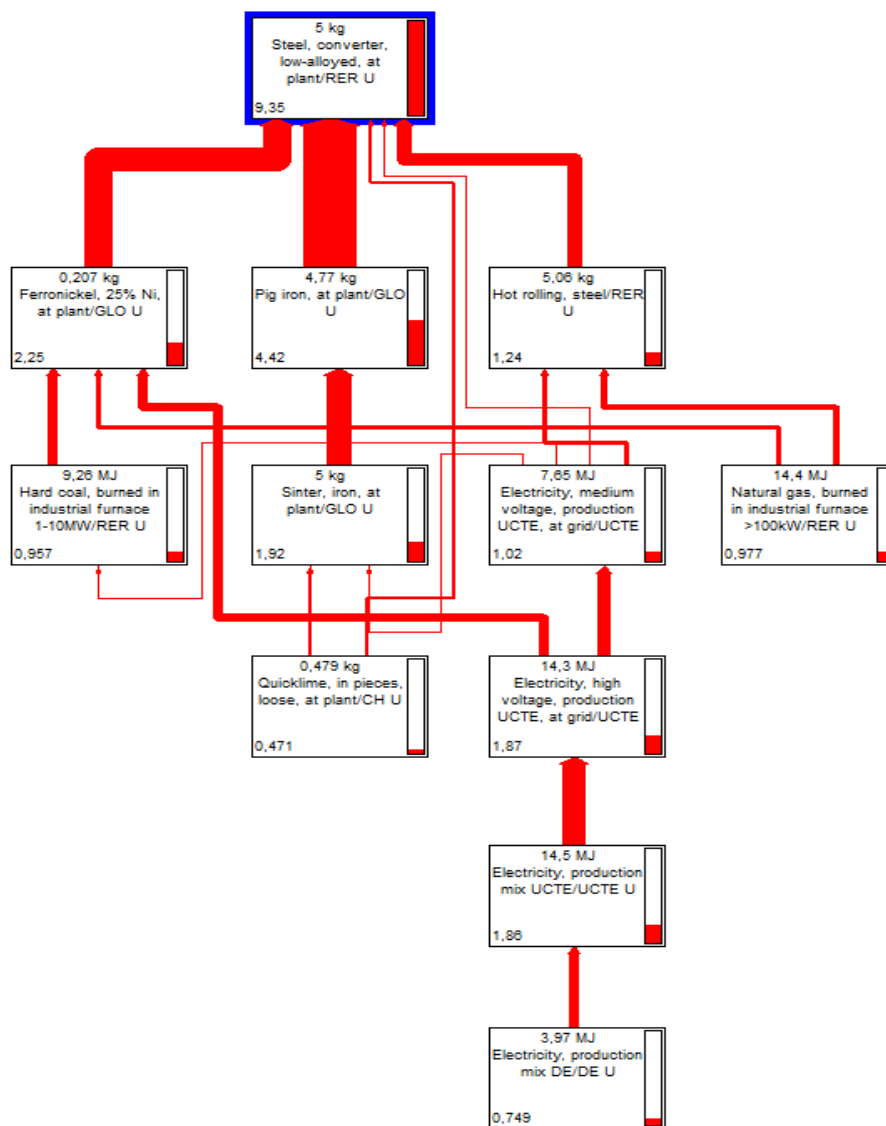
Διάγραμμα 5.2.3.2 Δίκτυο διεργασιών για την παραγωγή του Reinforcing Steel μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Reinforcing steel, at plant
Non renewable, fossil	MJ-Eq	160
Non renewable, nuclear	MJ-Eq	8.88
Renewable, biomass	MJ-Eq	0.637
Renewable, wind, solar, geothermal	MJ-Eq	0.884
Renewable, water	MJ-Eq	3.57
Total	MJ-Eq	173,971

Πίνακας 5.2.3.2 Αποτελέσματα ανάλυσης Reinforcing Steel μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Παρατηρούμε ότι στη συνεισφορά των αερίων του θερμοκηπίου στην πρώτη θέση βρίσκεται η οικοτοξικότητα των θαλάσσιων υδροβίων ενώ στην δεύτερη θέση βρίσκεται η παγκόσμια θέρμανση.

Χάλυβας:  
GWP:



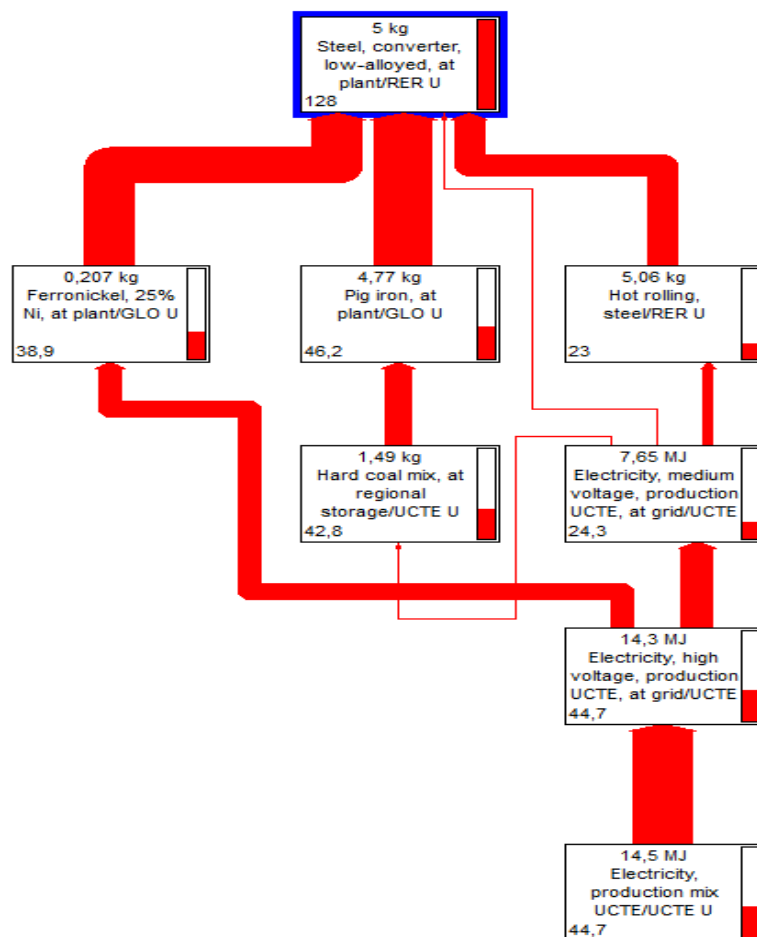
Διάγραμμα 5.2.3.3 Δίκτυο διεργασιών χάλυβα μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 ( SimaPro)



Impact category	Unit	Steel ,at plant
Abiotic depletion	Kg Sb eq	0.0603
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	9.35
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	4.14E-7
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	29.3
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	9.88
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	1.15E4
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0.0558
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0.00609
Acidification	Kg SO2 eq	0.0473
Eutrophication	Kg PO4---eq	0.0106

Πίνακας 5.2.3.3 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 για χάλυβα (SimaPro)

CED:



Διάγραμμα 5.2.3.4 Δίκτυο διεργασιών για την παραγωγή χάλυβα μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Steel ,at plant
Non renewable, fossil	MJ-Eq	101
Non renewable, nunclear	MJ-Eq	19.3
Renewable,biomass	MJ-Eq	1.08
Renewable,wind,solar,geothe	MJ-Eq	0.484
Renewable, water	MJ-Eq	6.61
Total	MJEq	128,474

Πίνακας 5.2.3.4 Αποτελέσματα ανάλυσης CED παραγωγής χάλυβα μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

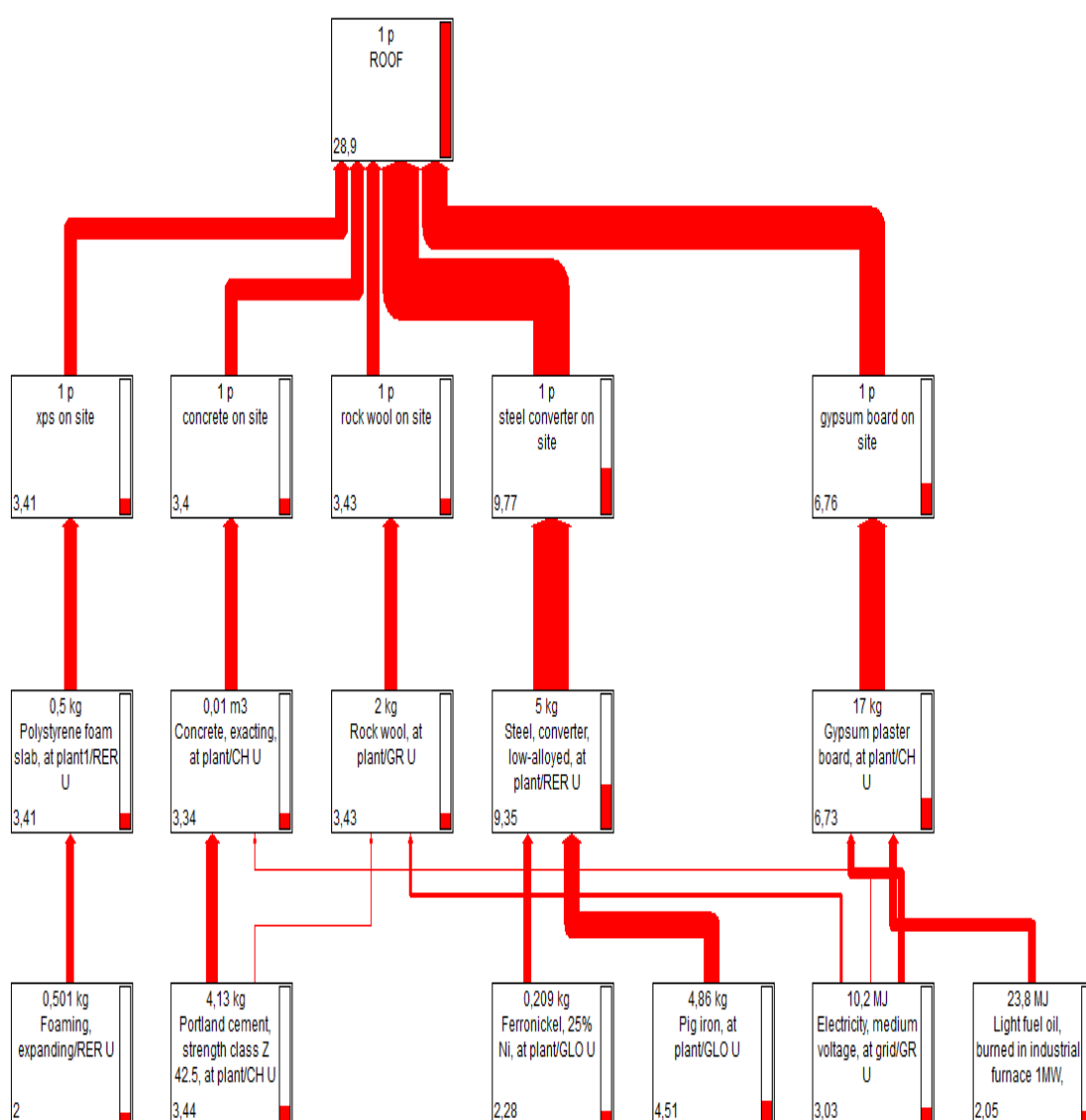
Παρατηρούμε ότι η μεγαλύτερη δαπάνη πρωτογενούς ενέργειας γίνεται στο στάδιο του ακατέργαστου σιδήρου και στην παραγωγή του σιδηρονικελίου.

## 5.2.4 Αποτελέσματα

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξετάσουμε τους δείκτες GWP και CED αυτή την φορά για κάθε πάνελ τοίχου, δηλαδή εξωτερικού τοίχου, εσωτερικού, οροφής κ.ο.κ.

**Σκεπή:**

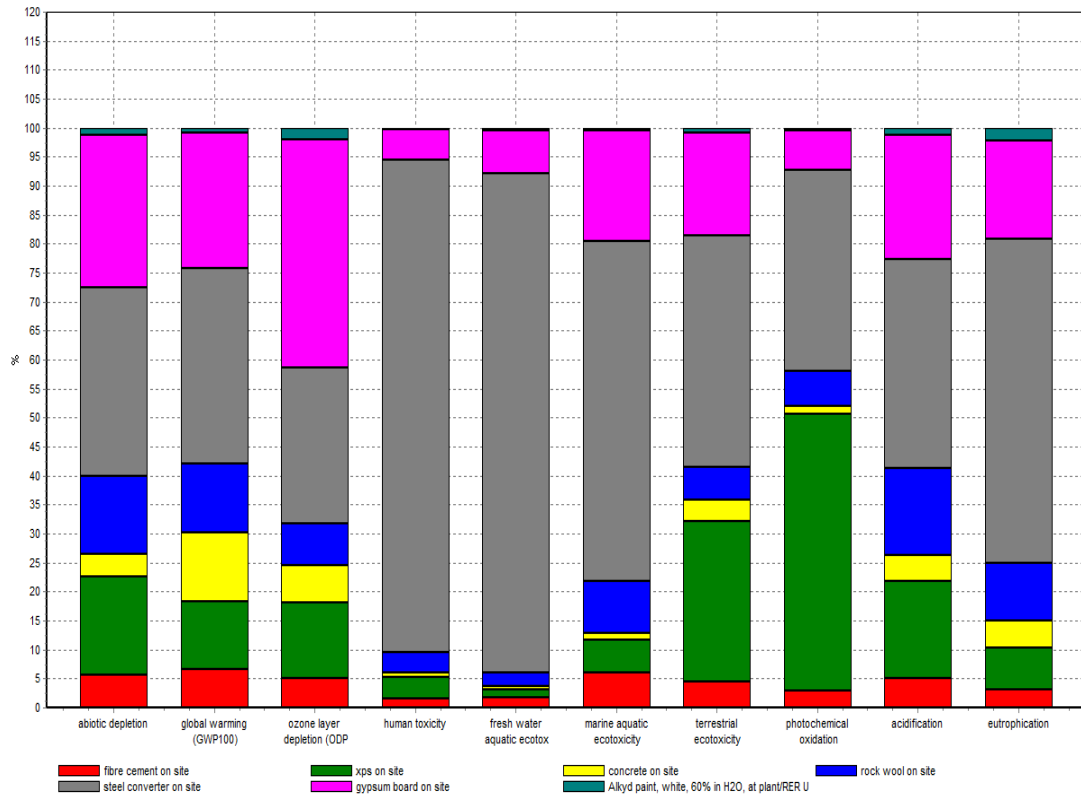
GWP :



Διάγραμμα 5.2.4.1 Δίκτυο διεργασιών για το πάνελ της οροφής μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 (SimaPro)

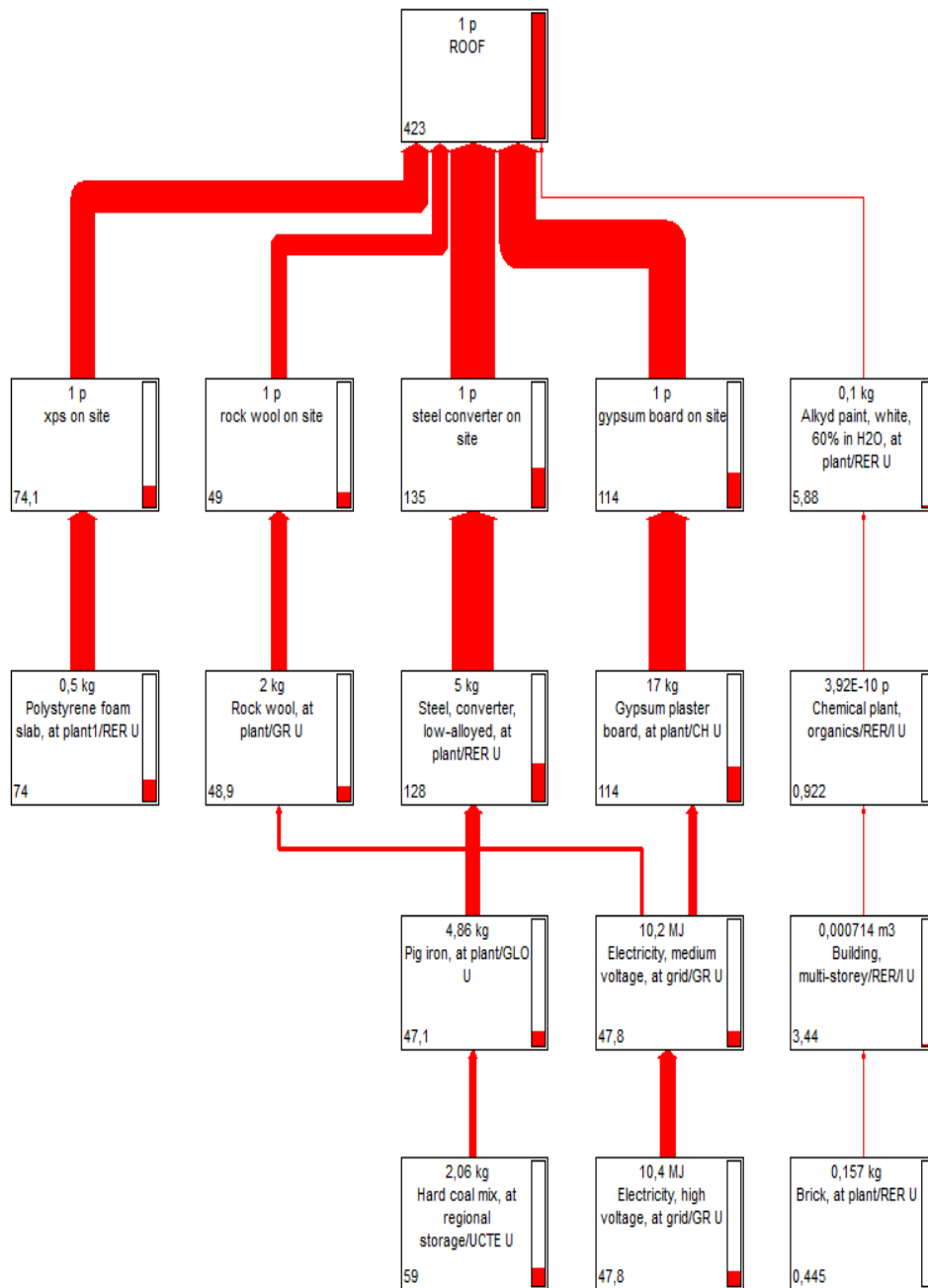
Impact category	Unit	Roof 1m2 ,at plant	OSB	Total
Abiotic depletion	Kg Sb eq	0,20	0,236	0,43
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	28,90	21	49,90
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	0,00	8,52E-07	0,00
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	34,60	43	77,60
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	11,50	15,1	26,60
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	19700,00	2,90E+04	48700,00
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0,14	0,855	1,00
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0,02	0,0121	0,03
Acidification	Kg SO2 eq	0,14	0,102	0,24
Eutrophication	Kg PO4---eq	0,02	0,0864	0,11

Πίνακας 5.2.4.1 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 οροφής (SimaPro)



Διάγραμμα 5.2.4.2 Ανάλυση δείκτη GWP οροφής (SimaPro)

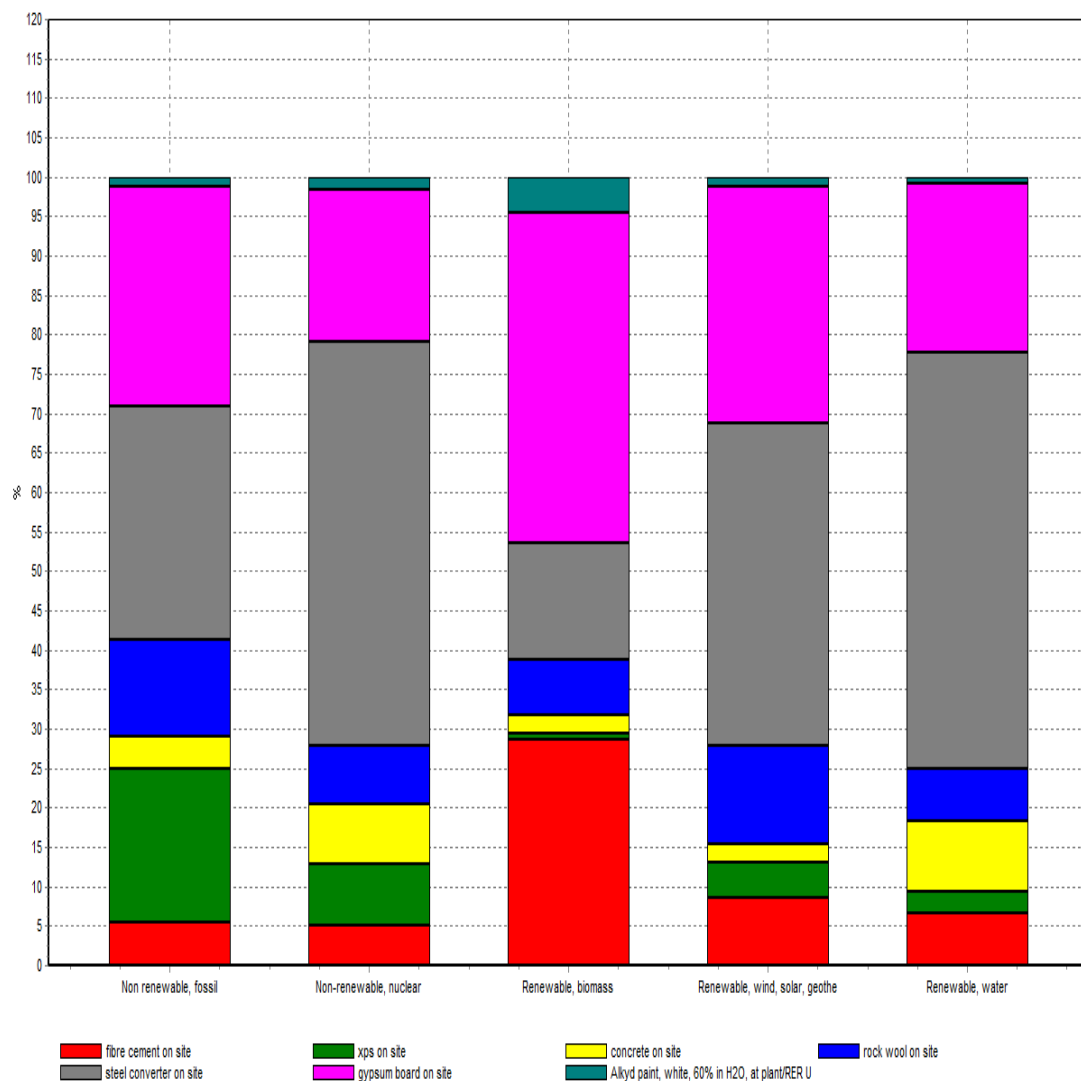
CED:



Διάγραμμα 5.2.4.3 Δίκτυο διεργασιών πάνελ οροφής μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Roof plant 1m2 ,at	OSB	Total
Non renewable, fossil	MJ-Eq	363	457	820
Non renewable, nuclear	MJ-Eq	38,4	35,6	74
Renewable, biomass	MJ-Eq	7,42	0,000165	7,420165
Renewable, wind, solar, geoth	MJ-Eq	1,2	1	2,2
Renewable, water	MJ-Eq	12,7	7,41	20,11
Total	MJ-Eq			923,73

Πίνακας 5.2.4.2 Αποτελέσματα ανάλυσης πάνελ οροφής μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

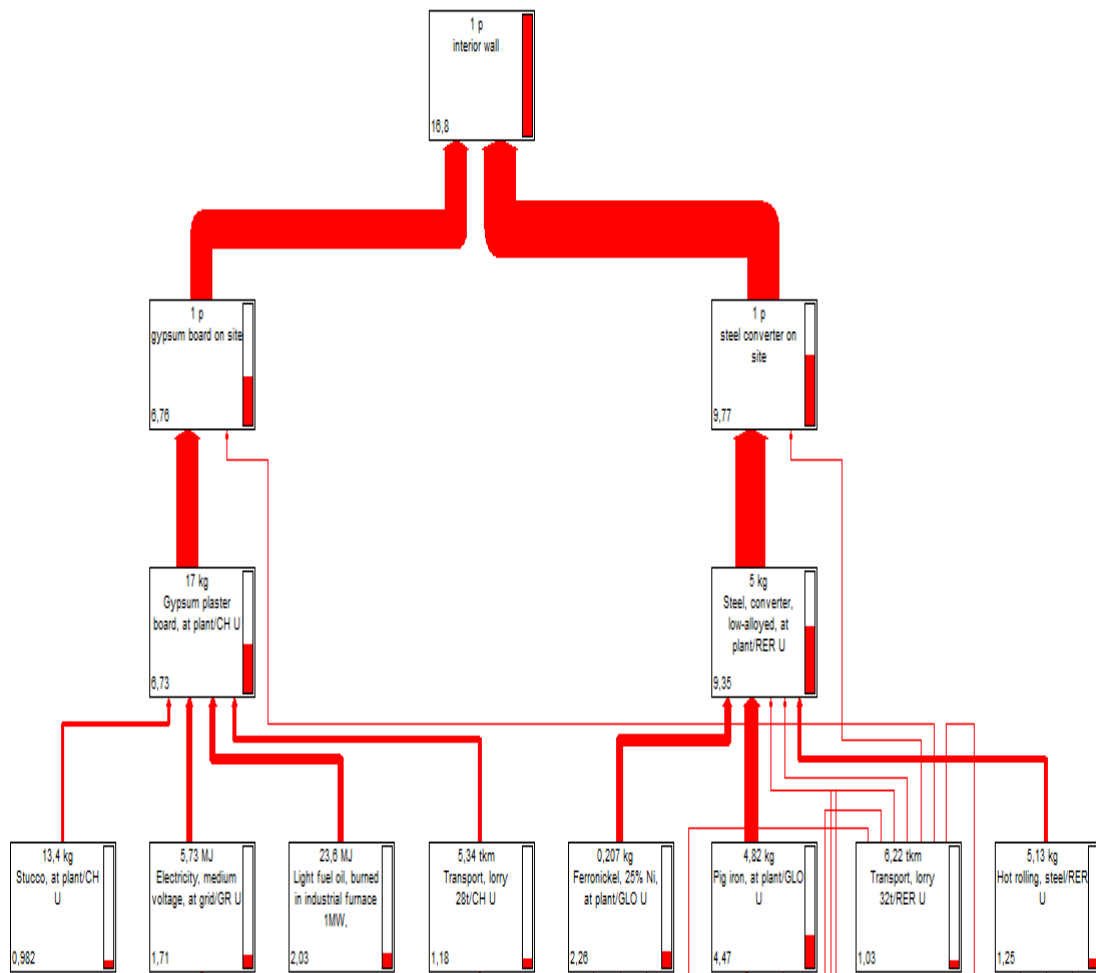


### Διάγραμμα 5.2.4.3 Ανάλυση δείκτη CED οροφής (SimaPro)

Παίρνοντας τώρα σαν στοιχείο όλη την οροφή παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας την έχει ο χάλυβας ενώ την μικρότερη το τσιμέντο και η μόνωση από rockwool. Στη συνεισφορά στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου την πρώτη θέση έχει ο χάλυβας ενώ στις τελευταίες θέσεις βρίσκονται το χρώμα βαφίματος και το τσιμέντο.

#### Εσωτερικός τοίχος:

GWP:

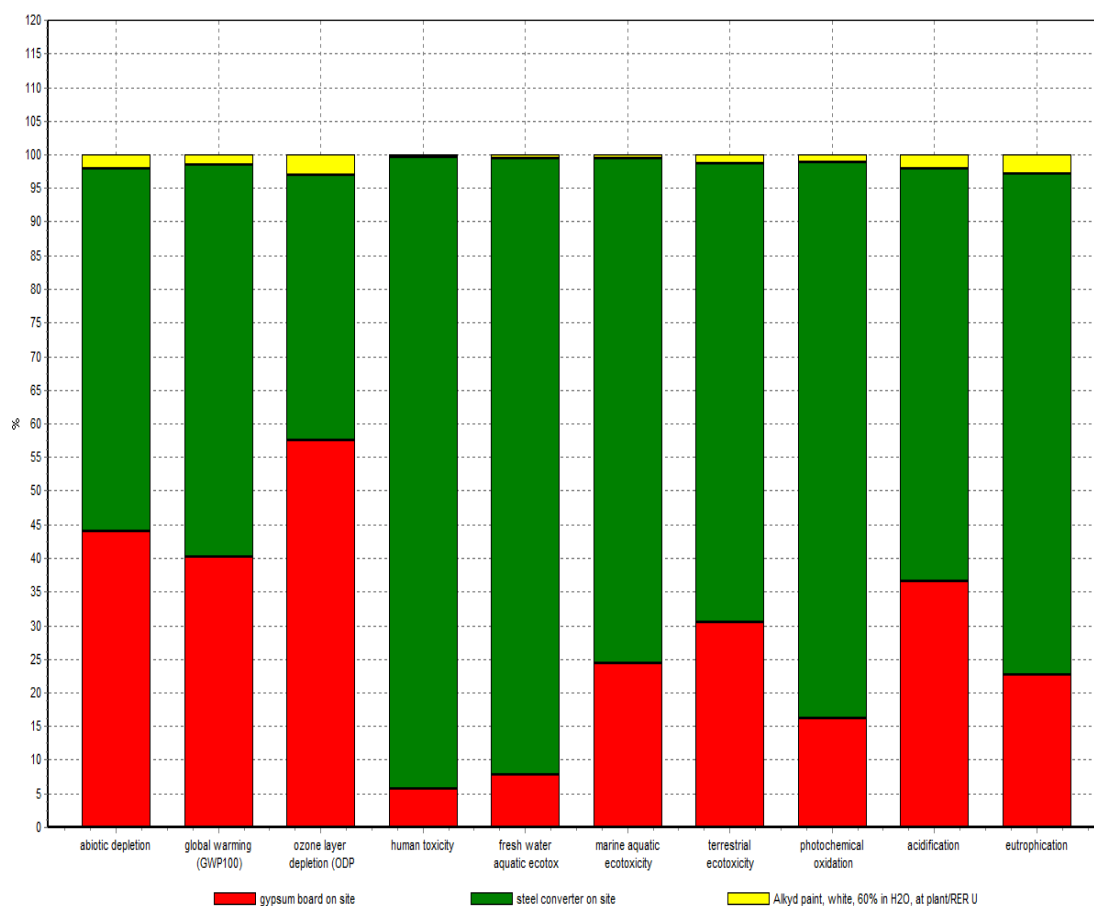


Διάγραμμα 5.2.4.4 Δίκτυο διεργασιών εσωτερικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 (SimaPro)



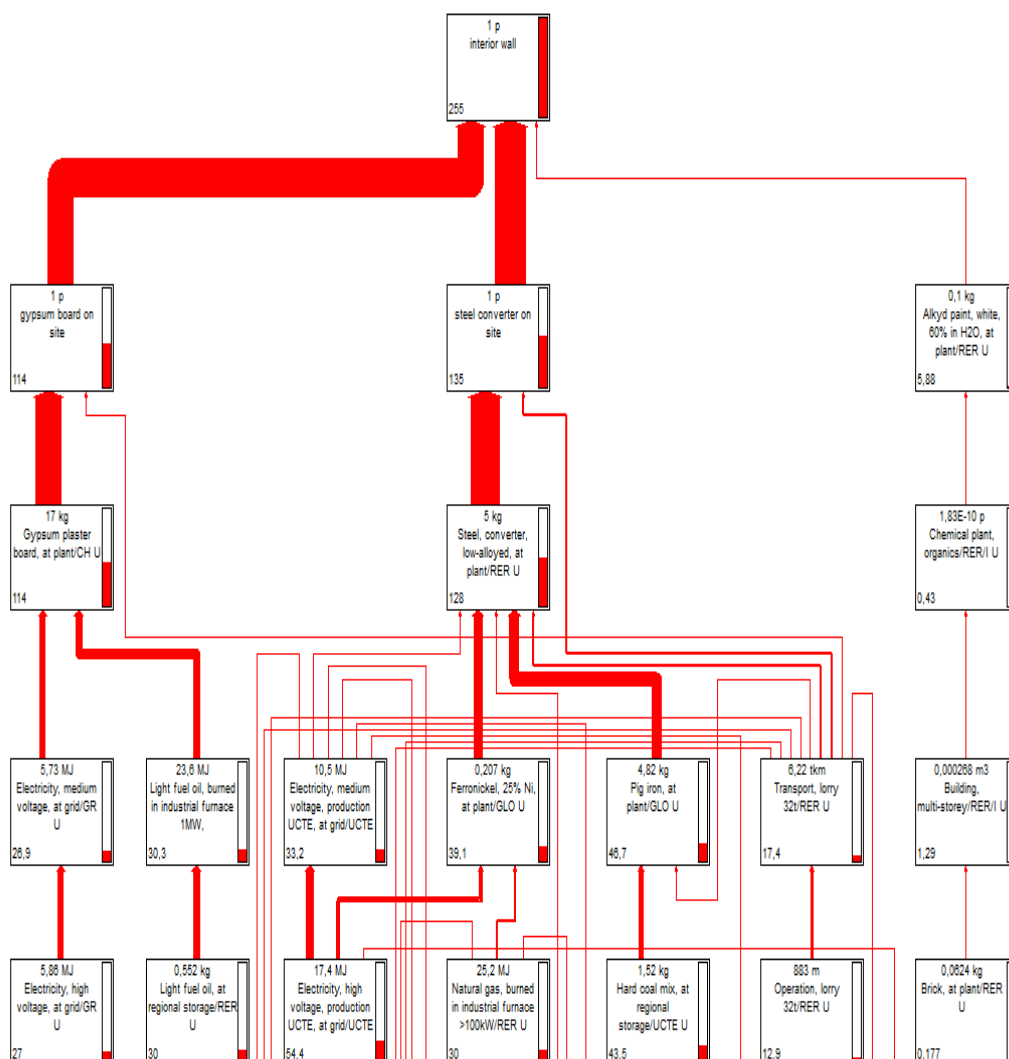
Impact category	Unit	Interior wall 1m2 ,at plant
Abiotic depletion	Kg Sb eq	0.117
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	16.8
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	1.2E-6
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	31.3
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	10.8
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	1.54E4
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0.083
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0.00748
Acidification	Kg SO2 eq	0.0811
Eutrophication	Kg PO4---eq	0.0149

Πίνακας 5.2.4.3 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 εσωτερικής τοιχοποιίας (SimaPro)



Διάγραμμα 5.2.4.2 Ανάλυση δείκτη GWP εσωτερικής τοιχοποιίας (SimaPro)

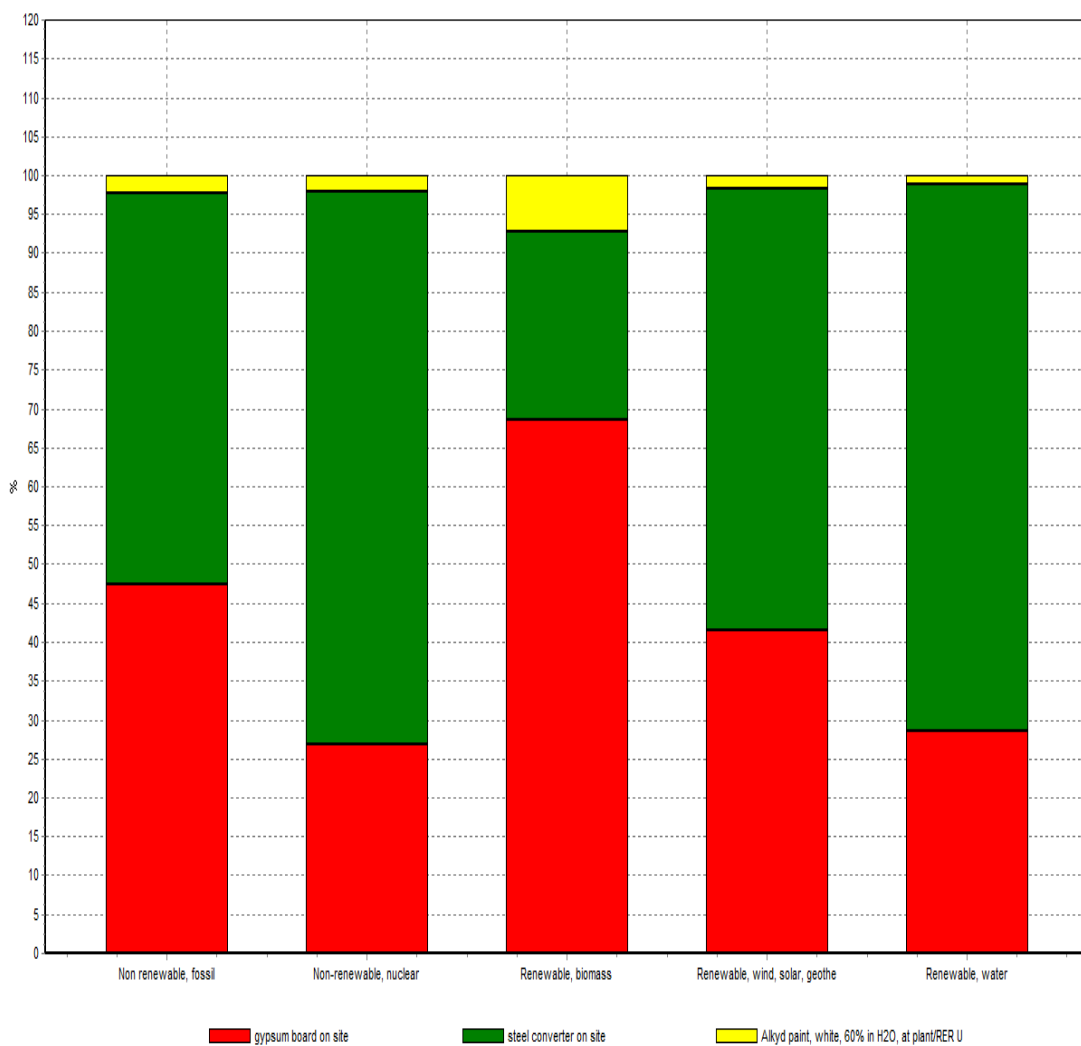
CED:



Διάγραμμα 5.2.4.3 Δίκτυο διεργασιών για την παραγωγή της εσωτερικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Interior wall 1m2 ,at plant
Non renewable, fossil	MJ-Eq	213
Non renewable, nuclear	MJ-Eq	27.7
Renewable, biomass	MJ-Eq	4.54
Renewable, wind, solar, geother	MJ-Eq	0.864
Renewable, water	MJ-Eq	9.54
<b>Total</b>	<b>MJEq</b>	<b>255,644</b>

Πίνακας 5.2.4.4 Αποτελέσματα ανάλυσης εσωτερικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

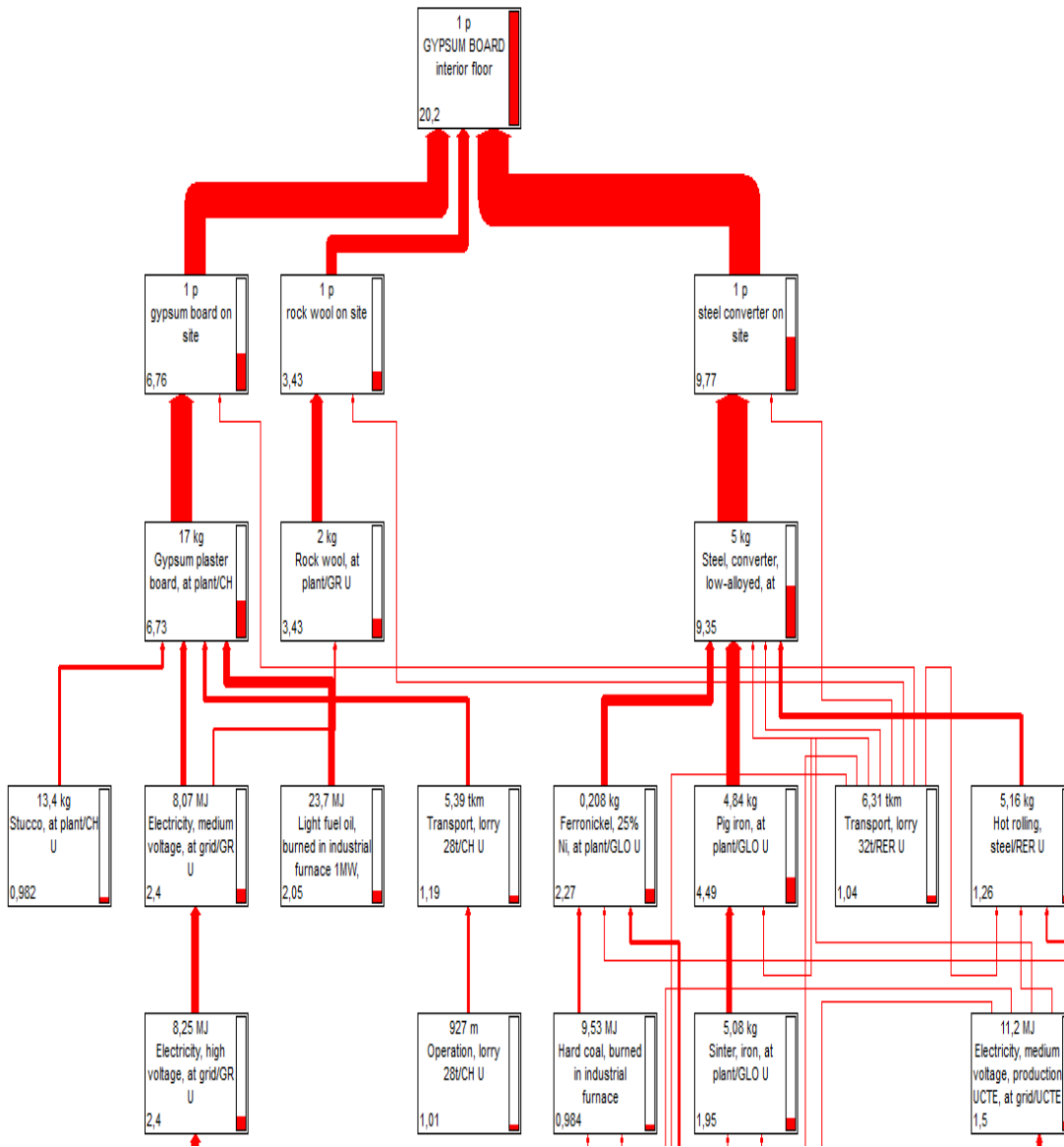


Διάγραμμα 5.2.4.4 Ανάλυση δείκτη CED εσωτερικής τοιχοποιίας (SimaPro)

Παρατηρούμε ότι την σαν ποσοστά κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας συνολικά δεν έχουμε μεγάλες διαφορές μεταξύ του χάλυβα και της γυψοσανίδας, παρόλα αυτά αξιοσημείωτο είναι η διαφορά στην συνεισφορά των αερίων του θερμοκηπίου ιδίως στους δείκτες της ανθρώπινης τοξικότητας και στην οικοτοξικότητα του νερού

**Εσωτερικό πάτωμα:**

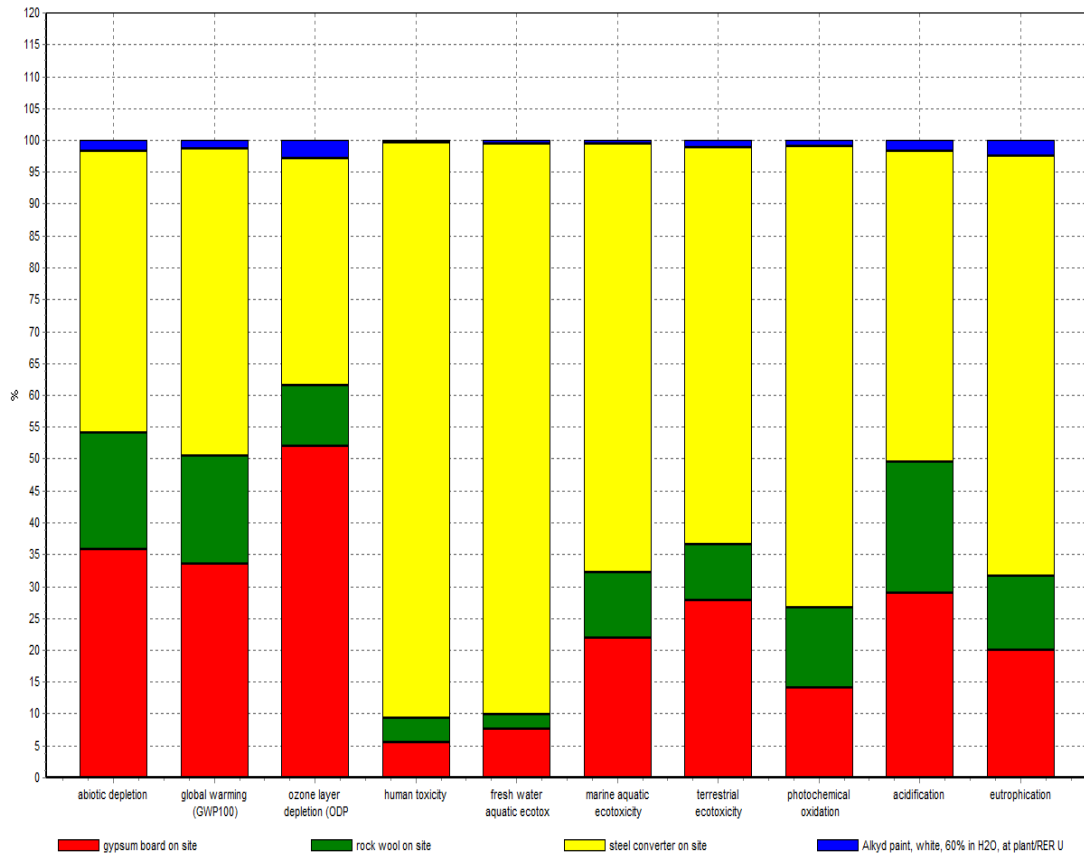
GWP:



Διάγραμμα 5.2.4.5 Δίκτυο διεργασιών εσωτερικού πατώματος μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 (SimaPro)

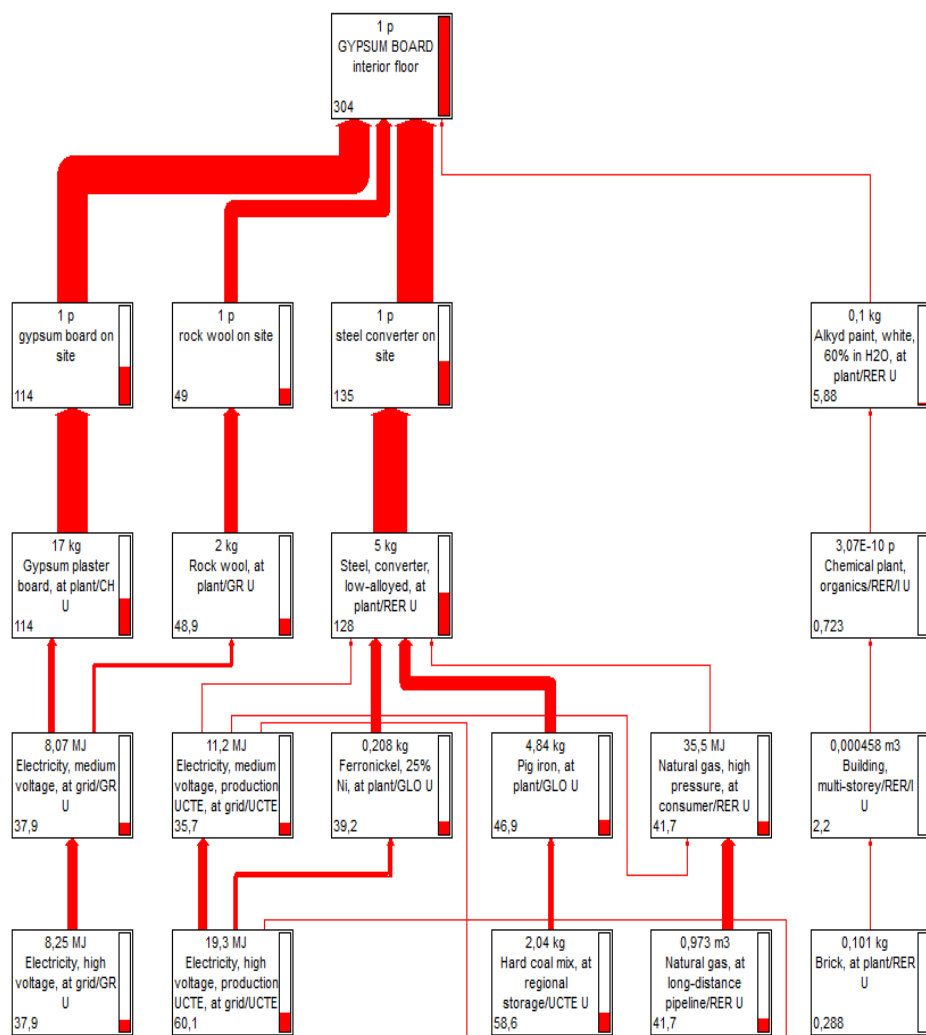
Impact category	Unit	Gypsum interior floor 1m2 ,at plant	OSB	Total
Abiotic depletion	Kg Sb eq	0,143	0,236	0,379
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	20,2	21	41,2
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	1,32E-06	8,52E-07	2,17E-06
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	32,6	43	75,6
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	11,1	15,1	26,2
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	1,72E+04	2,90E+04	46200
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0,0911	0,855	0,9461
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0,00855	0,0121	0,02065
Acidification	Kg SO2 eq	0,102	0,102	0,204
Eutrophication	Kg PO4---eq	0,0168	0,0864	0,1032

Πίνακας 5.2.4.5 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 εσωτερικού πατώματος (SimaPro)



Διάγραμμα 5.2.4.2 Ανάλυση δείκτη GWP εσωτερικής τοιχοποιίας (SimaPro)

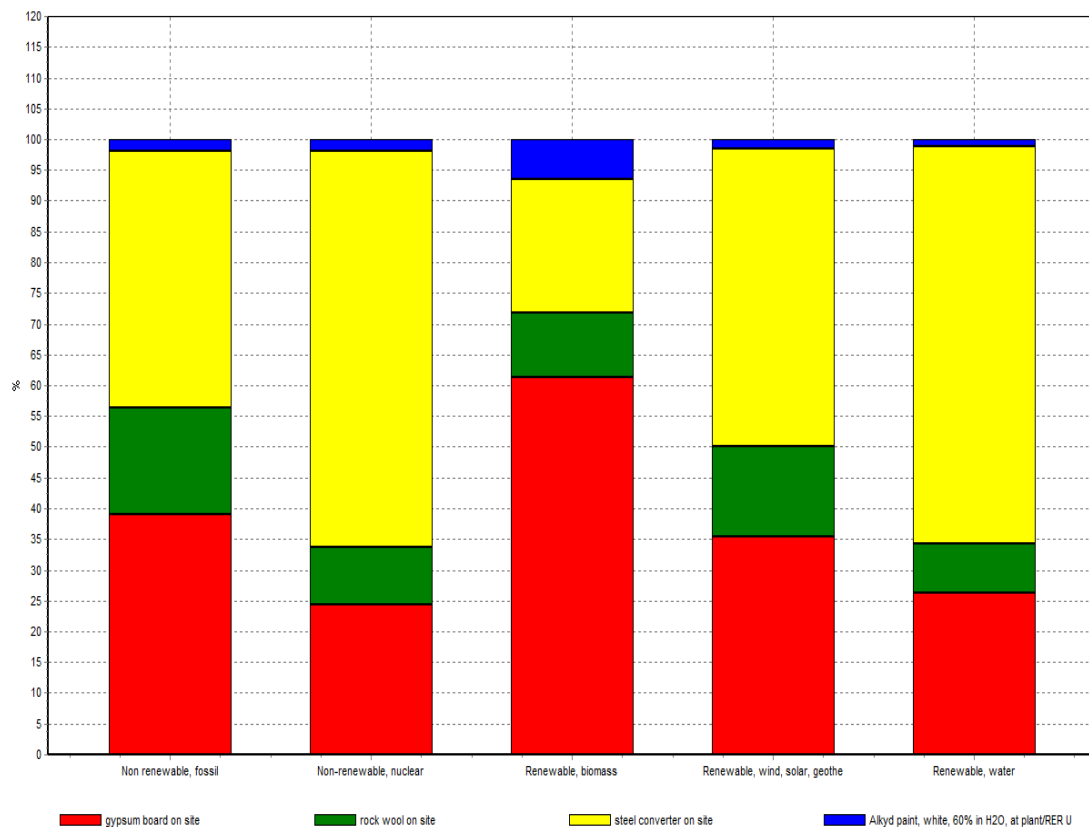
CED:



Διάγραμμα 5.2.4.3 Δίκτυο διεργασιών εσωτερικού πατώματος μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Gypsum interior floor, at plant	OSB	Total
Non renewable, fossil	MJ-Eq	257	457	714
Non renewable, nuclear	MJ-Eq	30,6	35,6	66,2
Renewable, biomass	MJ-Eq	5,07	0,000165	5,070165
Renewable, wind, solar, geothermal	MJ-Eq	1,01	1	2,01
Renewable, water	MJ-Eq	10,4	7,41	17,81
Total;	MJ-Eq			805,09

Πίνακας 5.2.4.6 Αποτελέσματα ανάλυσης CED φύλλου γυψοσανίδας μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)



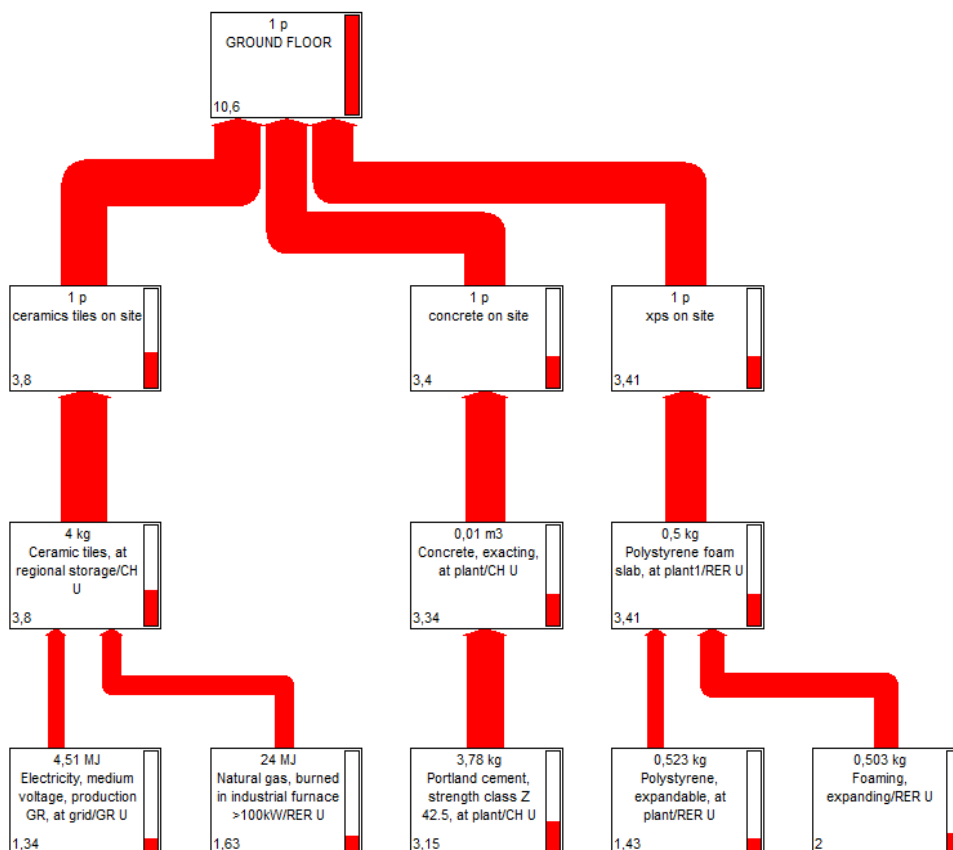
Διάγραμμα 5.2.4.4 Ανάλυση δείκτη CED εσωτερικού πατώματος (SimaPro)

Για το πάτωμα της μεταλλικής κατασκευή παρατηρούμε ότι την μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση την έχει και εδώ ο σίδηρος-χάλυβας ενώ στις τελευταίες θέσεις βρίσκεται η μόνωση Rockwool και η μπογιά. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η μεγάλη διαφορά που έχει η συνεισφορά στα αέρια του θερμοκηπίου η παραγωγή και η κατανάλωση του σιδήρου έναντι των άλλων υλικών του πάνελ.



## Δάπεδο:

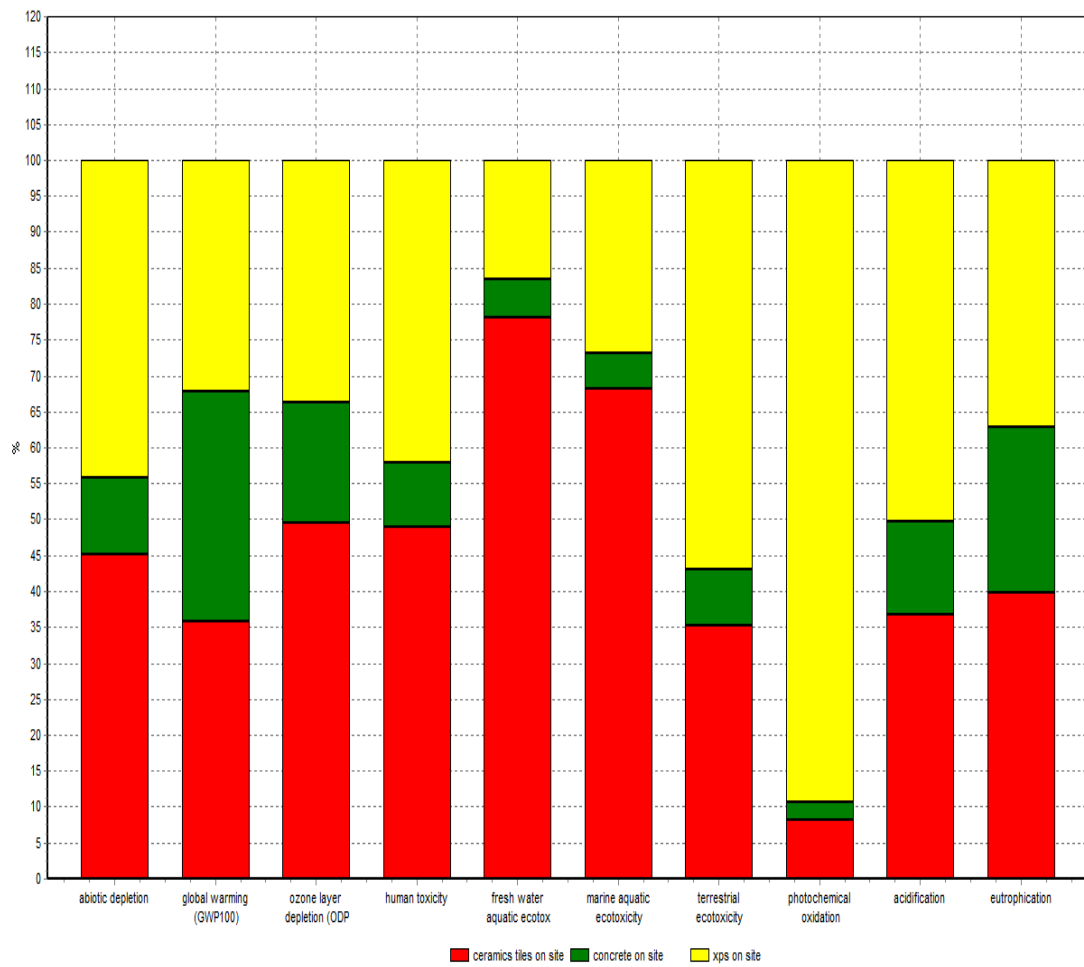
GWP:



Διάγραμμα 5.2.4.5 Δίκτυο διεργασιών δαπέδου μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 ( SimaPro)

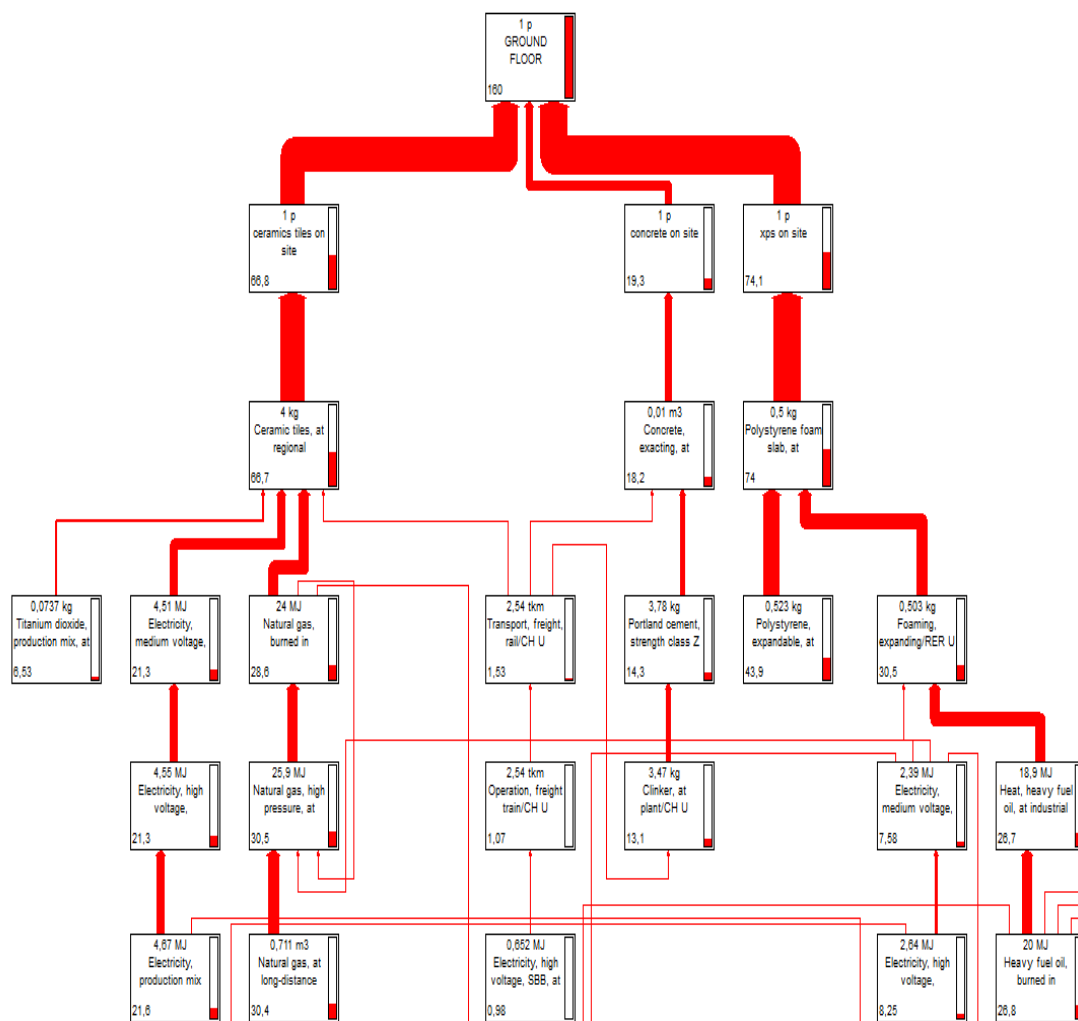
Impact category	Unit	Ground floor 1m2 ,at plant
Abiotic depletion	Kg Sb eq	0.0744
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	10.6
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	6.81E-7
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	3.05
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	0.958
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	4.21E3
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0.0687
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0.00952
Acidification	Kg SO2 eq	0.0463
Eutrophication	Kg PO4---eq	0.00395

Πίνακας 5.2.4.7 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 για το δάπεδο (SimaPro)



Διάγραμμα 5.2.4.6 Ανάλυση δείκτη GWP δαπέδου (SimaPro)

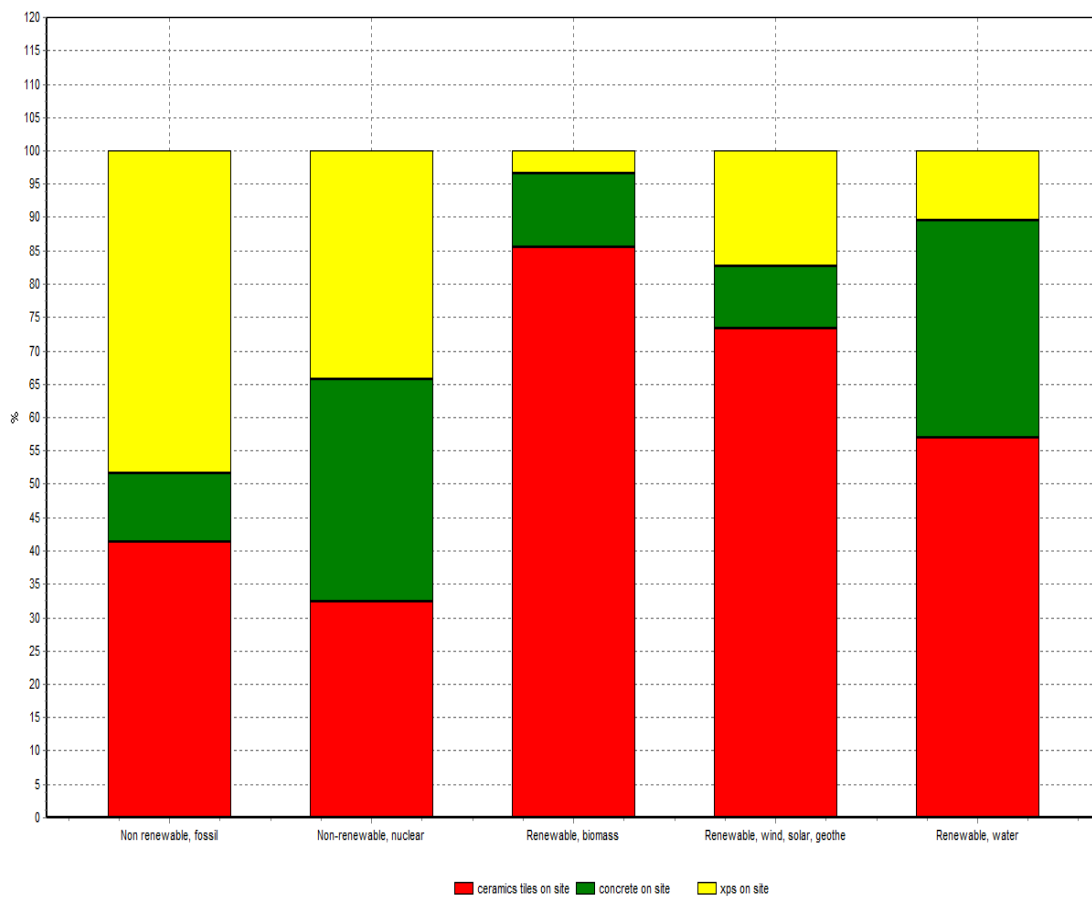
CED:



Διάγραμμα 5.2.4.7 Δίκτυο διεργασιών δαπέδου μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Ground floor ,at plant
Non renewable, fossil	MJ-Eq	146
Non renewable, nunclear	MJ-Eq	8.65
Renewable,biomass	MJ-Eq	1.59
Renewable,wind,solar,geothe	MJ-Eq	0.307
Renewable, water	MJ-Eq	3.49
Total	MJ-Eq	160,037

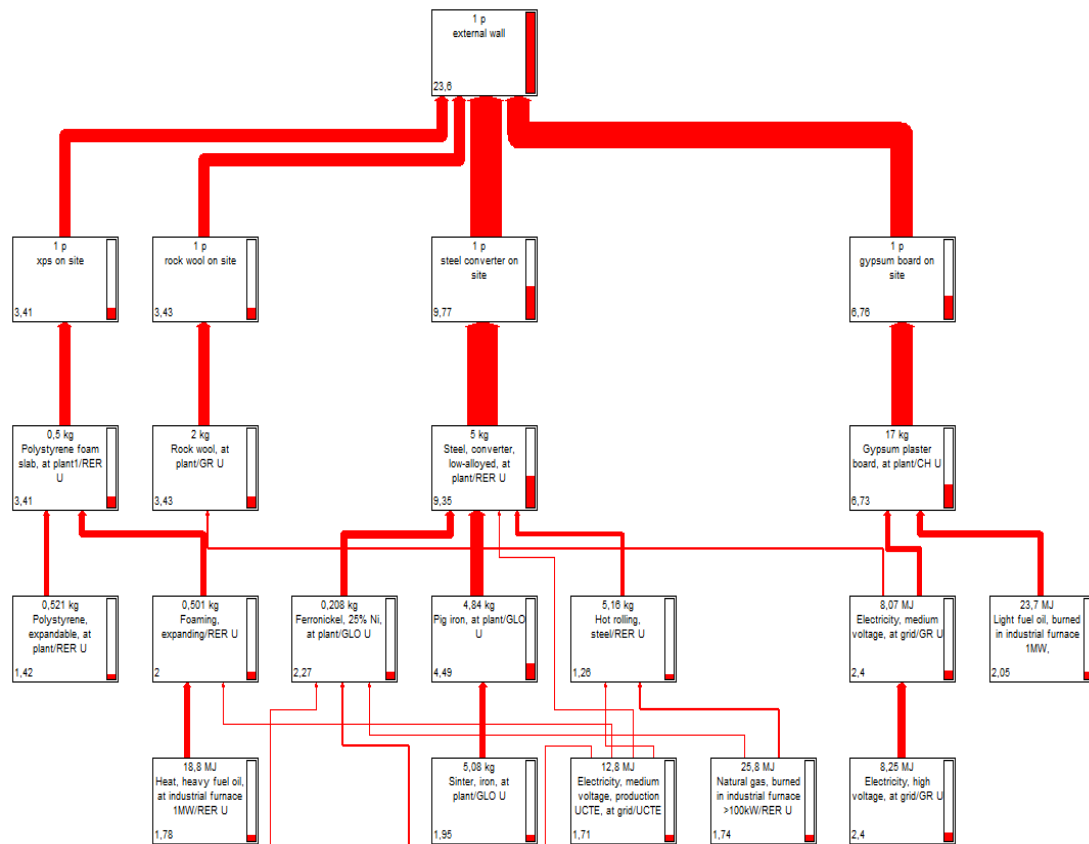
Πίνακας 5.2.4.8 Αποτελέσματα ανάλυσης δαπέδου μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)



Διάγραμμα 5.2.4.8 Ανάλυση δείκτη GWP δαπέδου (SimaPro)

Στο δάπεδο παρατηρούμε ότι από πλευράς ενεργειακής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και τα τρία υλικά δεν διαφέρουν ιδιαίτερα, με μικρότερη κατανάλωση να την έχει το τσιμέντο. Σημαντική διαφορά όμως υπάρχει στην συνεισφορά των υλικών στα αέρια του θερμοκηπίου με την μικρότερη συνεισφορά να την έχει το τσιμέντο ενώ τα άλλα δύο υλικά να μην διαφέρουν στο σύνολο πολύ.

**Εξωτερικό τοίχος:**  
GWP:

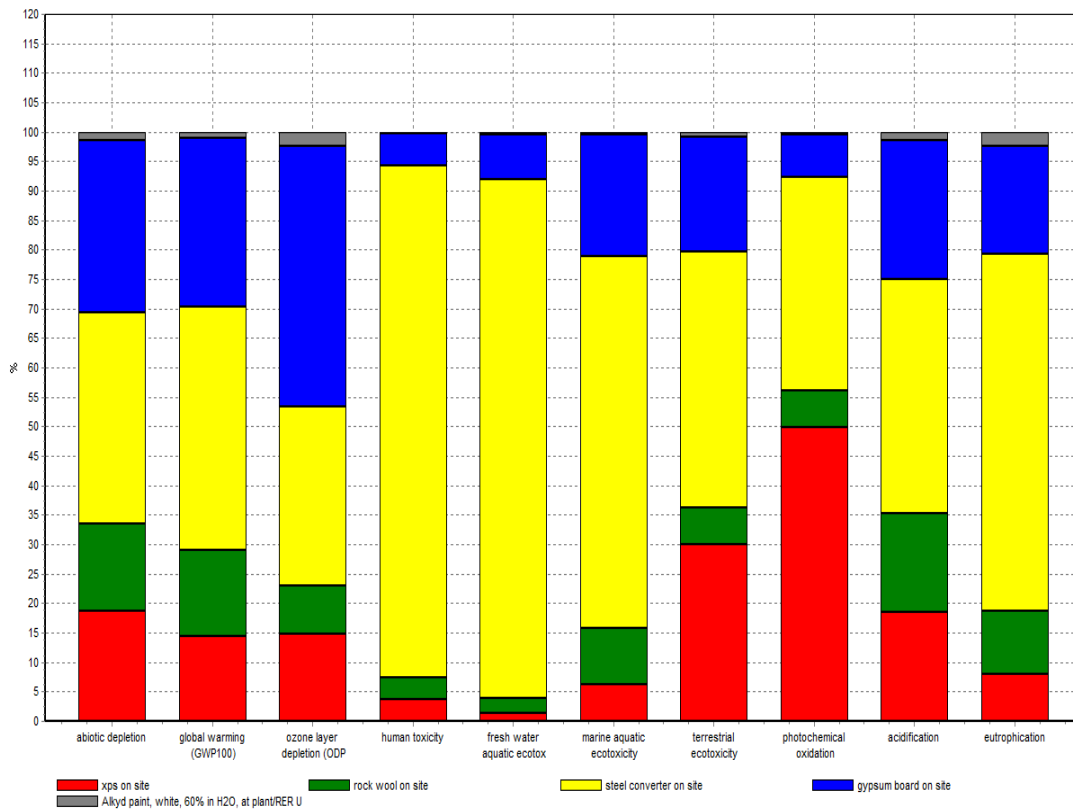


Διάγραμμα 5.2.4.9 Δίκτυο διεργασιών εξωτερικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 (SimaPro)

Impact category	Unit	External wall ,at plant	OSB	Total
Abiotic depletion	Kg Sb eq	0,176	0,236	0,412
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	23,6	21	44,6
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	1,55E-06	8,52E-07	2,4E-06
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	33,8	43	76,8
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	11,2	15,1	26,3
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	1,83E+04	29000	47300
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0,13	0,855	0,985

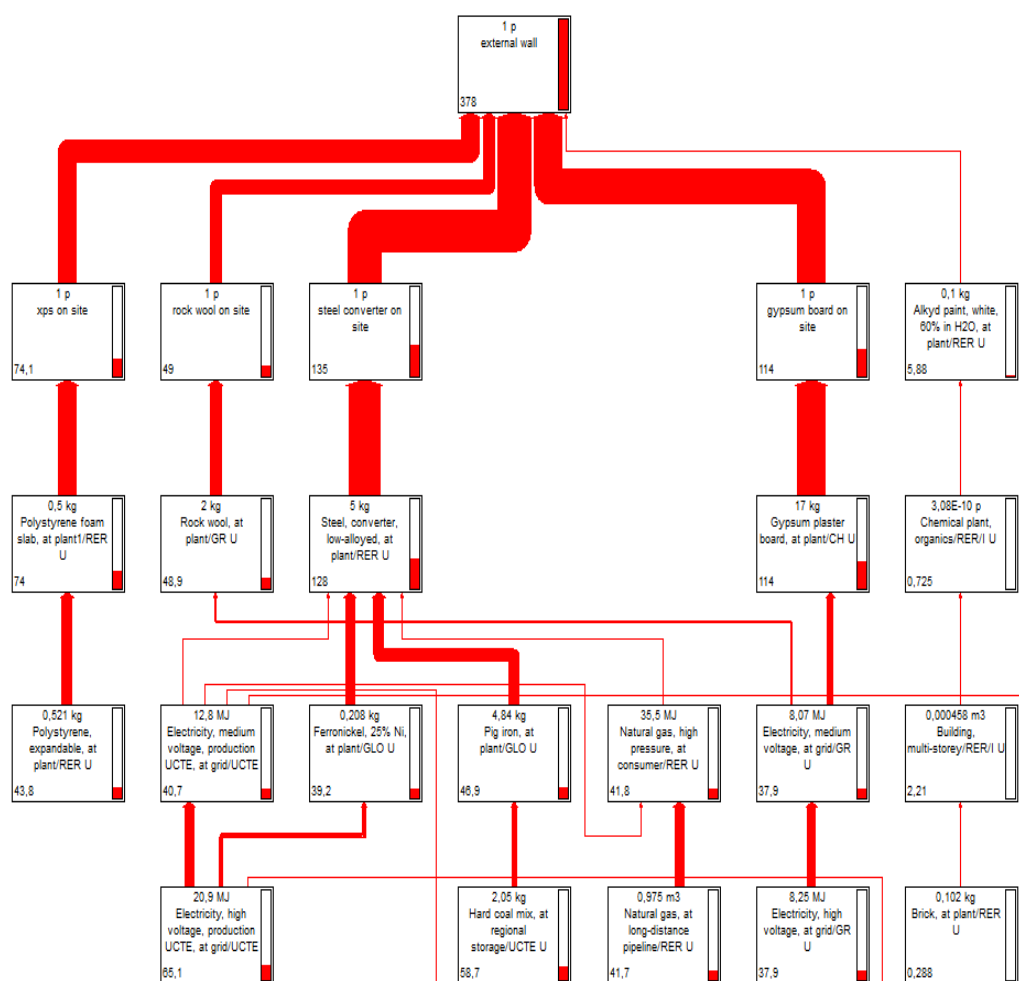
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0,0171	0,0121	0,0292
Acidification	Kg SO2 eq	0,15	0,102	0,252
Eutrophication	Kg PO4---eq	0,0183	0,0864	0,1047

Πίνακας 5.2.4.9 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 εξωτερικής τοιχοποιίας (SimaPro)



Διάγραμμα 5.2.4.10 Ανάλυση δείκτη GWP εξωτερικής τοιχοποιίας (SimaPro)

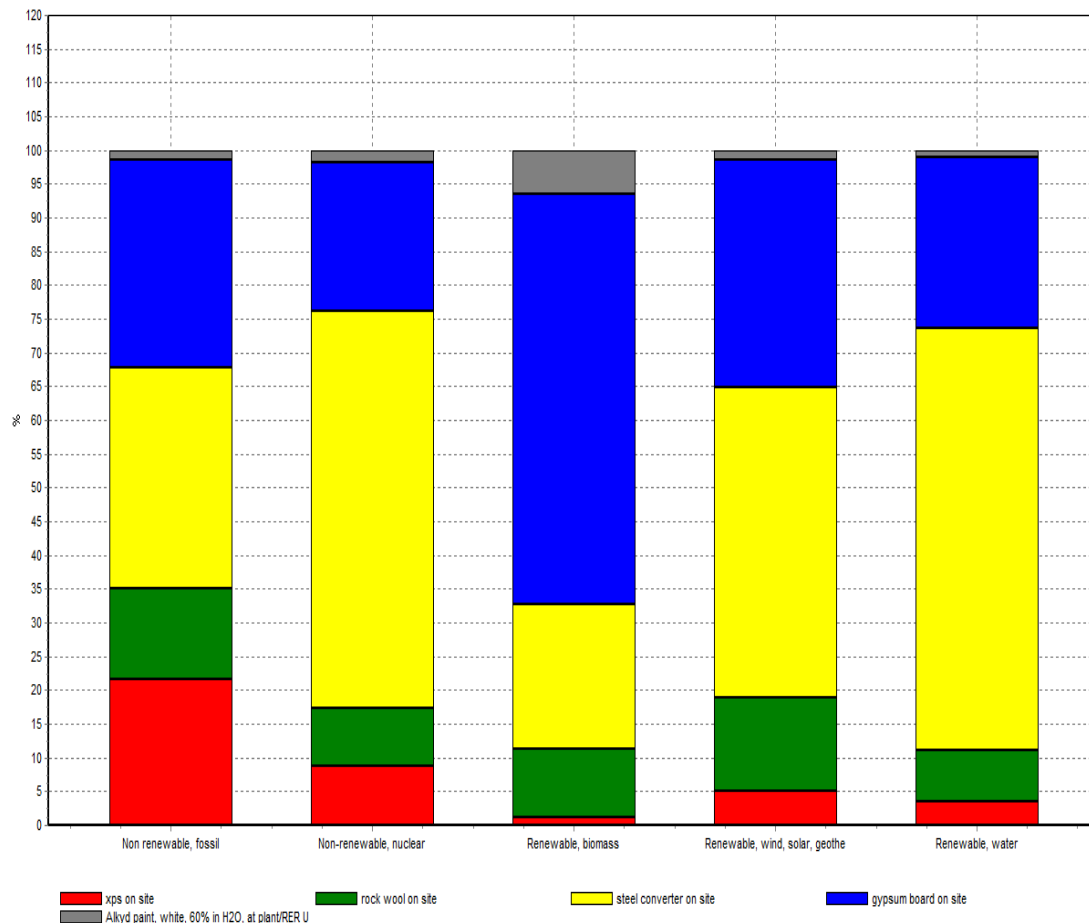
CED:



Διάγραμμα 5.2.4.11 Δίκτυο διεργασιών εξωτερικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	External wall	OSB	Total
Non renewable, fossil	MJ-Eq	328	457	785
Non renewable, nuclear	MJ-Eq	33,5	35,6	69,1
Renewable, biomass	MJ-Eq	5,12	0,000165	5,120165
Renewable, wind, solar, geotherm	MJ-Eq	1,06	1	2,06
Renewable, water	MJ-Eq	10,7	7,41	18,11
Total	MJ-Eq			879,39

Πίνακας 5.2.4.10 Αποτελέσματα ανάλυσης εξωτερικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)



Διάγραμμα 5.2.4.12 Ανάλυση δείκτη CED εξωτερικής τοιχοποιίας (SimaPro)

Μέσω των δύο μεθόδων που έγιναν με το λογισμικό SimaPro, βλέπουμε ότι από άποψη ενεργειακής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας την μικρότερη κατανάλωση την έχει η εξηλασμένη πολυστερίνη και το Rockwool καθώς και το χρώμα που χρησιμοποιήθηκε. Σημαντική διαφορά υπάρχει όμως στην συνεισφορά των αερίων του θερμοκηπίου με τον χάλυβα να βρίσκεται στην πρώτη θέση ενώ την μικρότερη συνεισφορά την έχουν τα μονωτικά υλικά XPS και Rockwool μαζί με το χρώμα.



## 5.3 Συμβατική Κατασκευή

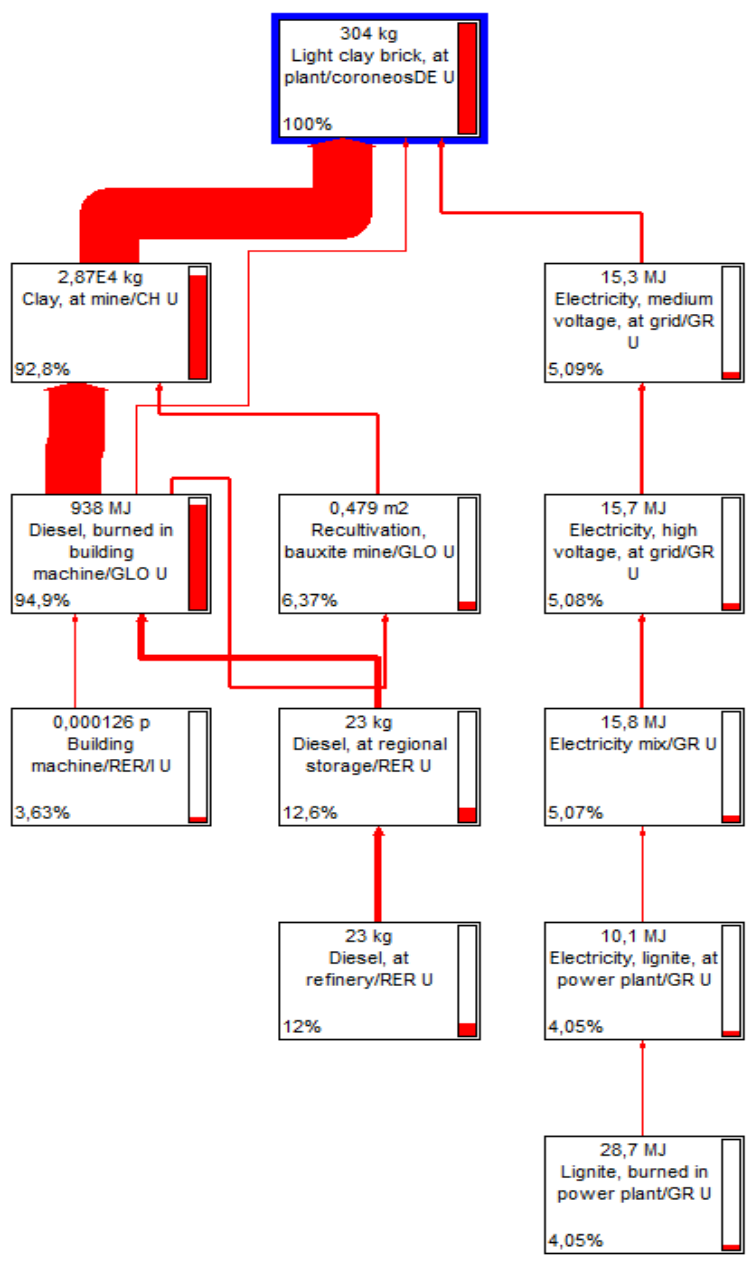
### 5.3.1 Τούβλο

Το τούβλο όπως και οι γυψοσανίδα είναι τα κυριότερα στοιχεία της έρευνας μας και για αυτό τον λόγο δόθηκε περισσότερο βάρος στα συγκεκριμένα υλικά. Οι πληροφορίες και τα δεδομένα για το υλικών βρέθηκαν από το εργοστάσιο παραγωγής τούβλων στην Ελλάδα και συγκεκριμένα στο εργοστάσιο της Σίνδου. Με βάση αυτά τα δεδομένα και την βοήθεια του SIMA PRO προσαρμόσαμε τις πληροφορίες μας ώστε να βγάλουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα. Η βιβλιοθήκη που χρησιμοποιήθηκε και σε αυτό το υλικό είναι η Ecoinvent unit processes και το υλικό μας είναι το Light clay brick, at plant/coroneosDE U. Το unit του υλικού είναι η κατασκευή ενός κιλού (1kg) τούβλου και στην συνέχεια έγινε προσαρμογή της ποσότητας αυτής σε κιλά για τοίχο με εμβαδόν 1 m<sup>2</sup>.

Για την μεταφορά των τούβλων υπολογίστηκε η απόσταση των 500km και η μεταφορά του υλικού έγινε και εδώ με φορτηγά των 32t.

Όμοια και με την μεταλλική κατασκευή θα ακολουθήσουν και εδώ οι αναλύσεις των δεικτών GWP και CED για κάθε υλικό ξεχωριστά και στην συνέχεια για κάθε πάνελ τοίχου.

GWP:

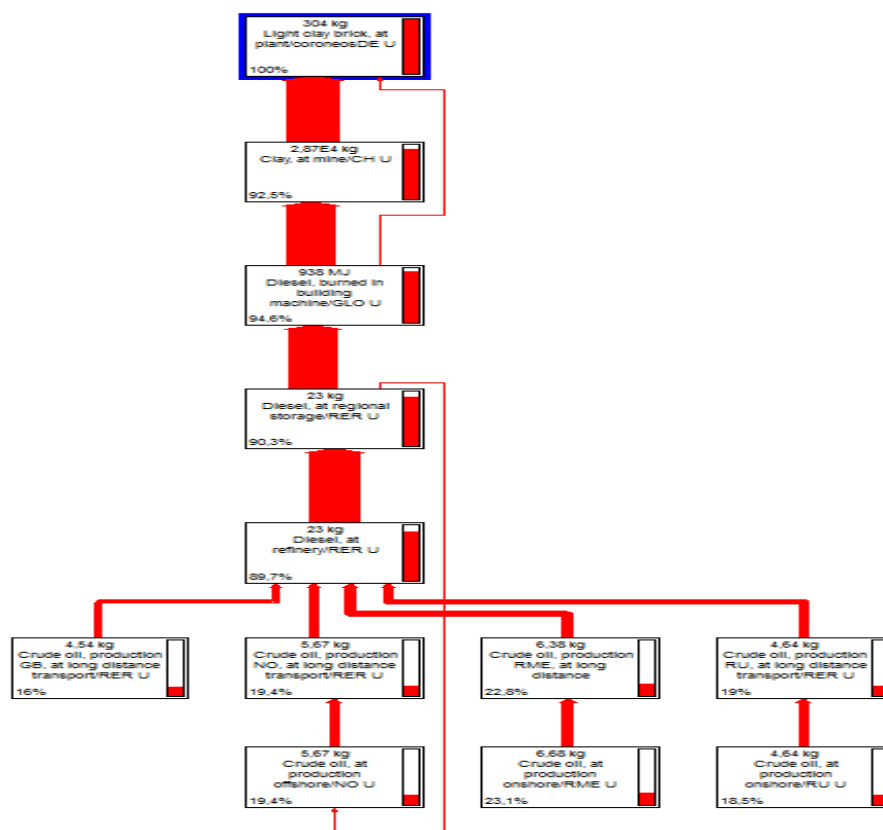


Διάγραμμα 5.3.1 Δίκτυο διεργασιών παραγωγής τούβλων μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 ( SimaPro)

Impact category	Unit	Light clay brick, at plant/coroneos DE U
Abiotic depletion	Kg Sb eq	0.787
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	115
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	1.43E-5
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	62
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	4.91
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	2.13E4
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0.17
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0.0242
Acidification	Kg SO2 eq	0.84
Eutrophication	Kg PO4---eq	0.172

Πίνακας 5.3.1. Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 για την παραγωγή τούβλων (SimaPro)

CED:



Διάγραμμα 5.3.2. Δίκτυο διεργασιών για την παραγωγή τούβλων μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Light clay brick, at plant/coroneosDE U at plant
Non renewable, fossil	MJ-Eq	1.72E3
Non renewable, nuclear	MJ-Eq	54.4
Renewable, biomass	MJ-Eq	2.41
Renewable, wind, solar, geothermal	MJ-Eq	1.71
Renewable, water	MJ-Eq	12.3
Total	MJ-Eq	1790.82

Πίνακας 5.3.2 Αποτελέσματα ανάλυσης παραγωγής τούβλων μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Έπειτα των αναλύσεων που έγιναν με το λογισμικό SimaPro παρατηρούμε ότι την μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας την έχει το στάδιο παρασκευής, μεταφοράς και κατανάλωσης του πυλού..

Όσον αφορά την συνεισφορά στα αέρια του θερμοκηπίου την μεγαλύτερη την έχει η οικοτοξικότητα θαλάσσιων υδροβίων και στην συνέχεια και πάλι η παγκόσμια θέρμανση.

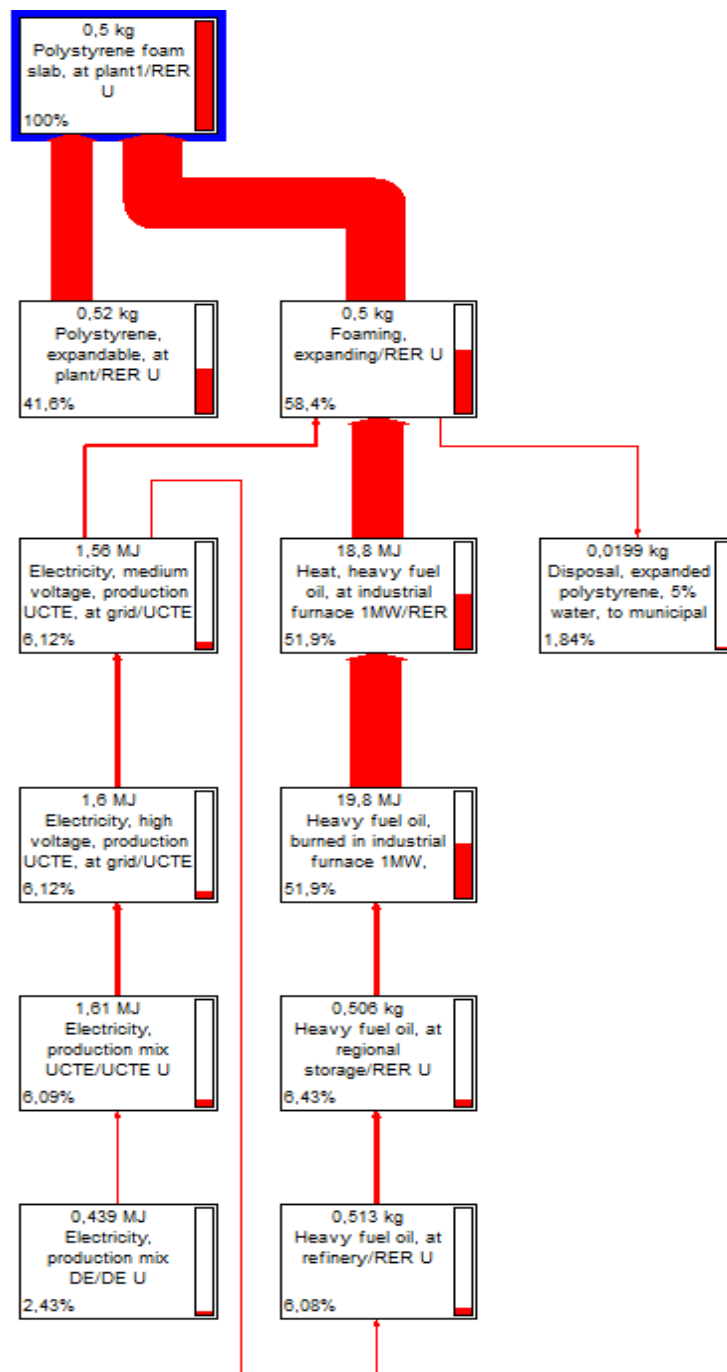
### 5.3.2 Μόνωση

Η μόνωση και σε αυτήν την περίπτωση της κατασκευής είναι τα φύλλα εξηλασμένης πολυστερίνης. XPS που αναφέρθηκαν παραπάνω και τα οποία αναφέρονται για λόγους πληρότητας της εργασίας.

Για την μεταφορά των μονωτικών υλικών υποτέθηκε απόσταση των 10km από το κτίριο μας όπου η μεταφορά τους έγινε με φορτηγό των 32t.

Ακολουθούν οι σχετικές αναλύσεις μέσω του λογισμικού SimaPro.

GWP:

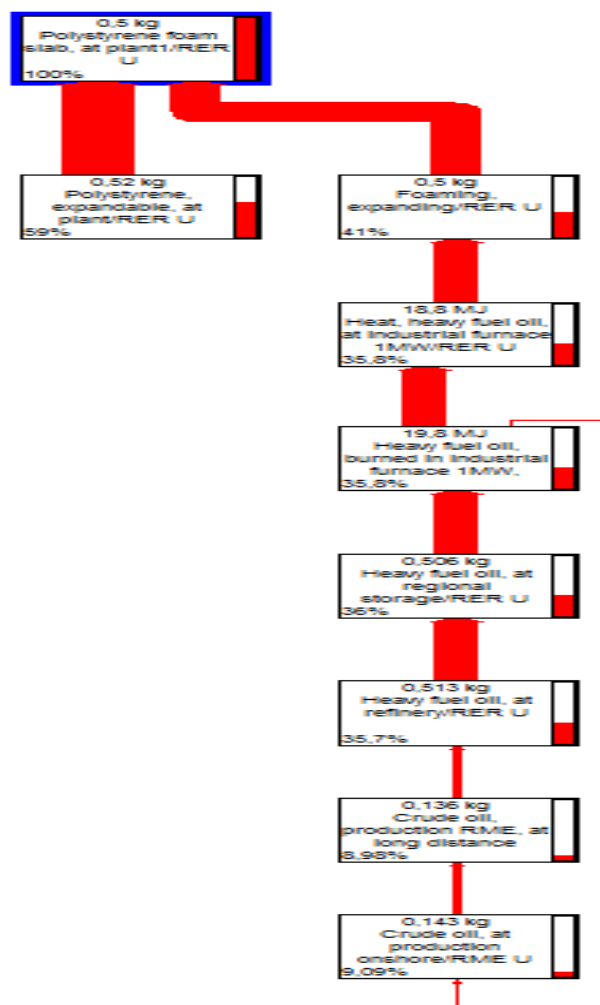


Διάγραμμα 5.3.2.1 Δίκτυο διεργασιών XPS μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 (SimaPro)

Impact category	Unit	Polystyrene foam slab,at plant
Abiotic depletion	Kg Sb eq	0.0326
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	3.41
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	2.29E-7
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	1.28
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	0.158
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	1.13E3
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0.0391
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0.00851
Acidification	Kg SO2 eq	0.0233
Eutrophication	Kg PO4---eq	0.00146

Πίνακας 5.3.2.1 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 για OSB (SimaPro)

CED:



Διάγραμμα 5.3.2.2 Ανάλυση δείκτη GWP για το φύλλο XPS (SimaPro)

Impact category	Unit	Polystyrene foam slab, at plant
Non renewable, fossil	MJ-Eq	70.6
Non renewable, nunclear	MJ-Eq	2.96
Renewable, biomass	MJ-Eq	0.0552
Renewable, wind, solar, geothe	MJ-Eq	0.0534
Renewable, water	MJ-Eq	0.366
Total	MJ-Eq	75,012

Διάγραμμα 5.3.2.3 Δίκτυο διεργασιών για την παραγωγή ενός φύλλου πολυστερίνης μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Παρατηρώντας τα διαγράμματα βλέπουμε ότι η μεγαλύτερη συνεισφορά όσον αφορά τις εκπομπές αερίων είναι αυτή της οικοτοξικότητας θαλάσσιων υδροβίων και στην συνέχεια αυτή της παγκόσμιας θέρμανσης.

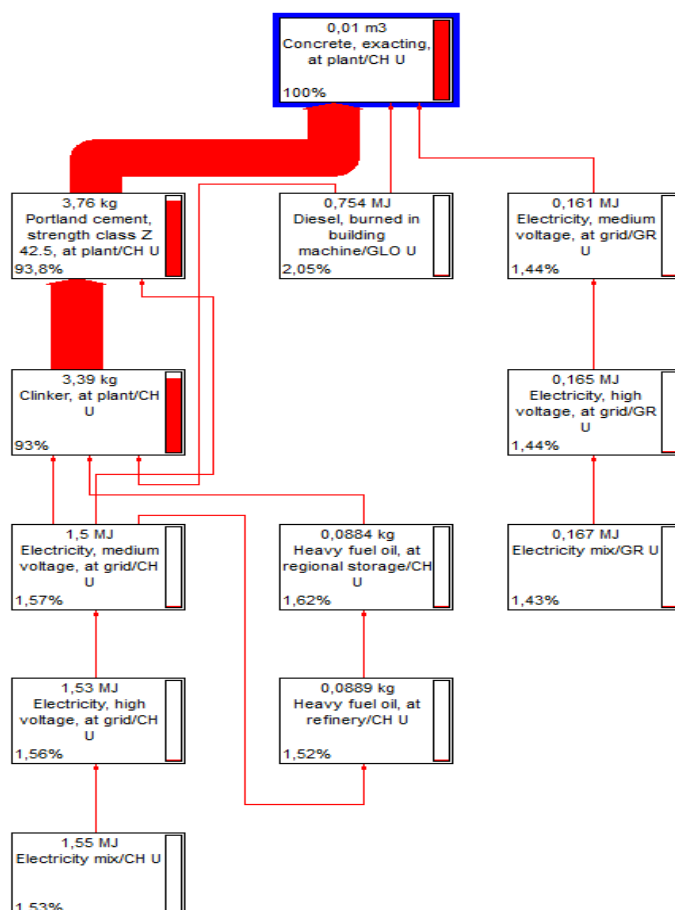
### 5.3.3 Σκυρόδεμα

Το σκυρόδεμα είναι και αυτό από τα βασικά χαρακτηριστικά της κατασκευής μας καθώς καλύπτει μεγάλο όγκο της.

Τα δεδομένα κατά κύριο λόγο βρέθηκαν από την εταιρία TITAN και από έρευνες πάνω στην ανάλυση του κύκλου ζωής του τσιμέντου. Στη συνέχεια με την βοήθεια του λογισμικού μας και των στοιχείων του Concrete, exacting, at plant/CH/U προσαρμόσαμε τις πληροφορίες μας ώστε να έχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα για την έρευνα μας. Η έρευνα και οι ανάλυση που έγινε είχε ως unit το 1m<sup>3</sup> προσαρμόζοντας στη συνέχεια αυτή την ποσότητα για χτίσιμο 1m<sup>2</sup> τοίχου.

Για την μεταφορά υποτέθηκε ότι το εργοστάσιο βρίσκεται στην Χαλκίδα σε απόσταση 80km από το κτίριο μας.

GWP:



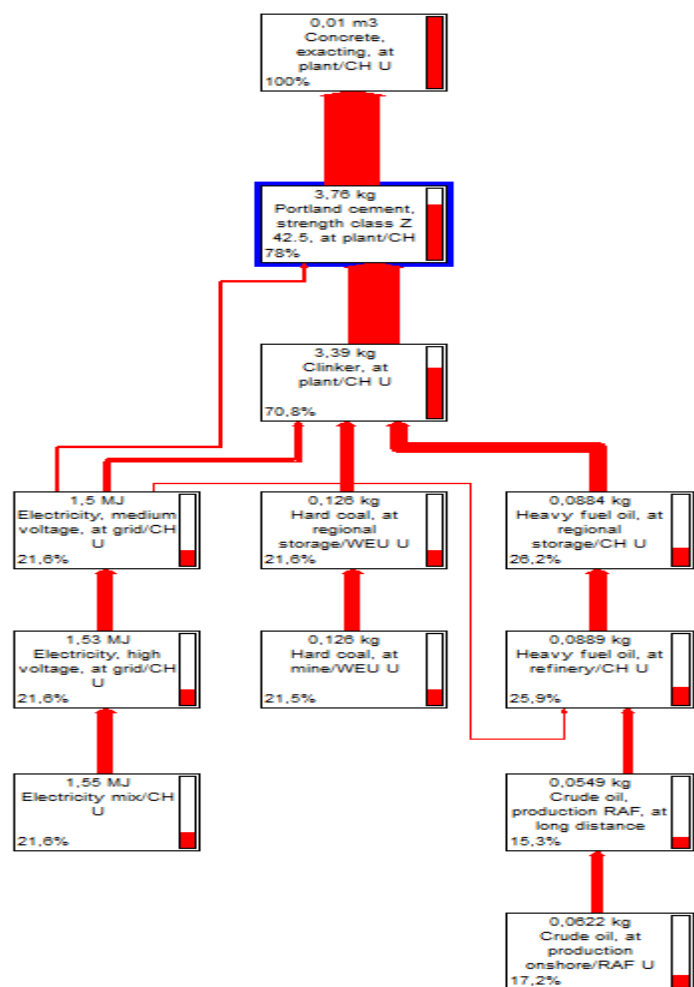
Διάγραμμα 5.3.3.1 Δίκτυο διεργασιών παραγωγής σκυροδέματος μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 (SimaPro)



Impact category	Unit	Concrete,exacting,at plant
Abiotic depletion	Kg Sb eq	0.00747
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	3.34
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	1.05E-7
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	0.258
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	0.048
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	196
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0.00524
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0.000211
Acidification	Kg SO2 eq	0.00563
Eutrophication	Kg PO4---eq	0.000833

Πίνακας 5.3.3.1 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 για την παραγωγή σκυροδέματος (SimaPro)

CED:



Διάγραμμα 5.3.3.2 Δίκτυο διεργασιών για την παραγωγή σκυροδέματος μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Concrete,exacting,at plant
Non renewable, fossil	MJ-Eq	14
Non renewable, nunclear	MJ-Eq	2.82
Renewable,biomass	MJ-Eq	0.173
Renewable,wind,solar,geothe	MJ-Eq	0.0275
Renewable, water	MJ-Eq	1.12
Total	MJ-Eq	18,1405

Πίνακας 5.3.3.2 Αποτελέσματα ανάλυσης σκυροδέματος μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Γενικά από όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν και για τις δύο περιπτώσεις κτιρίων, το τσιμέντο έχει την λιγότερη κατανάλωση ενέργειας. Αντίστοιχη, χαμηλή συνεισφορά έχουν και στα αέρια του θερμοκηπίου με πρώτη αυτή της οικοτοξικότητας θαλάσσιων υδρόβιων και στην συνέχεια την παγκόσμια θέρμανση.

### 5.3.4 Επίχρισμα

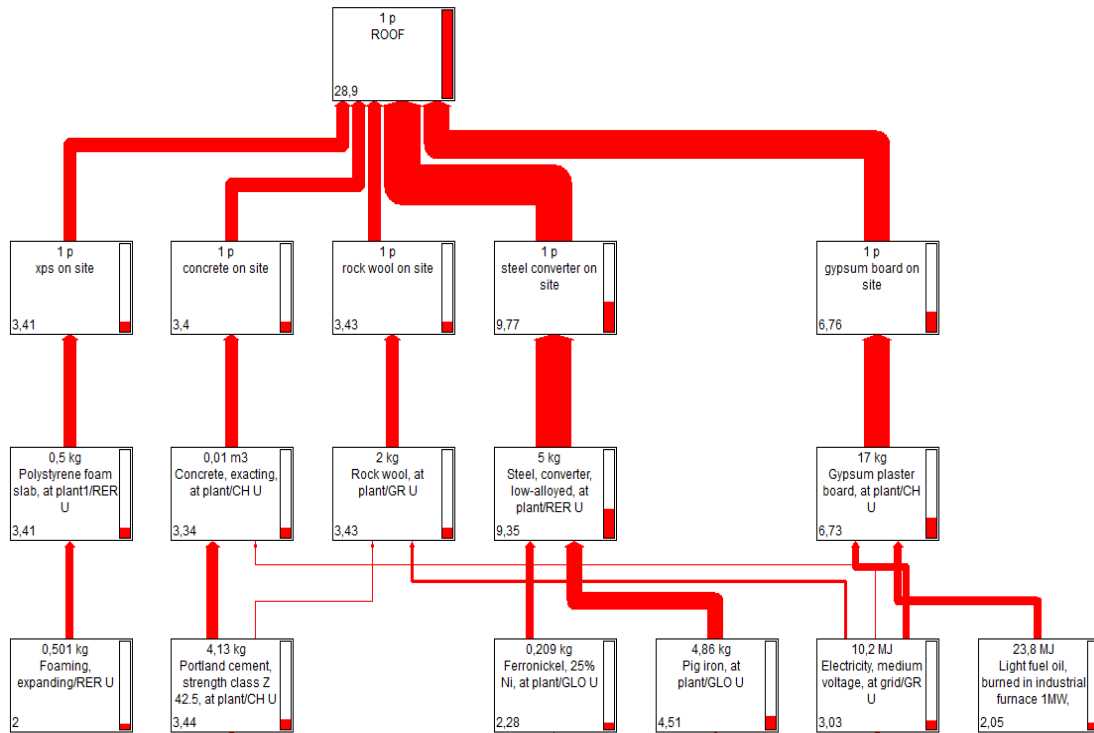
Και στις δύο περιπτώσεις των κατασκευών μας χρησιμοποιήθηκε ένα κοινό είδος μπογιάς για ευκολία των υπολογισμών. Τα δεδομένα για αυτό το υλικό πάρθηκαν κατευθείαν από το λογισμικό του SIMA PRO αλλάζοντας μόνο τις πηγές ενέργειας, σε ηλεκτρισμό και καύσιμα. Το υλικό της μπογιάς που χρησιμοποιήθηκε έχει ως βάση το νερό σε σύσταση 60% , η επιλογή αυτή έγινε ως μία επιλογή φιλικότερη προς το περιβάλλον. Το υλικό που επιλέχθηκε είναι το Alcyd paind, white,60% in H2O, at plant,RER/U.

### 5.3.5 Αποτελέσματα

Όπως και στο κτίριο με την μεταλλική κατασκευή, έτσι και εδώ, ακολουθούν οι αναλύσεις-διαγράμματα των πάνελ για κάθε είδος τοιχοποιίας της συμβατικής κατασκευής.

Για λόγους πληρότητας αναφέρονται ξανά το πάνελ της οροφής και του δαπέδου.

Σκεπή:  
GWP:

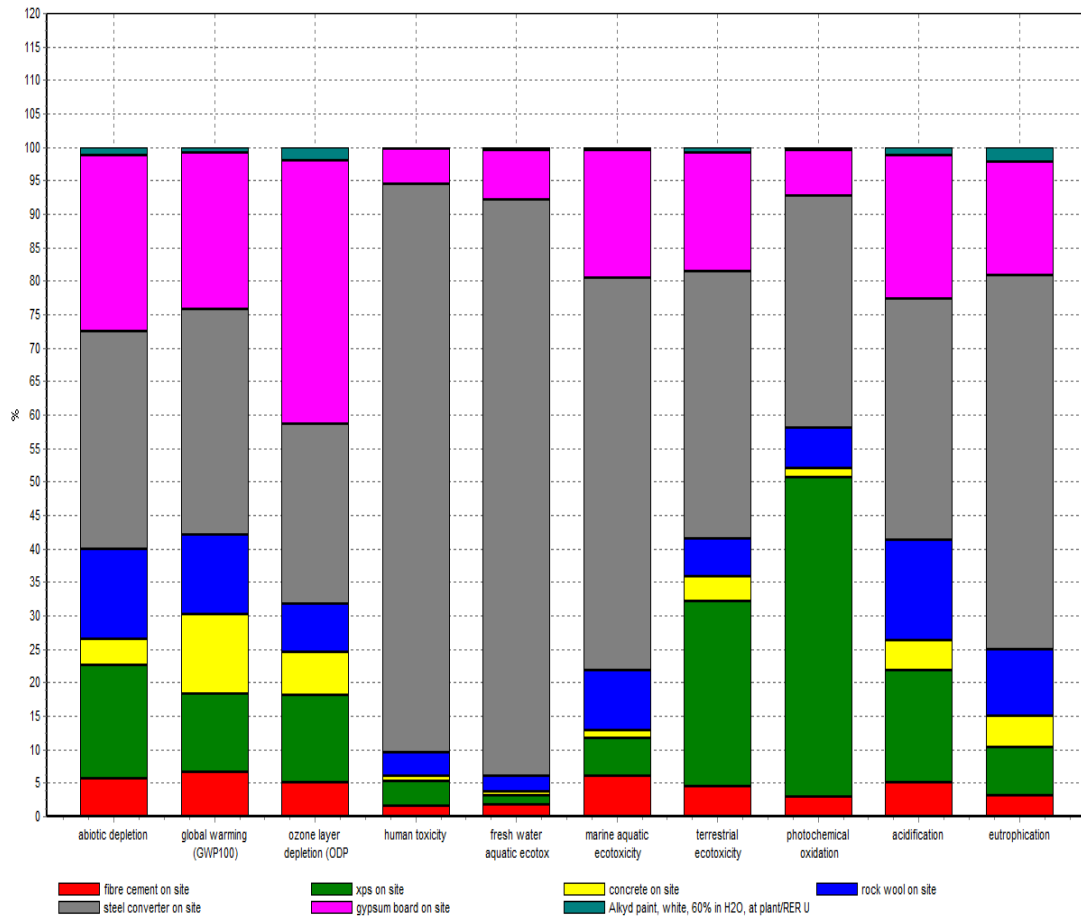


Διάγραμμα 5.3.5.1 Δίκτυο διεργασιών πάνελ οροφής μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 ( SimaPro)

Impact category	Unit	Roof 1m2 ,at plant	OSB	Total
Abiotic depletion	Kg Sb eq	0,20	0,236	0,43
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	28,90	21	49,90
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	0,00	8,52E-07	0,00
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	34,60	43	77,60
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	11,50	15,1	26,60
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	19700,00	2,90E+04	48700,00
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0,14	0,855	1,00

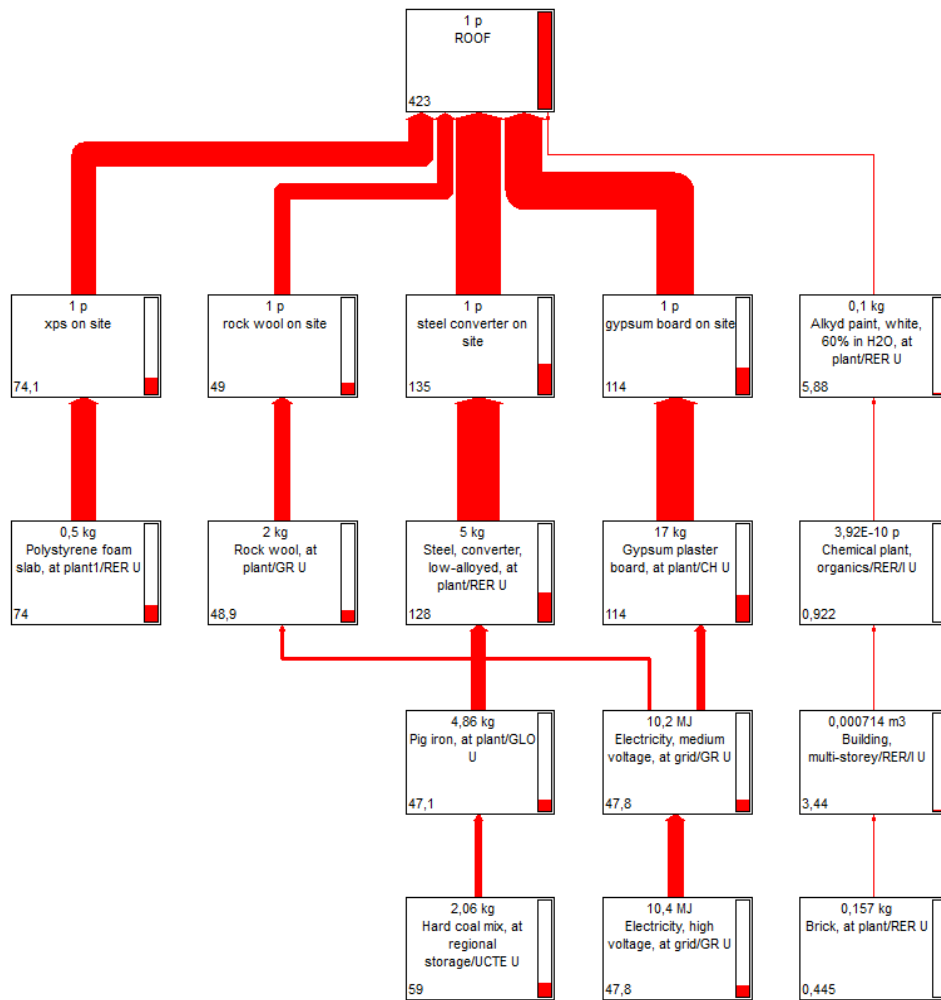
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0,02	0,0121	0,03
Acidification	Kg SO2 eq	0,14	0,102	0,24
Eutrophication	Kg PO4---eq	0,02	0,0864	0,11

Πίνακας 5.3.5.1 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 πάνελ οροφής (SimaPro)



Διάγραμμα 5.3.5.2 Ανάλυση δείκτη GWP πάνελ οροφής (SimaPro)

CED:

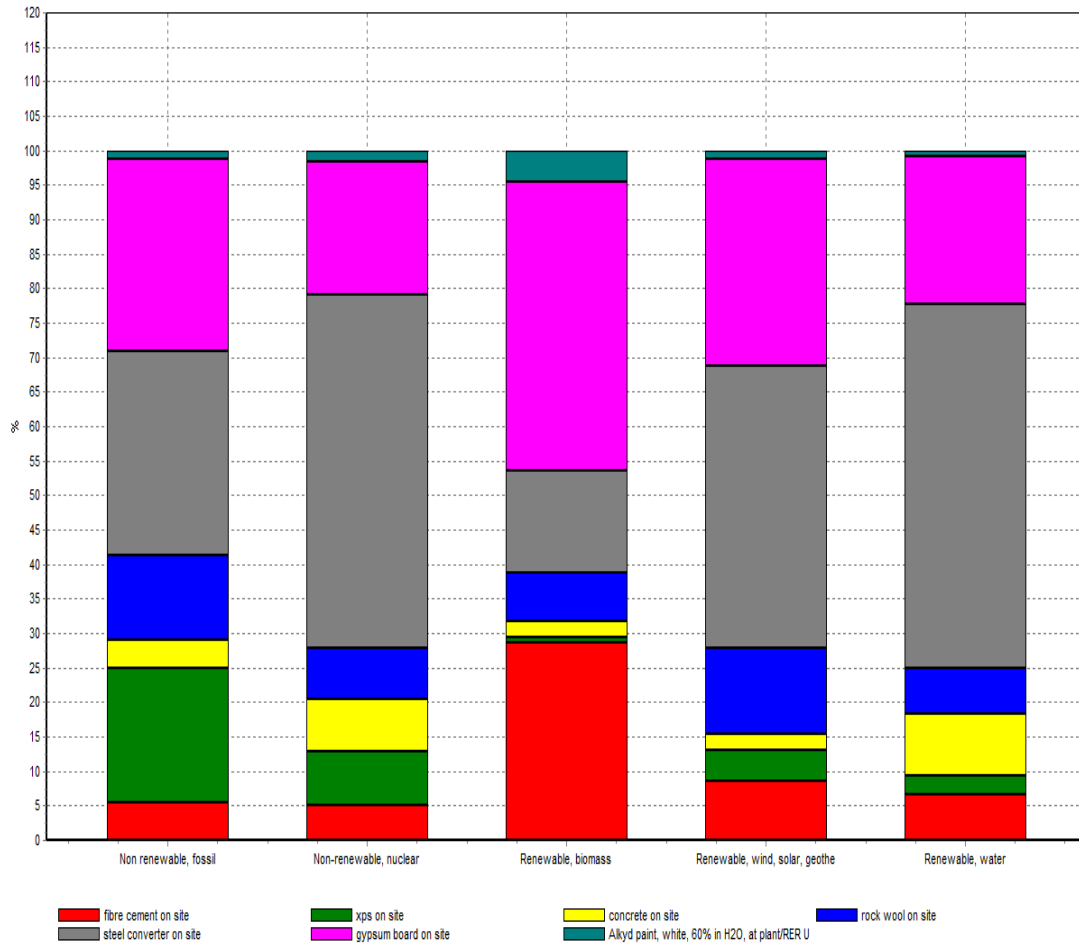


Διάγραμμα 5.3.5.3 Δίκτυο διεργασιών πάνελ οροφής μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Roof 1m2 ,at plant	OSB	Total
Non renewable, fossil	MJ-Eq	363	457	820
Non renewable, nuclear	MJ-Eq	38,4	35,6	74
Renewable, biomass	MJ-Eq	7,42	0,000165	7,420165
Renewable, wind, solar, geother	MJ-Eq	1,2	1	2,2
Renewable, water	MJ-Eq	12,7	7,41	20,11

Total	MJ-Eq			923,76
-------	-------	--	--	--------

Πίνακας 5.3.5.2 Αποτελέσματα ανάλυσης CED πάνελ οροφής μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

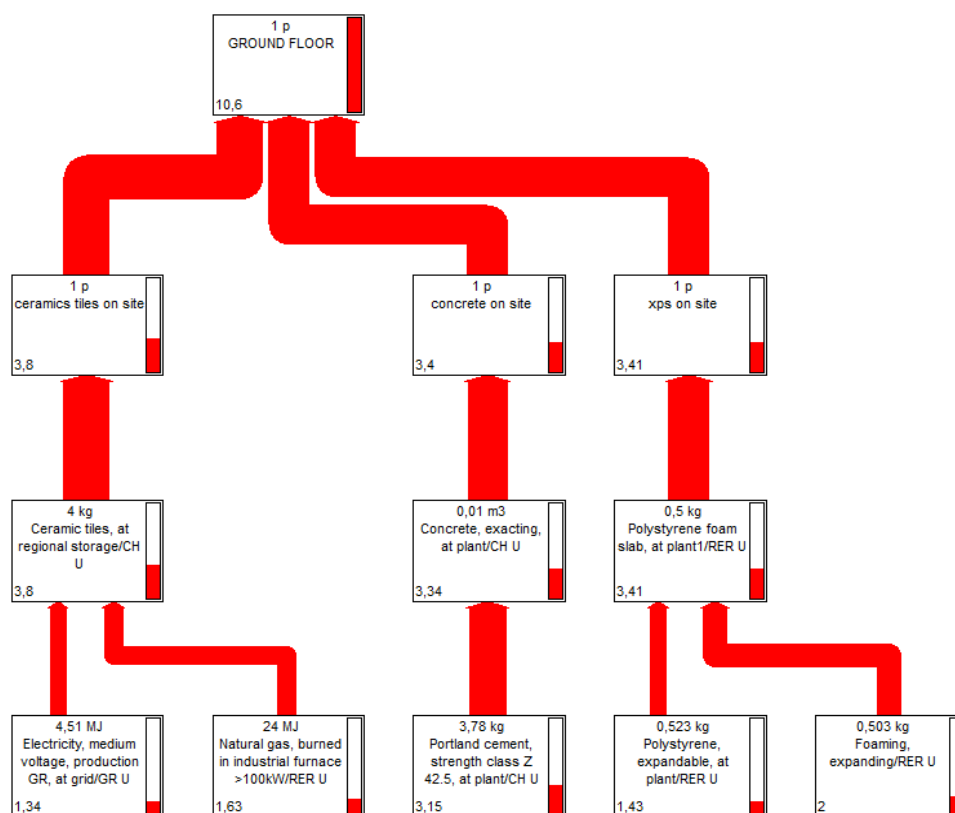


Διάγραμμα 5.3.5.4 Ανάλυση δείκτη CED οροφής (SimaPro)

Παίρνοντας και πάλι σαν στοιχείο όλη την οροφή παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας την έχει ο χάλυβας ενώ την μικρότερη το τσιμέντο και η μόνωση από Rockwool και XPS. Στη συνεισφορά στην εκπομπή αερίων του θερμοκηπίου την πρώτη θέση έχει ο χάλυβας ενώ στις τελευταίες θέσεις βρίσκονται το χρώμα βαψίματος και το τσιμέντο.

Δάπεδο:

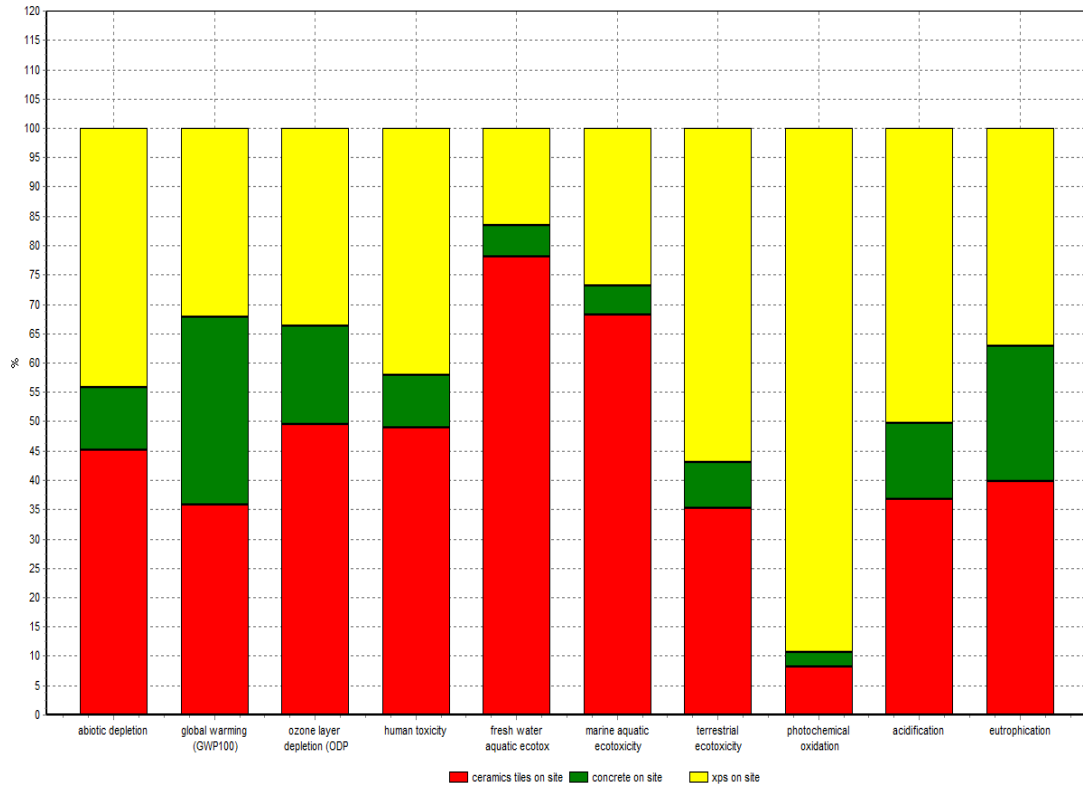
GWP:



Διάγραμμα 5.3.5.6 Δίκτυο διεργασιών δαπέδου μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 ( SimaPro)

Impact category	Unit	Ground floor 1m2 ,at plant
Abiotic depletion	Kg Sb eq	0.0744
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	10.6
Ozone depletion(ODP) layer	Kg CFC-11eq	6.81E-7
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	3.05
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	0.958
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	4.21E3
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0.0687
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0.00952
Acidification	Kg SO2 eq	0.0463
Eutrophication	Kg PO4---eq	0.00395

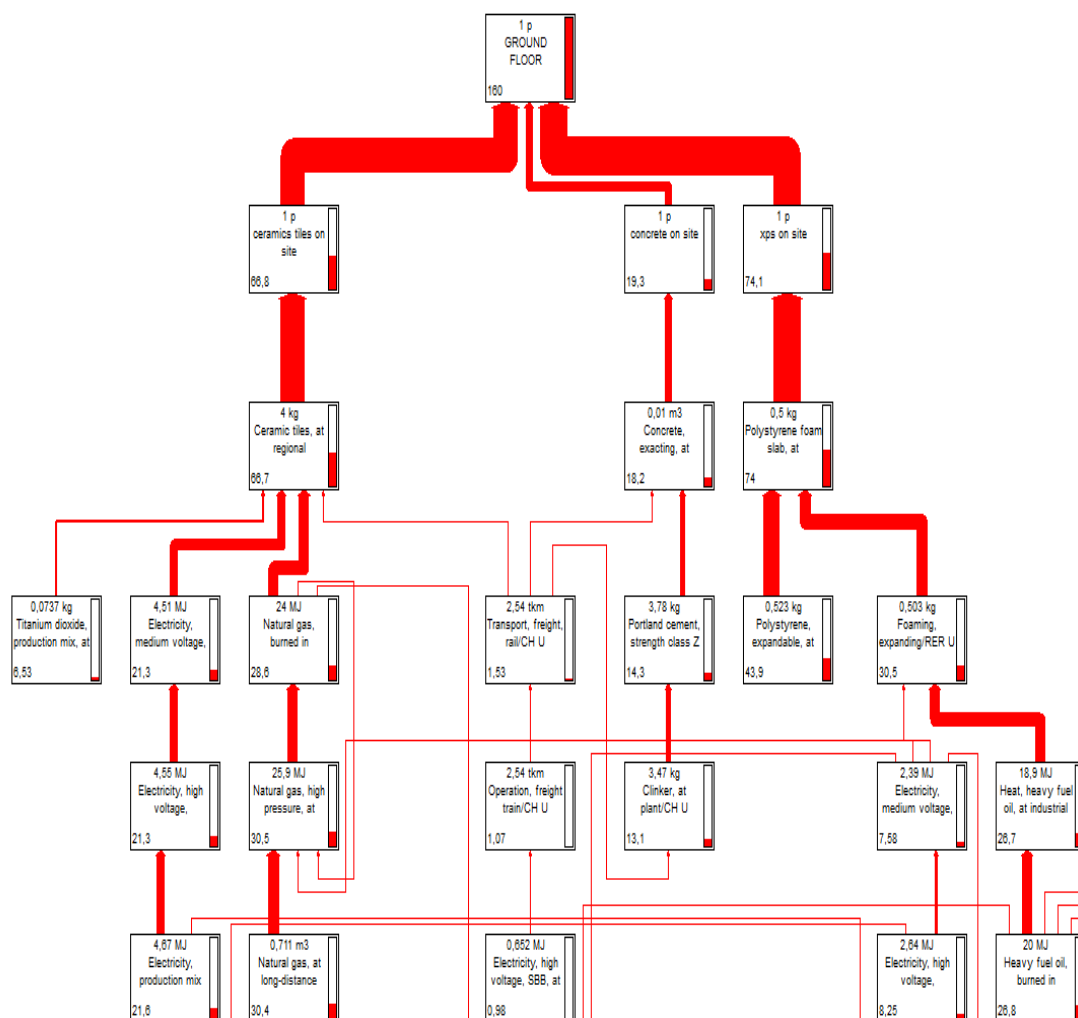
Πίνακας 5.3.5.3 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 δαπέδου (SimaPro)



Διάγραμμα 5.3.5.7 Ανάλυση δείκτη GWP δαπέδου (SimaPro)



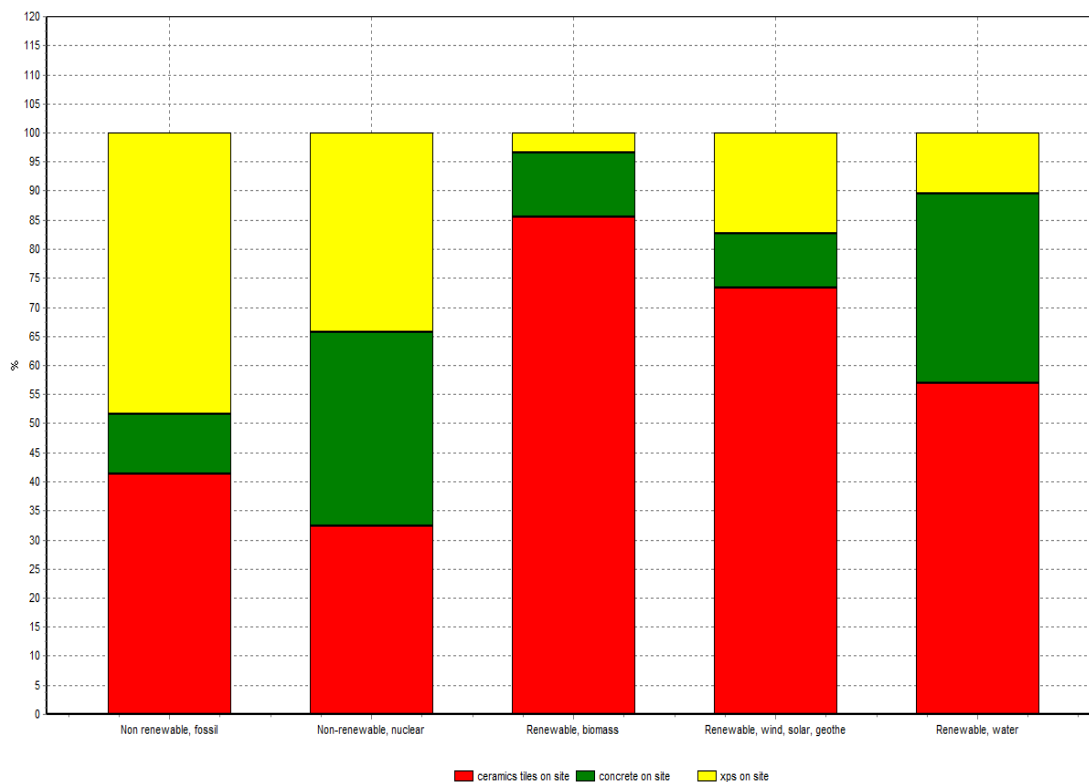
CED:



Διάγραμμα 5.3.5.8 Δίκτυο διεργασιών για την παραγωγή ενός πάνελ δαπέδου μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Ground floor ,at plant
Non renewable, fossil	MJ-Eq	146
Non renewable, nunclear	MJ-Eq	8.65
Renewable,biomass	MJ-Eq	1.59
Renewable,wind,solar,geothe	MJ-Eq	0.307
Renewable, water	MJ-Eq	3.49
Total	MJ-Eq	160,037

Πίνακας 5.3.5.4 Αποτελέσματα ανάλυσης δαπέδου μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

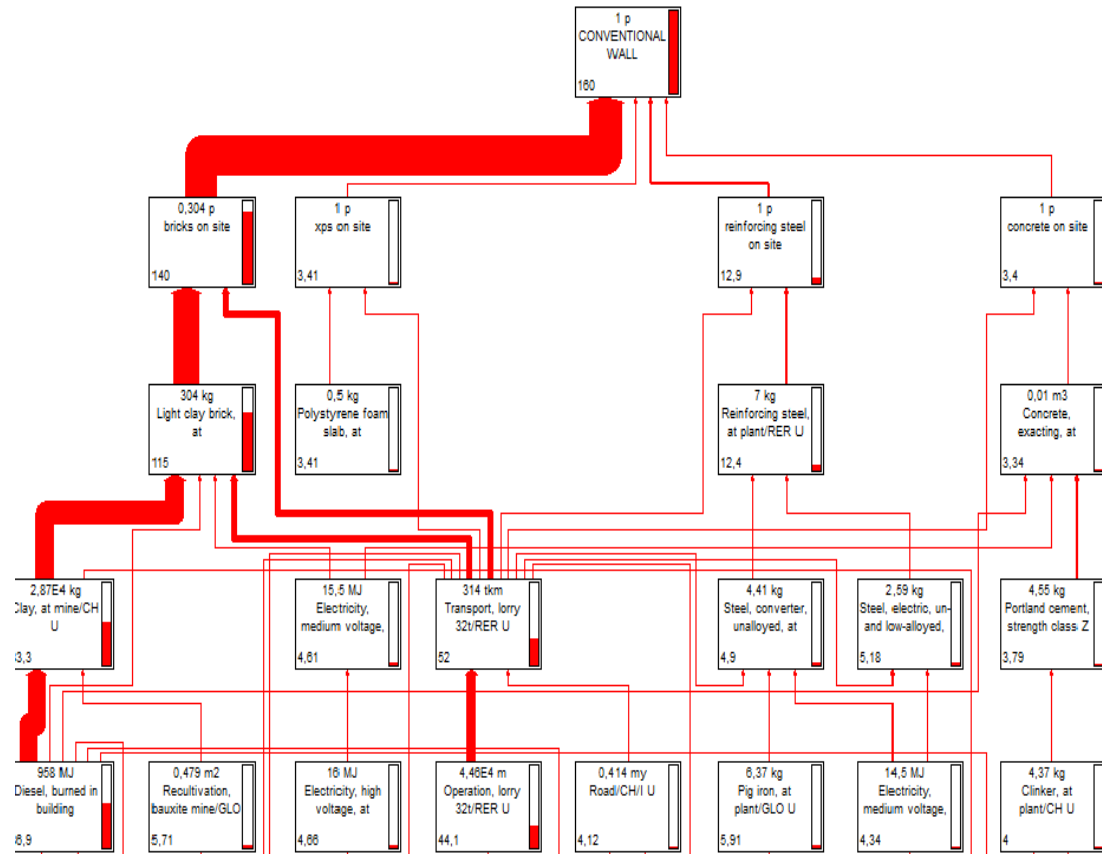


Διάγραμμα 5.3.5.9 Ανάλυση δείκτη CED πάνελ δαπέδου (SimaPro)

Στο δάπεδο παρατηρούμε ότι από πλευράς ενεργειακής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας και τα τρία υλικά δεν διαφέρουν ιδιαίτερα, με μικρότερη κατανάλωση να την έχει το τσιμέντο φυσικά. Σημαντική διαφορά όμως υπάρχει στην συνεισφορά των υλικών στα αέρια του θερμοκηπίου με την μικρότερη συνεισφορά να την έχει το τσιμέντο ενώ τα άλλα δύο υλικά να μην διαφέρουν στο σύνολο πολύ. Μεγάλη διαφορά υπάρχει στην συνεισφορά προς την φωτοχημική οξείδωση με την εξηλασμένη πολυστερίνη να έχει πολύ μεγαλύτερο ποσοστό έναντι των άλλων δύο υλικών.

## Συμβατικός εξωτερικός τοίχος:

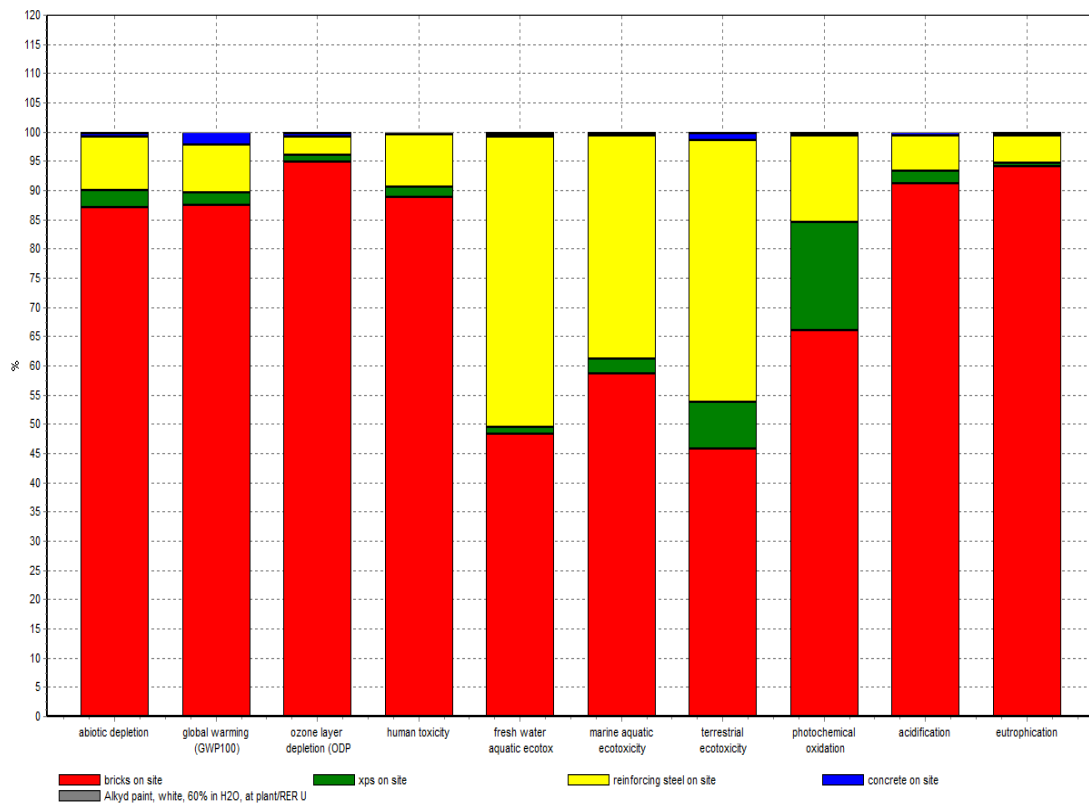
GWP:



Διάγραμμα 5.3.5.10 Δίκτυο διεργασιών συμβατικής τοιχοποιίας της μεθόδου CML 2 baseline 2000 ( SimaPro)

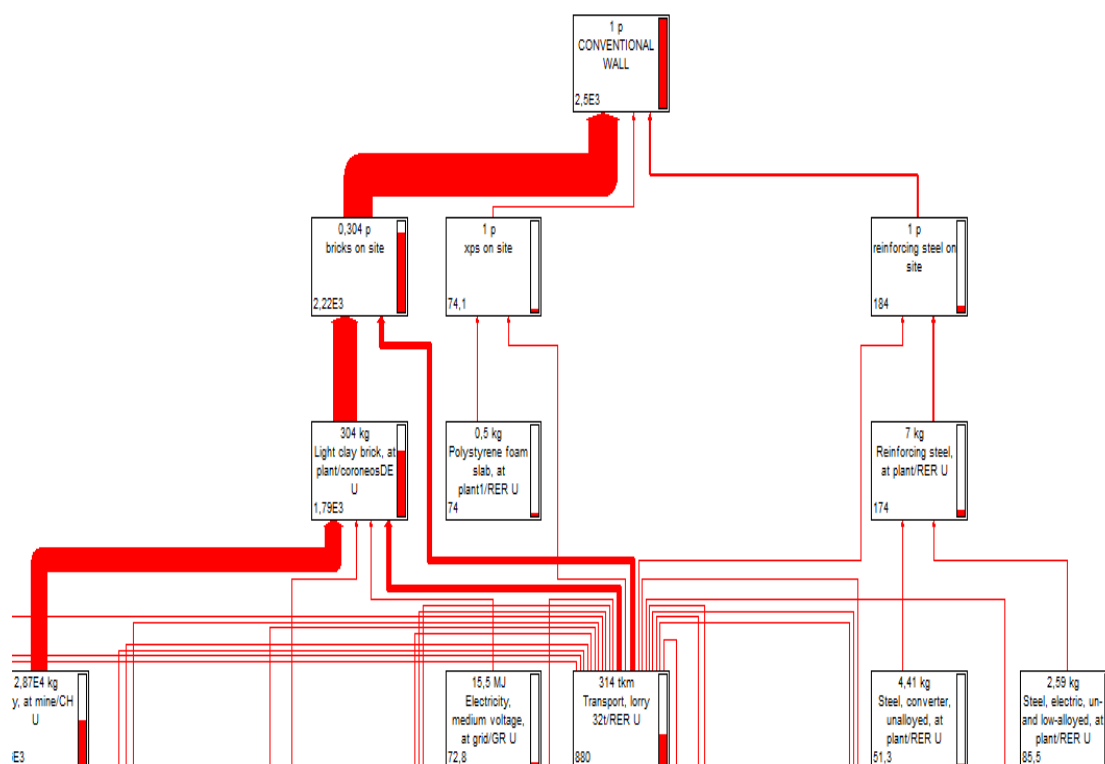
Impact category	Unit	Conventional wall ,at plant
Abiotic depletion	Kg Sb eq	1.11
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	160
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	1.88E-5
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	76.5
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	13.4
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	4.29E4
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0.489
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0.0458
Acidification	Kg SO2 eq	1.09
Eutrophication	Kg PO4---eq	0.215

Πίνακας 5.3.5.5 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 συμβατικής τοιχοποιίας (SimaPro)



Διάγραμμα 5.3.5.11 Ανάλυση δείκτη GWP συμβατικής τοιχοποιίας (SimaPro)

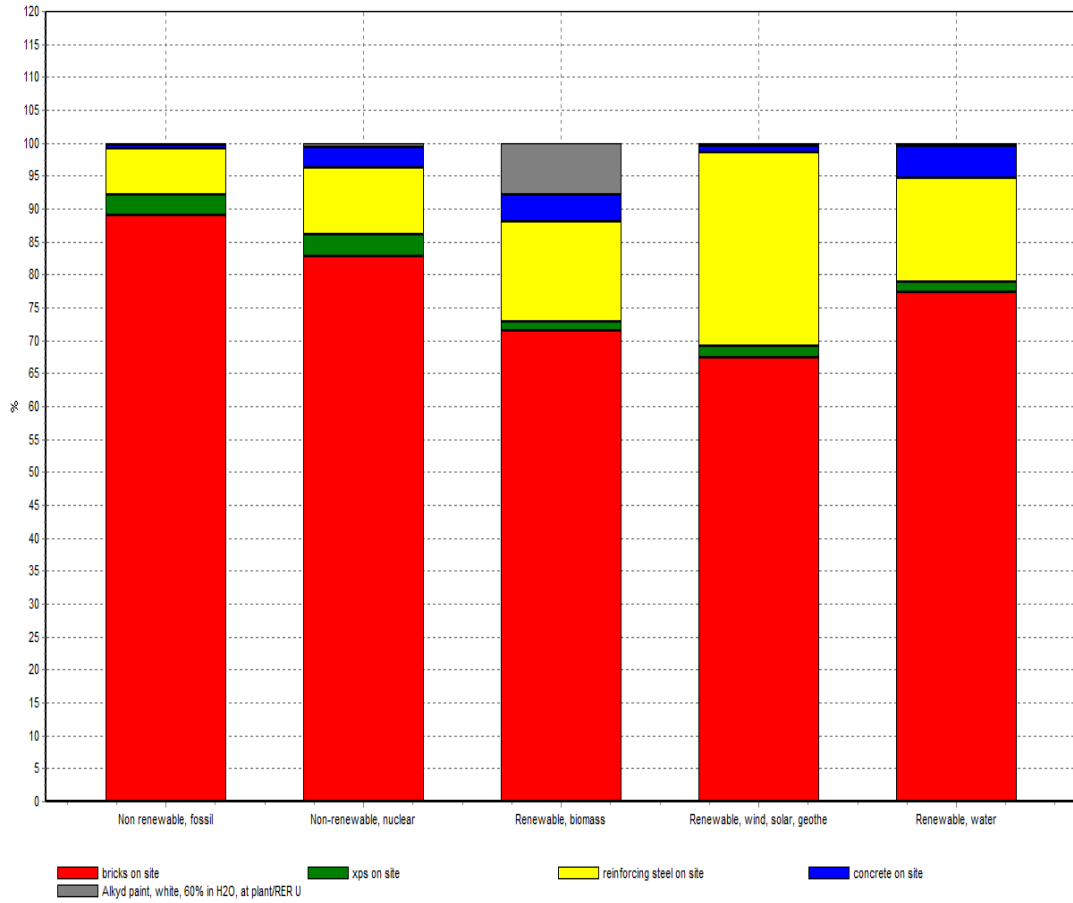
CED:



Διάγραμμα 5.3.5.12 Δίκτυο διεργασιών για την παραγωγή πάνελ συμβατικής εξ. τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Conventional wall
Non renewable, fossil	MJ-Eq	2.38E3
Non renewable, nuclear	MJ-Eq	92.4
Renewable, biomass	MJ-Eq	4.26
Renewable, wind, solar, geother	MJ-Eq	3.03
Renewable, water	MJ-Eq	23.4
Total	MJ-Eq	2503.09

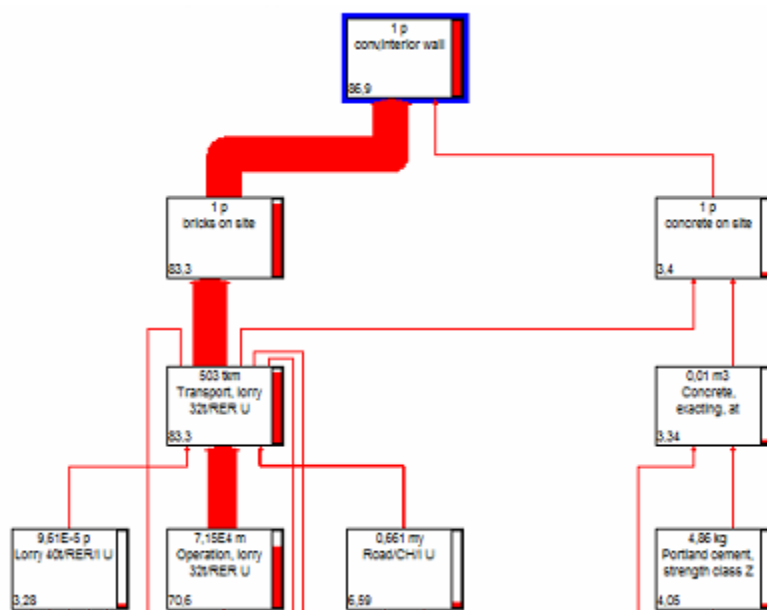
Πίνακας 5.3.5.6 Αποτελέσματα ανάλυσης CED εξωτερικής συμβατικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)



Διάγραμμα 5.3.5.13 Ανάλυση δείκτη CED συμβατικής τοιχοποιίας (SimaPro)

## Εσωτερικός συμβατικός τοίχος:

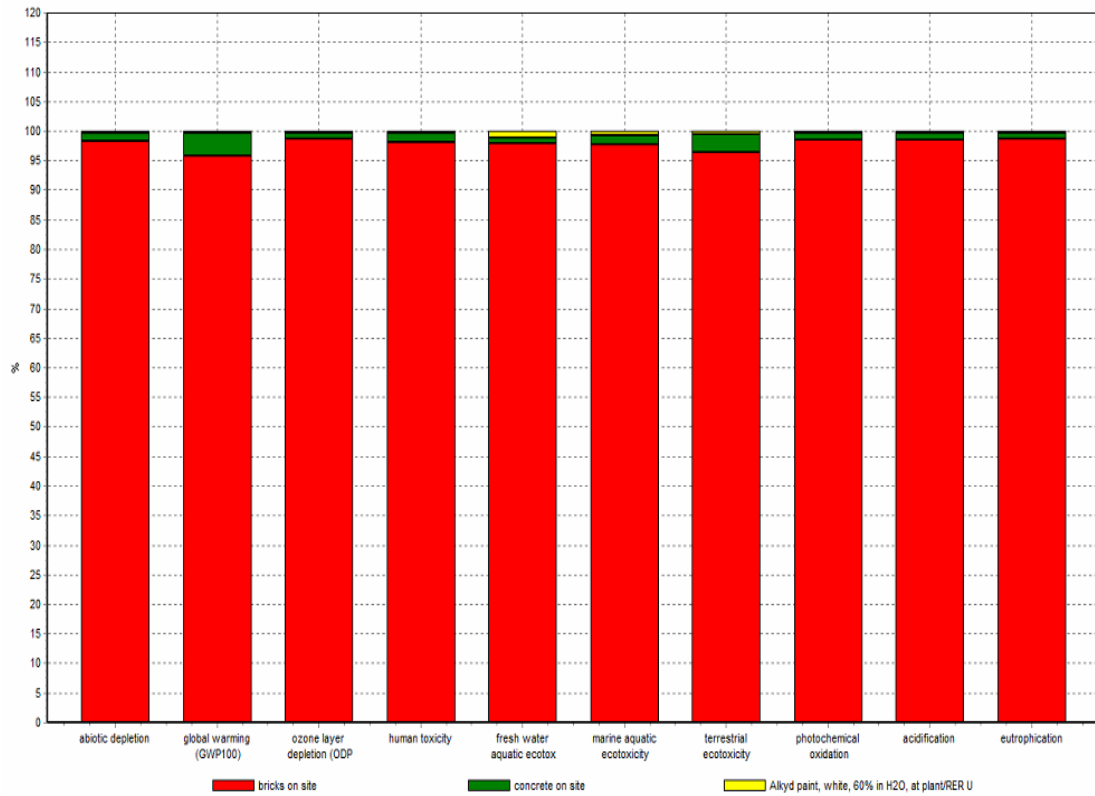
GWP:



Διάγραμμα 5.3.5.13 Δίκτυο διεργασιών εσωτερικής συμβατικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 ( SimaPro)

Impact category	Unit	Conv. interior wall
Abiotic depletion	Kg Sb eq	0.609
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	86,9
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	1.17E-5
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	20,2
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	5,28
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	1,29E4
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0.183
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0.0203
Acidification	Kg SO2 eq	0.498
Eutrophication	Kg PO4---eq	0.1

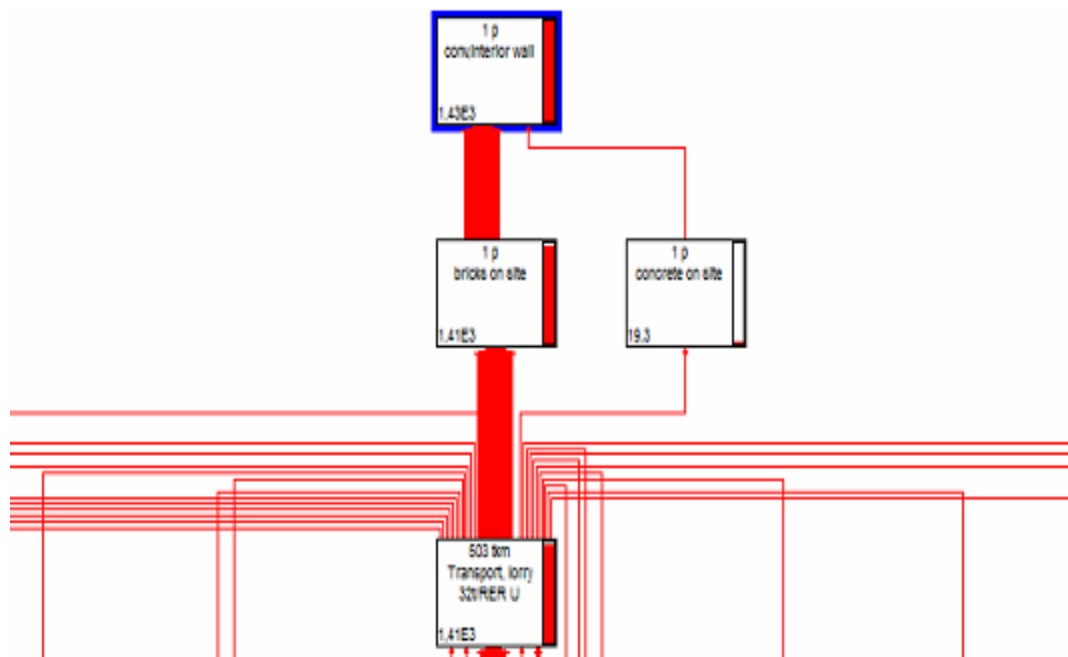
Πίνακας 5.3.5.7 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 εσωτερικής συμβατικής τοιχοποιίας (SimaPro)



Διάγραμμα 5.3.5.14 Ανάλυση δείκτη GWP εσωτερικής συμβατικής τοιχοποιίας (SimaPro)



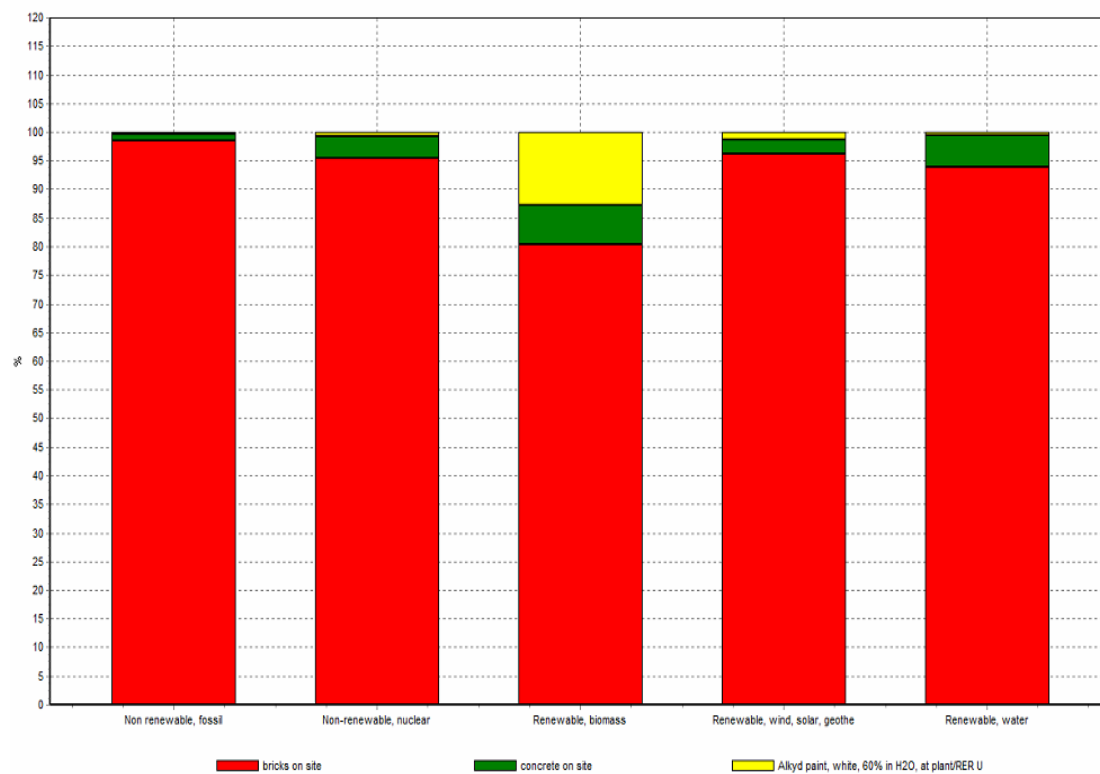
CED:



Διάγραμμα 5.3.5.14 Δίκτυο διεργασιών εσωτερικής συμβατικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Conv. interior wall
Non renewable, fossil	MJ-Eq	1,33E3
Non renewable, nuclear	MJ-Eq	76,3
Renewable, biomass	MJ-Eq	2,59
Renewable, wind, solar, geother	MJ-Eq	1,16
Renewable, water	MJ-Eq	20,2
Total	MJ-Eq	1430,25

Πίνακας 5.3.5.8 Αποτελέσματα ανάλυσης εσωτερικής συμβατικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)



Διάγραμμα 5.2.4.2 Ανάλυση δείκτη CED εσωτερικής συμβατικής τοιχοποιίας (SimaPro)

Παρατηρούμε εύκολα ότι το μεγαλύτερο ποσοστό κατανάλωσης ενέργειας καταναλώνεται από την παραγωγή και χρήση των τούβλων και ακολουθεί αυτή του τσιμέντου με εμφανή διαφορά. Στην συνεισφορά των αερίων του θερμοκηπίου μεγαλύτερη συνεισφορά έχει η παραγωγή και κατανάλωση των τούβλων.

## 5.4 Συγκριτική μελέτη σε επίπεδο κτιρίου

Σε αυτό το σημείο ως functional unit θα έχουμε ολόκληρο το κτίριο και όχι το κάθε πάνελ τοιχοποιίας ξεχωριστά. Για λόγους πληρότητας αναφέρουμε ξανά τα εμβαδά του κτιρίου.

Πίνακας 5.1: Εμβαδόν επιμέρους στοιχείων του κτιρίου υπό εξέταση

Τετραγωνικά κτιρίου (m <sup>2</sup> )	
Δάπεδο	13.32
Εσ. Πάτωμα	13.32
Παράθυρα πόρτες	5.58
Εξ. Τοίχοι	90.79
Σκεπή	31.086
Εσ. Τοίχοι	11.68

Για να ολοκληρωθεί η μελέτη AKZ για το σύνολο του κτιρίου και στις δύο περιπτώσεις των κατασκευών μας θεωρήθηκαν πόρτες και παράθυρα από αλουμίνιο και γυαλί. Για διευκόλυνση της έρευνας χρησιμοποιήθηκαν έτοιμα τα δύο αυτά υλικά αλλάζοντας μόνο τις πηγές ενέργειας τους. Τα υλικά που διαλέξαμε είναι τα Aluminum, primary ,at plant/RER/U και το Flat glass ,coated,at plant,RER/U.

### 5.4.1 Μεταλλική Κατασκευή

Σε αυτό το σημείο θα γίνει η αναγωγή των ποσοτήτων των υλικών για την μεταλλική μας κατασκευή από το 1m<sup>2</sup> στα τετραγωνικά των τοίχων του πιλοτικού μας κτιρίου.

Πίνακας 5.2: Ποσότητες υλικών μεταλλικής κατασκευής

Πίνακας υλικών ανα m <sup>2</sup> και κτιρίου			
	Υλικό	Ανα m <sup>2</sup>	Κτιρίου
Δάπεδο	Κεραμικά πλακάκια	4 kg	53.28 kg
	Σκυρόδεμα	0.8 m <sup>3</sup>	10.656 m <sup>3</sup>
	XPS	1 kg	13.32 kg
Εξ. Τοίχος	Τούβλο	304 kg	27600.76 kg
	XPS	0.5 kg	45.38 kg
	Σίδηρος	7 kg	635.35 kg
	Τσιμέντο	0.01 m <sup>3</sup>	0.9079 kg
	Μπογιά	0.1 kg	9.079 kg
Σκεπή	Πλάκα τσιμέντου	2 kg	62.172 kg
	XPS	0.5kg	15.543 kg
	Τσιμέντο	0.01 m <sup>3</sup>	0.31 m <sup>3</sup>
	Rockwool	2 kg	62.172 kg

	Αλουμίνιο	5 kg	155.43 kg
	OSB	0.01 m <sup>3</sup>	0.31 m <sup>3</sup>
	Γυψοσανίδα	17 kg	528.462 kg
	Μπογιά	0.1 kg	3.1086 kg
Εσ. Τοίχος	Τούβλο	304 kg	3550.72 kg
	Τσιμέντο	0.01 m <sup>3</sup>	0.1168 m <sup>3</sup>
	Μπογιά	0.1 kg	1.168 kg
Πάτωμα	Κεραμικά πλακάκια	4 kg	53.28 kg
	Σκυρόδεμα	0.8 m <sup>3</sup>	10.656 m <sup>3</sup>
	XPS	1 kg	13.32 kg

### 5.4.2 Συμβατική Κατασκευή

Σε αυτό το σημείο θα γίνει η αναγωγή των ποσοτήτων των υλικών για την συμβατική μας κατασκευή από το 1m<sup>2</sup> στα τετραγωνικά των τοίχων του πιλοτικού μας κτιρίου.

Πίνακας 5.2: Ποσότητες υλικών μεταλλικής κατασκευής

Πίνακας υλικών ανα m <sup>2</sup> και κτιρίου			
	Υλικό	Ανα m <sup>2</sup>	Κτιρίου
Δάπεδο	Κεραμικά πλακάκια	4 kg	53.28 kg
	Σκυρόδεμα	0.8 m <sup>3</sup>	10.656 m <sup>3</sup>
	XPS	1 kg	13.32 kg
Εξ. Τοίχος	Τούβλο	304 kg	27600.76 kg
	XPS	0.5 kg	45.38 kg
	Σίδηρος	7 kg	635.35 kg
	Τσιμέντο	0.01 m <sup>3</sup>	0.9079 kg
	Μπογιά	0.1 kg	9.079 kg
Σκεπή	Πλάκα τσιμέντου	2 kg	62.172 kg
	XPS	0.5kg	15.543 kg
	Τσιμέντο	0.01 m <sup>3</sup>	0.31 m <sup>3</sup>
	Rockwool	2 kg	62.172 kg
	Αλουμίνιο	5 kg	155.43 kg
	OSB	0.01 m <sup>3</sup>	0.31 m <sup>3</sup>
	Γυψοσανίδα	17 kg	528.462 kg
	Μπογιά	0.1 kg	3.1086 kg
Εσ. Τοίχος	Τούβλο	304 kg	3550.72 kg
	Τσιμέντο	0.01 m <sup>3</sup>	0.1168 m <sup>3</sup>
	Μπογιά	0.1 kg	1.168 kg
Πάτωμα	Κεραμικά πλακάκια	4 kg	53.28 kg
	Σκυρόδεμα	0.8 m <sup>3</sup>	10.656 m <sup>3</sup>
	XPS	1 kg	13.32 kg

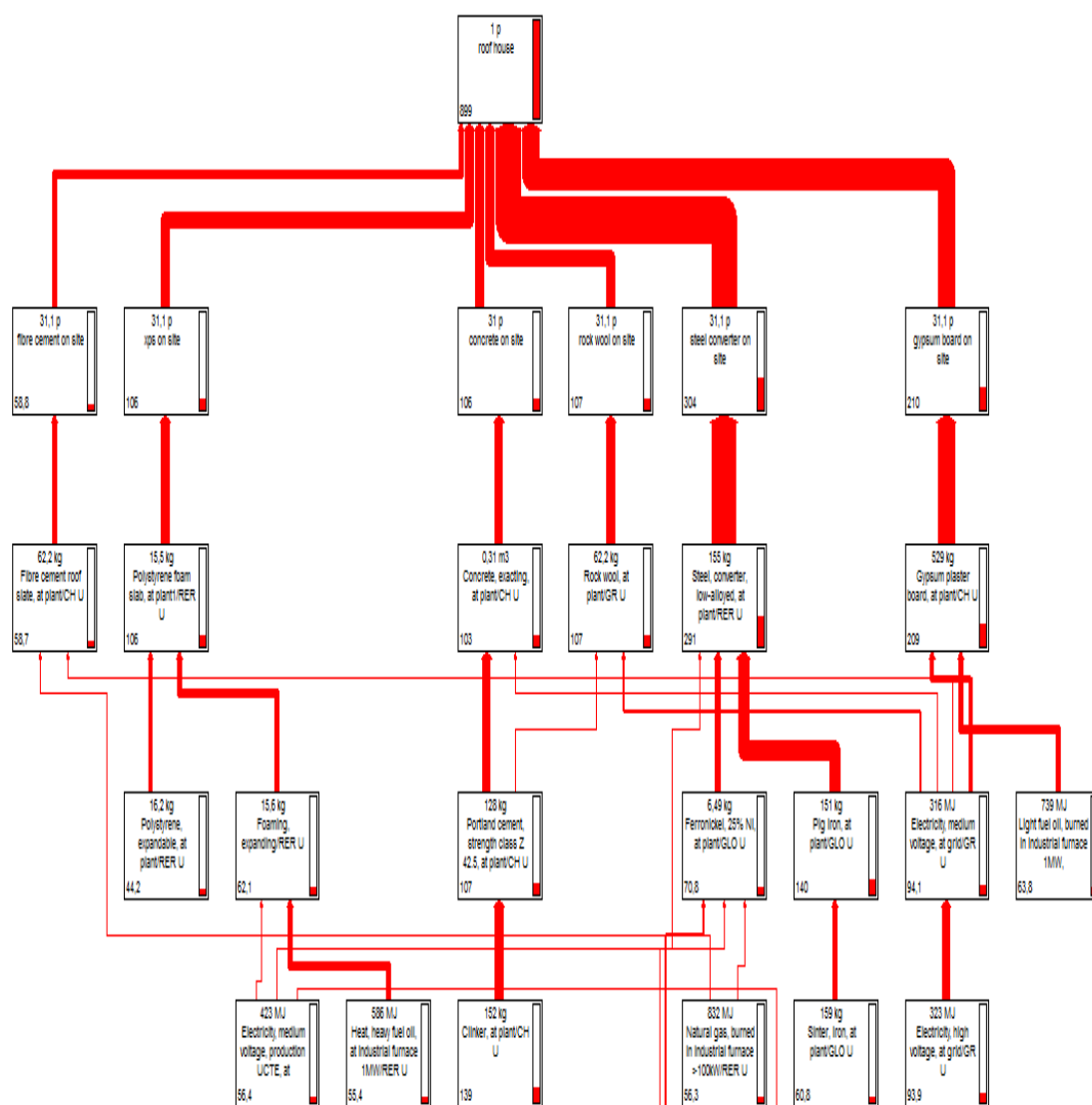
### 5.4.3 Αποτελέσματα συγκριτικής μελέτης

Σε αυτό το κεφάλαιο θα συγκρίνουμε τους δείκτες GWP και CED για ολόκληρο το σπίτι και για τις δύο περιπτώσεις.

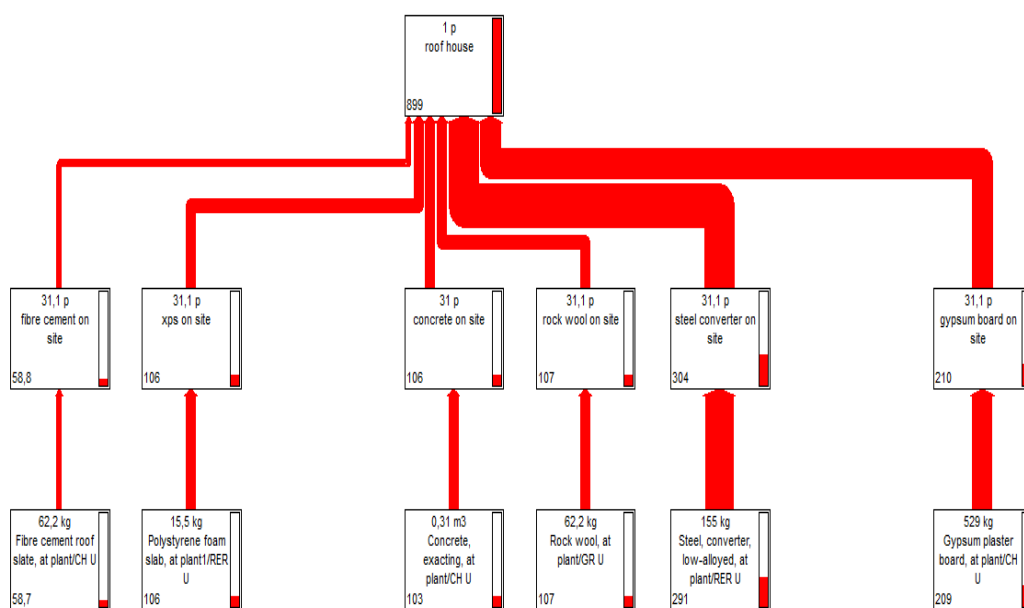
#### Μεταλλική κατασκευή

Οροφή:

GWP:

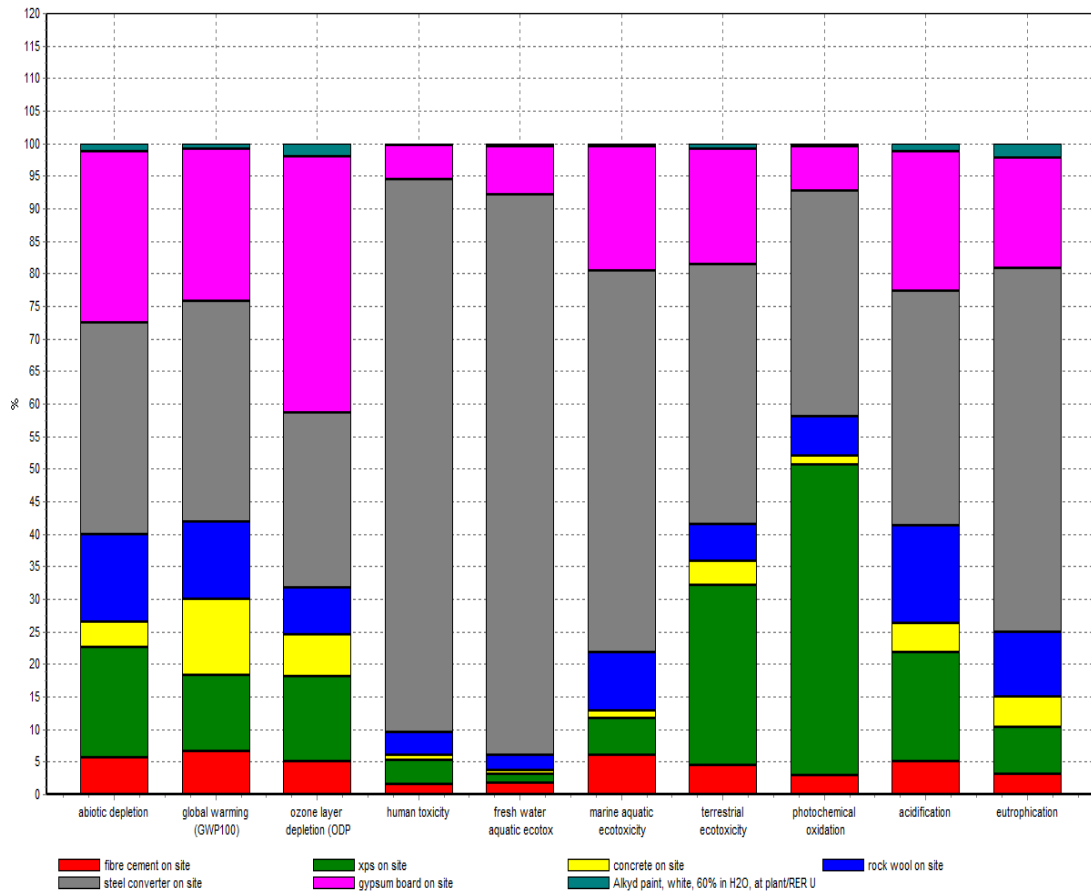


Διάγραμμα 5.4.3.1 Δίκτυο διεργασιών οροφής μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 ( SimaPro)

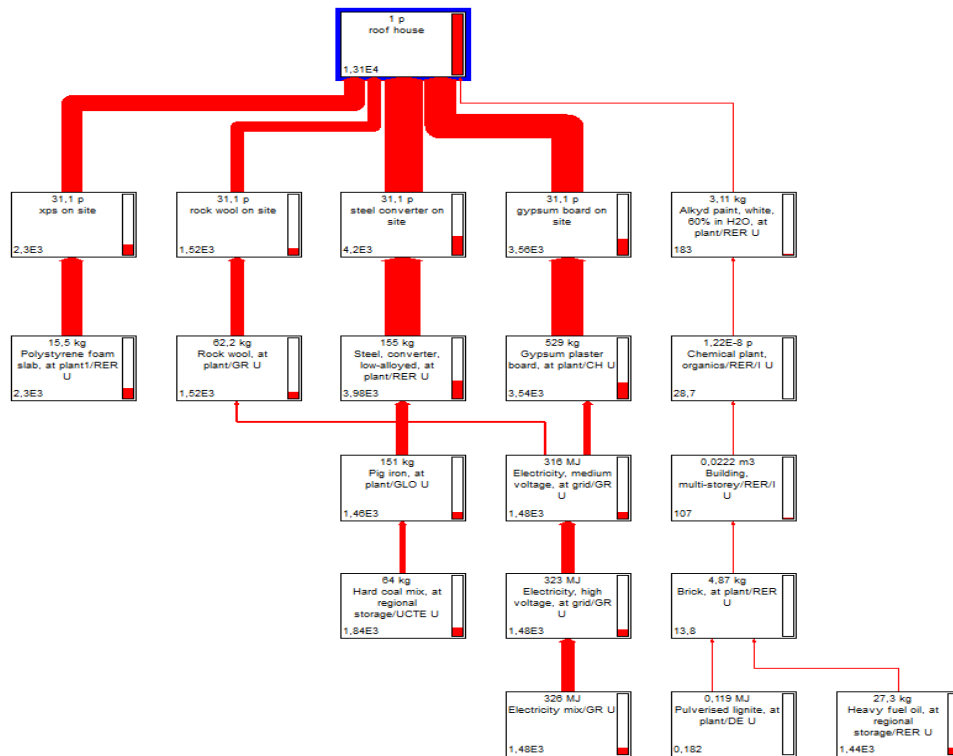


Διάγραμμα 5.4.3.1 Δίκτυο διεργασιών οροφής μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 ( SimaPro)

Impact category	Unit	Roof House	OSB	Total
Abiotic depletion	Kg Sb eq	6,07	236	46,19
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	899	21	902,57
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	5,45E-05	8,52E-07	0,00
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	1,08E+03	43	1087,31
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	357	15,1	359,57
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	6,13E+05	29000	617930,00
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	4,41	0,855	4,56
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0,554	0,0121	0,56
Acidification	Kg SO2 eq	4,3	0,102	4,32
Eutrophication	Kg PO4---eq	0,616	0,0864	0,63



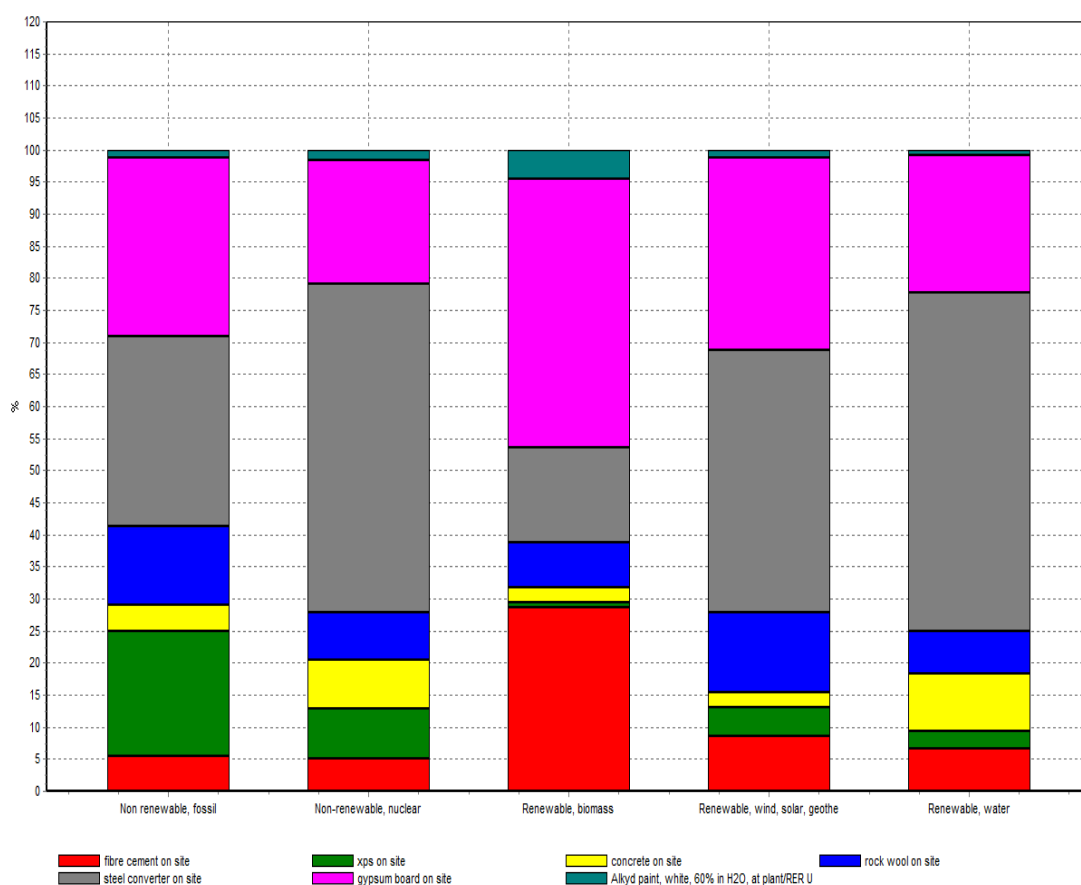
Διάγραμμα 5.4.3.2 Ανάλυση δείκτη GWP οροφής (SimaPro)  
CED:



Διάγραμμα 5.4.3.3 Δίκτυο διεργασιών οροφής μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Roof House	OSB	Total
Non renewable, fossil	MJ-Eq	1,13E+04	457	1,14E+04
Non renewable, nuclear	MJ-Eq	1,19E+03	35,6	1,20E+03
Renewable, biomass	MJ-Eq	231	0,000165	2,31E+02
Renewable, wind, solar, geother	MJ-Eq	37,2	1	3,74E+01
Renewable, water	MJ-Eq	395	7,41	3,96E+02
Total	MJ-Eq			1,33E+04

Πίνακας 5.4.3.2 Αποτελέσματα ανάλυσης οροφής μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)



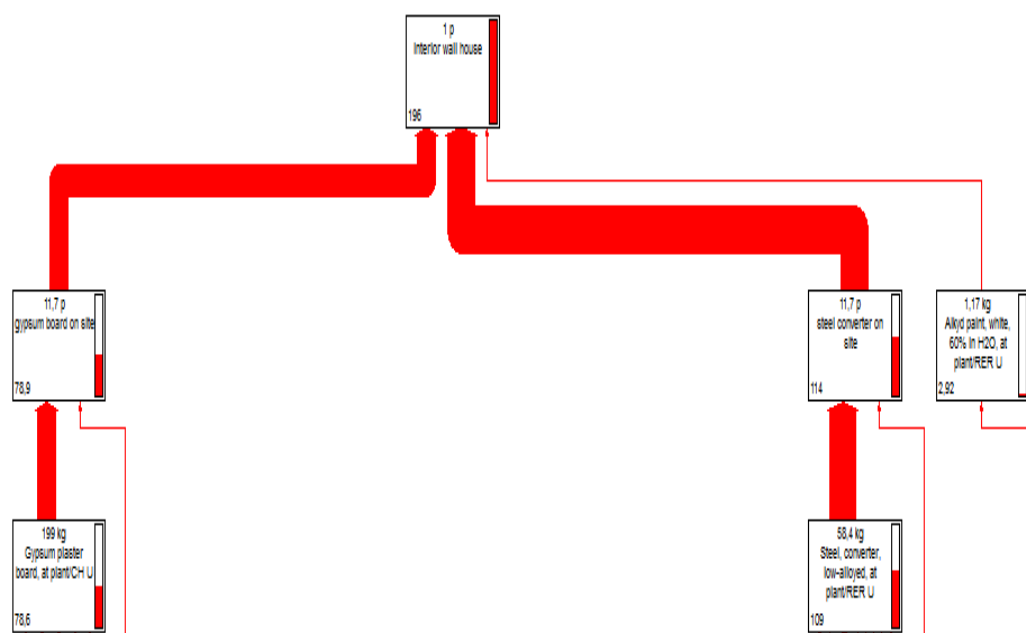
Διάγραμμα 5.4.3.3 Ανάλυση δείκτη CED οροφής (SimaPro)



Σε συνέχεια των αναλύσεων, έχοντας αυτή την φορά ως functional unit το κτίριο ολόκληρο εύκολα παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ενεργειακής κατανάλωσης το έχει το υλικό χάλυβας και στην συνέχεια η γυψοσανίδα με την εξηλασμένη πολυστερίνη, ενώ η μόνωση από Rockwool και το τσιμέντο κυμαίνονται στα ίδια επίπεδα.

### Εσωτερική τοιχοποιία:

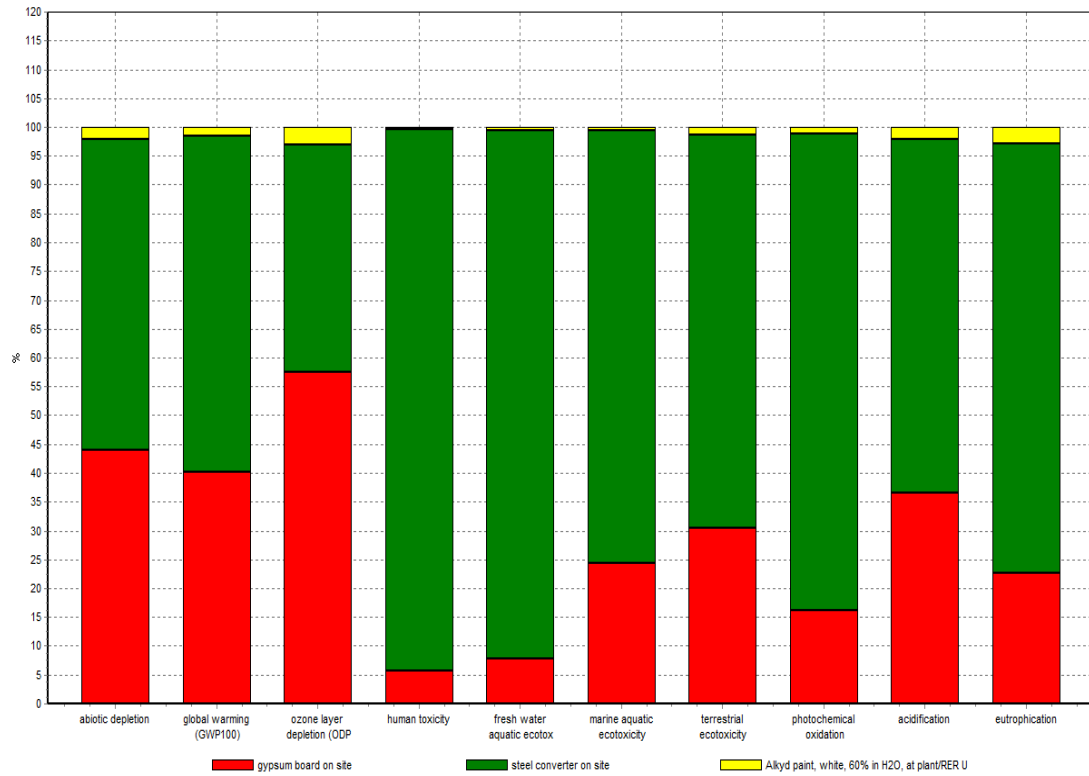
CWP:



Διάγραμμα 5.4.3.4 Δίκτυο διεργασιών εσωτερικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 ( SimaPro)

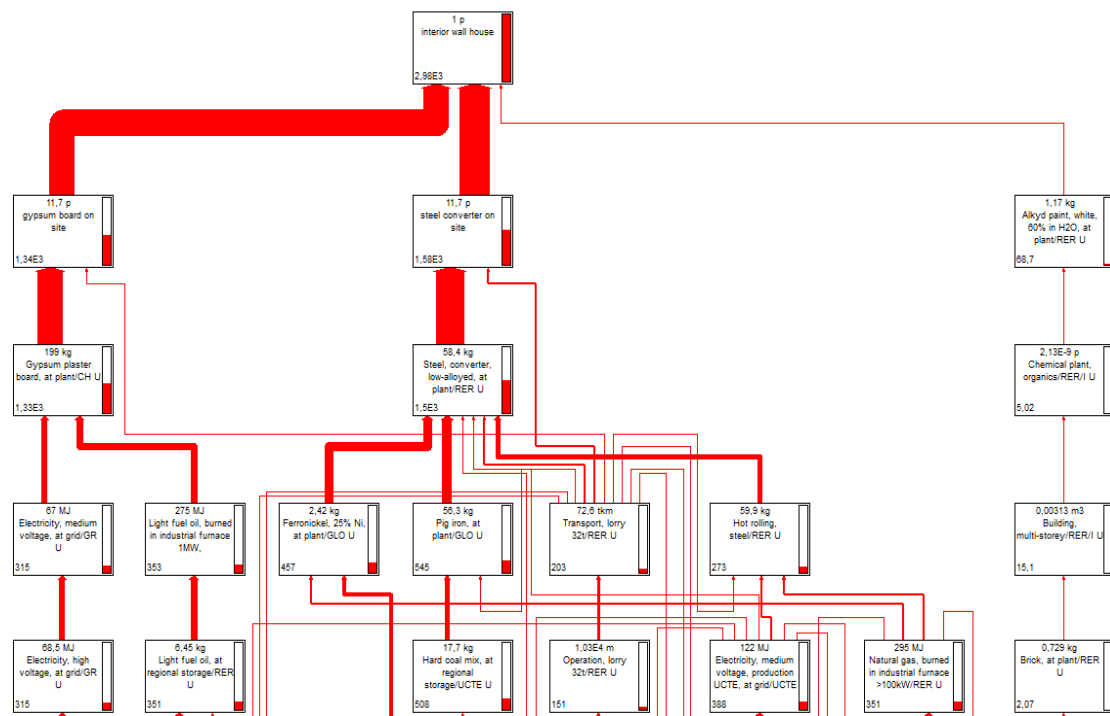
Impact category	Unit	interior wall House
Abiotic depletion	Kg Sb eq	1.37
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	196
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	1.4E-5
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	366
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	126
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	1.8E5
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0.97
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0.0874
Acidification	Kg SO2 eq	0.947
Eutrophication	Kg PO4---eq	0.174

Πίνακας 5.4.3.3 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 εσωτερικής τοιχοποιίας (SimaPro)



Διάγραμμα 5.4.3.5 Ανάλυση δείκτη GWP εσωτερικής τοιχοποιίας (SimaPro)

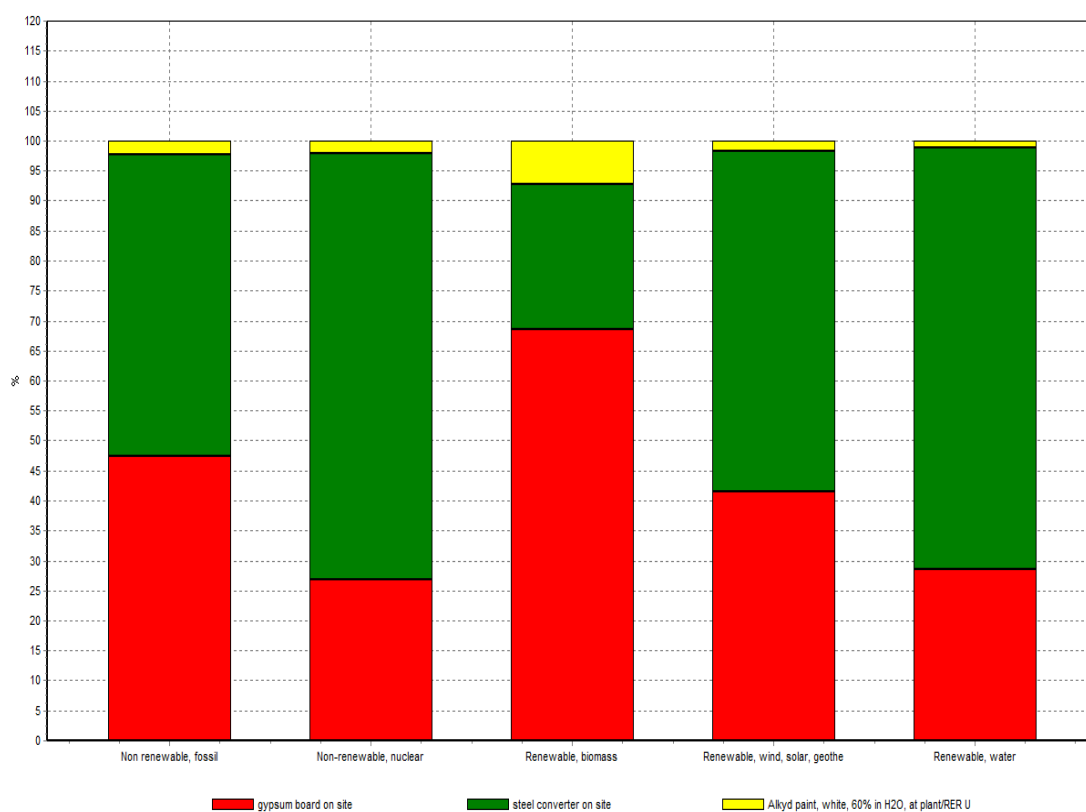
CED:



Διάγραμμα 5.4.3.6 Δίκτυο διεργασιών εσωτερικής τοιχοποιίας ενός φύλλου πολυστερίνης μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Interior wall House
Non renewable, fossil	MJ-Eq	2.49E3
Non renewable, nuclear	MJ-Eq	323
Renewable, biomass	MJ-Eq	53
Renewable, wind, solar, geother	MJ-Eq	10.1
Renewable, water	MJ-Eq	111
Total	MJ-Eq	2.99E+03

Πίνακας 5.4.3.4 Αποτελέσματα ανάλυσης εσωτερικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

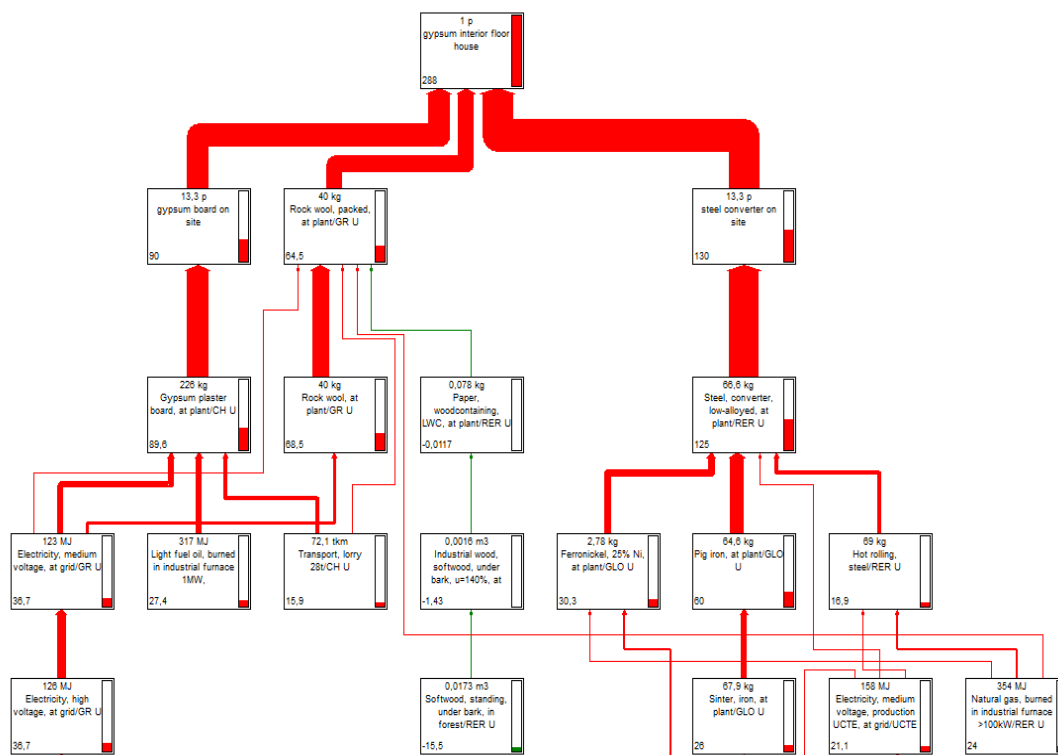


Διάγραμμα 5.4.3.7 Ανάλυση δείκτη CED εσωτερικής τοιχοποιίας (SimaPro)

Στην εσωτερική τοιχοποιία παρατηρούμε ότι το ποσοστό κατανάλωσης ισοσταθμείται μεταξύ της γυψοσανίδας και του χάλυβα, ενώ συγκριτικά με τα δύο τελευταία η κατανάλωση του επιχρίσματος είναι μικρή. Χαρακτηριστική είναι επίσης και η διαφορά στην συνεισφορά των αερίων του θερμοκηπίου από το σίδηρο στην ανθρώπινη τοξικότητα έναντι της αντίστοιχης της γυψοσανίδας.

## Εσωτερικό πάτωμα:

GWP:

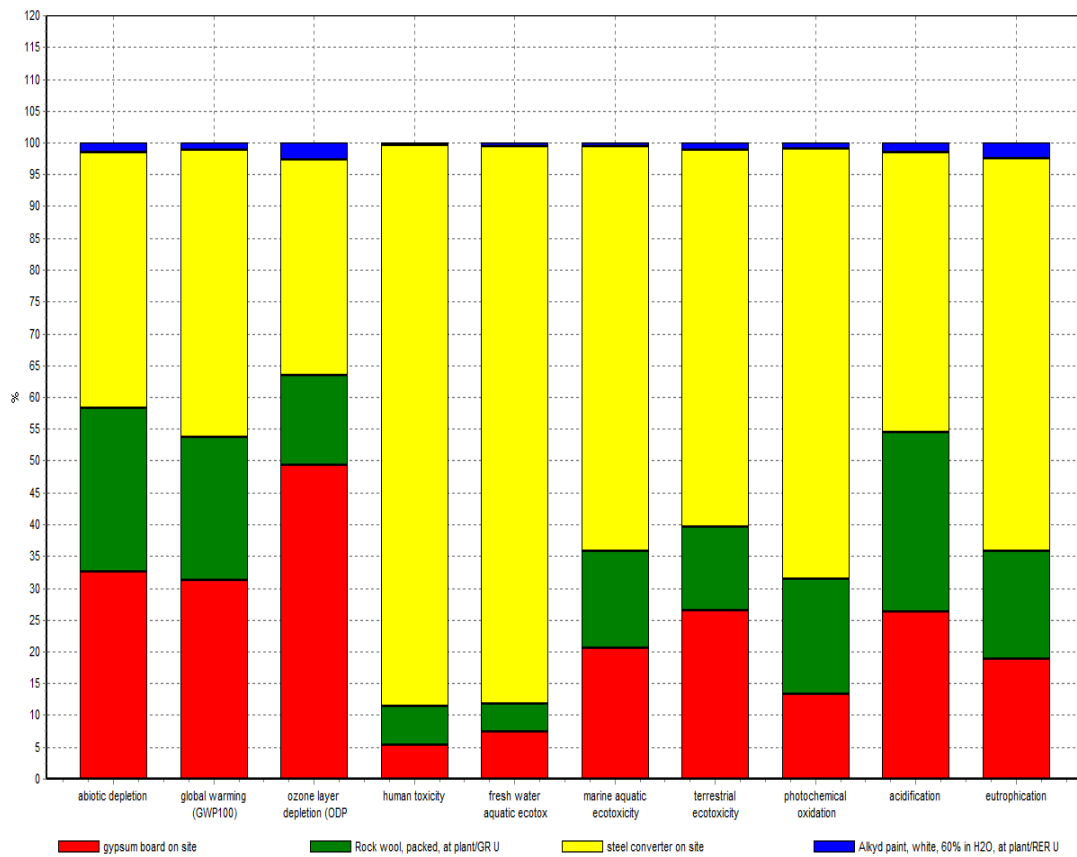


Διάγραμμα 5.4.3.8 Δίκτυο διεργασιών εσωτερικού πατώματος μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 (SimaPro)

Impact category	Unit	Gypsum interior floor House	OSB	Total
Abiotic depletion	Kg Sb eq	2,1	236	174,38
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	288	21	303,33
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	1,86E-05	8,52E-07	1,92E-05
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	444	43	475,39
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	150	15,1	161,023
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	2,43E+05	29000	264170
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	1,27	0,855	1,89415

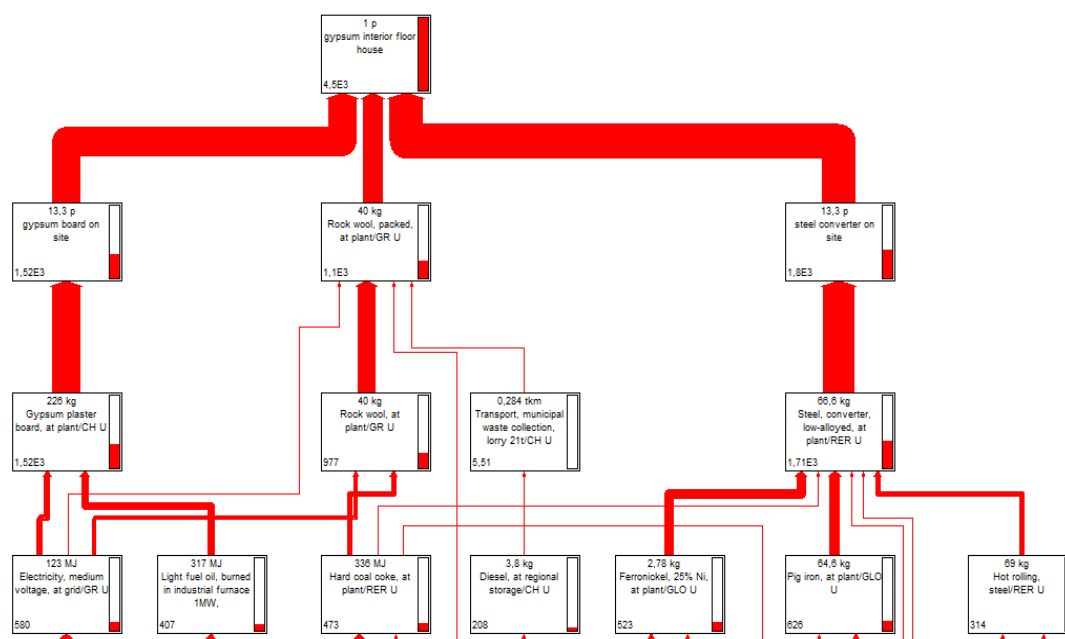
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0,122	0,0121	0,130833
Acidification	Kg SO2 eq	1,51	0,102	1,58446
Eutrophication	Kg PO4---eq	0,239	0,0864	0,302072

Πίνακας 5.4.3.5 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 εσωτερικού πατώματος (SimaPro)



Διάγραμμα 5.4.3.9 Ανάλυση δείκτη GWP εσωτερικού πατώματος (SimaPro)

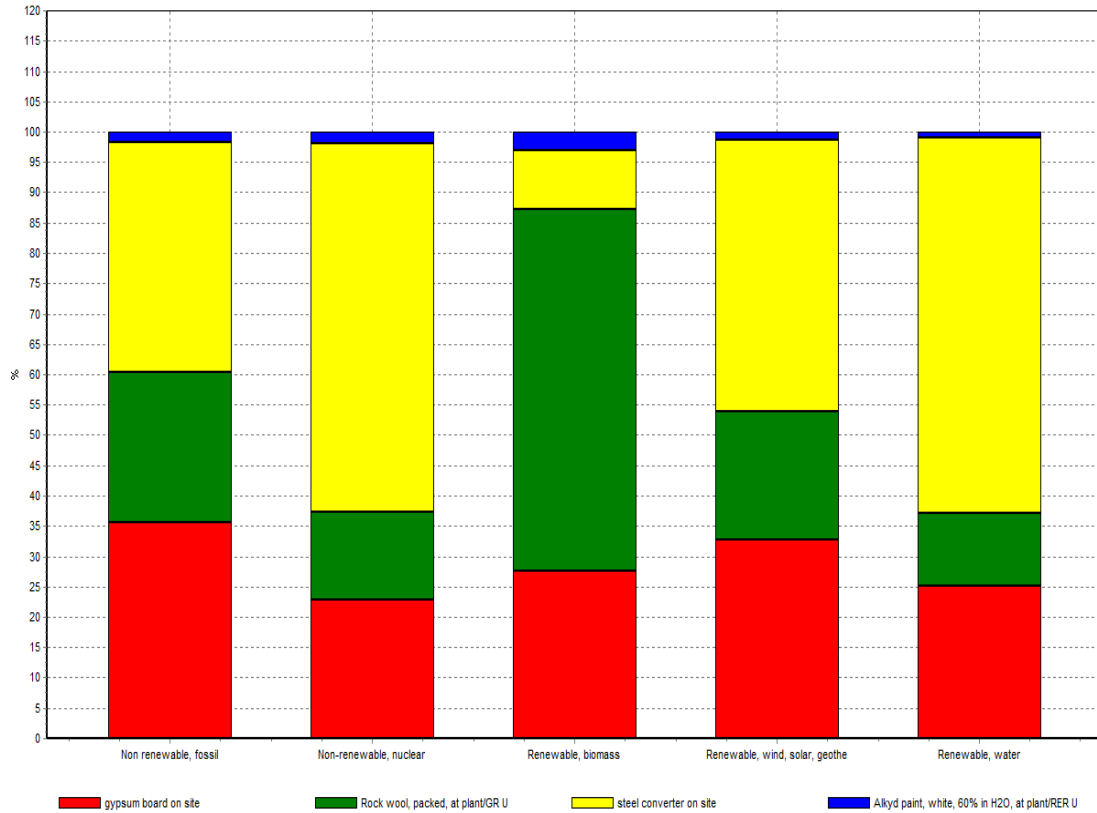
CED:



Διάγραμμα 5.4.3.10 Δίκτυο διεργασιών εσωτερικού πατώματος μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Gypsum interior floor House	OSB	Total
Non renewable, fossil	MJ-Eq	3,76E+03	457	4093,61
Non renewable, nuclear	MJ-Eq	431	35,6	456,988
Renewable, biomass	MJ-Eq	150	0,000165	150,0001
Renewable, wind, solar, geother	MJ-Eq	14,6	1	15,33
Renewable, water	MJ-Eq	145	7,41	150,4093
<b>Total</b>	<b>MJ-Eq</b>			<b>4866,3374</b>

Πίνακας 5.4.3.6 Αποτελέσματα ανάλυσης εσωτερικού πατώματος μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

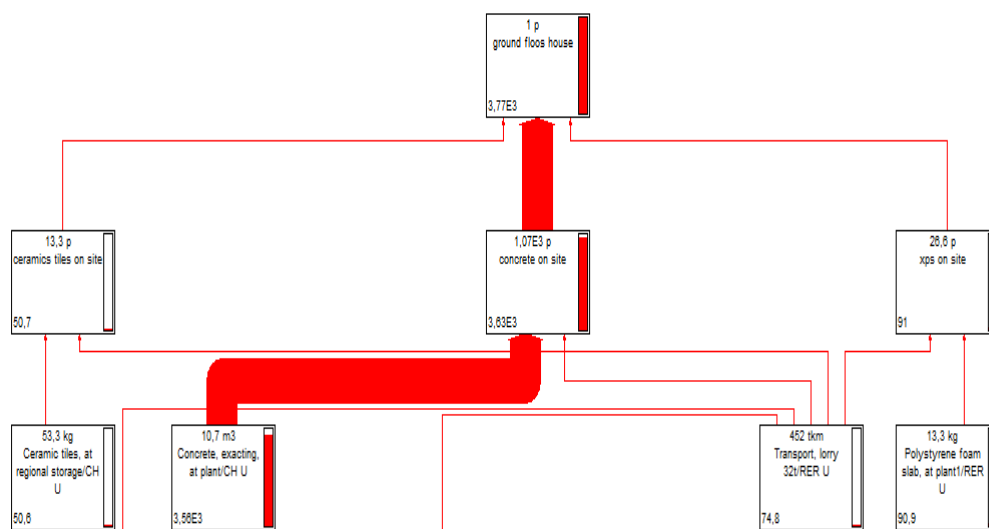


Διάγραμμα 5.4.3.11 Ανάλυση δείκτη CED εσωτερικού πατώματος (SimaPro)

Στο εσωτερικό πάτωμα παρατηρούμε μικρή κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας από την γυψοσανίδα, ενώ μεταξύ του σιδήρου και της μόνωσης από Rockwool παρατηρείται μία ισοβαθμία. Και σε αυτή την περίπτωση την μεγαλύτερη συνεισφορά στα αέρια του θερμοκηπίου την έχει ο σίδηρος.

## Δάπεδο:

### GWP

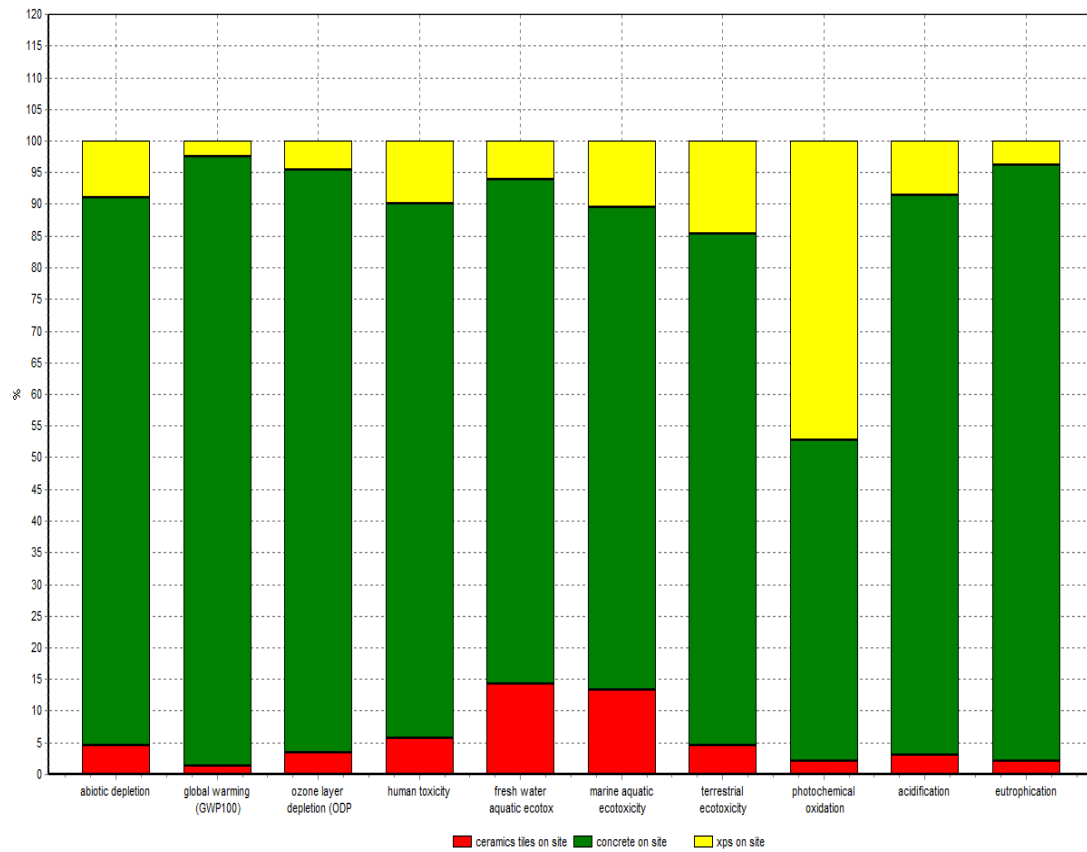


Διάγραμμα 5.4.3.12 Δίκτυο διεργασιών δαπέδου μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 ( SimaPro)

Impact category	Unit	Ground floor house
Abiotic depletion	Kg Sb eq	9.79
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	3.77E3
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	0.000132
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	346
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	69.7
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	2.88E5
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	7.1
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0.479
Acidification	Kg SO2 eq	7.26
Eutrophication	Kg PO4---eq	1.03

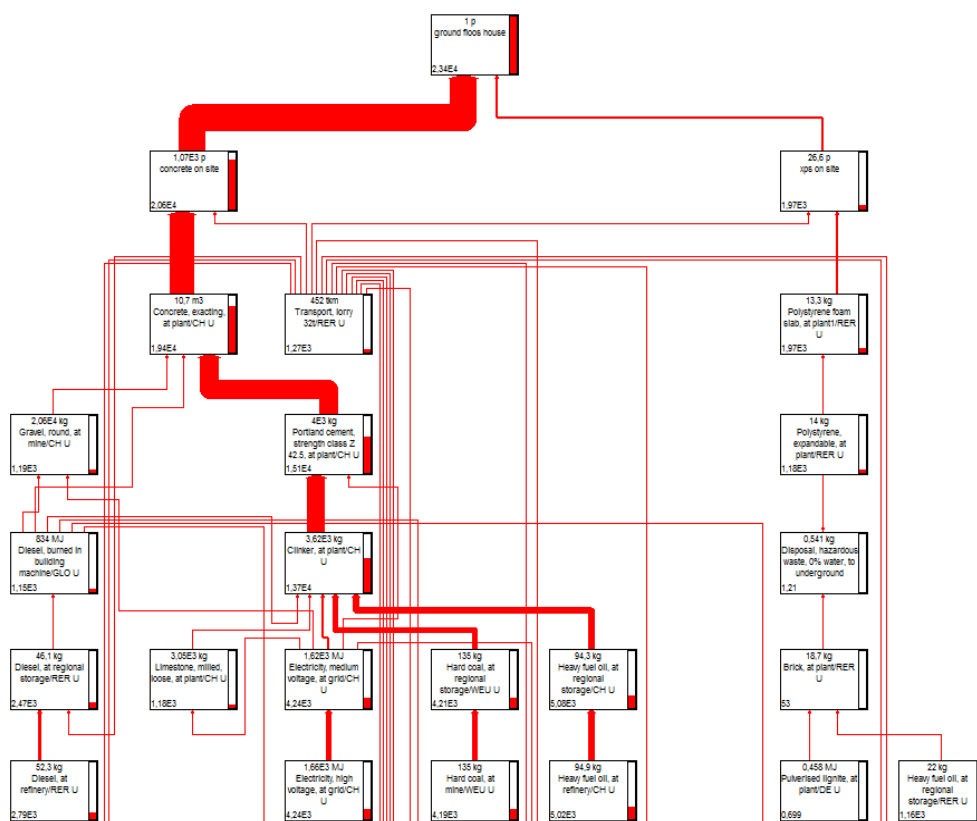
Πίνακας 5.4.3.7 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 δαπέδου (SimaPro)





Διάγραμμα 5.4.3.13 Ανάλυση δείκτη GWP δαπέδου (SimaPro)

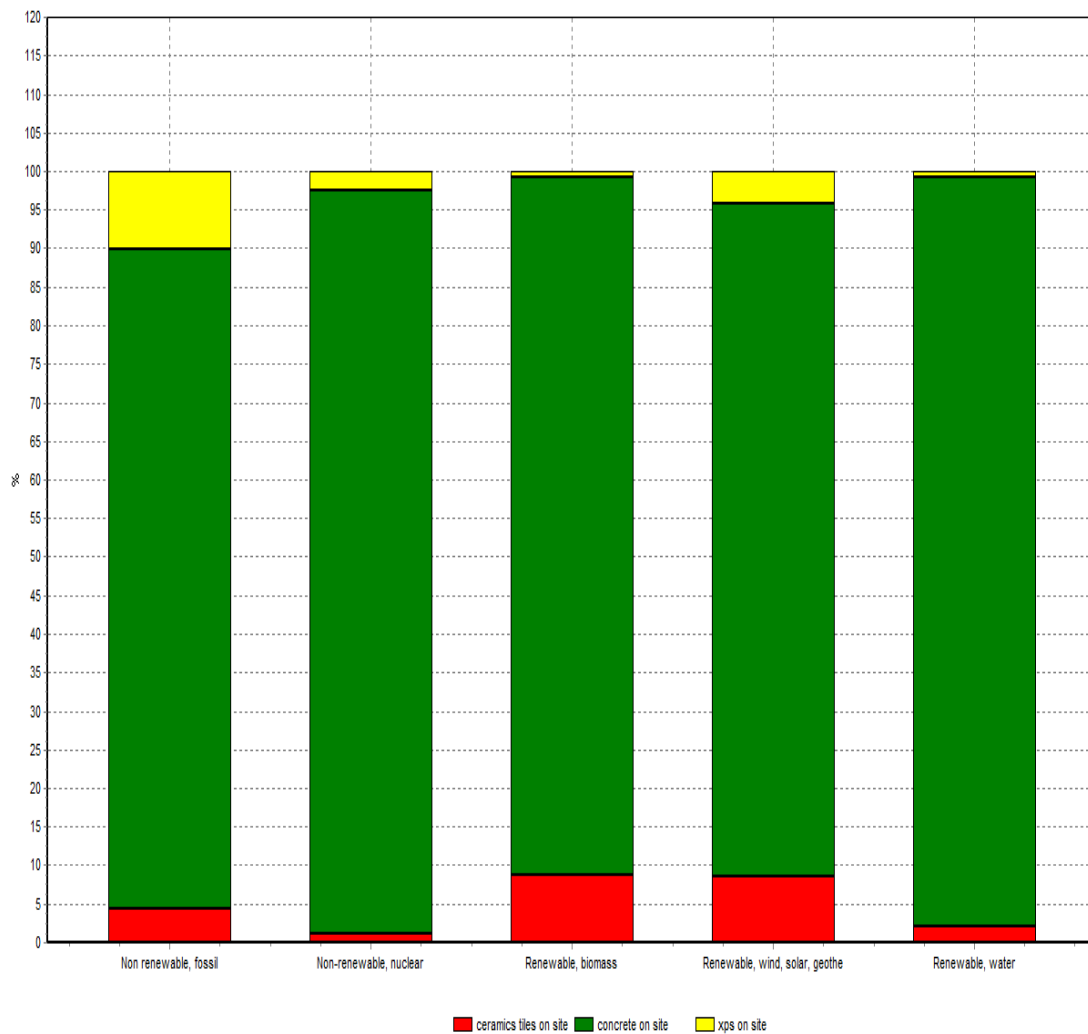
## CED



Διάγραμμα 5.4.3.14 Δίκτυο διεργασιών δαπέδου μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Ground floorHouse
Non renewable, fossil	MJ-Eq	1.87E4
Non renewable, nunclear	MJ-Eq	3.18E3
Renewable,biomass	MJ-Eq	205
Renewable,wind,solar,geothe	MJ-Eq	34.7
Renewable, water	MJ-Eq	1.25E3
Total	MJ-Eq	26,742

Πίνακας 5.4.3.8 Αποτελέσματα ανάλυσης δαπέδου μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

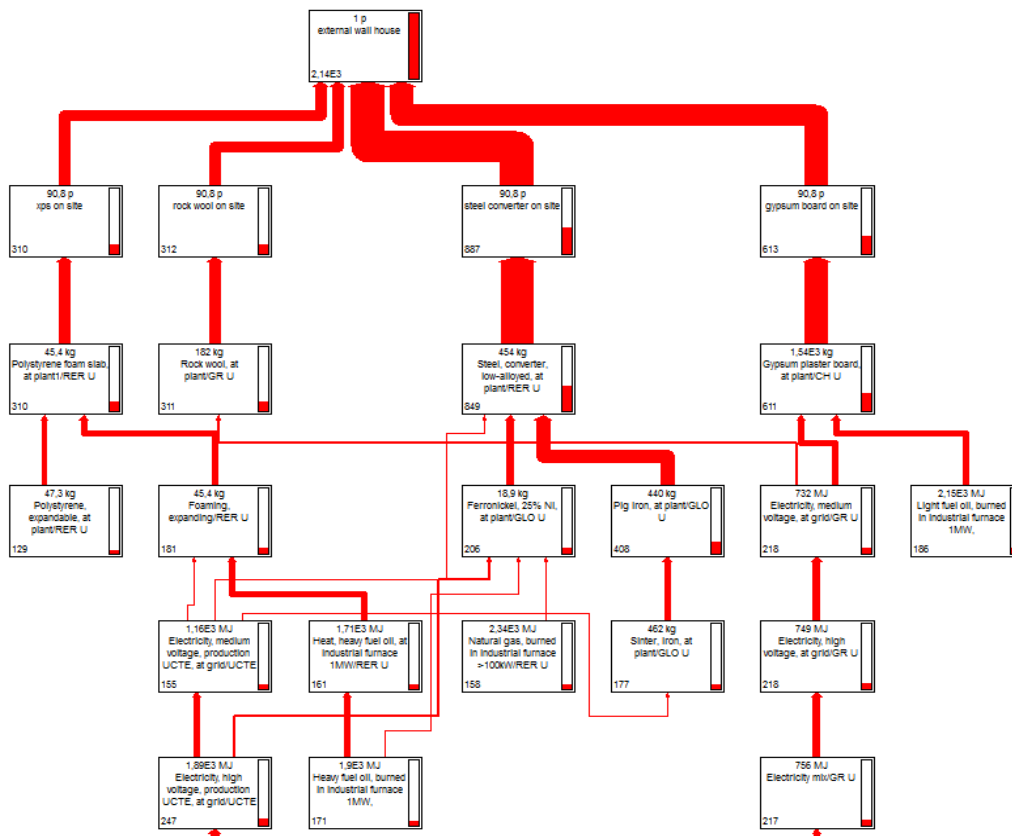


Διάγραμμα 5.4.3.15 Ανάλυση δείκτη CED δαπέδου (SimaPro)

Εύκολα παρατηρείται ότι το τσιμέντο έχει την μεγαλύτερη ενεργειακή σπατάλη έναντι των άλλων υλικών. Η συνεισφορά επίσης στα αέρια του θερμοκηπίου είναι μεγαλύτερη από το τσιμέντο καθώς τα άλλα δύο υλικά έχουν πιο εύκολη παραγωγική διαδικασία.

## Εξωτερική τοιχοποιία:

GWP

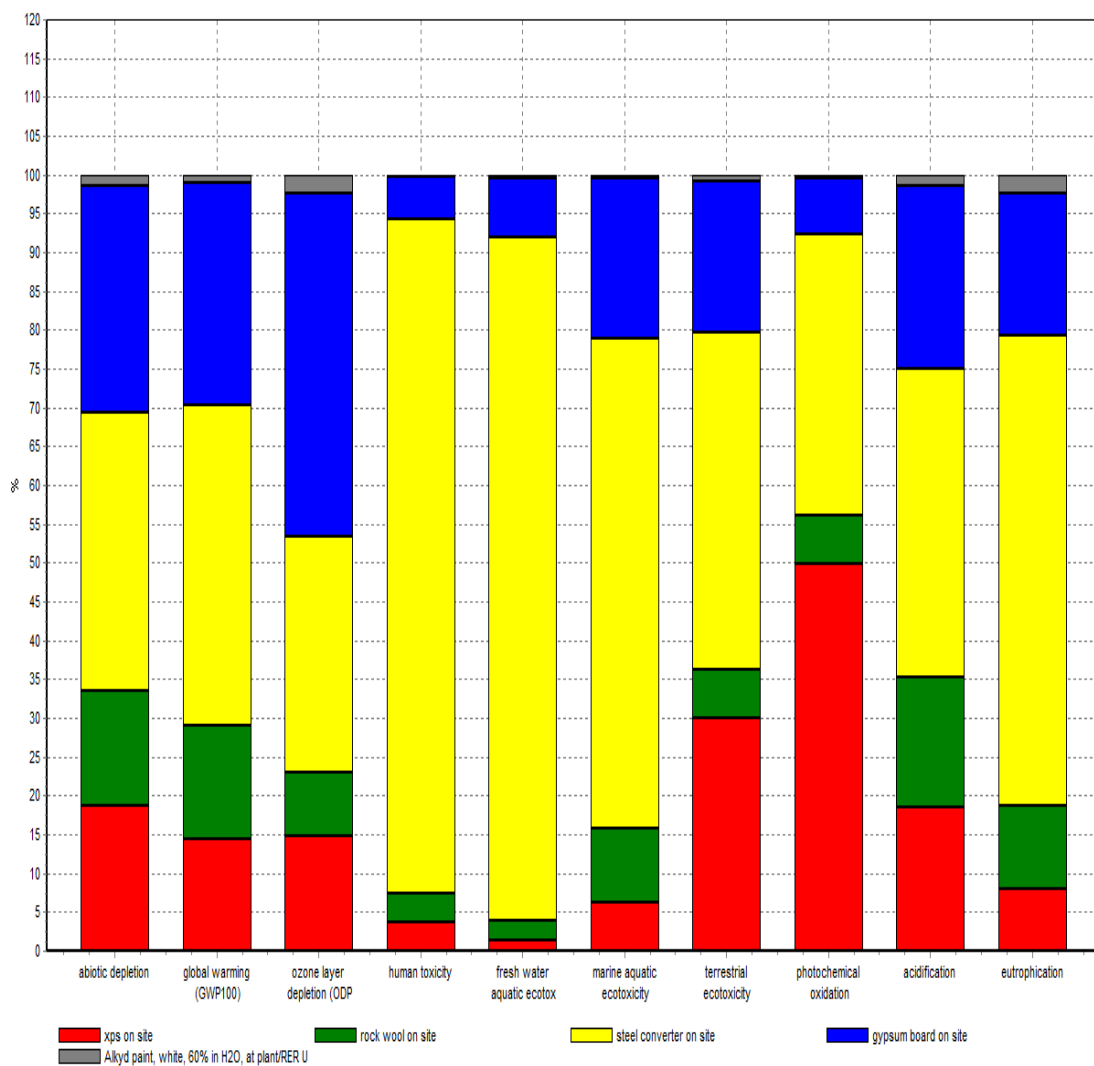


Διάγραμμα 5.4.3.16 Δίκτυο διεργασιών εξωτερικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 (SimaPro)

Impact category	Unit	External wall house	OSB	Total
Abiotic depletion	Kg Sb eq	16	236	1214,88
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	2,14E+03	21	2246,68
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	0,000141	8,52E-07	0,000145
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	3,07E+03	43	3288,44
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	1,02E+03	15,1	1096,708
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	1,67E+03	29000	148990

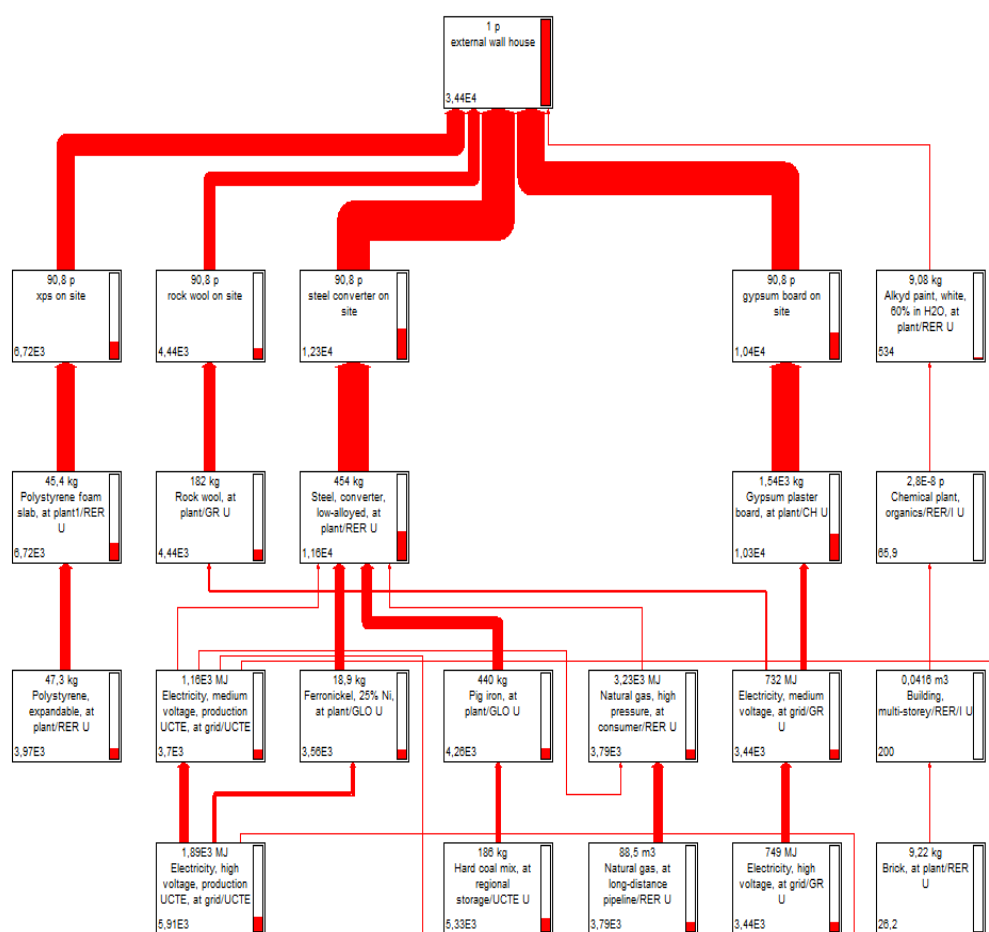
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	11,8	0,855	16,1434
Photochemical oxidation	Kg C2H4	1,55	0,0121	1,611468
Acidification	Kg SO2 eq	11,4	0,102	11,91816
Eutrophication	Kg PO4---eq	1,66	0,0864	2,098912

Πίνακας 5.4.3.9 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 εξωτερικής τοιχοποιίας (SimaPro)



Διάγραμμα 5.4.3.17 Ανάλυση δείκτη GWP εξωτερικής τοιχοποιίας (SimaPro)

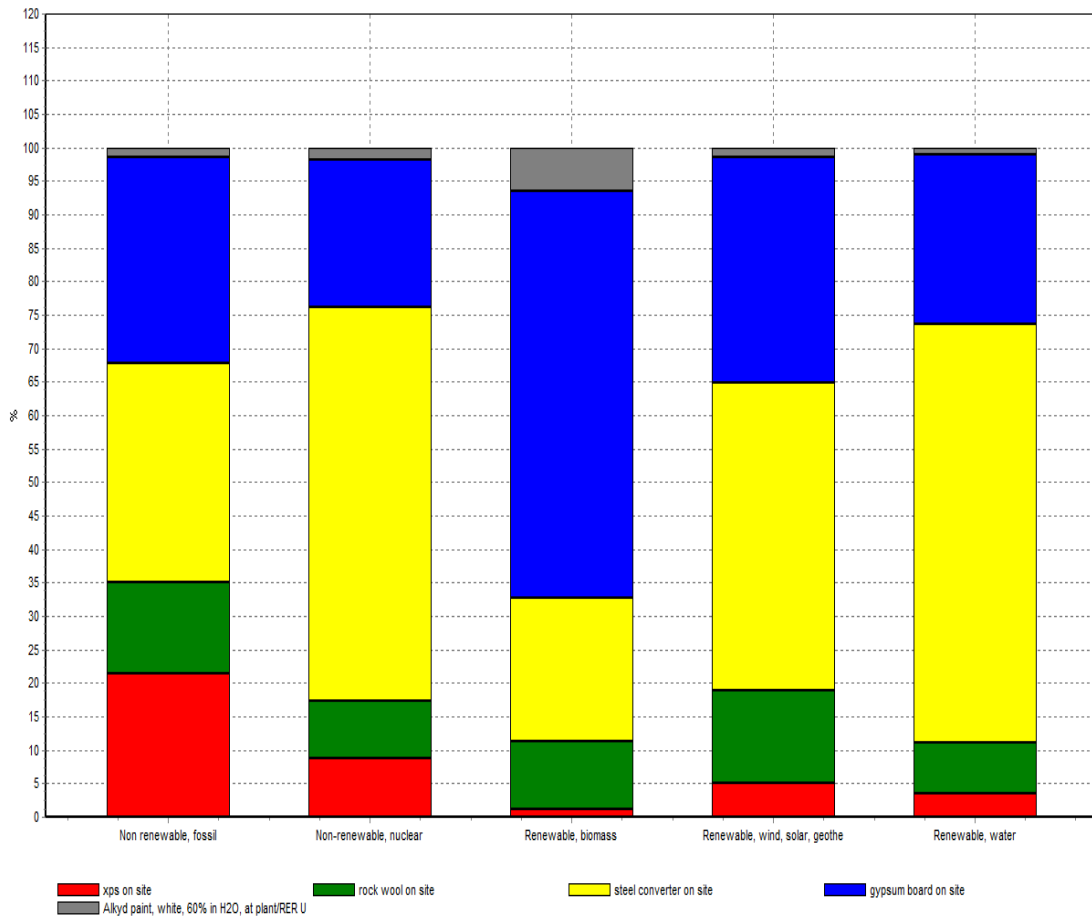
CED:



Διάγραμμα 5.4.3.18 Δίκτυο διεργασιών εξωτερικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	External wall House	OSB	Total
Non renewable, fossil	MJ-Eq	2,98E+04	457	3,21E+04
Non renewable, nuclear	MJ-Eq	3,04E+03	35,6	3,22E+03
Renewable, biomass	MJ-Eq	465	0,000 165	4,65E+02
Renewable, wind, solar, geothe	MJ-Eq	96,7	1	1,02E+02
Renewable, water	MJ-Eq	975	7,41	1,01E+03
Total	MJ-Eq			3,69E+04

Πίνακας 5.4.3.10 Αποτελέσματα ανάλυσης εξωτερικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

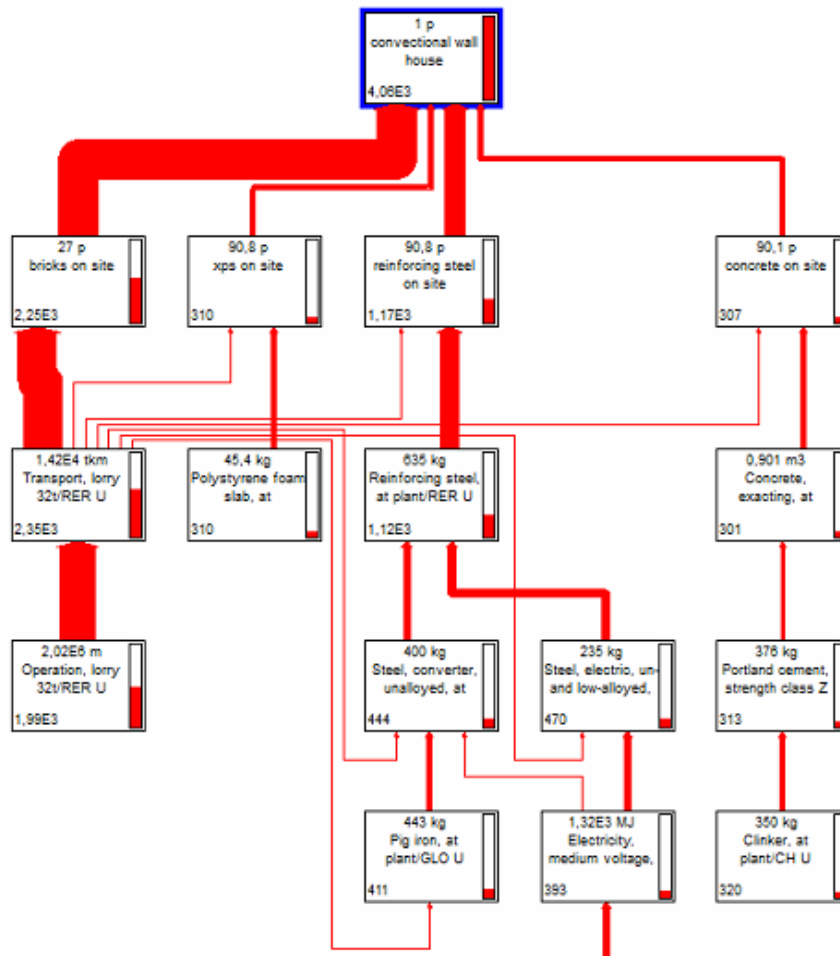


Διάγραμμα 5.4.3.19 Ανάλυση δείκτη CED εξωτερικής τοιχοποιίας (SimaPro)

Από την ανάλυση που έχει γίνει μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η ενεργειακή κατανάλωση μεταξύ του σιδήρου και της γυψοσανίδας βρίσκεται στο σύνολο στα ίδια επίπεδα.. Τα μονωτικά υλικά βρίσκονται και αυτά στα ίδια καταναλωτικά επίπεδα ενέργειας.

### Συμβατική κατασκευή:

### Συμβατική εξωτερική τοιχοποιία:

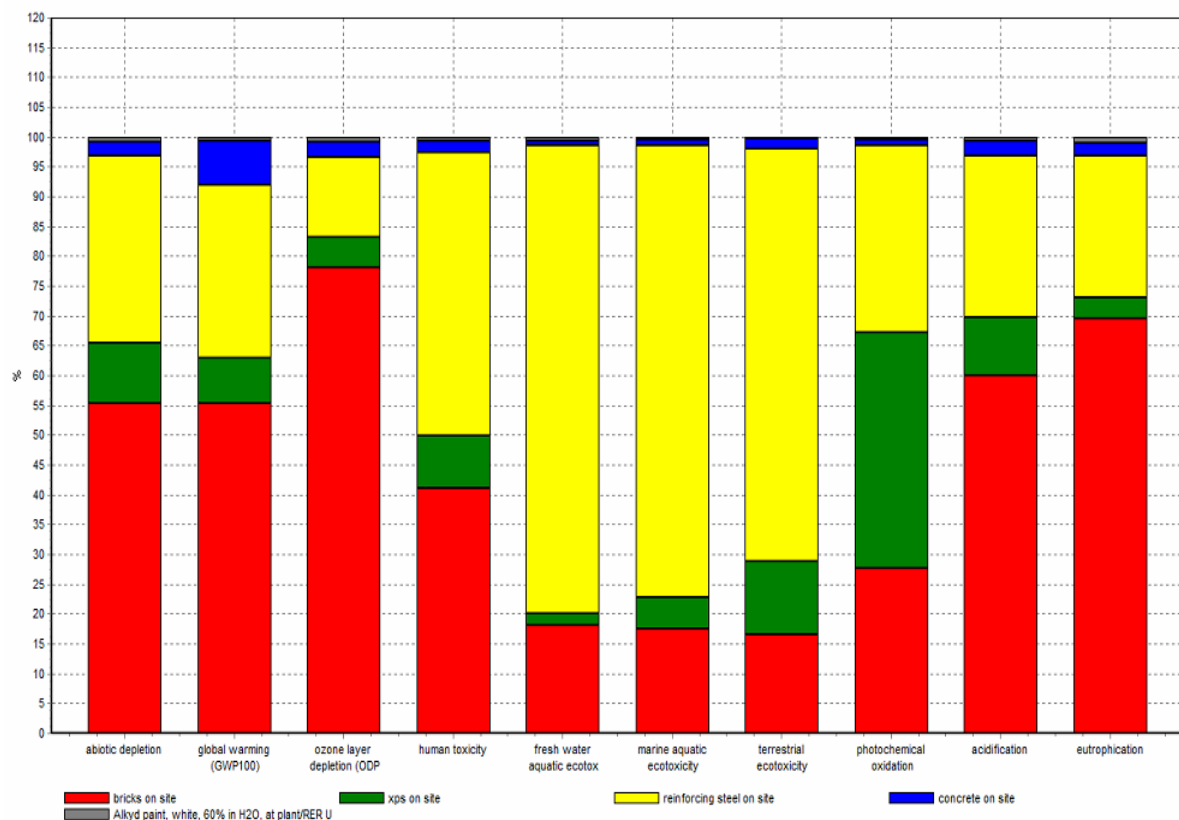


Διάγραμμα 5.4.3.20 Δίκτυο διεργασιών εξωτερικής συμβατικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 ( SimaPro)



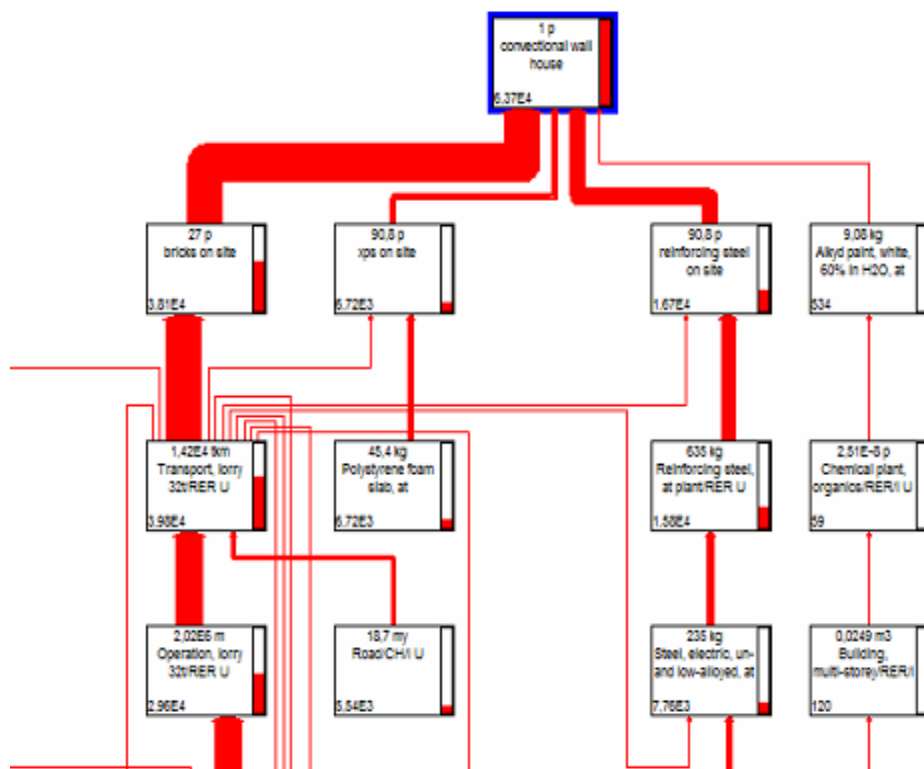
Impact category	Unit	Conventional wall house
Abiotic depletion	Kg Sb eq	29,2
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	4,06E3
Ozone layer depletion(ODP)	Kg CFC-11eq	0.000401
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	1.31E3
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	768
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	1.95E6
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	28.9
Photochemical oxidation	Kg C2H4	1.95
Acidification	Kg SO2 eq	22
Eutrophication	Kg PO4---eq	3.83

Πίνακας 5.4.3.10 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline 2000 εξωτερικής συμβατικής τοιχοποιίας (SimaPro)



Διάγραμμα 5.4.3.21 Ανάλυση δείκτη GWP εξωτερικής συμβατικής τοιχοποιίας (SimaPro)

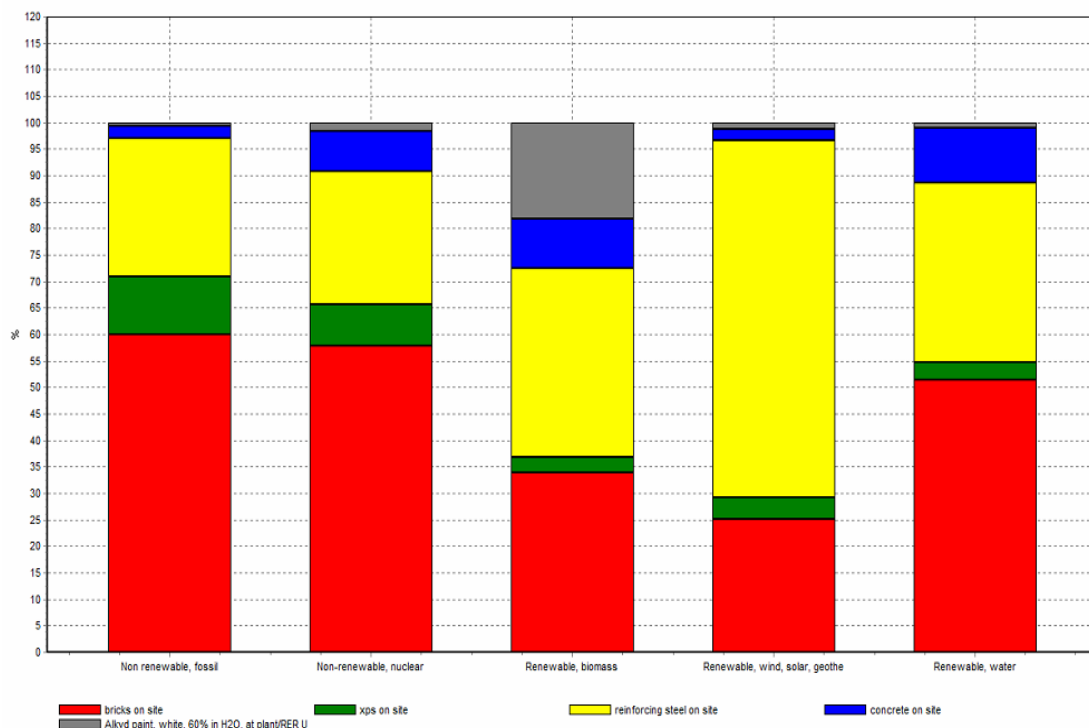
CED:



Διάγραμμα 5.4.3.22 Δίκτυο διεργασιών εξωτερικής συμβατικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Conventional wall House
Non renewable, fossil	MJ-Eq	5.91E4
Non renewable, nunclear	MJ-Eq	3.4E3
Renewable,biomass	MJ-Eq	166
Renewable,wind,solar,geothe	MJ-Eq	120
Renewable, water	MJ-Eq	992
Total	MJ-Eq	63,778

Πίνακας 5.4.3.11 Αποτελέσματα ανάλυσης εξωτερικής συμβατικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

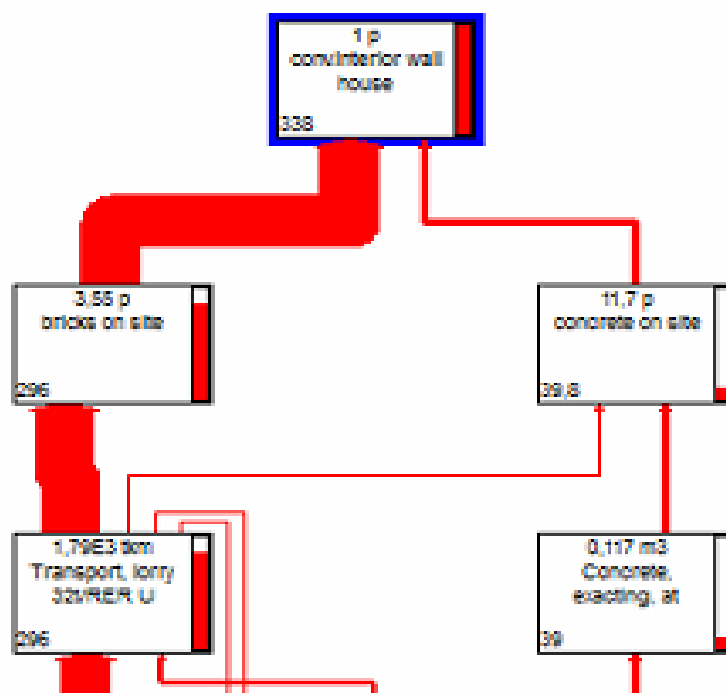


Διάγραμμα 5.4.3.23 Ανάλυση δείκτη CED συμβατικής εξωτερικής τοιχοποιίας (SimaPro)

Παρατηρούμε ότι το μεγαλύτερο ποσοστό ενεργειακής κατανάλωσης πρωτογενούς ενέργειας καταναλώνεται από το τούβλο και στην συνέχεια θέση παίρνει ο χάλυβας. Το σκυρόδεμα μαζί με την μόνωση από τα φύλλα XPS βρίσκονται στα ίδια επίπεδα.

## Συμβατική εσωτερική τοιχοποιία:

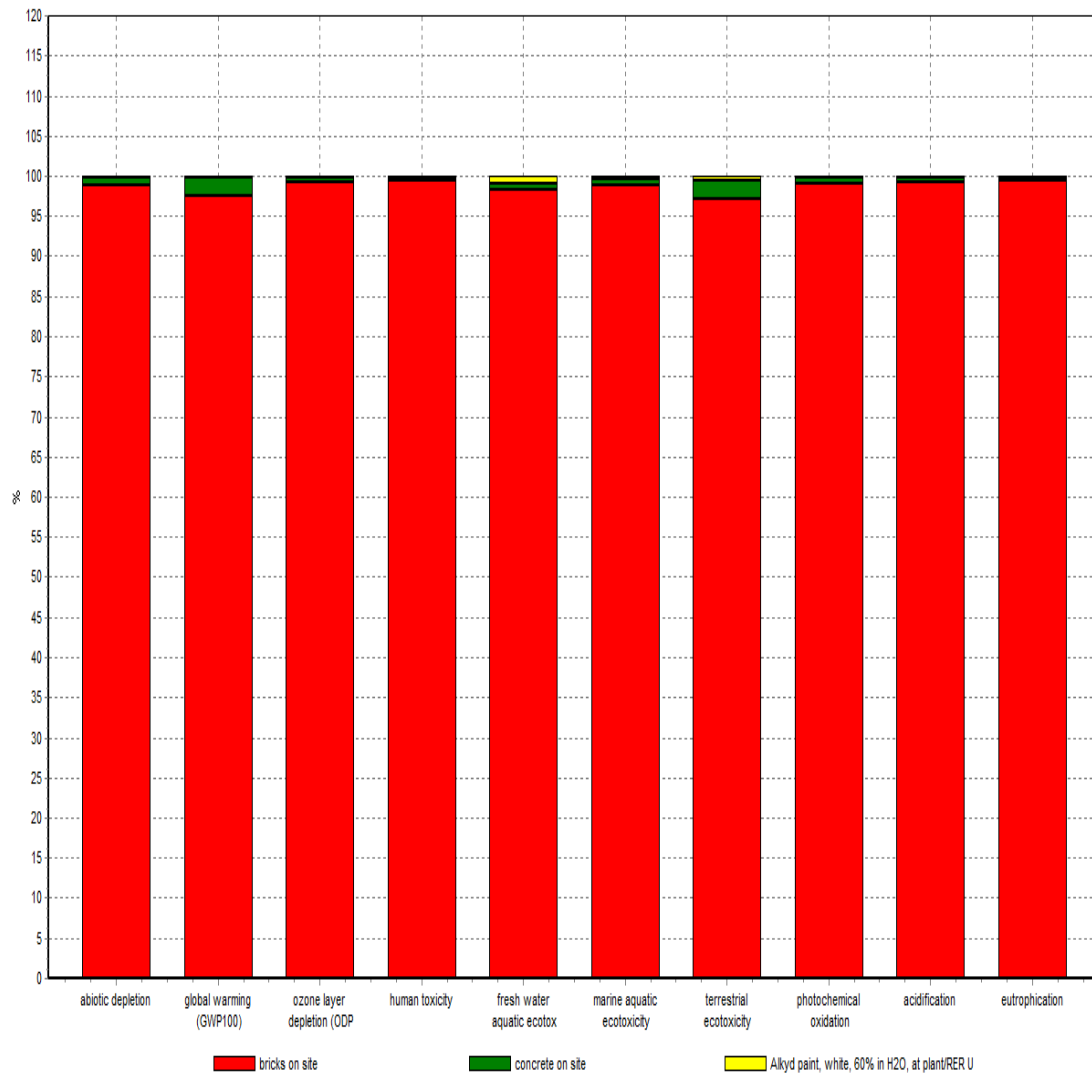
GWP



Διάγραμμα 5.4.3.24 Δίκτυο διεργασιών εσωτερικής συμβατικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου CML 2 baseline 2000 ( SimaPro)

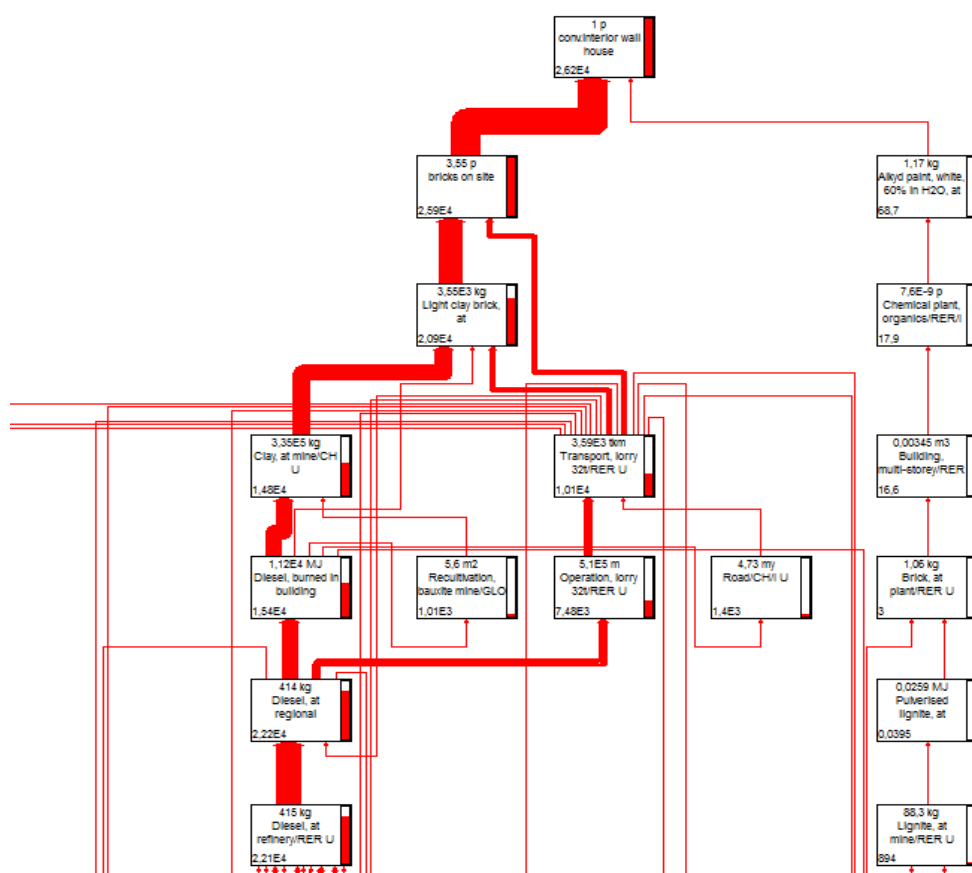
Impact category	Unit	Conv Interior wall house
Abiotic depletion	Kg Sb eq	2.25
Global warming (GW100)	Kg CO2 eq	338
Ozone depletion(ODP) layer	Kg CFC-11eq	4.29E-5
Human toxicity	Kg 1.4-DB eq	74.9
Fresh water aquatic ecotox	Kg 1.4-DB eq	19.7
Marine aquatic ecotoxicity	Kg 1.4-DB eq	4.84E+4
Terrestrial oxidation	Kg 1.4-DB eq	0.704
Photochemical oxidation	Kg C2H4	0.0744
Acidification	Kg SO2 eq	1.183
Eutrophication	Kg PO4---eq	0.366

Πίνακας 5.4.3.12 Αποτελέσματα ανάλυσης CML 2 baseline εσωτερικής συμβατικής τοιχοποιίας 2000 (SimaPro)



Διάγραμμα 5.4.3.25 Ανάλυση δείκτη GWP εσωτερικής συμβατικής τοιχοποιίας (SimaPro)

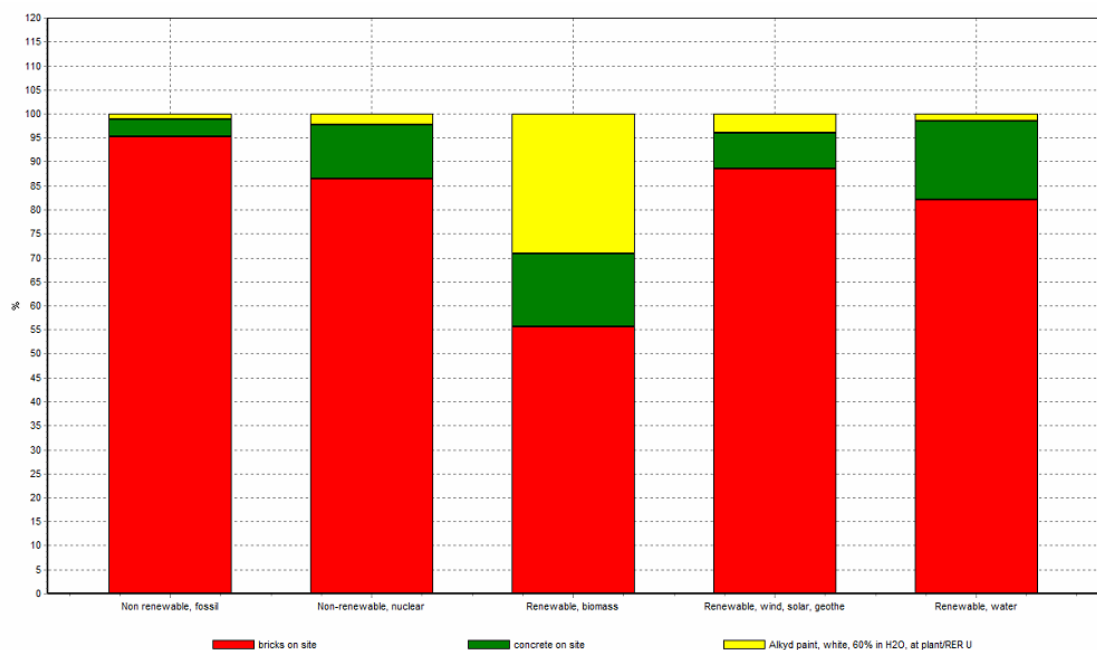
CED:



Διάγραμμα 5.4.3.26 Δίκτυο διεργασιών εσωτερικής συμβατικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)

Impact category	Unit	Conv Interior wall House
Non renewable, fossil	MJ-Eq	4,9E3
Non renewable, nuclear	MJ-Eq	299
Renewable, biomass	MJ-Eq	13.3
Renewable, wind, solar, geother	MJ-Eq	4.47
Renewable, water	MJ-Eq	81.7
Total	MJ-Eq	5298,47

Πίνακας 5.4.3.13 Αποτελέσματα ανάλυσης εσωτερικής συμβατικής τοιχοποιίας μέσω της μεθόδου Cumulative Energy Demand (SimaPro)



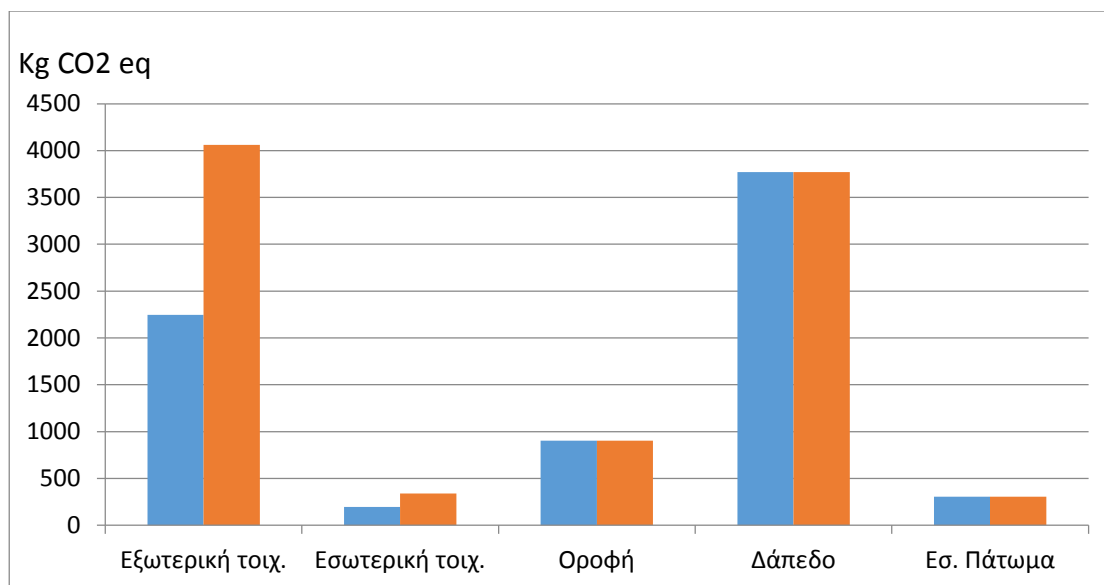
Διάγραμμα 5.4.3.27 Ανάλυση δείκτη CED εσωτερικής συμβατικής τοιχοποιίας (SimaPro)

Παρατηρούμε ότι την μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση την έχει η παραγωγή, χρήση και κατανάλωση των τούβλων με εμφανή διαφορά από τα άλλα υλικά κάτι το οποίο είναι λογικό καθώς αυτό το υλικό πιάνει το μεγαλύτερο ποσοστό της εσωτερική τοιχοποιίας.

Σε αυτό το σημείο παρατίθενται συγκεντρωτικοί πίνακες για το κτίριο κάθε κατασκευής.

Δείκτης CED		
Στοιχείο	Μεταλλική κατασκευή MJ-Eq	Συμβατική κατασκευή MJ-Eq
Εξωτερική τοιχ.	3.69E+04	6.38E+04
Εσωτερική τοιχ.	2.90E+03	5.30E+03
Οροφή	1.33E+04	1.33E+04
Δάπεδο	2.34E+04	2.34E+04
Εσ. Πάτωμα	4866.3744	4866.3744
<b>Σύνολο</b>	<b>8.14E+04</b>	<b>1.11E+05</b>

Πίνακας 5.4.3.14 Συγκεντρωτικός πίνακας δείκτη CED



Διάγραμμα 5.4.3.28 Συγκεντρωτικό διάγραμμα δείκτη GWP μεταλλικής κατασκευής

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν ως προς την ενεργειακή τους κατανάλωση καθώς και τους περιβαλλοντικούς δείκτες τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή δύο πιλοτικών κτιρίων. Το πρώτο κτίριο είναι κατασκευασμένο από μεταλλικό σκελετό έχοντας ως κύριο στοιχείο της τοιχοποιίας του την γυψοσανίδα και το δεύτερο είναι ένα συμβατικού τύπου, με κύριο στοιχείο το τούβλο και το σκυρόδεμα.

Η μελέτη έγινε σε τρία στάδια. Στο πρώτο στάδιο έγινε μελέτη και ανάλυση του κάθε υλικού ξεχωριστά από την φάση της εξόρυξης των πρώτων υλών μέχρι και την μεταφορά του τελικού προϊόντος στο σημείο κατασκευής του κτιρίου. Στο στάδιο αυτό, υπολογίστηκαν και έγιναν όλες οι απαραίτητες παραδοχές στο λογισμικό όπως, αλλαγή της παραμέτρου ρεύματος βάσει των ελληνικών προδιαγραφών καθώς επίσης και οι αντίστοιχες μεταφορές και αποστάσεις των υλικών κατά την διάρκεια των φάσεων παρασκευής τους. Στην συνέχεια έγινε ανάλυση και σύγκριση  $1m^2$  για κάθε πάνελ τοιχοποιίας αποτελούμενη από τα εκάστοτε υλικά κάθε φορά και στο τρίτο και τελευταίο στάδιο έγινε η ίδια σύγκριση έχοντας αυτή την φορά ως αναφορά ολόκληρο το κτίριο.

Βάσει των διαγραμμάτων και των πινάκων που βγάλαμε από το SimaPro, όσο αφορά το κτίριο της μεταλλικής κατασκευής, την μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση την έχει η γυψοσανίδα, κάτι που είναι απολύτως φυσιολογικό και αναμενόμενο φυσικά, καθώς το συγκεκριμένο υλικό καλύπτει το μεγαλύτερο ποσοστό της τοιχοποιίας και στην συνέχεια έχουμε το μεταλλικό σκελετό. Οι κύριες



πηγές πρωτογενούς ενέργειας είναι η βιομάζα για την γυψοσανίδα και τα ορυκτά καύσιμα για τον μεταλλικό σκελετό.

Εν συνέχεια, για την συμβατική κατασκευή αντίστοιχα, τα υλικά με την μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση είναι αυτά του τούβλου και του χάλυβα, επίσης αναμενόμενο το αποτέλεσμα καθώς αυτά καλύπτουν το μεγαλύτερο ποσοστό της τοιχοποιίας. Βασικά πηγή πρωτογενούς ενέργειας είναι τα ορυκτά καύσιμα και για τα δύο υλικά. Στη συνέχεια των υλικών ,ακολουθούν αυτά της μόνωσης με μεγαλύτερη κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας από ορυκτά καύσιμα να την έχει το υλικό OSB έχοντας 457 MJ-eq έναντι 70,6 MJ-eq της εξηλασμένης πολυστερίνης με αντίστοιχους δείκτες GWP 21 έναντι 3,41 kg CO<sub>2</sub> eq το φύλλο.

Συγκρίνοντας τώρα τον δείκτη GWP (ως βασικό δείκτη) και για τις δύο περιπτώσεις κτιρίων, έχουμε το σύνολο 7418.58kg CO<sub>2</sub> eq για την μεταλλική κατασκευή έναντι 2.12E+04kg CO<sub>2</sub> eq της αντίστοιχης συμβατικής. Επιπλέον, τα συνολικά ποσοστά πρωτογενούς κατανάλωσης ενέργειας της συμβατικής κατασκευής ανέρχονται στα 2.95E+05 MJ-eq έναντι μόλις τα 8.14E+04 MJ-eq της μεταλλικής. Βγάζουμε λοιπόν ως συμπέρασμα ότι η μεταλλική κατασκευή είναι σαφώς πιο φιλική προς το περιβάλλον και όσο αφορά τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και ως προς την κατανάλωση πρωτογενούς ενέργειας. Στο σημείο αυτό είναι σκόπιμο να αναφέρουμε ότι κατασκευές με την χρήση γυψοσανίδας κερδίζουν όλο περισσότερο έδαφος σε αντίθεση με αυτή της συμβατικής καθώς είναι και πιο εύκολη η κατασκευή τους αλλά και λιγότερο χρονοβόρα.



## ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] The online resource for cement concrete and aggregates
- [2] ISO 14040:2006, Environmental management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework, International organization for standardization (1997).
- [3] EPA U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications International Corporation LCAccess – LCA 101. (2001).
- [4] Scientific Applications International Corporation (SAIC) Life Cycle Assessment: Principles and Practice, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, Ohio,(2006).
- [5] Μουσιόπουλος, Ν. και Μπούρα, Α. (1999), *Ανάλυση Κύκλου Ζωής*, Εργαστήριο Μετάδοσης Θερμότητας και Περιβαλλοντικής Μηχανικής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσ/νίκης.
- [6] Scientific Applications International Corporation (SAIC) Life Cycle Assessment: Principles and Practice, National Risk Management Research Laboratory, Cincinnati, Ohio (2006).
- [7] Life Cycle Assessment of Metal Construction Association, April, (2012).
- [8] Midpoints versus endpoints: The sacrifices and benefits, Bare, J.C., Hofstetter, P., Pennington, D.W. et al. Int. J. LCA (2000).
- [9] LCA and Buildings Research for WA State ,(2012).
- [10] RMIT University, Greening the \building: Life cycle LCA tools in Building and Construction (2009).
- [11] Athena Institute, Athena Impact estimation for Buildings .Version 4.0 Canada (2009).
- [12] Pré Consultant, SimaPro LCA software Product ecology Consultants (2009).
- [13] PE International, Gabi LCA software Version 4.0 Germany (2009).
- [14] Oko-Institut, Global emission Model for Integrated Systems (GEMIS), Version 4,5 ,Germany (2009).
- [15] National Institute of Standards and Technology,
- [16] Building Research Establishment, (2009).
- [17] U.S. Green Building Council, (2009).
- [18] CETC Buildings Group, (2009).
- [19] Karamanos A., Giama E., Chadiarakou S., Papadopoulos A.M., Comparative evaluation of stone wool and extruded polystyrene, HELECO, Athens (2006)
- [20] Ευφροσύνη Αθ. Γιαμά, „ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (2009).
- [21] GB Tool, [www.iisbe.org](http://www.iisbe.org) .
- [22] Building Research Establishment (BRE) [www.bre.co.uk](http://www.bre.co.uk) .
- [23] USGBC, LEED Existing Buildings Operation and Maintenance.
- [24] CASBEE, [www.ibec.or.jp/CASBEE](http://www.ibec.or.jp/CASBEE)
- [25] Green Globes, [www.greenglobes.com](http://www.greenglobes.com)(
- [26] SimaPro [www.pre-sustainability.com/simapro](http://www.pre-sustainability.com/simapro)

- [27] Norris G.A. and Yost P., A transparent Interactive Software environment for communicating Life cycle Assessment Results: An application to residential windows, (2002).
- [28] Ortiz O., Castells F., Sonnemann G., Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA (2008).
- [29] Ardente F. et al., Life cycle assessment of a solar thermal collector . Renewable energy 30, (2005).
- [30] Asif M., Muneer T., Kelley r., Life cycle assessment: a case study of a dwelling home in Scotland (2005).
- [31] Citherlet S., Guglielmo F., Gay JB Window and advanced glazing systems life cycle assessment (2000).
- [32] Gustavsson L., Sathre R., Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. (2006).
- [33] Koroneos C., Dompros A., Environmental assessment of brick and production in Greece, (2006).
- [34] Nebel B., Wegener G., Life cycle assessment of wood floor coverings (2006).
- [35] Nicoletti G.M., Notarnicola B., tassielli G., Comparative life cycle assessment of flooring materials : ceramic versus marble tiles (2002).
- [36] Nyman M., Simonson C.J, Life cycle assessment of residential ventilation units in a cold climate (2005).
- [37] Petrsen and Solberg (2005).
- [38] Environmental performance evaluation of thermal insulation materials and its impact on the building, E. Giama and A.M.Papadopoulos, (2005).
- [39] Prek M. Environmental impact and life cycle assessment of heating and air conditioning systems, (2004).
- [40] Ross S., Evans D., The environmental effects of reusing and recycling a plastic-based packaging system (2003).
- [41] Saiz S. et al., Comparative life cycle assessment of standard and green roofs, environment, Sciences and Technology (2006).
- [42] Seppala J., et al, The finnish metals industry and the environment. Resources Conservation Recycling (2002).
- [43] Van de Lugt P., Van den Dobbelen F., Janssen A., An environmental , economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures, (2004).
- [44] Wu X., Zhang Z.H. Chen Y.m., Study of the environmental impacts based on the ‘green tax’- applied to several types of building materials, (2005).
- [45] Kloppfer et al., (2003).
- [46] Arena A.P., Rosa C., Life cycle assessment of energy and environmental implication of the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza- Argentina, (2003).
- [47] Adalberth K. Life cycle assessment of four multi family buildings Int. J Low Energy Sustainable Buildings pl. (2001).

- [48] Jian G., Jiang Kazuomi H., Life cycle assessment in the environmental impact evaluation of urban development, (2003).
- [49] Junilla S., Life cycle assessment of environmentally significant aspects of an office building (2004).
- [50] Koroneos C., Kottas G., Energy consumption modeling analysis and environmental impact assessment of model house in Thessaloniki (2007).
- [51] Peuportier B.L.P., Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of a single family house in the French context, (2001).
- [52] Sheuer C.W. and Keoleian G.A. Evaluation of LEED Using life cycle assessment methods (2003).
- [53] Athena, Life cycle analysis of gypsum board and associated finishing products, (1997).
- [54] FIBRAN Τεχνικά φυλλάδια θερμομονωτικών υλικών
- [55] Karamanos A., Giama E., Chadiarakou S., Papadopoulos A.M., Comparative evaluation of stone wool and extruded polystyrene, HELECO, Athens (2006).
- [56] Ευφροσύνη Αθ. Γιαμά, ,ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΤΙΡΙΩΝ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ (2009).
- [57] Athena, Life cycle analysis of gypsum board and associated finishing products, (1997).
- [58] TITAN, Τεχνικά φυλλάδια
- [59] Πανμονωτική Τεχνικά φυλλάδια θερμομονωτικών πλακών.
- [60] Μπαξεβάνης, Π., Ανάπτυξη Μοντέλων Ανάλυσης Κύκλου Ζωής για Βέλτιστο Σχεδιασμό Καινοτόμων Χημικών Προϊόντων, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα. (2014).