



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

Συγκριτική Ανάλυση Κύκλου Ζωής Συστημάτων Θερμικής Επεξεργασίας Βαμμένων Μεταλλικών Ελασμάτων

Διπλωματική Εργασία

Ηλίας Κατσιφής

A.M.: 02114271

Επιβλέπουσα: Φούντη Μαρία

Καθηγήτρια ΕΜΠ

Ιούλιος 2020

Αθήνα

Ευχαριστίες

Η παρούσα διπλωματική εργασία έγινε το ακαδημαϊκό έτος 2019-2020 στο εργαστήριο Ετερογενών Μειγμάτων και Συστημάτων Καύσης της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. και έχει τίτλο «Συγκριτική Ανάλυση Κύκλου Ζωής Συστημάτων Θερμικής Επεξεργασίας Βαμμένων Μεταλλικών Ελασμάτων». Την επίβλεψη είχε η διευθύντρια του εργαστηρίου Καθηγήτρια Μαρία Φούντη και ο Διδάκτορας και μέλος ΕΔΙΠ Δημήτρης Γιαννόπουλος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την κ. Μαρία Φούντη για την ευκαιρία εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας και τον κ. Δημήτρη Γιαννόπουλο για την συνεργασία, η καθοδήγηση του οποίου με βοήθησε να φέρω εις πέρας την συγκεκριμένη εργασία. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους με στήριξαν, οικογένεια και φίλοι, σε αυτή την προσπάθεια.

Περίληψη

Σκοπός στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι να γίνει μία μελέτη γύρω από το σύστημα θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων, ως προς την ενεργειακή κατανάλωση και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, καθώς και μία αξιολόγηση της καινοτόμου γραμμής ECCO.

Η μελέτη πραγματοποιήθηκε σε δύο επίπεδα. Το πρώτο ήταν η μελέτη ενός συστήματος που εστιάζει αποκλειστικά στο τμήμα της ξήρανσης/curing και το δεύτερο ήταν η μελέτη ενός συστήματος που εστιάζει στη συνολική γραμμή της θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων. Έγινε διαχωρισμός σε περιπτώσεις που τα δεδομένα αντλήθηκαν από την βιβλιογραφία και από την βιομηχανία και συγκρίθηκαν μεταξύ τους. Τα παραπάνω πραγματοποιήθηκαν για συμβατικά συστήματα. Στη συνέχεια έγινε ανάλυση του καινοτόμου συστήματος ECCO τόσο στο κομμάτι της ξήρανσης όσο και της συνολικής γραμμής για διαφορετικά σημεία λειτουργίας. Τέλος συγκρίθηκε το συμβατικό με το καινοτόμο σύστημα.

Η μεθοδολογία που αξιοποιήθηκε στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης είναι η Ανάλυση του Κύκλου Ζωής (AKZ). Η AKZ έχει ένα πλήθος περιβαλλοντικών δεικτών που αξιολογούν διαφορετικές συνιστώσες επιβάρυνσης του περιβάλλοντος που μπορεί ενδεχομένως να επιφέρει μία διεργασία ή ένα προϊόν κατά την διάρκεια του κύκλου ζωής του. Η μεθοδολογία της AKZ έγινε με την αξιοποίηση του υπολογιστικού προγράμματος SimaPro.

Συγκεκριμένα, το δεύτερο κεφάλαιο περιέχει μία λεπτομερή περιγραφή της γραμμής θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων καθώς και για την ρύπανση της και το σχετικό νομοθετικό πλαίσιο που την αφορά. Στο τρίτο κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε μία παρουσίαση της μεθόδου της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής και ύστερα έγινε εφαρμογή της στις περιπτώσεις που αναφέρθηκαν. Ύστερα συγκεντρώθηκαν τα αποτελέσματα για δύο δείκτες: δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP) και αθροιστική ενεργειακή απαίτηση (CED). Στο τέταρτο κεφάλαιο εξάγονται τα τελικά συμπεράσματα από την μελέτη.

Το συμπέρασμα που προέκυψε από την σύγκριση διαφορετικών συμβατικών γραμμών ήταν ότι η γραμμή με ξήρανση/curing με υπέρυθρη ή κοντά-στο-υπέρυθρο ακτινοβολία έχει καλύτερες περιβαλλοντικές επιδόσεις από την γραμμή με συμβατικό φούρνο συναγωγής θερμότητας για την ξήρανση. Το σημαντικότερο συμπέρασμα που προέκυψε όμως, ήταν ότι η καινοτόμος ξήρανση/curing ECCO θεωρείται μία βελτιωμένη εναλλακτική για την συμβατική ξήρανση όσο μεγαλύτερο ποσό διαλύτη χρησιμοποιείται για-αντικατάσταση του φυσικού αερίου ως καύσιμο. Ωστόσο η συνολική γραμμή ECCO φαίνεται να έχει μικρή περιβαλλοντική επιβάρυνση (δυναμικό υπερθέρμανσης πλανήτη, κατανάλωση ενέργειας) για διαφορετικά ποσά αντικατάστασης φυσικού αερίου με διαλύτη σε σχέση με τη συμβατική γραμμή.

Abstract

The purpose of this thesis is to conduct a study for the coil coating process in relation to the demand for energy and greenhouse gas emissions, and the assessment of the innovative ECCO coil coating process.

The study was organized into two parts. The first part was a study that focused on the curing section and the second part focused on the coil coating line as a whole. Different cases were sorted into two groups depending on whether the data was collected from literature or the industry. This was done for the conventional systems. Furthermore, an analysis was done on the innovative ECCO process for the curing section and the whole coil coating line for different operating points. Finally, the conventional system was compared with the innovative system.

The method employed in the current study was the Life Cycle Assessment (LCA). LCA has lots of indicators that show the environmental degradation that can be caused by a process or a product during its life cycle. The LCA method was realized with the help of the software SimaPro.

Specifically, the second chapter contains a detailed description of the coil coating process, its pollution and its legislation. In the third chapter the LCA method is presented and after that, it is implemented on the cases mentioned above. Subsequently, the results were gathered for two indicators; global warming potential (GWP) and cumulative energy demand (CED). Finally, the fourth chapter contains the final conclusions that are drawn from the study.

The conclusion that was drawn for the comparison of different conventional lines was that the line with infrared or near-infrared curing has better environmental performance compared to the line that uses a convective oven for the curing process. The most important conclusion derived from this study was that the innovative ECCO curing process can be considered an improved alternative to the conventional curing process when a large portion of solvent replaces the natural gas as fuel. However, the ECCO coil coating line seems to have a smaller environmental impact (global warming potential, energy consumption) for different amounts of solvent that replace the natural gas compared to the conventional coil coating line.

Πίνακας περιεχομένων

1.Εισαγωγή	6
2.Θερμική Επεξεργασία Βαμμένων Μεταλλικών Ελασμάτων	7
2.1. Περιγραφή συμβατικών γραμμών θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων	7
2.1.1 Συμβατική γραμμή.....	7
2.1.2 Πλεονεκτήματά χρήσης προ-βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων και εφαρμογές	8
2.1.3. Αναλυτική περιγραφή επιμέρους τμημάτων της γραμμής	10
2.1.4. Συμβατικός φούρνος ξήρανσης/curing συναγωγής θερμότητας.....	14
2.1.5. Ξήρανση/Curing με υπέρυθρη και κοντά-στο-υπέρυθρο ακτινοβολία	17
2.1.6 Ξήρανση/curing με τη χρήση πορώδη καυστήρα	18
2.2. Βαφές.....	20
2.2.1. Τύποι Βαφών.....	20
2.2.2 Οργανικοί Διαλύτες	20
2.3 Ρύπανση και νομοθεσία	21
2.3.1. Περιβαλλοντικός αντίκτυπος της θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων	21
2.3.2. Καταναλώσεις ενέργειας στην εποχή της κλιματικής αλλαγής.....	22
2.3.3 Ρύπανση από πτητικές οργανικές ενώσεις	25
2.3.4 Νομοθεσία.....	29
2.4 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	33
3. Ανάλυση Κύκλου Ζωής Συστήματος.....	34
3.1 Μεθοδολογία ΑΚΖ.....	34
3.1.1 Σκοπός και Πλαίσιο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής-ΑΚΖ	37
3.2 Μοντελοποίηση Συμβατικού Συστήματος Θερμικής Επεξεργασίας Βαμμένων Μεταλλικών Φύλλων	40
3.2.1. Περιβαλλοντικοί δείκτες.....	40
3.2.2. Περιγραφή ενεργειακών καταναλώσεων στο συμβατικό σύστημα θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών φύλλων	42
3.2.3. Μοντελοποίηση Συμβατικού Συστήματος για την Εφαρμογή της Μεθοδολογίας της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.....	43
3.3 Μοντελοποίηση Ανταγωνιστικού/Καινοτόμου Συστήματος Θερμικής Επεξεργασίας Βαμμένων Μεταλλικών Φύλλων	62
3.3.1 Περιγραφή κυκλώματος ανταγωνιστικού/καινοτόμου συστήματος θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών φύλλων.	62
3.3.2 Μοντελοποίηση Ανταγωνιστικού/Καινοτόμου Συστήματος και Εφαρμογή της Μεθοδολογίας της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.....	65

3.4 Άμεσες και έμμεσες εκπομπές από τις γραμμές θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων.....	77
3.5 Σύγκριση συμβατικού και καινοτόμου συστήματος θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων.....	80
4. Συμπεράσματα.....	83
Βιβλιογραφία.....	85
Παράρτημα 1.....	88
Παράρτημα 2.....	110

1.Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια έχει επικρατήσει η βαφή μετάλλων με την γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων (coil coating process) πριν από την περαιτέρω επεξεργασία του μετάλλου. Αυτό συμβαίνει επειδή με αυτό τον τρόπο εφαρμογής η βαφή διαθέτει μεγαλύτερη αντοχή, διαβρώνεται πιο δύσκολα με τον χρόνο, και δίνει την δυνατότητα επιλογής διαφορετικών χρωμάτων και μοτίβων. Επιπροσθέτως αποτελεί μία οικονομική λύση που προσφέρει μειωμένο αντίκτυπο στο περιβάλλον. Ωστόσο το βασικότερο ζήτημα στην ρύπανση αυτών των γραμμών συνιστούν οι πτητικές οργανικές ενώσεις (VOCs) από τους διαλύτες που προκύπτουν από την διεργασία της ξήρανσης (curing) οι οποίες αποτελούν ιδιαίτερα βλαβερές εκπομπές. Με την χρήση του κατάλληλου αντιρρυπαντικού συστήματος μπορούν να αντιμετωπιστούν αποτελεσματικά καθώς υπάρχουν και αυστηροί περιορισμοί από την Ευρωπαϊκή Ένωση που αποσκοπούν στον περιορισμό τους. Ωστόσο, η χρήση του φυσικού αερίου ή άλλων καυσίμων για την καύση των πτητικών οργανικών ενώσεων στην εποχή όπου υπάρχει μία αυξανόμενη ανησυχία για το πρόβλημα της κλιματικής αλλαγής δημιουργεί την ανάγκη για διερεύνηση άλλων καινοτόμων τρόπων ξήρανσης/curing.

Συνεπώς στην παρούσα διπλωματική έγινε μία μελέτη της θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων όσον αφορά τις ενεργειακές καταναλώσεις και τις εκπομπές αέριων ρύπων. Έγινε μελέτη της ξήρανσης/curing καθώς και της συνολικής γραμμής για συμβατικά συστήματα. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε μία περαιτέρω μελέτη του καινοτόμου συστήματος ECCO, το οποίο αξιοποιεί τον διαλύτη ως καύσιμο, για την ξήρανση/curing και για την συνολική γραμμή. Τέλος έγινε μία σύγκριση του συμβατικού και του καινοτόμου συστήματος και εξήχθησαν τα αντίστοιχα συμπεράσματα.

Σε αυτή την μελέτη χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της Ανάλυσης του Κύκλου Ζωής (AKZ). Αυτή η μέθοδος διαθέτει πολλούς περιβαλλοντικούς δείκτες που εξετάζουν διάφορες παραμέτρους επιβάρυνσης του περιβάλλοντος που ενδεχομένως μπορεί να επιφέρει μία διεργασία ή ένα προϊόν σε όλη τη διάρκεια του κύκλου ζωής του. Στο πλαίσιο της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας η μέθοδος AKZ εφαρμόστηκε με την χρήση του υπολογιστικού προγράμματος SimaPro. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μία λεπτομερή περιγραφή του συστήματος θερμικής επεξεργασίας, της ρύπανσης και της υφιστάμενης νομοθεσίας. Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται η παρουσίαση της μεθόδου Ανάλυσης Κύκλου Ζωής και η εφαρμογή της στις περιπτώσεις που αναφέρθηκαν.

2.Θερμική Επεξεργασία Βαμμένων Μεταλλικών Ελασμάτων

2.1. Περιγραφή συμβατικών γραμμών θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων

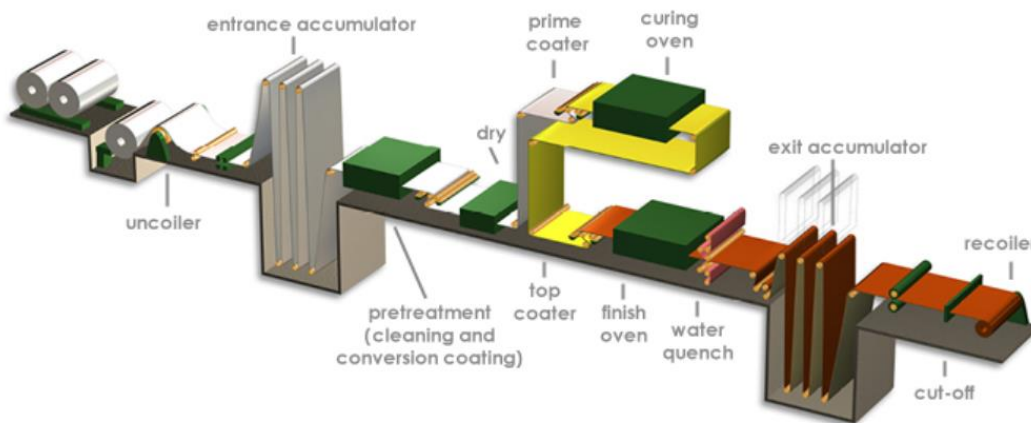
2.1.1 Συμβατική γραμμή

Η πρώτη γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων (coil coating) εγκαταστάθηκε στην πολιτεία της Καλιφόρνια στην Αμερική το 1940 για την βαφή ρολών παραθύρου από τον Joseph Hunter, με σκοπό να εξυπηρετήσει τοπικούς κατασκευαστές ρολών. Ο χρόνος αναμονής για το στέγνωμα ύστερα από την τοποθέτηση της βαφής που είχαν να αντιμετωπίσουν οι κατασκευαστές ήταν μεγάλο μειονέκτημα, καθώς πολλές φορές αδυνατούσαν να προμηθεύσουν έγκαιρα τους πελάτες τους λόγω μεγάλης ζήτησης. Συνεπώς τα προ-βαμμένα ρολά παραθύρων όχι μόνο κατάφεραν να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά αυτό το εμπόδιο αλλά και να βελτιώσουν την ποιότητα των προϊόντων. Ταυτόχρονα εξασφαλίστηκε ότι κάθε προϊόν είχε πανομοιότυπο χρώμα, επειδή λάμβανε υπόψη παραμέτρους όπως το πάχος της επίστρωσης, χρόνος ξήρανσης/curing, προετοιμασία της επιφάνειας επικάλυψης κλπ.. (1)

Σε γενικές γραμμές, η θερμική επεξεργασία βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων ορίζεται ως μία συνεχής διαδικασία στην οποία μία οργανική επίστρωση τοποθετείται σε ένα μεταλλικό φύλλο. Αυτή διαδικασία συμπεριλαμβάνει τον καθαρισμό και τη χημική επεξεργασία της μεταλλικής επιφάνειας (διπλής ή μονής όψης) ,καθώς και την βαφή με ένα ή περισσότερα χρώματα (σε υγρή μορφή). Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν χρώματα σε μορφή σκόνης. Στην συνέχεια γίνεται ξήρανση/curing και ενδεχομένως η τοποθέτηση πλαστικής επίστρωσης. (2)

Πιο αναλυτικά μία σύγχρονη γραμμή βαφής μεταλλικών ελασμάτων περιλαμβάνει σταθμούς που κάνουν τις εξής διεργασίες σε σειρά:

- Ραφή του φύλλου στο προηγούμενο ρολό
- Καθαρισμός του φύλλου
- Επεξεργασία με χημικά
- Τοποθέτηση ασταριού στην μία ή και στις δύο πλευρές
- Ξήρανση/curing
- Βαφή μία ή και των δύο πλευρών
- Δεύτερη ξήρανση/curing
- Ψύξη σε θερμοκρασία δωματίου
- Τύλιγμα του φύλλου σε μορφή ρολού (3)



Εικόνα 1: Τυπική μορφή γραμμή επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων (3)

Τα μέταλλα στα οποία γίνεται η βαφή είναι συνήθως χάλυβας (75%) και αλουμίνιο (25%) και η επιστροφή είναι βαφή (95%) ή πλαστική επικάλυψη (5%) (2).

Οι περισσότερες γραμμές θερμικής επεξεργασίας μεταλλικών ελασμάτων είναι ενσωματωμένες σε εταιρείες παραγωγής χάλυβα ή αλουμινίου και παρέχουν μεγάλες ποσότητες προ-βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων. Ωστόσο υπάρχουν και εταιρίες που εστιάζουν αποκλειστικά στο κομμάτι βαφής μετάλλων και αναλαμβάνουν την διεκπεραίωση εξατομικευμένων περιπτώσεων (2).

2.1.2 Πλεονεκτήματά χρήσης προ-βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων και εφαρμογές

Τα τελευταία χρόνια η βαφή των μεταλλικών ελασμάτων πριν από την περαιτέρω διαμόρφωση τους έχει αρχίσει να υιοθετείται από αρκετές εταιρείες. Αρχικά, το προ-βαμμένο φύλλο διαθέτει πολύ υψηλή ποιότητα βαμμένης επιφάνειας. Ακόμα υπάρχει η δυνατότητα επιλογής πολλών χρωμάτων και μοτίβων για την βαφή του μετάλλου, καθώς και υφής (ματ, γυαλιστερό κλπ.) (4) .

Επιπροσθέτως, οι επιστρώσεις που τοποθετούνται στα μεταλλικά φύλλα πριν από την επεξεργασία τους είναι λεπτότερες και παρουσιάζουν μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με τις επιστρώσεις που τοποθετούνται μετά την επεξεργασία του μετάλλου. Ο συνεχής έλεγχος ποιότητας των βαμμένων μετάλλων μειώνει την ανάγκη για επαναλαμβανόμενη επεξεργασία της βαφής οπότε μειώνει και το κόστος. (4).

Όσον αφορά το περιβάλλον, τα προβλήματα που προκύπτουν με την ρύπανση από την βαφή αντιμετωπίζονται πιο αποτελεσματικά, καθώς εξ' αρχής τηρούνται αυστηρά ελεγχόμενες συνθήκες. Οπότε, το κόστος συμμόρφωσης με βάση τους περιβαλλοντικούς κανονισμούς μειώνεται δραστικά ή εξαλείφεται εξ' ολοκλήρου. Το κόστος απόρριψης επικίνδυνων απορριμμάτων από τις βαφές μηδενίζεται (4).

Το συνολικό κόστος που προκύπτει από τη βαφή των μετάλλων πριν την επεξεργασία τους μειώνεται κατά 10% σε σχέση με την βαφή των μετάλλων μετά. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι μειώνεται το κόστος αποθήκευσης και ο συνολικός χώρος που απαιτείται για την επεξεργασία του μετάλλου (5).

Οι βασικότερες εφαρμογές των προ-βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων είναι οι εξής:

- ✓ **Κτήρια:** Χρησιμοποιείται στην εξωτερική και εσωτερική επικάλυψη, στην στέγη καθώς και σε άλλα επιμέρους τμήματα (συνήθως στον εξωτερικό χώρο). Όσον αφορά την εξωτερική επικάλυψη, η χρήση προ-βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων συνιστά μία αποτελεσματική λύση τόσο στα μεγάλα όσο και στα μικρά κτήρια, καθώς είναι ελαφριά, οικολογικά, ανθεκτικά και οικονομικά. Επίσης προσφέρουν πολύ ικανοποιητική θερμική και



Εικόνα 2: Παραδείγματα εφαρμογής προ-βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων σε κτήρια (6)

- ηχητική μόνωση επειδή το μέταλλο δημιουργεί ένα αεροστεγώς κλεισμένο περιβάλλον. Στις στέγες χρησιμοποιούνται βαμμένα μεταλλικά φύλλα από χάλυβα ή αλουμίνιο τα οποία πληρούν τις προϋποθέσεις τόσο από αρχιτεκτονική όσο και κατασκευαστική πλευρά, καθώς μπορούν να προσφέρουν υψηλή αισθητική και ανθεκτικότητα. Οι μεταλλικές στέγες προσφέρουν πλέον 30 χρόνια εγγύησης. Ακόμα το προ-βαμμένο μεταλλικό φύλλο που μπορεί να τοποθετηθεί στη στέγη είναι δυνατό να φέρει διάφορα μοτίβα και μπορεί να μοιάσει με κεραμίδια, σχιστόπλακες κλπ. Τέλος, μπορεί να τοποθετηθεί και στις πόρτες και σε παραθυρόφυλλα καθώς πέρα από τα προτερήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω προσφέρει ακόμα και ευελιξία στις διαστάσεις. (6)
- ✓ **Μεταφορές:** Στα αυτοκίνητα τα προ-βαμμένα μεταλλικά φύλλα χρησιμοποιούνται κυρίως στο περίβλημα του αυτοκινήτου αλλά και σε επιμέρους τμήματα. Δηλαδή χρησιμοποιούνται στις πόρτες, στο καπό, στους υαλοκαθαριστήρες κλπ. Επίσης βρίσκουν εφαρμογή και σε άλλα μεταφορικά μέσα όπως στα φορτηγά, στα πούλμαν, στα λεωφορεία και στα τρένα. (6)
- ✓ **Οικιακές συσκευές:** Πιο συχνές εφαρμογές αποτελούν το ψυγείο, το πλυντήριο ρούχων και πιάτων, το στεγνωτήριο, ο φούρνος μικροκυμάτων, καλοριφέρ, DVD players, ηλεκτρονικοί υπολογιστές κλπ. (6)
- ✓ **Έπιπλα:** Τα πλεονεκτήματα των προ-βαμμένων ελασμάτων αξιοποιούνται συχνά από κατασκευαστές και σχεδιαστές επίπλων. Χρησιμοποιούνται σε ράφια, ντουλάπια, γραφεία και αποθήκες. Με τα προ-βαμμένα φύλλα, οι σχεδιαστές έχουν τη δυνατότητα να επιλέξουν το φινιρίσμα του τελικού επιθυμητού προϊόντος

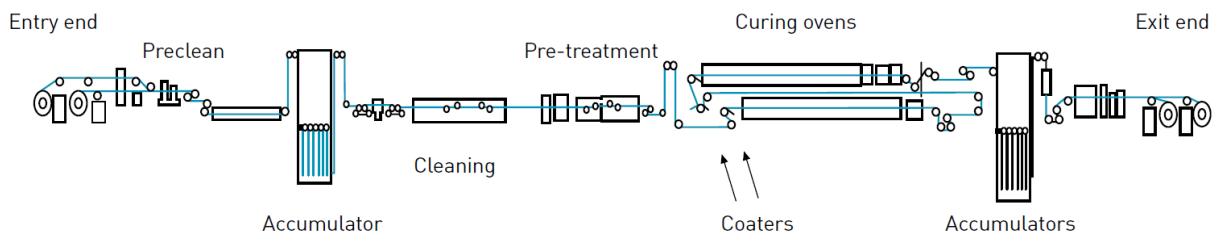
λαμβάνοντας παράλληλα υπόψη την ποιότητα και το κόστος . Επίσης, σε καταστήματα και σε σούπερ-μάρκετ μπορούν να τοποθετηθούν τα προ-βαμμένα μεταλλικά φύλλα στα ράφια, στους πάγκους και σε βιτρίνες. (6)



Εικόνα 3: Εφαρμογή προ-βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων σε μεταφορές, οικιακές συσκευές και στην επίπλωση (6)

2.1.3. Αναλυτική περιγραφή επιμέρους τμημάτων της γραμμής

Στην εικόνα 4 απεικονίζεται η πλάγια όψη μίας τυπικής σύγχρονης γραμμής θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων:

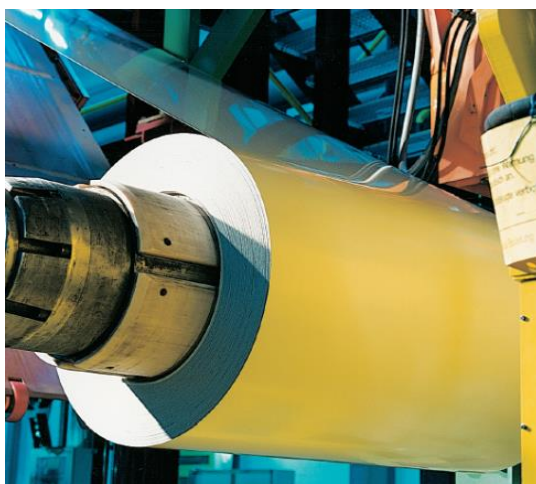


Εικόνα 4: Πλάγια όψη τυπικής γραμμής βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων (7)

Αναλυτικά σε κάθε επιμέρους τμήμα:

Εισαγωγή μεταλλικού φύλλου

Αρχικά το τυλιγμένο μεταλλικό φύλλο εισάγεται στη γραμμή από το φορτηγό. Μετά πραγματοποιούνται μετρήσεις στο τυλιγμένο φύλλο έτσι ώστε να γίνει έλεγχος εάν πληρούνται οι προδιαγραφές για την ποιότητα. Στην συνέχεια, στο άκρο του φύλλου που θα εισαχθεί στη γραμμή, αφαιρείται ένα μικρό κομμάτι το οποίο ενδεχόμενα να έχει υποστεί φθορές . Ύστερα γίνεται συγκόλληση του επεξεργασμένου άκρου με το άκρο του φύλλο το οποίο επεξεργάζεται ήδη στην γραμμή. Με αυτό τον τρόπο η διαδικασία δε διακόπτεται καθώς όταν έλθει σε πέρας η βαφή του προηγούμενου μεταλλικού φύλλου ξεκινάει άμεσα η επεξεργασία του επόμενου (2).



Εικόνα 5: Ξετύλιγμα μεταλλικού ελάσματος (8)

Ισοπεδωτής (Leveller)

Εφαρμόζεται πίεση έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι το μεταλλικό φύλλο είναι επίπεδο για την συνέχιση της διεργασίας. Αυτό αποτελεί μία αναγκαία προϋπόθεση καθώς το μεταλλικό φύλλο πρέπει να οδηγηθεί ανεμπόδιστο από τα ρολά που εφαρμόζουν τη βαφή και από τους φούρνους, καθώς και να ικανοποιηθούν επιτυχώς οι απαιτήσεις των πελατών. Σε περίπτωση που το μεταλλικό φύλλο δεν είναι επίπεδο μπορεί να υπάρξουν ανομοιομορφίες στην επικαλυπτόμενη βαφή καθώς και φθορές. (2)

Συσσωρευτής (Accumulator)

Σε αυτό το στάδιο αποθηκεύεται ένα κομμάτι του μεταλλικού φύλλου το οποίο ελευθερώνεται όταν γίνεται συγκόλληση ενός καινούργιου φύλλου με τη γραμμή έτσι ώστε να μην υπάρξουν διακοπές στην διαδικασία (2). Η διαδικασία της συγκόλλησης μπορεί να πάρει 20 με 60 δευτερόλεπτα, που συνιστά ένα αξιοσημείωτο χρονικό διάστημα, καθώς η ταχύτητα της συγκεκριμένης γραμμής μπορεί να φτάσει 150 m/min (5).

Τμήμα καθαρισμού

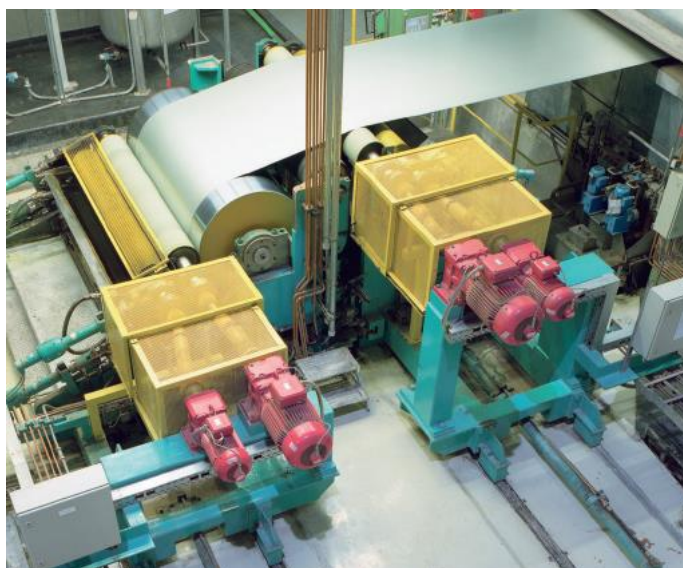
Το φύλλο στην συνέχεια καθαρίζεται χημικά με υδατικό διάλυμα για να μην υπάρχουν ασυνέχειες στην επιφάνεια (όπως είναι το λάδι, γράσο κλπ.) είτε με εμβάπτιση είτε με ψεκασμό. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζεται η βέλτιστη ποιότητα στην επιφάνεια του μεταλλικού φύλλου έτσι ώστε να μπορέσει να βαφεί επιτυχώς. Στη συνέχεια γίνεται ξέπλυμα με ζεστό και κρύο νερό για να απομακρυνθούν οποιαδήποτε χημικά υπολείμματα. Σε περίπτωση που τα μεταλλικά φύλλα φέρουν πολλές ακαθαρσίες μπορεί να τοποθετηθεί ένα τμήμα «προκαθαρισμού» πριν από το συσσωρευτή (2).



Εικόνα 6: Συσσωρευτής (8)

Τμήμα επεξεργασίας με χημικά (Conversion Coating)

Η ξήρανση του φύλλου είναι αναγκαία πριν από την τοποθέτηση των χημικών. Αυτό το στάδιο είναι σημαντικό καθώς βελτιώνει την μακροπρόθεσμη αντοχή του φύλλου σε φθορές και εξασφαλίζει την καλή συνάφεια της βαφής με το μεταλλικό φύλλο. Η επικάλυψη που τοποθετείται περιέχει άλατα χωρίς χρώμιο τα οποία βοηθούν την επικόλληση της οργανικής βαφής στην μεταλλική επιφάνεια, ενώ εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν επικαλύψεις από φωσφορικό σίδηρο ή ψευδάργυρο (συνήθως για γαλβανισμένο χάλυβα). Επίσης, ανάλογα με την περίπτωση, μπορούν να τοποθετηθούν πρόσθετες ενώσεις έτσι ώστε να ενισχυθεί η επικάλυψη του μετάλλου και να αυξηθεί η απόδοση της διεργασίας. Η επικάλυψη με τα χημικά τοποθετείται με ένα ρόλο «chemcoater» είτε με εμβάπτιση/ψεκασμό. Όπως φαίνεται και από την παρακάτω εικόνα, δεν είναι αναγκαία η τοποθέτηση εξωτερικού περιβλήματος καθώς δεν επεξεργάζονται ατμοποιημένοι διαλύτες και δεν υπάρχει κίνδυνος έκρηξης. Ορισμένες επικαλύψεις απαιτούν ένα τελικό ξέπλυμα έτσι ώστε να απομακρυνθούν οποιαδήποτε χημικά υπολείμματα από το μεταλλικό φύλλο και στη συνέχεια ξηραίνεται πριν εισαχθεί στο τμήμα επικάλυψης με βαφή/αστάρι (2).



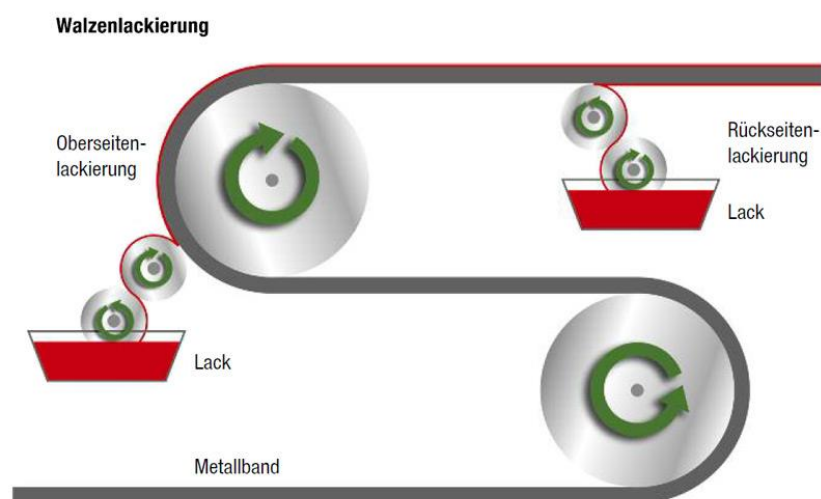
Εικόνα 7: Εφαρμογή «chemcoater» (8)

Τμήμα επικάλυψης μετάλλου με αστάρι (Prime coat application)

Το φύλλο επικαλύπτεται και στις δύο πλευρές με αστάρι. Η επικάλυψη πραγματοποιείται με μία μηχανή που περιέχει ρολά (Εικόνα 8). Η μηχανή αυτή μπορεί να ρυθμιστεί έτσι ώστε να καθορίσει την ποσότητα της βαφής που τοποθετείται στο μεταλλικό φύλλο. Είναι αναγκαίο σε αυτό το κομμάτι να γίνεται σε κλειστό χώρο που είναι επαρκώς αεριζόμενος για να τηρηθούν ασφαλείς συνθήκες για το προσωπικό. Ύστερα από την τοποθέτηση του ασταριού, το μεταλλικό φύλλο εισέρχεται σε ένα φούρνο που απομακρύνει τις πτητικές οργανικές ενώσεις. Στη συνέχεια το φύλλο ψύχεται είτε με αέρα είτε με κάποιο ψυκτικό σύστημα είτε με συνδυασμό και των δύο. (2).

Τμήμα επικάλυψης μετάλλου με βαφή (Finish Coat Application)

Το φύλλο εισάγεται σε μία δεύτερη μηχανή επικάλυψης με ρολά η οποία τοποθετεί την βαφή και στις δύο πλευρές του φύλλου. Η βαφή τοποθετείται όπως φαίνεται στο σχήμα (Εικόνα 8). Υπάρχει η δυνατότητα να βαφεί το μέταλλο με διαφορετικό χρώμα σε κάθε πλευρά. Ακόμα, το πάχος της στρώσης της βαφής μπορεί να μεταβληθεί ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα. Το φύλλο στην συνέχεια περνάει από ένα δεύτερο φούρνο ξήρανσης/curing έτσι ώστε να γίνει επιτυχώς απομάκρυνση των πτητικών (2).



Εικόνα 8: Τοποθέτηση βαφής στο μεταλλικό φύλλο με ρολά (9)

Τμήμα δημιουργίας ανάγλυφης επίστρωσης/τοποθέτησης πλαστικής επίστρωσης (Emboss)

Σε αυτό το τμήμα αποτυπώνονται μοτίβα ή σχέδια στο βαμμένο μεταλλικό φύλλο. Εναλλακτικά τοποθετείται μία πλαστική επίστρωση η οποία συνιστά ένα λεπτό στρώμα πολυμερούς. Το στρώμα τοποθετείται με πίεση πάνω στο θερμό βαμμένο μεταλλικό φύλλο και στην συνέχεια ξηραίνεται (2).

Τμήμα ψύξης

Η ψύξη του βαμμένου μεταλλικού φύλλου είναι αναγκαία καθώς αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της ξήρανσης/curing . Για να αποφευχθεί η αχρείαση σπατάλη του νερού μπορεί να αξιοποιηθεί ένας πύργος ψύξης για να παρέχει ένα κλειστό σύστημα για ψύξη του φύλλου (2).

Έξοδος

Ύστερα από την περάτωση της ψύξης, το φύλλο εισέρχεται για μία ακόμα φορά σε ένα συσσωρευτή και στην συνέχεια κόβεται με μία γκιλοτίνα. Ο σκοπός του συσσωρευτή σε αυτή την περίπτωση είναι να αποτρέψει την διακοπή της διαδικασίας όταν η γραμμή

επιβραδύνεται ή σταματάει στο τέλος έτσι ώστε να απομακρυνθεί το βαμμένο φύλλο. Το φύλλο ελέγχεται για το αν πληρούνται τα κριτήρια ποιότητας και στη συνέχεια τυλίγεται και τοποθετείται ένας ιμάντας για συγκράτηση. Στην συνέχεια μεταφέρεται στο χώρο αποθήκευσης για να αποσταλεί στους πελάτες (2).

Ορισμένες γραμμές βαφής μεταλλικών ελασμάτων παρουσιάζουν ευελιξία ως προς τα επιμέρους τμήματα, καθώς κάποιο τμήμα μπορεί να επιτελέσει παραπάνω από μία διαδικασία. Ακόμα, η αξιοποίηση συστημάτων αυτομάτου ελέγχου μπορεί να γίνει τόσο στον καθορισμό της συγκέντρωσης της βαφής όσο και στην επιλογή του πάχους της επίστρωσης (5).



Εικόνα 9: Χώρος αποθήκευσης βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων

2.1.4. Συμβατικός φούρνος ξήρανσης/curing συναγωγής θερμότητας

Αφού έχει τοποθετηθεί η επίστρωση της βαφής στο μεταλλικό φύλλο, τότε γίνεται η ξήρανση/curing. Ο τρόπος που γίνεται η ξήρανση/curing εξαρτάται από πολλές παραμέτρους όπως οι απαιτούμενες προδιαγραφές της βαφής και του υποστρώματος, τον διαθέσιμο χώρο του εργοστασίου, διαθέσιμο κεφάλαιο καθώς και οι περιβαλλοντικοί κανονισμοί.

Ο συμβατικός τρόπος ξήρανσης/curing γίνεται με φούρνους συναγωγής όπου πραγματοποιείται καύση αέριου καυσίμου. Μέσα στον φούρνο το μεταλλικό φύλλο και η επίστρωση της βαφής θερμαίνονται σε μία συγκεκριμένη θερμοκρασία. Αυτή θερμοκρασία πρέπει να διατηρηθεί για ένα εύλογο χρονικό διάστημα στο οποίο πρέπει να πραγματοποιηθεί ατμοποίηση των πτητικών ουσιών και να εφαρμοστεί επιτυχώς η επικάλυψη της βαφής πάνω στο μεταλλικό φύλλο (10). Υπάρχουν 5 βασικά τμήματα τα οποία θα αναλυθούν στη συνέχεια:



Εικόνα 10: Συμβατικός φούρνος με συναγωγή θερμότητας (11)

Εξωτερικό περίβλημα:

Ο σκοπός του εξωτερικού περιβλήματος συνιστά η δημιουργία του περιβάλλοντος κατάλληλου για την διαδικασία curing. Το περίβλημα περιλαμβάνει την δομή υποστήριξης, την μόνωση, τα υλικά στεγανότητας, το σύστημα παροχής και τα ανοίγματα. Είναι αναγκαίο να έχει τις κατάλληλες διαστάσεις έτσι ώστε να στεγάσει επιτυχώς τον επιμέρους εξοπλισμό και να εκθέτει το μεταλλικό φύλλο στις κατάλληλες θερμοκρασίες για τα καθορισμένα χρονικά διαστήματα (10).

Μία χαλύβδινη κατασκευή υποστηρίζει τον περιφραγμένο χώρο και τον εξοπλισμό μεταφοράς του μεταλλικού φύλλου. Χρησιμοποιούνται χαλύβδινοι ράβδοι ή στήλες. Για την διευκόλυνση κατά τη διάρκεια της κατασκευής οι χαλύβδινοι ράβδοι/στήλες τοποθετούνται στο εσωτερικό του περιφραγμένου χώρου και εκτίθενται στις μεγάλες θερμοκρασίες που αναπτύσσονται, οι οποίες προκαλούν διαστολή του χάλυβα. Προκειμένου να αντισταθμιστεί αυτό τοποθετούνται ειδικές οπές ή σχισμές (10).

Πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα για την είσοδο των εργαζόμενων στον εσωτερικό χώρο. Η πόρτα πρέπει να σφραγίζει την είσοδο χωρίς την χρήση κάποιου είδους μανταλώματος. Ακόμα ένα μεγάλο πρόβλημα συνιστούν τα ανοίγματα του εσωτερικού χώρου τα οποία απαιτούνται έτσι ώστε να εισέρχεται και να εξέρχεται το προϊόν από τον εσωτερικό και τον εξωτερικό χώρο (10).

Σύστημα Θέρμανσης:

Το δεύτερο σύστημα του συμβατικού φούρνου συνιστά το σύστημα θέρμανσης το οποίο παράγει την κατάλληλη ενέργεια για την ξήρανση/curing. Τα βασικά στοιχεία του συστήματος θέρμανσης είναι ο καυστήρας, ο ανεμιστήρας παροχής και τα φίλτρα. Τα επιμέρους στοιχεία πρέπει να είναι κατάλληλα διαστασιολογημένα ανάλογα με το θερμικό φορτίο που θα χρησιμοποιηθεί λαμβάνοντας υπόψη και τις απώλειες. Μάλιστα, ανάλογα με τις απώλειες γίνεται και η επιλογή του καυστήρα και του αντίστοιχου ηλεκτρικού εξοπλισμού

που απαιτείται για τον αυτοματισμό του. Ο καυστήρας συνήθως συνιστά μία συσκευή που με τη δημιουργία φλόγας παρέχει την κατάλληλη ενέργεια για την ξήρανση /curing (10).

Επίσης και υπολογισμός του θερμικού φορτίου παρέχει πληροφορίες για την επιλογή του καυστήρα καθώς και του ανεμιστήρα παροχής. Η θερμότητα που απαιτείται για να διατηρείται μία ικανοποιητική θερμοκρασία μέσα στο φούρνο, εξασφαλίζεται με τη θέρμανση του αέρα το πολύ 40 °C πάνω από την θερμοκρασία λειτουργίας του φούρνου. Η παροχή του θερμού αέρα πρέπει να γίνεται ομοιόμορφα (10).

Το φιλτράρισμα αποτελεί ένα άλλο σημαντικό στοιχείο καθώς καθαρίζει το περιβάλλον του αέρα. Η απόδοση των φίλτρων μεταβάλλεται ανάλογα με την εφαρμογή, ωστόσο τα πιο αποτελεσματικά είναι αυτά που χρησιμοποιούνται για τον αέρα που εισέρχεται στον φούρνο. Όμως για να λειτουργήσουν τα φίλτρα απαιτούν ταχύτητα η οποία είναι χαμηλότερη σε σχέση με άλλα συστήματα θέρμανσης. Το πρόβλημα αυτό επιλύεται αυξάνοντας το μέγεθος του συστήματος (10).

Σύστημα Παροχής Αέρα:

Ο αέρας εισέρχεται στο φούρνο με τη χρήση μίας συσκευής παροχής. Η πιο απλή τεχνολογία συνιστά η δημιουργία ενός ανοίγματος στην κορυφή ή στα πλάγια του αεραγωγού . Παρόλα αυτά αυτή η μέθοδος δεν παρέχει κανένα έλεγχο για τον εισερχόμενο αέρα. Μία βελτίωση αυτής της μεθόδου αποτελεί η αξιοποίηση κάποιας συσκευής ελέγχου παροχής του αέρα, όπως μία διαφάνεια η οποία ρυθμίζεται ανάλογα με την ποσότητα αέρα που είναι επιθυμητή σε κάθε περίπτωση (10).

Επίσης, υπάρχει το ενδεχόμενο ο αέρας που εισέρχεται από το άνοιγμα του αγωγού να μην αναμειχθεί αποτελεσματικά με το περιβάλλον που επικρατεί στο εσωτερικό του φούρνου ούτε να οδηγηθεί στο σύστημα επανακυκλοφορίας. Ένας τρόπος αντιμετώπισης αυτού του προβλήματος είναι η εισαγωγή ακροφυσίου για την ανακατεύθυνση της ροής. Το ακροφύσιο τοποθετείται στο άνοιγμα και προσδίδει την επιθυμητή κατεύθυνση στη ροή (10).

Για την ασφαλή λειτουργία του φούρνου υπάρχει και μία άλλη παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Οι συνθήκες της ατμόσφαιρας στο εσωτερικό του φούρνου δεν πρέπει να ευνοούν την έκρηξη. Όταν γίνεται ατμοποίηση των διαλυτών είναι αναγκαίο η συγκέντρωσή τους να βρίσκεται κάτω από το όριο πρόκλησης ενός δυνητικά εκρηκτικού μίγματος αερίων. Το όριο το οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί ελεγχόμενη καύση ονομάζεται κατώτερο όριο έκρηξης LEL (lower explosive limit). Συνεπώς για να μην υπάρχει κίνδυνος δημιουργίας συνθηκών πάνω από το κάτω όριο έκρηξης χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες αέρα, που διέρχονται μέσα από τον φούρνο, για την αραιώση των διαλυτών κάτω από το 25% του LEL (12).

Σύστημα Επανακυκλοφορίας:

Ο σκοπός του συστήματος επανακυκλοφορίας συνιστά η επιστροφή του αέρα στο σύστημα θέρμανσης. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται επιπρόσθετη πρόσδοση ενέργειας στο φούρνο. Με τη χρήση ενός φουσητήρα δημιουργείται αρνητική πίεση μέσα στον

περιφραγμένο χώρο η οποία ωθεί τον αέρα στον αγωγό και στην συνέχεια στο σύστημα θέρμανσης (10).

Σύστημα Εξάτμισης Καυσαερίων:

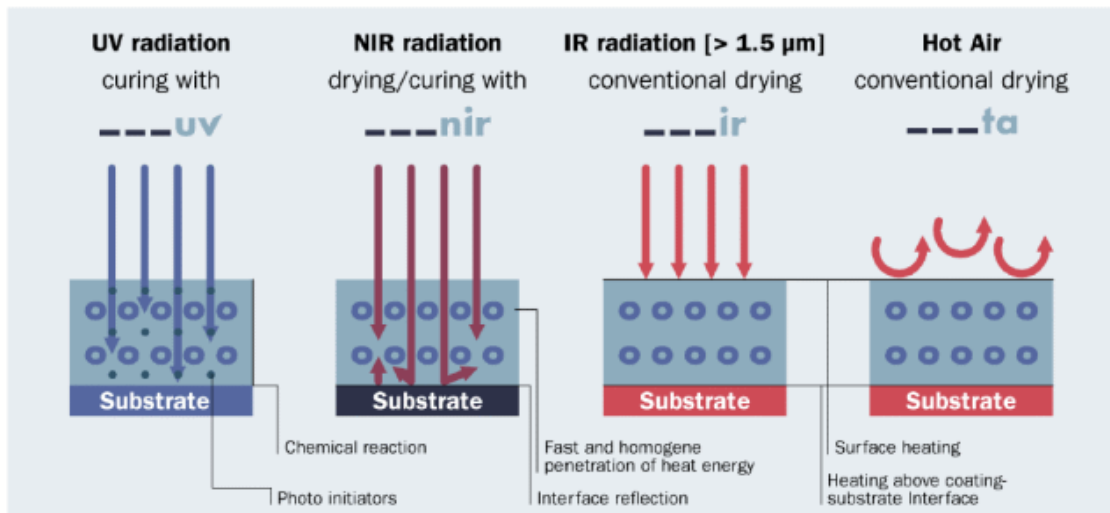
Ο φούρνος πρέπει να αφαιρεί τις πτητικές οργανικές ενώσεις που δημιουργούνται καθώς και άλλους ρύπους από την ξήρανση/curing. Επίσης πρέπει να αποβάλλεται ο συσσωρευμένος καπνός που δημιουργείται. Οι δύο παραπάνω απαιτήσεις ικανοποιούνται με το σύστημα εξάτμισης καυσαερίων. Ένας άλλος σημαντικός ρόλος που επιτελεί το συγκεκριμένο σύστημα συνιστά ο καθαρισμός του φούρνου πριν από την εκκίνηση. Για να πραγματοποιηθεί ο καθαρισμός πρέπει ο αέρας στον εσωτερικό χώρο να αλλάξει 4 φορές (συνολικά 20 λεπτά) πριν την έναυση. Η θέση του συστήματος εξάτμισης δεν είναι μείζονος σημασίας καθώς τα συστήματα επανακυκλοφορίας και η παροχής του αέρα αναμειγνύουν επιτυχώς το περιβάλλον στο εσωτερικό του φούρνου , οπότε μπορεί να τοποθετηθεί σε αρκετά σημεία της εγκατάστασης (10)

Σε γενικές γραμμές ο συμβατικός φούρνος με συναγωγή θερμότητας, εάν σχεδιασθεί και τοποθετηθεί προσεκτικά, δεν απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή σε σχέση με άλλα τμήματα της γραμμής βαφής των μεταλλικών ελασμάτων (10).

2.1.5. Ξήρανση/Curing με υπέρυθρη και κοντά-στο-υπέρυθρο ακτινοβολία

Η ξήρανση με υπέρυθρη ακτινοβολία (IR) ή κοντά στο υπέρυθρο (NIR) έχει εισαγάγει θέρμανση υψηλής ενεργειακής πυκνότητας στη γραμμή θερμική επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων (13). Με την υπέρυθρη ακτινοβολία η ενέργεια απορροφάται σχεδόν εξ 'ολοκλήρου από την επιφάνεια, ενώ με την κοντά-στο-υπέρυθρο ακτινοβολία επιτυγχάνεται άμεση θέρμανση όλου του μεταλλικού φύλλου (14).

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την μαζική παραγωγή βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων, με καλύτερη απόδοση και την σμίκρυνση των γραμμών παραγωγής. Για ενεργειακή πυκνότητα μεγαλύτερη από 250 kW/m² με μήκη κύματος κυρίως μεταξύ 800 και 1200 nm μειώνει τη διαδικασία ξήρανσης κατά 10 sec για επικαλύψεις (με μορφή πούδρας) σε σχέση με την ξήρανση/curing με τη συμβατική θέρμανση με συναγωγή θερμότητας (13). Η μείωση της ταχύτητας της ξήρανσης/curing συμβάλλει και στη μείωση θερμικών καταπονήσεων καθώς και την φθορά υλικών βαφής (όπως στις βαφές σε μορφή πούδρας). Επίσης αυτή η τεχνολογία επιτρέπει αυστηρό έλεγχο στη θέρμανση και ξήρανση/curing, το οποίο είναι επιθυμητό όταν χρησιμοποιούνται βαφές με πτητικές οργανικές ενώσεις που υπάρχει ο κίνδυνος έκρηξης. Ακόμα, ένα σημαντικό πλεονέκτημα της κοντά-στο-υπέρυθρο τεχνολογίας συνιστά η μείωση των αναγκών συντήρησης (14).



Εικόνα 11: Συγκριτική απεικόνιση μεθόδων ξήρανσης (curing) με α)UV ακτινοβολία β)NIR ακτινοβολία γ)IR ακτινοβολία δ) ζεστό αέρα (15)

Συγκεκριμένα στην γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων, η ξήρανση/curing έχει επιβάλλει πολλούς περιορισμούς. Για δεκαετίες οι φούρνοι με συναγωγή θερμότητας έχουν επικρατήσει σε αυτό το κομμάτι της παραγωγής. Ενώ η τεχνολογία IR προσφέρει τη δυνατότητα μείωσης του όγκου της γραμμής, η διαφορά του κόστους μεταξύ την καύσης φυσικού αερίου και του ηλεκτρικού ρεύματος έχει οδηγήσει πολλές εταιρίες να προτιμήσουν του φούρνο με το φυσικό αέριο. Έτσι η ανάπτυξη της κοντά-στο-υπέρυθρο τεχνολογίας η οποία κατασκευάζεται αποκλειστικά για την γραμμή θερμικής επεξεργασίας μεταλλικών ελασμάτων αποτελεί μία ικανοποιητική εναλλακτική (14).

Παρόλα αυτά ενώ είναι αδιαμφισβήτητο το γεγονός ότι με την αξιοποίηση αυτής της τεχνολογίας προκύπτουν μικρότερες ταχύτητες ξήρανσης, είναι αμφιλεγόμενη λόγω της έλλειψης δεδομένων και εμπειρίας πάνω στην αποτελεσματική και σταθερή ξήρανση (13).

2.1.6 Ξήρανση/curing με τη χρήση πορώδους καυστήρα

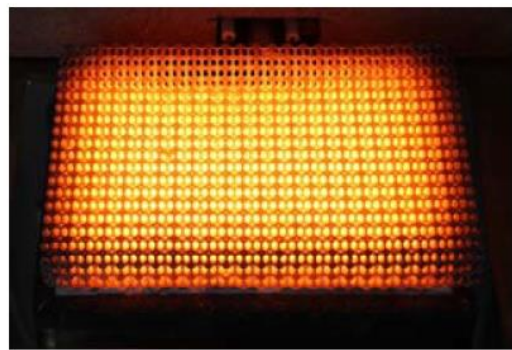
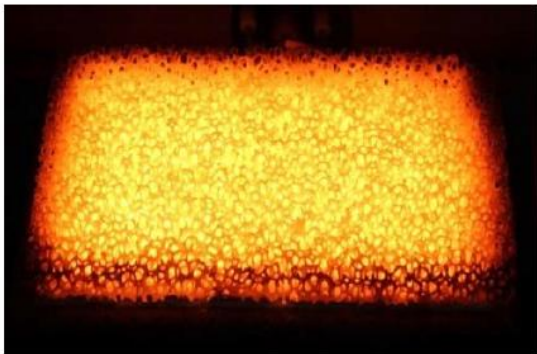
Με την συνεχή διείσδυση των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας και την απαίτηση για την μείωση των εκπομπών του φαινομένου του θερμοκηπίου γίνεται διερεύνηση βελτίωσης των συμβατικών συστημάτων καύσης. Ο πορώδης καυστήρας χαρακτηρίζεται από υψηλή ευελιξία στην λειτουργία του, συγκριτικά χαμηλότερες εκπομπές σε σχέση με άλλους καυστήρες, μεγάλη ταχύτητα φλόγας, μεγάλο εύρος αναφλεξιμότητας και την δυνατότητα αντιμετώπισης του μονοξειδίου του άνθρακα (CO). Επίσης αναπτύσσονται μικρότερες θερμοκρασίες στη ζώνη καύσης που δεν ευνοούν τον σχηματισμό των NO_x. (16)

Η προαναμιγμένη φλόγα εξαπλώνεται μέσα στο πορώδες μέσο μέσα από ακανόνιστη ή συγκεκριμένη διάταξη κοιλοτήτων που αποτελούνται από ένα αδρανές υλικό που επιτρέπει πολύ καλή συναγωγή θερμότητας. (16) Ωστόσο η πορώδης δομή με συγκεκριμένη διάταξη έχει παρατηρηθεί ότι πλεονεκτεί σε σύγκριση με την ακανόνιστη διάταξη ως προς

την εκπομπή θερμότητας. (17) Η ανακυκλοφορία θερμότητας που πραγματοποιείται στο εσωτερικό του πορώδη καυστήρα προσφέρει δυνατότητα εναλλαγής καυσίμου. Αυτό συνιστά μία σημαντική παράμετρο για καύσιμα που έχουν σχετικά χαμηλή θερμογόνο ικανότητα. (16)

Οι πορώδεις καυστήρες αποτελούνται συνήθως από κεραμικά υλικά τα οποία μπορούν να αντέξουν σε υψηλές θερμοκρασίες και θερμικά σοκ. Συνήθως χρησιμοποιούνται υλικά με Si-SiC, τα οποία έχει αποδειχθεί ότι συνιστούν την καλύτερη λύση καθώς επιτρέπουν τη λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες (πάνω από 1400°C) για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Μάλιστα ο πορώδης καυστήρας με Si-SiC μπορεί να φτάσει θερμικές καταπονήσεις μέχρι τις 5 MW/m², ενώ για τη βιομηχανία υπάρχει ανάγκη για 1 MW/m². (18)

Τα παραπάνω πλεονεκτήματα, και κυρίως η δυνατότητα ευελιξίας ως προς την χρήση του καυσίμου, καθιστούν τον πορώδη καυστήρα ως μία καλή επιλογή για την ξήρανση/curing στη θερμική επεξεργασία βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων.



Εικόνα 12: Πορώδης καυστήρας με ακανόνιστη (αριστερά) και συγκεκριμένη διάταξη (δεξιά) (17)

2.2. Βαφές

2.2.1. Τύποι Βαφών

Οι κυριότεροι τύποι βαφών που χρησιμοποιούνται στη θερμική επεξεργασία των βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων είναι:

- **Ακρυλικά:** Το αποτέλεσμα που προκύπτει είναι μία σκληρή, γυαλιστερή επιφάνεια η οποία έχει πολύ καλή αντίσταση στη σκόνη και στις φθορές. Η επιφάνεια που δημιουργείται ύστερα από την επίστρωση είναι ιδανική για την δημιουργία σημάτων.
- **Εποξική ρητίνη:** Προσκολλάται άψογα με την επιφάνεια του μεταλλικού φύλλου . Επίσης έχει μεγάλη χημική αντοχή και μπορεί να τοποθετηθεί με ευκολία μία δεύτερη επίστρωση. Συνεπώς, η εποξική ρητίνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αστάρι.
- **Φθοριωμένοι Υδρογονάνθρακες:** Έχει μεγάλη αντοχή και είναι κατάλληλη για μέταλλα που εκτίθενται σε δυσμενείς συνθήκες (όπως καιρός κλπ.). Χρησιμοποιείται κυρίως στα κτήρια σε εσωτερικούς και εξωτερικούς χώρους καθώς και στα αυτοκίνητα.
- **Πολυεστέρες:** Εφαρμόζεται σε φύλλα από αλουμίνιο και χάλυβα. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε εφαρμογές εξωτερικού και εσωτερικού χώρου.
- **Πλαστισόλ:** Αποτελεί μία παχιά επίστρωση και μπορεί να διαμορφωθεί έτσι ώστε να έχει διαφορετική ύψη ή και μοτίβα. Έχει άριστη χημική αντοχή.
- **Πολυεστέρες με σιλικόνη:** Χρησιμοποιείται κυρίως στην πολεοδομία. Κατέχει πολύ καλή ελαστικότητα και παρουσιάζει υψηλή αντοχή.
- **Ουρεθάνη:** Διαθέτει μεγάλη ελαστικότητα και δεν δημιουργεί εύκολα ρωγμές με την αλλαγή του σχήματος του μετάλλου. Χρησιμοποιείται, συνήθως, ως υψηλής απόδοσης αστάρι. Όταν αναμειγνύεται με υλικά που δεν οξειδώνονται εύκολα, η βαφή με ουρεθάνες παρουσιάζει άριστη χημική αντίσταση και μπορεί να προσκολληθεί με μεγάλη ευκολία.
- **Βαφές με βάση το νερό:** Αυτές οι βαφές διαθέτουν χαμηλή συγκέντρωση πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs). Παρουσιάζουν αντοχή σε λεκέδες που προκαλούνται από το νερό και διατηρούν το χρώμα και το λούστρο με την πάροδο του χρόνου. Συνήθως χρησιμοποιούνται σε πάνελ εμπορικών και αγροτικών κτηρίων και οικοδομές. (19)

2.2.2 Οργανικοί Διαλύτες

Οι οργανικοί διαλύτες προέρχονται σε μεγάλο ποσοστό από την πετρελαϊκή βιομηχανία. 4.5 εκατομμύρια τόνοι διαλυτών πωλούνται και χρησιμοποιούνται στην Ευρώπη. Η μεγαλύτερη ζήτηση για διαλύτες προέρχεται από τις εταιρείες βαφών και χρωμάτων. Παρόλα αυτά, η ζήτηση έχει μειωθεί από 46% το 1998 σε 27% το 2003 λόγω της

χρησιμοποίησης βαφών με βάση το νερό ή βαφών με μορφή πούδρας ύστερα από τη συνειδητοποίηση των επιπτώσεων που έχουν στο περιβάλλον οι οργανικοί διαλύτες (2).

Οι οργανικοί διαλύτες κατηγοριοποιούνται στις εξής κατηγορίες:

- Οξυγονούχοι διαλύτες: περιλαμβάνονται εστέρες, κετόνες, αλκοόλες
- Υδρογονάνθρακες: αρωματικοί, αλειφατικοί, παραφινικοί
- Διαλύτες με χλώριο (2)

2.3 Ρύπανση και νομοθεσία

2.3.1. Περιβαλλοντικός αντίκτυπος της θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων

Η θερμική επεξεργασία βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων συνιστά μια έντονα βιομηχανοποιημένη διεργασία. Όπως όλες οι διεργασίες υπάρχουν στοιχεία εισόδου και εξόδου τα οποία φέρουν κάποια επίπτωση στο περιβάλλον. Στοιχεία εισόδου αποτελούν τα μεταλλικά φύλλα, οι βαφές, τα χημικά για την επεξεργασία πριν τη βαφή, νερό και η κατανάλωση ενέργειας. Τα στοιχεία εξόδου αποτελούν τα στερεά απορρίμματα, τα υγρά απόβλητα και οι εκπομπές. (7)

Τα τελευταία 40 χρόνια η θερμική επεξεργασία βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων έχει εξελιχθεί σε μία πολύ «πράσινη» διεργασία. Οι περισσότερες εγκαταστάσεις πλέον ακολουθούν τους κανονισμούς που επιβάλλονται από την Ευρωπαϊκή Ένωση. Σε αντίθεση με διεργασίες όπου η βαφή των μεταλλικών ελασμάτων γίνεται μετά την επεξεργασία και διαμόρφωση τους, με την θερμική επεξεργασία βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων διασφαλίζεται η ικανοποίηση του ευρωπαϊκού κανονισμού. (7)

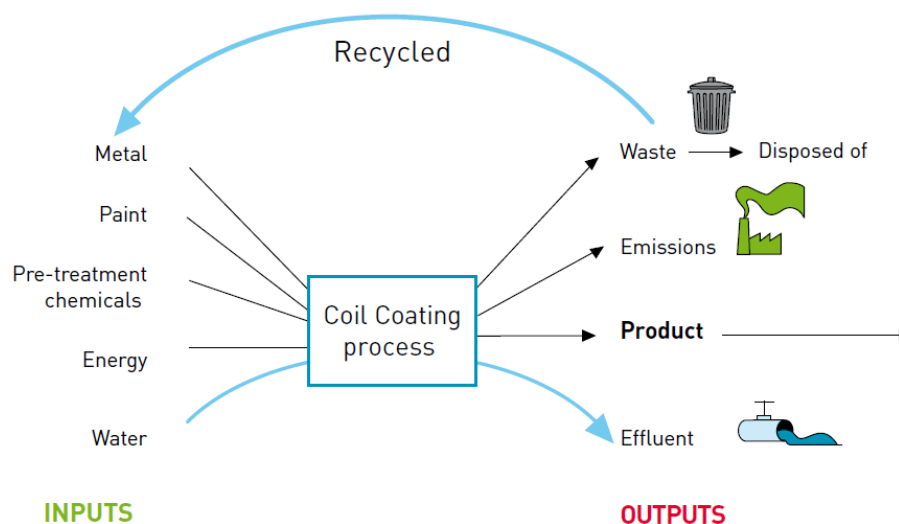
Παρόλο που μερικές βαφές περιέχουν ορισμένα επικίνδυνα στοιχεία, η βιομηχανία της θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων συνεχώς εξελίσσεται. Οι περισσότερες βαφές πλέον παράγονται χωρίς βλαβερά βαριά μέταλλα ή επικίνδυνους διαλύτες. Οι φθαλικοί πλαστικοποιητές που προκαλούσαν προβλήματα στο ενδοκρινικό σύστημα του ανθρώπου έχουν εκλείψει. (7)

Η θερμική επεξεργασία βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων μπορεί να θεωρηθεί βιώσιμη καθώς:

- ✓ Δεν απορρίπτεται κάποια ποσότητα βαφής στη διαδικασία
- ✓ Γίνεται ομοιόμορφη επίστρωση της βαφής οπότε μειώνεται το πάχος της επίστρωσης
- ✓ Η ξήρανση/curing γίνεται ελεγχόμενα για να μειώσει τις εκπομπές VOCs
- ✓ Κατασκευαστές που χρησιμοποιούν γραμμές θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων συμμορφώνονται σε απλούστερους

κανονισμούς σε σχέση με κατασκευαστές που βάφουν τα μεταλλικά φύλλα ύστερα από την επεξεργασία τους (7)

Τα βαμμένα μεταλλικά φύλλα αποτελούνται συνήθως από χάλυβα και αλουμίνιο, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Και τα δύο μέταλλα έχουν πολύ ανεπτυγμένη βιομηχανία ανακύκλωσης. Και στις δύο περιπτώσεις ένα μεγάλο τμήμα του μετάλλου που χρησιμοποιείται είναι 100% ανακυκλώσιμο. Ακόμα οι βαφές που εφαρμόζονται δεν εμποδίζουν την διαδικασία και δεν προκαλούν επιπρόσθετες βλαβερές εκπομπές κατά την διάρκεια της ανακύκλωσης με τη σωστή επεξεργασία. (7)



Εικόνα 13: Στοιχεία εισόδου και εξόδου της γραμμής θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων (7)

2.3.2. Καταναλώσεις ενέργειας στην εποχή της κλιματικής αλλαγής

Η θερμική επεξεργασία βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων συναντάται σε πολλές εταιρίες. Σε ορισμένες περιπτώσεις είναι ενσωματωμένη σε μεγάλους παραγωγούς χάλυβα και αλουμινίου ενώ σε άλλες ανήκει σε μικρές ανεξάρτητες εταιρείες που εξειδικεύονται αποκλειστικά σε αυτό. Σε αυτό το εύρος των εταιριών η επίβλεψη των περιβαλλοντικών επιπτώσεων της γραμμής συνιστά ένα σημαντικό παράγοντα. Από όλα τα μέλη του οργανισμού ECCA (European Coil Coating Association), το 89% έχει υιοθετήσει ένα σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης, το οποίο συμβιβάζεται με βάση το παγκόσμιο πρότυπο ISO14001. Άλλες εταιρίες μπορεί να έχουν τοποθετήσει άλλα συστήματα περιβαλλοντικής διαχείρισης. Έχει διαπιστωθεί ότι στην Ευρώπη το 95% των βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων παράγεται με βάση κάποιο σύστημα περιβαλλοντικής διαχείρισης (7).

	Ποσοστό Γραμμών (%)	Ποσοστό Βαμμένων Μεταλλικών Φύλλων (%)
ISO14001	89%	95%
EMAS	16%	22%
Άλλα	24%	25%
Υιοθέτησης κάποιου (EMS)	89%	95%

Εικόνα 14: Υιοθέτηση Συστημάτων Περιβαλλοντικής Διαχείρισης από τα μέλη του ECCA (7)

Στη σημερινή εποχή υπάρχει μία αυξανόμενη ανησυχία για τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής λόγω των εκπομπών που προκαλούν το φαινόμενο του θερμοκηπίου και ιδιαίτερα του διοξειδίου του άνθρακα CO₂. Στη γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων, το μεγαλύτερο κομμάτι των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα προέρχεται από την κατανάλωση ενέργειας, η οποία είναι η ισχύς που χρειάζεται για την κίνηση της γραμμής και η θερμική ενέργεια που απαιτείται για την ξήρανση/curing (7).

Η μεγαλύτερη πηγή ενέργειας για τη γραμμή θερμικής επεξεργασίας μεταλλικών ελασμάτων είναι το φυσικό αέριο που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση στους φούρνους ξήρανσης/curing. Μία άλλη εναλλακτική συνιστά το υγραέριο. Η μέση κατανάλωση ενέργειας το 2007 ήταν 1.8 kWh ανά m² βαμμένου μεταλλικού φύλλου (7).

	Συνολική Κατανάλωση Ενέργειας από τα αποτελέσματα της έρευνας ECCA (GWh)	Υπολιζόμενη Συνολική Ευρωπαϊκή Κατανάλωση (GWh)	Μέση Κατανάλωση (kWh/m ²)	Εύρος Κατανάλωσης (kWh/m ²)
Ηλεκτρική Ενέργεια	225	436	0.3	0.13-0.82
Φυσικό Αέριο	1160	2242	1.5	0.20-3.00
Υγραέριο LPG	24.4	47	0.03	0.20-1.57
Συνολικά	1409	2725	1.8	0.52-3.48

Εικόνα 15: Κατανάλωση ενέργειας για ηλεκτρισμό, φυσικό αέριο και υγραέριο σε μία γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων (7)

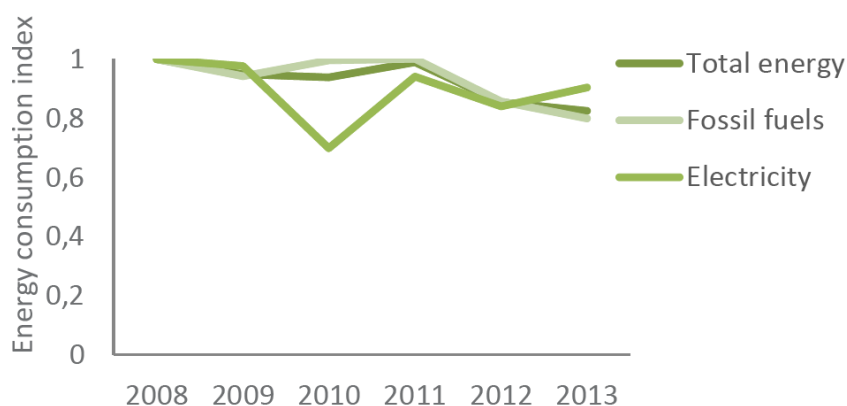
Σύμφωνα με την αναφορά Βέλτιστων Διαθέσιμων Μεθόδων (BAT) 2019 εξετάστηκαν 33 γραμμές θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων. Οι περισσότερες από τις εξεταζόμενες γραμμές εμπίπτουν σε εύρος που προέκυψε από την αναφορά του ECCA. Παρόλα αυτά υπήρξαν και γραμμές οι οποίες παρουσίασαν μία μεγάλη απόκλιση καταναλωμένης ενέργειας από το εύρος της ECCA. (20)

που σχετίζονται με την κατανάλωση ενέργειας αποτελούν τη μεγαλύτερη πηγή εκπομπών για την θερμική επεξεργασία βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων (7).

Όσον αφορά το αποτύπωμα του άνθρακα η διεργασία βαφής μεταλλικών ελασμάτων αποτελεί ένα μικρό κομμάτι του παραγόμενου προϊόντος, καθώς το υπόλοιπο περιέχεται στο υλικό των μεταλλικών ελασμάτων (χάλυβας ή αλουμίνιο). Δηλαδή, οι ετήσιες εκπομπές που παρουσιάζονται αποτελούν το 10% από το συνολικό αποτύπωμα του άνθρακα του βαμμένου χάλυβα (7).

Είναι σημαντικό να τονιστεί η διαφορά μεταξύ των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα που προκύπτουν από την κατασκευή των προϊόντων και των εκπομπών που προκύπτουν από την χρήση του τελικού προϊόντος. Τα προ-βαμμένα φύλλα χρησιμοποιούνται σε πολλά προϊόντα όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, των οποίων οι καταναλώσεις που γίνονται από την λειτουργία τους συνδράμουν κατά 90% στο αποτύπωμα άνθρακα ενώ το 10% οφείλεται στα υλικά. Οπότε λαμβάνοντας υπόψη ότι η θερμική επεξεργασία βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων συνιστά ένα μικρό κομμάτι της παραγωγής του τελικού προϊόντος, το αποτύπωμα της βιομηχανίας αυτής είναι αξιοσημείωτα μικρό (7).

Το 2012 η ευρωπαϊκή βιομηχανία θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων ξεκίνησε έρευνα με σκοπό να βρεθούν οι βέλτιστες λύσεις για την μείωση της κατανάλωσης ενέργειας. Η εστίαση στην βελτίωση της ενεργειακής απόδοσης της γραμμής έχει αποδειχθεί καρποφόρα. Η εγκατάσταση αποτελεσματικότερων καυστήρων καυσαερίων για την απομάκρυνση των VOCs, αναβαθμίζοντας τους φούρνους ξήρανσης /curing και εφαρμόζοντας μία ολική βελτίωση της διεργασίας έχει συμβάλει στη μείωση της συνολικής κατανάλωσης ενέργειας κατά 17% από το 2008. (21)



Διάγραμμα 1: Κατανάλωση ενέργειας στη γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων από το 2008 με 2013 (21)

2.3.3 Ρύπανση από πτητικές οργανικές ενώσεις

Λόγω των ιδιοτήτων και των ποσοτήτων των διαλυτών που χρησιμοποιούνται, μπορούν να προκληθούν πολλά προβλήματα:

- Τα VOCs αντιδρούν με τα NOx στην παρουσία της ηλιακής ακτινοβολία και δημιουργούν όζον στην τροπόσφαιρα (φαινόμενο του θερμοκηπίου)
- Αλογωνομένοι διαλύτες: τοξικότητα τους συμβάλλει στη μείωση του όζοντος στη στρατόσφαιρα (τρύπα του όζοντος)
- Ορισμένοι διαλύτες είναι τοξικοί στους υδρόβιους οργανισμούς
- Αρκετοί διαλύτες δεν είναι βιοδιασπώμενοι, οπότε ενδεχόμενα να ρυπαίνουν το έδαφος. Μπορούν με ευκολία να διεισδύσουν από το έδαφος στα υπόγεια ύδατα και οι μηχανισμοί για την διάσπαση τους είναι περιορισμένοι ή ανύπαρκτοι. Έχουν υπάρξει πολλές αναφορές από υδροφορίες που χρησιμοποιούνται για πόσιμο νερό να έχουν μολυνθεί από διαλύτες. (2)
- Συμβάλλουν στη δημιουργία φωτοχημικού νέφους (7)

Τυπική σύσταση της υγρής βαφής περιέχει 30% και 50% διαλυτών, οι οποίοι απομακρύνονται κατά τη διάρκεια της ξήρανσης/curing. Υπάρχουν και επιλογές με χαμηλότερη συγκέντρωση διαλυτών, αλλά αυτές οι επιλογές επιβάλλουν ορισμένους περιορισμούς για οικονομικούς, λειτουργικούς και πρακτικούς λόγους καθώς μπορούν να υπάρξουν και παράπλευρες απώλειες (7).

Οι εκπομπές των πτητικών οργανικών ενώσεων ελέγχονται αυστηρώς από την Ευρωπαϊκή Ένωση και από ξεχωριστές διεθνείς αρχές. Η επικρατέστερη αντιρρυπαντική τεχνολογία για την μείωση των εκπομπών VOCs συνιστά η υιοθέτηση οξειδωτικών μέσων για την συλλογή και καύση των ρύπων. Το 2007 διαπιστώθηκε ότι το 92% των βιομηχανιών θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων χρησιμοποιούν κάποιο μέσο οξείδωσης, και από αυτές το 91% η θερμότητα ανακτάται από το μέσο οξείδωσης για να βοηθήσει τη διαδικασία ξήρανσης/curing έτσι ώστε να συμβάλλει στη μείωση χρήσης άλλων καυσίμων. Ενώ όλα τα οξειδωτικά μέσα στη βιομηχανία επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων έχουν πολύ υψηλή απόδοση στην απομάκρυνση των VOCs (>99%), τα οξειδωτικά μέσα με ανάκτηση θερμότητας είναι πιο αποδοτικά όσον αφορά τις καταναλώσεις ενέργειας. Ωστόσο το υψηλό κόστος που έχουν αυτού του είδους τα οξειδωτικά μέσα δεν τα καθιστά πάντα την οικονομικότερη λύση, ιδιαίτερα σε εγκαταστάσεις μικρού μεγέθους (7).

Ενώ οι περισσότερες βιομηχανίες μεριμνούν να συμμορφώνονται με βάση τους κανονισμούς για της εκπομπές VOCs, υπάρχουν πολλοί παράμετροι που μπορούν να επηρεάσουν τις συνολικές εκπομπές. Αυτοί οι παράμετροι είναι: η ταχύτητα και η χωρητικότητα της γραμμής, το παραγόμενο προϊόν, ο τύπος του μεταλλικού φύλλου και το σύστημα ελέγχου του φούρνου. Συνεπώς, για αυτό τον λόγο υπάρχει ένα εύρος εκπομπών VOCs όταν εκφράζονται ανά m² βαμμένου μεταλλικού φύλλου. Οι μέσες ετήσιες εκπομπές VOCs το 2007 ήταν 0.63 g/m² με ένα εύρος από 0.1 g/m² και 2.1 g/m² όταν χρησιμοποιούνται οξειδωτικά μέσα με καλό βαθμό απόδοσης που απομακρύνουν το μεγαλύτερο ποσοστό των VOCs. Από την αναγωγή αυτών των δεδομένων προκύπτει ότι οι εκπομπές των VOCs των ευρωπαϊκών βιομηχανιών θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων προκύπτει ότι είναι 960 τόνοι ετησίως (7).

Μέσες ετήσιες εκπομπές VOC με χρήση οξειδωτικών μέσων (g/m ²)	<0.1-2.1 (g/m ²)
Μέσες ετήσιες εκπομπές VOC χωρίς χρήση οξειδωτικών μέσων (g/m ²)	4.1-6.3 (g/m ²)
Συνολικές μέσες εκπομπές VOC (g/m ²)	0.63 (g/m ²)
Υπολογιζόμενες μέσες εκπομπές VOCs στην Ευρωπαϊκή Βιομηχανία (τόνοι)	962 t

Εικόνα 18: Εκπομπές VOCs το 2007 (7)

Σύμφωνα με την αναφορά Βέλτιστων Διαθέσιμων Μεθόδων (BAT) 2019 παρουσιάζεται το εύρος των εκπεμπόμενων ρύπων VOCs με την χρήση ή μη οξειδωτικών μέσων. Σε περίπτωση που δεν χρησιμοποιείτε κάποιο οξειδωτικό μέσο και η κατά βάρος περιεκτικότητα των διαλυτών είναι 50% τότε παρατηρούνται σαφώς μεγαλύτερες εκπομπές σε σχέση με αυτές της ECCA. (20)

	Συνολικές εκπομπές VOC (g/m ²)	Χρήση αντιρρυπαντικού συστήματος
Βαφή με διαλύτες	0.73-0.84	Οξειδωτικό μέσο
Βαφή με διαλύτες (50 wt-%)	28-29	-

Εικόνα 19: Εκπομπές VOCs από BAT (20)

Σύμφωνα με τα δεδομένα της EGTEI (Expert Group on Thermo-Economic Issues) γίνεται κατηγοριοποίηση με βάση το μέγεθος και μέτρα αντιρρύπανσης που λαμβάνονται για την αντιμετώπιση των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων.

Ο κωδικός των μεγεθών των γραμμών θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα (RIC). Συμπεριλαμβάνονται και άλλα μεγέθη όπως η επιφάνεια του βαμμένου μεταλλικού ελάσματος (m²), οι ώρες λειτουργίας της γραμμής (h/y), η ταχύτητα της γραμμής και το ποσό διαλυτών που εισάγεται στη γραμμή (t/y). (22)

RIC	Περιγραφή	Βαμμένο Μεταλλικό Έλασμα (m ²)	Ώρες Λειτουργίας (h/y)	Ταχύτητα γραμμής (m ³ /h)	Είσοδος Διαλυτών (t/y)
1	Πολύ μικρή εγκατάσταση	7 εκατομ.	4000	8700	302
2	Μικρή Εγκατάσταση	13 εκατομ.	4000	16170	561
3	Μέση Εγκατάσταση	24 εκατομ.	4000	29850	1036
4	Μεγάλη Εγκατάσταση	42 εκατομ.	4000	52230	1813

Εικόνα 20: Κατηγοριοποίηση των γραμμών με βάση το μέγεθος τους (RIC) (22)

Για τα πρωτογενή μέτρα που λαμβάνονται για την μείωση των εκπομπών των πτητικών οργανικών ενώσεων χρησιμοποιείται ο κωδικός PMC. Τα πρωτογενή μέτρα αφορούν την βαφή που χρησιμοποιείται και την περιεκτικότητα σε διαλύτες. (22)

PMC	Περιγραφή
0	Βαφή με διαλύτες (40% wt σε διαλύτες)
1	Βαφή με νερό (10% wt σε διαλύτες)
2	Βαφή σε μοφή πούδρας (μηδενική περιεκτικότητα σε διαλύτες)

Εικόνα 21: Κατηγοριοποίηση των γραμμών με βάση τα πρωτογενή μέτρα αντιρρύπανσης (PMC) (22)

Όσον αφορά δευτερεύων μέτρα χρησιμοποιείται ο κωδικός SMC. Στην συγκεκριμένη περίπτωση αφορούν αποκλειστικά τον καυστήρα καυσαερίων. (22)

SMC	Περιγραφή
0	Κανένα δευτερεύων μέτρο
1	Οξειδωτικό μέσο

Εικόνα 22: Κατηγοριοποίηση γραμμών με βάση τα δευτερεύων μέτρα αντιρρύπανσης (SMC) (22)

Οπότε συνολικά για κάθε συνδυασμό προκύπτουν οι εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων καθώς και ο βαθμός απόδοσης του κάθε συστήματος αντιρρύπανσης. (22)

RIC	PMC	SMC	VOC (g/m ²)	Απόδοση συστήματος αντιρρύπανσης (%)
1	0	0	43.2	0
1	0	1	4.2	90
1	1	0	10.8	75
1	2	0	0	100
2	0	0	43.2	0
2	0	1	4.2	90
2	1	0	10.8	75
2	2	0	0	100
3	0	0	43.2	0
3	0	1	4.2	90
3	1	0	10.8	75
3	2	0	0	100
4	0	0	43.2	0
4	0	1	4.2	90
4	1	0	10.8	75
4	2	0	0	100

Εικόνα 23: Εκπομπές VOCs σε g/m² και ο βαθμός απόδοσης του συστήματος αντιρρύπανσης για διάφορες γραμμές (22)

2.3.4 Νομοθεσία

Στην Ευρώπη καθιερώθηκε το Directive 2004/42/EC της Ευρωπαϊκής Ένωσης και του συμβουλίου της 21^{ης} Απριλίου 2004 για τον περιορισμό της ρύπανσης από πτητικές οργανικές ενώσεις από τις διακοσμητικές βαφές και βερνίκια (23).

Σε αυτή τη οδηγία, η οποία βασίζεται στο άρθρο 114 της Συμφωνίας Λειτουργίας της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Treaty on the Functioning of the European Union), έχει σκοπό να αντιμετωπίσει την ρύπανση από VOCs με την εγγύηση ότι ελεύθερη διακίνηση των αγαθών στην εσωτερική αγορά θα παραμείνει ανεμπόδιστη (23).

Τα προϊόντα που συμπεριλαμβάνονται σε αυτή την οδηγία είναι βαφές για τα κτήρια (και για επιμέρους τμήματα ενός κτηρίου) και για τις βαφές των αυτοκινήτων. Οι συγκεκριμένες υποκατηγορίες για το κάθε προϊόν βρίσκεται στο παράρτημα 1 (Annex I) (23).

1.1. Subcategories:

- a) 'matt coatings for interior walls and ceilings' means coatings designed for application to indoor walls and ceilings with a degree of gloss $\leq 25@60^\circ$.
- b) 'glossy coatings for interior walls and ceilings' means coatings designed for application to indoor walls and ceilings with a degree of gloss $> 25@60^\circ$.

Εικόνα 24: Τμήμα του Annex I από Directive 2004/42/CE (24)

Στο παράρτημα 2A (Annex II A) υπάρχουν οριακές τιμές για την μέγιστη ποσότητα των VOCs (γραμμάρια ανά λίτρο προϊόντος έτοιμο για χρήση). Στο πρώτο σετ οριακών τιμών εφαρμόστηκε από την πρώτη Ιανουαρίου του 2007, και το δεύτερο που ήταν αυστηρότερο εφαρμόστηκε από την πρώτη Ιανουαρίου του 2010 (23).

	Product Subcategory	Type	Phase I (g/l (*)) (from 1.1.2007)	Phase II (g/l (*)) (from 1.1.2010)
a	Interior matt walls and ceilings (Gloss <25@60°)	WB	75	30
		SB	400	30
b	Interior glossy walls and ceilings (Gloss >25@60°)	WB	150	100
		SB	400	100

Εικόνα 25: Τμήμα του Annex II A από Directive 2004/42/CE (24)

Όσον αφορά τη βαφή που χρησιμοποιείται στα αυτοκίνητα, στο παράρτημα B (Annex II B) αναγράφονται αναλυτικά οι οριακές τιμές για τις επιτρεπόμενες εκπομπές πτητικών οργανικών ενώσεων που εφαρμόστηκε από την 1^η Ιανουαρίου του 2010 (23).

	Product Subcategory	Coatings	VOC g/l (*) (1.1.2007)
a	Preparatory and cleaning	Preparatory	850
		Pre-cleaner	200
b	Bodyfiller/stopper	All types	250

Εικόνα 26: Τμήμα από το Annex II B από το Directive 2004/42/CE (24)

Τα τελικά προϊόντα τα οποία ανήκουν στο παράρτημα 1 πρέπει να έχουν ετικέτες οι οποίες αναφέρουν την υποκατηγορία του προϊόντος και το σχετικό όριο VOC σε g/l που αναφέρεται στο παράρτημα 2 και η μέγιστη συγκέντρωση σε VOC σε g/l του προϊόντος που είναι έτοιμο για χρήση (24).

Τα μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης οφείλουν να λάβουν μέρος σε ένα πρόγραμμα ελέγχου έτσι ώστε να επαληθεύεται η συμμόρφωση τους ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Επίσης οφείλουν να κάνουν αναφορά στην Ευρωπαϊκή Κομισιόν (23). Οι πρώτες δύο αναφορές υποβλήθηκαν στους 18 μήνες. Μετά κάθε κράτος-μέλος οφείλει να υποβάλλει μία αναφορά κάθε 5 χρόνια. Η έλλειψη συμμόρφωσης συνοδεύεται με ανάλογες κυρώσεις (24).

Η μείωση των εκπομπών των VOCs, δε μπορεί να επιτευχθεί μεμονωμένα από κάθε κράτος-μέλος της Ευρωπαϊκής Ένωσης, καθώς οι εκπομπές από ένα κράτος-μέλος μπορεί να επηρεάσει την ποιότητα του αέρα κάποιου άλλου. Συνεπώς η αντιμετώπιση για την μείωση των εκπομπών θα πρέπει να είναι συλλογική και τα μέτρα να ληφθούν από κοινού (24).

Το 2010 εκδόθηκε μία καινούργια οδηγία που αφορά πολλές διεργασίες οι οποίες συμβάλλουν στην ρύπανση του περιβάλλοντος λόγω των εκπομπών τους, την σπατάλη νερού και των αποβλήτων. Η οδηγία αυτή ονομάζεται Industrial Emissions Directive (IED).

Το IED συντέθηκε λαμβάνοντας υπόψη τα παρακάτω κριτήρια:

- Η ολική περιβαλλοντική απόδοση των εγκαταστάσεων (εκπομπές στην ατμόσφαιρα, στο νερό και στην ξηρά, απόβλητα, χρησιμοποίηση υλικών, ενεργειακή αποδοτικότητα, αποφυγή ατυχημάτων και αποκατάσταση της τοποθεσίας σε περίπτωση που κλείσει η εγκατάσταση)
- Τα όρια των εκπομπών στηρίζονται στην αναφορά της Ευρωπαϊκής Κομισιόν Βέλτιστες Διαθέσιμες Μέθοδοι (Best Available Techniques – BAT).
- Το Directive 2010 παρόλα αυτά επιτρέπει ευελιξία όσον αφορά την υιοθέτηση προτεινόμενων τεχνολογιών από το BAT καθώς σε πολλές περιπτώσεις δεν είναι οικονομικά δυνατές να εφαρμοστούν
- Περιλαμβάνονται υποχρεωτικές περιβαλλοντικές επιθεωρήσεις
- Εξασφαλίζεται η συμμετοχή του κοινού στην λήψη αποφάσεων, στην ενημέρωση των επιπτώσεων κλπ..

Στην συγκεκριμένη οδηγία συμπεριλαμβάνονται και οι ανανεωμένοι κανονισμοί για την ρύπανση από πτητικές οργανικές ενώσεις. Σε σχέση με το Directive 2004 εμπεριέχονται λεπτομερέστερες οδηγίες για τον περιορισμό και έλεγχο από τις εκπομπές VOCs.

Συγκεκριμένα τα κράτη-μέλη πρέπει να συμμορφωθούν με μία από τις παρακάτω προτάσεις:

- Οι εκπομπές των πτητικών οργανικών ενώσεων των εγκαταστάσεων (συμπεριλαμβανομένου και του coil coating) δεν πρέπει να ξεπερνούν ορισμένα όρια (τα οποία δίνονται στο παράρτημα Annex VII part 2 και part 3)
- Η εφαρμογή ενός σχεδίου μείωσης των εκπομπών που να ισοδυναμεί με την μείωση που θα πρόκυπτε με την εφαρμογή των ορίων της προηγούμενης πρότασης (25)

Και στην δύο προτάσεις επιτρέπεται μία μικρή απόκλιση από τα όρια που έχουν τεθεί υπό την προϋπόθεση ότι η εκάστοτε βιομηχανία αξιοποιεί τις βέλτιστες υπάρχουσες τεχνολογίες. (25)

Στην συνέχεια θα γίνει μία συνοπτική παρουσίαση των παραρτημάτων (στο Annex VII) που εμπεριέχονται στο directive:

- **Part 1:** *Εγκαταστάσεις και δραστηριότητες που χρησιμοποιούν οργανικούς διαλύτες*
Περιλαμβάνονται όλες οι βιομηχανίες ή δραστηριότητες από τις οποίες παρατηρείται ρύπανση πτητικών οργανικών ενώσεων. Σε αυτές συμπεριλαμβάνεται και η θερμική επεξεργασία βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων.
- **Part 2:** *Όρια εκπομπών*
Περιέχει τα όρια των εκπεμπόμενων VOCs για τις παραπάνω περιπτώσεις. Αξιοσημείωτο αποτελεί το γεγονός ότι συμπεριλαμβάνονται οδηγίες για υπάρχουσες και καινούργιες εγκαταστάσεις, πράγμα το οποίο απουσίαζε από το directive 2004.

The emission limit values in waste gases shall be calculated at a temperature of 273,15 K, and a pressure of 101,3 kPa.

	Activity (solvent consumption threshold in tonnes/year)	Threshold (solvent consumption threshold in tonnes/year)	Emission limit values in waste gases (mg C/Nm ³)	Fugitive emission limit values (percentage of solvent input)		Total emission limit values		Special provisions
				New installations	Existing installations	New installations	Existing installations	
1	Heatset web offset printing (> 15)	15—25 > 25	100 20		30 (1)			(1) Solvent residue in finished product is not to be considered as part of fugitive emissions.
2	Publication rotogravure (> 25)		75	10	15			

Εικόνα 27: Τμήμα του Annex VII Part 2 (25)

- **Part 3: Όρια εκπομπών για την βαφή οχημάτων**

Activity (solvent consumption threshold in tonnes/year)	Production threshold (refers to annual production of coated item)	Total emission limit value	
		New installations	Existing installations
Coating of new cars (> 15)	> 5 000	45 g/m ² or 1,3 kg/body + 33 g/m ²	60 g/m ² or 1,9 kg/body + 41 g/m ²
	≤ 5 000 monocoque or > 3 500 chassis-built	90 g/m ² or 1,5 kg/body + 70 g/m ²	90 g/m ² or 1,5 kg/body + 70 g/m ²
Total emission limit value (g/m ²)			
Coating of new truck cabins (> 15)	≤ 5 000	65	85
	> 5 000	55	75

Εικόνα 28: Τμήμα του Annex VII Part 3 (25)

- **Part 4: Όρια εκπομπών VOCs με πρόσθετα ρίσκα**
- **Part 5: Σχέδιο μείωσης εκπομπών**
Στο συγκεκριμένο τμήμα συμπεριλαμβάνονται λεπτομέρειες για την εναλλακτική υιοθέτηση ενός αποδοτικού σχεδίου μείωσης των εκπεμπόμενων ρύπων
- **Part 6: Έλεγχος των εκπομπών**
Οδηγίες για την μέτρηση των εκπεμπόμενων πτητικών οργανικών ενώσεων.
- **Part 7: Πλάνο διαχείρισης των διαλυτών**
Ένα σχέδιο υπολογισμών για την μέτρηση και διαχείριση των εκπομπών
- **Part 8: Αξιολόγηση συμμόρφωσης με τα όρια των εκπομπών**
Οδηγίες για τον έλεγχο συμμόρφωσης των βιομηχανιών/δραστηριοτήτων με τα επιβαλλόμενα όρια. (25)

Συμπερασματικά, διαπιστώνεται ότι στο IED υπάρχουν λεπτομερέστερες οδηγίες για τον περιορισμό των εκπομπών πτητικών οργανικών ενώσεων σε σύγκριση με το Directive 2004.

Το όριο για τις πτητικές οργανικές ενώσεις από το IED για τις γραμμές θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών φύλλων είναι 50 mg/Nm³.

7	Coil coating (> 25)		50 (1)
---	---------------------	--	--------

2.4 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Συνοπτικά πρέπει να γίνει μία ανασκόπηση των σημαντικότερων στοιχείων για την γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων όσον αφορά την συνολική κατανάλωση ενέργειας και τις συνολικές εκπομπές στην ατμόσφαιρα:

	Κατανάλωση Ενέργειας (kWh/m ²)	Εκπομπές VOCs (g/m ²)	Εκπομπές CO ₂ (g/m ²)
ECCA (2008)	0.52-3.48	0.1-6.3	396
BAT (2019)	0.2-9.1	0.73-29	-
EGTEI (2003) πολύ μικρή εγκατάσταση	-	4.2-43.2	-
EGTEI (2003) μικρή εγκατάσταση	-	4.2-43.2	-
EGTEI (2003) μέση εγκατάσταση	-	4.2-43.2	-
EGTEI (2003) μεγάλη εγκατάσταση	-	4.2-43.2	-

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το εύρος των στατιστικών στοιχείων τόσο για τις καταναλώσεις ενέργειας όσο και για τις εκπομπές στην ατμόσφαιρα παρουσιάζει αποκλίσεις ανάλογα με την πηγή που προήλθαν. Όσον αφορά τις εκπομπές είναι εμφανές το γεγονός ότι το εύρος εκπομπών των πτητικών οργανικών ενώσεων δεν είναι σταθερό. Αυτό συμβαίνει επειδή εξαρτάται από την υιοθέτηση ή μη κάποια αντιρρυπαντικής τεχνολογίας (οξειδωτικών μέσων κλπ.) , καθώς και από την σύσταση της βαφής σε διαλύτες.

Οι ώρες λειτουργίας της γραμμής είναι 4000 ώρες ετησίως. Και η ταχύτητα για την πολύ μικρή, μικρή, μέση και μεγάλη εγκατάσταση είναι 8700, 16170, 29850, 52230 m³ /h αντίστοιχα.

Συνοπτικά, η θερμική επεξεργασία βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων αποτελεί μία αποτελεσματική μέθοδο σε σχέση με την βαφή των μετάλλων ύστερα από την κατεργασία τους. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι αποτελεί μια οικονομικά και οικολογικά βέλτιστη λύση που βρίσκει εφαρμογή σε διάφορους τομείς.

Συγκεκριμένα, όσον αφορά την περιβαλλοντική διαχείριση, πλέον η γραμμή θεωρείται αρκετά βιώσιμη καθώς ο κύριος ρύπος που προκύπτει (VOCs) μπορεί να εξαλειφθεί σχεδόν εξολοκλήρου με την λήψη των απαραίτητων μέτρων.

3. Ανάλυση Κύκλου Ζωής Συστήματος

3.1 Μεθοδολογία AKZ

Η ανάλυση κύκλου ζωής συνιστά μία τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με προϊόν, διεργασία ή δραστηριότητα και ποσοτικοποιώντας την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται καθώς και τα απόβλητα που απελευθερώνονται στο περιβάλλον. Σε επόμενο στάδιο υπολογίζονται οι επιπτώσεις από τη χρήση ενέργειας και των υλικών καθώς και των αποβλήτων και οι εκτιμώνται οι δυνατότητες περιβαλλοντικών βελτιώσεων (SETAC, 1993). Η ανάλυση περιλαμβάνει ολόκληρο τον κύκλο ζωής ενός προϊόντος, μίας διεργασίας ή μίας δραστηριότητας, δηλαδή την εξαγωγή και επεξεργασία πρώτων υλών, την κατασκευή, μεταφορά, διανομή, χρήση, συντήρηση και διαχείριση αποβλήτων. (26)



Εικόνα 29: Απεικόνιση της ανάλυσης κύκλου ζωής ενός προϊόντος (27)

Ο οργανισμός SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) ορίζει τη διαδικασία της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής ως εξής (SETAC, 1993): «Η ανάλυση του κύκλου ζωής είναι μία αντικειμενική μέθοδος για την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών φορτίων που συνδέονται με ένα προϊόν, μία διεργασία ή μία δραστηριότητα με αναγνώριση και υπολογισμό της ενέργειας και των υλικών που χρησιμοποιούνται και των εκπομπών τους στο περιβάλλον και η αξιολόγηση και η εκμετάλλευση ευκαιριών για επίτευξη περιβαλλοντικών βελτιώσεων. Η εκτίμηση καλύπτει ολόκληρο τον κύκλο ζωής του προϊόντος, της διεργασίας

ή της δραστηριότητας, συμπεριλαμβάνοντας την παραλαβή και την επεξεργασία των πρώτων υλών, τη μεταποίηση, τη μεταφορά και τη διανομή, τη χρήση ή την επαναχρησιμοποίηση, τη συντήρηση, την ανακύκλωση και την τελική απόθεση». Το κίνητρο ανάπτυξης της AKZ συγκεντρώνεται γύρω από την ανάγκη για σύγκριση υλικών και διεργασιών προκειμένου να προσδιοριστεί το βέλτιστο από περιβαλλοντικής άποψης, καταγράφοντας και ελέγχοντας όλα τα στάδια ζωής τους. (26)

Με δεδομένα ότι όλα τα στάδια της ζωής ενός προϊόντος/συστήματος συνεισφέρουν στους συνολικούς ρύπους, οποιαδήποτε αλλαγή σε κάποιο από τα στάδια αυτά είναι πιθανόν να έχει θετικές ή αρνητικές συνέπειες στα υπόλοιπα στάδια τόσο στις εκπομπές ρύπων όσο και στην κατανάλωση ενέργειας και πρώτων υλών. Η πρακτική συνήθως που ακολουθείται αφορά την εστίαση σε συγκεκριμένο μέσο (αέρα, ύδατα, ή έδαφος) με αποτέλεσμα να παραβλέπεται η «μεταφορά ρύπων» από ένα μέσο σε άλλο (π.χ. δέσμευση αέριων ρύπων μέσω καταιονιστήρων). (28)

Γενικός σκοπός της AKZ είναι να αποτιμήσει τις επιδράσεις από τη χρήση ενέργειας και την επεξεργασία υλικών συμπεριλαμβανομένης της απόρριψης αποβλήτων στο περιβάλλον και να εκτιμήσει τις δυνατότητες επίτευξης περιβαλλοντικών βελτιώσεων σε συνδυασμό με τη χρήση πρώτων υλών και ενέργειας σε κάθε στάδιο του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. (28)

Οι ρίζες της AKZ επεκτείνονται πίσω στη δεκαετία του '70 όταν αναπτύχθηκαν τεχνικές για ενεργειακούς και περιβαλλοντικούς υπολογισμούς κατά το στάδιο του σχεδιασμού προϊόντων. Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '80 τα οφέλη της τεχνικής έγιναν αισθητά στη βιομηχανία, ενώ στις αρχές της δεκαετίας του '90 ένα κύμα ερευνητικών προγραμμάτων έδωσε ιδιαίτερη ώθηση στην AKZ. Εντούτοις, θεωρείται ότι η καθιέρωση της ως περιβαλλοντικό εργαλείο έγινε μόλις στα τέλη της δεκαετίας του '90 με την έκδοση της σχετικής σειράς διεθνών προτύπων ISO 14040-14049. (29)

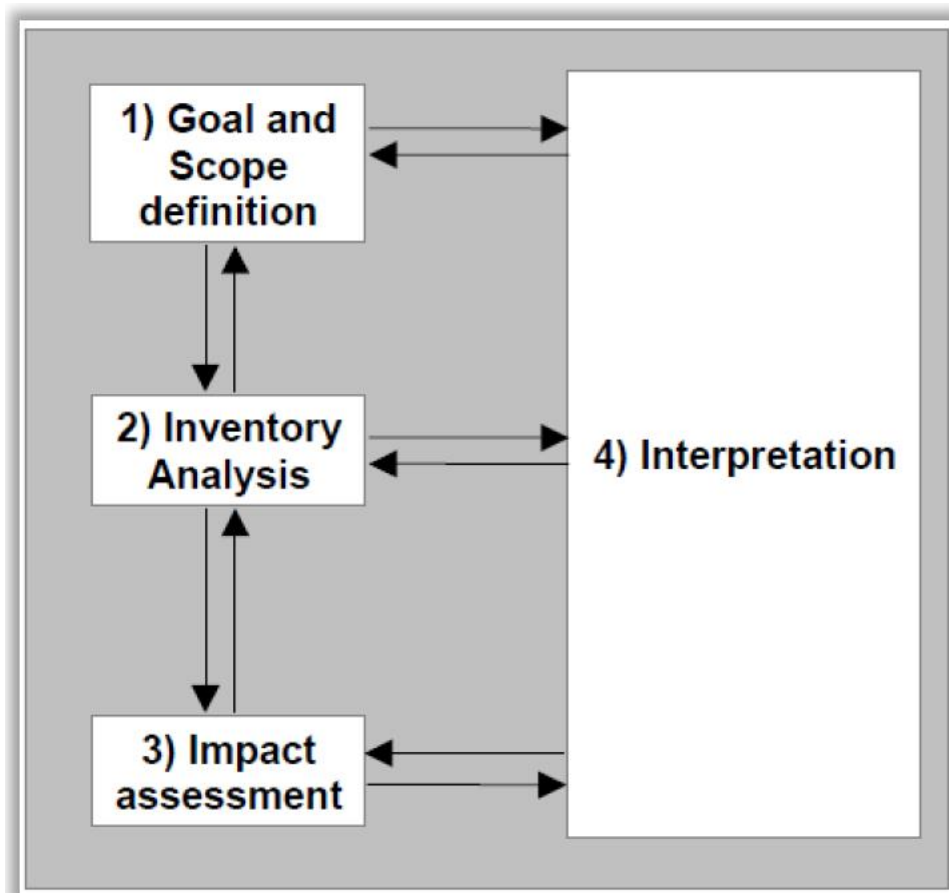
Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της AKZ αποτελεί η συστηματική προσέγγιση του αντικειμένου της μελέτης, που έχει ως συνέπεια την αποφυγή της μετάθεσης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων από το ένα στάδιο του κύκλου ζωής σε άλλο, όπως και τον συνυπολογισμό των έμμεσων επιπτώσεων εκτός τοπικών -εθνικών ορίων. (30)

Στον αντίποδα, το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι απαιτεί μεγάλο αριθμό λεπτομερών δεδομένων, χρόνο και εξειδικευμένη γνώση για την εφαρμογή της. Επίσης βασικό περιορισμό της AKZ είναι ότι δε λαμβάνει υπόψη τας στοιχεία σχετικά με κόστη ή τεχνική αποδοτικότητα. Κατά συνέπεια, εντός ενός πλαισίου συνολικής αξιολόγησης, καθίσταται αναγκαίος συνδυασμός της AKZ με μεθοδολογίες/πηγές που συνεισφέρουν την αντίστοιχη πληροφορία. (30)

Η τεχνική εφαρμογής της AKZ βασίζεται στη δημιουργία ενός είδους μοντέλου ρεαλιστικής καταγραφής των ενδιάμεσων σταδίων του κύκλου ζωής ενός συστήματος. Το στατικό μοντέλο προσομοίωσης της AKZ αποτελείται από διεργασίες, η κάθε μία από τις οποίες αντιπροσωπεύει μία ή περισσότερες δραστηριότητες. Στην συνέχεια περιγράφονται τα βασικά στάδια εφαρμογής της μεθοδολογίας AKZ όπως και η συσχέτιση μεταξύ τους (30).

Η εφαρμογή της ΑΚΖ χωρίζεται σε τέσσερα βασικά στάδια (SETAC, 1993; EPA 2001)

- Προσδιορισμός του σκοπού και του αντικειμένου της μελέτης (Goal and scope definition). Περιγράφεται το προϊόν, η διαδικασία ή η υπηρεσία η οποία θα αναλυθεί, ορίζεται το πλαίσιο στο οποίο θα κινηθεί η ανάλυση και καθορίζονται τα όρια όπως και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις που θα ληφθούν υπόψη.
- Απογραφή δεδομένων (Life Cycle Inventory Analysis). Στο στάδιο αυτό αναγνωρίζονται και ποσοτικοποιούνται η ενέργεια, το νερό και οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται, καθώς και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από τον κύκλο ζωής του
- Εκτίμηση επιπτώσεων κύκλου ζωής (Life Cycle Impact Assessment). Αποτιμώνται οι επιπτώσεις των παραμέτρων που απογράφησαν στον άνθρωπο και το περιβάλλον. Η εκτίμηση των επιπτώσεων αποτελείται από τρία μέρη i) ταξινόμηση ii) χαρακτηρισμό iii) αξιολόγηση.
- Ερμηνεία αποτελεσμάτων- Εκτίμηση βελτιώσεων (interpretation). Αξιολογούνται τα αποτελέσματα των δύο προηγούμενων σταδίων, ώστε να επιλεγεί το βέλτιστο προϊόν, διαδικασία ή υπηρεσία, με πλήρη κατανόηση αβεβαιοτήτων και υποθέσεων που οδηγούν στο συγκεκριμένο αποτέλεσμα. Βάσει της ανάλυσης που έχει προηγηθεί προτείνονται επεμβάσεις που θα βελτιώσουν τη συνολική περιβαλλοντική επίδοση. (31) (26)



Εικόνα 30: Μεθοδολογία ανάλυσης κύκλου ζωής (30)

3.1.1 Σκοπός και Πλαίσιο της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής-AKZ

Ο καθορισμός του σκοπού και του πλαισίου της ανάλυσης είναι ένα ιδιαίτερα σημαντικό στάδιο στην εφαρμογή της τεχνική γιατί από αυτό εξαρτώνται οι απαιτήσεις σε χρόνο, ανθρώπινο δυναμικό και οικονομικούς πόρους. Επιπρόσθετα το μοντέλο του κύκλου ζωής αναπόφευκτα περιέχει πλήθος απλοποιήσεων και παραδοχών. Ο ξεκάθαρος ορισμός του σκοπού και πλαισίου της ανάλυσης είναι για τον χρήστη ένα κομβικό σημείο κατά το οποίο θα πρέπει να βεβαιωθεί ότι οι παραδοχές και απλοποιήσεις αυτές είναι τέτοιες που δεν επιφέρουν σημαντική αλλοίωση στο τελικό αποτέλεσμα.

Σημαντικά ζητήματα που συνδέονται με το σκοπό και το πλαίσιο της AKZ:

- Η ακριβής αποτύπωση του σκοπού εφαρμογής της AKZ
- Ο λεπτομερής καθορισμός του κύκλου ζωής και της χρήσης του προϊόντος
- Ο καθορισμός της λειτουργικής μονάδας
- Καθορισμός του σκοπού και του πλαισίου της μελέτης
- Αξιολόγηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων
- Ερμηνεία και κατανόηση πληροφοριών, δεδομένων και αποτελεσμάτων AKZ
- Καθορισμός των ποιοτικών προδιαγραφών για τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν
- Οι υποθέσεις, περιορισμοί και απαιτήσεις για την επακόλουθη ερμηνεία
- Το ακροατήριο στο οποίο τα αποτελέσματα θα διαχυθούν και ο τρόπος που θα εφαρμοστούν
- Ο τύπος και η μορφή της έκθεσης για τη μελέτη

Ο καθορισμός του σκοπού και του πλαισίου προκύπτει από την ανάγκη για συνέπεια κατά τη διάρκεια της εφαρμογής της AKZ. Στην πράξη, το πλαίσιο της μελέτης είναι ο προσδιορισμός του επιπέδου λεπτομέρειας που απαιτείται για την εφαρμογή αποτελεσμάτων. Το αποτέλεσμα της μελέτης εξαρτάται κυρίως από την ακρίβεια των στοιχείων που εισάγονται. (32)

Λειτουργική Μονάδα

Η λειτουργική μονάδα αποτελεί το μέτρο της λειτουργίας του συστήματος υπό μελέτη και παρέχει μία αναφορά τόσο για τα εισαγόμενα στοιχεία όσο και για τα αποτελέσματα επιτρέποντας τη σύγκριση δύο διαφορετικών συστημάτων. Ο καθορισμός μίας λειτουργικής μονάδας πιθανό να είναι δύσκολος, καθώς αυτή πρέπει να είναι ακριβής και συγκρίσιμη ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ολόκληρη τη μελέτη. (31)

Όρια Συστήματος

Τα όρια του συστήματος καθορίζουν ποιες διεργασίες θα πρέπει να συμπεριληφθούν στη μελέτη AKZ. Ο καθορισμός των ορίων του συστήματος, είναι εν μέρη υποκειμενικός και γίνεται συνήθως κατά τον ορισμό του πλαισίου. Όρια που πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι

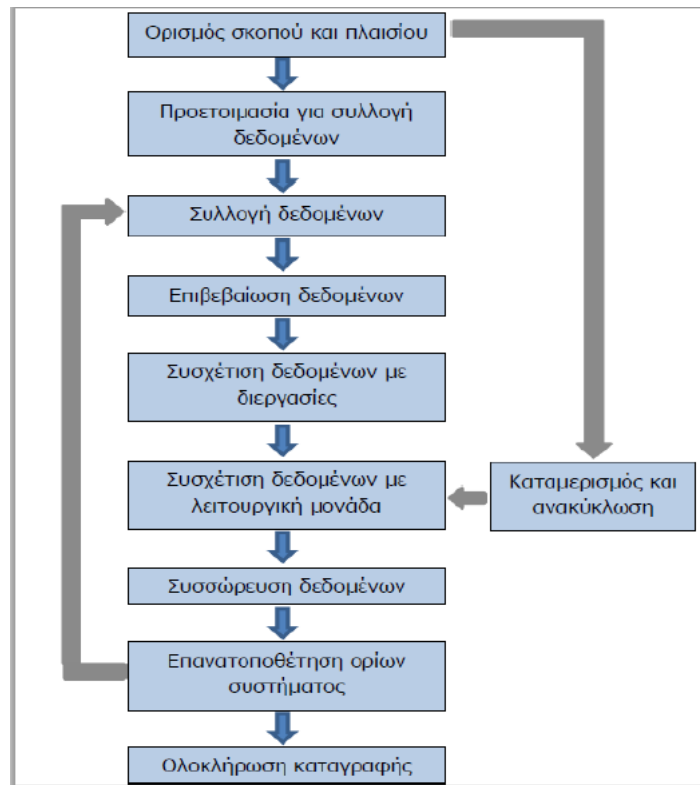
για παράδειγμα τα όρια μεταξύ τεχνόσφαιρας (διεργασίες, υλικά και άλλα είδη που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της ανθρώπινης δραστηριότητας) και οικόσφαιρας (διεργασίες και υλικά που δεν προκύπτουν από κάποια ανθρώπινη δραστηριότητα), γεωγραφικά και χρονικά όρια και όρια μεταξύ κύκλου ζωής υπό μελέτη και των κύκλων ζωής άλλων συστημάτων (π.χ. παραγωγή κεφαλαιουχικών αγαθών). (33)

Ποιότητα δεδομένων

Η εγκυρότητα των αποτελεσμάτων από τις μελέτες ΑΚΖ, εξαρτάται από την ποιότητα των δεδομένων που εισάγονται. Οι παράμετροι που θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη είναι: η χρονική, γεωγραφική και τεχνολογική κάλυψη, ακρίβεια και αντιπροσωπευτικότητα των δεδομένων, συνέπεια και επαναληψιμότητα των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για συλλογή των δεδομένων και τέλος το σφάλμα και τα κενά δεδομένων. Επιπρόσθετα θα πρέπει να καθορίζονται όρια (threshold points) σχετικά με την πληρότητα των δεδομένων. (30)

Συλλογή Δεδομένων: Καταγραφή Κύκλου Ζωής

Για την ολοκλήρωση του μοντέλου είναι αναγκαία η συλλογή δεδομένων για κάθε διεργασία που βρίσκεται εντός των ορίων του συστήματος. Τα δεδομένα που χρειάζονται είναι συνδυασμός εισροών και εκροών σε κάθε διεργασία που περιλαμβάνεται στα όρια του συστήματος. Για τη συλλογή δεδομένων πρέπει μεταξύ άλλων, να σχεδιάζονται τα κατάλληλα έντυπα συλλογής δεδομένων. Στη συνέχεια τα δεδομένα επαληθεύονται και σχετίζονται με τη λειτουργική μονάδα προκειμένου να επιτραπεί η συνάθροιση των αποτελεσμάτων. Ένα κρίσιμο βήμα σε αυτή τη διαδικασία υπολογισμού είναι η κατανομή των ροών στο περιβάλλον π.χ. εκπομπές στον αέρα, νερό και έδαφος. Επίσης ένα άλλο πρόβλημα προκύπτει από το γεγονός ότι αρκετές διεργασίες παράγουν περισσότερα από ένα προϊόντα, που πιθανώς να μη βρίσκονται εντός των ορίων του συστήματος. Επομένως τόσο οι εξαγωγές πρώτων υλών όσο και οι περιβαλλοντικές εκπομπές που σχετίζονται με τη συνολική διεργασία, θα πρέπει να καταμερίζονται στα διαφορετικά προϊόντα διεργασίας. (34)



Εικόνα 31: Συλλογή δεδομένων-καταγραφή κύκλου ζωής (30)

Η συλλογή δεδομένων είναι το στάδιο με τις μεγαλύτερες απαιτήσεις σε πόρους και χρόνο σε μία ΑΚΖ. Στο σχήμα απεικονίζονται οι απαιτήσεις σε στοιχεία κατά τη διάρκεια μίας ΑΚΖ, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14041. (30)

Κατά την εφαρμογή ΑΚΖ, εμφανίζονται συχνά κοινές διεργασίες όπως η προμήθεια ενέργειας, οι μεταφορές, οι υπηρεσίες επεξεργασίας αποβλήτων και η παραγωγή χημικών ουσιών. Οι διεργασίες αυτές ονομάζονται διεργασίες υποδομών (background processes). Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί και είναι διαθέσιμες βάσεις δεδομένων με στοιχεία για πολλές από αυτές. Η επαναχρησιμοποίηση των στοιχείων από προηγούμενες μελέτες μπορεί να απλοποιήσει την εργασία συλλογής δεδομένων, εντούτοις αυτό πρέπει να γίνεται με προσοχή έτσι ώστε τα δεδομένα να είναι αντιπροσωπευτικά. Τα δεδομένα που αφορούν το συγκεκριμένο εξεταζόμενο σύστημα αναφέρονται ως «foreground data». (34)

3.2 Μοντελοποίηση Συμβατικού Συστήματος Θερμικής Επεξεργασίας Βαμμένων Μεταλλικών Φύλλων

3.2.1. Περιβαλλοντικοί δείκτες

Η ανάλυση των επιπτώσεων για να γίνει χρειάζεται πρώτα να οριστούν οι περιβαλλοντικοί δείκτες με βάση τους οποίους θα αναδειχτούν τα προβλήματα όπου υπάρχουν και στον τομέα που ενδιαφέρουν τον μελετητή. Η εκτίμηση των επιπτώσεων με βάση του καθορισμένους δείκτες γίνεται στους άξονες πίεσης-κατάστασης-αντίδρασης. (35)

Τα τρία κυριότερα χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει κάθε περιβαλλοντικός δείκτης είναι: (36) (37)

- Χρησιμότητα: Να προσφέρει την αντιπροσωπευτική εικόνα των περιβαλλοντικών συνθηκών που χαρακτηρίζει με απλότητα, να είναι εύκολα αντιληπτός και να μπορεί να έχει χρονικές διακυμάνσεις, να είναι ευαίσθητος στις αλλαγές των περιβαλλοντικών συνθηκών που χαρακτηρίζει, να αποτελεί τη βάση αναφοράς για διεθνείς συγκρίσεις και να έχει μία τιμή αναφοράς έτσι ώστε όλες οι συγκρίσεις να γίνονται με βάση αυτή
- Αναλυτική βάση: Να ορίζεται πολύ καλά θεωρητικά με βάση τους τεχνικούς και επιστημονικούς όρους, να στηρίζεται σε διεθνή πρότυπα, να έχει διεθνή αναγνώριση και η αξιοπιστία του και να συνδέεται εύκολα με οικονομικά-κοινωνικά μοντέλα και πληροφοριακά συστήματα.
- Μετρησιμότητα: Τα δεδομένα που απαιτούνται για τον ορισμό του δείκτη θα πρέπει να είναι διαθέσιμα με καλή σχέση κόστους/οφέλους, να είναι καλά τεκμηριωμένα με δεδομένη ποιότητα και να ανανεώνονται κατά τακτά χρονικά διαστήματα με βάση αξιόπιστες πηγές και διαδικασίες.

Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων θα χρησιμοποιηθούν δύο 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 να διανύσει το προϊόν όλο τον κύκλο ζωής του. Συμπεριλαμβάνεται σε αυτό τον δείκτη η ενέργεια που χρησιμοποιείται για την εξόρυξη, παρασκευή και απόθεση πρώτων υλών. Αποτελεί έναν αρκετά παλιό και ανεπτυγμένο δείκτη για το LCA. Είναι αρκετά αξιόπιστος για την επιλογή μεταξύ συγκεκριμένων αποφάσεων και απαιτεί αρκετές παραδοχές, ως προς τη 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 στη σύγκριση των αποτελεσμάτων μιας μελέτης LCA, όπου χρησιμοποιούνται πρωτογενείς πηγές ενέργειας. Παρόλα αυτά, έχει αναπτυχθεί αρκετά ώστε να χρειάζεται πυρηνική και υδροηλεκτρική ενέργεια. Το μειονέκτημα του είναι πως δεν

έχει τυποποιηθεί ακόμα ο τρόπος μελέτης της μέτρησης του. Η έννοια και ο τρόπος μέτρησης του CED εκφράζονται από το 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, ηλιακή και γεωθερμική. Οι μη ανανεώσιμες πηγές ενέργειας χωρίζονται σε 3 υποκατηγορίες: ορυκτά καύσιμα, πυρηνικά και πρωτογενή ξυλεία (primary forest). Η παραδοχή που γίνεται εδώ είναι πως όλοι οι ενεργειακοί φορείς έχουν μία εγγενή τιμή. Αυτή η εγγενής τιμή καθορίζεται από την ενέργεια που παραλαμβάνεται από το περιβάλλον, η οποία πρέπει να είναι κοινή και για τις 8 υποκατηγορίες. Γι' αυτό και το CED εκφράζεται ισοδύναμα σε 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 τη μεταφορά των πρώτων υλών στο εργοστάσιο κτλ. Για παράδειγμα για κάθε MJ που χρησιμοποιείται για την παραγωγή ενός κιλού μίας ουσίας να δαπανώνται 3 MJ πρωτογενούς ενέργειας και 2.5 MJ ενέργεια για μεταφορές. Τότε στην παραγωγή του αυτό το προϊόν έχει 5.5 MJ-eq. (38)

Δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη

Το 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 (CO₂) που υπολογίζεται ως το δυναμικό θέρμανσης, εντός 100 ετών, ενός χιλιόγραμμου αερίου του θερμοκηπίου σε σχέση με ένα χιλιόγραμμο CO₂. (39)

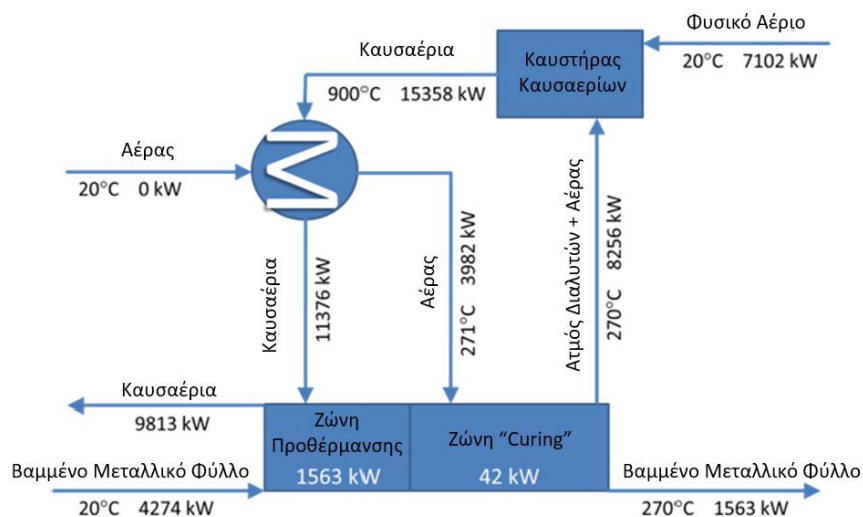
Η ιδέα του δυναμικού παγκόσμιας θέρμανσης αναπτύχθηκε για να συγκρίνει την ικανότητα κάθε αερίου του θερμοκηπίου σε σχέση με την ικανότητα του CO₂ να απορροφήσει την ακτινοβολία στη ατμόσφαιρα και να συμβάλει στην παγκόσμια θέρμανση. Το δυναμικό του CO₂ ορίστηκε 1, με την υπόθεση ότι ο μέσος χρόνος παραμονής του στην ατμόσφαιρα είναι 100 χρόνια. Έτσι για την ίδια ποσότητα εκπομπών η σειρά (από μεγαλύτερες τιμές) του ΔΠΘ είναι: CFC>N₂O>CH₄>CO₂. Δεν έχουν προταθεί ΔΠΘ για τους ρυπάντες CO, NO_x, μη μεθανιούχες οργανικές ενώσεις και SO₂ επειδή δεν υπάρχει αξιόπιστη μέθοδος εκτίμησης της άμεσης ή έμμεσης επίδρασης τους. (40)

Το GWP εξαρτάται από χαρακτηριστικά όπως : α) η απορροφητικότητα του αερίου στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος, β) η φασματοσκοπική περιοχή απορρόφησης και γ) από τον χρόνο ζωής του αερίου στην ατμόσφαιρα. (41)

Το GWP μετριέται στην παρούσα περίπτωση, με τον ορισμό που δίνεται από το Ecoinvent Report No.3 (Implementation of Life Cycle Assessment Methods) και με ισοδύναμα CO₂ ανά μονάδα μάζας της μελετώμενης ουσίας (Ecoinvent report No.3). Δηλαδή το GWP μετριέται σε μάζα του CO₂ σε kg, που έχει το ίδιο GWP όσο και 1 kg της μελετώμενης ουσίας. Όταν μία ουσία έχει για παράδειγμα GWP=10 kg CO₂- eq σημαίνει πως 1 kg της μελετώμενης ουσίας προκαλεί στο φαινόμενο του θερμοκηπίου ίδια επιβάρυνση όσο και 10 kg CO₂. Είναι κατανοητό, ο λόγος που χρησιμοποιείται το CO₂ σαν αέριο αναφοράς μιας και είναι το πιο γνωστό και καλά μελετημένο αέριο του θερμοκηπίου. (38)

3.2.2. Περιγραφή ενεργειακών καταναλώσεων στο συμβατικό σύστημα θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών φύλλων

Σε αυτό το σημείο θα γίνει μία σύντομη αναφορά στις ενεργειακές απαιτήσεις και καταναλώσεις του φούρνου με θέρμανση με συναγωγή θερμότητας. Αρχικά το βαμμένο μεταλλικό φύλλο εισάγεται στο φούρνο και προθερμαίνεται από τα καυσαέρια που προκύπτουν από την ανακυκλοφορία. Η προθέρμανση του μεταλλικού φύλλου απαιτεί ένα συγκεκριμένο ποσό ενέργειας, ενώ η ενέργεια που απαιτείται για τη προθέρμανση των διαλυτών μπορεί αμεληθεί. Στην ζώνη ξήρανσης/curing απαιτείται επιπρόσθετη ενέργεια για την ατμοποίηση των διαλυτών και την ξήρανση/curing της μπογιάς. Ακόμα χρησιμοποιείται αέρας για την αραίωση των ατμοποιημένων διαλυτών. Το βαμμένο φύλλο εξέρχεται από τον φούρνο και το μείγμα ατμοποιημένων διαλυτών και αέρα οδηγείται στον καυστήρα καυσαερίων. Στον καυστήρα καυσαερίων το μείγμα αερίων θερμαίνεται, καθώς στο θάλαμο καύσης καίγεται φυσικό αέριο. Σε αυτή τη θερμοκρασία πραγματοποιείται μετατροπή των υδρογονανθράκων σε CO₂ και H₂O. Στη συνέχεια γίνεται ανακυκλοφορία των καυσαερίων και εισάγονται σε ένα εναλλάκτη στον οποίο εισέρχεται και αέρας. Τα καυσαέρια που προκύπτουν από τον εναλλάκτη παρέχουν ενέργεια για τη προθέρμανση. (17)



Εικόνα 32: Τυπικές ενεργειακές καταναλώσεις στο συμβατικό σύστημα θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων (17)

3.2.3. Μοντελοποίηση Συμβατικού Συστήματος για την Εφαρμογή της Μεθοδολογίας της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής

Σκοπός αυτού του σεναρίου είναι να μελετηθεί και να αξιολογηθεί ο κύκλος ζωής της βαφής η οποία ξηραίνεται πάνω στο μεταλλικό έλασμα για δύο γραμμές: μία συμβατική και μία καινοτόμα.

Η λειτουργική μονάδα ορίζεται ως 1 m² της βαφής που ξηραίνεται στο μεταλλικό έλασμα.

Τα συστήματα που θα μελετηθούν για τον συμβατικό τρόπο θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων είναι δύο. Ένα μικρότερο το οποίο εστιάζει στο τμήμα της θερμικής επεξεργασίας των βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων, δηλαδή το τμήμα της ξήρανσης/curing του διαλύτη από τη βαφή, και ένα άλλο μεγαλύτερο που λαμβάνει υπόψη ολόκληρη τη γραμμή.

3.2.3.1. Σύστημα που εστιάζει στο τμήμα της θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων.

Τα όρια του συστήματος λαμβάνουν υπόψη το τμήμα του φούρνου που πραγματοποιείται η ξήρανση/curing και το τμήμα καύσης των πτητικών ενώσεων στον αποτεφρωτήρα και φτάνει μέχρι το σημείο που αποβάλλονται τα καυσαέρια προς το περιβάλλον.

Παράμετροι εισόδου (inputs):

- Φυσικό αέριο το οποίο χρησιμοποιείται για την καύση των πτητικών οργανικών ενώσεων
- Ατμοποιημένος διαλύτης (δεν θεωρείται input, αλλά πρέπει να γίνει αναφορά ότι περιέχεται στο εσωτερικό του συστήματος και για την καύση του χρησιμοποιείται το φυσικό αέριο)
- Αέρας (η ενέργεια που απαιτείται για την είσοδο του αέρα στο σύστημα είναι αμελητέα σε σχέση με τα υπόλοιπα μεγέθη)

Παράμετροι εξόδου (outputs):

- Καυσαέρια (CO₂, VOCs, NO_x, CO)

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα όρια του συστήματος καθώς και οι αντίστοιχοι παράμετροι εισόδου και εξόδου:

$$E_{N.G.} = 0.2043 \frac{kg CO_2}{kWh N.G.}$$

Για τον διαλύτη:

$$E_{PVDF} = 0.2938 \frac{kg CO_2}{kWh PVDF}$$

Συλλογή και ταξινόμηση δεδομένων για το κομμάτι της θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων

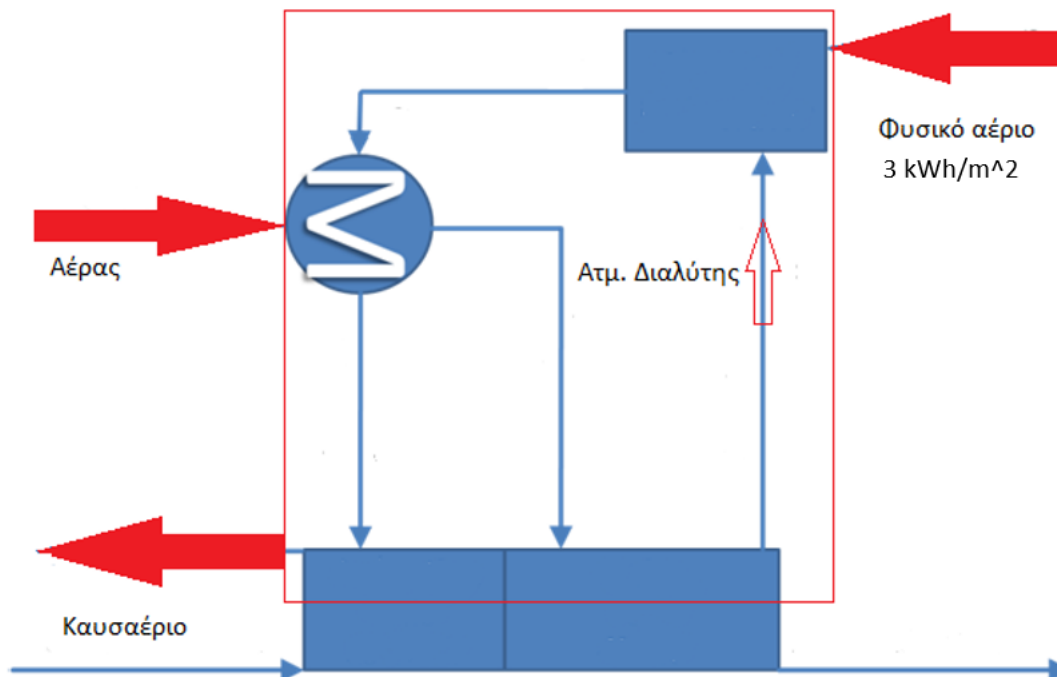
Δεδομένα από βιβλιογραφικές πηγές

Η συλλογή των δεδομένων για τις καταναλώσεις ενέργειας και των εκπομπών γίνεται από διαφορετικές πηγές που συλλέχθηκαν από τη βιβλιογραφία.

Για την περίπτωση των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί από τη βιβλιογραφία διαπιστώθηκε ότι το εύρος κατανάλωσης του φυσικού αερίου είναι 0.2-3 kWh/m². Από αυτό το εύρος οι μικρότερες τιμές αντιστοιχούν σε συστήματα ξήρανσης/curing με υπέρυθρη ή κοντά-στο-υπέρυθρο ακτινοβολία, στα οποία αξιοποιείται κυρίως η ηλεκτρική ενέργεια αντί του φυσικού αερίου. Ωστόσο τα όρια του συστήματος που θα μελετηθούν στην παρούσα φάση εστιάζουν στην κατανάλωση του φυσικού αερίου σε ένα σύστημα που χρησιμοποιεί φούρνο συναγωγής. Οπότε θα γίνει η υπόθεση ότι η κατανάλωση του φυσικού αερίου είναι 3 kWh/m².

Να σημειωθεί ότι για τις εκπομπές των VOCs υπήρξαν διαφορετικά εύρη από κάθε πηγή και σε κάθε περίπτωση λήφθηκε υπόψη ότι υπάρχει κάποιου είδους αντιρρυπαντικό σύστημα για τις πτητικές οργανικές ενώσεις και δε διαφεύγουν απευθείας στο περιβάλλον.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται οι τιμές των παραμέτρων εισόδου για την περίπτωση του συστήματος με τα δεδομένα από τη βιβλιογραφία.



Εικόνα 34: Φυσικό αέριο που απαιτείται για την ξήρανση του συμβατικού συστήματος από την βιβλιογραφία

Παρακάτω δίνονται τα δεδομένα από τη βιβλιογραφία καθώς και οι αντίστοιχες αναφορές.

Inputs		
Φυσικό αέριο (kWh/m ²) (7)	3	
Outputs	<u>Βιβλιογραφία</u> <u>(g/m²)</u>	<u>Emission factor φυσικού</u> <u>αερίου (kg/kWh)</u>
CO ₂ (7)	396	0.2043
VOCs 1η πηγή (7)	0.1-6.3	-
VOCs 2η πηγή (20)	0.73-0.84	-
VOCs 3η πηγή (22)	4.2	-
NO _x (20)	0.05	-
CO (20)	0.05	-

Εικόνα 35: Δεδομένα από βιβλιογραφία για σύστημα θερμικής επεξεργασίας βαμμένου μεταλλικού ελάσματος (ξηρανση/curing)

Δεδομένα από αναφορές της βιομηχανίας

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από αναφορές της βιομηχανίας (για δύο γραμμές: μία με ταχύτητα 30 m/min και η άλλη 60 m/min). Ταξινομήθηκαν με βάση της ταχύτητα της γραμμής. Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από την βιομηχανία αφορούν μικρές εγκαταστάσεις, καθώς οι ταχύτητες 30 m/min και 60 m/min θεωρούνται ότι ανήκουν στην κατηγορία μικρών εγκαταστάσεων. Να σημειωθεί ότι από τις αναφορές αυτές δεν δίνονται οι εκπεμπόμενοι ρύποι, οπότε γίνεται η παραδοχή ότι οι εκπομπές που προκύπτουν στη βιομηχανία είναι ίδιες με αυτές που συλλέχθηκαν από τη βιβλιογραφία.

Ο υπολογισμός της κατανάλωσης του φυσικού αερίου σε kWh έγινε με την παρακάτω μεθοδολογία καθώς από τις αναφορές της βιομηχανίας δινόταν σε m³/ton.

Συνεπώς για την περίπτωση μικρού μεγέθους του τμήματος θερμικής επεξεργασίας για 1 m² χάλυβα, για ταχύτητα γραμμής 30 m/min και για επικάλυψη από ένα coater :

Η κατανάλωση φυσικού αερίου της θερμικής επεξεργασίας:

$$Con_{N.G.} = 32.5 \frac{m^3_{\phi.\alpha}}{ton}$$

Το πάχος του ελάσματος δίνεται από τον τύπο:

$$Th = 0.0005 m_{\chi\acute{\alpha}\lambda\nu\beta\alpha}$$

Ο όγκος για εμβαδόν Ar = 1 m² ελάσματος:

$$V = Th * Ar = 0.0005 * 1 = 0.0005 m^3_{\chi\acute{\alpha}\lambda\nu\beta\alpha}$$

Η πυκνότητα του χάλυβα:

$$Den = 8050 \frac{kg}{m^3_{\chi\acute{\alpha}\lambda\nu\beta\alpha}}$$

Η μάζα για 1 m² χάλυβα είναι:

$$M = Den \cdot V = 8050 * 0.0005 = 4.025 kg = 0.004025 ton$$

Η κατανάλωση φυσικού αερίου για 1 m² χάλυβα είναι:

$$Con_{N.G. for 1m^2} = M * Con_{N.G.} = 32.5 * 0.004025 = 0.1308 m^3_{\phi.\alpha}$$

Η θερμογόνος ικανότητα του φυσικού αερίου

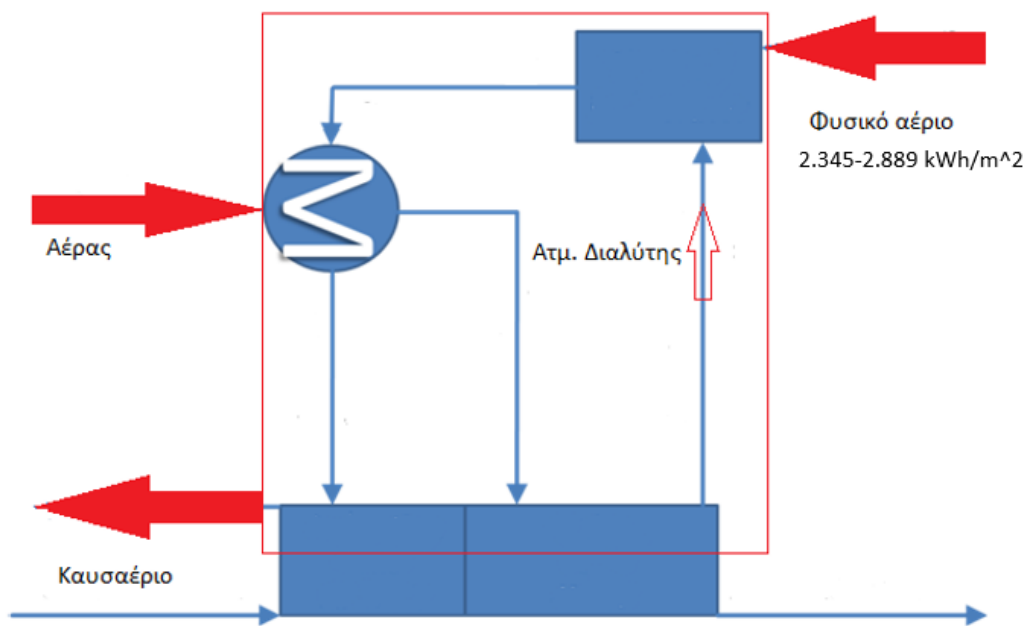
$$Hu = 39 MJ/m^3_{\phi.\alpha}$$

Η κατανάλωση φυσικού αερίου για 1 m² χάλυβα είναι:

$$Con_{N.G. for 1m^2} = Hu * Con_{N.G. for 1m^2} = 39 * 0.1308 = 5.1017 MJ = 1.4 kWh/m^2$$

Αυτή η μεθοδολογία εφαρμόστηκε για όλες τις γραμμές που υπήρχαν στις αναφορές από τη βιομηχανία. Ύστερα οργανώθηκαν τα δεδομένα σε συστήματα με βάση την ταχύτητα της γραμμής και υπολογίστηκε ο μέσος όρος για την κατανάλωση φυσικού αερίου σε κάθε περίπτωση.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται το εύρος των παραμέτρων εισόδου για το σύστημα με τα δεδομένα από τη βιομηχανία:



Εικόνα 36: Εύρος φυσικού αερίου που απαιτείται για την ξήρανση του συμβατικού συστήματος από την βιομηχανία

Inputs	Για single coat	Για double coat	Μέσος όρος
Φυσικό αέριο (kWh/m ²) (42)	1.417135417	4.360416667	2.888776042
Outputs	Βιβλιογραφία (g/m²)	Emission factor φυσικού αερίου (kg/kWh)	
CO ₂ (7)	396	0.2043	
VOCs 1η πηγή (7)	0.1-6.3	-	
VOCs 2η πηγή (20)	0.73-0.84	-	
VOCs 3η πηγή (22)	4.2	-	
NO _x (7)	0.05	-	
CO (7)	0.05	-	

Εικόνα 37: Δεδομένα από αναφορές βιομηχανίας για σύστημα θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων με ταχύτητα 30 m/min

<u>Inputs</u>	<u>Για single coat</u>	<u>Για double coat</u>	<u>Μέσος όρος</u>
Φυσικό αέριο (kWh/m ²) (42)	0.98109375	3.488333333	2.234713542
<u>Outputs</u>	<u>Βιβλιογραφία (g/m²)</u>	<u>Emission factor φυσικού αερίου (kg/kWh)</u>	
CO ₂ (7)	396	0.2938	
VOCs 1η πηγή (7)	0.1-6.3	-	
VOCs 2η πηγή (20)	0.73-0.84	-	
VOCs 3η πηγή (22)	4.2-10.8	-	
NO _x (7)	0.05	-	
CO (7)	0.05	-	

Εικόνα 38: Δεδομένα από αναφορές βιομηχανίας για σύστημα θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων με ταχύτητα 60 m/min

Συμπερασματικά από την παραπάνω συλλογή δεδομένων προκύπτει ότι υπάρχουν διαφορές όσον αφορά την κατανάλωση φυσικού αερίου για την καύση των πτητικών οργανικών ενώσεων.

Προσομοίωση στο πρόγραμμα SimaPro

Processes

Το στοιχείο εισόδου στην περίπτωση του συστήματος που εστιάζει στο κομμάτι της θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων είναι το φυσικό αέριο. Για να γίνει η προσομοίωση στο SimaPro είναι αναγκαίο τα δεδομένα να είναι εκσυγχρονισμένα. Το φυσικό αέριο προμηθεύεται από τη Ρωσία (65%), την Αλγερία σε μορφή υγροποιημένου φυσικού αερίου (17%) και από την Τουρκία (18%) (43). Η βιβλιοθήκη του SimaPro ωστόσο διαθέτει το φυσικό αέριο που προέρχεται από την Ρωσία με αγωγούς και από την Αλγερία σε LNG. Οπότε έγινε η παραδοχή ότι το 83 % του φυσικού αερίου προμηθεύεται από τη Ρωσία από τους αγωγούς και το 17% από την Αλγερία σε LNG.

Για να γίνει η προσομοίωση επιλέχθηκε το process

“Heat, natural gas, at industrial furnace > 100 kW /RER U 2020”

Στο οποίο επιλέχθηκε το input

“Natural gas, high pressure, at consumer /GR U 2020”

Με τα παρακάτω στοιχεία τα οποία τροποποιήθηκαν έτσι ώστε να είναι εκσυγχρονισμένα

Products		
Natural gas, high pressure, at consumer/GR U 2020	1	MJ
Inputs		
Natural gas, burned in industrial furnace >100 kW/RER U	0.00167	MJ
Electricity, medium voltage, at grid/GR U	0.0000728	kWh
Natural gas, production RU, at long-distance pipeline/RER U	0.0228	m ³
Natural gas, production DZ, at long-distance pipeline/RER U	0.00467	m ³
Pipeline, natural gas, high pressure distribution network/RER/I U	0.0000000002	km
Transport, natural gas, pipeline, long distance/RER U	0.00467	m ³
Outputs		
Methane, fossil	0.0000112	kg
Ethane	0.000000094	kg
Propane	0.0000000313	kg
Butane	0.0000000157	kg
Carbon dioxide, fossil	0.0000000157	kg
NMVOC, non-methane volatile organic compounds, unspecified origin	0.0000000157	kg
Mercury	0	kg
Heat ,waste	0.000262	MJ

Όπου στο παραπάνω πίνακα το φυσικό αέριο που προέρχεται από τη Ρωσία είναι

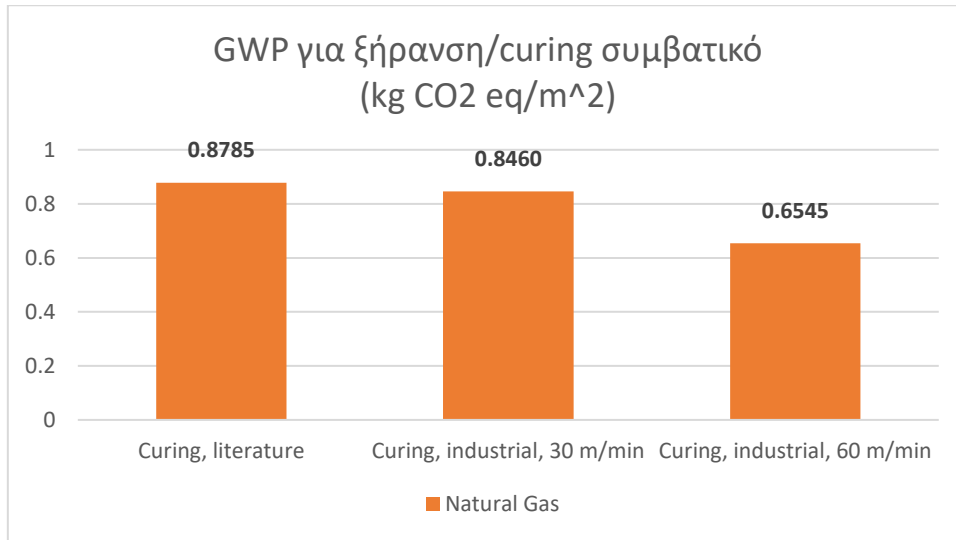
“Natural gas, production RU, at long-distance pipeline/RER U”

Και από την Αλγερία

“Natural gas, production DZ, at long-distance pipeline/RER U”

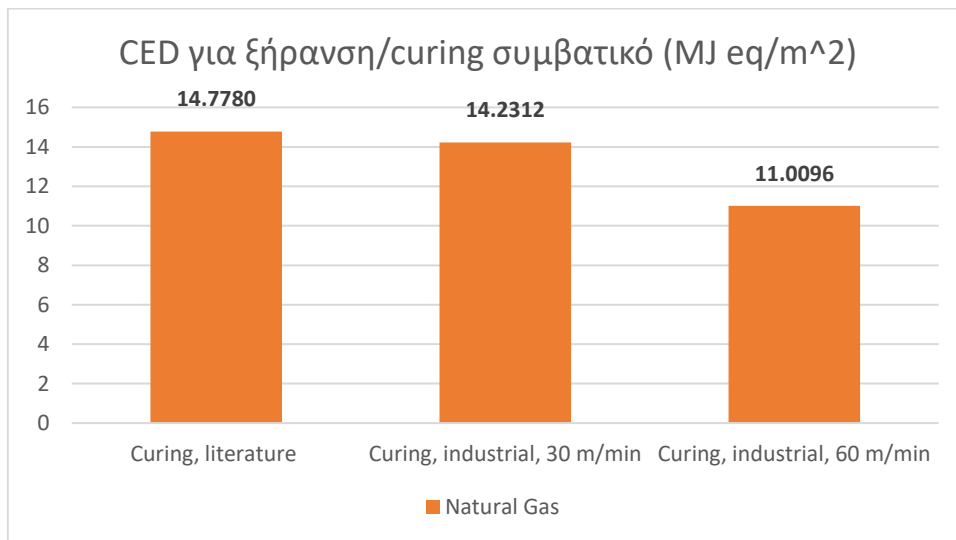
Αποτελέσματα από την Ανάλυση Κύκλου Ζωής του συστήματος που εστιάζει στο τμήμα της θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων

Για το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP):



Εικόνα 39: Δείκτης GWP για ξήρανση/curing συμβατικών συστημάτων για περιπτώσεις από την βιβλιογραφία και από την βιομηχανία

Για την αθροιστική ενεργειακή απαίτηση (CED):



Εικόνα 40: Δείκτης CED για ξήρανση/curing συμβατικών συστημάτων για περιπτώσεις από την βιβλιογραφία και από την βιομηχανία

Γίνεται αντιληπτό ότι και στις δύο περιπτώσεις η συνεισφορά και στους δύο δείκτες είναι από την καύση του φυσικού αερίου. Επίσης παρατηρείται ότι η ξήρανση/curing σε μία γραμμή βιομηχανίας με ταχύτητα 30 m/min έχει μεγαλύτερες εκπομπές από μία γραμμή με ταχύτητα 60 m/min.

3.2.3.2 Σύστημα που εστιάζει στην συνολική γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων.

Τα όρια αυτού του συστήματος λαμβάνουν υπόψη και όλα τα επιμέρους τμήματα της γραμμής και όχι αποκλειστικά της θερμικής επεξεργασίας. Ο σκοπός που γίνεται αυτό συνιστά το γεγονός ότι πρέπει να ληφθεί υπόψη στην ανάλυση του κύκλου ζωής η βαφή του μεταλλικού ελάσματος καθώς και ηλεκτρική ενέργεια που χρησιμοποιείται συνολικά για την κίνηση της γραμμής καθώς και του τμήματος της ψύξης ύστερα από το τμήμα της θερμικής επεξεργασίας.

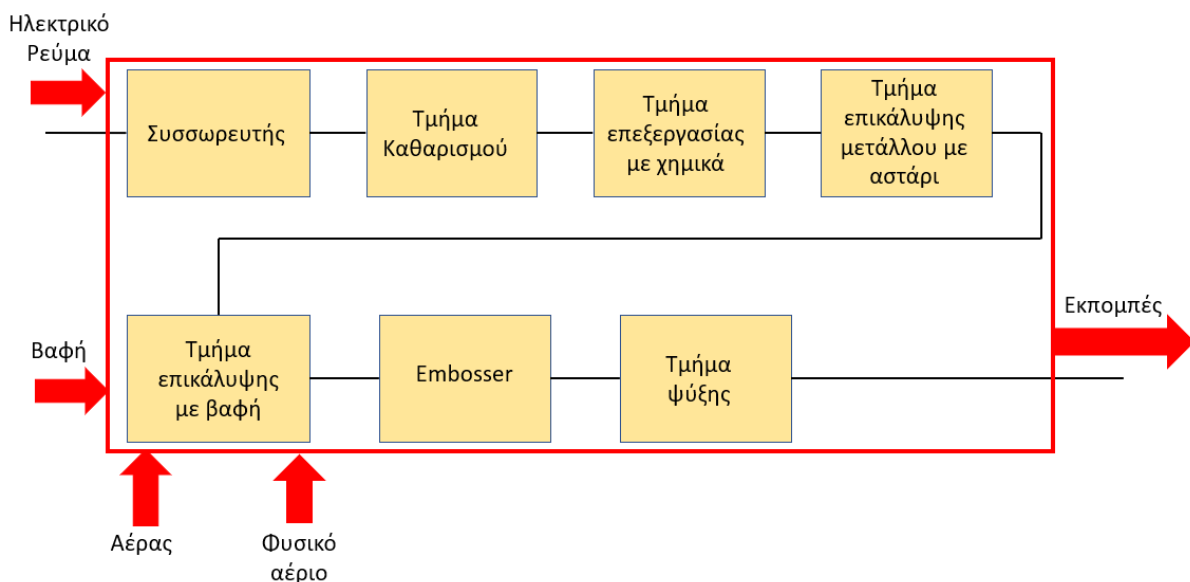
Παράμετροι εισόδου (inputs):

- Φυσικό αέριο το οποίο χρησιμοποιείται για την καύση πτητικών οργανικών ενώσεων
- Βαφή (απαρτίζεται από τη χρωστική ουσία και από τον διαλύτη)
- Ηλεκτρικό ρεύμα που χρησιμοποιείται για την κίνηση της γραμμής και για την ψύξη του βαμμένου μεταλλικού ελάσματος
- Αέρας (όπως το προηγούμενο σύστημα η ενέργεια που απαιτείται για την είσοδο του αέρα στο σύστημα είναι αμελητέα σε σχέση με τα υπόλοιπα μεγέθη)

Παράμετροι εξόδου (outputs):

- Καυσαέρια ($CO_2, VOCs, NO_x, CO$)

Στην παρακάτω εικόνα φαίνονται τα όρια του μεγαλύτερου συστήματος και οι αντίστοιχοι παράμετροι εισόδου και εξόδου.



Εικόνα 41: Όρια συστήματος και παράμετροι εισόδου και εξόδου για την συνολική συμβατική γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων

Όπως την προηγούμενη περίπτωση δεν λαμβάνεται στον κύκλο ζωής το μεταλλικό έλασμα από χάλυβα.

Συλλογή και ταξινόμηση δεδομένων για το σύστημα που εστιάζει στην συνολική γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων

Δεδομένα από βιβλιογραφικές πηγές

Η συλλογή των δεδομένων για την κατανάλωση του φυσικού αερίου, της ποσότητας της βαφής, του ηλεκτρικού ρεύματος και των εκπομπών γίνεται από διαφορετικές πηγές. Τα δεδομένα που προέρχονται από βιβλιογραφικές πηγές οργανώθηκαν σε δύο περιπτώσεις για να μελετηθούν:

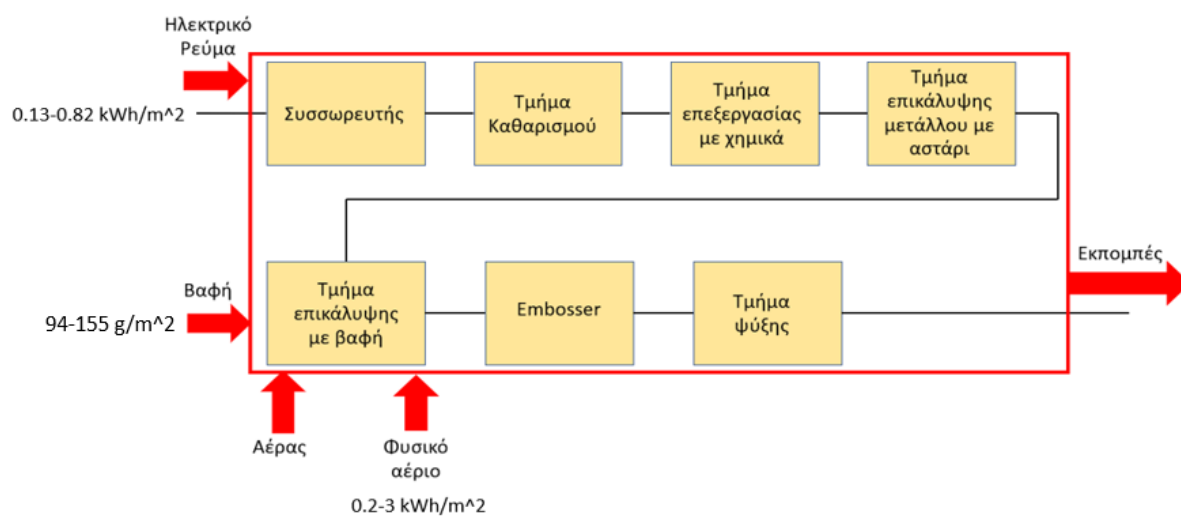
- Γραμμή με συμβατικό φούρνο ξήρανσης/curing συναγωγής θερμότητας
- Γραμμή με φούρνο ξήρανσης με υπέρυθρο (IR) και κοντά-στο-υπέρυθρο ακτινοβολία (NIR)

Ο διαχωρισμός αυτός γίνεται γιατί η γραμμή με φούρνο ξήρανσης/curing με συναγωγή θερμότητας απαιτεί μεγαλύτερη κατανάλωση φυσικού αερίου σε σχέση με την γραμμή που χρησιμοποιεί φούρνο ξήρανσης/curing IR ή NIR. Αντίθετα ο φούρνος ξήρανσης/curing IR ή NIR απαιτεί μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικού ρεύματος από τον φούρνο ξήρανσης συναγωγής, όπου το ηλεκτρικό ρεύμα αξιοποιείται αποκλειστικά για την κίνηση της γραμμής. Δηλαδή στον φούρνο IR/NIR το ηλεκτρικό ρεύμα χρησιμοποιείται για την ξήρανση ενώ στο φούρνο συναγωγής χρησιμοποιείται το φυσικό αέριο.

Συνεπώς από το εύρος 0.2-3 kWh/m² του φυσικού αερίου αντιστοιχήθηκε η τιμή 0.2 kWh/m² στη γραμμή με φούρνο IR ή NIR και η τιμή 3 kWh/m² στην γραμμή με φούρνο συναγωγής. Ακόμα, από το εύρος για το ηλεκτρικό ρεύμα 0.13-0.82 kWh/m² αντιστοιχήθηκε η τιμή 0.13 kWh/m² στην γραμμή με φούρνο συναγωγής και η τιμή 0.82 kWh/m² στην γραμμή με φούρνο IR ή NIR.

Από τα διαθέσιμα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τη βιβλιογραφία, βρέθηκε ότι το εύρος κατανάλωσης της βαφής σε μία γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων είναι 94-155 (g/m²).

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα εύρη των παραμέτρων εισόδου για το σύστημα με δεδομένα από τη βιβλιογραφία.



Εικόνα 42: Εύρη παραμέτρων εισόδου για την συμβατική γραμμή από βιβλιογραφία

Και παρακάτω δίνονται οι αντίστοιχοι πίνακες της κάθε περίπτωσης:

Inputs			
Φυσικό αέριο (kWh/m ²) (7)	0.2		
Βαφή(pigment + διαλύτης)(g/m ²) (20)	125		
Ηλεκτρικό ρεύμα (kWh/m ²) (7)	0.82		
Outputs			
Outputs	Βιβλιογραφία (g/m²)	Emission factor φ.α. (kg/kWh)	Emission factor διαλύτη (kg/kWh)
CO ₂ (7)	396	0.2043	0.2938
VOCs 1η πηγή (7)	0.1-6.3	-	-
VOCs 2η πηγή (20)	0.73-0.84	-	-
VOCs 3η πηγή (22)	4.2	-	-
NO _x (7)	0.05	-	-
CO (7)	0.05	-	-

Εικόνα 43: Δεδομένα για γραμμή με φούρνο ξήρανσης/curing IR ή NIR από βιβλιογραφία

Inputs			
Φυσικό αέριο (kWh/m ²) (7)	3		
Βαφή(pigment + διαλύτη)(g/m ²) (20)	125		
Ηλεκτρικό ρεύμα (kWh/m ²) (7)	0.13		
Outputs			
	Βιβλιογραφία (g/m²)	Emission factor φ.α. (kg/kWh)	Emission factor διαλύτη (kg/kWh)
CO ₂ (7)	396	0.2043	0.2938
VOCs 1η πηγή (7)	0.1-6.3	-	-
VOCs 2η πηγή (20)	0.73-0.84	-	-
VOCs 3η πηγή (22)	4.2	-	-
NO _x (7)	0.05	-	-
CO (7)	0.05	-	-

Εικόνα 44: Δεδομένα για γραμμή με φούρνο ξήρανσης/curing συναγωγής από βιβλιογραφία

Δεδομένα από αναφορές βιομηχανίας

Όσον αφορά τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τη βιομηχανία ήταν αναγκαίο να γίνει μία επεξεργασία έτσι ώστε να μπορέσουν να είναι συμβατά με το πρόγραμμα SimaPro. Οι τιμές για την κατανάλωση του φυσικού αερίου είναι οι ίδιες όπως το σύστημα που εστιάζει στην ξήρανση.

Για την κατανάλωση του ηλεκτρικού ρεύματος ακολουθήθηκε η παρακάτω μεθοδολογία. Για την περίπτωση της γραμμής με ταχύτητα 30 m/min και με επικάλυψη από ένα coater :

Θεωρώντας λειτουργική μονάδα $Ar=1 \text{ m}^2$ διαλύτη που ατμοποιείται το πλάτος του είναι:

$$W = 0.5 \text{ m}$$

Άρα το μήκος για τη λειτουργική μονάδα είναι:

$$Ar = W \cdot L \Rightarrow L = Ar/W \Rightarrow L = 2 \text{ m}$$

Η ταχύτητα της γραμμής:

$$U = 1800 \text{ m/h}$$

Η ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος είναι:

$$El = 140 \text{ kW}$$

Οπότε η ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος είναι:

$$P_{el} = \frac{El \cdot L}{U} = 0.156 \text{ kWh/m}^2$$

Η διαδικασία αυτή εφαρμόστηκε και στις άλλες περιπτώσεις.

Για την βαφή που χρησιμοποιείται στη γραμμή_ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

Για λειτουργική μονάδα ένα $Ar = 1\text{m}^2$ που ατμοποιείται το πάχος του διαλύτη που ατμοποιείται:

$$Th_{solvent} = 0,000032\text{ m}$$

Το πλάτος του διαλύτη της λειτουργικής μονάδας είναι:

$$W_{solvent} = 0.5\text{ m}$$

Άρα το μήκος της λειτουργικής μονάδας είναι:

$$Ar = W \cdot L \Rightarrow L = Ar/W \Rightarrow L = 2\text{ m}$$

Η ταχύτητα της γραμμής:

$$U = 1800\text{ m/h}$$

Ο όγκος του διαλύτη που ατμοποιείται είναι

$$V_{solvent} = Ar \cdot Th_{solvent} = 0.000032\text{ m}^3$$

Το φορτίο του διαλύτη που περιέχεται στη βαφή είναι:

$$Ld = 0.045 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Γίνεται η παραδοχή ότι η πυκνότητα του διαλύτη είναι παρόμοια με αυτή της αιθανόλης:

$$Den_{solvent} = 800 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Η μάζα του διαλύτη που ατμοποιείται

$$M_{solvent} = \frac{Den_{solvent} \cdot Ld \cdot L}{U} = 0.04\text{ kg} = 40\text{ g}$$

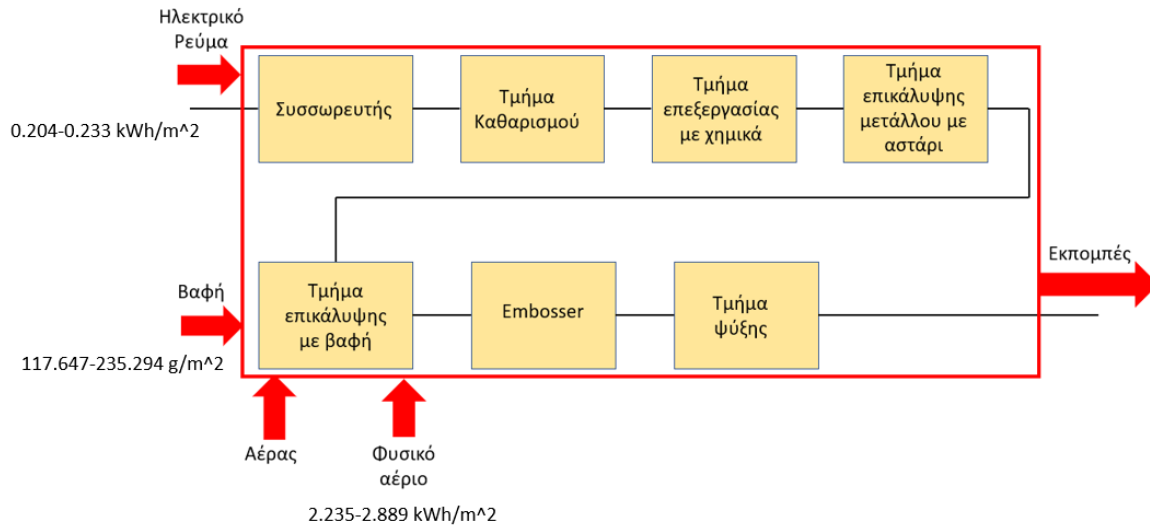
Γίνεται η παραδοχή ότι η περιεκτικότητα της βαφής σε διαλύτη είναι 34%.

Άρα ισχύει ότι:

$$M_{paint} = \frac{M_{solvent}}{0.34} = 117,647\text{ kg/m}^2$$

Ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία και για τις άλλες περιπτώσεις.

Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνονται τα εύρη των παραμέτρων εισόδου με δεδομένα από τη βιομηχανία:



Εικόνα 45: Εύρη παραμέτρων εισόδου για εύρη από βιομηχανία

Και οι πίνακες από τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από τη βιομηχανία είναι:

Inputs	Για single coat	Για double coat	Μέσος όρος
Φυσικό αέριο (kWh/m ²) (42)	1.417135417	4.360416667	2.888776042
Βαφή (pigment + διαλύτης) (g/m ²) (42)	117.6470588		
Ηλεκτρικό ρεύμα (kWh/m ²) (42)	0.155555556	0.252222222	0.203888889
Outputs	Βιβλιογραφία (g/m²)	Emission factor (kg/kWh)	Emission factor διαλύτη (kg/kWh)
CO ₂ (7)	396	0.2043	0.2938
VOCs 1η πηγή (7)	0.1-6.3	-	-
VOCs 2η πηγή (20)	0.73-0.84	-	-
VOCs 3η πηγή (22)	4.2-10.8	-	-
NO _x (7)	0.05	-	-
CO (7)	0.05	-	-

Εικόνα 46: Δεδομένα για γραμμή με ταχύτητα 30 m/min (δεδομένα από βιομηχανία)

<u>Inputs</u>	<u>Για single coat</u>	<u>Για double coat</u>	<u>Μέσος όρος</u>
Φυσικό αέριο (kWh/m ²) (42)	0.98109375	3.488333333	2.234713542
Βαφή (pigment + διαλύτης) (g/m ²) (42)	235.2941176		
Ηλεκτρικό ρεύμα (kWh/m ²) (42)	0.183333333	0.282222222	0.232777778
<u>Outputs</u>	<u>Βιβλιογραφία (g/m²)</u>	<u>Emission factor (kg/kWh)</u>	<u>Emission factor διαλύτη (kg/kWh)</u>
CO ₂ (7)	396	0.2043	0.2938
VOCs 1η πηγή (7)	0.1-6.3	-	-
VOCs 2η πηγή (20)	0.73-0.84	-	-
VOCs 3η πηγή (22)	4.2-10.8	-	-
NOx (7)	0.05	-	-
CO (7)	0.05	-	-

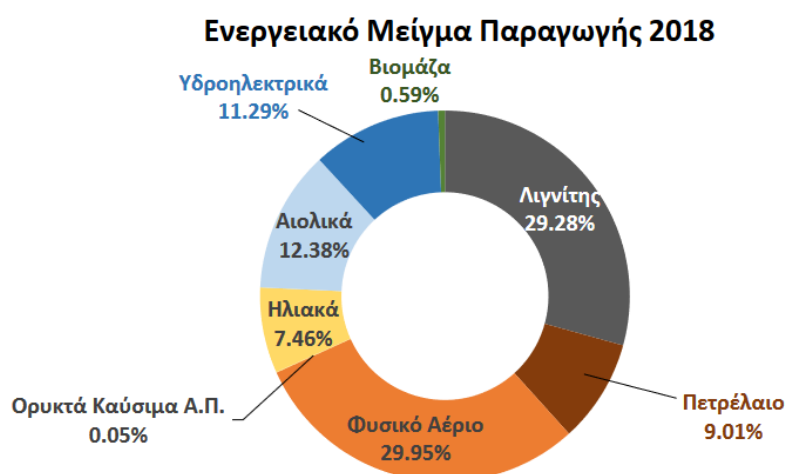
Εικόνα 47: : Δεδομένα για γραμμή με ταχύτητα 60 m/min (δεδομένα από βιομηχανία)

Προσομοίωση στο πρόγραμμα SimaPro

Processes

Για να τροφοδοτηθούν τα δεδομένα στο SimaPro θα πρέπει να προσαρμοστούν στα σημερινά δεδομένα. Όπως και προηγουμένως με το φυσικό αέριο, θα πρέπει να προσδιοριστούν οι συνεισφορές από διάφορες πηγές ενέργειας στο ηλεκτρικό ρεύμα.

Σύμφωνα με τον οργανισμό Διαχείρισης ΑΠΕ και Εγγυήσεων Προέλευσης το ενεργειακό μείγμα για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας για το 2018 ήταν το εξής:



Εικόνα 48: Ενεργειακό μείγμα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (44)

Στο SimaPro δημιουργήθηκε το εξής Process για το ηλεκτρικό ρεύμα:

“Electricity production mix GR/GR U 2020”

Με τα εξής στοιχεία:

Products		
Electricity production mix GR/ GR U 2020	1	kWh
Inputs		
Electricity lignite at power plant/GR U	0.299	kWh
Electricity oil, at power plant/GR U	0.0901	kWh
Electricity, natural gas, at power plant/GR U	0.2995	kWh
Electricity, hydropower, at power plant/GR U	0.1129	kWh
Electricity, hydropower, at pumped storage power plant/GR U	0	kWh
Electricity at wind power plant/RER U	0.1238	kWh
Electricity, at cogen ORC 1400 kWh, wood allocation heat/CH U	0.0059	kWh
Electricity, production mix photovoltaic, at plant/ GR U	0.0746	kWh

Όσον αφορά τη χρήση της βαφής δημιουργήθηκε το εξής Process στη βιβλιοθήκη του SimaPro

“Paint with solvent”

Για τον υπολογισμό της ποσότητας εκπομπής του διοξειδίου του άνθρακα που εκπέμπεται από την καύση 1 kg βαφής έγιναν οι παρακάτω υπολογισμοί

Γίνεται η παραδοχή ότι η θερμογόνο ικανότητα του διαλύτη είναι

$$Hu = 34.19 \text{ MJ/kg}$$

Ακόμα σε 1 kg βαφής γίνεται η παραδοχή ότι περιέχει 0.34 kg διαλύτη. Η ενέργεια που εκλύεται από την καύση 0.34 kg ατμοποιημένου διαλύτη

$$E_{\text{solvent}} = Hu \cdot 0.34 \text{ kg} = 11.6246 \text{ MJ} = 3.229 \text{ kWh}$$

Ο συντελεστής εκπομπής CO₂ όπως αποδείχθηκε παραπάνω είναι

$$E_{\text{PVDF}} = 0.2938 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh PVDF}}$$

Άρα σε 1kg βαφής εκπέμπονται

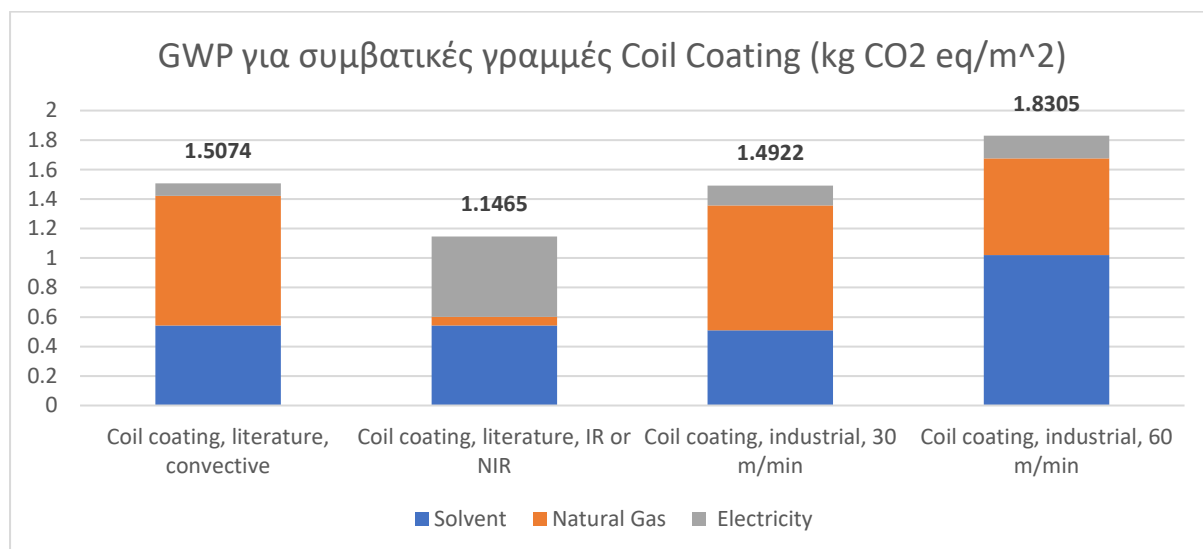
$$M_{\text{CO}_2 \text{ from solvent}} = E_{\text{solvent}} \cdot E_{\text{PVDF}} = 0.9487 \text{ kg CO}_2$$

Οπότε συνοψίζοντας για τη βαφή:

Products		
Paint with solvent	1	kg
Inputs		
Alkyd resin, long oil, 70% in white spirit, at plant/ RER U	0.294	kg
Chemical plant, organics/RER I U	0.000	p
Chemicals organic, at plant/GLO U	0.0101	kg
Electricity medium voltage, production UCTE, at grid/UCTE U	0.0428	kWh
Titanium dioxide, production mix at plant/RER U	0.304	kg
Transport, freight, rail/ RER U	0.609	tkm
Transport, lorry >16t, fleet average/RER U	0.101	tkm
White spirit, at plant/ RER U	0.28	kg
Outputs		
Heat, waste	0.108	MJ
Hydrocarbons, aliphatic, alkanes, unspecified	0.004	kg
Carbon monoxide, fossil	0.9487	kg

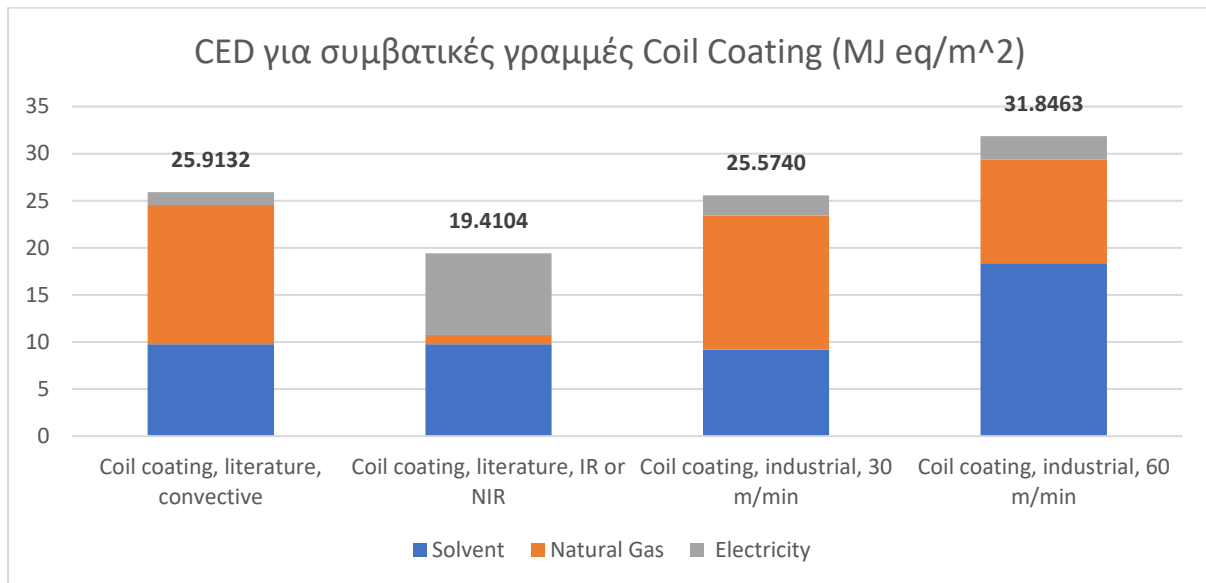
Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής για το σύστημα που εστιάζει στη συνολική γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων.

Για το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη GWP:



Εικόνα 49: Δείκτης GWP για συμβατικές γραμμές θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων για περιπτώσεις από βιβλιογραφία και από βιομηχανία

Για την αθροιστική ενεργειακή απαίτηση CED:



Εικόνα 50: Δείκτης CED για συμβατικές γραμμές θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων για περιπτώσεις από βιβλιογραφία και βιομηχανία

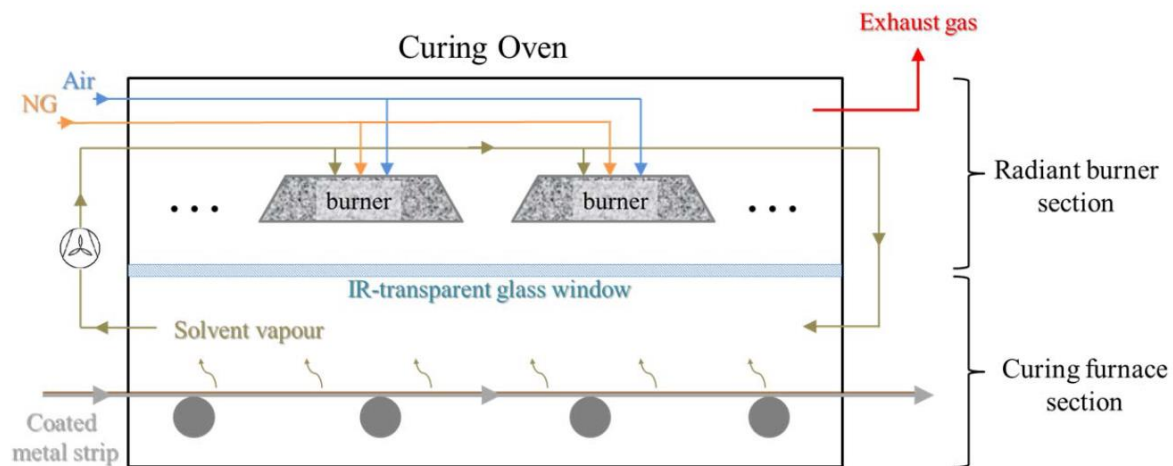
Γίνεται εμφανές, όπως ήταν αναμενόμενο, ότι η χρήση του συμβατικού φούρνου ξήρανσης συναγωγής έχει περισσότερες εκπομπές και καταναλώνει μεγαλύτερο ποσό ενέργειας σε σχέση με τον φούρνο IR ή NIR. Επίσης είναι αντιληπτό ότι το ποσοστό κάθε συνεισφοράς είναι διαφορετικό σε κάθε περίπτωση (φυσικό αέριο, διαλύτης, ηλεκτρικό ρεύμα). Για παράδειγμα στη γραμμή με φούρνο IR ή NIR η κύρια συνεισφορά και στους δύο δείκτες παρατηρείται από το ηλεκτρικό ρεύμα. Ενώ στη γραμμή με ταχύτητα 30 m/min όπου τα στοιχεία λήφθηκαν από την βιομηχανία, η κύρια συνεισφορά του δείκτη CED είναι από το φυσικό αέριο.

3.3 Μοντελοποίηση Ανταγωνιστικού/Καινοτόμου Συστήματος Θερμικής Επεξεργασίας Βαμμένων Μεταλλικών Φύλλων

3.3.1 Περιγραφή κυκλώματος ανταγωνιστικού/καινοτόμου συστήματος θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών φύλλων.

Το κομμάτι του φούρνου ξήρανσης του ανταγωνιστικού συστήματος χωρίζεται σε δύο τμήματα: το τμήμα του καυστήρα όπου γίνεται μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία και το τμήμα του φούρνου ξήρανσης/curing το οποίο θερμαίνεται εμμέσως από το τμήμα του καυστήρα και πραγματοποιείται η διαδικασία της ξήρανσης/curing. Η θερμότητα μεταφέρεται μέσω ακτινοβολίας από το τμήμα του καυστήρα στο τμήμα του φούρνου ξήρανσης διαπερνώντας από ένα διαχωριστικό γυαλί που είναι διαπερατό από υπέρυθρη ακτινοβολία. Στη συνέχεια η θερμότητα απορροφάται από το μεταλλικό έλασμα και από τη βαφή. Ο ατμός του διαλύτη που προκύπτει επανακυκλοφορείται μέσα στον φούρνο έτσι ώστε να γίνεται μεταφορά θερμότητας με συναγωγή. Ο ατμός του διαλύτη μπορεί να αξιοποιηθεί ως καύσιμο στο τμήμα του καυστήρα. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται η ταυτόχρονη καύση του ατμοποιημένου διαλύτη και η παροχή ενέργειας στον φούρνο (μπορεί επίσης να προκύψει ενέργεια που μπορεί να αξιοποιηθεί σε άλλα σημεία της γραμμής). Επίσης με αυτό τον τρόπο η κατάσταση που επικρατεί στο εσωτερικό του φούρνου, ο ατμοποιημένος διαλύτης είναι πολύ πιο πάνω από το άνω όριο έκρηξης οπότε δεν υπάρχει κίνδυνος έκρηξης στον φούρνο. Ακόμα, τα δύο τμήματα διαχωρίζονται από το ειδικό γυαλί οπότε η θέρμανση του φούρνου ξήρανσης/curing γίνεται χωρίς την επαφή των ατμών του διαλύτη με την το τμήμα του φούρνου ξήρανσης/curing. Αυτό συνιστά μία σημαντική παράμετρο για την εξάλειψη της πιθανότητας έκρηξης ιδιαίτερα στα μεταβατικά στάδια, δηλαδή είτε στην εκκίνηση είτε στον τερματισμό. (17)

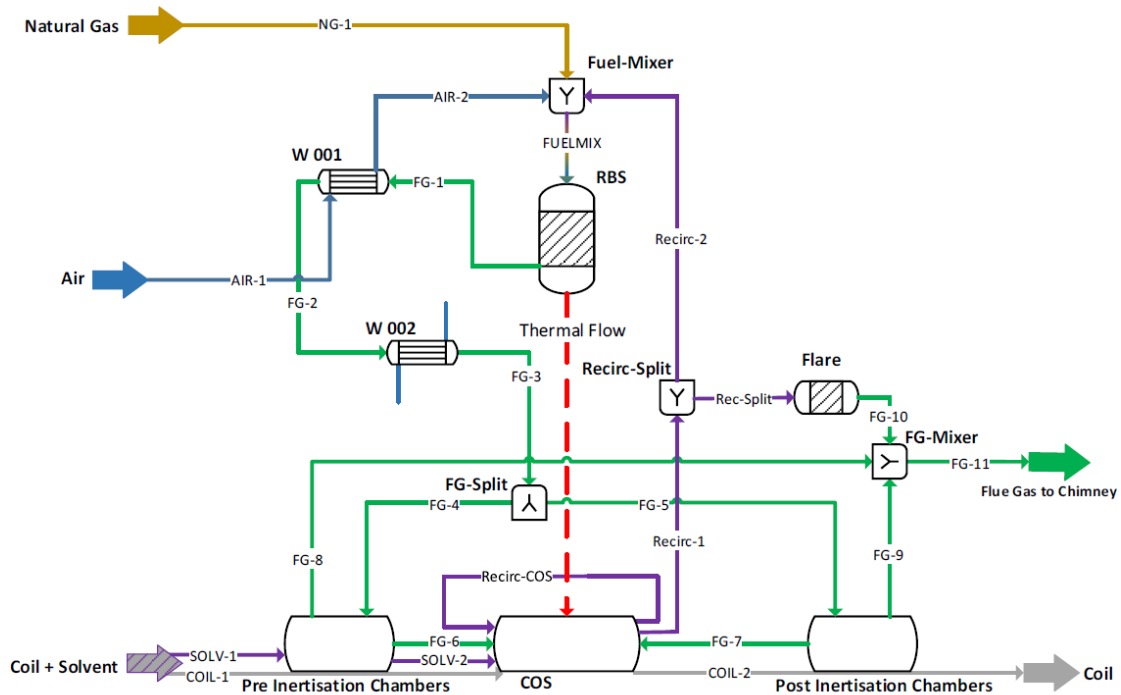
Επιπροσθέτως αξιοποιούνται επιμέρους χαρακτηριστικά για την βελτίωση της συνολικής απόδοσης του φούρνου. Η αξιοποίηση του πορώδη καυστήρα και η ευελιξία στην χρήση καυσίμου επιτρέπουν παραγωγή υψηλής πυκνότητας ισχύος. Δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο ατμός διαλύτη για καύσιμο αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί επιπροσθέτως και φυσικό αέριο για την διευκόλυνση κατά την εκκίνηση και παύση της μηχανής αλλά και σε περιπτώσεις που δεν αρκεί ο ατμός του διαλύτη ως καύσιμο. (17)



Εικόνα 51: Καινοτόμος φούρνος ξήρανσης/curing ECCO (17)

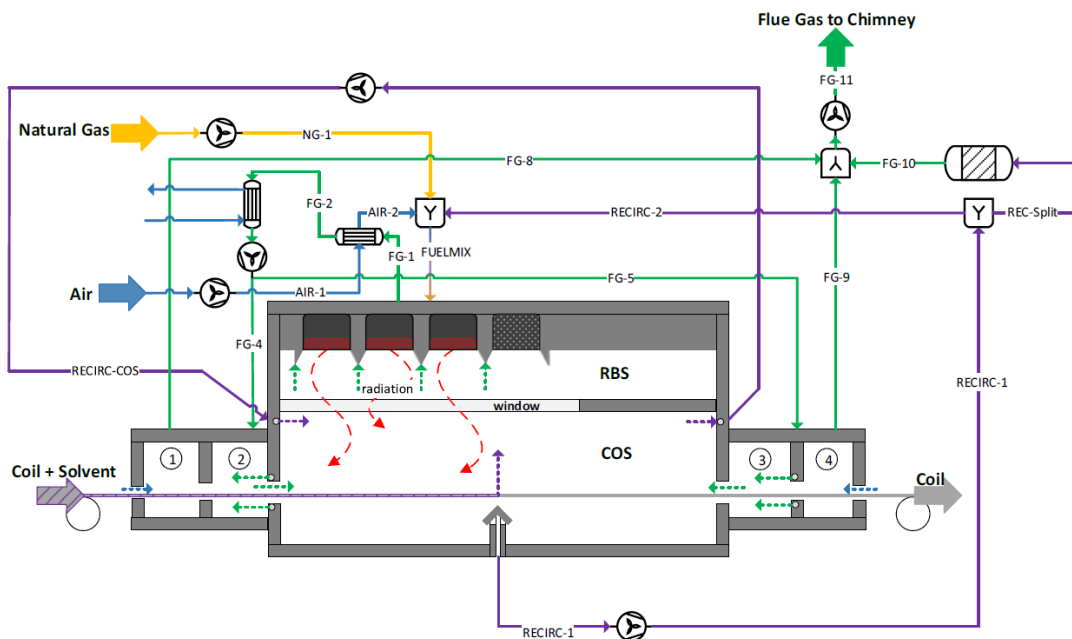
Η παραπάνω περιγραφή αποτελεί μία απλοποιημένη εικόνα της ξήρανσης/curing βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων με το καινοτόμο σύστημα ECCO. Στη συνέχεια παρουσιάζεται μία πιο λεπτομερής περιγραφή του συστήματος θερμικής επεξεργασίας ECCO.

Αρχικά εισέρχεται φυσικό αέριο (NG-1), θερμός αέρας (Air-2) και ο ατμοποιημένος διαλύτης από την επανακυκλοφορία (Recirc-2) που αναμειγνύονται στο Fuel-Mixer. Στη συνέχεια αυτό το μείγμα (FUELMIX) καίγεται στο τμήμα του καυστήρα (radiant burner section). Τα θερμά καυσαέρια (FG-1) εξάγονται από τον καυστήρα και χρησιμοποιούνται για τη θέρμανση του εισερχόμενου ψυχρού αέρα (Air-1) στον εναλλάκτη (W 001). Μετά τα θερμά καυσαέρια (FG-2) ψύχονται σε έναν δεύτερο εναλλάκτη (W 002). Στον εναλλάκτη W 002 ψυχρός αέρας (COOL-IN) θερμαίνεται (COOL-OUT). Ύστερα από αυτό το βήμα (FG-3) χωρίζεται (FG-Split) σε δύο ρεύματα (FG-4, FG-5) που εισέρχονται αντίστοιχα σε δύο θαλάμους (Pre, Post). Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ένα μεγάλο κομμάτι των καυσαερίων εξέρχεται από τους θαλάμους (FG-8, FG-9) και με εξαναγκασμένο εξαερισμό ωθείται στην καμινάδα (Chimney) (FG-11). Τα υπόλοιπα καυσαέρια από τους θαλάμους ωθούνται στο τμήμα ξήρανσης/curing (COS). Ακόμα το μεταλλικό έλασμα φορτωμένο με βαφή και διαλύτη (SOLV-1, SOLV-2) εισάγεται στο τμήμα ξήρανσης/curing (COS). Μέσα στο τμήμα ξήρανσης η θερμότητα μεταδίδεται με ακτινοβολία μέσα από ένα γυαλί που διαχωρίζει το τμήμα του καυστήρα και το τμήμα της θέρμανσης ξήρανσης. Για την ψύξη του τμήματος ξήρανσης γίνεται επανακυκλοφορία συγκεκριμένης ποσότητας διαλύτη (Recirc-COS) και ψύχεται με συναγωγή θερμότητας και ύστερα ο ατμοποιημένος διαλύτης αναμειγνύεται στο μείγμα FUELMIX. Αυτό πραγματοποιείται έτσι ώστε το μοριακό κλάσμα οξυγόνου των καυσαερίων να είναι μικρότερο από 4% από το όριο έκρηξης. Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης, μία ποσότητα από τα καυσαέρια (Recirc-Split) μπορεί να καεί σε έναν άλλο καυστήρα (Flare). Τα καυσαέρια που προκύπτουν από τον καυστήρα Flare (FG-10) αναμειγνύονται με τα καυσαέρια που ωθούνται στην καμινάδα. (45)



Εικόνα 52: Λεπτομερές κύκλωμα καινotόμου συστήματος ECCO (45)

Στη συνέχεια θα γίνει μία πιο λεπτομερή περιγραφή του τμήματος της ξήρανσης/curing. Αρχικά το μείγμα καυσίμων καίγεται στους καυστήρες. Το τμήμα του καυστήρα περιέχει τέσσερις σειρές από καυστήρες. Για την ομαλή λειτουργία του καυστήρα απαιτούνται μόνο 3 από τους 4 καυστήρες. Ύστερα από την διαδικασία της καύσης τα καυσαέρια του απομακρύνονται από το τμήμα του καυστήρα, ψύχονται και εισάγονται στους δύο θαλάμους (ένας προ-θάλαμος και ένας μετά-θάλαμος). Τα καυσαέρια εισάγονται κοντά στο μεταλλικό έλασμα σε αντιρροή με σκοπό να διεισδύσουν το οριακό στρώμα του μεταλλικού ελάσματος. Με αυτή τη διείσδυση στο οριακό στρώμα αποφεύγεται η εισαγωγή οξυγόνου στο τμήμα ξήρανσης/curing και αντιστρόφως εμποδίζει τη διαφυγή του ατμοποιημένου διαλύτη στα καυσαέρια. Για να γίνει ατμοποίηση του διαλύτη η θερμότητα που εκπέμπεται από του καυστήρες μεταδίδεται στο τμήμα ξήρανσης/curing με υπέρυθη ακτινοβολία μέσα από ένα διαχωριστικό γυαλί. Το διαχωριστικό γυαλί απορροφά μία μικρή ποσότητα της θερμότητας οπότε υπάρχει η απαίτηση για ψύξη. Συνεπώς γίνεται εξαγωγή και επανακυκλοφορία του ατμοποιημένου διαλύτη για να επιτευχθεί η ψύξη. (45)



Εικόνα 53: Κύκλωμα του τμήματος ξήρανσης/curing

3.3.2 Μοντελοποίηση Ανταγωνιστικού/Καινοτόμου Συστήματος και Εφαρμογή της Μεθοδολογίας της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής.

3.3.2.1 Σύστημα που εστιάζει στο τμήμα θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων ECCO

Τα όρια αυτού του συστήματος περιλαμβάνουν αποκλειστικά το τμήμα της θερμικής επεξεργασίας του καινοτόμου συστήματος ECCO. Τα όρια αρχίζουν από την εισαγωγή του μεταλλικού ελάσματος σε ολόκληρο το τμήμα της θερμικής επεξεργασίας, περιλαμβάνουν το τμήμα ξήρανσης/curing και το τμήμα του πορώδη καυστήρα και τελειώνουν στην έξοδο του μεταλλικού ελάσματος από το τμήμα ξήρανσης.

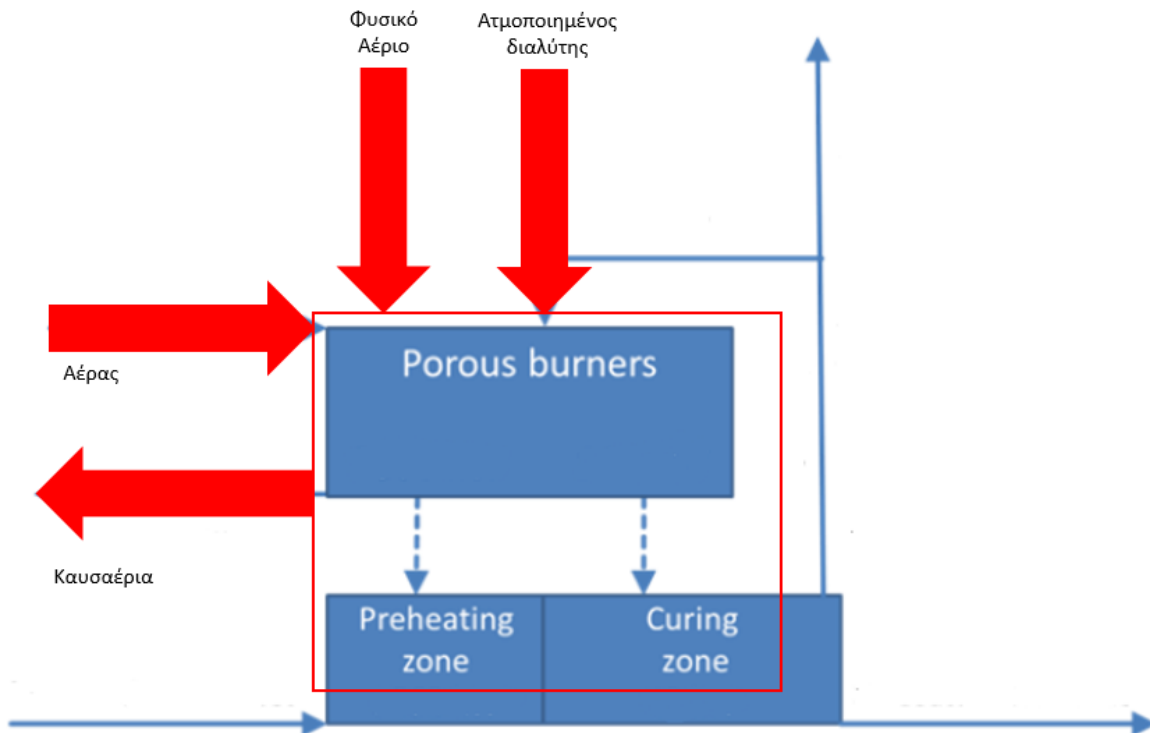
Παράμετροι εισόδου (inputs):

- Φυσικό αέριο ως καύσιμο στον πορώδη καυστήρα
- Ατμοποιημένος διαλύτης ως συμπληρωματικό καύσιμο για το φυσικό αέριο
- Αέρας (η ενέργεια που απαιτείται για την εισαγωγή του αέρα στο σύστημα είναι αμελητέα)

Παράμετροι εξόδου (outputs):

- Καυσαέρια ($CO_2, VOCs, NO_x, CO$)

Όπως και τα προηγούμενα συστήματα το μεταλλικό έλασμα δε λαμβάνεται υπόψη ως παράμετρος εισόδου.



Εικόνα 54: Όρια συστήματος και παράμετροι εισόδου/εξόδου για το καινοτόμο σύστημα θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών φύλλων.

Συλλογή και ταξινόμηση δεδομένων για το καινοτόμο σύστημα θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων.

Τα δεδομένα που συλλέχθηκαν από προσομοιώσεις για το καινοτόμο σύστημα ECCO ήταν για διαφορετικά σημεία λειτουργίας της γραμμής. Τα δεδομένα περιλαμβάνουν τα εξής:

- Την παραγόμενη ισχύ από την καύση του φυσικού αερίου στον πορώδη καυστήρα (kW)
- Την παραγόμενη ισχύ από την καύση του ατμοποιημένου διαλύτη στον πορώδη καυστήρα σε (kW)
- Η ταχύτητα της γραμμής στο συγκεκριμένο σημείο λειτουργίας (m/min)

Για να εισαχθούν τα δεδομένα στο πρόγραμμα προσομοίωσης SimaPro έπρεπε να γίνουν ορισμένες παραδοχές και μετατροπές μονάδων.

Για παράδειγμα για την περίπτωση του σημείου λειτουργίας στα 600 kW συνολικής παραγόμενης ισχύος και με μέγιστο φορτίο διαλύτη ακολουθείται η εξής μέθοδος:

Για 1 m² βαφής που ξηραίνεται:

Το εμβαδόν της βαφής είναι:

$$Ar = 1 \text{ m}^2$$

Γίνεται η παραδοχή ότι το πλάτος της βαφής είναι προσεγγιστικά

$$W = 1 \text{ m}$$

Συνεπώς το μήκος για 1 m² βαφής που ξηραίνεται είναι:

$$L = \frac{Ar}{W} = 1 \text{ m}$$

Η ταχύτητα της γραμμής είναι σύμφωνα με τα δεδομένα:

$$U = 30 \frac{\text{m}}{\text{min}}$$

Και η παραγόμενη ισχύς από την καύση του φυσικού αερίου είναι:

$$P_{N.G.} = 346.8617 \text{ kW}$$

Για 1 m² βαφής που ξηραίνεται η παραγόμενη ενέργεια από το φυσικό αέριο είναι:

$$E_{N.G.} = \frac{P_{N.G.} \cdot L}{60 \cdot U} = 0.192 \text{ kWh/m}^2$$

Η παραγόμενη ισχύς από την καύση του διαλύτη είναι

$$P_{solvent} = 240.98 \text{ kW}$$

Για 1 m² βαφής που ξηραίνεται η παραγόμενη ενέργεια από τον ατμοποιημένο διαλύτη είναι:

$$E_{solvent} = \frac{P_{solvent} \cdot L}{60 \cdot U} = 0.1339 \text{ kWh} = 0.482 \text{ MJ}$$

Η θερμογόνος ικανότητα του διαλύτη είναι:

$$Hu_{solvent} = 34.19 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}}$$

Συνεπώς η ποσότητα του διαλύτη που καταναλώνεται είναι:

$$M_{solvent} = \frac{E_{solvent}}{Hu_{solvent}} = 0.0141 \text{ kg}$$

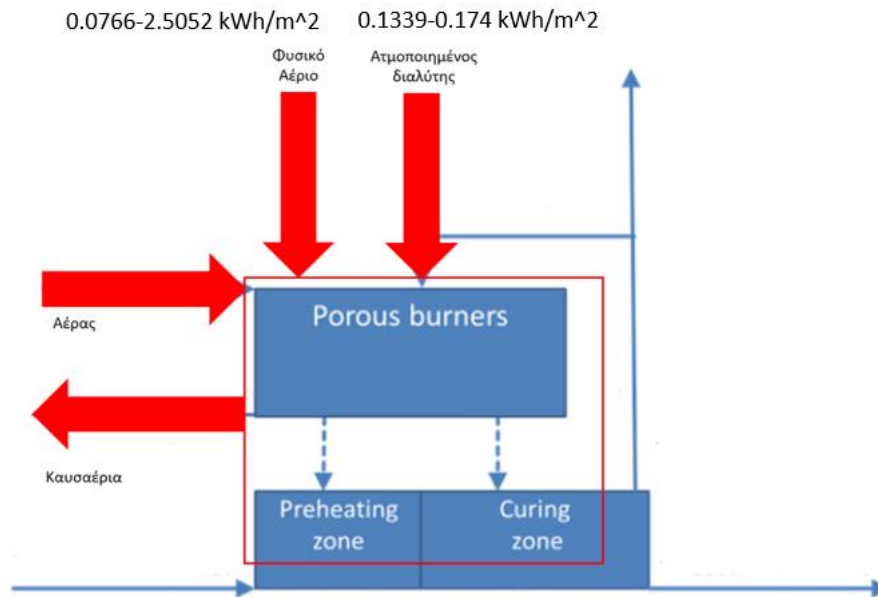
Και γίνεται η παραδοχή ότι ο διαλύτης αποτελεί 34% κατά μάζα της βαφής. Οπότε η βαφή που καταναλώνεται είναι:

$$M_{paint} = 0.0415 \text{ kg/m}^2$$

Ενώ στοιχείο εισόδου είναι ο ατμοποιημένος διαλύτης, υπολογίζεται η ποσότητα της βαφής που εισέρχεται στο τμήμα της θερμικής επεξεργασίας γιατί είχε δημιουργηθεί το αντίστοιχο process στη βιβλιοθήκη του SimaPro για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων του συμβατικού συστήματος.

Η ίδια διαδικασία ακολουθείται για όλα τα σημεία λειτουργίας και προκύπτουν τα παρακάτω αποτελέσματα.

Συνεπώς στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το εύρος των παραμέτρων εισόδου για το σύστημα θερμικής επεξεργασίας ECCO



Εικόνα 55: Εύρη παραμέτρων εισόδου στο σύστημα θερμικής επεξεργασίας ECCO

Ακόμα έχουμε τις εξής περιπτώσεις για τα διαφορετικά σημεία λειτουργίας:

Curing 600 kW με μέγιστο φορτίο διαλύτη	
Φυσικό αέριο για 1 m ² βαφής (kWh/m ²) (46)	0.1927
Διαλύτης για 1 m ² (kWh/m ²) (46)	0.1339
Ποσότητα διαλύτη που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.0141
Ποσότητα βαφής που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.0415
Ταχύτητα γραμμής (m/min) (46)	30

Εικόνα 56: Δεδομένα για ξήρανση/curing ECCO για το σημείο λειτουργίας με 600 kW και μέγιστο φορτίο διαλύτη

Curing 600 kW με ελάχιστο φορτίο διαλύτη	
Φυσικό αέριο για 1 m ² βαφής (kWh/m ²) (46)	1.8444
Διαλύτης για 1 m ² (kWh/m ²) (46)	0.1339
Ποσότητα διαλύτη που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.0141
Ποσότητα βαφής που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.0415
Ταχύτητα γραμμής (m/min) (46)	5

Εικόνα 57: Δεδομένα για ξήρανση/curing ECCO για το σημείο λειτουργίας με 600 kW και ελάχιστο φορτίο διαλύτη

Curing 600 kW με ασφαλές φορτίο διαλύτη	
Φυσικό αέριο για 1 m ² βαφής (kWh/m ²) (46)	0.15083
Διαλύτης για 1 m ² (kWh/m ²) (46)	0.17404
Ποσότητα διαλύτη που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.01833
Ποσότητα βαφής που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.0539
Ταχύτητα γραμμής (m/min) (46)	30

Εικόνα 58: Δεδομένα για ξήρανση/curing ECCO για το σημείο λειτουργίας με 600 kW και ασφαλές φορτίο διαλύτη

Curing 800 kW με μέγιστο φορτίο διαλύτη	
Φυσικό αέριο για 1 m ² βαφής (kWh/m ²) (46)	0.30241
Διαλύτης για 1 m ² (kWh/m ²) (46)	0.13388
Ποσότητα διαλύτη που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.0141
Ποσότητα βαφής που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.04146
Ταχύτητα γραμμής (m/min) (46)	30

Εικόνα 59: Δεδομένα για ξήρανση/curing ECCO για το σημείο λειτουργίας με 600 kW και μέγιστο φορτίο διαλύτη

Curing 800 kW με ελάχιστο φορτίο διαλύτη	
Φυσικό αέριο για 1 m ² βαφής (kWh/m ²) (46)	2.50523
Διαλύτης για 1 m ² (kWh/m ²) (46)	0.13388
Ποσότητα διαλύτη που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.0141
Ποσότητα βαφής που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.04146
Ταχύτητα γραμμής (m/min) (46)	5

Εικόνα 60: Δεδομένα για ξήρανση/curing ECCO για το σημείο λειτουργίας με 800 kW και ελάχιστο φορτίο διαλύτη

Curing 390 kW με μέγιστο φορτίο διαλύτη	
Φυσικό αέριο για 1 m ² βαφής (kWh/m ²) (46)	0.07662
Διαλύτης για 1 m ² (kWh/m ²) (46)	0.13388
Ποσότητα διαλύτη που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.0141
Ποσότητα βαφής που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.04146
Ταχύτητα γραμμής (m/min) (46)	30

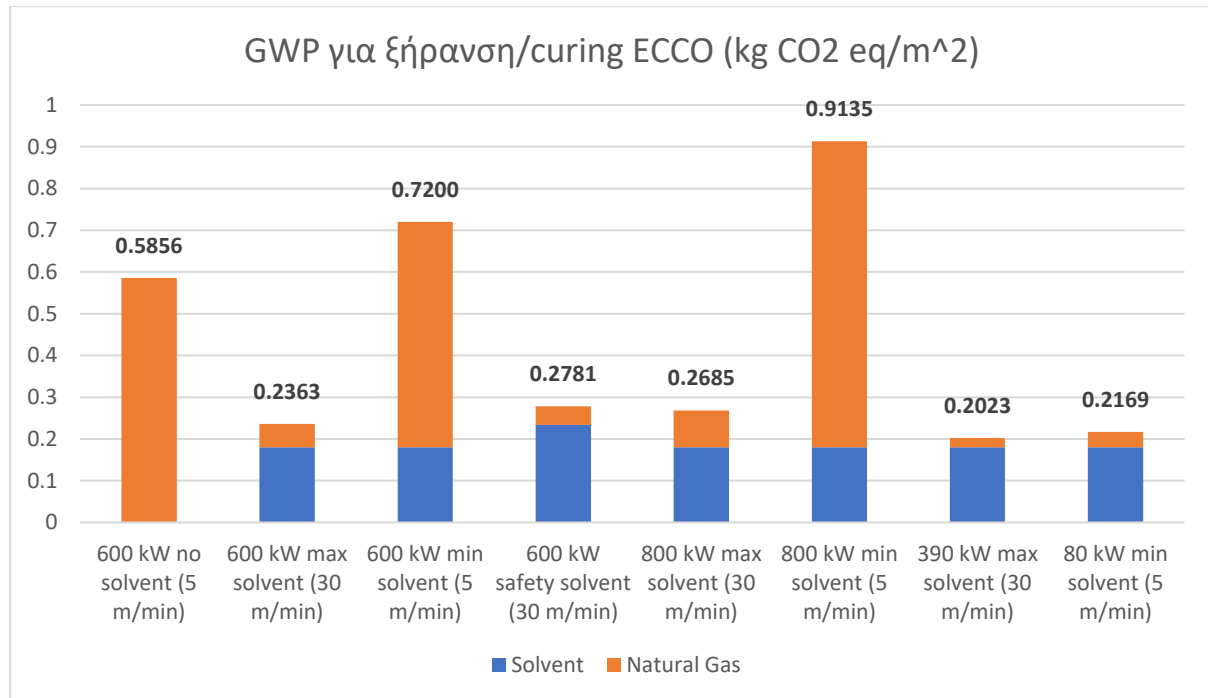
Εικόνα 61: Δεδομένα για ξήρανση/curing ECCO για το σημείο λειτουργίας με 390 kW και μέγιστο φορτίο διαλύτη

Curing 80 kW με ελάχιστο φορτίο διαλύτη	
Φυσικό αέριο για 1 m ² βαφής (kWh/m ²) (46)	0.12639
Διαλύτης για 1 m ² (kWh/m ²) (46)	0.13388
Ποσότητα διαλύτη που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.0141
Ποσότητα βαφής που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.04146
Ταχύτητα γραμμής (m/min) (46)	5

Εικόνα 62: : Δεδομένα για ξήρανση/curing ECCO για το σημείο λειτουργίας με 80 kW και ελάχιστο φορτίο διαλύτη

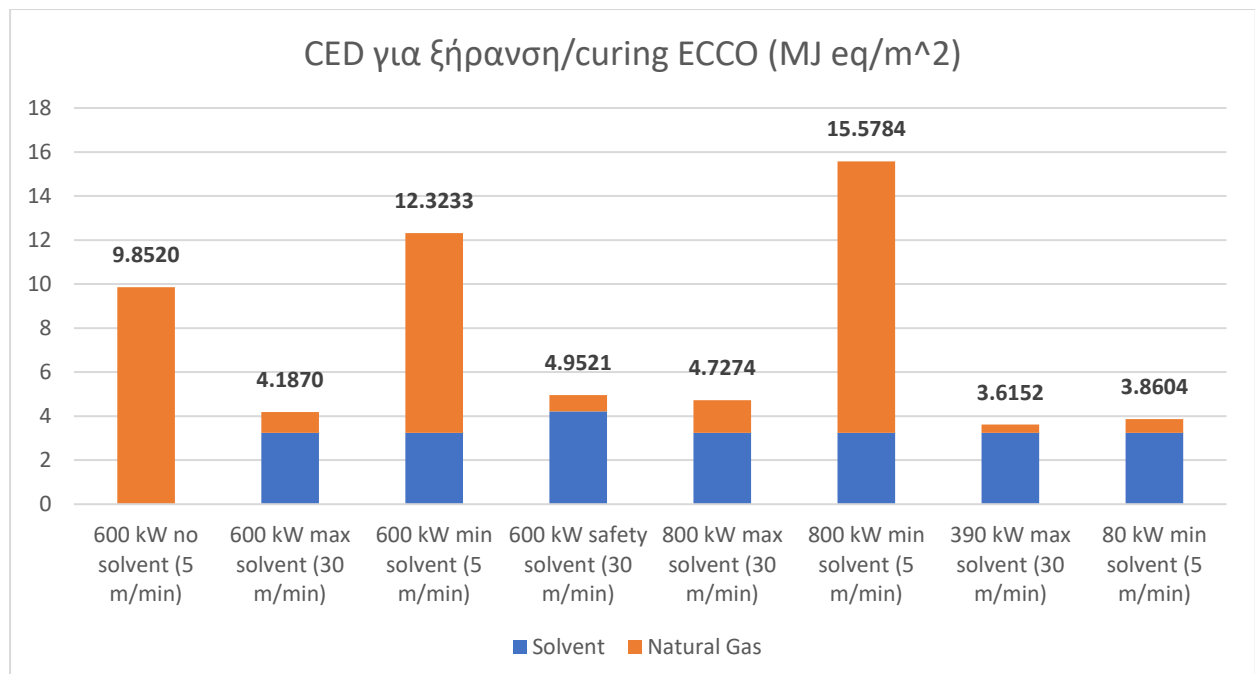
Αποτελέσματα Ανάλυσης Κύκλου Ζωής για το σύστημα θερμικής επεξεργασίας ECCO

Ο δείκτης για το δυναμικό υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP):



Εικόνα 63: Δείκτης GWP για διαφορετικά σημεία λειτουργίας για την ξήρανση/curing ECCO

Ο δείκτης για την αθροιστική ενεργειακή απαίτηση (CED):



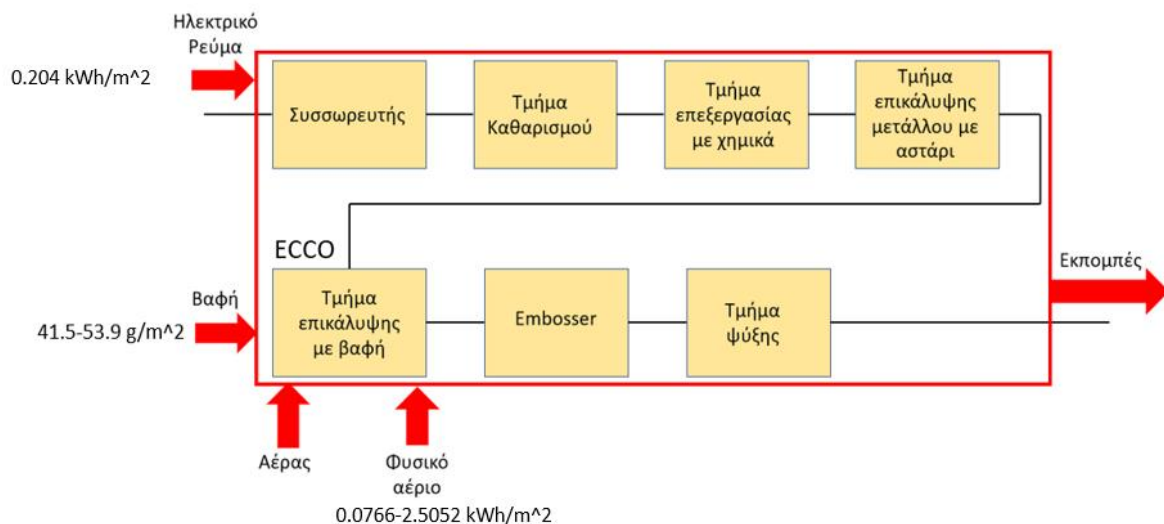
Εικόνα 64: Δείκτης CED για διαφορετικά σημεία λειτουργίας για την ξήρανση/curing ECCO

Μελετώντας τα παραπάνω διαγράμματα προκύπτει ότι οι μεγαλύτερες εκπομπές και καταναλώσεις παρατηρούνται όταν χρησιμοποιείται μόνο το φυσικό αέριο ως καύσιμο ή όταν χρησιμοποιείται μικρή ποσότητα διαλύτη ως αντικατάσταση του φυσικού αερίου (600

kW και 800 kW λειτουργία με μικρή ποσότητα διαλύτη). Συνεπώς γίνεται αντιληπτό ότι η αντικατάσταση του φυσικού αερίου με διαλύτη ως καύσιμο μειώνει τον αντίκτυπο στο περιβάλλον.

3.3.2.2 Σύστημα που εστιάζει στη συνολική γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων ECCO

Τα όρια του συστήματος σε αυτή την περίπτωση θα είναι ακριβώς όπως και στην περίπτωση για την συμβατική γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων, με την διαφορά ότι στο τμήμα της ξήρανσης χρησιμοποιείται ο καινοτόμος φούρνος ECCO. Ακόμα αλλάζουν οι τιμές των παραμέτρων εισόδου. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το εύρος παραμέτρων εισόδου στην γραμμή ECCO:



Εικόνα 65: Εύρος παραμέτρων εισόδου για τη γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων ECCO

Η τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος της γραμμής λήφθηκε ότι είναι η ίδια με αυτή της συμβατικής για ταχύτητα 30 m/min.

Οπότε έχουμε τις εξής περιπτώσεις για τα διαφορετικά σημεία λειτουργίας

Coil coating 600 kW με μέγιστο φορτίο διαλύτη	
Φυσικό αέριο για 1 m ² βαφής (kWh/m ²) (46)	0.1927
Διαλύτης για 1 m ² (kWh/m ²) (46)	0.1339
Ποσότητα διαλύτη που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.0141
Ποσότητα βαφής που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.0415
Ταχύτητα γραμμής (m/min) (46)	30
Ηλεκτρικό ρεύμα γραμμής (kWh/m ²)	0.2039

Εικόνα 66: Γραμμή ECCO σε σημείο λειτουργίας 600 kW με μέγιστο φορτίο διαλύτη

Coil coating 600 kW με ελάχιστο φορτίο διαλύτη	
Φυσικό αέριο για 1 m ² βαφής (kWh/m ²) (46)	1.8444
Διαλύτης για 1 m ² (kWh/m ²) (46)	0.1339
Ποσότητα διαλύτη που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.0141
Ποσότητα βαφής που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.0415
Ταχύτητα γραμμής (m/min) (46)	5
Ηλεκτρικό ρεύμα γραμμής (kWh/m ²) (42)	0.2039

Εικόνα 67: Γραμμή ECCO σε σημείο λειτουργίας 600 kW με ελάχιστο φορτίο διαλύτη

Coil Coating 600 kW με ασφαλές φορτίο διαλύτη	
Φυσικό αέριο για 1 m ² βαφής (kWh/m ²) (46)	0.15083
Διαλύτης για 1 m ² (kWh/m ²) (46)	0.17404
Ποσότητα διαλύτη που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.01833
Ποσότητα βαφής που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.0539
Ταχύτητα γραμμής (m/min) (46)	30
Ηλεκτρικό ρεύμα γραμμής (kWh/m ²) (42)	0.2039

Εικόνα 68: Γραμμή ECCO σε σημείο λειτουργίας 600 kW με ασφαλές φορτίο διαλύτη

Coil Coating 800 kW με μέγιστο φορτίο διαλύτη	
Φυσικό αέριο για 1 m ² βαφής (kWh/m ²) (46)	0.30241
Διαλύτης για 1 m ² (kWh/m ²) (46)	0.13388
Ποσότητα διαλύτη που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.0141
Ποσότητα βαφής που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.04146
Ταχύτητα γραμμής (m/min) (46)	30
Ηλεκτρικό ρεύμα γραμμής (kWh/m ²) (42)	0.2039

Εικόνα 69: Γραμμή ECCO σε σημείο λειτουργίας 800 kW με μέγιστο φορτίο διαλύτη

Coil Coating 800 kW με ελάχιστο φορτίο διαλύτη	
Φυσικό αέριο για 1 m ² βαφής (kWh/m ²) (46)	2.50523
Διαλύτης για 1 m ² (kWh/m ²) (46)	0.13388
Ποσότητα διαλύτη που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.0141
Ποσότητα βαφής που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.04146
Ταχύτητα γραμμής (m/min) (46)	5
Ηλεκτρικό ρεύμα γραμμής (kWh/m ²) (42)	0.2039

Εικόνα 70: Γραμμή ECCO σε σημείο λειτουργίας 800 kW με ελάχιστο φορτίο διαλύτη

Coil Coating 390 kW με μέγιστο φορτίο διαλύτη	
Φυσικό αέριο για 1 m ² βαφής (kWh/m ²) (46)	0.07662
Διαλύτης για 1 m ² (kWh/m ²) (46)	0.13388
Ποσότητα διαλύτη που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.0141
Ποσότητα βαφής που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.04146
Ταχύτητα γραμμής (m/min) (46)	30
Ηλεκτρικό ρεύμα γραμμής (kWh/m ²) (42)	0.2039

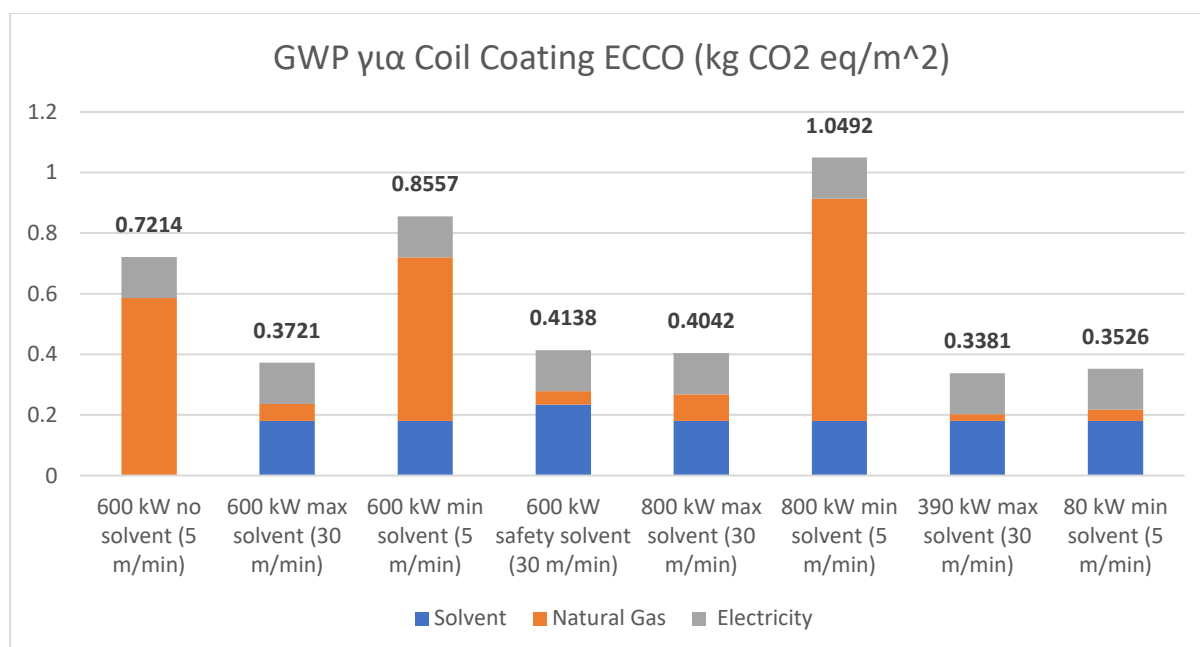
Εικόνα 71: Γραμμή ECCO σε σημείο λειτουργίας 390 kW με μέγιστο φορτίο διαλύτη

Coil Coating 80 kW με ελάχιστο φορτίο διαλύτη	
Φυσικό αέριο για 1 m ² βαφής (kWh/m ²) (46)	0.12639
Διαλύτης για 1 m ² (kWh/m ²) (46)	0.13388
Ποσότητα διαλύτη που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.0141
Ποσότητα βαφής που καταναλώνεται (kg/ m ²)	0.04146
Ταχύτητα γραμμής (m/min) (46)	5
Ηλεκτρικό ρεύμα γραμμής (kWh/m ²) (42) (42)	0.2039

Εικόνα 72: Γραμμή ECCO σημείο λειτουργίας 80 kW με ελάχιστο φορτίο διαλύτη

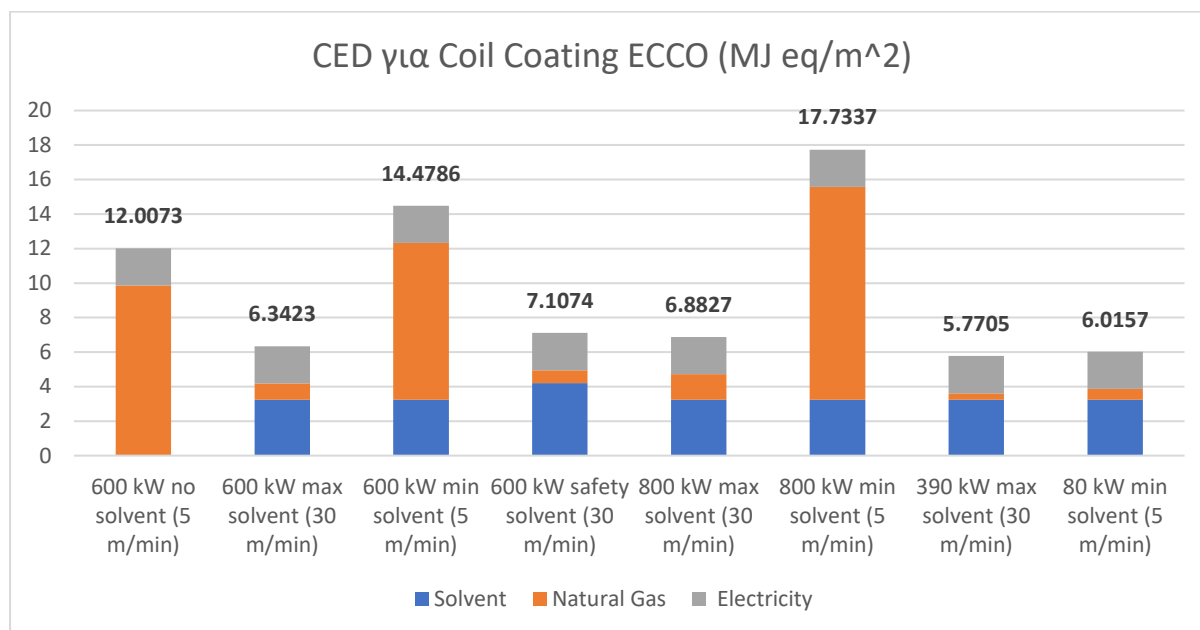
Αποτελέσματα από την Ανάλυση Κύκλου Ζωής για την συνολική γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων ECCO

Ο δείκτης υπερθέρμανσης του πλανήτη (GWP)



Εικόνα 73: Δείκτης GWP για την γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων ECCO για διαφορετικά σημεία λειτουργίας

Η αθροιστική ενεργειακή απαίτηση (CED):



Εικόνα 74: Δείκτης CED για την γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων ECCO για διαφορετικά σημεία λειτουργίας

Από τα διαγράμματα γίνεται αντιληπτό ότι ανάλογα με το σημείο λειτουργίας το ποσοστό της κάθε συνεισφοράς μεταβάλλεται. Επίσης είναι εμφανές ότι η αντικατάσταση του φυσικού αερίου με τον διαλύτη βελτιώνει τις επιδόσεις της γραμμής όσον αφορά τις εκπομπές και την κατανάλωση ενέργειας.

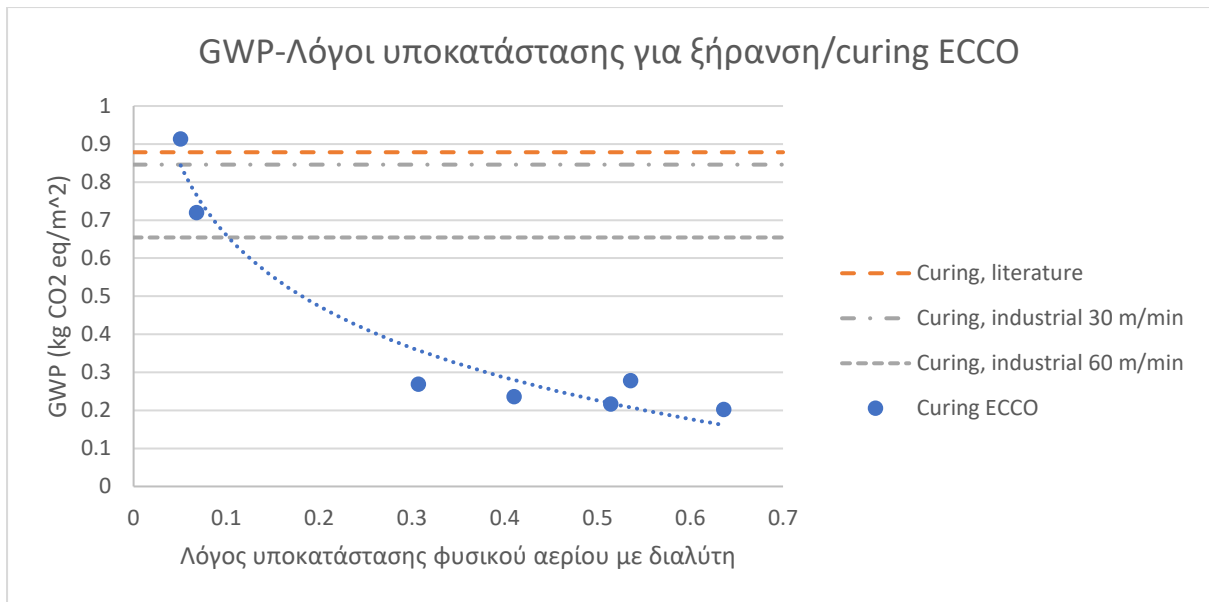
Σύγκριση διαφορετικών λόγων υποκατάστασης

Ως λόγο υποκατάστασης θα ορίσουμε το μέγεθος

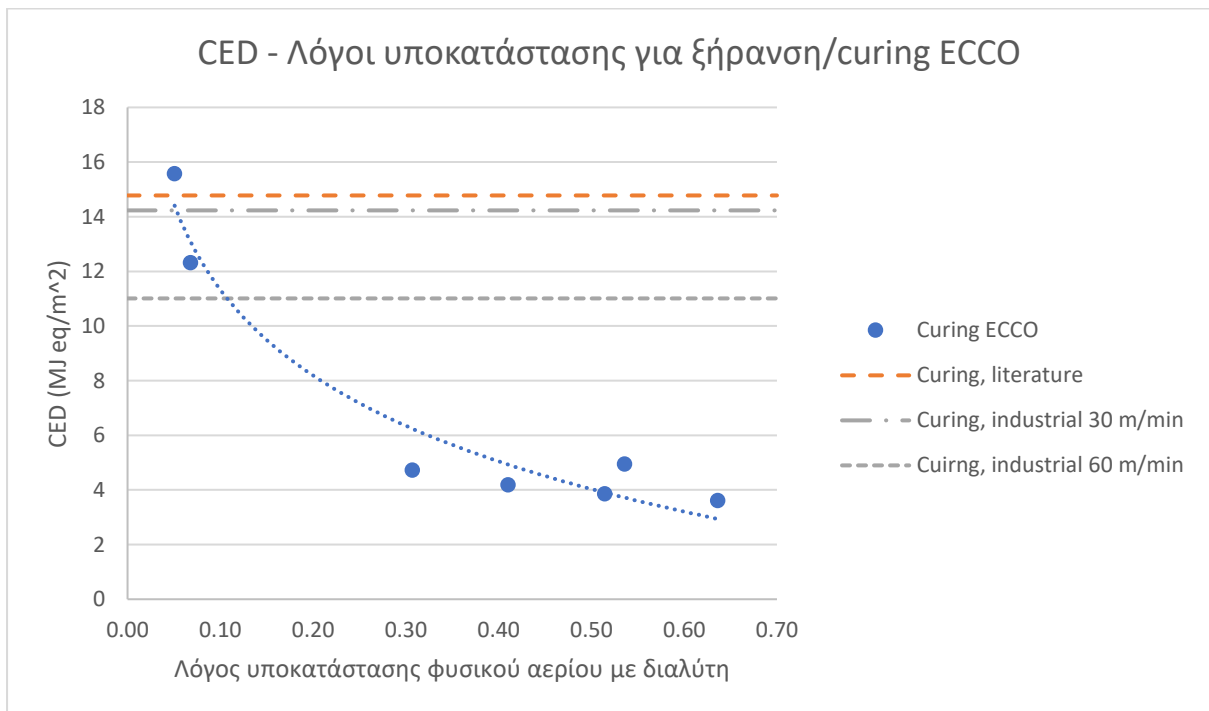
$$\frac{kWh_{solvent}}{kWh_{naturalgas} + kWh_{solvent}}$$

Δηλαδή ένα μέγεθος που δείχνει το ποσό του διαλύτη ως καύσιμο που θα αντικαταστήσει το φυσικό αέριο στη γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων ECCO. Συνεπώς για τα διαφορετικά σημεία λειτουργίας προκύπτουν τα εξής διαγράμματα.

Αρχικά για την ξήρανση:

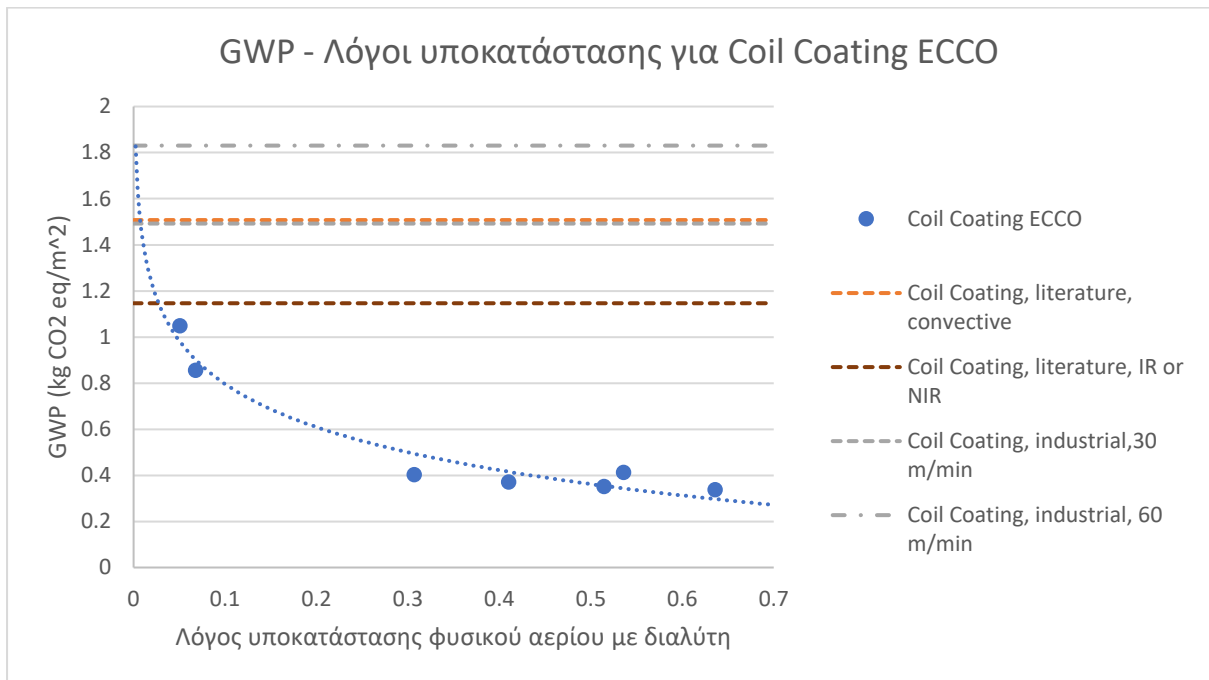


Εικόνα 75: Δείκτης GWP για την ξήρανση/curing με ECCO για διαφορετικούς λόγους υποκατάστασης

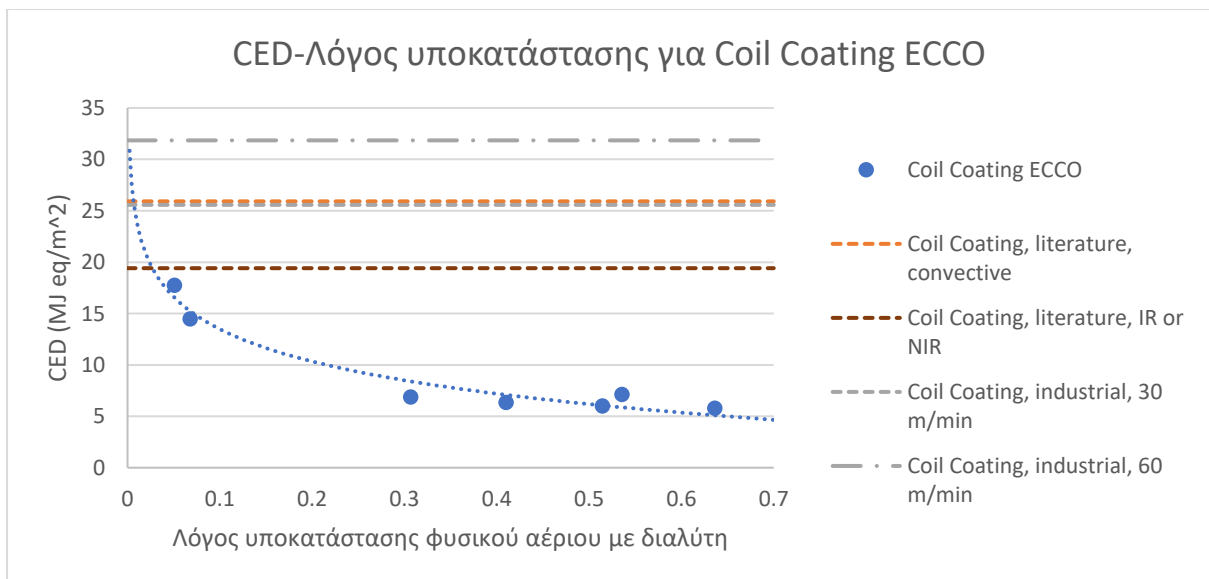


Εικόνα 76: Δείκτης CED για ξήρανση/curing με ECCO για διαφορετικούς λόγους υποκατάστασης

Για την συνολική γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων:



Εικόνα 77: Δείκτης GWP για γραμμή ECCO για διαφορετικούς λόγους υποκατάστασης



Εικόνα 78: Δείκτης CED για γραμμή ECCO για διαφορετικούς λόγους υποκατάστασης

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι όσο μεγαλύτερη η αντικατάσταση του φυσικού αερίου με διαλύτη ως καύσιμο μειώνονται και οι δύο δείκτες GWP και CED. Συνεπώς μειώνονται οι εκπομπές και η κατανάλωση ενέργειας της γραμμής.

3.4 Άμεσες και έμμεσες εκπομπές από τις γραμμές θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων

Σε αυτό το κομμάτι αξίζει να γίνει μία αναφορά στις άμεσες και έμμεσες εκπομπές τόσο της συμβατικής γραμμής όσο και της γραμμής ECCO. Με το όρο άμεσες εκπομπές ορίζονται οι εκπομπές που συμβαίνουν στην γραμμή με την καύση του φυσικού αερίου ή του διαλύτη. Οι έμμεσες εκπομπές αφορούν τις εκπομπές που συμβαίνουν εκτός από τα όρια συστήματος της γραμμής και αποτελούν στοιχεία εισόδου. Δηλαδή αποτελούν τις εκπομπές που μπορούν να προκύψουν από την εξόρυξη και τη μεταφορά του φυσικού αερίου και του διαλύτη.

Τόσο στη συμβατική γραμμή όσο και στη γραμμή ECCO οι συνεισφορές είναι τρεις: το φυσικό αέριο, ο διαλύτης και το ηλεκτρικό ρεύμα. Όλες οι εκπομπές του ηλεκτρικού ρεύματος λαμβάνονται ως έμμεσες καθώς οποιαδήποτε εκπομπή από την διαδικασία παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συμβαίνει εκτός των ορίων του συστήματος (π.χ. σε ατμοηλεκτρικό σταθμό λιγνίτη). Το φυσικό αέριο και ο διαλύτης επειδή καίγονται εντός των ορίων του συστήματος της γραμμής διαθέτουν άμεσες εκπομπές.

Από την ανάλυση που προέκυψε από το SimaPro για το φυσικό αέριο ισχύουν τα εξής:

- 72.4% των εκπομπών είναι άμεσες
- 27.6% των εκπομπών είναι έμμεσες

Αντίστοιχα για την βαφή που χρησιμοποιήθηκε στο SimaPro, η οποία περιλαμβάνει την χρωστική ουσία, την ρητίνη και τον διαλύτη

- 34.3% των εκπομπών είναι άμεσες
- 65.7% των εκπομπών είναι έμμεσες

Το ποσοστό των άμεσων εκπομπών είναι αποκλειστικά από την καύση του διαλύτη, καθώς τα υπόλοιπα στοιχεία (χρωστική ουσία + ρητίνη) δεν καίγονται. Διαπιστώνεται ότι διαδικασίες που συμβαίνουν για την βαφή έχουν αρκετές εκπομπές οι οποίες συμβαίνουν εκτός ορίων, όπως για παράδειγμα για την παραγωγή και την μεταφορά της ρητίνης και της χρωστικής ουσίας.

Συγκεκριμένα από το SimaPro οι έμμεσες εκπομπές για την βαφή είναι:

$$2.85 \frac{kg CO_2}{kg paint}$$

Ακόμα θα γίνει μία εκτίμηση για τις εκπομπές από την καύση του διαλύτη αποκλειστικά. Έχει γίνει η παραδοχή ότι το 34% κατά μάζα της βαφής αποτελείται από διαλύτη. Από την διαδικασία για τον υπολογισμό του συντελεστή εκπομπής του διαλύτη PVDF λαμβάνονται τα εξής δεδομένα:

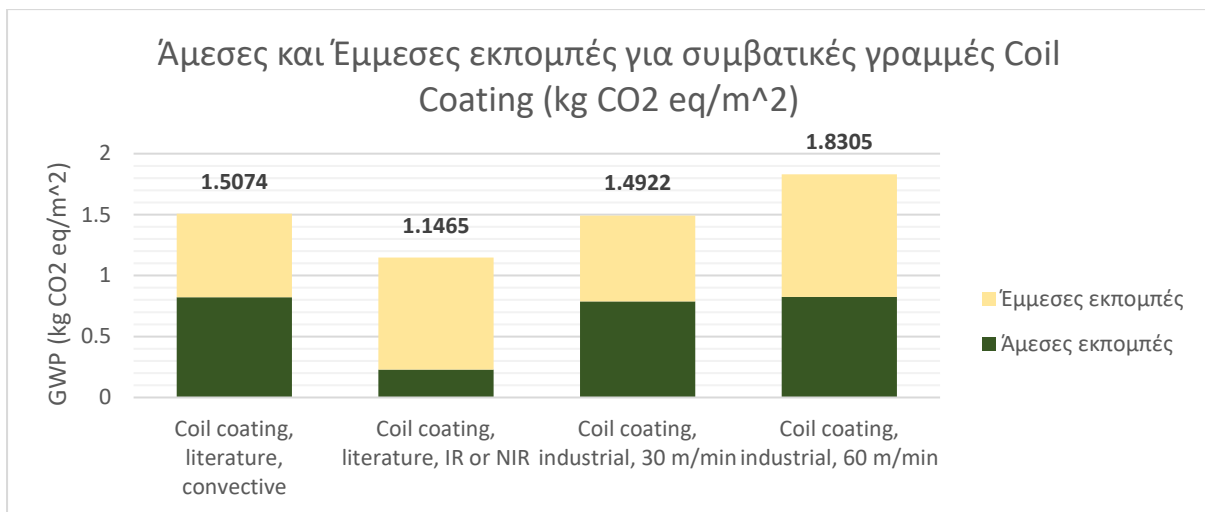
$$M'_{CO_2} = 377.2604 kg CO_2$$

$$M_{PVDF} = 147.355 \text{ kg PVDF}$$

Άρα για 0.34 kg διαλύτη που περιέχει 1 kg βαφή οι άμεσες εκπομπές είναι:

$$\frac{M'_{CO_2}}{M_{PVDF}} \cdot 0.34 \text{ kg PVDF} = \frac{377.2604 \text{ kg CO}_2}{147.355 \text{ kg PVDF}} \cdot 0.34 \text{ kg PVDF} = 0.8705 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg paint}}$$

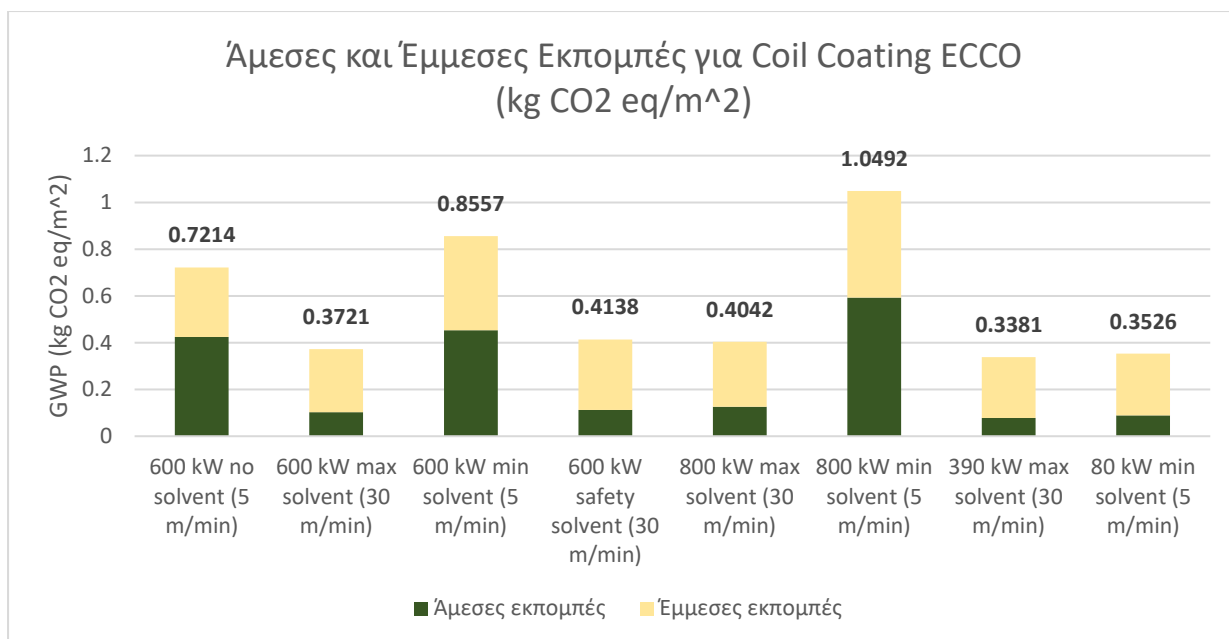
Εποπτικά φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα οι άμεσες και οι έμμεσες εκπομπές για διαφορετικές περιπτώσεις της συμβατικής γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων



Εικόνα 79: Άμεσες και έμμεσες εκπομπές για διαφορετικές περιπτώσεις συμβατικής γραμμής θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων

Διαπιστώνεται ότι στις περισσότερες περιπτώσεις οι άμεσες εκπομπές κυμαίνονται από 50-60%. Ξεχωριστή περίπτωση αποτελεί η γραμμή που χρησιμοποιεί φούρνο ξήρανσης/curing με υπέρυθρη ή κοντά-στο-υπέρυθρο ακτινοβολία όπου οι περισσότερες εκπομπές είναι έμμεσες. Αυτό συμβαίνει επειδή η ξήρανση/curing στη συγκεκριμένη γραμμή πραγματοποιείται κυρίως με τη χρήση ηλεκτρικού ρεύματος σε σύγκριση με το φυσικό αέριο. Όπως αναφέρθηκε πριν, όλες οι εκπομπές του ηλεκτρικού ρεύματος είναι έμμεσες και για αυτό οι έμμεσες εκπομπές της συγκεκριμένης γραμμής ξεπερνούν κατά πολύ τις άμεσες.

Αντίστοιχα οι άμεσες και οι έμμεσες εκπομπές για τη γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων ECCO για διαφορετικά σημεία λειτουργίας είναι:



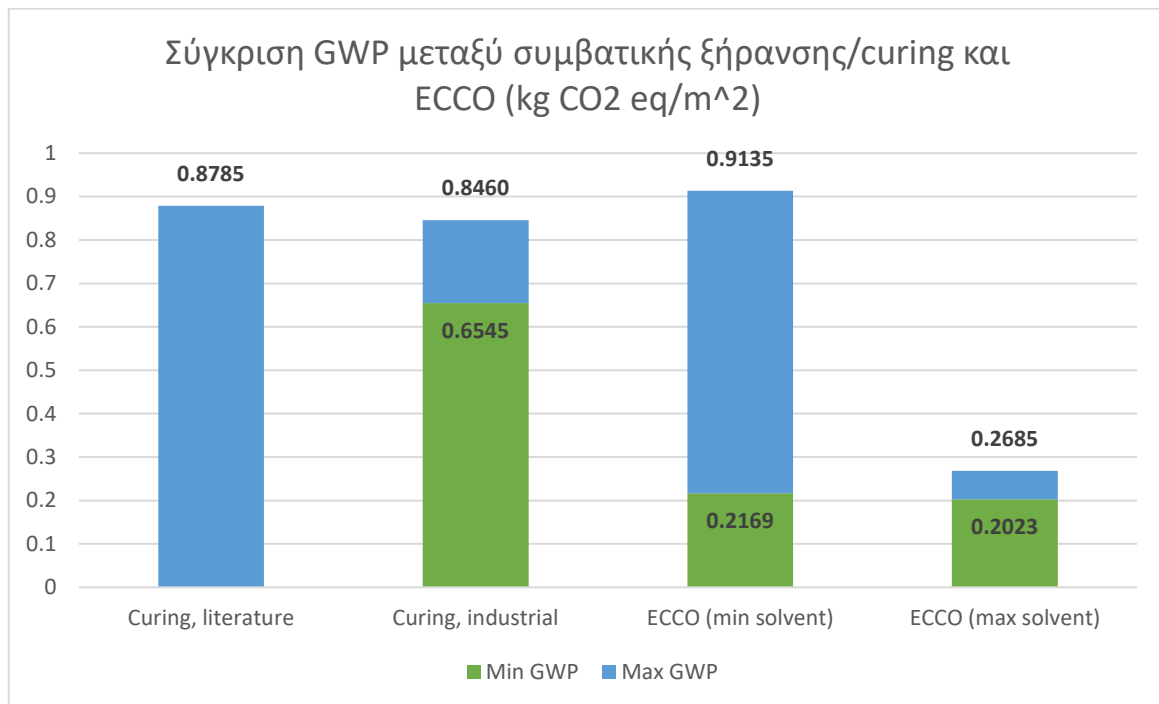
Εικόνα 80: Άμεσες και έμμεσες εκπομπές για διαφορετικά σημεία λειτουργίας της γραμμής θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων ECCO

Στο παραπάνω διάγραμμα διαπιστώνεται ότι στα σημεία λειτουργίας όπου χρησιμοποιείται μεγαλύτερο ποσοστό φυσικού αερίου σε σχέση με διαλύτη ως καύσιμο οι άμεσες εκπομπές είναι μεγαλύτερες σε σχέση με τις έμμεσες. Όταν χρησιμοποιείται κυρίως διαλύτης ως καύσιμο οι έμμεσες εκπομπές αυξάνονται αρκετά για τους λόγους που αναφέρθηκαν παραπάνω. Σε όλες τις περιπτώσεις οι εκπομπές από το ηλεκτρικό ρεύμα λαμβάνονται ως έμμεσες,

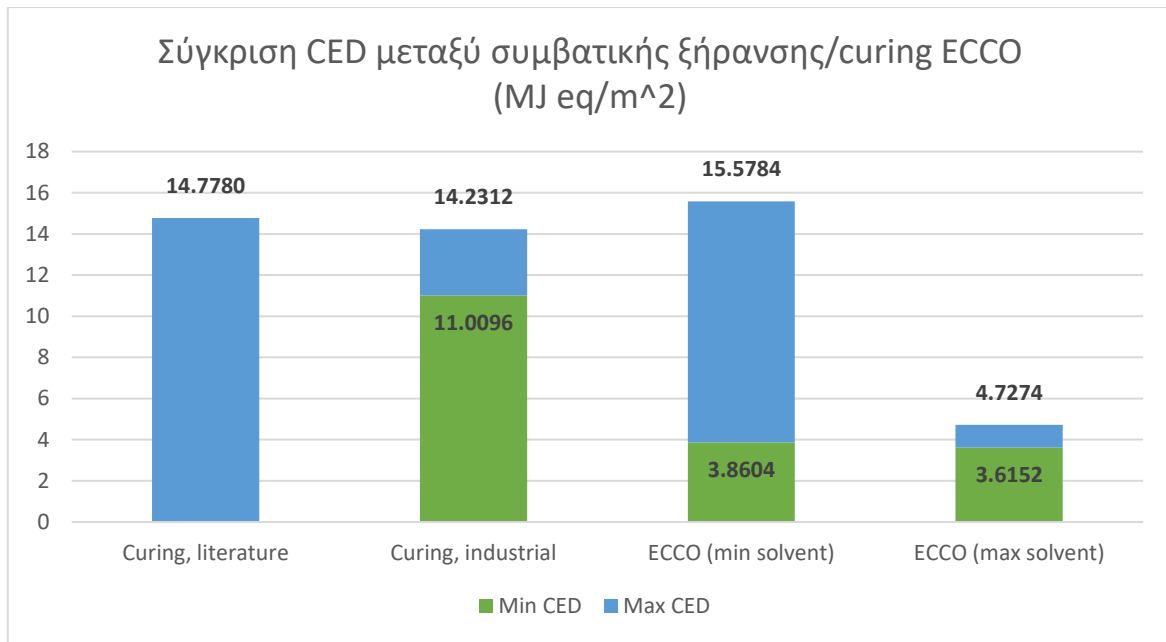
Διαπιστώνεται ότι το ποσοστό των έμμεσων εκπομπών είναι σαφώς μεγαλύτερο από το αναμενόμενο (προσεγγίσιμα 20-30%). Αυτό συμβαίνει καθώς διαπιστώθηκε ότι η βαφή έχει πολλές εκπομπές οι οποίες συμβαίνουν εκτός των ορίων του συστήματος λόγω των υλικών που την απαρτίζουν.

3.5 Σύγκριση συμβατικού και καινοτόμου συστήματος θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων

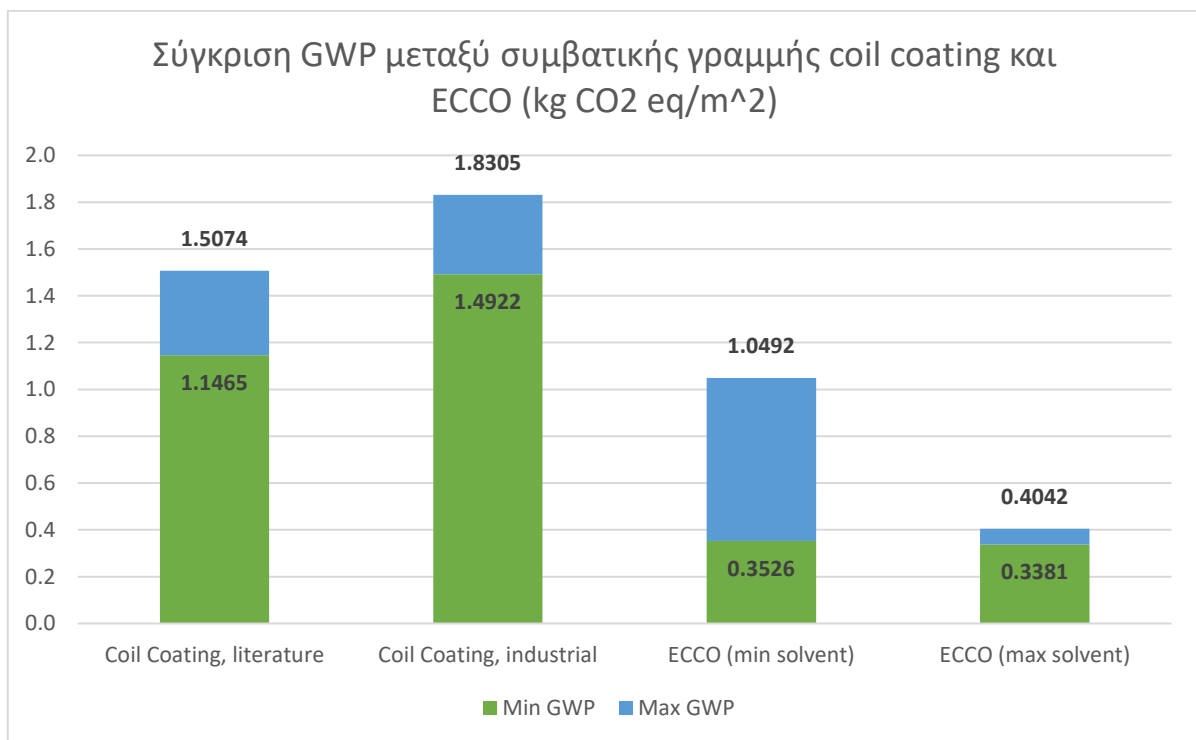
Σε αυτό το σημείο θα γίνει μία σύγκριση όλων των περιπτώσεων που αναπτύχθηκαν προηγουμένως. Για εποπτικούς λόγους παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του συμβατικού συστήματος (ξήρανση/curing, και συνολικής γραμμής) καθώς και του καινοτόμου συστήματος για τις περιπτώσεις του μέγιστου και ελάχιστου φορτίου του διαλύτη (ξήρανση/curing και συνολική γραμμή).



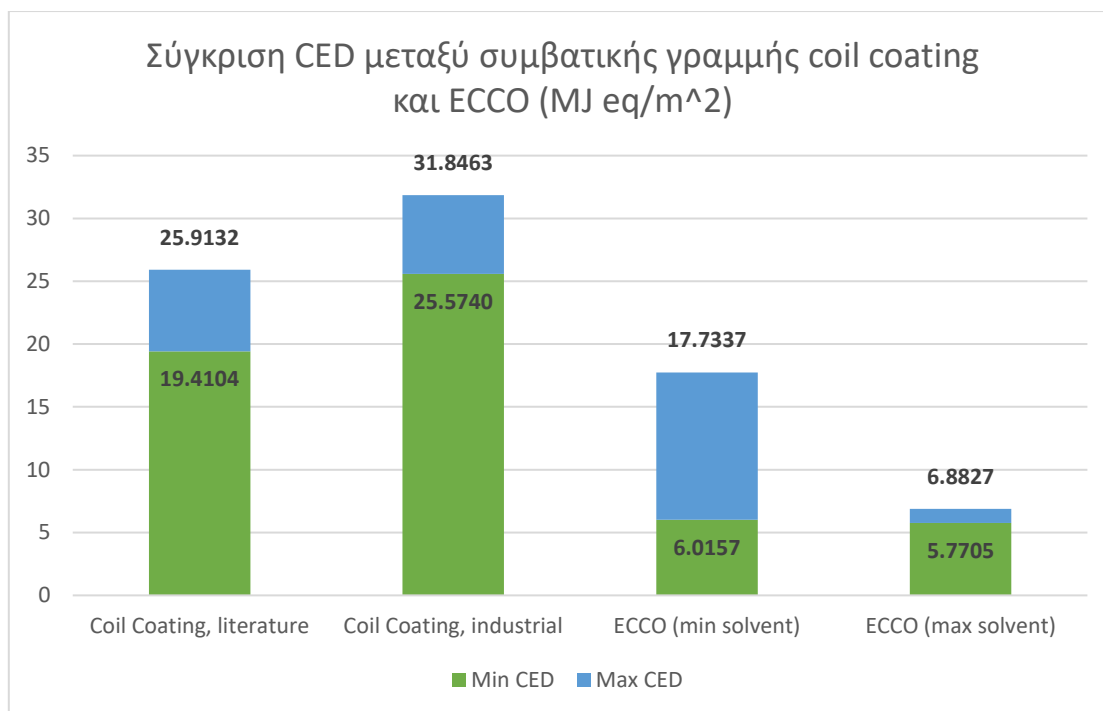
Εικόνα 81: Σύγκριση του δείκτη GWP για συμβατική ξήρανση/curing και ξήρανση ECCO (με μέγιστο και ελάχιστο φορτίο διαλύτη)



Εικόνα 82: Σύγκριση του δείκτη CED για συμβατική ξήρανση/curing και ξήρανση ECCO (με μέγιστο και ελάχιστο φορτίο διαλύτη)



Εικόνα 83: Σύγκριση του δείκτη GWP για συμβατική γραμμή coil coating και γραμμή ECCO (με μέγιστο και ελάχιστο φορτίο διαλύτη)



Εικόνα 84: Σύγκριση του δείκτη CED για συμβατική γραμμή coil coating και γραμμή ECCO (με μέγιστο και ελάχιστο φορτίο διαλύτη)

Από τα παραπάνω διαγράμματα γίνεται αντιληπτό ότι στις περισσότερες περιπτώσεις τόσο η συμβατική ξήρανση/curing όσο και ολόκληρη συμβατική γραμμή είναι λιγότερο οικολογική σε σχέση με την ξήρανση/curing και την γραμμή ECCO αντίστοιχα. Σε όλες τις περιπτώσεις είναι εμφανές ότι όσο μεγαλύτερη είναι η αντικατάσταση του φυσικού αερίου από τον διαλύτη ως καύσιμο τόσο βελτιώνονται οι επιδόσεις της γραμμής. Αυτό γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτό στον δείκτη GWP ξήρανσης/curing (εικόνα 63), όπου η συμβατική ξήρανση παρουσιάζει μικρή διαφορά σε σχέση με την ξήρανση ECCO με μικρή ποσότητα διαλύτη ως καύσιμο, ενώ με την αύξηση του διαλύτη παρατηρείται αισθητή διαφορά. Μάλιστα προέκυψε ότι η ξήρανση ECCO με μικρή ποσότητα διαλύτη έχει ελαφρώς μεγαλύτερο δείκτη (GWP,CED) από την συμβατική ξήρανση. Αξίζει ακόμα να σημειωθεί ότι η συνολική γραμμή ECCO φαίνεται να έχει μειωμένο αντίκτυπο στο περιβάλλον σε σχέση με την συμβατική γραμμή θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων.

4. Συμπεράσματα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η θερμική επεξεργασία βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων, ως προς την περιβαλλοντική και ενεργειακή επίδοση της. Η μελέτη έγινε σε δύο επίπεδα. Έγινε μελέτη ενός συστήματος που εστιάζει αποκλειστικά στο τμήμα της θερμικής επεξεργασίας (ξήρανσης/curing) και ενός συστήματος που εστιάζει στην συνολική γραμμή. Αρχικά συγκρίθηκαν οι περιπτώσεις με δεδομένα που συλλέχθηκαν από την βιβλιογραφία και από την βιομηχανία και για τα δύο συστήματα για την συμβατική θερμική επεξεργασία βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων. Στην συνέχεια έγινε σύγκριση των δύο συστημάτων με την καινοτόμα γραμμή ECCO για διαφορετικά σημεία λειτουργίας και για διαφορετικό ποσοστό αντικατάστασης του φυσικού αερίου με διαλύτη.

Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν για την συμβατική γραμμή είναι αξιοπρόσεκτο το γεγονός ότι όταν χρησιμοποιείται στην γραμμή φούρνος ξήρανσης/curing με συναγωγή καταναλώνει περισσότερη ενέργεια και έχει περισσότερες εκπομπές αέριων ρύπων σε σχέση με την περίπτωση που χρησιμοποιείται φούρνος με υπέρυθρη ακτινοβολία ή κοντά-στο-υπέρυθρο ακτινοβολία. Αυτό συμβαίνει επειδή το τελευταίο αποτελεί μία πιο εξελιγμένη μορφή ξήρανσης σε σχέση με την χρήση φούρνου συναγωγής.

Μελετώντας την καινοτόμα γραμμή θερμικής επεξεργασίας ECCO προέκυψε ότι από τα διαφορετικά σημεία λειτουργίας και για διαφορετικά ποσοστά αντικατάστασης του φυσικού αερίου τα αποτελέσματα παρουσίαζαν ένα εύρος αποτελεσμάτων. Όταν χρησιμοποιείται μεγαλύτερο ποσοστό διαλύτη ως καύσιμο και μικρότερο ποσοστό φυσικού αερίου οι εκπομπές και οι καταναλώσεις ενέργειας είναι σαφώς μικρότερες σε σχέση με τα σημεία λειτουργίας όπου χρησιμοποιείται το φυσικό αέριο ως βασικό καύσιμο.

Από τη σύγκριση της συμβατικής ξήρανσης/curing με την καινοτόμα ECCO προέκυψε ότι οι εκπομπές της ξήρανσης ECCO, όπου χρησιμοποιείται μικρή ποσότητα διαλύτη ως καύσιμο, είναι ελάχιστα μεγαλύτερες σε σχέση με την συμβατική ξήρανση. Ωστόσο όταν χρησιμοποιείται μεγαλύτερο ποσό διαλύτη ως καύσιμο στην ξήρανση ECCO οι εκπομπές μειώνονται δραστικά σε σύγκριση με την συμβατική ξήρανση. Παρόμοιο μοτίβο παρουσιάζει και η κατανάλωση ενέργειας. Όταν χρησιμοποιείται μικρό ποσοστό διαλύτη ως καύσιμο, η κατανάλωση ενέργειας είναι μεγαλύτερη σε σχέση με το συμβατικό σύστημα αλλά με μικρή απόκλιση. Αξιοποιώντας μεγαλύτερο ποσοστό διαλύτη στην ξήρανση ECCO η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται αρκετά. Παρόλα αυτά όταν γίνεται σύγκριση της συμβατικής γραμμής με την καινοτόμα γραμμή ECCO και λαμβάνονται υπόψη και άλλες παράμετροι όπως το ηλεκτρικό ρεύμα, η γραμμή ECCO παρουσίασε σημαντικό προτέρημα και σε όλες τις περιπτώσεις (μικρή και μεγάλη αντικατάσταση διαλύτη με το φυσικό αέριο) Επιπροσθέτως έγινε μελέτη διαφορετικών λόγων υποκατάστασης του φυσικού αερίου με διαλύτη, δηλαδή του ποσοστού αντικατάστασης του φυσικού αερίου με διαλύτη. Διαπιστώθηκε ότι ουσιαστική μείωση στις εκπομπές και στην κατανάλωση ενέργειας παρατηρείται για ποσοστά υποκατάστασης από 30% και άνω. Ωστόσο η περίπτωση με τις πιο βελτιωμένες επιδόσεις είναι στο 64%.

Συνεπώς γίνεται αντιληπτό ότι η βασικότερη παράμετρος για την ξήρανση είναι το ποσοστό αντικατάστασης του φυσικού αερίου με διαλύτη. Όσο μεγαλύτερο είναι αυτό το ποσοστό τόσο πιο καλές είναι οι περιβαλλοντικές επιδόσεις της γραμμής ECCO.

Παρ' όλα αυτά ενώ πρέπει να γίνει διαχωρισμός από τον στόχο που μπορεί να επιτευχθεί θεωρητικά και των τεχνολογικών περιορισμών που προκύπτουν στην πράξη. Αρχικά τα αποτελέσματα για τα σημεία λειτουργίας της γραμμής ECCO είναι από υπολογιστική προσομοίωση πράγμα το οποίο σημαίνει ότι υπάρχει περιθώριο σφάλματος. Επίσης υπάρχουν παράμετροι που επηρεάζουν την αποδοτικότητα της γραμμής ECCO που δεν εξετάζονται στο πλαίσιο αυτής της εργασίας. Αυτοί συνιστούν την κατάλληλη επιλογή εξελιγμένων υλικών που αντέχουν σε υψηλές θερμικές καταπονήσεις, η ορθή χρήση καταλύτη για μειωμένη απόθεση αποβλήτων, η βελτιστοποίηση του πορώδους καυστήρα ώστε να υπάρχει η δυνατότητα εναλλαγής καυσίμου (φυσικό αέριο, διαλύτη), ποιότητα και στεγανότητα του διαχωριστικού γυαλιού έτσι ώστε να μην υπάρχει διαρροή του ατμοποιημένου διαλύτη κλπ. Ακόμα στο πλαίσιο αυτής της εργασίας δεν μελετήθηκαν οι οικονομικοί περιορισμοί που μπορούν να προκύψουν από την διαδικασία ECCO (Life Cycle Costing).

Ακόμα έγινε μία περαιτέρω μελέτη των άμεσων και έμμεσων εκπομπών στην συμβατική και καινοτόμα γραμμή ECCO, στα πλαίσια της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής. Σε αυτή την ανάλυση διαπιστώθηκε ότι οι άμεσες εκπομπές από την καύση του διαλύτη είναι μικρές σε σύγκριση με τις έμμεσες εκπομπές. Δηλαδή οι εκπομπές που προκύπτουν από την καύση του διαλύτη είναι μικρότερες σε σχέση με τις εκπομπές που προκύπτουν από την διαδικασία παραγωγής της βαφής (παραγωγή υλικών, μεταφορές κλπ.). Επειδή ο διαλύτης αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι της βαφής, μαζί με την ρητίνη και την χρωστική ουσία, έχει αρκετές εκπομπές που συμβαίνουν εκτός των ορίων που μελετήθηκαν. Η βαφή λήφθηκε από την βιβλιοθήκη του προγράμματος SimaPro, και έγιναν οι κατάλληλες παραλλαγές για να ληφθεί υπόψη και η καύση του διαλύτη. Παρόλα αυτά γίνεται εμφανές ότι τα δεδομένα που διαθέτει η βιβλιοθήκη για την βαφή μπορεί να μην έχουν πλήρη αντιστοιχία με την βαφή που θα χρησιμοποιηθεί στην γραμμή ECCO. Όσον αφορά το φυσικό αέριο και το ηλεκτρικό ρεύμα τα δεδομένα από την βιβλιοθήκη εκσυγχρονίστηκαν.

Ωστόσο ακόμα και με τους πιθανούς περιορισμούς που μπορούν προκύψουν η γραμμή ECCO αποτελεί μία πολλά υποσχόμενη οικολογική εναλλακτική σε σχέση με τις συμβατικές γραμμές θερμικής επεξεργασίας βαμμένων μεταλλικών ελασμάτων, τόσο στις εκπομπές όσο και στην κατανάλωση ενέργειας.

Βιβλιογραφία

1. **Partner, Raymond Druke.** An Introduction to Coil Coating. Huntley, Ill : s.n.
2. **European Commision.** *Best Available Techniques on Surface Treatments Using Organic Solvents.* Αύγουστος 2007.
3. **National Coil Coating Association.** [Ηλεκτρονικό] <https://www.coilcoating.org/how-to-paint-metal-coils>.
4. **European Coil Coating Association.** [Ηλεκτρονικό] <https://www.prepaintedmetal.eu/874/889>.
5. **Froehlic, Randy.** *Coil Coating 101.* Elk Grove Village Illinois : s.n.
6. **European Coil Coating Assosiation.** [Ηλεκτρονικό] <https://www.prepaintedmetal.eu/874/882>.
7. **Environmental Statistics of the European Coil Coating Industry.** European Coil Coating Association. 2008.
8. **Sander, Jorg.** *Coil Coating-principle,market and applications.* Hanover, Germany : s.n.
9. **Coil Coating.** [Ηλεκτρονικό] Brillux Industrielack. <http://www.brillux-industrielack.de/anwendungen-und-loesungen/coil-coating/>.
10. **Carl, David.** *Systems and Equipment: Design and Operation of Convection Drying and Curing Ovens.*
11. **Coil Coating Ovens.** [Ηλεκτρονικό] The Bronx Group. <https://thebrongroup.com/english/products/thermal-solutions-coil-coating-lines/coil-coating-ovens/>.
12. **Emission Standards and Engineering Division-EPA.** *Metal Coil Surface Coating Industry-Backround information for proposed standards.* North Carolina : s.n., Οκτώβριος 1980.
13. **Choi, Jong Won, και συν.** Experimental Studies on a combined near infrared (NIR) curing system with a convective oven. *Progress in Organic Coatings.* 2015.
14. **Frederiksen, Niels.** Instant Curing with Near Infrared Technology. [Ηλεκτρονικό] 1 Οκτωβρίου 2007. <https://www.pcimag.com/>.
15. **Drying and Curing.** [Ηλεκτρονικό] MOS Technology Inc. <http://www.mostech.com.tw/products-4-adphos.asp>.
16. **Christos Keramiotis, M. Katoufa, G. Vourliotakis, A. Hatziapostolou, M.A. Founti.** Experimental investigation of a radiant porous burner performance with simulated natural gas, biogas and synthesis gas fuel blends. 2014.
17. **Energy Efficient Coil Coating Process.** [Ηλεκτρονικό] <https://www.spire2030.eu/ecco>.
18. **Sandro Gianella, Daniele Gaia,Alberto Ortona.** High Temperature Applications of Si-SiC Cellular Ceramics. *Advanced Engineering Materials.* 2012, 12.
19. **Garrett, Allen.** Stamping Journal. *What you should know about stamping coated coil.* [Ηλεκτρονικό] 29 Ιούλιος 2008. <https://www.thefabricator.com/stampingjournal/article/stamping/what-you-should-know-about-stamping-coated-coil>.

20. *Best Available Techniques (BAT) Reference Document on Surface Treatment Using Organic Solvents including Preservation of Wood and Wood Products with Chemicals*. European Commission. Luxembourg : Publications Office of the European Union, 2019.
21. *Sustainability report 2014*. European Coil Coating Association. Brussels : s.n.
22. CITEPA. *Coil Coating prepared in the framework of EGTEI*. Παρίσι : s.n., 2003.
23. European Commission. The Paints Directive - Legislation. [Ηλεκτρονικό] https://ec.europa.eu/environment/air/pollutants/stationary/paints/paints_legis.htm.
24. *Directive 2004/42/CE of the European Parliament and of the Council*. European Parliament and the Council of the European Union. s.l. : Official Journal of the European Union, 2004.
25. *Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council*. The European Parliament and Council of the European Union. 2010.
26. SETAC-Society of Environmental Toxicology and Chemistry . *Guideline for Life Cycle Assessment: A "Code of Practice"*. 1993.
27. Phillips, Innovation Services. *Life Cycle Assessment: finding the best approach for your company*. [Ηλεκτρονικό] Απρίλιος 1 2015. <https://www.innovationservices.philips.com/news/life-cycle-assessment-finding-best-approach-company/>.
28. Δ., Καρβούνης Σ. και Γεωργακέλος. *Διαχείριση Περιβάλλοντος-Επιχειρήσεις και Βιώσιμη Ανάπτυξη*. Αθήνα : Σταμούλης, 2003.
29. M.A., Curran. *Environmental Life-Cycle Assessment*. s.l. : Mc Graw-Hill, 1996.
30. Λάμπρος, Βλάσσης. *Εφαρμογή Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στη Παραγωγή Υποκατάστατου Φυσικού Αερίου στην Κρήτη*. Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2015.
31. International, EPA. U.S. Environmental Protection Agency and Science Applications. *LCAccess-LCA 101*. 2001.
32. Γιαννόπουλος, Δημήτριος. *Ανάπτυξη Μεθοδολογίας Πολυκτιτηριακής Αξιολόγησης Καινοτόμων Ενεργειακών Τεχνολογιών σε Περιβάλλον Αβεβαιότητας*.
33. M.A., Curran. *Environmental Life-Cycle Assessment*. s.l. : McGraw-Hill, 1996.
34. Λαζόγλου, Κ. *Συγκριτική Ανάλυση τριών εναλλακτικών σεναρίων διαχείρισης των αστικών στερεών απορριμάτων του νομού Ξάνθης βάσει ανάλυσης κύκλου Ζωής*. Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2009.
35. Θ., Χατζηκυριάκου. *Ανάλυση Επιπτώσεων Οικοβιομηχανικού Πάρκου με την Μεθοδολογία Ανάλυσης Κύκλου Ζωής* . Αθήνα : Διπλωματική εργασία, 2013.
36. *Η εφαρμογή της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής στη Διαχείριση των Συσκευασιών*. Κ., Αμπελιώτης. Αθήνα : 1ο Διεθνές Συνέδριο για τη Διαχείριση Στερεών Αποβλήτων της Ελληνικής Εταιρείας Διαχείρισης Στερεών Αποβλήτων, 2002.
37. Κ., Αμπελιώτης. *Ανάλυση Κύκλου Ζωής Προϊόντων* . s.l. : Πανεπιστημιακές Σημειώσεις Χαροκοπέιου Πανεπιστημίου, 503, 2002.
38. Π., Μπαξεβανίδης. *Ανάπτυξη Μοντέλων Ανάλυσης Κύκλου Ζωής για Βέλτιστο Σχεδιασμό Καινοτόμων Χημικών Προϊόντων* . Αθήνα : Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, 2014.

39. Επίσημη Εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Ένωσης . Κανονισμός (ΕΕ) αριθμ. 517/2014 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Απριλίου 2014 για τα φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου και για την κατάργηση του μηχανισμού (ΕΚ) αριθ. 842/2006.
40. Ν., Ανδρίτσος. *Ενέργεια και Περιβάλλον. Διδακτικές Σημειώσεις*. σ.λ. : Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, 2008.
41. Το μεθάνιο ως αέριο του θερμοκηπίου. [Ηλεκτρονικό] http://www.chem.uoa.gr/chemicals/chem_CH4.htm.
42. ECCO. *CCL simulation*.
43. ΔΕΠΑ. Εμπόριο φυσικού αερίου. [Ηλεκτρονικό] <https://www.depa.gr/emporio-fysikou-aeriou/>.
44. Διαχειριστής ΑΠΕ και ΕΓΓΥΗΣΕΩΝ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗΣ. *Ενεργειακό Μείγμα 2018*. Αθήνα, Πειραιάς : s.n., Ιούλιος 2019.
45. ΚΙΤ. *Updated flow diagram and process model, ECCO*. 2019.
46. Energy efficient coil coating process (ECCO). *Updated flow diagram and process model*.
47. [Ηλεκτρονικό] <http://www.start2see.com.au/site/index.php/life-cycle-services/life-cycle-assessments>.

Παράρτημα 1

Εδώ παρουσιάζονται οι πίνακες που προέκυψαν από την μελέτη και από το λογισμικό SimaPro. Με βάση αυτούς του πίνακες έγιναν τα διαγράμματα της διπλωματικής εργασίας.

Title:	Analysing 1 p 'Curing,large scale, literature'					
Method:	EPD (2008) V1.03					
Compartment:	All compartments					
Per sub-compartment:	No					
Skip unused:	No					
Indicator:	Characterisation					
Category:	Global warming (GWP100)					
Cut-off:	0%					
Exclude infrastructure processes:	No					
Exclude long-term emissions:	No					
Relative mode:	None					
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	
	Total of all compartments		kg CO2 eq	0.878469		0.878468934
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.78663		0.786629809
2	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.090115		0.090114584
3	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.001041		0.00104111
4	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.0004		0.000399768
5	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	0.000175		0.000175461
6	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air	kg CO2 eq	4.33E-05		4.3302E-05
7	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	3.75E-05		3.74965E-05
8	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	1.65E-05		1.65472E-05
9	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	4.19E-06		4.18572E-06
10	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	3.39E-06		3.38644E-06
11	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC	Air	kg CO2 eq	1.04E-06		1.0436E-06
12	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	9.85E-07		9.84676E-07
13	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg CO2 eq	6.98E-07		6.98047E-07
14	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CO2 eq	4.32E-07		4.32355E-07
15	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	1.1E-07		1.10031E-07
16	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	1.25E-08		1.2512E-08
17	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	8.88E-10		8.87698E-10
18	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	7.55E-10		7.55121E-10
19	Chloroform	Air	kg CO2 eq	9.72E-11		9.72362E-11
20	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-1	Air	kg CO2 eq	8.82E-11		8.82388E-11
21	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	1.04E-11		1.04032E-11
22	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	6.6E-12		6.60268E-12
23	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 eq	3.36E-12		3.35542E-12
24	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	1.48E-12		1.47692E-12
25	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	4.15E-14		4.15317E-14
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 eq	1.99E-19		1.98949E-19

Title:	Analysing 1 p 'Curing,large scale, literature'					
Method:	EPD (2008) V1.03					
Compartment:	All compartments					
Per sub-compartment:	No					
Skip unused:	No					
Indicator:	Characterisation					
Category:	Non renewable, fossil					
Cut-off:	0%					
Exclude infrastructure processes:	No					
Exclude long-term emissions:	No					
Relative mode:	None					
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	
	Total of all compartments		MJ eq	14.77801		14.77801051
1	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	14.49018		14.49017847
2	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	0.084203		0.084202518
3	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.081081		0.081081499
4	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.07796		0.077959717
5	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	0.042941		0.042940528
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.001588		0.001587691
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	6.01E-05		6.00832E-05

Title:	Analysing 1 p 'Curing,small scale,industrial'				
Method:	EPD (2008) V1.03				
Compartment:	All compartments				
Per sub-compartment:	No				
Skip unused:	No				
Indicator:	Characterisation				
Category:	Global warming (GWP100)				
Cut-off:	0%				
Exclude infrastructure processes:	No				
Exclude long-term emissions:	No				
Relative mode:	None				
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 eq	0.845966	0.845965583
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.757525	0.757524507
2	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.08678	0.086780345
3	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.001003	0.001002589
4	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.000385	0.000384977
5	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	0.000169	0.000168969
6	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air	kg CO2 eq	4.17E-05	4.16999E-05
7	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	3.61E-05	3.61091E-05
8	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	1.59E-05	1.5935E-05
9	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	4.03E-06	4.03085E-06
10	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	3.26E-06	3.26114E-06
11	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-	Air	kg CO2 eq	1E-06	1.00499E-06
12	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	9.48E-07	9.48243E-07
13	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg CO2 eq	6.72E-07	6.7222E-07
14	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CO2 eq	4.16E-07	4.16358E-07
15	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	1.06E-07	1.0596E-07
16	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	1.2E-08	1.20491E-08
17	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	8.55E-10	8.54854E-10
18	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	7.27E-10	7.27182E-10
19	Chloroform	Air	kg CO2 eq	9.36E-11	9.36384E-11
20	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	8.5E-11	8.49739E-11
21	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	1E-11	1.00183E-11
22	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	6.36E-12	6.35838E-12
23	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 eq	3.23E-12	3.23127E-12
24	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	1.42E-12	1.42227E-12
25	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	4E-14	3.9995E-14
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 eq	1.92E-19	1.91588E-19

Title:	Analysing 1 p 'Curing,small scale,industrial'				
Method:	EPD (2008) V1.03				
Compartment:	All compartments				
Per sub-compartment:	No				
Skip unused:	No				
Indicator:	Characterisation				
Category:	Non renewable, fossil				
Cut-off:	0%				
Exclude infrastructure processes:	No				
Exclude long-term emissions:	No				
Relative mode:	None				
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	14.23122	14.23122412
1	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	13.95404	13.95404187
2	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	0.081087	0.081087025
3	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.078081	0.078081484
4	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.075075	0.075075207
5	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	0.041352	0.041351729
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.001529	0.001528947
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	5.79E-05	5.78601E-05

Title:	Analysing 1 p 'Curing,large scale,industrial'				
Method:	EPD (2008) V1.03				
Compartment:	All compartments				
Per sub-comp:	No				
Skip unused:	No				
Indicator:	Characterisation				
Category:	Global warming (GWP100)				
Cut-off:	0%				
Exclude infra:	No				
Exclude long-term:	No				
Relative mode:	None				
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 eq	0.654459	0.654459356
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.586039	0.586039208
2	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.067135	0.067135365
3	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.000776	0.000775627
4	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.000298	0.000297827
5	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	0.000131	0.000130718
6	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air	kg CO2 eq	3.23E-05	3.226E-05
7	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	2.79E-05	2.79349E-05
8	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	1.23E-05	1.23277E-05
9	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	3.12E-06	3.11836E-06
10	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	2.52E-06	2.5229E-06
11	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Air	kg CO2 eq	7.77E-07	7.77486E-07
12	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	7.34E-07	7.33584E-07
13	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg CO2 eq	5.2E-07	5.20045E-07
14	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CO2 eq	3.22E-07	3.22104E-07
15	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	8.2E-08	8.1973E-08
16	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	9.32E-09	9.32146E-09
17	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	6.61E-10	6.61335E-10
18	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	5.63E-10	5.62566E-10
19	Chloroform	Air	kg CO2 eq	7.24E-11	7.2441E-11
20	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Air	kg CO2 eq	6.57E-11	6.57379E-11
21	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	7.75E-12	7.75036E-12
22	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	4.92E-12	4.919E-12
23	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 eq	2.5E-12	2.49979E-12
24	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	1.1E-12	1.1003E-12
25	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	3.09E-14	3.09411E-14
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 eq	1.48E-19	1.48217E-19

Title:	Analysing 1 p 'Curing,large scale,industrial'				
Method:	EPD (2008) V1.03				
Compartment:	All compartments				
Per sub-comp:	No				
Skip unused:	No				
Indicator:	Characterisation				
Category:	Non renewable, fossil				
Cut-off:	0%				
Exclude infra:	No				
Exclude long-term:	No				
Relative mode:	None				
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	11.00962	11.00961783
1	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	10.79518	10.79518296
2	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	0.062731	0.062730876
3	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.060406	0.060405717
4	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.05808	0.058079989
5	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	0.031991	0.031990693
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.001183	0.00118283
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	4.48E-05	4.4762E-05

Title: Analysing 1 p 'Coil coating line, convection, literature'							
Method: EPD (2008) V1.03							
Compartment All compartments							
Per sub-cc No							
Skip unused No							
Indicator: Characterisation							
Category: Global warming (GWP100)							
Cut-off: 0%							
Exclude inf No							
Exclude loi No							
Relative m None							
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	Electricity, production mix GR/GR U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 eq	1.507352	0.542423978	0.878468934	0.086489104
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	1.175575	0.305133277	0.78622981	0.083811484
2	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.187397	0.186949603	0.000399768	4.71515E-05
3	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.027979	0.026404763	0.00104111	0.000533296
4	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.115181	0.023097154	0.090114584	0.001969031
5	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	0.000333	0.000281745	3.74965E-05	1.37159E-05
6	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	0.000258	0.00023981	4.18572E-06	1.42529E-05
7	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	0.000234	0.000131181	1.65472E-05	8.61124E-05
8	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	7.03E-05	6.3821E-05	9.84676E-07	5.51266E-06
9	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg CO2 eq	3.46E-05	3.37402E-05	6.98047E-07	1.75023E-07
10	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CO2 eq	2.5E-05	2.38794E-05	4.32355E-07	7.35754E-07
11	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	2.07E-05	2.04859E-05	1.10031E-07	6.85475E-08
12	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	0.0002	2.03476E-05	0.000175461	4.56889E-06
13	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Air	kg CO2 eq	1.15E-05	1.03111E-05	1.0436E-06	1.49789E-07
14	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	1.24E-05	8.79839E-06	3.38644E-06	2.00625E-07
15	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air	kg CO2 eq	4.82E-05	4.17563E-06	4.3302E-05	7.67721E-07
16	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	7.8E-07	5.38439E-07	1.2512E-08	2.29028E-07
17	Methane, difluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	7.54E-07	2.52058E-07	7.55121E-10	5.00932E-07
18	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Air	kg CO2 eq	6.03E-08	5.98166E-08	8.82388E-11	4.01351E-10
19	Chloroform	Air	kg CO2 eq	2.88E-08	2.29337E-08	9.72362E-11	5.79452E-09
20	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	1.15E-06	9.05898E-09	8.87698E-10	1.14427E-06
21	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	4.31E-09	4.23659E-09	6.80268E-12	6.33495E-11
22	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	1.47E-09	4.9293E-10	1.47692E-12	9.79757E-10
23	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	2.54E-10	1.30088E-10	1.04032E-11	1.13786E-10
24	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 eq	4.86E-11	4.03209E-11	3.35542E-12	4.89147E-12
25	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	4.15E-11	1.38632E-11	4.15317E-14	2.75513E-11
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 eq	1.63E-17	1.40578E-17	1.98949E-19	2.05777E-18

Title: Analysing 1 p 'Coil coating line, convection, literature'							
Method: EPD (2008) V1.03							
Compartment All compartments							
Per sub-cc No							
Skip unused No							
Indicator: Characterisation							
Category: Non renewable, fossil							
Cut-off: 0%							
Exclude inf No							
Exclude loi No							
Relative m None							
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	Electricity, production mix GR/GR U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	25.91319	9.761689973	14.77801051	1.373487242
1	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	5.263665	5.037198094	0.084202518	0.142264763
2	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	17.99354	3.058935473	14.49017847	0.444423923
3	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.913736	0.821029199	0.081081499	0.011624886
4	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.582057	0.495555475	0.077369717	0.008541456
5	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	1.146797	0.3373991	0.042940526	0.7664577
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.011574	0.009814345	0.001587691	0.000171552
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	0.001821	0.001758288	6.00832E-05	2.96276E-06

Title:	Analysing 1 p 'Coil coating line,IR/NIR, literature'						
Method:	EPD (2008) V1.03						
Compartment:	All compartments						
Per sub-cc:	No						
Skip unused:	No						
Indicator:	Characterisation						
Category:	Global warming (GWP100)						
Cut-off:	0%						
Exclude int:	No						
Exclude lo:	No						
Relative m:	None						
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Electricity, production mix GR/GR U 2020	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 eq	1.14653523	0.542423978	0.545546659	0.058564596
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.88623232	0.305133277	0.528657055	0.052441987
2	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.18727367	0.186949603	0.000297417	2.66512E-05
3	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.02983804	0.026404763	0.003363865	6.94073E-05
4	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.04152484	0.023097154	0.012420043	0.006007639
5	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	0.00037076	0.000281745	8.65154E-05	2.49977E-06
6	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	0.00032999	0.00023981	8.99026E-05	2.79048E-07
7	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	0.00067545	0.000131181	0.00054317	1.10315E-06
8	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	9.8659E-05	6.3821E-05	3.47721E-05	6.56451E-08
9	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-13	Air	kg CO2 eq	3.4891E-05	3.37402E-05	1.10399E-06	4.65365E-08
10	Methane, bromotrifluoro-, Halon 130	Air	kg CO2 eq	2.8549E-05	2.38794E-05	4.64031E-06	2.88237E-08
11	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	2.0926E-05	2.04859E-05	4.32376E-07	7.33539E-09
12	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	6.0864E-05	2.03476E-05	2.88192E-05	1.16974E-05
13	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-	Air	kg CO2 eq	1.1325E-05	1.03111E-05	9.44821E-07	6.95737E-08
14	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	1.029E-05	8.79839E-06	1.26548E-06	2.25763E-07
15	Methane, bromochlorodifluoro-, Halo	Air	kg CO2 eq	1.1905E-05	4.17563E-06	4.84255E-06	2.8868E-06
16	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	1.9839E-06	5.38439E-07	1.44464E-06	8.34135E-10
17	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	3.4118E-06	2.52058E-07	3.15973E-06	5.03414E-11
18	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-	Air	kg CO2 eq	6.2354E-08	5.98166E-08	2.5316E-09	5.88258E-12
19	Chloroform	Air	kg CO2 eq	5.949E-08	2.29337E-08	3.655E-08	6.48241E-12
20	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	7.2268E-06	9.05898E-09	7.21769E-06	5.91799E-11
21	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	4.6366E-09	4.23659E-09	3.99589E-10	4.40179E-13
22	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	6.6731E-09	4.92993E-10	6.18E-09	9.84611E-14
23	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	8.4852E-10	1.30098E-10	7.17727E-10	6.93545E-13
24	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 eq	7.1398E-11	4.03209E-11	3.08539E-11	2.23695E-13
25	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	1.8765E-10	1.38632E-11	1.73785E-10	2.76878E-15
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 eq	2.7051E-17	1.40578E-17	1.29798E-17	1.32633E-20

Title:	Analysing 1 p 'Coil coating line,IR/NIR, literature'						
Method:	EPD (2008) V1.03						
Compartment:	All compartments						
Per sub-cc:	No						
Skip unused:	No						
Indicator:	Characterisation						
Category:	Non renewable, fossil						
Cut-off:	0%						
Exclude int:	No						
Exclude lo:	No						
Relative m:	None						
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Electricity, production mix GR/GR U 2020	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	19.41043	9.761689973	8.663534913	0.985200701
1	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	5.940174	5.037198094	0.89736235	0.005613501
2	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	6.828237	3.058935473	2.803289359	0.966011898
3	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.899761	0.821029199	0.073326207	0.005405433
4	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.55463	0.495555475	0.053876874	0.005197314
5	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	5.174841	0.3373991	4.834579338	0.002862702
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.011002	0.009814345	0.001082097	0.000105846
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	0.001781	0.001758288	1.86882E-05	4.00555E-06

Title:	Analysing 1 p 'Coil coating line,30 m/min, industrial'						
Method:	EPD (2008) V1.03						
Compartm	All compartments						
Per sub-cc	No						
Skip unused	No						
Indicator:	Characterisation						
Category:	Global warming (GWP100)						
Cut-off:	0%						
Exclude int	No						
Exclude loc	No						
Relative m	None						
No	Substance	Compartm	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U	Electricity, production mix GR/GR U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 eq	1.492203	0.51051643	0.845965583	0.135721364
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	1.176228	0.287184117	0.757524507	0.13151956
2	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.176411	0.17595248	0.000384977	7.39915E-05
3	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.111609	0.021738487	0.086780345	0.003089864
4	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.026691	0.024851529	0.001002589	0.000836864
5	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	0.000323	0.000265171	3.61091E-05	2.15233E-05
6	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	0.000275	0.000123464	1.5935E-05	0.00013513
7	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	0.000252	0.000225704	4.03085E-06	2.2366E-05
8	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	0.000195	1.91506E-05	0.000168969	7.16965E-06
9	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	6.97E-05	6.00668E-05	9.48243E-07	8.65063E-06
10	Methane, bromochlorodifluoro-, Ha	Air	kg CO2 eq	4.68E-05	3.93001E-06	4.16999E-05	1.20473E-06
11	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-1A	Air	kg CO2 eq	3.27E-05	3.17555E-05	6.7222E-07	2.74652E-07
12	Methane, bromotrifluoro-, Halon 13	Air	kg CO2 eq	2.4E-05	2.24747E-05	4.16358E-07	1.15457E-06
13	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	1.95E-05	1.92808E-05	1.0596E-07	1.07567E-07
14	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	1.19E-05	8.28083E-06	3.26114E-06	3.14827E-07
15	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-	Air	kg CO2 eq	1.09E-05	9.70455E-06	1.00499E-06	2.35053E-07
16	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	1.81E-06	8.5261E-09	8.54854E-10	1.79562E-06
17	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	1.02E-06	2.37231E-07	7.27182E-10	7.86078E-07
18	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	8.78E-07	5.06765E-07	1.20491E-08	3.59398E-07
19	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-	Air	kg CO2 eq	5.7E-08	5.6298E-08	8.49739E-11	6.29813E-10
20	Chloroform	Air	kg CO2 eq	3.08E-08	2.15846E-08	9.36384E-11	9.09294E-09
21	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	4.09E-09	3.98738E-09	6.35838E-12	9.941E-11
22	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	2E-09	4.63994E-10	1.42227E-12	1.53746E-09
23	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	3.11E-10	1.22445E-10	1.00183E-11	1.78556E-10
24	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	5.63E-11	1.30477E-11	3.9995E-14	4.32343E-11
25	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-14C	Air	kg CO2 eq	4.89E-11	3.7949E-11	3.23127E-12	7.67584E-12
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 eq	1.67E-17	1.32309E-17	1.91588E-19	3.22911E-18

Title:	Analysing 1 p 'Coil coating line,30 m/min, industrial'						
Method:	EPD (2008) V1.03						
Compartm	All compartments						
Per sub-cc	No						
Skip unused	No						
Indicator:	Characterisation						
Category:	Non renewable, fossil						
Cut-off:	0%						
Exclude int	No						
Exclude loc	No						
Relative m	None						
No	Substance	Compartm	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	Electricity, production mix GR/GR U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	25.57401	9.187468322	14.23122412	2.155318442
1	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	17.53044	2.878996653	13.95404187	0.697403694
2	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	5.045223	4.740889953	0.081087025	0.223246243
3	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	1.561653	0.317551935	0.041351729	1.202749006
4	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.869057	0.772732977	0.078081484	0.01824213
5	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.554884	0.46640492	0.075075207	0.013403515
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.011035	0.009237026	0.001528947	0.000269205
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	0.001717	0.001654858	5.78601E-05	4.64926E-06

Title: Analysing 1 p 'Coil coating line,60 m/min,industrial'							
Method: EPD (2008) V1.03							
Compartment All compartments							
Per sub-cc No							
Skip unuse No							
Indicator: Characterisation							
Category: Global warming (GWP100)							
Cut-off: 0%							
Exclude in No							
Exclude lo No							
Relative m None							
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Electricity, production mix GR/GR U 2020	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 eq	1.830507303	1.02103286	0.155015087	0.654459356
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	1.31062341	0.574368234	0.150215968	0.586039208
2	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.352287296	0.351904959	8.45099E-05	0.000297827
3	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.114141449	0.043476973	0.00352911	0.067135365
4	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.051434515	0.049703058	0.00095583	0.000775627
5	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	0.000582861	0.000530343	2.4583E-05	2.79349E-05
6	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	0.000480071	0.000451407	2.55456E-05	3.11836E-06
7	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	0.000413596	0.000246928	0.00015434	1.23277E-05
8	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	0.000177208	3.83013E-05	8.18887E-06	0.000130718
9	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	0.000130748	0.000120134	9.88038E-06	7.33584E-07
10	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134	Air	kg CO2 eq	6.43447E-05	6.3511E-05	3.13695E-07	5.20045E-07
11	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CO2 eq	4.65902E-05	4.49494E-05	1.3187E-06	3.22104E-07
12	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon	Air	kg CO2 eq	4.1496E-05	7.86001E-06	1.37599E-06	3.226E-05
13	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	3.87665E-05	3.85616E-05	1.2285E-07	8.1973E-08
14	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-	Air	kg CO2 eq	2.0455E-05	1.94091E-05	2.68467E-07	7.77486E-07
15	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	1.94441E-05	1.65617E-05	3.59582E-07	2.5229E-06
16	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	2.06859E-06	1.70522E-08	2.05088E-06	6.61335E-10
17	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	1.43334E-06	1.01353E-06	4.10489E-07	9.32146E-09
18	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	1.37285E-06	4.74462E-07	8.97825E-07	5.62566E-10
19	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-,	Air	kg CO2 eq	1.13381E-07	1.12596E-07	7.19345E-10	6.57379E-11
20	Chloroform	Air	kg CO2 eq	5.36272E-08	4.31692E-08	1.03856E-08	7.2441E-11
21	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	8.09322E-09	7.97476E-09	1.13542E-10	4.919E-12
22	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	2.68511E-09	9.27987E-10	1.75603E-09	1.1003E-12
23	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	4.5658E-10	2.4469E-10	2.03939E-10	7.75036E-12
24	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 eq	8.71649E-11	7.58981E-11	8.76701E-12	2.48979E-12
25	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	7.55068E-11	2.60955E-11	4.93804E-11	3.09411E-14
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 eq	3.02981E-17	2.64618E-17	3.68815E-18	1.48217E-19

Title: Analysing 1 p 'Coil coating line,60 m/min,industrial'							
Method: EPD (2008) V1.03							
Compartment All compartments							
Per sub-cc No							
Skip unuse No							
Indicator: Characterisation							
Category: Non renewable, fossil							
Cut-off: 0%							
Exclude in No							
Exclude lo No							
Relative m None							
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Electricity, production mix GR/GR U 2020	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	31.84627	18.37493664	2.46171175	11.00961783
1	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	17.34972	5.757993305	0.796544415	10.79518296
2	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	9.799493	9.481779906	0.254982229	0.062730876
3	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	2.040823	0.63510387	1.37328031	0.031990693
4	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	1.626707	1.545465955	0.020835373	0.060405717
5	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	1.006199	0.93280984	0.015308917	0.058079989
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.019964	0.018474052	0.000307474	0.00118283
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	0.00336	0.003309716	5.31018E-06	4.4762E-05

Title:	Analysing 1 p 'Curing ECCO, 80 kW, min load solv.'				
Method:	EPD (2008) V1.03				
Compartment:	All compartments				
Per sub-co:	No				
Skip unused:	No				
Indicator:	Characterisation				
Category:	Global warming (GWP100)				
Cut-off:	0%				
Exclude infra:	No				
Exclude low:	No				
Relative m:	None				

No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 eq	0.216924	0.179911185	0.037012824
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.13435	0.101206605	0.033143336
2	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.062024	0.062007444	1.68436E-05
3	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.011458	0.007660864	0.003796828
4	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.008802	0.008757932	4.38654E-05
5	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	9.5E-05	9.34491E-05	1.57985E-06
6	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	7.97E-05	7.95403E-05	1.76358E-07
7	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	4.42E-05	4.351E-05	6.97189E-07
8	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	2.12E-05	2.11682E-05	4.14877E-08
9	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	1.41E-05	6.74888E-06	7.39274E-06
10	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-11	Air	kg CO2 eq	1.12E-05	1.1191E-05	2.94111E-08
11	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CO2 eq	7.94E-06	7.92031E-06	1.82166E-08
12	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	6.8E-06	6.79475E-06	4.63597E-09
13	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, HFC-133a	Air	kg CO2 eq	3.46E-06	3.41998E-06	4.39705E-08
14	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air	kg CO2 eq	3.21E-06	1.38497E-06	1.82446E-06
15	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	3.06E-06	2.91825E-06	1.42682E-07
16	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	1.79E-07	1.78589E-07	5.27173E-10
17	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	8.36E-08	8.36027E-08	3.18158E-11
18	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, HFC-113	Air	kg CO2 eq	1.98E-08	1.984E-08	3.71779E-12
19	Chloroform	Air	kg CO2 eq	7.61E-09	7.60664E-09	4.09688E-12
20	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	3.04E-09	3.00468E-09	3.74017E-11
21	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	1.41E-09	1.40519E-09	2.78193E-13
22	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	1.64E-10	1.63516E-10	6.22274E-14
23	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	4.36E-11	4.31509E-11	4.3832E-13
24	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 eq	1.35E-11	1.33736E-11	1.41375E-13
25	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	4.6E-12	4.59816E-12	1.74987E-15
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 eq	4.67E-18	4.6627E-18	8.38238E-21

Title:	Analysing 1 p 'Curing ECCO, 80 kW, min load solv.'				
Method:	EPD (2008) V1.03				
Compartment:	All compartments				
Per sub-co:	No				
Skip unused:	No				
Indicator:	Characterisation				
Category:	Non renewable, fossil				
Cut-off:	0%				
Exclude infra:	No				
Exclude low:	No				
Relative m:	None				

No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	3.860404	3.237757331	0.622646843
1	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	1.674286	1.670737864	0.003547733
2	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	1.625107	1.014587718	0.61051952
3	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.275735	0.272318965	0.003416234
4	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.167651	0.16436584	0.003284703
5	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	0.113718	0.111908533	0.001809228
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.003322	0.003255222	6.68947E-05
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	0.000586	0.000583189	2.53151E-06

Title:	Analysing 1 p 'Curing ECCO, 390 kW, max load solv.'					
Method:	EPD (2008) V1.03					
Compartment:	All compartments					
Per sub-cc:	No					
Skip unused:	No					
Indicator:	Characterisation					
Category:	Global warming (GWP100)					
Cut-off:	0%					
Exclude info:	No					
Exclude low:	No					
Relative m:	None					
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all		kg CO2 eq	0.202347	0.17991185	0.022436097
1	Carbon dioxide	Air	kg CO2 eq	0.121297	0.101206605	0.020090525
2	Carbon monoxide	Air	kg CO2 eq	0.062018	0.062007444	1.02101E-05
3	Methane	Air	kg CO2 eq	0.009962	0.007660864	0.002301526
4	Dinitrogen	Air	kg CO2 eq	0.008785	0.008757932	2.65899E-05
5	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	9.44E-05	9.34491E-05	9.57661E-07
6	Methane	Air	kg CO2 eq	7.96E-05	7.95403E-05	1.06903E-07
7	Methane	Air	kg CO2 eq	4.39E-05	4.351E-05	4.22615E-07
8	Ethane	Air	kg CO2 eq	2.12E-05	2.11682E-05	2.51486E-08
9	Methane	Air	kg CO2 eq	1.12E-05	6.74888E-06	4.48127E-06
10	Ethane	Air	kg CO2 eq	1.12E-05	1.1191E-05	1.78281E-08
11	Methane	Air	kg CO2 eq	7.93E-06	7.92031E-06	1.10423E-08
12	Methane	Air	kg CO2 eq	6.8E-06	6.79475E-06	2.81019E-09
13	Ethane	Air	kg CO2 eq	3.45E-06	3.41998E-06	2.66537E-08
14	Carbon dioxide	Air	kg CO2 eq	3E-06	2.91825E-06	8.64897E-08
15	Methane	Air	kg CO2 eq	2.49E-06	1.38497E-06	1.10593E-06
16	Methane	Air	kg CO2 eq	1.79E-07	1.78589E-07	3.19557E-10
17	Methane	Air	kg CO2 eq	8.36E-08	8.36027E-08	1.92858E-11
18	Ethane	Air	kg CO2 eq	1.98E-08	1.984E-08	2.25362E-12
19	Chloroform	Air	kg CO2 eq	7.61E-09	7.60664E-09	2.48341E-12
20	Ethane	Air	kg CO2 eq	3.03E-09	3.00468E-09	2.26718E-11
21	Methane	Air	kg CO2 eq	1.41E-09	1.40519E-09	1.68633E-13
22	Methane	Air	kg CO2 eq	1.64E-10	1.63516E-10	3.77205E-14
23	Methane	Air	kg CO2 eq	4.34E-11	4.31509E-11	2.65697E-13
24	Ethane	Air	kg CO2 eq	1.35E-11	1.33736E-11	8.56975E-14
25	Methane	Air	kg CO2 eq	4.6E-12	4.59816E-12	1.06072E-15
26	Methane	Air	kg CO2 eq	4.67E-18	4.6627E-18	5.08116E-21

Title:	Analysing 1 p 'Curing ECCO, 390 kW, max load solv.'					
Method:	EPD (2008) V1.03					
Compartment:	All compartments					
Per sub-cc:	No					
Skip unused:	No					
Indicator:	Characterisation					
Category:	Non renewable, fossil					
Cut-off:	0%					
Exclude info:	No					
Exclude low:	No					
Relative m:	None					
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	3.615188	3.237757331	0.377430388
1	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	1.672888	1.670737864	0.002150532
2	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	1.384667	1.014587718	0.370079158
3	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.27439	0.272318965	0.002070821
4	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.166357	0.16436584	0.001991091
5	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	0.113005	0.111908533	0.001096701
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.003296	0.003255222	4.05496E-05
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	0.000585	0.000583189	1.53452E-06

Title:	Analysing 1 p 'Curing ECCO, 600kW, max load solv.'					
Method:	EPD (2008) V1.03					
Compartment:	All compartments					
Per sub-cc:	No					
Skip unused:	No					
Indicator:	Characterisation					
Category:	Global warming (GWP100)					
Cut-off:	0%					
Exclude infl:	No					
Exclude lo:	No					
Relative m:	None					
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 eq	0.236338	0.179911185	0.056426988
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.151734	0.101206605	0.050527855
2	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.062033	0.062007444	2.56785E-05
3	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.013449	0.007660864	0.00578836
4	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.008825	0.008757932	6.6874E-05
5	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	9.59E-05	9.34491E-05	2.40853E-06
6	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	7.98E-05	7.95403E-05	2.68863E-07
7	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	4.46E-05	4.351E-05	1.06288E-06
8	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	2.12E-05	2.11682E-05	6.3249E-08
9	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	1.8E-05	6.74888E-06	1.12704E-05
10	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg CO2 eq	1.12E-05	1.1191E-05	4.48379E-08
11	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CO2 eq	7.95E-06	7.92031E-06	2.77716E-08
12	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	6.8E-06	6.79475E-06	7.06765E-09
13	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air	kg CO2 eq	4.17E-06	1.38497E-06	2.78143E-06
14	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Air	kg CO2 eq	3.49E-06	3.41998E-06	6.70342E-08
15	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	3.14E-06	2.91825E-06	2.17522E-07
16	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	1.79E-07	1.78589E-07	8.03689E-10
17	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	8.37E-08	8.36027E-08	4.8504E-11
18	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Air	kg CO2 eq	1.98E-08	1.984E-08	5.66787E-12
19	Chloroform	Air	kg CO2 eq	7.61E-09	7.60664E-09	6.2458E-12
20	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	3.06E-09	3.00468E-09	5.70198E-11
21	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	1.41E-09	1.40519E-09	4.24112E-13
22	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	1.64E-10	1.63516E-10	9.48673E-14
23	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	4.38E-11	4.31509E-11	6.6823E-13
24	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 eq	1.36E-11	1.33736E-11	2.1553E-13
25	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	4.6E-12	4.59816E-12	2.66772E-15
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 eq	4.68E-18	4.6627E-18	1.27792E-20

Title:	Analysing 1 p 'Curing ECCO, 600kW, max load solv.'					
Method:	EPD (2008) V1.03					
Compartment:	All compartments					
Per sub-cc:	No					
Skip unused:	No					
Indicator:	Characterisation					
Category:	Non renewable, fossil					
Cut-off:	0%					
Exclude infl:	No					
Exclude lo:	No					
Relative m:	None					
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	4.186998	3.237757331	0.949240875
1	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	1.94534	1.014587718	0.930752464
2	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	1.676146	1.670737864	0.005408608
3	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.277527	0.272318965	0.005208135
4	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.169373	0.16436584	0.005007612
5	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	0.114667	0.111908533	0.002758213
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.003357	0.003255222	0.000101983
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	0.000587	0.000583189	3.85934E-06

Title:	Analysing 1 p 'Curing ECCO, 600 kW, min load solv.'					
Method:	EPD (2008) V1.03					
Compartment:	All compartments					
Per sub-cc:	No					
Skip unused:	No					
Indicator:	Characterisation					
Category:	Global warming (GWP100)					
Cut-off:	0%					
Exclude inf:	No					
Exclude low:	No					
Relative m:	None					
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 ec	0.719994	0.17991185	0.540082701
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 ec	0.584827	0.101206605	0.483620007
2	Methane, fossil	Air	kg CO2 ec	0.063063	0.007660864	0.055402447
3	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 ec	0.062253	0.062007444	0.000245778
4	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 ec	0.009398	0.008757932	0.000640074
5	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 ec	0.000117	9.34491E-05	2.30529E-05
6	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 ec	0.000115	6.74888E-06	0.000107873
7	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 ec	8.21E-05	7.95403E-05	2.57338E-06
8	Methane, biogenic	Air	kg CO2 ec	5.37E-05	4.351E-05	1.01732E-05
9	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air	kg CO2 ec	2.8E-05	1.38497E-06	2.66221E-05
10	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 ec	2.18E-05	2.11682E-05	6.05379E-07
11	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg CO2 ec	1.16E-05	1.1191E-05	4.29159E-07
12	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CO2 ec	8.19E-06	7.92031E-06	2.65812E-07
13	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 ec	6.86E-06	6.79475E-06	6.7647E-08
14	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 ec	5E-06	2.91825E-06	2.08198E-06
15	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Air	kg CO2 ec	4.06E-06	3.41998E-06	6.41608E-07
16	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 ec	1.86E-07	1.78589E-07	7.69239E-09
17	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 ec	8.41E-08	8.36027E-08	4.64249E-10
18	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Air	kg CO2 ec	1.99E-08	1.984E-08	5.42492E-11
19	Chloroform	Air	kg CO2 ec	7.67E-09	7.60664E-09	5.97808E-11
20	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 ec	3.55E-09	3.00468E-09	5.45757E-10
21	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 ec	1.41E-09	1.40519E-09	4.05933E-12
22	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 ec	1.64E-10	1.63516E-10	9.08009E-13
23	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 ec	4.95E-11	4.31509E-11	6.39587E-12
24	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 ec	1.54E-11	1.33736E-11	2.06291E-12
25	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 ec	4.62E-12	4.59816E-12	2.55337E-14
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 ec	4.79E-18	4.6627E-18	1.22314E-19

Title:	Analysing 1 p 'Curing ECCO, 600 kW, min load solv.'					
Method:	EPD (2008) V1.03					
Compartment:	All compartments					
Per sub-cc:	No					
Skip unused:	No					
Indicator:	Characterisation					
Category:	Non renewable, fossil					
Cut-off:	0%					
Exclude inf:	No					
Exclude low:	No					
Relative m:	None					
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	12.32328	3.237757331	9.085520861
1	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	9.923149	1.014587718	8.908561725
2	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	1.722506	1.670737864	0.051767708
3	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.322168	0.272318965	0.049848906
4	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.212295	0.16436584	0.047929634
5	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	0.138308	0.111908533	0.026399837
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.004231	0.003255222	0.000976113
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	0.00062	0.000583189	3.69392E-05

Title:	Analysing 1 p 'Curing ECCO, 600 kW, no solvent'				
Method:	EPD (2008) V1.03				
Compartment:	All compartments				
Per sub-compartment:	No				
Skip unused:	No				
Indicator:	Characterisation				
Category:	Global warming (GWP100)				
Cut-off:	0%				
Exclude infrastructure:	No				
Exclude long-term:	No				
Relative mode:	None				
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 eq	0.585646	0.585645956
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.52442	0.524419873
2	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.060076	0.06007639
3	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.000694	0.000694073
4	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.000267	0.000266512
5	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	0.000117	0.000116974
6	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air	kg CO2 eq	2.89E-05	2.8868E-05
7	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	2.5E-05	2.49977E-05
8	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	1.1E-05	1.10315E-05
9	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	2.79E-06	2.79048E-06
10	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	2.26E-06	2.25763E-06
11	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC	Air	kg CO2 eq	6.96E-07	6.95737E-07
12	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	6.56E-07	6.56451E-07
13	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg CO2 eq	4.65E-07	4.65365E-07
14	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CO2 eq	2.88E-07	2.88237E-07
15	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	7.34E-08	7.33539E-08
16	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	8.34E-09	8.34135E-09
17	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	5.92E-10	5.91799E-10
18	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	5.03E-10	5.03414E-10
19	Chloroform	Air	kg CO2 eq	6.48E-11	6.48241E-11
20	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-1	Air	kg CO2 eq	5.88E-11	5.88258E-11
21	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	6.94E-12	6.93545E-12
22	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	4.4E-12	4.40179E-12
23	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 eq	2.24E-12	2.23695E-12
24	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	9.85E-13	9.84611E-13
25	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	2.77E-14	2.76878E-14
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 eq	1.33E-19	1.32633E-19

Title:	Analysing 1 p 'Curing ECCO, 600 kW, no solvent'				
Method:	EPD (2008) V1.03				
Compartment:	All compartments				
Per sub-compartment:	No				
Skip unused:	No				
Indicator:	Characterisation				
Category:	Non renewable, fossil				
Cut-off:	0%				
Exclude infrastructure:	No				
Exclude long-term:	No				
Relative mode:	None				
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	9.852007	9.852007007
1	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	9.660119	9.660118982
2	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	0.056135	0.056135012
3	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.054054	0.054054333
4	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.051973	0.051973145
5	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	0.028627	0.028627019
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.001058	0.001058461
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	4.01E-05	4.00555E-05

Title:	Analysing 1 p 'Curing ECCO, 600 kW, safety load solv.'					
Method:	EPD (2008) V1.03					
Compartm	All compartments					
Per sub-cc	No					
Skip unuse	No					
Indicator:	Characterisation					
Category:	Global warming (GWP100)					
Cut-off:	0%					
Exclude inf	No					
Exclude lo	No					
Relative m	None					
No	Substance	Compartm	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 eq	0.278051	0.233893219	0.044157705
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.171115	0.131573469	0.039541258
2	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.080633	0.080612669	2.0095E-05
3	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.014489	0.009959493	0.00452976
4	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.011438	0.011385734	5.23331E-05
5	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	0.000123	0.000121488	1.88482E-06
6	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	0.000104	0.000103406	2.10402E-07
7	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	5.74E-05	5.65651E-05	8.31772E-07
8	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	2.76E-05	2.75196E-05	4.94964E-08
9	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	1.76E-05	8.77387E-06	8.81983E-06
10	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg CO2 eq	1.46E-05	1.45488E-05	3.50885E-08
11	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CO2 eq	1.03E-05	1.02968E-05	2.1733E-08
12	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	8.84E-06	8.83351E-06	5.53088E-09
13	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, C	Air	kg CO2 eq	4.5E-06	4.44614E-06	5.24585E-08
14	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air	kg CO2 eq	3.98E-06	1.80053E-06	2.17665E-06
15	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	3.96E-06	3.79387E-06	1.70225E-07
16	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	2.33E-07	2.32175E-07	6.28938E-10
17	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	1.09E-07	1.08687E-07	3.79574E-11
18	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC	Air	kg CO2 eq	2.58E-08	2.57929E-08	4.43547E-12
19	Chloroform	Air	kg CO2 eq	9.89E-09	9.88899E-09	4.88774E-12
20	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	3.95E-09	3.90623E-09	4.46216E-11
21	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	1.83E-09	1.82682E-09	3.31895E-13
22	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	2.13E-10	2.12579E-10	7.42397E-14
23	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	5.66E-11	5.60983E-11	5.22933E-13
24	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 eq	1.76E-11	1.73864E-11	1.68666E-13
25	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	5.98E-12	5.97782E-12	2.08766E-15
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 eq	6.07E-18	6.06173E-18	1.00005E-20

Title:	Analysing 1 p 'Curing ECCO, 600 kW, safety load solv.'					
Method:	EPD (2008) V1.03					
Compartm	All compartments					
Per sub-cc	No					
Skip unuse	No					
Indicator:	Characterisation					
Category:	Non renewable, fossil					
Cut-off:	0%					
Exclude inf	No					
Exclude lo	No					
Relative m	None					
No	Substance	Compartm	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	4.952082	4.209240718	0.742841328
1	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	2.176272	2.172039819	0.00423258
2	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	2.047386	1.319012976	0.728372971
3	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.358103	0.354027791	0.004075697
4	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.217602	0.213683521	0.003918775
5	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	0.147645	0.145486492	0.002158477
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.004312	0.004231946	7.98079E-05
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	0.000761	0.000758174	3.02018E-06

Title:	Analysing 1 p 'Curing ECCO, 800 kW, max load solv.'					
Method:	EPD (2008) V1.03					
Compartment:	All compartments					
Per sub-compartment:	No					
Skip unused:	No					
Indicator:	Characterisation					
Category:	Global warming (GWP100)					
Cut-off:	0%					
Exclude infrastructure:	No					
Exclude long-term:	No					
Relative mode:	None					
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 eq	0.268460854	0.179911185	0.088549669
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.18049889	0.101206605	0.079292285
2	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.062047741	0.062007444	4.02966E-05
3	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.016744414	0.007660864	0.00908355
4	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.008862876	0.008757932	0.000104944
5	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	9.72287E-05	9.34491E-05	3.77965E-06
6	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	7.99622E-05	7.95403E-05	4.21921E-07
7	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	4.5179E-05	4.351E-05	1.66796E-06
8	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	2.44353E-05	6.74888E-06	1.76864E-05
9	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	2.12674E-05	2.11682E-05	9.92553E-08
10	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg CO2 eq	1.12613E-05	1.1191E-05	7.03632E-08
11	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CO2 eq	7.96389E-06	7.92031E-06	4.35814E-08
12	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	6.80584E-06	6.79475E-06	1.10911E-08
13	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air	kg CO2 eq	5.74982E-06	1.38497E-06	4.36485E-06
14	Ethane, 1,2-difluoro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Air	kg CO2 eq	3.52518E-06	3.41998E-06	1.05195E-07
15	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	3.2596E-06	2.91825E-06	3.41353E-07
16	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	1.79851E-07	1.78589E-07	1.26121E-09
17	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	8.36788E-08	8.36027E-08	7.61162E-11
18	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Air	kg CO2 eq	1.98489E-08	1.984E-08	8.89447E-12
19	Chloroform	Air	kg CO2 eq	7.61644E-09	7.60664E-09	9.80141E-12
20	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	3.09416E-09	3.00468E-09	8.948E-11
21	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	1.40586E-09	1.40519E-09	6.6555E-13
22	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	1.63665E-10	1.63516E-10	1.48873E-13
23	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	4.41996E-11	4.31509E-11	1.04864E-12
24	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 eq	1.37119E-11	1.33736E-11	3.38226E-13
25	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	4.60234E-12	4.59816E-12	4.18639E-15
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 eq	4.68275E-18	4.6627E-18	2.00541E-20

Title:	Analysing 1 p 'Curing ECCO, 800 kW, max load solv.'					
Method:	EPD (2008) V1.03					
Compartment:	All compartments					
Per sub-compartment:	No					
Skip unused:	No					
Indicator:	Characterisation					
Category:	Non renewable, fossil					
Cut-off:	0%					
Exclude infrastructure:	No					
Exclude long-term:	No					
Relative mode:	None					
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	4.727381	3.237757331	1.489623459
1	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	2.475198	1.014587718	1.46060999
2	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	1.679225	1.670737864	0.008487614
3	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.280492	0.272318965	0.008173015
4	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.172224	0.16436584	0.007858339
5	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	0.116237	0.111908533	0.004328405
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.003415	0.003255222	0.000160039
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	0.000589	0.000583189	6.05639E-06

Title:	Analysing 1 p 'Curing ECCO, 800 kW, min. load solv.'					
Method:	EPD (2008) V1.03					
Compartm	All compartments					
Per sub-cc	No					
Skip unuse	No					
Indicator:	Characterisation					
Category:	Global warming (GWP100)					
Cut-off:	0%					
Exclude inf	No					
Exclude loi	No					
Relative m	None					
No	Substance	Compartm	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 eq	0.913491	0.179911185	0.733580124
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.758095	0.101206605	0.656888333
2	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.082913	0.007660864	0.075251686
3	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.062341	0.062007444	0.000333833
4	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.009627	0.008757932	0.000869396
5	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	0.000153	6.74888E-06	0.000146521
6	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	0.000125	9.34491E-05	3.13121E-05
7	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	8.3E-05	7.95403E-05	3.49536E-06
8	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	5.73E-05	4.351E-05	1.3818E-05
9	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air	kg CO2 eq	3.75E-05	1.38497E-05	3.61601E-05
10	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	2.2E-05	2.11682E-05	8.2227E-07
11	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg CO2 eq	1.18E-05	1.1191E-05	5.82916E-07
12	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CO2 eq	8.28E-06	7.92031E-06	3.61045E-07
13	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	6.89E-06	6.79475E-06	9.18831E-08
14	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	5.75E-06	2.91825E-06	2.8279E-06
15	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Air	kg CO2 eq	4.29E-06	3.41998E-06	8.7148E-07
16	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	1.89E-07	1.78589E-07	1.04484E-08
17	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	8.42E-08	8.36027E-08	6.30577E-10
18	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Air	kg CO2 eq	1.99E-08	1.984E-08	7.36852E-11
19	Chloroform	Air	kg CO2 eq	7.69E-09	7.60664E-09	8.11987E-11
20	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	3.75E-09	3.00468E-09	7.41287E-10
21	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	1.41E-09	1.40519E-09	5.51368E-12
22	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	1.65E-10	1.63516E-10	1.23332E-12
23	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	5.18E-11	4.31509E-11	8.68734E-12
24	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 eq	1.62E-11	1.33736E-11	2.802E-12
25	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	4.63E-12	4.59816E-12	3.46817E-14

Title:	Analysing 1 p 'Curing ECCO, 800 kW, min. load solv.'					
Method:	EPD (2008) V1.03					
Compartm	All compartments					
Per sub-cc	No					
Skip unuse	No					
Indicator:	Characterisation					
Category:	Non renewable, fossil					
Cut-off:	0%					
Exclude inf	No					
Exclude loi	No					
Relative m	None					
No	Substance	Compartm	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	15.57838	3.237757331	12.34062398
1	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	13.11485	1.014587718	12.10026504
2	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	1.741053	1.670737864	0.070314716
3	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.340027	0.272318965	0.067708457
4	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.229467	0.16436584	0.065101561
5	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	0.147767	0.111908533	0.035858204
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.004581	0.003255222	0.001325828
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	0.000633	0.000583189	5.01735E-05

Title: Analysing 1 p 'Coil coating ECCO, 80 kW, min load solv.'							
Method: EPD (2008) V1.03							
Compartment: All compartments							
Per sub-comp No							
Skip unused: No							
Indicator: Characterisation							
Category: Global warming (GWP100)							
Cut-off: 0%							
Exclude infra: No							
Exclude long-t: No							
Relative mode: None							
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	Electricity, production mix GR/GR U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 eq	0.352645	0.17991185	0.037012824	0.135721364
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.26587	0.101206605	0.033143336	0.13151956
2	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.062098	0.062007444	1.68436E-05	7.39915E-05
3	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.014548	0.007660864	0.003796828	0.000389864
4	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.009639	0.008757932	4.38654E-05	0.000386864
5	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	0.000179	4.351E-05	6.97189E-07	0.00013513
6	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	0.000117	9.34491E-05	1.57985E-06	2.15233E-05
7	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	0.000102	7.95403E-05	1.76359E-07	2.2366E-05
8	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	2.99E-05	2.11682E-05	4.14877E-08	8.65063E-06
9	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	2.13E-05	6.74888E-06	7.39274E-06	7.16965E-06
10	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg CO2 eq	1.15E-05	1.1191E-05	2.94111E-08	2.74652E-07
11	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CO2 eq	9.09E-06	7.92031E-06	1.82166E-08	1.15457E-06
12	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	6.91E-06	6.79475E-06	4.63597E-09	1.07567E-07
13	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air	kg CO2 eq	4.41E-06	1.38497E-06	1.62446E-06	1.20473E-06
14	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Air	kg CO2 eq	3.7E-06	3.41998E-06	4.39705E-08	2.35053E-07
15	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	3.38E-06	2.91825E-06	1.42882E-07	3.14827E-07
16	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	1.8E-06	3.00468E-09	3.74017E-11	1.79562E-06
17	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	8.7E-07	8.36027E-08	3.18158E-11	7.86078E-07
18	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	5.39E-07	1.78589E-07	5.27173E-10	3.59398E-07
19	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Air	kg CO2 eq	2.05E-08	1.984E-08	3.71779E-12	6.29813E-10
20	Chloroform	Air	kg CO2 eq	1.67E-08	7.60664E-09	4.09688E-12	9.09294E-09
21	Methane, trichloro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	1.7E-09	1.63516E-10	6.22274E-14	1.53746E-09
22	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	1.5E-09	1.40519E-09	2.78193E-13	9.941E-11
23	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	2.22E-10	4.31509E-11	4.3832E-13	1.78556E-10
24	Methane, dichloro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	4.78E-11	4.59816E-12	1.74987E-15	4.32343E-11
25	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 eq	2.12E-11	1.33736E-11	1.41375E-13	7.67584E-12
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 eq	7.9E-18	4.6627E-18	8.38238E-21	3.22911E-18

Title: Analysing 1 p 'Coil coating ECCO, 80 kW, min load solv.'							
Method: EPD (2008) V1.03							
Compartment: All compartments							
Per sub-comp No							
Skip unused: No							
Indicator: Characterisation							
Category: Non renewable, fossil							
Cut-off: 0%							
Exclude infra: No							
Exclude long-t: No							
Relative mode: None							
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	Electricity, production mix GR/GR U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	6.015723	3.23775733	0.622646843	2.155318442
1	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	2.322511	1.014587718	0.61051952	0.697403694
2	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	1.897532	1.670737864	0.003547733	0.223246243
3	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	1.316467	0.111908533	0.001809228	1.202749006
4	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.293977	0.272318965	0.003416234	0.01824213
5	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.181054	0.16436584	0.003284703	0.013403515
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.003591	0.003255222	6.88947E-05	0.000269205
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	0.00059	0.000583189	2.53151E-06	4.64926E-06

Title: Analysing 1 p 'Coil coating ECCO, 390 kW, max load solv.'							
Method: EPD (2008) V1.03							
Compartment: All compartments							
Per sub-co: No							
Skip unused: No							
Indicator: Characterisation							
Category: Global warming (GWP100)							
Cut-off: 0%							
Exclude inf: No							
Exclude low: No							
Relative m: None							
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	Electricity, production mix GR/GR U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 eq	0.338069	0.17991185	0.022436097	0.135721364
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.252817	0.101206605	0.020090525	0.13151956
2	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.062092	0.062007444	1.02101E-05	7.39915E-05
3	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.013052	0.007660864	0.002301526	0.003089864
4	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.009621	0.008757932	2.65899E-05	0.000368664
5	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	0.000179	4.351E-05	4.22615E-07	0.0013513
6	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	0.000116	9.34491E-05	9.57661E-07	2.15233E-05
7	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	0.000102	7.95403E-05	1.06903E-07	2.2366E-05
8	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	2.98E-05	2.11682E-05	2.51486E-08	8.65063E-06
9	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	1.84E-05	6.74888E-06	4.48127E-06	7.16965E-06
10	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg CO2 eq	1.15E-05	1.1191E-05	1.78281E-08	2.74652E-07
11	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CO2 eq	9.09E-06	7.92031E-06	1.10423E-08	1.15457E-06
12	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	6.91E-06	6.79475E-06	2.81019E-09	1.07567E-07
13	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air	kg CO2 eq	3.7E-06	1.38497E-06	1.10593E-06	1.20473E-06
14	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CF	Air	kg CO2 eq	3.68E-06	3.41998E-06	2.66537E-08	2.35053E-07
15	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	3.32E-06	2.91825E-06	8.64897E-08	3.14827E-07
16	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	1.8E-06	3.00468E-09	2.26718E-11	1.79562E-06
17	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	8.7E-07	8.36027E-08	1.92858E-11	7.86078E-07
18	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	5.38E-07	1.78589E-07	3.19557E-10	3.59398E-07
19	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-	Air	kg CO2 eq	2.05E-08	1.984E-08	2.25362E-12	6.29813E-10
20	Chloroform	Air	kg CO2 eq	1.67E-08	7.60664E-09	2.48341E-12	9.09294E-09
21	Methane, trichloro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	1.7E-09	1.63516E-10	3.77205E-14	1.53746E-09
22	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	1.5E-09	1.40519E-09	1.68633E-13	9.941E-11
23	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	2.22E-10	4.31509E-11	2.65697E-13	1.78556E-10
24	Methane, dichlorodifluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	4.78E-11	4.59816E-12	1.06072E-15	4.32343E-11
25	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 eq	2.11E-11	1.33736E-11	8.56975E-14	7.67584E-12
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 eq	7.9E-18	4.6627E-18	5.08116E-21	3.22911E-18

Title: Analysing 1 p 'Coil coating ECCO, 390 kW, max load solv.'							
Method: EPD (2008) V1.03							
Compartment: All compartments							
Per sub-co: No							
Skip unused: No							
Indicator: Characterisation							
Category: Non renewable, fossil							
Cut-off: 0%							
Exclude inf: No							
Exclude low: No							
Relative m: None							
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	Electricity, production mix GR/GR U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	5.770506	3.23775733	0.377430388	2.155318442
1	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	2.082071	1.014587718	0.370079158	0.697403694
2	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	1.896135	1.670737864	0.002150532	0.223246243
3	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	1.315754	0.111908533	0.001096701	1.202749006
4	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.292632	0.272318965	0.002070821	0.01824213
5	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.17976	0.16436584	0.001991091	0.013403515
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.003565	0.003255222	4.05496E-05	0.000269205
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	0.000589	0.000583189	1.53452E-06	4.64926E-06

Title: Analysing 1 p 'Coil coating ECCO, 600 kW, max load solv.'							
Method: EPD (2008) V1.03							
Compartment All compartments							
Per sub-c/No							
Skip unused/No							
Indicator: Characterisation							
Category: Global warming (GWP100)							
Cut-off: 10%							
Exclude in/No							
Exclude lo/No							
Relative m/None							
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	Electricity, production mix GR/GR U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 eq	0.37206	0.17991185	0.056426988	0.135721364
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.283254	0.101206605	0.050527855	0.13151956
2	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.062107	0.062007444	2.56785E-05	7.39915E-05
3	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.016539	0.007660864	0.00578836	0.003089864
4	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.009662	0.008757932	6.8874E-05	0.000836864
5	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	0.00018	4.351E-05	1.06288E-06	0.00013513
6	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	0.000117	9.34491E-05	2.40653E-06	2.15233E-05
7	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	0.000102	7.95403E-05	2.88863E-07	2.2366E-05
8	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	2.99E-05	2.11682E-05	6.3249E-08	8.65063E-06
9	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	2.52E-05	6.74888E-06	1.12704E-05	7.16965E-06
10	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-1	Air	kg CO2 eq	1.15E-05	1.1191E-05	4.48379E-08	2.74652E-07
11	Methane, bromotrifluoro-, Halon 13	Air	kg CO2 eq	9.1E-06	7.92031E-06	2.77716E-08	1.15457E-06
12	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	6.91E-06	6.79475E-06	7.06765E-09	1.07567E-07
13	Methane, bromochlorodifluoro-, Hal	Air	kg CO2 eq	5.37E-06	1.38497E-06	2.78143E-06	1.20473E-06
14	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-	Air	kg CO2 eq	3.72E-06	3.41998E-06	6.70342E-08	2.35053E-07
15	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	3.45E-06	2.91825E-06	2.17522E-07	3.14827E-07
16	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	1.8E-06	3.00468E-09	5.70198E-11	1.79562E-06
17	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	8.7E-07	8.36027E-08	4.8504E-11	7.86078E-07
18	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	5.39E-07	1.78589E-07	8.03689E-10	3.59398E-07
19	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-	Air	kg CO2 eq	2.05E-08	1.984E-08	5.66787E-12	6.29813E-10
20	Chloroform	Air	kg CO2 eq	1.67E-08	7.60664E-09	6.2458E-12	9.09294E-09
21	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	1.7E-09	1.63516E-10	9.48673E-14	1.53746E-09
22	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	1.51E-09	1.40519E-09	4.24112E-13	9.941E-11
23	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	2.22E-10	4.31509E-11	6.6823E-13	1.78556E-10
24	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	4.78E-11	4.59816E-12	2.66772E-15	4.32343E-11
25	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 eq	2.13E-11	1.33736E-11	2.1553E-13	7.67584E-12
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 eq	7.9E-18	4.6627E-18	1.27792E-20	3.22911E-18

Title: Analysing 1 p 'Coil coating ECCO, 600 kW, max load solv.'							
Method: EPD (2008) V1.03							
Compartment All compartments							
Per sub-c/No							
Skip unused/No							
Indicator: Characterisation							
Category: Non renewable, fossil							
Cut-off: 10%							
Exclude in/No							
Exclude lo/No							
Relative m/None							
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	Electricity, production mix GR/GR U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	6.342317	3.23775733	0.949240875	2.155318442
1	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	2.642744	1.014587718	0.930752464	0.697403694
2	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	1.899393	1.670737864	0.005408608	0.223246243
3	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	1.317416	0.111908533	0.002758213	1.202749006
4	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.295769	0.272318965	0.005208135	0.01824213
5	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.182777	0.16436584	0.005007612	0.013403515
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.003626	0.003255222	0.000101983	0.000269205
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	0.000592	0.000583189	3.85934E-06	4.64926E-06

Title: Analysing 1 p 'Coil coating ECCO, 600 kW,no solv'						
Method: EPD (2008) V1.03						
Compartment All compartments						
Per sub-cc No						
Skip unused No						
Indicator: Characterisation						
Category: Global warming (GWP100)						
Cut-off: 0%						
Exclude inf No						
Exclude loi No						
Relative m None						
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	Electricity, production mix GR/GR U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 eq	0.72136732	0.585645956	0.135721364
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.655939433	0.524419873	0.13151956
2	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.063166254	0.06007639	0.003089864
3	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.001530937	0.000694073	0.000836864
4	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.000340504	0.000266512	7.39915E-05
5	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	0.000146162	1.10315E-05	0.00013513
6	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	0.000124143	0.000116974	7.16965E-06
7	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	4.6521E-05	2.49977E-05	2.15233E-05
8	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 12	Air	kg CO2 eq	3.00728E-05	2.8868E-05	1.20473E-06
9	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	2.51565E-05	2.79048E-06	2.2366E-05
10	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	9.30708E-06	6.56451E-07	8.65063E-06
11	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	2.57245E-06	2.25763E-06	3.14827E-07
12	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	1.79621E-06	5.91799E-10	1.79562E-06
13	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CO2 eq	1.4428E-06	2.88237E-07	1.15457E-06
14	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-,	Air	kg CO2 eq	9.3079E-07	6.95737E-07	2.35053E-07
15	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	7.86582E-07	5.03414E-10	7.86078E-07
16	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg CO2 eq	7.40016E-07	4.65365E-07	2.74652E-07
17	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	3.67739E-07	8.34135E-09	3.59398E-07
18	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	1.80921E-07	7.33539E-08	1.07567E-07
19	Chloroform	Air	kg CO2 eq	9.15776E-09	6.48241E-11	9.09294E-09
20	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	1.53845E-09	9.84611E-13	1.53746E-09
21	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, C	Air	kg CO2 eq	6.88638E-10	5.88258E-11	6.29813E-10
22	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	1.85492E-10	6.93545E-12	1.78556E-10
23	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	1.03812E-10	4.40179E-12	9.941E-11
24	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	4.3262E-11	2.76878E-14	4.32343E-11
25	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 eq	9.91279E-12	2.23695E-12	7.67584E-12
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 eq	3.36174E-18	1.32633E-19	3.22911E-18

Title: Analysing 1 p 'Coil coating ECCO, 600 kW,no solv'						
Method: EPD (2008) V1.03						
Compartment All compartments						
Per sub-cc No						
Skip unused No						
Indicator: Characterisation						
Category: Non renewable, fossil						
Cut-off: 0%						
Exclude inf No						
Exclude loi No						
Relative m None						
No	Substance	Compartment	Unit	Total	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	Electricity, production mix GR/GR U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	12.00733	9.852007007	2.155318442
1	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	10.35752	9.660118982	0.697403694
2	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	1.231376	0.028627019	1.202749006
3	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	0.279381	0.056135012	0.223246243
4	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.072296	0.054054333	0.018242129
5	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.065377	0.051973145	0.013403515
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.001328	0.001058461	0.000269205
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	4.47E-05	4.00555E-05	4.64926E-06

Title: Analysing 1 p 'Coil coating ECCO, 600 kW, safety load solv.'
Method: EPD (2008) V1.03
Compartment: All compartments
Per sub-cc: No
Skip unuse: No
Indicator: Characterisation
Category: Global warming (GWP100)
Cut-off: 0%
Exclude inf: No
Exclude lo: No
Relative m: None

No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	Electricity, production mix GR/GR U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 eq	0.413772	0.233893219	0.044157705	0.135721364
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.302634	0.131573469	0.039541258	0.13151956
2	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.080707	0.080612669	2.0095E-05	7.39915E-05
3	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.017579	0.009959493	0.00452976	0.003089864
4	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.012275	0.011385734	5.23331E-05	0.000836864
5	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	0.000193	5.65651E-05	8.31772E-07	0.00013513
6	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	0.000145	0.000121488	1.89482E-06	2.15233E-05
7	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	0.000126	0.000103406	2.10402E-07	2.2366E-05
8	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	3.62E-05	2.75196E-05	4.94964E-08	8.6503E-06
9	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	2.48E-05	8.77387E-06	8.81983E-06	7.1695E-06
10	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg CO2 eq	1.49E-05	1.45488E-05	3.50885E-08	2.74652E-07
11	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CO2 eq	1.15E-05	1.02968E-05	2.1733E-08	1.15457E-06
12	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	8.95E-06	8.83351E-06	5.53088E-09	1.07567E-07
13	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air	kg CO2 eq	5.18E-06	1.80053E-06	2.17665E-06	1.20473E-06
14	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Air	kg CO2 eq	4.73E-06	4.44614E-06	5.24585E-08	2.35053E-07
15	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	4.28E-06	3.79387E-06	1.70225E-07	3.14827E-07
16	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	1.8E-06	3.90623E-09	4.46216E-11	1.79562E-06
17	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	8.95E-07	1.08687E-07	3.79574E-11	7.86078E-07
18	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	5.92E-07	2.32175E-07	6.28938E-10	3.59398E-07
19	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Air	kg CO2 eq	2.64E-08	2.57929E-08	4.43547E-12	6.29813E-10
20	Chloroform	Air	kg CO2 eq	1.9E-08	9.86899E-09	4.88774E-12	9.09294E-09
21	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	1.93E-09	1.82682E-09	3.31895E-13	9.941E-11
22	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	1.75E-09	2.12579E-10	7.42397E-14	1.53746E-09
23	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	2.35E-10	5.60983E-11	5.22933E-13	1.78566E-10
24	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	4.92E-11	5.97782E-12	2.08766E-15	4.32343E-11
25	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 eq	2.52E-11	1.73864E-11	1.68666E-13	7.67584E-12
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 eq	9.3E-18	6.06173E-18	1.00005E-20	3.22911E-18

Title: Analysing 1 p 'Coil coating ECCO, 600 kW, safety load solv.'
Method: EPD (2008) V1.03
Compartment: All compartments
Per sub-cc: No
Skip unuse: No
Indicator: Characterisation
Category: Non renewable, fossil
Cut-off: 0%
Exclude inf: No
Exclude lo: No
Relative m: None

No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	Electricity, production mix GR/GR U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	7.1074005	4.209240716	0.742841328	2.155318442
1	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	2.7447896	1.319012976	0.728372971	0.697403694
2	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	2.3995186	2.172039818	0.00423258	0.223246243
3	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	1.350394	0.145486492	0.002158477	1.202749006
4	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.3763456	0.354027791	0.004075697	0.01824213
5	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.2310058	0.213683521	0.003918775	0.013403515
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.004581	0.004231946	7.98079E-05	0.000269205
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	0.0007658	0.000758174	3.02018E-06	4.64926E-06

Title: Analysing 1 p 'Coil coating ECCO, 800 kW, max load solv.'							
Method: EPD (2008) V1.03							
Compartment All compartments							
Per sub-cc No							
Skip unused No							
Indicator: Characterisation							
Category: Global warming (GWP100)							
Cut-off: 0%							
Exclude inf No							
Exclude low No							
Relative m None							
No	Substance	Compartment Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	Electricity, production mix GR/GR U 2020	
	Total of all compartments	kg CO2 eq	0.404182	0.17991185		0.088549669	0.135721364
1	Carbon dioxide, fossil	Air kg CO2 eq	0.312018	0.101206605		0.079292285	0.13151956
2	Carbon monoxide, fossil	Air kg CO2 eq	0.062122	0.062007444		4.02966E-05	7.39915E-05
3	Methane, fossil	Air kg CO2 eq	0.019634	0.007660864		0.00908355	0.003089864
4	Dinitrogen monoxide	Air kg CO2 eq	0.0097	0.008757932		0.000104844	0.000336864
5	Methane, biogenic	Air kg CO2 eq	0.00018	4.351E-05		1.66796E-06	0.00013513
6	Sulfur hexafluoride	Air kg CO2 eq	0.000119	9.34491E-05		3.77965E-06	2.15233E-05
7	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air kg CO2 eq	0.000102	7.95403E-05		4.21921E-07	2.2366E-05
8	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air kg CO2 eq	3.16E-05	6.74888E-06		1.76864E-05	1.76864E-06
9	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air kg CO2 eq	2.99E-05	2.11682E-05		9.92554E-08	8.65063E-06
10	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air kg CO2 eq	1.15E-05	1.1191E-05		7.03632E-08	2.74652E-07
11	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air kg CO2 eq	9.12E-06	7.92031E-06		4.35814E-08	1.15457E-06
12	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air kg CO2 eq	6.95E-06	1.38497E-06		4.36485E-06	1.20473E-06
13	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air kg CO2 eq	6.91E-06	6.79475E-06		1.10911E-08	1.07567E-07
14	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC	Air kg CO2 eq	3.76E-06	3.41998E-06		1.05195E-07	2.35053E-07
15	Carbon dioxide, land transformation	Air kg CO2 eq	3.57E-06	2.91625E-06		3.41333E-07	3.14827E-07
16	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air kg CO2 eq	1.8E-06	3.00468E-09		8.948E-11	1.79562E-06
17	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air kg CO2 eq	8.7E-07	8.36027E-08		7.61162E-11	7.86078E-07
18	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air kg CO2 eq	5.39E-07	1.78589E-07		1.26121E-09	3.59398E-07
19	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-1	Air kg CO2 eq	2.05E-08	1.984E-08		8.8947E-12	6.29813E-10
20	Chloroform	Air kg CO2 eq	1.67E-08	7.60664E-09		9.80141E-12	9.09294E-09
21	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air kg CO2 eq	1.7E-09	1.63516E-10		1.48873E-13	1.53746E-09
22	Methane, dichloro-, HCC-30	Air kg CO2 eq	1.51E-09	1.40519E-09		6.6555E-13	9.941E-11
23	Methane, monochloro-, R-40	Air kg CO2 eq	2.23E-10	4.31509E-11		1.04864E-12	1.7856E-10
24	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air kg CO2 eq	4.78E-11	4.59816E-12		4.18639E-15	4.32343E-11
25	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air kg CO2 eq	2.14E-11	1.33736E-11		3.38226E-13	7.67584E-12
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air kg CO2 eq	7.91E-18	4.6627E-18		2.00541E-20	3.22911E-18

Title: Analysing 1 p 'Coil coating ECCO, 800 kW, max load solv.'							
Method: EPD (2008) V1.03							
Compartment All compartments							
Per sub-cc No							
Skip unused No							
Indicator: Characterisation							
Category: Non renewable, fossil							
Cut-off: 0%							
Exclude inf No							
Exclude low No							
Relative m None							
No	Substance	Compartment Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	Electricity, production mix GR/GR U 2020	
	Total of all compartments	MJ eq	6.892699	3.23775733		1.489623459	2.155318442
1	Gas, natural, in ground	Raw MJ eq	3.172601	1.014587718		1.460609999	0.697403694
2	Oil, crude, in ground	Raw MJ eq	1.902472	1.670737864		0.008487614	0.223246243
3	Coal, brown, in ground	Raw MJ eq	1.318986	0.111908533		0.004328405	1.202749006
4	Uranium, in ground	Raw MJ eq	0.298734	0.272318965		0.008173015	0.01824213
5	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw MJ eq	0.185628	0.16436584		0.007858339	0.013403515
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw MJ eq	0.003684	0.003255222		0.000160039	0.000269205
7	Peat, in ground	Raw MJ eq	0.000594	0.000583189		6.05639E-06	4.64926E-06

Title:	Analysing 1 p 'Coil coating ECCO, 800 kW, min load solv.'					
Method:	EPD (2008) V1.03					
Compartment:	All compartments					
Per sub-cc:	No					
Skip unused:	No					
Indicator:	Characterisation					
Category:	Global warming (GWP100)					
Cut-off:	0%					
Exclude int:	No					
Exclude lo:	No					
Relative m:	None					

No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	Electricity, production mix GR/GR U 2020
	Total of all compartments		kg CO2 eq	1.049213	0.17911185	0.733580124	0.135721364
1	Carbon dioxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.889614	0.101206605	0.656888333	0.13151956
2	Methane, fossil	Air	kg CO2 eq	0.086002	0.007660864	0.075251686	0.003089864
3	Carbon monoxide, fossil	Air	kg CO2 eq	0.062415	0.062007444	0.000333833	7.39915E-05
4	Dinitrogen monoxide	Air	kg CO2 eq	0.010464	0.008757932	0.000869396	0.000836864
5	Methane, biogenic	Air	kg CO2 eq	0.000192	4.351E-05	1.3818E-05	0.00013513
6	Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Air	kg CO2 eq	0.00016	6.74888E-06	0.000146521	7.18365E-06
7	Sulfur hexafluoride	Air	kg CO2 eq	0.000146	9.34491E-05	3.13121E-05	2.15233E-05
8	Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Air	kg CO2 eq	0.000105	7.95403E-05	3.49536E-06	2.2368E-05
9	Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Air	kg CO2 eq	3.87E-05	1.38497E-06	3.61601E-05	1.20473E-06
10	Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Air	kg CO2 eq	3.06E-05	2.11682E-05	8.2227E-07	8.65063E-06
11	Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Air	kg CO2 eq	1.2E-05	1.1191E-05	5.82916E-07	2.74652E-07
12	Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Air	kg CO2 eq	9.44E-06	7.92031E-06	3.61045E-07	1.15457E-06
13	Methane, tetrachloro-, CFC-10	Air	kg CO2 eq	6.99E-06	6.79475E-06	9.18831E-08	1.07567E-07
14	Carbon dioxide, land transformation	Air	kg CO2 eq	6.06E-06	2.91825E-06	2.8279E-06	3.14827E-07
15	Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Air	kg CO2 eq	4.53E-06	3.41998E-06	8.7148E-07	2.35053E-07
16	Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Air	kg CO2 eq	1.8E-06	3.00468E-09	7.41287E-10	1.79562E-06
17	Methane, trifluoro-, HFC-23	Air	kg CO2 eq	8.7E-07	8.36027E-08	6.30577E-10	7.86078E-07
18	Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Air	kg CO2 eq	5.48E-07	1.78589E-07	1.04484E-08	3.59398E-07
19	Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Air	kg CO2 eq	2.05E-08	1.984E-08	7.36853E-11	6.29813E-10
20	Chloroform	Air	kg CO2 eq	1.68E-08	7.60664E-09	8.11987E-11	9.09294E-09
21	Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Air	kg CO2 eq	1.7E-09	1.63616E-10	1.23332E-12	1.53746E-09
22	Methane, dichloro-, HCC-30	Air	kg CO2 eq	1.51E-09	1.40519E-09	5.51988E-12	9.841E-11
23	Methane, monochloro-, R-40	Air	kg CO2 eq	2.3E-10	4.31509E-11	8.68734E-12	1.78556E-10
24	Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Air	kg CO2 eq	4.79E-11	4.59816E-12	3.46817E-14	4.32343E-11
25	Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Air	kg CO2 eq	2.39E-11	1.33736E-11	2.802E-12	7.67584E-12
26	Methane, bromo-, Halon 1001	Air	kg CO2 eq	8.06E-18	4.6627E-18	1.66136E-19	3.22911E-18

Title:	Analysing 1 p 'Coil coating ECCO, 800 kW, min load solv.'					
Method:	EPD (2008) V1.03					
Compartment:	All compartments					
Per sub-cc:	No					
Skip unused:	No					
Indicator:	Characterisation					
Category:	Non renewable, fossil					
Cut-off:	0%					
Exclude int:	No					
Exclude lo:	No					
Relative m:	None					

No	Substance	Compartment	Unit	Total	Paint with solvent	Heat, natural gas, at industrial furnace >100kW/RER U 2020	Electricity, production mix GR/GR U 2020
	Total of all compartments		MJ eq	17.7337	3.23775733	12.34062398	2.155318442
1	Gas, natural, in ground	Raw	MJ eq	13.81226	1.014587718	12.10026504	0.697403694
2	Oil, crude, in ground	Raw	MJ eq	1.964299	1.670737884	0.070314716	0.223246243
3	Coal, brown, in ground	Raw	MJ eq	1.350516	0.111908533	0.035858204	1.20274906
4	Uranium, in ground	Raw	MJ eq	0.35827	0.272318965	0.067708457	0.01824213
5	Coal, hard, unspecified, in ground	Raw	MJ eq	0.242871	0.16436584	0.065101561	0.013403515
6	Gas, mine, off-gas, process, coal mining/m3	Raw	MJ eq	0.00485	0.003255222	0.001325828	0.000269205
7	Peat, in ground	Raw	MJ eq	0.000638	0.000583189	5.01735E-05	4.64926E-06

Παράρτημα 2

Διαδικασία υπολογισμού των συντελεστών εκπομπών

Συντελεστές εκπομπών από την καύση του φυσικού αερίου και από τον ατμοποιημένο διαλύτη.

Για τον υπολογισμό των εκπομπών του CO₂ που προκύπτουν από την καύση του φυσικού αερίου και του ατμοποιημένου διαλύτη είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των συντελεστών εκπομπών (emission factors). Παρακάτω παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό του συντελεστή εκπομπής του φυσικού αερίου:

Συντελεστής εκπομπών φυσικού αερίου

Αρχικά είναι γνωστά τα μοριακά βάρη:

- Για τον άνθρακα: $M_C = 12 \frac{kg}{kmol}$
- Για το υδρογόνο: $M_H = 1 \frac{kg}{kmol}$
- Για το οξυγόνο: $M_O = 16 \frac{kg}{kmol}$

Το φυσικό αέριο αποτελείται από:

- Μεθάνιο CH₄ σε ποσοστό κατά μάζα 91.4%
- Αιθάνιο C₂H₆ σε ποσοστό κατά μάζα 7.2%
- Προπάνιο C₃H₈ σε ποσοστό κατά μάζα 0.5%

Και τα αντίστοιχα μοριακά βάρη θα είναι:

- $M_{CH_4} = 1 \cdot 12 + 4 \cdot 1 = 16 \frac{kg}{kmol}$
- $M_{C_2H_6} = 2 \cdot 12 + 6 \cdot 1 = 30 \frac{kg}{kmol}$
- $M_{C_3H_8} = 3 \cdot 12 + 8 \cdot 1 = 44 \frac{kg}{kmol}$

Και πολλαπλασιάζοντας με τα αντίστοιχα ποσοστά για το φυσικό αέριο:

- $M'_{CH_4} = 0.914 \cdot 16 = 14.624 \frac{kg}{kmol}$
- $M'_{C_2H_6} = 0.072 \cdot 30 = 2.16 \frac{kg}{kmol}$
- $M'_{C_3H_8} = 0.005 \cdot 44 = 0.22 \frac{kg}{kmol}$

Άρα η μάζα του φυσικού αερίου θα είναι:

$$M_{NG} = M'_{CH_4} + M'_{C_2H_6} + M'_{C_3H_8} = 14.624 + 2.16 + 0.22 = 17.004 \text{ kg Natural Gas}$$

Η κατώτερη θερμογόνο ικανότητα σε αυτή την περίπτωση τη λαμβάνουμε υπόψη να είναι:

$$Hu_{N.G.} = 48.917 \frac{MJ_{N.G.}}{kg} = 48.917 \cdot \frac{1}{3.6} \frac{kWh_{N.G.}}{kg} = 13.5 \frac{kWh_{N.G.}}{kg}$$

Ακόμα γίνεται η παραδοχή ότι 1 μόριο άνθρακα C κατά την καύση μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα CO₂. Συνεπώς:

- Το CH₄ έχει 1 μόριο άνθρακα
- Το C₂H₆ έχει 2 μόρια άνθρακα
- Το C₃H₈ έχει 3 μόρια άνθρακα

Άρα

$$P_{CH_4} = 0.914 \cdot 1 = 0.914$$

$$P_{C_2H_6} = 0.072 \cdot 2 = 0.144$$

$$P_{C_3H_8} = 0.005 \cdot 3 = 0.015$$

Άρα για το φυσικό αέριο

$$P_{N.G.} = P_{CH_4} + P_{C_2H_6} + P_{C_3H_8} = 1.073$$

Ακόμα το μοριακό βάρος του διοξειδίου του άνθρακα είναι:

$$M_{CO_2} = 12 \cdot 1 + 2 \cdot 16 = 44 \frac{kg}{kmol}$$

Και η μάζα του διοξειδίου του άνθρακα που προκύπτει από την καύση του φυσικού αερίου θα είναι:

$$M'_{CO_2} = M_{CO_2} \cdot P_{N.G.} = 47.212 \text{ kg } CO_2$$

$$E_{N.G.} = \frac{M'_{CO_2}}{M_{N.G.}} \cdot \frac{1}{Hu_{N.G.}} = \frac{47.212 \text{ kg } CO_2}{17.004 \text{ kg } N.G.} \cdot \frac{kg \text{ } N.G.}{48.917 \text{ MJ}_{N.G.}} = 0.0568 \frac{kg \text{ } CO_2}{MJ_{N.G.}}$$

Άρα ο συντελεστής εκπομπής για το CO₂ είναι:

$$E_{N.G.} = 0.2043 \frac{kg \text{ } CO_2}{kWh \text{ } N.G.}$$

Συντελεστής Εκπομπών του PVDF (ατμοποιημένος διαλύτης)

Στα πλαίσια της συγκεκριμένης μελέτης γίνεται η παραδοχή ότι ο ατμοποιημένος διαλύτης είναι PVDF (Polyvinylidene fluoride).

Το PVDF αποτελείται από τα εξής

- C₁₀H₂₀O₄ με ποσοστό κατά μάζα 42.55%
- C₇H₁₆O₃ με ποσοστό κατά μάζα 6.38%
- C₄H₁₀O με ποσοστό κατά μάζα 4.26%
- C₉H₁₂ με ποσοστό κατά μάζα 12.77%
- C₈H₁₀ με ποσοστό κατά μάζα 17.01%
- C₄H₈O₂ με ποσοστό κατά μάζα 4.26%

- $C_8H_{16}O_3$ με ποσοστό κατά μάζα 12.77%

Και τα αντίστοιχα μοριακά βάρη θα είναι:

- $M_{C_{10}H_{20}O_4} = 10 \cdot 12 + 20 \cdot 1 + 4 \cdot 16 = 204 \frac{kg}{kmol}$
- $M_{C_7H_{16}O_3} = 7 \cdot 12 + 16 \cdot 1 + 4 \cdot 16 = 112 \frac{kg}{kmol}$
- $M_{C_4H_{10}O} = 4 \cdot 12 + 10 \cdot 1 + 16 = 61 \frac{kg}{kmol}$
- $M_{C_9H_{12}} = 9 \cdot 12 + 12 \cdot 1 = 120 \frac{kg}{kmol}$
- $M_{C_8H_{10}} = 8 \cdot 12 + 10 \cdot 1 = 106 \frac{kg}{kmol}$
- $M_{C_4H_8O_2} = 4 \cdot 12 + 8 \cdot 1 + 2 \cdot 16 = 56 \frac{kg}{kmol}$
- $M_{C_8H_{16}O_3} = 8 \cdot 12 + 16 \cdot 1 + 3 \cdot 16 = 118 \frac{kg}{kmol}$

Και πολλαπλασιάζοντας με τα αντίστοιχα ποσοστά για το PVDF:

- $M'_{C_{10}H_{20}O_4} = 204 \cdot 0.4255 = 86.802 \frac{kg}{kmol}$
- $M'_{C_7H_{16}O_3} = 112 \cdot 0.0638 = 7.1456 \frac{kg}{kmol}$
- $M'_{C_4H_{10}O} = 61 \cdot 0.0426 = 2.5986 \frac{kg}{kmol}$
- $M'_{C_9H_{12}} = 120 \cdot 0.1277 = 15.324 \frac{kg}{kmol}$
- $M'_{C_8H_{10}} = 106 \cdot 0.1701 = 18.0306 \frac{kg}{kmol}$
- $M'_{C_4H_8O_2} = 56 \cdot 0.0426 = 2.3856 \frac{kg}{kmol}$
- $M'_{C_8H_{16}O_3} = 118 \cdot 0.1277 = 15.0686 \frac{kg}{kmol}$

Άρα η μάζα του PVDF θα είναι:

$$M_{PVDF} = M'_{C_{10}H_{20}O_4} + M'_{C_7H_{16}O_3} + M'_{C_4H_{10}O} + M'_{C_9H_{12}} + M'_{C_8H_{10}} + M'_{C_4H_8O_2} + M'_{C_8H_{16}O_3} \Rightarrow$$

$$M_{PVDF} = 147.355 \text{ kg PVDF}$$

Λαμβάνουμε την κατώτερη θερμογόνο ικανότητα ότι είναι η εξής:

$$Hu_{PVDF} = 31.368 \frac{MJ_{PVDF}}{kg} = 31.368 \cdot \frac{1 \text{ kWh}_{PVDF}}{3.6 \text{ kg}} = 8.7133 \frac{kWh_{PVDF}}{kg}$$

Ακόμα γίνεται η παραδοχή ότι 1 μόριο άνθρακα C κατά την καύση μετατρέπεται σε διοξείδιο του άνθρακα CO₂.

- Το $C_{10}H_{20}O_4$ έχει 10 μόρια άνθρακα
- Το $C_7H_{16}O_3$ έχει 7 μόρια άνθρακα
- Το $C_4H_{10}O$ έχει 4 μόρια άνθρακα
- Το C_9H_{12} έχει 9 μόρια άνθρακα
- Το C_8H_{10} έχει 8 μόρια άνθρακα
- Το $C_4H_8O_2$ έχει 4 μόρια άνθρακα
- Το $C_8H_{16}O_3$ έχει 8 μόρια άνθρακα

Άρα

$$P_{C_{10}H_{20}O_4} = 0.4255 \cdot 10 = 4.255$$

$$P_{C_7H_{16}O_3} = 0.0638 \cdot 7 = 0.4466$$

$$P_{C_4H_{10}O} = 0.0426 \cdot 4 = 0.1704$$

$$P_{C_9H_{12}} = 0.1277 \cdot 9 = 1.1493$$

$$P_{C_8H_{10}} = 0.1701 \cdot 8 = 1.3608$$

$$P_{C_4H_8O_2} = 0.04206 \cdot 4 = 0.1704$$

$$P_{C_8H_{16}O_3} = 0.1277 \cdot 8 = 1.0216$$

Άρα για το PVDF:

$$P_{PVDF} = P_{C_{10}H_{20}O_4} + P_{C_7H_{16}O_3} + P_{C_4H_{10}O} + P_{C_9H_{12}} + P_{C_8H_{10}} + P_{C_4H_8O_2} + P_{C_8H_{16}O_3} \Rightarrow$$
$$P_{PVDF} = 8.5741$$

Ακόμα, όπως και για το φυσικό αέριο, το μοριακό βάρος του διοξειδίου του άνθρακα είναι:

$$M_{CO_2} = 12 \cdot 1 + 2 \cdot 16 = 44 \frac{kg}{kmol}$$

Και η μάζα του διοξειδίου του άνθρακα που προκύπτει από την καύση του PVDF θα είναι:

$$M'_{CO_2} = M_{CO_2} \cdot P_{PVDF} = 377.2604 \text{ kg } CO_2$$

$$E_{PVDF} = \frac{M'_{CO_2}}{M_{PVDF}} \cdot \frac{1}{Hu_{PVDF}} = \frac{377.2604 \text{ kg } CO_2}{147.355 \text{ kg PVDF}} \cdot \frac{\text{kg PVDF}}{31.368 \text{ MJ}_{PVDF}} = 0.0816 \frac{\text{kg } CO_2}{\text{MJ}_{PVDF}}$$

Άρα ο συντελεστής εκπομπής για το CO₂ είναι:

$$E_{PVDF} = 0.2938 \frac{\text{kg } CO_2}{\text{kWh PVDF}}$$