



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
Τομέας Ανάλυσης, Σχεδιασμού και  
Ανάπτυξης Διεργασιών και  
Συστημάτων

ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΣΕ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑΣ  
ΝΤΟΜΑΤΑΣ ΚΑΙ ΕΝΣΩΜΑΤΩΣΗΣ ΠΑΛΜΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ  
ΠΕΔΙΩΝ ΜΕ ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΣΧΕΣΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ-ΝΕΡΟΥ ΚΑΙ  
ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΥΚΛΟΥ ΖΩΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Δαμασκηνός Κωνσταντίνος-Ποθητός

Επιβλέπουσα: Μαγδαληνή Κροκίδα  
Καθηγήτρια ΕΜΠ

Αθήνα, Φεβρουάριος 2023



## Ευχαριστίες

Στα πλαίσια της ολοκλήρωσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους καθηγητές μου και συγκεκριμένα την υπεύθυνη καθηγήτρια Κα. Μαγδαληνή Κροκίδα και τους Κον. Διονύση Ασημακόπουλο, Κον. Χρήστο Μπουκουβάλα και Κον. Τρύφωνα Κεκέ. Όμως πάνω από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου που έχουν θυσιάσει πολλά ώστε να βρίσκομαι σήμερα σε αυτήν την προνομιακή θέση.



## Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μελέτη των επιπτώσεων που έχει η ενσωμάτωση μονάδας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (Pulsed Electric Field, PEF) στην παραγωγική διαδικασία προϊόντων επεξεργασίας ντομάτας. Τα τελικά προϊόντα της βιομηχανικής παραγωγής είναι κονσερβοποιημένες ντομάτες και σάλτσα ντομάτας. Η μέθοδος των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων είναι μια μη-θερμική διεργασία που αποκτά τα τελευταία χρόνια διεθνές ενδιαφέρον διότι συμβάλει στην επεξεργασία φυτικών ιστών με κατανάλωση μικρότερου ποσού ενέργειας συγκριτικά με συμβατικές θερμικές διεργασίες. Αναλύονται με λεπτομέρεια ο σκοπός και τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας όλων των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα κατά την διάρκεια της παραγωγικής διεργασίας. Δίχως την προσθήκη της μονάδας PEF το εργοστάσιο επεξεργάζεται 56500 τόνους πρώτης ύλης ντομάτας και παράγει 26770 τόνους κονσερβοποιημένης ντομάτας, 8606 τόνους σάλτσα ντομάτας και 4779 τόνους παραπροϊόντος. Για να παραχθούν οι παραπάνω ποσότητες καταναλώθηκαν 87977 τόνους φρέσκου νερού, 1404,68 MWh και 782490 m<sup>3</sup> φυσικού αερίου. Η ενσωμάτωση της μονάδας PEF είχε ως αποτέλεσμα την εξοικονόμηση 413 τόνους φρέσκου νερού, 0,809 MWh και 29613,14 m<sup>3</sup> φυσικού αερίου. Έγινε αξιολόγηση κύκλου ζωής (Life Cycle Assessment, LCA) και των δύο συστημάτων με ορισμό λειτουργικής μονάδας τα 100 κιλά τροφοδοσίας πρώτης ύλης, με χρήση της μεθόδου ReCiPe 2016 η οποία υπολογίζει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα με βάση 18 μεσαία σημεία και 3 τελικά. Τα 3 τελικά σημεία είναι η επίπτωση στην ανθρώπινη υγεία [Daily], η επίπτωση στο οικοσύστημα [species.yr] και μείωση στην διαθεσιμότητα των πόρων [\$]. Η ενσωμάτωση της μονάδας PEF οδήγησε σε μεταβολή των τιμών στα τελικά σημεία κατά -2,50%, -3,99%, -3,66% αντίστοιχα. Από τα 18 μεσαία σημεία επιλέχθηκαν τα 5 πιο αντιπροσωπευτικά για το περιβαλλοντικό αποτύπωμα της βιομηχανίας επεξεργασίας ντομάτας. Αυτά είναι κλιματική αλλαγή χωρίς τον βιογενή άνθρακα, ο σχηματισμός λεπτών σωματιδίων, η εξάντληση ορυκτών πόρων, η κατανάλωση φρέσκου νερού και ο ευτροφισμός φρέσκου νερού. Η προσθήκη της μονάδας PEF οδήγησε σε μεταβολή των 5 μεσαίων σημείων κατά -11,89%, -0,60%, -4,04%, 0,00% και 0,00% αντίστοιχα. Επίσης, υπολογίστηκε η μαθηματική συσχέτιση μεταξύ των πόρων νερού, ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου. Για την υφιστάμενη κατάσταση η σχέση μεταξύ νερού-ηλεκτρικής ενέργειας ικανοποιεί την γραμμική σχέση  $y = 0,0162x - 19,851$ . Η σχέση μεταξύ νερού-φυσικού αερίου ικανοποιεί την γραμμική σχέση  $y = 9,0801x - 16347$ . Και τέλος η σχέση μεταξύ ηλεκτρικής ενέργειας-φυσικού αερίου περιγράφεται από την γραμμική σχέση  $y = 560,77x - 5215,2$ . Για την βιομηχανική εγκατάσταση στην οποία έχει ενσωματωθεί η μονάδα παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF) ισχύει ότι η σχέση μεταξύ νερού-ηλεκτρικής ενέργειας ικανοποιεί την γραμμική σχέση  $y = 0,0163x - 19,971$ . Η σχέση μεταξύ νερού-φυσικού αερίου ικανοποιεί την γραμμική σχέση  $y = 8,77851x - 15802$ . Και τέλος η σχέση μεταξύ ηλεκτρικής ενέργειας-φυσικού αερίου περιγράφεται από την γραμμική σχέση  $y = 539,86x - 5020,1$ . Τέλος, υπολογίστηκε ο περιβαλλοντικός δείκτης Nexus όπου σηματοδοτεί το πόσο ισχυρή είναι η συσχέτιση μεταξύ των καταναλισκόμενων πόρων. Για την υφιστάμενη κατάσταση υπολογίστηκε ίσος με 1 ενώ για το σύστημα όπου έχει γίνει η ενσωμάτωση της μονάδας PEF μειώθηκε ελάχιστα και υπολογίστηκε ίσος με 0,968.



## Abstract

In this thesis, the effects of the integration of a Pulsed Electric Field (PEF) unit in the production process of tomato products were studied. The final products of the industrial production are canned tomatoes and tomato sauce. The pulsed electric field method is a non-thermal process that has been gaining international interest in recent years because it contributes to the processing of plant tissues with less energy consumption compared to conventional thermal processes. The functionality, the mass and energy balances of all the processes that take place during the production process are analysed in detail. Without the addition of the PEF unit, the plant processes 56500 tonnes of tomato raw material and produces 26770 tonnes of canned tomatoes, 8606 tonnes of tomato sauce and 4779 tonnes of by-products. To produce the above quantities, 87977 tons of fresh water, 1404.68 *MWh* and 782490  $m^3$  of natural gas were consumed. The integration of the PEF plant resulted in savings of 413 tons of fresh water, 0.809 *MWh* and 29613.14  $m^3$  of natural gas. A Life Cycle Assessment (LCA) of both systems was performed with 100 *kg* of tomato raw material as a functional unit. The LCA was performed based on the ReCiPe 2016 method which calculates the environmental footprint based on 18 midpoints and 3 endpoints. The 3 endpoints are damage to Human Health [Daily], damage to Ecosystems [species.yr] and damage to Resource Availability [\$]. The addition of the PEF unit resulted in a change in the values of the endpoints by  $-2.50\%$ ,  $-3.99\%$ ,  $-3.66\%$  respectively. From the 18 midpoints, the 5 most representative of the environmental impact of the tomato processing industry were selected. These are climate change without biogenic carbon, fine particulate matter formation, fossil depletion, freshwater consumption and freshwater eutrophication. The addition of the PEF unit resulted in a change in the 5 midpoints of  $-11.89\%$ ,  $-0.60\%$ ,  $-4.04\%$ ,  $0.00\%$  and  $0.00\%$  respectively. The mathematical correlation between water, electricity and natural gas resources was also calculated. For the first system, the water-electricity relationship satisfies the linear relationship  $y = 0.0162x - 19.851$ . The relationship between water and natural gas satisfies the linear relationship  $y = 9,0801x - 16347$ . Finally, the relationship between electricity and natural gas is described by the linear relationship  $y = 560.77x - 5215.2$ . For the industrial facility in which the pulsed electric field (PEF) unit has been integrated, the water-electricity relationship satisfies the linear relationship  $y = 0.0163x - 19.971$ . The water-gas relationship satisfies the linear relationship  $y = 8,77851x - 15802$ . And finally, the relationship between electricity and natural gas is described by the linear relationship  $y = 539.86x - 5020.1$ . In the end, Nexus Quality Indicator was calculated which signals how strong the correlation between the consumed resources is. For the first system, it was calculated to be equal to 1, while for the system where the PEF unit has been integrated, it was reduced minimally and calculated to be equal to 0.968.





## Πίνακας περιεχομένων

1. Εισαγωγή.....	17
1.1 Βιομηχανικός κλάδος επεξεργασίας ντομάτας .....	18
1.1.1 Ντομάτα γενικά στοιχεία .....	18
1.1.2 Παγκόσμια και εγχώρια βιομηχανία επεξεργασίας ντομάτας .....	19
1.2 Παραπροϊόντα βιομηχανίας επεξεργασίας ντομάτας.....	22
2. Περιγραφή παραγωγικών διεργασιών - Διάγραμμα ροής.....	23
2.1 Υφιστάμενης κατάστασης - Παραγωγικές διεργασίες .....	23
2.1.1 Παραλαβή – Έκπλυση πρώτης ύλης.....	24
2.1.2 Διαχωρισμός (οπτικός και φυσικός) .....	35
2.1.3 Ξεφλούδισμα (Thermophysical Peeling).....	38
2.1.4 Τεμάχισμα και Σύνθλιψη (crushing).....	41
2.1.5 Απενεργοποίηση ενζύμων (Hot break) .....	43
2.1.6 Εξαγωγή χυμού (juice extraction) .....	47
2.1.7 Εξάτμιση (Evaporation) .....	48
2.1.8 Προθέρμανση .....	51
2.1.9 Γέμισμα κονσερβών με τεμαχισμένες ή ολόκληρες ντομάτες .....	54
2.1.10 Παστερίωση.....	55
2.1.11 Σύστημα καθαρισμού (CIP, Cleaning In Place) .....	62
2.1.12 Σύστημα καθαρισμού νερού αποβλήτων (Water treatment) .....	63
2.1.13 Εγκατάσταση λέβητα (Boiler).....	66
2.1.14 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας – θερμικές διεργασίες .....	69
2.1.15 Ολοκληρωμένα διαγράμματα ροής για την υφιστάμενη κατάσταση.....	71
2.2 Νέα κατάσταση-ενσωμάτωση Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων (ΠΗΠ) .....	73
2.2.1 Επεξεργασία με Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία (ΠΗΠ) (Pulsed Electric Field, PEF) .....	73
2.2.2 Επίδραση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΗΠ) σε φυτικούς ιστούς.....	78
2.2.3 Ισοζύγια και διαγράμματα ροής για νέα κατάσταση με ενσωμάτωση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΗΠ) .....	80
2.2.4 Επίδραση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στην συγκέντρωση καροτενοειδών στα προϊόντα και παραπροϊόντα βιομηχανίας επεξεργασίας ντομάτας .....	83
3. Αξιολόγηση κύκλου ζωής (ΑΚΖ) .....	86
3.1 Οι κύριες αρχές της αξιολόγησης του κύκλου ζωής.....	87
3.2 Οι φάσεις της αξιολόγησης του κύκλου ζωής .....	89
3.2.1 Ορισμός στόχου και Πεδίου Εφαρμογής (Scope of the study).....	90

3.2.2 Συλλογή Δεδομένων (Inventory).....	92
3.2.3 Εκτίμηση Επιπτώσεων (Impact assessment).....	95
3.2.4 Ερμηνεία αποτελεσμάτων (Interpretation) .....	98
3.3 Επεξεργασία δεδομένων και αποτελέσματα αξιολόγησης κύκλου ζωής.....	100
3.3.1 Επιλογή λογισμικού πακέτου AKZ.....	100
3.3.2 Ορισμός στόχου και πεδίου εφαρμογής (Goal and scope of the study) .....	100
3.3.3 Συλλογή δεδομένων .....	104
3.4 Αποτελέσματα αξιολόγησης κύκλου ζωής .....	109
3.4.1 Αποτελέσματα για το σύστημα υφιστάμενης κατάστασης.....	109
3.4.2 Αποτελέσματα για το σύστημα με ενσωμάτωση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων	113
3.4.3 Ερμηνεία αποτελεσμάτων αξιολόγησης κύκλου ζωής .....	117
4. Σχέση νερού-ενέργειας/ water-energy Nexus.....	121
4.1 Διαγράμματα και μαθηματική συνάρτηση μεταξύ των μεταβλητών νερού, ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου .....	121
4.2 Υπολογισμός δεικτών Nexus.....	124
5. Σχολιασμός αποτελεσμάτων, συμπεράσματα και μελλοντικές προτάσεις.....	128
6. Βιβλιογραφικές αναφορές.....	132

## Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Δεδομένα ποσότητας και γεωγραφικής έκτασης καλλιέργειας για την παραγωγή ντομάτας παγκοσμίως για το έτος 2020 <sup>[3]</sup> .....	20
Πίνακας 2: Σύσταση παραπροϊόντων ντομάτας σε θρεπτικά και βίο-δραστικά συστατικά <sup>[10]</sup> . .....	22
Πίνακας 3: Χημική σύσταση παραπροϊόντων που αξιοποιούνται για ζωοτροφές σε g/100g ξηρής μάζας <sup>[8]</sup> . ....	23
Πίνακας 4: Ισοζύγιο μάζας νερού χωρίς αλλαγή του νερού. ....	29
Πίνακας 5: Ισοζύγιο μάζας νερού με μια αλλαγή του νερού κατά την διάρκεια της μέρας. .	30
Πίνακας 6: Ισοζύγια μάζας διεργασιών παραλαβής και έκπλυσης πρώτης ύλης. ....	31
Πίνακας 7: Ισοζύγια ενέργειας για αντλίες πηγαδιών. ....	33
Πίνακας 8: Ισοζύγια ενέργειας για φυγοκεντρική αντλία (έκπλυση). ....	34
Πίνακας 9: Ισοζύγιο ενέργειας βιδωτό μεταφορέα (screw conveyor). ....	34
Πίνακας 10: Ισοζύγια μάζας για το στάδιο του διαχωρισμού. ....	37
Πίνακας 11: Ισοζύγια μάζας για στάδιο ξεφλουδίσματος. ....	39
Πίνακας 12: Ισοζύγια θερμικής ενέργειας για στάδιο ξεφλουδίσματος. ....	41
Πίνακας 13: Ισοζύγια μάζας για στάδιο τεμαχισμού και στάδιο σύνθλιψης. ....	42
Πίνακας 14: Ισοζύγια μάζας για στάδιο απενεργοποίησης ενζύμων. ....	44
Πίνακας 15: Σενάριο λειτουργίας για κατανάλωση νερού στο στάδιο απενεργοποίησης ενζύμων.....	45
Πίνακας 16: Ισοζύγια θερμικής ενέργειας για το στάδιο απενεργοποίησης ενζύμων.....	46
Πίνακας 17: Ισοζύγια μάζας για το στάδιο εξαγωγής χυμού ντομάτας.....	47
Πίνακας 18: Ισοζύγια μάζας για στάδιο εξάτμισης. ....	48
Πίνακας 19: Σενάριο λειτουργίας για κατανάλωση νερού στο στάδιο εξάτμισης. ....	49
Πίνακας 20: Ισοζύγια θερμικής ενέργειας για το στάδιο εξάτμισης. ....	50
Πίνακας 21: Ισοζύγια μάζας για το στάδιο προθέρμανσης. ....	51
Πίνακας 22: Σενάριο λειτουργίας για κατανάλωση νερού στο στάδιο της προθέρμανσης...	52
Πίνακας 23: Ισοζύγια θερμικής ενέργειας για το στάδιο της προθέρμανσης. ....	53
Πίνακας 24: Ισοζύγια μάζας για το στάδιο συσκευασίας κονσερβών. ....	54
Πίνακας 25: Ισοζύγια μάζας για το στάδιο της παστερίωσης. ....	56
Πίνακας 26: Σενάριο λειτουργίας για κατανάλωση νερού για θερμική επεξεργασία στο στάδιο της παστερίωσης. ....	57
Πίνακας 27: Ισοζύγια θερμικής ενέργειας για το στάδιο της παστερίωσης.....	58
Πίνακας 28: Ισοζύγια ενέργειας και μάζας για την λειτουργία του πύργου ψύξης. ....	59
Πίνακας 29: Ημερήσιο σενάριο λειτουργίας για τον πύργο ψύξης.....	60
Πίνακας 30: Ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας για φυγοκεντρική αντλία (πύργος ψύξης).....	61
Πίνακας 31: Ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργεια για τους ανεμιστήρες του πύργου ψύξης <sup>[24]</sup> .....	61
Πίνακας 32: Ισοζύγια για κατανάλωση φυσικού αερίου και νερού στην εγκατάσταση του λέβητα.....	66
Πίνακας 33: Ισοζύγια ηλεκτρικής ενέργειας για ανεμιστήρες λέβητα. ....	69
Πίνακας 34: Ισοζύγια ενέργειας για αντλίες καυσίμου λέβητα.....	69
Πίνακας 35: Υπολογισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε μία από τις θερμικές διεργασίες.....	70

Πίνακας 36: Ισοζύγια μάζας και ηλεκτρικής ενέργειας για την μονάδα παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF).....	80
Πίνακας 37: Σύγκριση συγκεντρώσεων καρτενοειδών σε δείγμα κονσέρβας ντομάτας που έχει επεξεργαστεί με PEF και δείγματος που δεν έχει υποστεί επεξεργασία. ....	83
Πίνακας 38: Σύγκριση ποσότητας λυκοπενίου σε δείγμα παραπροϊόντος βιομηχανίας ντομάτας που έχει επεξεργαστεί με PEF και δείγματος που δεν έχει υποστεί επεξεργασία <sup>[61]</sup> . ....	85
Πίνακας 39: Σύγκριση αποδόσεων εξαγωγής λυκοπενίου πριν και μετά από επεξεργασία με PEF.....	85
Πίνακας 40: Μεσαία σημεία της μεθόδου ReCiPe 2016.....	98
Πίνακας 41: Τελικά σημεία της μεθόδου ReCiPe 2016. ....	98
Πίνακας 42: Δεδομένα ρών εισόδου και εξόδου για κάθε διεργασία για την υφιστάμενη κατάσταση. ....	105
Πίνακας 43: Δεδομένα ρών εισόδου και εξόδου για κάθε διεργασία για την υφιστάμενη κατάσταση (συνέχεια). ....	106
Πίνακας 44: Δεδομένα ρών εισόδου και εξόδου για κάθε διεργασία για το σύστημα όπου έχει γίνει ενσωμάτωση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων. ....	107
Πίνακας 45: Δεδομένα ρών εισόδου και εξόδου για κάθε διεργασία για το σύστημα όπου έχει γίνει ενσωμάτωση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (συνέχεια).....	108
Πίνακας 46: Αποτελέσματα επιπτώσεων κατηγοριών τελικού σημείου για υφιστάμενη κατάσταση. ....	111
Πίνακας 47: Αποτελέσματα επιπτώσεων κατηγοριών τελικού σημείου με ενσωμάτωση μονάδας PEF. ....	115
Πίνακας 48: Σύγκριση αποτελεσμάτων και ποσοστιαία μεταβολή-κατηγορίες μεσαίου σημείου. ....	119
Πίνακας 49: Σύγκριση αποτελεσμάτων και ποσοστιαία μεταβολή-κατηγορίες τελικού σημείου. ....	120
Πίνακας 50: Υπολογισμός του δείκτη ένταση Nexus και για τα δύο συστήματα. ....	127
Πίνακας 51: Υπολογισμός του δείκτη NIS και για τα δύο συστήματα. ....	127
Πίνακας 52: Συνολική κατανάλωση νερού, ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου για τα δύο συστήματα. ....	128
Πίνακας 48: Σύγκριση αποτελεσμάτων και ποσοστιαία μεταβολή-κατηγορίες μεσαίου σημείου. ....	129
Πίνακας 49: Σύγκριση αποτελεσμάτων και ποσοστιαία μεταβολή-κατηγορίες τελικού σημείου. ....	130

## Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Διεργασίας μεταφοράς της πρώτης ύλης από τα φορητά στο ρυάκι, flume <sup>[11]</sup> . ...	25
Εικόνα 2: Απεικόνιση flume μεταλλικής (πάνω μέρος) και τσιμεντένιας κατασκευής (κάτω μέρος). .....	25
Εικόνα 3: Ιμάντες ανύψωσης στο τέλος της διεργασίας πλυσίματος και ψεκαστήρες πόσιμο νερού για ξέβγαλμα. ....	26
Εικόνα 4: Εξωτερική όψη μιας φυγοκεντρικής αντλίας <sup>[11]</sup> . ....	27
Εικόνα 5: Εσωτερική απεικόνιση φυγοκεντρικής αντλίας <sup>[11]</sup> . ....	27
Εικόνα 6: Βιδωτός μεταφορέας (screw conveyor) <sup>[14]</sup> . ....	28
Εικόνα 7: Βιομηχανική εγκατάσταση μηχανήματος Typhoon της εταιρείας Raytec vision <sup>[17]</sup> . .....	36
Εικόνα 8: Υδραυλικά πιστόνια από βιομηχανική εγκατάσταση Rayvolution. ....	36
Εικόνα 9: Απορριπτά δείγματα πρώτης ύλης στο στάδιο του οπτικού διαχωρισμού. ....	37
Εικόνα 10: Απεικόνιση της ντομάτας σε κάθε φάση κατά το στάδιο του ξεφλουδίσματος <sup>[23]</sup> . .....	39
Εικόνα 11: Εναλλάκτης θερμότητας κελύφους-σωλήνα για το στάδιο προθέρμανσης σάλτσας ντομάτας <sup>[37]</sup> . ....	51
Εικόνα 12: Παράδειγμα εγκατάστασης CIP <sup>[43]</sup> . ....	62
Εικόνα 13: Δεξαμενή πρώτου σταδίου επεξεργασίας υγρών αποβλήτων <sup>[45]</sup> . ....	63
Εικόνα 14: Απεικόνιση εσωτερικής διάταξης λέβητα ατμού (firetube boiler) <sup>[55]</sup> . ....	67
Εικόνα 15: Σχηματική απεικόνιση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (AKZ) <sup>[74]</sup> . ....	86
Εικόνα 16: Κύριες φάσεις της AKZ <sup>[78]</sup> . ....	90

## Κατάλογος διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Ποσοστό πωλήσεων των κυρίων προϊόντων της βιομηχανίας επεξεργασίας ντομάτας στην παγκόσμια αγορά <sup>[5]</sup> . .....	21
Διάγραμμα 2: Διάγραμμα ροής για τα στάδια παραλαβής και έκπλυσης μαζί με τις ποσότητες των ρευμάτων. ....	35
Διάγραμμα 3: Διάγραμμα ροής για το στάδιο διαχωρισμού μαζί με τις ποσότητες των ρευμάτων. ....	38
Διάγραμμα 4: Διάγραμμα ροής για το στάδιο ξεφλουδίσματος μαζί με τις ποσότητες των ρευμάτων. ....	41
Διάγραμμα 5: Διαγράμματα ροής για στάδιο τεμαχίσματος και σύνθλιψης. ....	43
Διάγραμμα 6: Διαγράμματα ροής για στάδιο απενεργοποίησης ενζύμων. ....	47
Διάγραμμα 7: Διαγράμματα ροής για στάδιο εξαγωγής χυμού ντομάτας. ....	48
Διάγραμμα 8: Διαγράμματα ροής για στάδιο εξάτμισης. ....	50
Διάγραμμα 9: Διαγράμματα ροής για στάδιο προθέρμανσης. ....	53
Διάγραμμα 10: Διάγραμμα ροής για στάδιο συσκευασίας κονσερβών. ....	54
Διάγραμμα 11: Διάγραμμα λειτουργίας πύργου ψύξης που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση για ψύξη νερού <sup>[39]</sup> . ....	56
Διάγραμμα 12: Διάγραμμα ροής για το στάδιο της παστερίωσης (συμπεριλαμβάνεται η εγκατάσταση του πύργου ψύξης). ....	61
Διάγραμμα 13: Στάδια επεξεργασίας υγρών βιομηχανικών αποβλήτων και ιλύς <sup>[48]</sup> . ....	65
Διάγραμμα 14: Διάγραμμα ροής για την υφιστάμενη κατάσταση. ....	71
Διάγραμμα 15: Διάγραμμα ροής για υφιστάμενη κατάσταση στο υπολογιστικό περιβάλλον του προγράμματος Water-Energy-Waste Nexus*. ....	72
Διάγραμμα 16: Σχήματα παλμών για τεχνολογία παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF) <sup>[64]</sup> . ...	75
Διάγραμμα 17: Διάγραμμα του συστήματος επεξεργασίας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF) <sup>[65]</sup> . ....	76
Διάγραμμα 18: Διάγραμμα ροής ενός τυπικού συστήματος PEF <sup>[68]</sup> . ....	77
Διάγραμμα 19: Επίδραση PEF στην κυτταρική μεμβράνη-φαινόμενο ηλεκτροδιάτρησης <sup>[69]</sup> . ....	78
Διάγραμμα 20: Διάγραμμα ροής για νέα κατάσταση με ενσωμάτωση μονάδας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF). ....	81
Διάγραμμα 21: Διάγραμμα ροής για νέα κατάσταση με ενσωμάτωση μονάδας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF) στο υπολογιστικό περιβάλλον του προγράμματος Water-Energy-Waste Nexus*. ....	82
Διάγραμμα 22: Σύγκριση συγκεντρώσεων καροτενοειδών σε δείγμα κονσέρβας ντομάτας που έχει επεξεργαστεί με PEF και δείγματος που δεν έχει υποστεί επεξεργασία <sup>[70]</sup> . ....	84
Διάγραμμα 23: Σύγκριση ολικής συγκέντρωσης καροτενοειδών σε δείγμα κονσέρβας ντομάτας που έχει επεξεργαστεί με PEF και δείγματος που δεν έχει υποστεί επεξεργασία <sup>[70]</sup> . ....	84
Διάγραμμα 24: Ποσότητα λυκοπενίου που παραλήφθηκε από δείγμα παραπροϊόντος βιομηχανίας ντομάτας που έχει υποστεί PEF και δείγματος που δεν έχει υποστεί. ....	85
Διάγραμμα 25: Μεθοδολογία για υπολογισμό μεσαίων και τελικών σημείων για AKZ <sup>[86]</sup> . ....	97
Διάγραμμα 26: Διάγραμμα ροής υφιστάμενης κατάστασης στο λογισμικό Gabi. ....	103

Διάγραμμα 27: Διάγραμμα ροής με ενσωμάτωση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στο λογισμικό Gabi .....	103
Διάγραμμα 28: Κατηγορία επίπτωσης κλιματικής αλλαγής, χωρίς τον βιογενή άνθρακα-υφιστάμενη κατάσταση.....	109
Διάγραμμα 29: Κατηγορία επίπτωσης σχηματισμού λεπτών σωματιδίων-υφιστάμενη κατάσταση. ....	109
Διάγραμμα 30: Κατηγορία επίπτωσης εξάντλησης ορυκτών πόρων-υφιστάμενη κατάσταση. ....	110
Διάγραμμα 31: Κατηγορία επίπτωσης κατανάλωσης φρέσκου νερού-υφιστάμενη κατάσταση. ....	110
Διάγραμμα 32: Κατηγορία επίπτωσης ευτροφισμού φρέσκου νερού-υφιστάμενη κατάσταση. ....	111
Διάγραμμα 33: Ποσοστιαία συνεισφορά των διεργασιών στην εκάστοτε κατηγορία μεσαίου σημείου – υφιστάμενη κατάσταση επίπεδο ανάλυσης 2. ....	112
Διάγραμμα 34: Κατηγορία επίπτωσης κλιματικής Αλλαγής, χωρίς τον βιογενή άνθρακα-ενσωμάτωση μονάδας PEF.....	113
Διάγραμμα 35: Κατηγορία επίπτωσης σχηματισμού λεπτών σωματιδίων- ενσωμάτωση μονάδας PEF. ....	113
Διάγραμμα 36: Κατηγορία επίπτωσης εξάντλησης ορυκτών πόρων- ενσωμάτωση μονάδας PEF.....	114
Διάγραμμα 37: Κατηγορία επίπτωσης κατανάλωσης φρέσκου νερού- ενσωμάτωση μονάδας PEF.....	114
Διάγραμμα 38: Κατηγορία επίπτωσης ευτροφισμού φρέσκου νερού- ενσωμάτωση μονάδας PEF.....	115
Διάγραμμα 39: Ποσοστιαία συνεισφορά των διεργασιών στην εκάστοτε κατηγορία μεσαίου σημείου –ενσωμάτωση μονάδας PEF επίπεδο ανάλυσης 2. ....	116
Διάγραμμα 40: Σχέση νερού-ηλεκτρικής ενέργειας για υφιστάμενη κατάσταση.....	121
Διάγραμμα 41: Σχέση νερού-φυσικού αερίου για υφιστάμενη κατάσταση. ....	122
Διάγραμμα 42: Σχέση ηλεκτρικής ενέργειας-φυσικού αερίου για υφιστάμενη κατάσταση. ....	122
Διάγραμμα 43: Σχέση νερού-ηλεκτρικής ενέργειας για σύστημα με μονάδα PEF.....	123
Διάγραμμα 44: Σχέση νερού-φυσικού αερίου για σύστημα με μονάδα PEF. ....	123
Διάγραμμα 45: Σχέση ηλεκτρικής ενέργειας-φυσικού αερίου για σύστημα με μονάδα PEF. ....	124





## 1. Εισαγωγή

Η βιομηχανία επεξεργασίας και παραγωγής προϊόντων ντομάτας έχει βιώσει μια άνθιση τα τελευταία χρόνια με τις παραγόμενες ποσότητες να αυξάνονται κάθε χρόνο ώστε να καλύψουν την παγκόσμια ζήτηση. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει και η Ελλάδα η οποία παράγει 908.250 μετρικούς τόνους ντομάτας σύμφωνα με τα δεδομένα του 2020<sup>[3]</sup>. Δεδομένου της ενεργειακής κρίσης και της αύξησης της τιμής της ηλεκτρικής ενέργειας και του φυσικού αερίου εξαιτίας του αβέβαιου και πολυτάραχου γεωπολιτικού περιβάλλοντος κρίνεται σκόπιμο να μελετηθούν τρόποι ώστε να μειωθεί η κατανάλωση αυτών των πόρων στα πλαίσια της βιομηχανίας επεξεργασίας προϊόντων ντομάτας. Κάτι τέτοιο αποσκοπεί στην βελτίωση της κερδοφορίας και της βιωσιμότητας αυτών των βιομηχανικών εγκαταστάσεων τόσο στην Ελλάδα όσο και στην υπόλοιπη Ευρώπη.

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της επίδρασης της μονάδας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF) στα πλαίσια της βιομηχανίας επεξεργασίας ντομάτας και στην παραγωγή προϊόντων κονσερβοποιημένης ντομάτας και σάλτσα ντομάτας. Στην εργασία αυτή θα γίνει αναλυτική περιγραφή των διεργασιών που λαμβάνουν χώρα προκειμένου να παραχθεί το τελικό προϊόν. Αυτό περιλαμβάνει τον σκοπό που εξυπηρετούν και τον λόγο που είναι απαραίτητες στην παραγωγική διαδικασία αλλά και τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας. Θα γίνει σύγκριση των δύο συστημάτων σε ότι αφορά την κατανάλωση νερού, ενέργειας και φυσικού αερίου ώστε να εξακριβωθεί η έκταση των πλεονεκτημάτων από την χρήση PEF. Παράλληλα θα γίνει αξιολόγηση κύκλου ζωής (LCA) και στα δύο συστήματα ώστε να υπολογιστεί το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των δύο συστημάτων. Τα αποτελέσματα θα συγκριθούν ώστε να καθοριστούν ποσοτικά τα περιβαλλοντικά οφέλη από την ενσωμάτωση της μονάδας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων. Τέλος, θα γίνει εκτίμηση της συσχέτισης μεταξύ των πόρων νερού και ενέργειας. Η ενέργεια περιλαμβάνει την ηλεκτρική ενέργεια καθώς και το φυσικό αέριο που καταναλώνει η εγκατάσταση. Αυτό έχει ως σκοπό να εκτιμηθεί κατά πόσο αλλάζει η ισχύς της συσχέτισης μεταξύ των πόρων για τα δύο συστήματα.

## 1.1 Βιομηχανικός κλάδος επεξεργασίας ντομάτας

### 1.1.1 Ντομάτα γενικά στοιχεία

Η ντομάτα είναι ένα φυτό της οικογένειας των Στρυχνοειδών (Solanaceae). Το επιστημονικό του όνομα είναι *Solanum lycopersicum* (Στρύχνον το λυκοπερσικόν). Είναι ποώδες φυτό, ετήσιο, διετές και σπανιότερα πολυετές. Το φυτό της τομάτας αναπτύσσει ευδιάκριτη κεντρική ρίζα, αρκετές δευτερεύουσες και ριζικά τριχίδια, όταν ο σπόρος σπέρνεται απευθείας στη μόνιμη θέση. Η ντομάτα ανήκει στην κατηγορία των φρούτων, όμως ο τρόπος που χρησιμοποιείται στις διατροφικές συνήθειες των ανθρώπων την καθιέρωσε ως λαχανικό. Ο τόπος καταγωγής της θεωρείται η Νότια Αμερική (ιδιαίτερα το Περού) όπου ακόμα και σήμερα φυτρώνουν μόνες τους διάφορες παραλλαγές της άγριας τομάτας. Από το Περού, η άγρια τομάτα έφτασε στην Κεντρική Αμερική (Μεξικό) ως ζιζάνιο με σπόρους καλαμποκιού. Στη συνέχεια ήρθε στην Ευρώπη τον 16ο αιώνα μέσω Ισπανών εξερευνητών. Μετά από μεγάλη περιπλάνηση στο γεωγραφικό χάρτη, η ντομάτα μεταφέρθηκε στην Ελλάδα το 1818, οπότε και άρχισε να καλλιεργείται<sup>[1]</sup>.

Η θερμοκρασία αποτελεί το βασικότερο παράγοντα εξέλιξης και ωρίμανσης του φυτού και οι απαιτήσεις του εξαρτώνται άμεσα από το στάδιο της ανάπτυξης που βρίσκεται. Η θερμοκρασία στο σπορείο μέχρι το φύτευμα των σπόρων και εμφάνιση των κοτυληδονόφυλλων είναι 24 – 27 C, ενώ σε χαμηλότερες θερμοκρασίες έχουμε καθυστέρηση του φυτρώματος, και στη συνέχεια υποβάλλονται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, δηλαδή 18 – 23 C την ημέρα και 14 – 16 C τη νύχτα. Η θερμοκρασία του εδάφους δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 14 C για μια καλή ανάπτυξη της ρίζας και ολόκληρου του φυτού. Η ντομάτα γενικώς αντέχει σε χαμηλές θερμοκρασίες της τάξεως των 10 – 12 C και σε υψηλές μέχρι 38 C, με φυσικά ανάλογη οψίμιση της καλλιέργειας και μείωση παραγωγικότητας. Δεν αναπτύσσεται όμως ικανοποιητικά σε θερμοκρασίες μικρότερες από 16 C και μπορεί να υποστεί ζημιές σε συνθήκες παγετού. Οι περιοχές καλλιέργειας του φυτού πρέπει να είναι απαλλαγμένες από χαμηλές θερμοκρασίες νύχτας (χαμηλότερες από 13,5 C) καθώς μειώνεται η παραγωγικότητα, ακόμα και αν οι θερμοκρασίες την ημέρα είναι υψηλές. Από την άλλη, οι υψηλές θερμοκρασίες ημέρας (27 C και άνω) περιορίζουν την ανάπτυξη του φυτού, ενώ γύρω στους 30 C προκαλείται πτώση των ανθέων. Οι ιδανικές συνθήκες μέρας/νύχτας για τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο, Μάιο, Ιούνιο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο είναι 27 C – 20C για τις ηλιόλουστες μέρες και 21 C – 15C για τις νεφосκεπείς ημέρες. Γενικά, για μια καλή παραγωγή, η διαφορά θερμοκρασιών ημέρας και νύχτας δεν πρέπει να ξεπερνάει τους 5 – 7 C. Η ντομάτα καλλιεργείται σε σχεδόν όλους τους τύπους εδάφους αλλά επιτυγχάνονται καλύτερες αποδόσεις σε εδάφη με ουδέτερο ή ελαφρά όξινο έδαφος (δηλαδή τιμές pH 6-7), καθώς το pH σε καλά επίπεδα λειτουργεί ως καταλύτης για την καλύτερη πρόσληψη διαφόρων θρεπτικών συστατικών από το έδαφος<sup>[2]</sup>.

### 1.1.2 Παγκόσμια και εγχώρια βιομηχανία επεξεργασίας ντομάτας

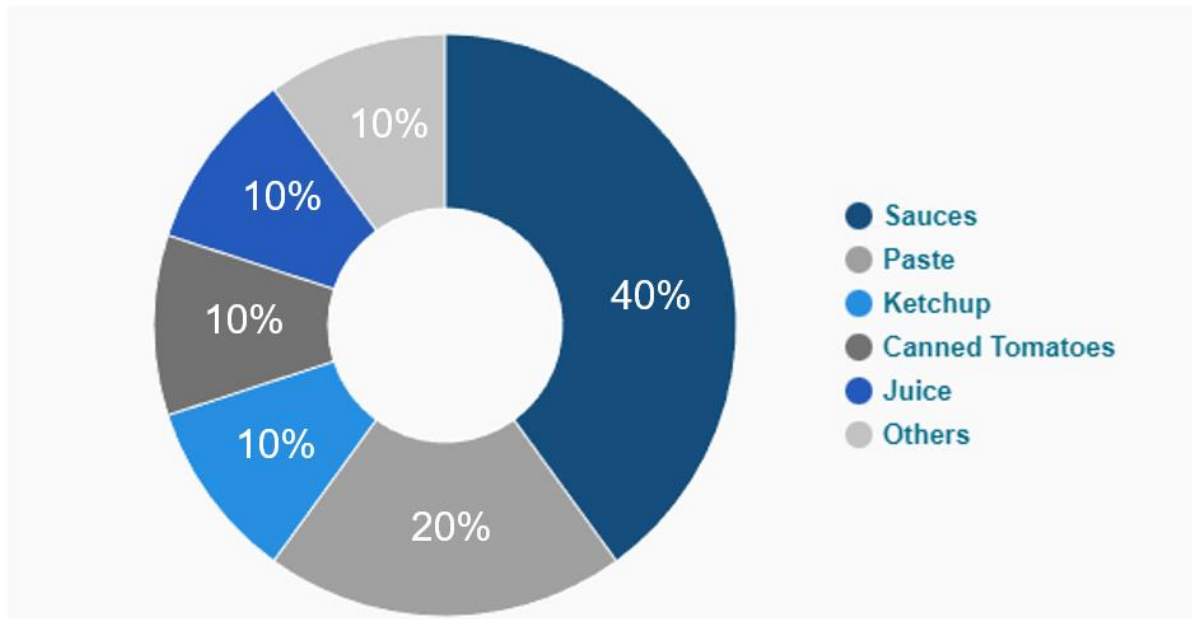
Σύμφωνα με τα στοιχεία του Διεθνούς Οργάνωση Τροφίμων και Γεωργίας κατά το έτος 2020 η παραγωγή ντομάτας παγκοσμίως έφτασε τους 186.918.865 μετρικούς τόνους. Περίπου το 20% της παραγόμενης ποσότητας εκείνη την χρονιά είχε καλλιεργηθεί με σκοπό να τροφοδοτήσει την παγκόσμια βιομηχανία επεξεργασίας ντομάτας. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι 30 χώρες με την μεγαλύτερη παραγωγή για το έτος 2020. Την πρώτη θέση καταλαμβάνει η Κίνα με 35% της παγκόσμιας παραγωγής με 64.865.807 μετρικούς τόνους ενώ η Ελλάδα βρίσκεται στην 23<sup>η</sup> με 908.250 μετρικούς τόνους<sup>[3][4]</sup>.

Στον Πίνακα 1 αναγράφεται και η γεωγραφική έκταση που απαιτήθηκε προκειμένου να παραχθούν οι αναγραφόμενοι μετρικοί τόνοι προϊόντος. Η μονάδα μέτρησης είναι το εκτάριο (hectare, ha) που ισούται με 10.000 τετραγωνικά μέτρα. Προκειμένου να παραχθούν 186.918.865 μετρικοί τόνοι ντομάτας χρειάστηκαν 5 εκατομμύρια εκτάρια καλλιεργήσιμης γης ή 50 δισεκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα. Για κάθε τόνο παραγωγής απαιτούνται κατά μέσο όρο 37 εκτάρια ή 370.000 τετραγωνικά μέτρα γης. Σύμφωνα με τα δεδομένα σχεδόν 160 εκατομμύρια τετραγωνικά καλλιεργήσιμων εκτάσεων αξιοποιήθηκαν για την ετήσια παραγωγή ντομάτας στον Ελλαδικό χώρο για το έτος 2020.

Πίνακας 1: Δεδομένα ποσότητας και γεωγραφικής έκτασης καλλιέργειας για την παραγωγή ντομάτας παγκοσμίως για το έτος 2020<sup>[3]</sup>.

<b>Worldwide tomato production in 2020</b>				
	<b>Total mT</b>	<i>of which for processing industry</i>	<b>ha</b>	<b>mT/ha</b>
China	64 865 807	5 800 000	1 111 480	58,4
India	20 573 000	152 000	812 000	25,3
Turkey	13 204 015	2 500 000	181 879	72,6
USA	12 227 402	<i>n.a.</i>	110 439	110,7
Egypt	6 731 220	420 000	170 862	39,4
Italy	6 247 910	5 166 000	99 780	62,6
Iran	5 787 094	1 300 000	129 058	44,8
Spain	4 312 900	2 650 000	55 470	77,8
Mexico	4 137 342	40 000	84 926	48,7
Brazil	3 753 595	1 421 000	51 960	72,2
Nigeria	3 693 722	<i>n.a.</i>	844 445	4,4
Russia	2 975 588	515 000	80 765	36,8
Ukraine	2 250 300	800 000	74 900	30,0
Uzbekistan	1 928 508	<i>n.a.</i>	57 746	33,4
Algeria	1 635 616	800 000	26 311	62,2
Tunisia	1 423 000	961 000	25 012	56,9
Portugal	1 399 210	1 262 000	15 040	93,0
Morocco	1 398 831	100 000	14 781	94,6
Cameroon	1 246 658	<i>n.a.</i>	101 350	12,3
Indonesia	1 084 993	<i>n.a.</i>	57 304	18,9
Kenya	1 046 181	<i>n.a.</i>	35 653	29,3
Netherlands	910 000	<i>n.a.</i>	1 870	486,6
Greece	908 250	420 000	15 820	57,4
Kazakhstan	788 760	<i>n.a.</i>	30 208	26,1
Syria	780 617	42 000	14 458	54,0
Chile	779 237	907 000	11 216	69,5
Azerbaijan	774 877	<i>n.a.</i>	19 371	40,0
Iraq	754 759	<i>n.a.</i>	31 979	23,6
Poland	718 300	175 000	8 500	84,5
Japan	706 000	23 000	11 400	61,9
other	17 875 173	12 948 000	769 995	23,2
<b>Total</b>	<b>186 918 865</b>	<b>38 402 000</b>	<b>5 055 978</b>	<b>37,0</b>

Τα κύρια προϊόντα της βιομηχανίας επεξεργασίας ντομάτας είναι οι σάλτσες, οι πάστες ντομάτας (paste), οι κονσέρβες με τεμαχισμένες ή ολόκληρες ντομάτες, προϊόντα ketchup και οι χυμοί ντομάτας. Στο Διάγραμμα 1 παρουσιάζονται τα κύρια προϊόντα της βιομηχανίας ως προς το ποσοστό του καθενός στις πωλήσεις στην παγκόσμια αγορά (market share)<sup>[5]</sup>



Διάγραμμα 1: Ποσοστό πωλήσεων των κυρίων προϊόντων της βιομηχανίας επεξεργασίας ντομάτας στην παγκόσμια αγορά<sup>[5]</sup>.

Το 2021 η ποσότητα ντομάτας που αξιοποιήθηκε από την βιομηχανία τροφίμων ήταν 43,4 εκατομμύρια μετρικούς τόνους. Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η ποσότητα αυξήθηκε από τους 38,4 εκατομμύρια μετρικούς τόνους που σημειώθηκε το 2020. Η τάση αυτή προβλέπεται να συνεχίσει, με τους αναλυτές να προβλέπουν ότι μέχρι το 2027 η ποσότητα ντομάτας που θα οδηγείται προς επεξεργασία και αξιοποίηση από την βιομηχανία θα ανέρχεται στους 54,5 εκατομμύρια μετρικούς τόνους με σύνθετο ετήσιο ποσοστό αύξησης ίσο με 3,8%<sup>[5]</sup>. Δίχως, αμφιβολία η βιομηχανία επεξεργασίας ντομάτας είναι ένας κλάδος που αναπτύσσεται και εξελίσσεται με τα χρόνια. Δεδομένου της κλίμακας της παγκόσμιας βιομηχανίας είναι σημαντικό να γίνει έρευνα στην βελτιστοποίηση της παραγωγικής διαδικασίας όσον αφορά στον βιομηχανικό κλάδο με στόχο την μείωση των απαιτήσεων σε ενέργεια και νερό. Η ανάγκη αυτή είναι επιτακτική διότι το κόστος της ενέργειας και του φυσικού αερίου που χρησιμοποιείται έχει ανέβει δραματικά, όποτε είναι συνετό για τις εγκαταστάσεις να προσαρμοστούν στα νέα δεδομένα και να κάνουν πιο αποδοτικές και λιγότερο ενεργοβόρες τις δραστηριότητές τους.

Παράλληλα, όπως κάθε βιομηχανία έτσι και η βιομηχανία επεξεργασίας ντομάτας οδηγεί στην επιβάρυνση τους περιβάλλοντος. Πιο συγκεκριμένα, συνολικά η παραγωγική δραστηριότητα τέτοιων βιομηχανιών συντελεί στο φαινόμενο του θερμοκηπίου με την απελευθέρωση διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>) στην ατμόσφαιρα και στον ευτροφισμό μεταξύ άλλων<sup>[6]</sup>. Ο ευτροφισμός είναι το περιβαλλοντικό φαινόμενο κατά το οποίο η υπέρμετρη αύξηση της συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων συνεπάγεται τη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό και κατά συνέπεια την αλλοίωση της βιοποικιλότητας σε αυτό. Ο ευτροφισμός προκαλείται από τον εμπλουτισμό των υδάτων με απορροές θρεπτικών στοιχείων. Τα θρεπτικά αυτά στοιχεία μπορεί να είναι νιτρικά και φωσφορικά ιόντα από

λιπάσματα και απορρυπαντικά, κάλιο και οργανικά απόβλητα<sup>[7]</sup>. Η επίδραση της βιομηχανίας στο περιβάλλον θα αναλυθεί με μεγαλύτερη λεπτομέρεια σε παρακάτω κομμάτια.

## 1.2 Παραπροϊόντα βιομηχανίας επεξεργασίας ντομάτας

Κατά την διαδικασία παραγωγής προϊόντων από φρέσκες ντομάτες προκύπτουν παραπροϊόντα τα οποία συνήθως χρησιμοποιούνται ως συμπληρώματα σε ζωοτροφές<sup>[8]</sup>. Τα παραπροϊόντα ονομάζονται στην αγγλική βιβλιογραφία ως *tomato pomace* και αποτελούνται από φλούδες και σπόρους της ντομάτας που έχουν απομακρυνθεί κατά την παραγωγική διαδικασία ώστε το προϊόν να έχει την επιθυμητή σύσταση και υφή. Έχει γίνει εκτεταμένη ερευνητική μελέτη της χημικής σύστασης του συνόλου των παραπροϊόντων αυτών και έχει προκύψει το συμπέρασμα ότι είναι εφικτό να αξιοποιηθούν με έναν τελείως διαφορετικό τρόπο που να αποτελέσει πηγή εσόδων για την ίδια την βιομηχανική εγκατάσταση. Τα παραπροϊόντα είναι πλούσια σε καροτενοειδή όπως λυκοπένιο και β-καροτένιο, φαινολικές ενώσεις με έντονη αντιοξειδωτική δράση, πρωτεΐνες, κουτινική, πηκτίνη έλαια και φυτικές ίνες. Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται η περιεκτικότητα των παραπροϊόντων σε διάφορα θρεπτικά και βίο-δραστικά συστατικά<sup>[10]</sup>.

Πίνακας 2: Σύσταση παραπροϊόντων ντομάτας σε θρεπτικά και βίο-δραστικά συστατικά<sup>[10]</sup>.

Components (% w/w)	Tomato pomace	Peels	Seeds
Moisture	6.6–8.5	7.0–10.1	3.1–11.7
Protein	15.1–22.7	5.7–20.0	16.6–39.3
Oil	8.4–16.2	1.7–3.8	6.4–36.9
Fibers	11.3–64.7	29.9–65.6	14.8–53.8
Carbohydrates	2.9–5.1	1.1–8.2	2.3–26.0
Ash	3.2–3.4	2.7–25.6	2.0–5.6
Lycopene (mg/kg)	413.7	734.0	130.0
β-Carotene (mg/kg)	149.8	29.3	14.4

Να σημειωθεί ότι η περιεκτικότητα των παραπροϊόντων σε βίο-δραστικά συστατικά εξαρτάται πολύ από την ποικιλία της ντομάτας από την οποία προήλθαν καθώς και από τις θερμικές επεξεργασίες που έχει υποστεί η πρώτη ύλη κατά την παραγωγική διαδικασία<sup>[10]</sup>.

Όλα τα παραπάνω έχουν μεγάλη ζήτηση και αξία στην αγορά ως ξεχωριστές χημικές ουσίες. Ως συνέπεια, μια βιομηχανία μπορεί να εξάγει τα συστατικά αυτά από τα απόβλητα, αυξάνοντας έτσι την αξία των παραπροϊόντων και αξιοποιώντας πιο αποτελεσματικά την πρώτη ύλη που στην περίπτωση αυτή είναι η ντομάτα<sup>[9]</sup>. Στον Πίνακα 3 παρουσιάζεται η χημική σύσταση των παραπροϊόντων ντομάτας που καλύπτουν τις προδιαγραφές για χρήση ως συμπληρώματα σε ζωοτροφές<sup>[8]</sup>.

Πίνακας 3: Χημική σύσταση παραπροϊόντων που αξιοποιούνται για ζωοτροφές σε g/100g ξηρής μάζας<sup>[8]</sup>.

	Tomato pomace	Tomato peels	Tomato seeds	Cull tomatoes
Dry matter (DM; g/100 g)	24.3 ± 4.93 (14.3–38.1); n=28	7.8 ± 2.42 (5.2–10.0); n=3	9.0 ± 1.40 (7.4–10.0); n=3	7.2 ± 1.05 (6.5–8.7); n=4
Ash	5.42 ± 2.60 (2.5–14.4); n=54	6.4 ± 7.89 (1.9–25.6); n=8	4.5 ± 1.45 (3.0–7.6); n=10	8.0 ± 2.89 (3.1–10.1); n=5
Crude protein	19.0 ± 3.00 (12.4–25.4); n=54	10.5 ± 7.90 (1.0–23.3); n=8	30.3 ± 7.42 (16.5–40.9); n=10	18.5 ± 2.31 (15.3–21.0); n=5
Crude fibre	33.6 ± 6.75 (17.8–47.3); n=19	66.6 ± 16.3 (37.8–88.0); n=7	25.2 ± 9.82 (15.1–36.3); n=5	17.8 ± 2.06 (15.6–19.7); n=3
Neutral detergent fiber	57.5 ± 4.40 (47.8–68.0); n=44			26.5 ± 7.71 (19.1–34.5); n=3
Acid detergent fiber	44.5 ± 4.62 (32.6–58.7); n=35			20.7 ± 6.40 (13.9–26.6); n=3
Lignin	21.8 ± 6.55 (6.4–31.8); n=25			12.2 ± 10.3 (4.9–19.5); n=3
Fat	9.4 ± 6.75 (4.1–16.6); n=49	4.3 ± 0.95 (2.3–5.5); n=6	22.2 ± 2.93 (17.8–27.1) n=8	4.8 ± 1.87 (2.8–7.2); n=4
Sugars	17.2 ± 6.88 (8.2–28.3); n=22			
Ca	0.51 ± 0.416 (0.19–1.68); n=11	0.02 n=1	0.11 (0.11–0.11) n=2	1.5 ± 1.54 (0.5–3.3); n=2
P	0.46 ± 0.064 (0.33–0.56); n=11	0.37 n=1	0.58 (0.58–0.58) n=2	0.43 ± 0.01 (0.42–0.44); n=2

## 2. Περιγραφή παραγωγικών διεργασιών - Διάγραμμα ροής

### 2.1 Υφιστάμενης κατάστασης - Παραγωγικές διεργασίες

Στην υφιστάμενη κατάσταση θα μελετηθεί με μεγάλη λεπτομέρεια ένα σύγχρονο εργοστάσιο επεξεργασίας ντομάτας. Κύρια προϊόντα της βιομηχανικής εγκατάστασης είναι κονσέρβες με τεμαχισμένες και ολόκληρες ντομάτες και βαζάκια με σάλτσα ντομάτας. Η συσκευασίες των τελικών προϊόντων ποικίλουν και διαφοροποιούνται κυρίως στην χωρητικότητα. Οι συσκευασίες έχουν χωρητικότητα 230g, 400g, 800g και 2,500g . Η ανάλυση της εγκατάστασης θα περιοριστεί στην ποσότητα των τελικών προϊόντων και όχι

στον αριθμό των συσκευασιών που θα παραχθούν διότι αυτός ο αριθμός διαφέρει από εγκατάσταση σε εγκατάσταση. Πιο αναλυτικά ορίζεται η ποσότητα της πρώτης ύλης ίση με 56500 τόνους ανά σεζόν λειτουργίας. Η σεζόν περιλαμβάνει 85 μέρες κατά τους καλοκαιρινούς μήνες δηλαδή την περίοδο Ιουνίου-Αυγούστου. Η εγκατάσταση είναι σε λειτουργία 16 ώρες καθημερινά. Λαμβάνοντας υπόψιν τις παραπάνω παραμέτρους λειτουργίας. Το εργοστάσιο είναι παραγωγικό για 1.360 ώρες στο σύνολο. Καθημερινά επεξεργάζονται κατά μέσο όρο  $664,7 \frac{t}{\eta\mu\epsilon\rho\alpha}$  φρέσκιας ντομάτας.

Η παραγωγική διαδικασία χωρίζεται στις εξής παραγωγικές διεργασίες:

- Παραλαβή – Έκπλυση πρώτης ύλης
- Διαχωρισμός (οπτικός και φυσικός)
- Ξεφλούδισμα (Thermophysical Peeling)
- Τεμάχισμα και Σύνθλιψη (crushing)
- Απενεργοποίηση ενζύμων (Hot break)
- Εξαγωγή χυμού (juice extraction)
- Εξάτμιση (Evaporation)
- Προθέρμανση
- Γέμισμα κονσερβών με τεμαχισμένες ή ολόκληρες ντομάτες
- Παστερίωση
- Σύστημα καθαρισμού (CIP, Cleaning In Place)
- Σύστημα καθαρισμού νερού αποβλήτων (Water treatment)
- Εγκατάσταση λέβητα (Boiler)

#### 2.1.1 Παραλαβή – Έκπλυση πρώτης ύλης

Όταν τα φορτηγά που μεταφέρουν την πρώτη ύλη καταφτάνουν στην εγκατάσταση και κατ' επέκταση στον χώρο ξεφόρτωσης ακολουθεί η εξής διαδικασία. Αρχικά, η πρώτη ύλη πρέπει να μεταβεί στο σύστημα κυκλοφορίας νερού μεταφοράς ή όπως αναφέρεται στην αγγλική βιβλιογραφία flume system. Για να επιτευχθεί αυτό, γίνεται χρήση μεγάλων σωλήνων που ρίχνουν με μικρή πίεση νερό πάνω στην καρότσα των φορτηγών μεταφοράς με στόχο να παρασύρουν την πρώτη ύλη και να την μεταφέρουν στο ρυάκι μεταφοράς, flume. Ο χειρισμός των υδροβολέων μικρής πίεσης γίνεται από το ανθρώπινο δυναμικό με σκοπό την μέγιστη απομάκρυνση και την μείωση απωλειών πρώτης ύλης. Το νερό που χρησιμοποιείται στο στάδιο αυτό θεωρείται ότι μεταφέρεται στο flume οπότε η κατανάλωση νερού σε αυτό το στάδιο συμψηφίζεται στα ισοζύγια μάζας νερού του πλυσίματος μηδενική. Στην Εικόνα 1 απεικονίζεται η διαδικασία μετακίνησης της πρώτης ύλης από τα φορτηγά μεταφοράς στο flume<sup>[11]</sup>. Οι εικόνες είναι κομμάτι εκπαιδευτικού υλικού περιγραφής μιας εγκατάστασης επεξεργασίας ντομάτας και σκοπό έχουν την απεικόνιση των διεργασιών και όχι την περιγραφή της συγκεκριμένης εγκατάστασης.





Εικόνα 1: Διεργασία μεταφοράς της πρώτης ύλης από τα φορτηγά στο ρυάκι, flume<sup>[11]</sup>.

Όσον αφορά στον flume. Υπάρχουν δύο είδη των οποίων η μοναδική διαφορά είναι το υλικό κατασκευής. Πιο αναλυτικά υπάρχουν flumes που είναι μεταλλικής κατασκευής ενώ υπάρχουν και flumes που είναι φτιαγμένα από τσιμέντο. Σε ένα τυπικό εργοστάσιο γίνεται συνδυασμός των δύο υλικών όπως φανερώνει και η Εικόνα 2, ώστε να υπάρχει ευελιξία κατά τον σχεδιασμό της εγκατάστασης.



Εικόνα 2: Απεικόνιση flume μεταλλικής (πάνω μέρος) και τσιμεντένιας κατασκευής (κάτω μέρος).

Η αναλογία νερού και πρώτη ύλης ντομάτας πρέπει να ικανοποιεί μια ορισμένη αναλογία προκειμένου το σύστημα να λειτουργεί ικανοποιητικά. Η αναλογία αυτή είναι 3-5 κιλά νερού ανά κιλό ντομάτας που βρίσκεται στο ρυάκι<sup>[12]</sup>. Οι πράξεις στον προσομοιωτή θα γίνουν με αυτή την αναλογία 5 προς 1. Επίσης, στο ρυάκι προστίθεται και μια μικρή ποσότητα προσθέτων ώστε να καταπολεμηθεί η ανάπτυξη φυκιών (algae) καθώς και μικρή ποσότητα

διοξειδίου του χλωρίου  $ClO_2$  για αποφυγή μικροβιακών κινδύνων όπως *Salmonella enterica* *Erwinia carotovora*<sup>[13][19]</sup>.

Η διεργασία πλυσίματος είναι ένα κλειστό σύστημα καθώς το νερό ανακυκλώνεται συνεχώς με την βοήθεια μιας φυγοκεντρικής αντλίας. Η αντλία εξυπηρετεί δύο σκοπούς. Πρώτον, δημιουργεί συνθήκες τυρβώδους ροής ώστε τα στερεά υπολείμματα και ξένα σώματα όπως κλαδιά, φύλλα, χώμα και πέτρες να αποκολλώνται από την επιφάνεια της ντομάτας. Δεύτερον, η αντλία προσφέρει την απαιτούμενη ενέργεια στο σύστημα ώστε να υπάρχει συνεχής ροή και η πρώτη ύλη να ωθείται προς το ιμάντα ανύψωσης για να οδηγηθεί στο επόμενο στάδιο επεξεργασίας. Να σημειωθεί ότι μικρή ποσότητα φρέσκου πόσιμου νερού προστίθεται συνεχώς στο στάδιο ανύψωσης από ψεκαστήρες μικρής διαμέτρου όπως φαίνεται στην Εικόνα 3. Η ποσότητα αυτή είναι μικρή και έχει σκοπό το ξέβγαλμα της πρώτης ύλης από το νερό που συνεχώς βρίσκεται στο ρυάκι και με το χρόνο γίνεται όλο και πιο βρόμικο.



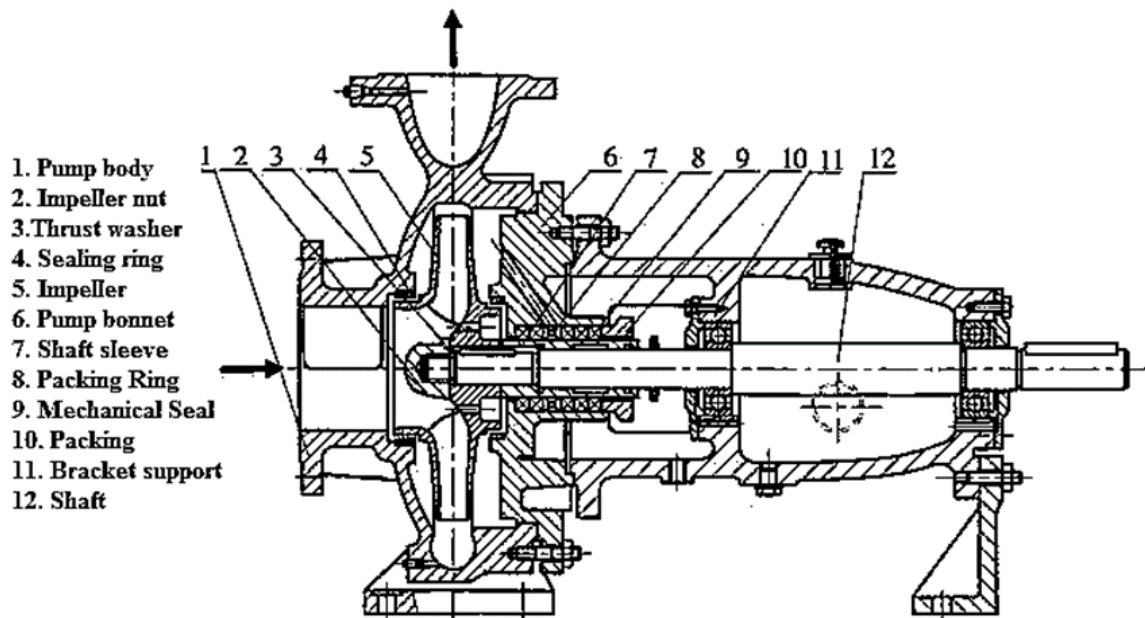
*Εικόνα 3: Ιμάντες ανύψωσης στο τέλος της διεργασίας πλυσίματος και ψεκαστήρες πόσιμου νερού για ξέβγαλμα.*

### **Ισοζύγια μάζας**

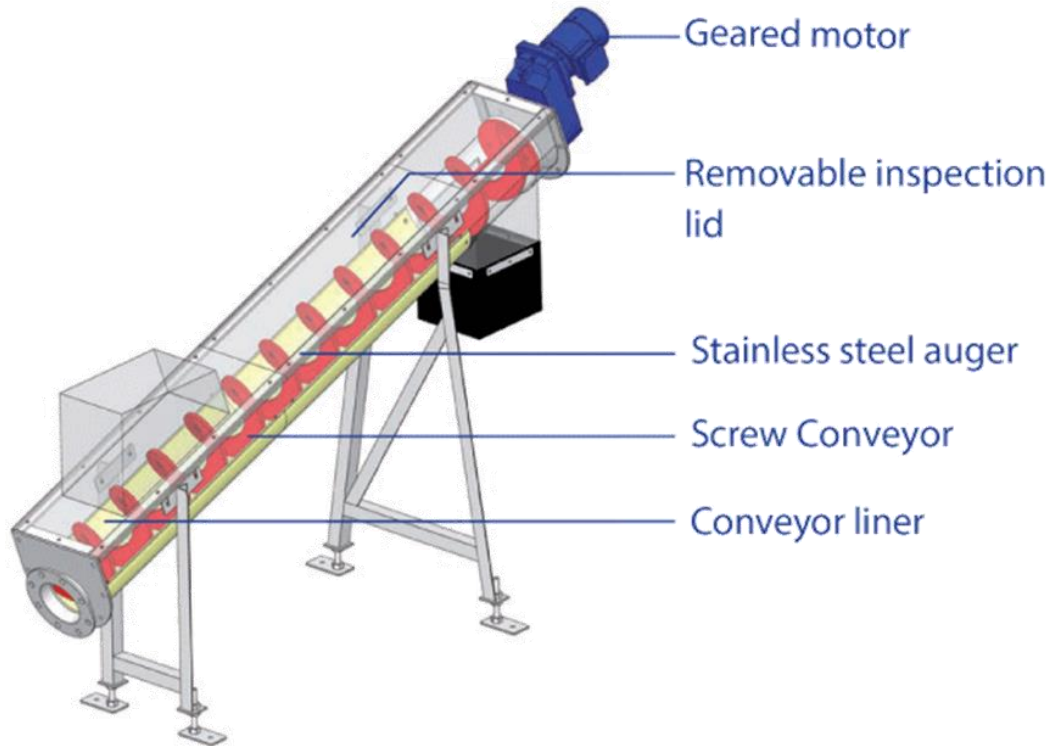
Η εγκατάσταση αποτελείται από τις αντλίες που τροφοδοτούν το νερό από τα πηγάδια της εγκατάστασης, από την φυγοκεντρική αντλία που απεικονίζεται στις Εικόνα 4,5. Επίσης, η εγκατάσταση διαθέτει έναν βιδωτό μεταφορέα (screw conveyor) που σε συνδυασμό με το φίλτρο απομακρύνουν τα στερεά υπολείμματα και τα ξένα σώματα (Εικόνα 6). Τέλος, διαθέτει και τους ιμάντες ανύψωσης όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, όμως η λειτουργία του δεν έχει συμπεριληφθεί στο ισοζύγιο ενέργειας της διεργασίας.



Εικόνα 4: Εξωτερική όψη μιας φυγοκεντρικής αντλίας<sup>[11]</sup>.



Εικόνα 5: Εσωτερική απεικόνιση φυγοκεντρικής αντλίας<sup>[11]</sup>.



Εικόνα 6: Βιδωτός μεταφορέας (screw conveyor)<sup>[14]</sup>.

Το νερό που απαιτείται να βρίσκεται στο ρυάκι είναι 5 φορές μεγαλύτερο από την ευρισκόμενη ποσότητα ντομάτας κάθε χρονική στιγμή. Διαιρώντας την συνολική παροχή των 56500 τόνων τροφοδοσίας με τις 1360 ώρες λειτουργίας παίρνουμε ένα μέσο όρο τροφοδοσίας 41,5 τόνοι ντομάτας ανά ώρα. Αυτό σημαίνει ότι κάθε ώρα το flume πρέπει να περιέχει 207,72 τόνους νερού.

Προκειμένου να υπολογιστεί με ακρίβεια η κατανάλωση πρέπει να εξερευνηθεί κάθε ώρα η παροχή και η ανακυκλοφορία του νερού. Το νερό που περιέχεται στο flume συχνά γίνεται τόσο βρόμικο από την συνεχή ανακυκλοφορία του που το χρώμα του γίνεται καφέ η έντονο μαύρο. Όταν συμβεί αυτό τότε είναι στην κρίση του μηχανικού εάν θα δώσει εντολή να απορριφθεί το βρόμικο νερό και να αντληθεί φρέσκο από τις αντλίες. Με βάση αυτά τα δύο σενάρια δημιουργήθηκαν οι Πίνακες 4,5 που περιγράφουν με λεπτομέρεια τα ισοζύγια του νερού για κάθε ώρα σε μια μέρα λειτουργίας. Έχει γίνει η παραδοχή ότι το φρέσκο νερό από τους ψεκαστήρες είναι 10% του νερού που απαιτείται στο flume, ενώ η ανακυκλοφορία φτάνει στο 90%. Προκειμένου να διατηρηθεί σταθερή η κατάλληλη αναλογία νερού στο σύστημα χρειάζεται να αποβάλλεται με την μορφή υπερχειλίσης κάθε ώρα 10% της απαιτούμενης ποσότητας ανά ώρα. Η ποσότητα αυτή είναι πρακτικά η ποσότητα νερού που προσθέτουν κάθε ώρα οι ψεκαστήρες στο σύστημα. Στον Πίνακα 4 περιγράφεται το σενάριο όπου το νερό του flume δεν απορρίπτεται κατά την διάρκεια της μέρας. Σε αυτό το ενδεχόμενο το απαιτούμενο νερό που πρέπει να αντληθεί από τα πηγάδια ισούται με  $519,3 \frac{t}{\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha}$  ενώ η ποσότητα του νερού που ανακυκλώνεται και απορρίπτεται ως υπερχειλίση είναι  $2804,23 \frac{t}{\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha}$  και  $519,3 \frac{t}{\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha}$  αντίστοιχα.

Πίνακας 4: Ισοζύγιο μάζας νερού χωρίς αλλαγή του νερού.

Ποσοστό προστιθέμενου νερού	Ποσοστό ανακυκλωμένου νερού	Ποσοστό υπερχειλίσης
10,00%	90,00%	10,00%

Ημερήσιο σενάριο λειτουργίας 1					
Ώρες	Φρέσκου νερού (t)	Προστιθέμενο φρέσκο νερό (t)	Ανακυκλωμένο νερό (t)	Υπερχειλίση (t)	Νερό στο flume (t)
0-1	207,72	0,00	0	0,00	207,72
1-2	0	20,77	186,9	20,77	207,72
2-3	0	20,77	186,9	20,77	207,72
3-4	0	20,77	186,9	20,77	207,72
4-5	0	20,77	186,9	20,77	207,72
5-6	0	20,77	186,9	20,77	207,72
6-7	0	20,77	186,9	20,77	207,72
7-8	0	20,77	186,9	20,77	207,72
8-9	0	20,77	186,9	20,77	207,72
9-10	0	20,77	186,9	20,77	207,72
10-11	0	20,77	186,9	20,77	207,72
11-12	0	20,77	186,9	20,77	207,72
12-13	0	20,77	186,9	20,77	207,72
13-14	0	20,77	186,9	20,77	207,72
14-15	0	20,77	186,9	20,77	207,72
15-16	0	20,77	186,9	20,77	207,72
16-17	0	0,00	0,0	207,72	0,00
<b>Σύνολο</b>	<b>207,72</b>	<b>311,58</b>	<b>2804,23</b>	<b>519,30</b>	

<b>Συνολικό νερό που αντλείται ανά μέρα</b>	<b>519,30</b>	t/d
<b>Συνολικό νερό που ανακυκλώνεται ανά μέρα</b>	<b>2804,23</b>	t/d
<b>Συνολική υπερχειλίση ανά μέρα</b>	<b>519,30</b>	t/d

Πίνακας 5: Ισοζύγιο μάζας νερού με μια αλλαγή του νερού κατά την διάρκεια της μέρας.

Ποσοστό προστιθέμενου νερού	Ποσοστό ανακυκλωμένου νερού	Ποσοστό υπερχειλίσης
10,00%	90,00%	10,00%

Ημερήσιο Σενάριο λειτουργίας 2					
Ώρες	Φρέσκου νερού (t)	Προστιθέμενο φρέσκο νερό (t)	Ανακυκλωμένο νερό (t)	Υπερχειλίση (t)	Νερό στο flume (t)
0-1	207,72	0,00	0	0,00	207,72
1-2	0	20,77	186,9	20,77	207,72
2-3	0	20,77	186,9	20,77	207,72
3-4	0	20,77	186,9	20,77	207,72
4-5	0	20,77	186,9	20,77	207,72
5-6	0	20,77	186,9	20,77	207,72
6-7	0	20,77	186,9	228,49	207,72
7-8	207,72	0,00	0	0,00	207,72
8-9	0	20,77	186,9	20,77	207,72
9-10	0	20,77	186,9	20,77	207,72
10-11	0	20,77	186,9	20,77	207,72
11-12	0	20,77	186,9	20,77	207,72
12-13	0	20,77	186,9	20,77	207,72
13-14	0	20,77	186,9	20,77	207,72
14-15	0	20,77	186,9	20,77	207,72
15-16	0	20,77	186,9	20,77	207,72
16-17	0	0,00	0,0	207,72	0,00
<b>Total</b>	<b>415,44</b>	<b>290,81</b>	<b>2617,28</b>	<b>706,25</b>	

<b>Συνολικό νερό που αντλείται ανά μέρα</b>	<b>706,25</b>	t/d
<b>Συνολικό νερό που ανακυκλώνεται ανά μέρα</b>	<b>2617,28</b>	t/d
<b>Συνολική υπερχειλίση ανά μέρα</b>	<b>706,25</b>	t/d

Στον Πίνακα 5 περιγράφεται το σενάριο όπου το νερό του flume απορρίπτεται εξ' ολοκλήρου μια φορά κατά την διάρκεια της μέρας. Σε αυτό το ενδεχόμενο το απαιτούμενο νερό που πρέπει να αντληθεί από τα πηγάδια ισούται με  $706,25 \frac{t}{\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha}$  ενώ η ποσότητα του νερού που ανακυκλώνεται και απορρίπτεται ως υπερχειλίση είναι  $2617,28 \frac{t}{\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha}$  και  $706,25 \frac{t}{\eta\mu\acute{\epsilon}\rho\alpha}$  αντίστοιχα. Για την συνέχεια του μοντέλου θα γίνει η παραδοχή ότι η βιομηχανική εγκατάσταση λειτουργεί σύμφωνα με το σενάριο 2.

Πίνακας 6: Ισοζύγια μάζας διεργασιών παραλαβής και έκπλυσης πρώτης ύλης.

Παραλαβή		
<b>Πρώτη ύλη-Ντομάτα</b>	<b>56500</b>	t/h
Πρώτη ύλη-Ντομάτα ανά ώρα	41,5	t/y
Έκπλυση		
Μέσος όρος νερού που αντλείται ανά ώρα	44,14	t/h
Νερό που αντλείται ανά μέρα	706,25	t/d
Νερό που αντλείται ανά σεζόν	60031	t/y
<b>Φρέσκο νερό που αντλείται από πηγάδια (συμπεριλαμβάνεται το νερό της διεργ. εξάτμισης και της αντλίας νερού)</b>	<b>46512</b>	t/y
Μέσος όρος νερού που ανακυκλώνεται ανά ώρα	175,26	t/h
Νερό που ανακυκλώνεται ανά μέρα	2804	t/d
<b>Νερό που ανακυκλώνεται ανά σεζόν</b>	<b>238359</b>	t/y
<b>Υπερχειλίση ανά σεζόν</b>	<b>60031,3</b>	t/y
<b>% ανακυκλωμένου νερού</b>	<b>90,00%</b>	-
Νερό στο ρυάκι μεταφοράς ανα ώρα	207,72	t/h
<b>Αναλογίας πρώτης ύλης ντομάτας/νερό</b>	<b>5</b>	-
Πρώτη ύλη-Ντομάτα, τροφοδοσία	56500	t/y
<b>Υλικά διαφορετικά από ντομάτα (MOT)</b>	<b>2825</b>	t/y
<b>αναλογία MOT/ντομάτα</b>	<b>5,00%</b>	-
<b>Πρώτη ύλη-Ντομάτα, έξοδος</b>	<b>53675</b>	t/y
<b>Συνολική ροή ανακύκλωσης (MOT+νερό)</b>	<b>241184</b>	t/y

Το σύστημα διαχωρισμού ξένων σωμάτων για παράδειγμα πέτρες, κλαδιά, φύλλα ή χώμα αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο φίλτρο και από ένα βιδωτό μεταφορέα (screw conveyor, Εικόνα 6) για την απομάκρυνση των ξένων σωμάτων. Η ποσότητα που απομακρύνεται αποτελεί το 5% της τροφοδοσίας που οδηγείται για πλύσιμο<sup>[15]</sup>. Οι γραμμές με κίτρινο χρώμα είναι σχεδιαστικές παράμετροι και ρυθμίζουν με ευκολία τα αποτελέσματα κάθε διεργασίας.

## Ισοζύγια ηλεκτρικής ενέργειας

Το προς μελέτη εργοστάσιο αντλεί φρέσκο νερό από 3 βιομηχανικά πηγάδια για να ικανοποιεί τις απαιτήσεις ως προς την κατανάλωση νερού. Επιπλέον, υπάρχει ένα ακόμα πηγάδι η εγκατάσταση του οποίου είναι σε λειτουργία και είναι αποκλειστικά για σκοπούς πυρασφάλειας. Η κατανάλωση ενέργειας και η συντήρηση του τέταρτου πηγαδιού διαφεύγει από το εύρος μελέτης της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας οπότε και δεν θα ληφθεί υπόψιν στον υπολογισμό των ισοζυγίων. Σύμφωνα με το δεύτερο σενάριο λειτουργίας του Πίνακα 5 γίνεται εύκολα ο υπολογισμός του νερού που απαιτείται να αντληθεί για όλη την περίοδο λειτουργίας πολλαπλασιάζοντας την ημερήσια κατανάλωση με 85, δηλαδή τις μέρες λειτουργίας. Το αποτέλεσμα είναι  $60031 \frac{t}{season}$ . Όμως εξαιτίας της επαναχρησιμοποίησης νερού από τις διεργασίες εξάτμισης και αντλίας κενού, που θα μελετηθούν παρακάτω, η πραγματική ποσότητα νερού που πρέπει να αντληθεί είναι  $46512 \frac{t}{season}$ . Το ισοζύγιο ενέργειας για τις αντλίες των πηγαδιών υπολογίζεται από τις εξής εξισώσεις:

$$F = M * g$$

$$E = F * h$$

$$P = \frac{E}{hour\ of\ operation * pump\ eff} \quad (1)$$

Όπου,

$M$  = μάζα νερού (Kg)

$h$  = υψομετρική διαφορά (m)

$E$  = έργο (J)

$pump\ eff$  = απόδοση αντλίας (τυπικά 0,7)

$P$  = ισχύς (Wh/y)

Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 7.

Γίνεται η παραδοχή ότι η υψομετρική διαφορά που πρέπει να υπερνικηθεί από το έργο των αντλιών είναι κοντά στα 70m.



Πίνακας 7: Ισοζύγια ενέργειας για αντλίες πηγαδιών.

<b>Αντλία νερού πηγαδιών</b>		
Μάζα	87977499	kg
Επιτάχυνση της βαρύτητας	9,81	m/s
Δύναμη	863059265	N
Ύψος	70	m
Έργο	60414	MJ
Ώρες λειτουργίας	1360	h/y
Απόδοση αντλίας	0,7	-
<b>Κατανάλωση ενέργειας</b>	<b>63,5</b>	<b>MWh/y</b>

Η απαιτούμενη ηλεκτρική ενέργεια για την φυγοκεντρική αντλία υπολογίζεται από τις εξής εξισώσεις<sup>[16]</sup>:

Υδραυλική ισχύς:

$$P_h = \frac{q \cdot \rho \cdot g \cdot h}{3.6 \cdot 10^6} \quad (2)$$

Όπου,

$P_h$ = υδραυλική ισχύς (kw)

$q$ = ογκομετρική παροχή (m<sup>3</sup>/h)

$\rho$ = πυκνότητα (1000 kg/m<sup>3</sup>)

$g$ = επιτάχυνση της βαρύτητας (m/s)

$h$ = υψομετρική διαφορά (m)

$$P_s = \frac{P_h}{n} \quad (3)$$

Όπου,

$P_s$ = ισχύς άξονα (kW)

$n$ = απόδοση αντλίας (τυπικά 0,6)

Γίνεται η παραδοχή ότι η πυκνότητα του νερού ισούται με 1000  $\frac{kg}{m^3}$  για την θερμοκρασία περιβάλλοντος  $T_a = 25^\circ C$ . Επίσης, γίνεται η παραδοχή ότι η υψομετρική διαφορά της αντλίας είναι 20 m γιατί η ισχύς πρέπει να είναι αρκετή ώστε να μπορεί να ανακυκλώσει το νερό από τις άλλες διεργασίες που είναι κατά μήκος της παραγωγής αλλά και να είναι επαρκής ώστε να δημιουργεί τέτοια πίεση στην έξοδο ώστε να προκύπτει τυρβώδης ροή. Η

τυρβώδης ροή είναι απαραίτητη για την αποκόλληση του χώματος και άλλων αποβλήτων όπως πέτρες και κλαδιά (MOT, Material Other than Tomatoes) από την πρώτη ύλη και για την διευκόλυνση της απομάκρυνσή τους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 8.

Πίνακας 8: Ισοζύγιο ενέργειας για φυγοκεντρική αντλία (έκπλυση).

**Φυγοκεντρική αντλία, ανακύκλωση νερού έκπλυσης**

Μάζα νερού ανά ώρα	183,4	t/h
Πυκνότητα νερού	1000	kg/m <sup>3</sup>
Όγκος νερού ανά ώρα	183,4	m <sup>3</sup> /h
Επιτάχυνση της βαρύτητας	9,81	m/s
Υψομετρική διαφορά	20	m
Υδραυλική ισχύς	9,99	kW
Απόδοση αντλίας	0,6	-
Αξονική ισχύς	16,66	kW
Ώρες λειτουργίας	1360	h/y
<b>Κατανάλωση ενέργειας</b>	<b>22,65</b>	<b>MWh/y</b>

Η ποσότητα των MOT είναι περίπου 5% του βάρους της αρχικής τροφοδοσίας. Κάνοντας του υπολογισμούς για 56500 τόνους πρώτης ύλης, προκύπτει ότι 2825 τόνοι τέτοιο υλικών θα απομακρυνθούν κατά το στάδιο του πλυσίματος. Σύμφωνα με τα δεδομένα, για κάθε 1,975 t/h καταναλώνονται 81,16 Watt ενέργειας. Γίνεται αναγωγή για τους 2825 τόνους που απομακρύνονται κάθε σεζόν. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στον Πίνακα 9. Το περιστρεφόμενο φίλτρο δεν έχει συμπεριληφθεί στο ισοζύγιο ενέργειας.

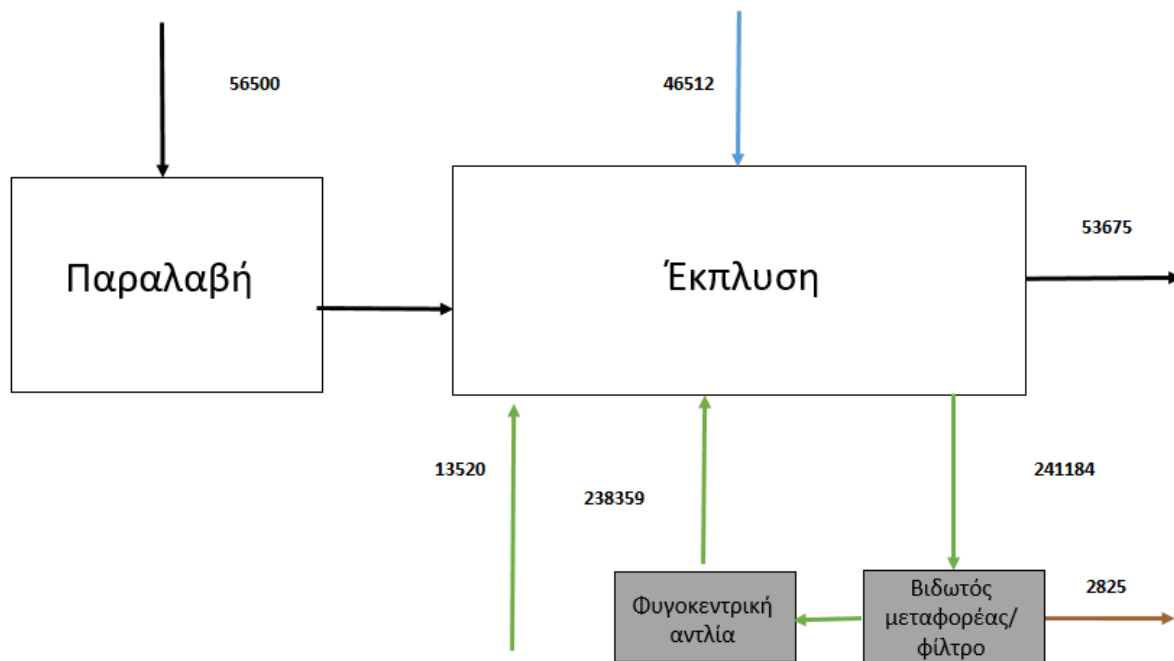
Πίνακας 9: Ισοζύγιο ενέργειας βιδωτό μεταφορέα (screw conveyor).

**Βιδωτός μεταφορέα (screw conveyor)**

Αναλογία ενέργεια ανα t/y	41,09	W/t/y
Ροής τροφοδοσίας ανά ώρα	177,3	t/h
Ώρες λειτουργίας	1360	h/y
<b>Κατανάλωση ενέργειας</b>	<b>9,91</b>	<b>MWh/y</b>

Το διάγραμμα ροής των σταδίων της παραλαβής και την έκπλυσης απεικονίζονται στο Διάγραμμα 2 μαζί με την ποσότητα των ροών πάνω από κάθε ρεύμα.

## Διάγραμμα ροής



Διάγραμμα 2: Διάγραμμα ροής για τα στάδια παραλαβής και έκπλυσης μαζί με τις ποσότητες των ρευμάτων.

### 2.1.2 Διαχωρισμός (οπτικός και φυσικός)

Ο σκοπός του διαχωρισμού είναι η απομάκρυνση από την γραμμή παραγωγής των ντοματών που δεν είναι αρκετά ώριμες και έχουν μια πράσινη εμφάνιση, στην αγγλική βιβλιογραφία αναφέρονται ως green tomatoes. Επίσης, οι ντομάτες μπορεί να μην πληρούν τις προϋποθέσεις όψης ή χρώματος. Αυτό συμβαίνει όταν πάνω στην φλούδα του φρούτου υπάρχουν μαύρα στίγματα ή είναι εμφανές ότι η ντομάτα είναι σάπια και έχει χαλάσει. Παράλληλα, το στάδιο αυτό λειτουργεί και ως ένα επιπλέον τείχος ασφαλείας καθώς συχνά αφαιρούνται μικρά κομμάτια ξένων σωμάτων που δεν διαχωρίστηκαν επιτυχώς στο προηγούμενο στάδιο και που η παρουσία τους θα ήταν καταστροφική για την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει και χειρωνακτική εργασία αλλά και αυτοματοποιημένες διαδικασίες. Πιο αναλυτικά, μια ομάδα από εργάτες είναι τοποθετημένοι δίπλα από τους μάντες μεταφοράς που μεταφέρουν την πρώτη ύλη το πλύσιμο και ψάχνουν για ατέλειες σε όλες τις ντομάτες που περνάνε. Αναζητούν για ατέλειες όπως πολύ έντονο πράσινο χρώμα ή μαύρο καθώς και για ξένα αντικείμενα όπως μικρές πέτρες και κομμάτια από φύλλα. Δεν επικεντρώνονται να απομακρύνουν όλες τις ατέλειες αλλά μόνο τις πιο εμφανείς. Την διεκπεραίωση τους διαχωρισμού της πρώτης ύλης έχουν αναλάβει αυτοματοποιημένες μηχανές. Οι μηχανές αυτές είναι εξοπλισμένες με οπτικούς αισθητήρες και τεχνολογία NIR (Near InfraRed) που ελέγχουν το χρώμα κάθε ντομάτας που διαβιβάζεται μέσα από το μηχάνημα και εντοπίζουν τα δείγματα που δεν πληρούν τις ακριβείς προϋποθέσεις που έχει ορίσει η βιομηχανία όσον αφορά στο χρώμα. Εάν μια ντομάτα δεν είναι μέσα στο εύρος του αποδεκτού χρώματος τότε απομακρύνεται είτε με

μικρά υδραυλικά πιστόνια (Εικόνα 8) είτε με την βοήθεια ριπών συμπιεσμένου αέρα. Οι παραπάνω διεργασίες είναι εξαιρετικά ακριβείς και αποτελεσματικές με συνέπεια οι μηχανές όπως αυτή που απεικονίζεται στην Εικόνα 7 να μπορούν να επεξεργαστούν έως και 18 τόνους ανά ώρα.



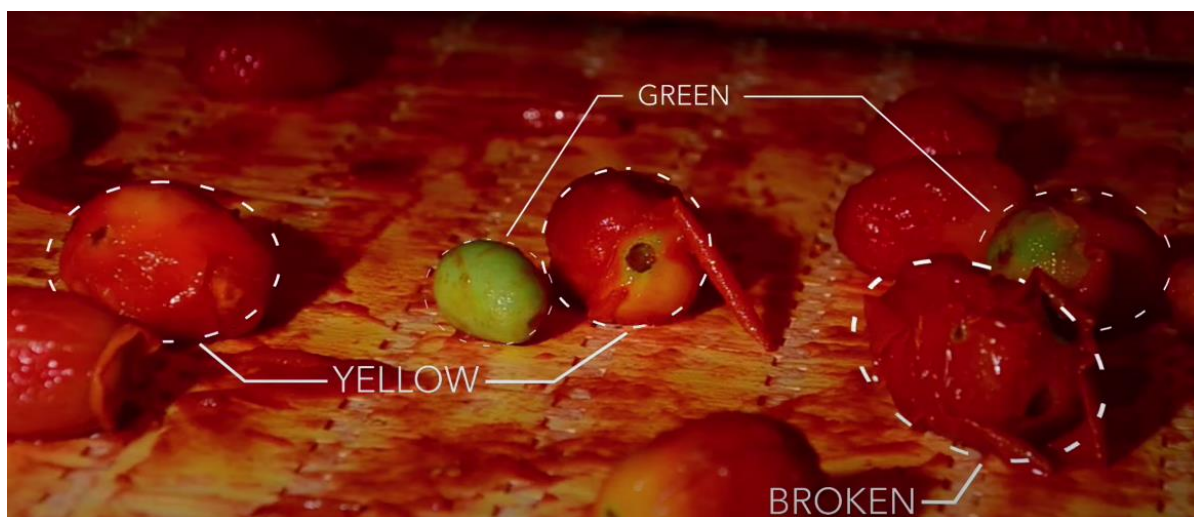
Εικόνα 7: Βιομηχανική εγκατάσταση μηχανήματος Tyrhoon της εταιρείας Raytec vision<sup>[17]</sup>.

Στην Εικόνα 8 απεικονίζονται εν ώρα λειτουργίας τα υδραυλικά πιστόνια τα οποία μπορεί να έχουν κορυφές τόσο μικρές όσο και 25 mm. Ο αριθμός τους μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 176 ανά εγκατάσταση.



Εικόνα 8: Υδραυλικά πιστόνια από βιομηχανική εγκατάσταση Rayvolution.

Στην Εικόνα 9 απεικονίζεται ένα παράδειγμα από τα δείγματα της πρώτης ύλης που έχουν απομακρυνθεί με την βοήθεια των αυτοματοποιημένων διαχωριστών. Αυτά τα δείγματα είτε έχουν ακατάλληλο χρώμα είτε δεν πληρούν της προϋποθέσεις του σχήματος. Οι ποσότητες της πρώτης ύλης που απομακρύνονται φτάνουν να ισούνται με το 5% της ποσότητας που διέρχονται από το στάδιο διαχωρισμού. Αυτό περιλαμβάνει και τον φυσικό και τον οπτικό διαχωρισμό<sup>[18]</sup>. Οι ποσότητες αυτές λαμβάνονται και εκμεταλλεύονται ως συμπληρώματα σε ζωοτροφές<sup>[8][20]</sup>.



Εικόνα 9: Απορριπτέα δείγματα πρώτης ύλης στο στάδιο του οπτικού διαχωρισμού.

### Ισοζύγια μάζας

Κατά το στάδιο του διαχωρισμού η ποσότητα της πρώτης ύλης που έχει περάσει επιτυχώς από το στάδιο του διαχωρισμού χωρίζεται σε δύο ρεύματα. Το ένα ρεύμα οδηγείται στην γραμμή επεξεργασίας της σάλτσας και το άλλο στην γραμμή παραγωγής κονσερβοποιημένων ντοματών. Στον συγκεκριμένο προσομοιωτή 10% της πρώτης ύλης οδηγείται προς την παραγωγή σάλτσας και το υπόλοιπο για παραγωγή κονσερβών. Αυτή η αναλογία διαφέρει από εγκατάσταση σε εγκατάσταση ανάλογα με τις ανάγκες και τους στόχους του εργοστασίου. Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται τα ισοζύγια μάζας.

Πίνακας 10: Ισοζύγια μάζας για το στάδιο του διαχωρισμού.

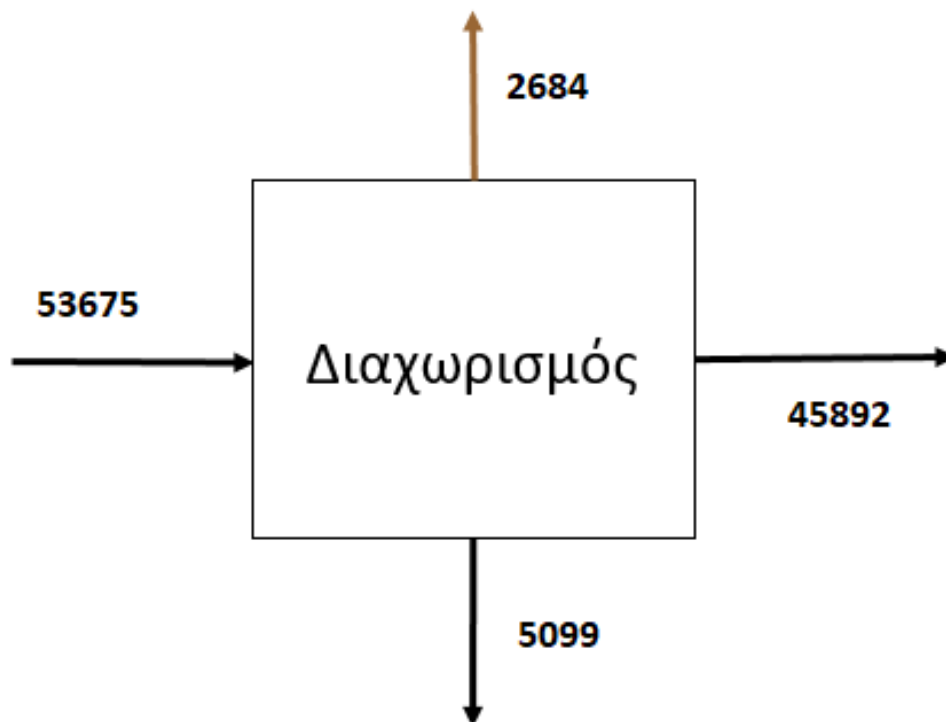
Διαχωρισμός (οπτικός, φυσικός)		
Πρώτη ύλη-Ντομάτα, τροφοδοσία	<b>53675</b>	t/y
<b>% Πράσινων ντοματών</b>	<b>5,00%</b>	-
<b>Πράσινες ντομάτες, ζωτροφή</b>	<b>2683,75</b>	t/y
% ντοματών για σάλτσα	10,00%	-
% ντοματών για κονσέρβες	90,00%	-
<b>Ντομάτες για σάλτσα</b>	<b>5099,125</b>	t/y
<b>Ντομάτες για κονσέρβες</b>	<b>45892,125</b>	t/y

### Ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας

Όσον αφορά στην κατανάλωση ενέργειας έχει γίνει η παραδοχή ότι είναι μηδενική καθώς οι συμπιεστές αέρα και η λειτουργία των υδραυλικών πιστονιών θεωρείται αμελητέα. Επίσης, αμελητέα θεωρείται και η κατανάλωση συμπιεσμένου αέρα που χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση των δειγμάτων από την γραμμή παραγωγής.

### Διάγραμμα ροής

Στο Διάγραμμα 4 απεικονίζεται το διάγραμμα ροής του σταδίου του διαχωρισμού μαζί με τις ποσότητες σε τόνους ανά ρεύμα.

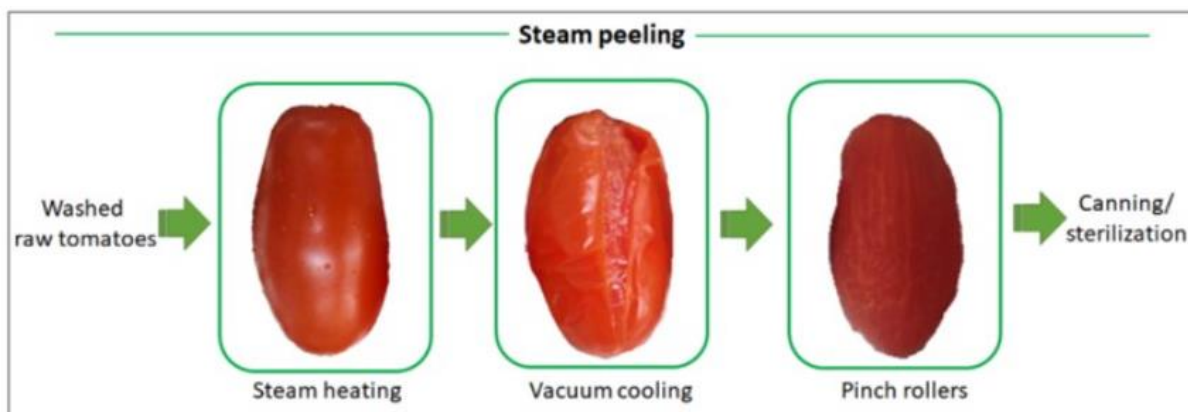


Διάγραμμα 3: Διάγραμμα ροής για το στάδιο διαχωρισμού μαζί με τις ποσότητες των ρευμάτων.

#### 2.1.3 Ξεφλούδισμα (Thermophysical Peeling)

Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει τέσσερις διεργασίες επεξεργασίας που πραγματοποιούνται σειριακά ή μία μετά την άλλη. Το στάδιο αυτό αφορά στο ρεύμα της πρώτης ύλης που είναι στην γραμμή παραγωγής κονσερβών. Αρχικά, ως τροφοδοσία εισέρχονται οι ντομάτες που έχουν περάσει από τον διαχωρισμό. Οι ντομάτες αυτές βομβαρδίζονται από ατμό ο οποίος είναι κορεσμένος στους 107 °C ή 1,3 bar πίεση<sup>[21]</sup>. Περίπου 70% των εγκαταστάσεων χρησιμοποιούν ατμό για το ξεφλούδισμα ενώ το υπόλοιπο 30% χρησιμοποιεί διαλύματα χημικών και συγκεκριμένα NaOH ή KOH, μέθοδος γνωστή ως hot lye peeling<sup>[22]</sup>. Στην προς μελέτη εγκατάσταση οι ντομάτες διέρχονται για 1-2 λεπτά από θάλαμο ατμού. Ως συνέπεια, η πρόσδεση της φλούδας πάνω στην σάρκα του φρούτου εξασθενεί εξαιτίας του φαινομένου της γρήγορης ατμοποίησης (flash evaporation) του νερού κάτω την φλούδα<sup>[23]</sup>. Στην συνέχεια, οι ντομάτες ψύχονται υπό κενό ώστε η αυξημένη πίεση του ατμού που είναι παγιδευμένος κάτω από την φλούδα να οδηγήσει στην δημιουργία ρωγμών κατά την επιφάνεια της φλούδας<sup>[23]</sup>. Η διεργασία ξεφλουδίσματος ολοκληρώνεται όταν οι ντομάτες περνάνε από το μηχάνημα το οποίο διαχωρίζει με την βοήθεια της τριβής την φλούδα από την σάρκα του φρούτου. Στην Εικόνα 10 απεικονίζεται η πρώτη ύλη σε κάθε φάση του σταδίου του ξεφλουδίσματος.

Τέλος, η επεξεργασμένη ποσότητα περνάει για μια ακόμη φορά από μηχάνημα οπτικού διαχωρισμού. Κριτήριο διαχωρισμού είναι το χρώμα και το σχήμα. Όσες ντομάτες δεν ικανοποιούν τα κριτήρια που έχει θεσπίσει η βιομηχανία σε αυτές τις δύο κατηγορίες τότε απομακρύνονται από την γραμμή παραγωγής κονσερβών και οδηγούνται στην γραμμή παραγωγής της σάλτσας.



Εικόνα 10: Απεικόνιση της ντομάτας σε κάθε φάση κατά το στάδιο του ξεφλούδισματος<sup>[23]</sup>.

## Ισοζύγια μάζας

Πίνακας 11: Ισοζύγια μάζας για στάδιο ξεφλούδισματος.

Θερμοφυσικό ξεφλούδισμα και διαχωρισμός		
<b>Ντομάτες για κονσέρβες, τροφοδοσία</b>	<b>45892,125</b>	t/y
<b>Ντομάτες για κονσέρβες, έξοδος</b>	<b>16062,2438</b>	t/y
<b>% Ντομάτας για την παραγωγή σάλτσας</b>	<b>65,00%</b>	-
<b>Ντομάτες για παραγωγή σάλτσας</b>	<b>29829,8813</b>	t/y

Ξεφλούδισμα		
<b>% ατμού/τροφοδοσία</b>	<b>3,00%</b>	-
<b>Ντομάτες για κονσέρβες, τροφοδοσία</b>	<b>45892,125</b>	t/y
<b>Ατμός 1,3 bar ή 107C</b>	<b>1376,76375</b>	t/y

Ψύξη υπό κενό		
<b>% νερού/τροφοδοσίας</b>	<b>12,00%</b>	-
<b>Ντομάτες για κονσέρβες, τροφοδοσία</b>	<b>45892,125</b>	t/y
<b>Φρέσκο νερό για ψύξη υπό κενό</b>	<b>5507,055</b>	t/y

Να σημειωθεί ότι ανάλογα τις ανάγκες της παραγωγής, την ποιότητα και την ποικιλία της πρώτης ύλης το ποσοστό της επεξεργασμένης ποσότητας που ανακυκλώνεται για στην παραγωγή ντομάτας μεταβάλλεται. Το ποσοστό κυμαίνεται μεταξύ 40 – 70%. Για την συγκεκριμένη μελέτη το ποσοστό απόρριψης ορίζεται στο 65%.

Επίσης, προκειμένου να λειτουργήσει η αντλία κενού απαιτείται η κατανάλωση νερού. Η ποσότητα του νερού που απαιτείται προκύπτει από δεδομένα της βιομηχανίας και ύστερα από συνεργασία με ένα πραγματικό εργοστάσιο. Από τα αποτελέσματα των πειραματικών μετρήσεων που πραγματοποιήθηκαν προέκυψε ότι η ποσότητα του νερού που απαιτείται ισούται με το 12% της προς επεξεργασίας τροφοδοσία<sup>[24]</sup>. Το νερό στη συνέχεια μεταβιβάζεται στο στάδιο έκπλυσης με σκοπό την εξοικονόμηση νερού. Η ενέργεια που απαιτείται για την ανακύκλωση της ποσότητας νερού από το στάδιο αυτό στο στάδιο έκπλυσης έχει συμψηφιστεί στο ισοζύγιο ενέργειας της φυγοκεντρικής αντλίας. Με παρόμοιο τρόπο προέκυψε ότι το νερό που απαιτείται για το βομβαρδισμό με ατμό των ντοματών είναι το 3% της τροφοδοσίας του θαλάμου<sup>[24]</sup>.

### Ισοζύγιο θερμικής ενέργειας

Τα ισοζύγια περιγράφουν την ενέργεια που πρέπει να δοθεί από την μονάδα του καυστήρα (boiler) προκειμένου να θερμανθεί το νερό και να κορεστεί στην κατάλληλη θερμοκρασία, αυτό περιλαμβάνει την ενέργεια να μεταβεί από την θερμοκρασία περιβάλλοντος (έχει γίνει παραδοχή ότι  $T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) μέχρι τους  $107 \text{ }^\circ\text{C}$  αλλά και την ενέργεια να φτάσει την καμπύλη κορεσμένου ατμού για την ίδια θερμοκρασία. Το πρώτο κομμάτι αναφέρεται στην αισθητή θερμότητα ενώ το άλλο στην λανθάνουσα. Επίσης, το ισοζύγιο περιλαμβάνει και την ενέργεια που απαιτείται για να ζεσταθεί η ανακυκλωμένη ποσότητα του ατμού. Ο ατμός μόλις μεταδώσει όλη την ενέργεια στην πρώτη ύλη είναι στο σημείο κορεσμένου ατμού σε θερμοκρασία  $107 \text{ }^\circ\text{C}$ . Αυτή η ποσότητα νερού ξαναζεσταίνεται στον καυστήρα και οδηγείται ξανά στην κατάσταση του κορεσμένου ατμού.

Σε αυτό το σημείο υπολογίζεται η ενέργεια που πρέπει να προσφερθεί από την εγκατάσταση του καυστήρα ώστε να είναι επαρκής για την σωστή επεξεργασία της ροής των ντοματών. Οι εξισώσεις (4) και (5) υπολογίζουν την ενέργεια που απαιτείται για να μεταβεί το νερό στην κατάσταση του κορεσμένου υγρού στους  $107 \text{ }^\circ\text{C}$  και μετά στην κατάσταση του κορεσμένου ατμού στους  $107 \text{ }^\circ\text{C}$ . Για το στάδιο του ξεφλουδίσματος γνωρίζω την μάζα του νερού που χρησιμοποιείται και δεν χρειάζεται να υπολογιστεί, όπως θα γίνει σε επόμενα στάδια επεξεργασίας.

$$Q = m \cdot C_p \cdot (T_{\tau\epsilon\lambda} - T_{\alpha\rho\chi}) \quad (4)$$

$$Q = m \cdot \Delta H_{\epsilon\chi\alpha\tau\mu\sigma\eta\varsigma} \quad (5)$$

Όπου,

$m$  = μάζα νερού (t)

$C_p$  = θερμοχωρητικότητα νερού υπό σταθερή πίεση για  $T_a = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $(4,186 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}\cdot\text{K}})^{[25]}$



$$\Delta H_{\text{εξάτμισης}} = \text{ενθαλπία εξάτμισης νερού για } T = 107^{\circ}\text{C} \left( 2238 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} \right)^{[30][31]}$$

Η ενέργεια που υπολογίζεται είναι σε MJ και γίνεται μετατροπή σε GJ. Τα ισοζύγια απεικονίζονται στον Πίνακα 12.

Πίνακας 12: Ισοζύγια θερμικής ενέργειας για στάδιο ξεφλούδισματος.

Αρχική θερμοκρασία νερού	25	C
Τελική θερμοκρασία ατμού	107	C
Ειδική θερμοχωρητικότητα (cp)	4,186	kJ/kg*K
Dh εξάτμισης (107C)	2238	kJ/kg
Ενέργεια για κορεσμένο υγρό	472577	MJ/y
Ενέργεια για εξάτμιση	3081197	MJ/y
<b>Συνολική ενέργεια για παραγωγή ατμού</b>	<b>3553774</b>	<b>MJ/y</b>
<b>Συνολική ενέργεια για παραγωγή ατμού</b>	<b>3554</b>	<b>GJ/y</b>

### Διάγραμμα ροής



Διάγραμμα 4: Διάγραμμα ροής για το στάδιο ξεφλούδισματος μαζί με τις ποσότητες των ρευμάτων.

### Ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας

Το ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας του σταδίου υπολογίζεται στο κεφάλαιο 2.1.14. Για το στάδιο του ξεφλούδισματος η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ισούται με 534,11MWh.

#### 2.1.4 Τεμάχισμα και Σύνθλιψη (crushing)

Στο στάδιο αυτό περιγράφονται δύο διεργασίες. Η μια αφορά στην γραμμή παραγωγής κονσερβών και η άλλη στην γραμμή παραγωγής σάλτσας ντομάτας. Πιο αναλυτικά η ποσότητα των 16.062 τόνων ξεφλουδισμένων ντοματών οδηγείται ένα μέρος της από μηχάνημα τεμαχισμού. Η διάταξη αυτή τεμαχίζει σε κύβους την σάρκα της ντομάτας η οποία λαμβάνει την τελική μορφή που θα έχει στο τελικό προϊόν. Στο στάδιο αυτό ανάλογα με της ανάγκες του εργοστασίου το ποσοστό της εισερχόμενης ροής που θα τεμαχιστεί σε κύβους διαφέρει. Στην υπό μελέτη περίπτωση θα γίνει υπόθεση ότι 50% της τροφοδοσίας του

σταδίου τεμαχίζεται σε κύβους, ενώ το υπόλοιπο 50% παραμένει ολόκληρο. Στην δεύτερη διεργασία όπου γίνεται σύνθλιψη των ντοματών εισέρχεται ως τροφοδοσία το 10% της εξόδου από τον πρώτο διαχωρισμό και 65% από την έξοδο του διαχωρισμού από το ξεφλούδισμα. Η συνολική ποσότητα που συνθλίβεται ανέρχεται στους 34.929 τόνους ανά σεζόν λειτουργίας.

### Ισοζύγια μάζας

Πίνακας 13: Ισοζύγια μάζας για στάδιο τεμαχισμού και στάδιο σύνθλιψης.

Τεμαχισμός ντομάτας		
Ντομάτες, τροφοδοσία	16062,2	t/y
% τεμαχισμένων ντοματών	50%	-
Τεμαχισμένες ντομάτες, έξοδος	8031,12	t/y
Ολόκληρες ντομάτες έξοδος	8031,12	t/y

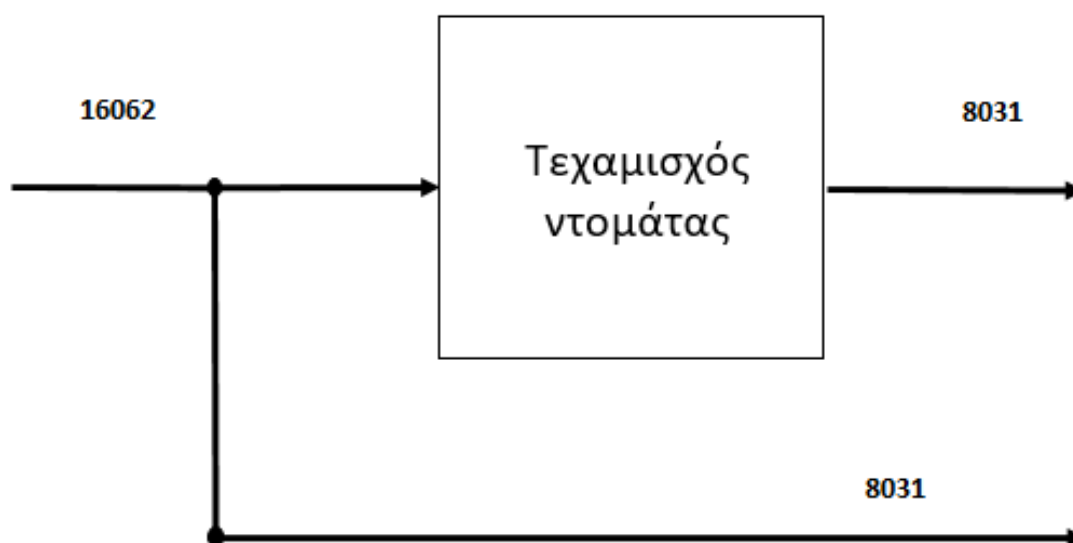
  

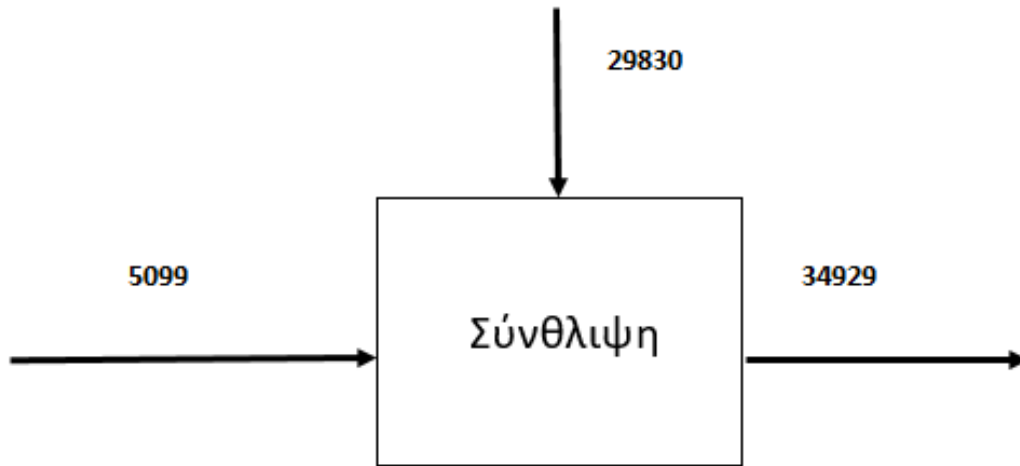
Σύνθλιψη ντομάτας		
Ντομάτες από ξεφλούδισμα, τροφοδοσία	29829,9	t/y
Ντομάτες για σάλτσα, τροφοδοσία	5099,13	t/y
Crushed tomatoes for sauce,out	34929	t/y

### Ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας

Είναι δεδομένο ότι οι μηχανικές εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούνται για το τεμαχισμό και την σύνθλιψη καταναλώνουν ηλεκτρική ενέργεια. Όμως το μέγεθος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο με συνέπεια να μην λαμβάνεται υπόψιν στα πλαίσια της εργασίας.

### Διάγραμμα ροής





Διάγραμμα 5: Διαγράμματα ροής για στάδιο τεμαχίσματος και σύνθλιψης.

#### 2.1.5 Απενεργοποίηση ενζύμων (Hot break)

Οι ντομάτες που έχουν συνθλιβεί, συγκεκριμένα 34.929 τόνοι, και ακολουθούν την γραμμή παραγωγής σάλτσας χρειάζεται να θερμανθούν προκειμένου να απενεργοποιηθούν τα πηκτολυτικά ένζυμα. Τα ένζυμα αυτά χρειάζεται να απενεργοποιηθούν προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή πυκνότητα, υφή και ομογένεια στο τελικό προϊόν της σάλτσας. Τα τέσσερα κυριότερα πηκτολυτικά ένζυμα που απαντώνται στα κυτταρικά τοιχώματα των κυττάρων της ντομάτας είναι: η πολυγαλακτουρονάση (polygalacturonase), η πηκτίνη μεθυλεστεράσης (pectin methylesterase), η β-γαλακτοσιδάση (β-galactosidase) και η πηκτική λυάση (pectate lyase)<sup>[26]</sup>. Η ποσότητα που επεξεργάζεται θερμαίνεται μέχρι τους 85 – 95 °C. Στην θερμοκρασία αυτή τα ένζυμα είναι απενεργοποιημένα και εξαλείφεται ο κίνδυνος τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά της σάλτσας να μην πληρούν τις τελικές προϋποθέσεις<sup>[27][28]</sup>.

#### Ισοζύγια μάζας

Είναι σημαντικό να γίνει ο υπολογισμός του απαιτούμενου ατμού που απαιτείται για την θέρμανση της εισερχόμενης ροής. Αρχικά υπολογίζεται το θερμικό φορτίο που χρειάζεται να προσφερθεί στην ροή ώστε αυτή να λάβει την θερμοκρασία των 90 °C που έχει οριστεί ως παραδοχή για την προ μελέτη επεξεργασία, εξίσωση (6). Στην συνέχεια υπολογίζεται η μαζική παροχή του ατμού εξίσωση (7).

$$\text{Heat Duty} = m \cdot C_{p,\text{tomato}} \cdot (T_{\text{τελ}} - T_{\text{αρχ}}) \quad (6)$$

$$\text{Steam flow} = \frac{\text{Heat Duty}}{\Delta H_{\text{εξάτμισης}}} \quad (7)$$

Όπου,

$m = \eta \text{ μάζα της ροής (t)}$

$C_{p,tomato} = \text{θερμοχωρητικότητα της ντομάτας υπό σταθερή πίεση (3,98 } \frac{Kj}{Kg \cdot K})^{[29]}$

$T_{αρχ} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}$ , διότι οι ντομάτες λόγω της τριβής και την σύνθλιψη έχουν θερμανθεί ελαφρώς πάνω από την θερμοκρασία περιβάλλοντος

$T_{τελ} = 90 \text{ } ^\circ\text{C}$

$\Delta H_{εξάτμισης} = \text{ενθαλπία εξάτμισης νερού για } T = 184^\circ\text{C (2013,56 } \frac{Kj}{Kg})^{[30][31]}$

Στον Πίνακα 14 απεικονίζονται τα ισοζύγια μάζας για το στάδιο απενεργοποίησης των ενζύμων.

Πίνακας 14: Ισοζύγια μάζας για στάδιο απενεργοποίησης ενζύμων.

Απενεργοποίηση ενζύμων		
<b>Ντομάτες από σύνθλιψη, τροφοδοσία</b>	<b>34929,01</b>	t/y
Ειδική θερμοχωρητικότητα ντομάτας	3,98	kJ/kg*K
Αρχική θερμοκρασία ντομάτας	30	C
Τελική θερμοκρασία ντομάτας	90	C
<b>Επεξεργασμένες ντομάτες, έξοδος</b>	<b>34929,01</b>	t/y
<b>Heat duty</b>	<b>8341047</b>	MJ/y
Heat duty ανά ώρα	6133	MJ/h
<b>Απαιτούμενο ροή ατμού ανά σεζόν</b>	<b>4142</b>	<b>t/y</b>
Απαιτούμενο ροή ατμού ανά μέρα	48,73	t/d
Απαιτούμενο ροή ατμού ανά ώρα	3,05	t/h
<b>Απαιτούμενο φρέσκο νερό για ατμό</b>	<b>453</b>	<b>t/y</b>
<b>Ανακύκλωση ατμού</b>	<b>3689</b>	t/y
<b>Συνολική ποσότητα ατμού ανα σεζόν</b>	<b>4142</b>	t/y

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς ο απαιτούμενος ατμός για την επίτευξη της κατάλληλης θέρμανσης είναι 4.142 τόνους ανά σεζόν λειτουργίας. Αυτό όμως δεν συνεπάγεται ότι θα χρησιμοποιηθούν ισάριθμοι τόνοι φρέσκου νερού για την παραγωγή αυτού του ατμού. Η θέρμανση γίνεται σε έναν εναλλάκτη θερμότητας κλειστού συστήματος. Αυτό σημαίνει ότι πραγματοποιείται ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση του νερού σε πολύ υψηλά επίπεδα. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή το ποσοστό ανακύκλωσης του νερού ορίζεται στο 95%. Και το φρέσκο νερό που πρέπει να αντληθεί υπολογίζεται από το σενάριο λειτουργίας που απεικονίζεται στον Πίνακα 15.

Πίνακας 15: Σενάριο λειτουργίας για κατανάλωση νερού στο στάδιο απενεργοποίησης ενζύμων.

Ημερήσιο σενάριο λειτουργίας			
Ώρες	Ατμός από φρέσκο νερό (t)	Νερό ανακύκλωσης (t)	Ατμός στο σύστημα (t)
0-1	3,05	0	3,05
1-2	0,15	2,9	3,05
2-3	0,15	2,9	3,05
3-4	0,15	2,9	3,05
4-5	0,15	2,9	3,05
5-6	0,15	2,9	3,05
6-7	0,15	2,9	3,05
7-8	0,15	2,9	3,05
8-9	0,15	2,9	3,05
9-10	0,15	2,9	3,05
10-11	0,15	2,9	3,05
11-12	0,15	2,9	3,05
12-13	0,15	2,9	3,05
13-14	0,15	2,9	3,05
14-15	0,15	2,9	3,05
15-16	0,15	2,9	3,05
<b>Σύνολο</b>	<b>5,33</b>	<b>43,40</b>	<b>48,73</b>
% ανακύκλωση ατμού			95%
<b>Συνολικός ατμός ανά μέρα</b>			<b>5,33</b> t/d
<b>Συνολική ανακύκλωση νερού ανά μέρα</b>			<b>43,40</b> t/d

Αρχικά υπολογίζεται η ποσότητα ατμού που απαιτείται να διατρέχει κάθε ώρα το σύστημα, αυτή η ποσότητα είναι 3,05 τόνοι. Άρα στην δεξιά στήλη είναι το άθροισμα της ανακύκλωσης και του φρέσκου νερού που πρέπει να είναι συνεχώς 3,05 τόνοι. Το ανακυκλώσιμο νερό είναι 95% της απαιτούμενης ποσότητας για κάθε ώρα λειτουργίας και κάθε ώρα προστίθεται ουσιαστικά 5% φρέσκο νερό, με εξαίρεση την πρώτη ώρα όπου όλο το νερό είναι φρέσκο. Τελικά υπολογίζεται ότι το στάδιο αυτό απαιτεί 5,33 τόνους την μέρα ή 453 τόνους για όλη την περίοδο λειτουργίας του. Παράλληλα ανακυκλώνονται συνολικά 3.689 τόνοι νερού.

### Ισοζύγια θερμικής ενέργειας

Ο υπολογισμός της θερμικής ενέργειας που πρέπει να προσφερθεί από τον καυστήρα υπολογίζεται με χρήση των εξισώσεων (4) και (5), στον Πίνακα 16 απεικονίζονται τα ισοζύγια θερμικής ενέργειας για το στάδιο απενεργοποίησης ενζύμων.

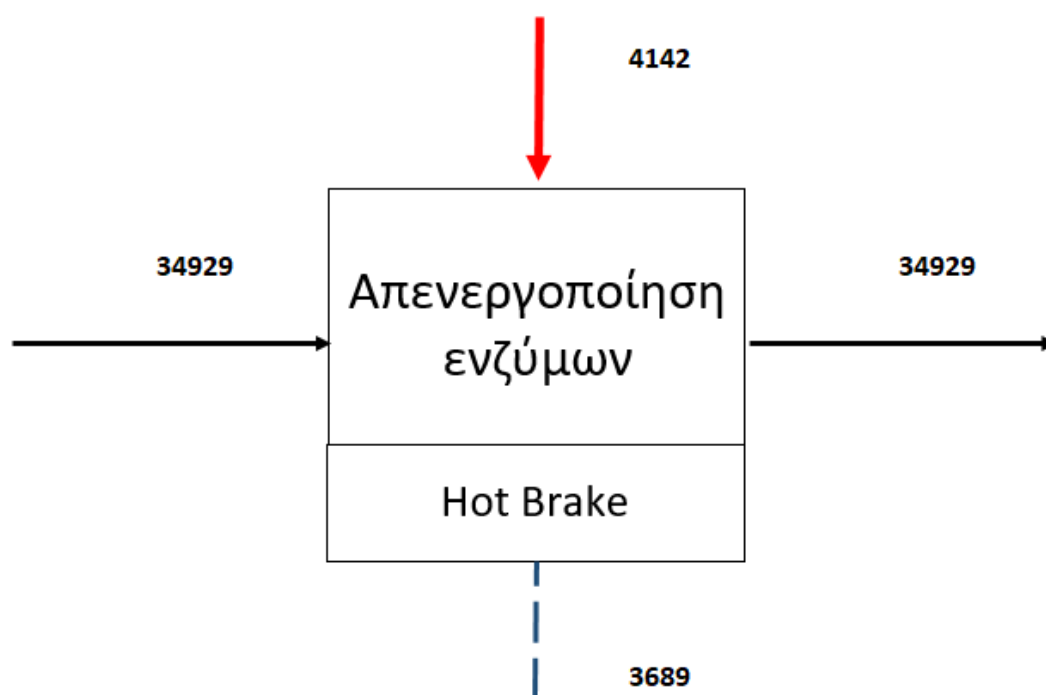
Πίνακας 16: Ισοζύγια θερμικής ενέργειας για το στάδιο απενεργοποίησης ενζύμων.

Αρχική θερμοκρασία νερού	25	C
Τελική θερμοκρασία ατμού	184	C
Ειδική θερμοχωρητικότητα νερού (cp)	4,186	kJ/kg*K
Dh εξάτμισης	2013,56	kJ/kg
Ενέργεια για κορεσμένο υγρό	301558	MJ/y
Ενέργεια για εξάτμιση	912302	MJ/y
<b>Ενέργεια για παραγωγή νέου ατμού</b>	<b>1213860</b>	MJ/y
Αρχική θερμοκρασία ανακυκλωμένου νερού	184	C
Τελική θερμοκρασία ατμού	184	C
Ενέργεια για κορεσμένο υγρό	0	MJ/y
Ενέργεια εξάτμισης νερού ανακύκλωσης	7428745	MJ/y
<b>Συνολική ενέργεια που απαιτείται</b>	<b>8642604</b>	<b>MJ/y</b>
<b>Συνολική ενέργεια που απαιτείται</b>	<b>8643</b>	<b>GJ/y</b>

### Ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας

Το ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας του σταδίου υπολογίζεται στο κεφάλαιο 2.1.14. Για το στάδιο της απενεργοποίησης ενζύμων η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ισούται με 175,77 MWh.

### Διάγραμμα ροής



### 2.1.6 Εξαγωγή χυμού (juice extraction)

Οι προθερμασμένες ντομάτες που έχουν συνθλιβεί εισέρχονται σε μηχανήμα εξαγωγής χυμού ντομάτας από την τροφοδοσία. Η εγκατάσταση περιλαμβάνει πολτοποιητή και refiner. Από την διεργασία βγαίνουν δύο ρεύματα, ο χυμός ντομάτας με 5° Brix<sup>[32]</sup>, και παραπροϊόν το οποίο αποτελείται από φλούδες ντομάτας και σπόρους, το οποίο και απομακρύνεται από την γραμμή παραγωγής σάλτσας. Οι βαθμοί Brix αντιπροσωπεύουν τα διαλυμένα στερεά σε υγρά, στη συγκεκριμένη περίπτωση αντιπροσωπεύουν τα διαλυμένα σάκχαρα σε υδατικά διαλύματα. Ένας βαθμός Brix σε αντιστοιχεί σε 1 γραμμάριο σακχαρόζη σε 100 γραμμάρια διαλύματος<sup>[33]</sup>. Οι βαθμοί Brix υπολογίζονται από την σχέση:

$$Bx = \frac{Ds \cdot 100}{Ds + w} \quad (8)$$

Όπου,

$Ds$  = βάρος διαλυμένων στερεών

$w$  = βάρος υδατικού διαλύματος

Σύμφωνα με πειραματικά δεδομένα το 6% της εισερχόμενης ροής τελικά απομακρύνεται ως παραπροϊόν<sup>[26]</sup>, το οποίο χρησιμοποιείται ως συμπληρώματα ζωοτροφών<sup>[8][20]</sup>. Το ποσοστό αυτό μεταβάλλεται ανάλογα την θερμοκρασία της τροφοδοσίας (μεγαλύτερη απόδοση με μεγαλύτερη θερμοκρασία) και την ποικιλία της ντομάτας που χρησιμοποιείται για πρώτη ύλη.

### Ισοζύγιο μάζας

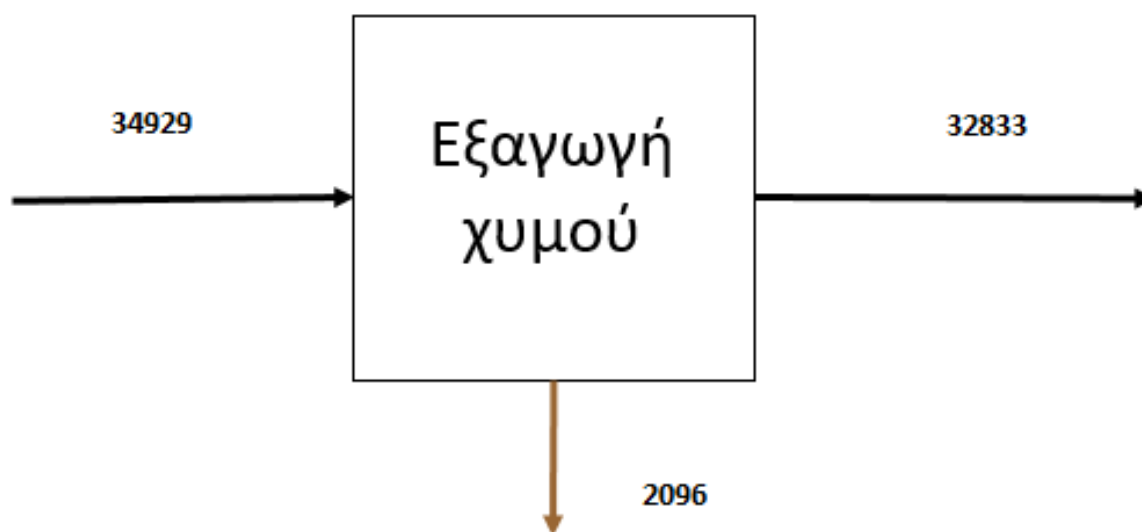
Πίνακας 17: Ισοζύγια μάζας για το στάδιο εξαγωγής χυμού ντομάτας.

Εξαγωγή χυμού ντομάτας		
<b>Επεξεργασμένες ντομάτες, τροφοδοσία</b>	<b>34929,00</b>	t/y
Φλούδες και σπόροι/τροφοδοσία	6%	-
<b>Φλούδες και σπόροι</b>	<b>2095,74</b>	t/y
<b>Χυμός ντομάτας, έξοδος</b>	<b>32833,26</b>	t/y
Βαθμοί Brix χυμού ντομάτας	5%	-

### Ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας

Είναι δεδομένο ότι η εγκατάσταση για την εξαγωγή του χυμού ντομάτας καταναλώνει ηλεκτρική ενέργεια. Όμως το μέγεθος της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνουν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο με συνέπεια να μην λαμβάνεται υπόψιν στα πλαίσια της εργασίας.

## Διάγραμμα ροής



Διάγραμμα 7: Διαγράμματα ροής για στάδιο εξαγωγής χυμού ντομάτας.

### 2.1.7 Εξάτμιση (Evaporation)

Ο σκοπός του σταδίου είναι η συμπύκνωση του χυμού ντομάτας σε σάλτσα με εξάτμιση του νερού. Συγκεκριμένα, οι βαθμοί Brix αυξάνονται στους 8,5° από τους 5°. Η διεργασία πραγματοποιείται σε έναν εξατμιστήρα τριπλού σταδίου και κάτω από συνθήκες κενού. Η θερμοκρασία κάθε σταδίου είναι 77 – 82°C, 70 – 75°C, 54 – 57°C αντίστοιχα<sup>[26]</sup>. Ο εξατμιστήρας τριπλού σταδίου αυξάνει την απόδοση της διεργασίας και επιτυγχάνει τα επιθυμητά αποτελέσματα χρησιμοποιώντας λιγότερη ενέργεια και νερό. Για κάθε τόνο ζωντανού ατμού που χρησιμοποιείται εξατμίζονται 3,2 τόνοι νερού από το ρεύμα τροφοδοσίας<sup>[34]</sup>.

## Ισοζύγιο μάζας

Πίνακας 18: Ισοζύγια μάζας για στάδιο εξάτμισης.

Εξάτμιση		
<b>Χυμός ντομάτας, τροφοδοσία</b>	<b>32833,27</b>	t/y
Αρχικοί βαθμοί Brix	5%	-
Τελικοί βαθμοί Brix	8,5%	-
<b>Σάλτσα ντομάτας, έξοδος</b>	<b>19313,69</b>	t/y
<b>Εξατμισμένο νερό, έξοδος</b>	<b>13519,58</b>	t/y
t εξατμ. νερού/ t ζωντανού ατμού	3,2	-
<b>Απαιτούμενος ατμός ανά σεζόν</b>	<b>4225</b>	t/y
Απαιτούμενο ροή ατμού ανά μέρα	49,70	t/d
Απαιτούμενο ροή ατμού ανά ώρα	3,11	t/h
<b>Απαιτούμενο φρέσκο νερό για ατμό</b>	<b>462</b>	t/y
<b>Ανακυκλωση ατμού</b>	<b>3762,8</b>	t/y



<b>Συνολική ποσότητα ατμού ανα σεζόν</b>	<b>4225</b>	<b>t/y</b>
--	-------------	------------

Αρχικά υπολογίζεται η ποσότητα ατμού που απαιτείται να διατρέχει κάθε ώρα το σύστημα, αυτή η ποσότητα είναι 3,11 τόνοι. Άρα στην τέταρτη στήλη του Πίνακα 19 είναι το άθροισμα της ανακύκλωσης και του φρέσκου νερού που πρέπει να είναι συνεχώς 3,11 τόνοι. Το ανακυκλώσιμο νερό είναι 95% της απαιτούμενης ποσότητας για κάθε ώρα λειτουργίας και κάθε ώρα προστίθεται ουσιαστικά 5% φρέσκο νερό, με εξαίρεση την πρώτη ώρα όπου όλο το νερό είναι φρέσκο. Τελικά υπολογίζεται ότι το στάδιο αυτό απαιτεί 5,44 τόνους την μέρα ή 462 τόνους για όλη την περίοδο λειτουργίας του. Παράλληλα ανακυκλώνονται συνολικά 3.762,8 τόνοι νερού.

Πίνακας 19: Σενάριο λειτουργίας για κατανάλωση νερού στο στάδιο εξάτμισης.

Ημερήσιο σενάριο λειτουργίας			
Ώρες	Ατμός από φρέσκο νερό (t)	Νερό ανακύκλωσης (t)	Ατμός στο σύστημα (t)
0-1	3,11	0	3,11
1-2	0,16	3,0	3,11
2-3	0,16	3,0	3,11
3-4	0,16	3,0	3,11
4-5	0,16	3,0	3,11
5-6	0,16	3,0	3,11
6-7	0,16	3,0	3,11
7-8	0,16	3,0	3,11
8-9	0,16	3,0	3,11
9-10	0,16	3,0	3,11
10-11	0,16	3,0	3,11
11-12	0,16	3,0	3,11
12-13	0,16	3,0	3,11
13-14	0,16	3,0	3,11
14-15	0,16	3,0	3,11
15-16	0,16	3,0	3,11
<b>Σύνολο</b>	<b>5,44</b>	<b>44,27</b>	<b>49,70</b>
% ανακύκλωση ατμού			95%
<b>Συνολικός ατμός ανά μέρα</b>			<b>5,44</b> t/d
<b>Συνολική ανακύκλωση νερού ανά μέρα</b>			<b>44,27</b> t/d

### Ισοζύγια θερμικής ενέργειας

Ο υπολογισμός της θερμικής ενέργειας που πρέπει να προσφερθεί από τον καυστήρα υπολογίζεται με χρήση των εξισώσεων (4) και (5), στον Πίνακα 20 απεικονίζονται τα ισοζύγια θερμικής ενέργειας για το στάδιο εξάτμισης.

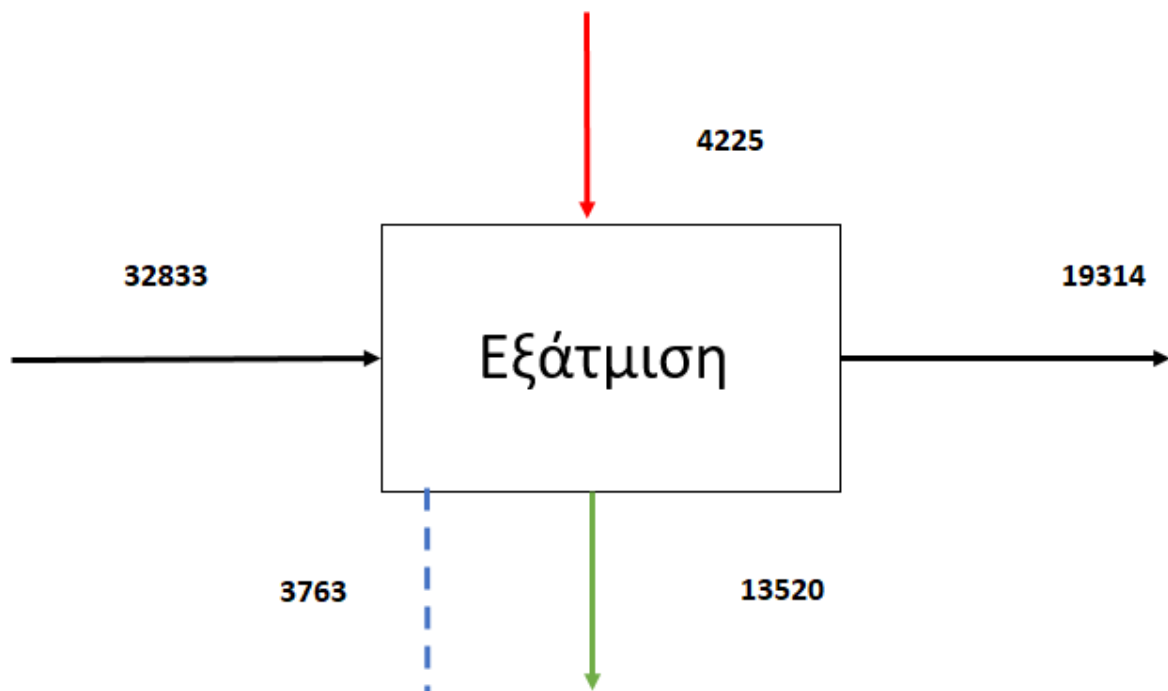
Πίνακας 20: Ισοζύγια θερμικής ενέργειας για το στάδιο εξάτμισης.

Αρχική θερμοκρασία νερού	25	C
Τελική θερμοκρασία ατμού	184	C
Ειδική θερμοχωρητικότητα νερού (cp)	4,186	kJ/kg*K
Dh εξάτμισης	2013,56	kJ/kg
Ενέργεια για κορεσμένο υγρό	307558	MJ/y
Ενέργεια για εξάτμιση	930456	MJ/y
<b>Ενέργεια για παραγωγή νέου ατμού</b>	<b>1238014</b>	MJ/y
Αρχική θερμοκρασία ανακυκλωμένου νερού	184	C
Τελική θερμοκρασία ατμού	184	C
Ενέργεια για κορεσμένο υγρό	0	MJ/y
Ενέργεια εξάτμισης νερού ανακύκλωσης	<b>7576571</b>	MJ/y
<b>Συνολική ενέργεια που απαιτείται</b>	<b>8814585</b>	MJ/y
<b>Συνολική ενέργεια που απαιτείται</b>	<b>8815</b>	GJ/y

### Ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας

Το ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας του σταδίου υπολογίζεται στο κεφάλαιο 2.1.14. Για το στάδιο της εξάτμισης η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ισούται με 179,27 MWh.

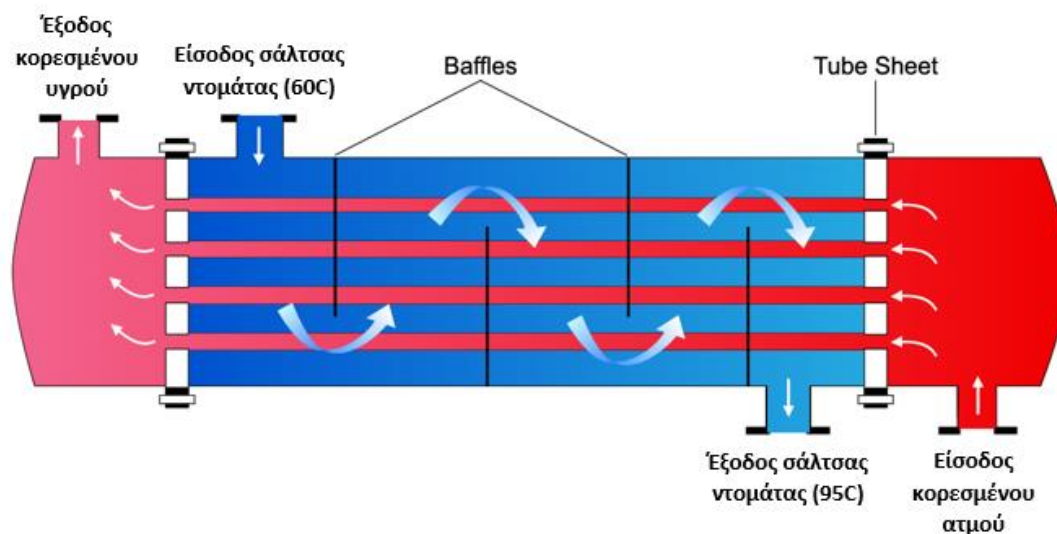
### Διάγραμμα ροής



Διάγραμμα 8: Διαγράμματα ροής για στάδιο εξάτμισης.

### 2.1.8 Προθέρμανση

Στο στάδιο της προθέρμανσης η εισερχόμενη ποσότητα από την γραμμή παραγωγής θερμαίνεται από τους 60°C, που είναι η θερμοκρασία που εξέρχεται από το στάδιο της εξάτμισης, στους 95°C. Ως έξοδο το στάδιο της προθέρμανσης έχει δύο ρεύματα. Το ένα καταλήγει σε συσκευασία σάλτσα ντομάτας και το άλλο οδηγείται στην γραμμή παραγωγής κονσερβοποιημένων ντοματών. Το δεύτερο ρεύμα λειτουργεί ως πληρωτικό στις κονσέρβες με αναλογία 60:40 κατά βάρος (60% τεμαχισμένες ή ολόκληρες ντομάτες και 40% σάλτσα ντομάτας). Η διεργασία πραγματοποιείται σε ανάλλακτη θερμότητας κελύφους-σωλήνα, όπως απεικονίζεται στην Εικόνα 11.



Εικόνα 11: Εναλλάκτης θερμότητας κελύφους-σωλήνα για το στάδιο προθέρμανσης σάλτσας ντομάτας<sup>[37]</sup>.

### Ισοζύγιο μάζας

Πίνακας 21: Ισοζύγια μάζας για το στάδιο προθέρμανσης.

Προθέρμανση		
<b>Σάλτσα ντομάτας, τροφοδοσία</b>	<b>19314</b>	t/y
<b>Σάλτσα για κονσέρβες, έξοδος</b>	<b>10708</b>	t/y
<b>Σάλτσα ντομάτας, έξοδος</b>	<b>8605,52</b>	t/y
Αρχική θερμοκρασία σάλτσας	60	C
Τελική θερμοκρασία σάλτσας	95	C
Ειδική θερμοχωρητικότητα ντομάτας	3,98	kJ/kg*K
<b>Heat duty</b>	<b>2690396</b>	MJ/y
<b>Απαιτούμενο ροή ατμού ανά σεζόν</b>	<b>1336</b>	t/y
Απαιτούμενο ροή ατμού ανά μέρα	15,72	t/d
Απαιτούμενο ροή ατμού ανά ώρα	0,98	t/h
<b>Απαιτούμενο φρέσκο νερό για ατμό</b>	<b>146</b>	t/y
<b>Ανακυκλωση ατμού</b>	<b>1190</b>	t/y
<b>Συνολική ποσότητα ατμού ανά σεζόν</b>	<b>1336</b>	t/y

Υπολογίζεται η ποσότητα ατμού που απαιτείται να διατρέχει κάθε ώρα το σύστημα, αυτή η ποσότητα είναι 0,98 τόνοι. Άρα στην τέταρτη στήλη του Πίνακα 22 είναι το άθροισμα της ανακύκλωσης και του φρέσκου νερού που πρέπει να είναι συνεχώς 0,98 τόνοι. Το ανακυκλώσιμο νερό είναι 95% της απαιτούμενης ποσότητας για κάθε ώρα λειτουργίας και κάθε ώρα προστίθεται ουσιαστικά 5% φρέσκο νερό, με εξαίρεση την πρώτη ώρα όπου όλο το νερό είναι φρέσκο. Τελικά υπολογίζεται ότι το στάδιο αυτό απαιτεί 1,72 τόνους την μέρα ή 146 τόνους για όλη την περίοδο λειτουργίας του. Παράλληλα ανακυκλώνονται συνολικά 1190 τόνοι νερού.

Πίνακας 22: Σενάριο λειτουργίας για κατανάλωση νερού στο στάδιο της προθέρμανσης.

Ημερήσιο σενάριο λειτουργίας			
Ώρες	Ατμός από φρέσκο νερό (t)	Νερό ανακύκλωσης (t)	Ατμός στο σύστημα (t)
0-1	0,98	0	0,98
1-2	0,05	0,9	0,98
2-3	0,05	0,9	0,98
3-4	0,05	0,9	0,98
4-5	0,05	0,9	0,98
5-6	0,05	0,9	0,98
6-7	0,05	0,9	0,98
7-8	0,05	0,9	0,98
8-9	0,05	0,9	0,98
9-10	0,05	0,9	0,98
10-11	0,05	0,9	0,98
11-12	0,05	0,9	0,98
12-13	0,05	0,9	0,98
13-14	0,05	0,9	0,98
14-15	0,05	0,9	0,98
15-16	0,05	0,9	0,98
<b>Σύνολο</b>	<b>1,72</b>	<b>14,00</b>	<b>15,72</b>
% ανακύκλωση ατμού			95%
<b>Συνολικός ατμός ανά μέρα</b>			<b>1,72</b> t/d
<b>Συνολική ανακύκλωση νερού ανά μέρα</b>			<b>14,00</b> t/d

### Ισοζύγια θερμικής ενέργειας

Ο υπολογισμός της θερμικής ενέργειας που πρέπει να προσφερθεί από τον καυστήρα υπολογίζεται με χρήση των εξισώσεων (4) και (5), στον Πίνακα 23 απεικονίζονται τα ισοζύγια θερμικής ενέργειας για το στάδιο προθέρμανσης.

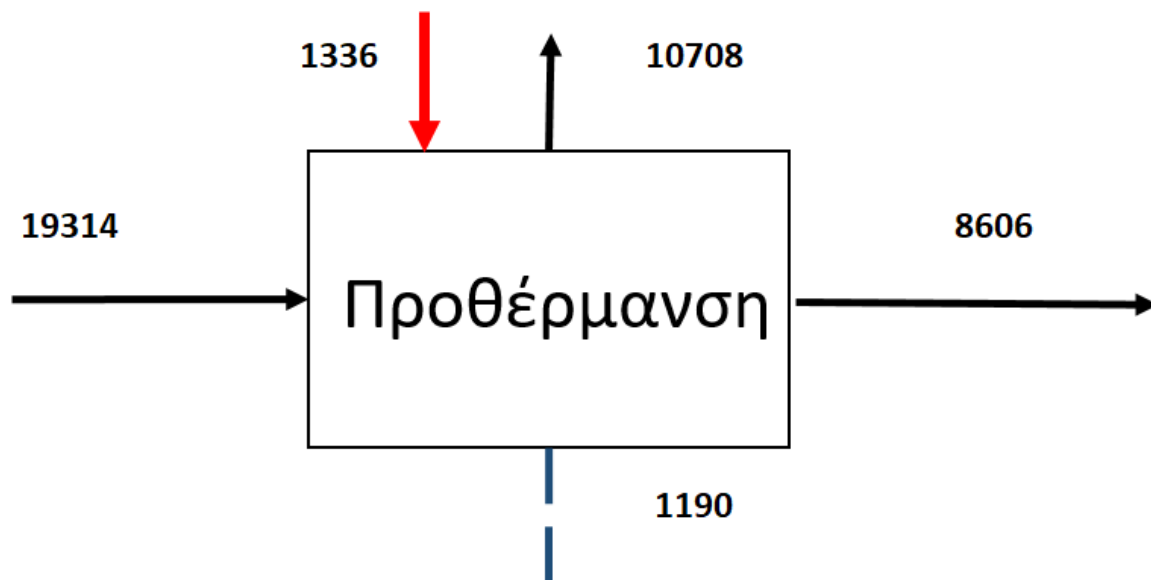
Πίνακας 23: Ισοζύγια θερμικής ενέργειας για το στάδιο της προθέρμανσης.

Αρχική θερμοκρασία νερού	25	C
Τελική θερμοκρασία ατμού	184	C
Ειδική θερμοχωρητικότητα νερού (cp)	4,186	kJ/kg*K
Dh εξάτμισης	2013,56	kJ/kg
Ενέργεια για κορεσμένο υγρό	97267	MJ/y
Ενέργεια για εξάτμιση	294262	MJ/y
<b>Ενέργεια για παραγωγή νέου ατμού</b>	<b>391529</b>	MJ/y
Αρχική θερμοκρασία ανακυκλωμένου νερού	184	C
Τελική θερμοκρασία ατμού	184	C
Ενέργεια για κορεσμένο υγρό	0	MJ/y
Ενέργεια εξάτμισης νερού ανακύκλωσης	<b>2396134</b>	MJ/y
<b>Συνολική ενέργεια που απαιτείται</b>	<b>2787664</b>	MJ/y
<b>Συνολική ενέργεια που απαιτείται</b>	<b>2788</b>	GJ/y

### Ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας

Το ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας του σταδίου υπολογίζεται στο κεφάλαιο 2.1.14. Για το στάδιο του ξεφλουδίσματος η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ισούται με 56,70 MWh.

### Διάγραμμα ροής



Διάγραμμα 9: Διαγράμματα ροής για στάδιο προθέρμανσης.

### 2.1.9 Γέμισμα κονσερβών με τεμαχισμένες ή ολόκληρες ντομάτες

Όπως αναφέρεται και στην ενότητα 2.1.8 οι κονσέρβες αποτελούνται από 60:40 κατά βάρος με 60% τεμαχισμένες ή ολόκληρες ντομάτες και 40% σάλτσα ντομάτας. Η σάλτσα έχει χρησιμοποιείται ως πληρωτικό έχει 8,5° Brix ενώ οι τεμαχισμένες ντομάτες κοντά στους 5° Brix<sup>[32]</sup>. Σύμφωνα με την εξίσωση (9) υπολογίζεται ότι οι τελικοί βαθμοί Brix για το προϊόν κονσερβοποιημένης ντομάτας είναι ανάμεσα στις τιμές 6,4°-6,5° Brix. Από την εξίσωση (10) υπολογίζεται η θερμοκρασία της κονσέρβας μετά την ολοκλήρωση της συσκευασίας.

$$^{\circ}\text{Brix}_{\text{κονσερβας}} = \% \frac{W}{W_{\text{σάλτσας}}} \cdot ^{\circ}\text{Brix}_{\text{σάλτσας}} + \% \frac{W}{W_{\text{ντομάτας}}} \cdot ^{\circ}\text{Brix}_{\text{ντομάτας}} \quad (9)$$

$$T(^{\circ}\text{C})_{\text{κονσερβας}} = \% \frac{W}{W_{\text{σάλτσας}}} \cdot T(^{\circ}\text{C})_{\text{σάλτσας}} + \% \frac{W}{W_{\text{ντομάτας}}} \cdot T(^{\circ}\text{C})_{\text{ντομάτας}} \quad (10)$$

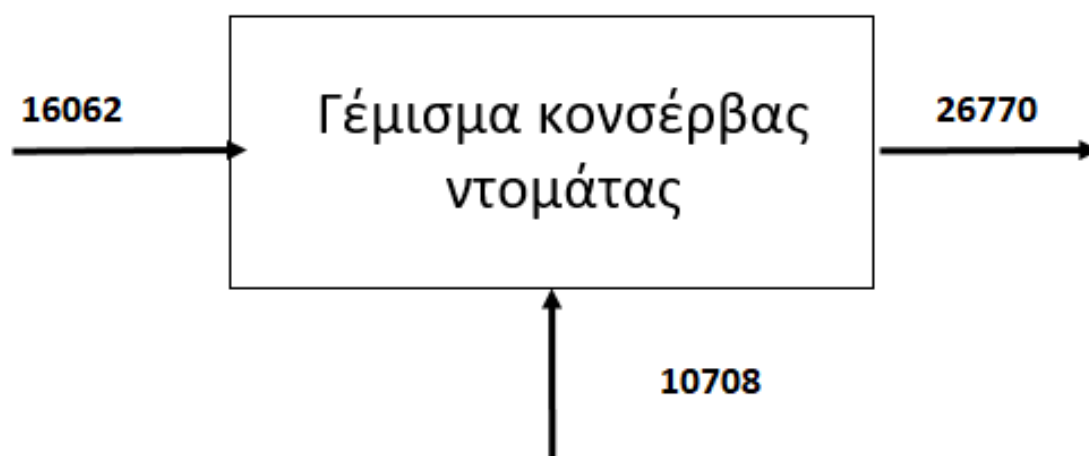
Η κατά βάρος αναλογία σάλτσας και ντομάτας στην συσκευασία είναι απόφαση της εκάστοτε βιομηχανικής μονάδας και εξαρτάται από τις επιθυμητές προδιαγραφές και την σύστασή του προϊόντος.

### Ισοζύγιο μάζας

Πίνακας 24: Ισοζύγια μάζας για το στάδιο συσκευασίας κονσερβών.

Γέμισμα κονσέρβας ντομάτας		
Τεμαχισμένες/ολόκληρες ντομάτες, τροφοδοσία	16062,2	t/y
Σάλτσα ντομάτας, τροφοδοσία	10708,2	t/y
Κονσέρβα ντομάτας, έξοδος	26770,4	t/y
Θερμοκρασία ντομάτας	40	C
Θερμοκρασία σάλτσας	95	C
Τελική θερμοκρασία κονσέρβας	62	C

### Διάγραμμα ροής

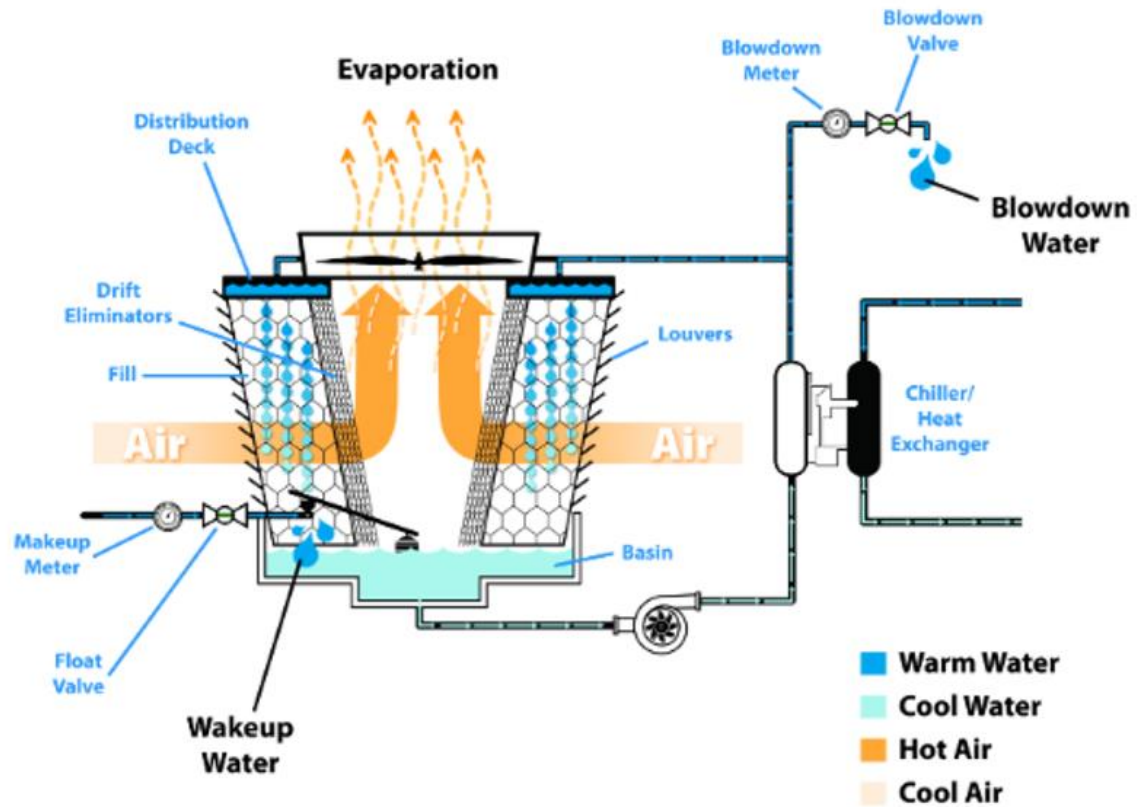


Διάγραμμα 10: Διάγραμμα ροής για στάδιο συσκευασίας κονσερβών.

#### 2.1.10 Παστερίωση

Η παστερίωση είναι μια ήπια θερμική διεργασία που έχει στόχο την καταστροφή παθογόνων μικροοργανισμών που μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα υγείας στον τελικό καταναλωτή. Επίσης, η παστερίωση μειώνει δραματικά τον πληθυσμό των αλλοιογόνων μικροοργανισμών με συνέπεια να αυξάνεται η διάρκεια ζωής των τροφίμων. Η παστερίωση χρησιμοποιείται ευρέως σε βιομηχανίες παραγωγής τροφίμων και ορισμένων ποτών με πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα να αποτελεί το γάλα<sup>[35]</sup>. Η διάρκεια επεξεργασίας και η θερμοκρασία της διεργασίας διαφοροποιείται ανάλογα με το τρόφιμο. Όσο αφορά στη ντομάτα έχουν απομονωθεί 12 βακτήρια τα οποία χρειάζεται να καταστραφούν ώστε το τρόφιμο να πληροί τις προϋποθέσεις για να καταναλωθεί. Τα βακτήρια αυτά είναι τα εξής: *Bacillus* sp., *Enterobacter* sp., *Citrobacter* sp., *Klebsiella* sp., *Shigella* sp., *Proteus mirabilis*, *Klebsiella oxytoca*, *Enterobacter cloacae*, *Citrobacter koseri*, και *Klebsiella pneumoniae*<sup>[36]</sup>. Για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα η σάλτσα ντομάτας πρέπει να περάσει από ανάλλακτη θερμότητας κελύφους-σωλήνα και προθερμαίνεται μέχρι την θερμοκρασία των 95°C. Η διεργασία αυτή περιεγράφηκε στην ενότητα 2.1.8. Στην συνέχεια τόσο οι συσκευασμένες σάλτσες όσο και οι κονσέρβες θερμαίνονται με την βοήθεια ατμού μέχρι το θερμικό κέντρο να καταγράψει θερμοκρασία 100°C<sup>[26]</sup>. Η παστερίωση συμβάλλει στην διατήρηση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών των τροφίμων στα αποδεκτά όρια για περισσότερο. Αυτό σημαίνει ότι το χρώμα, η υφή αλλά και το άρωμα των τροφίμων αλλοιώνονται με πολύ μικρότερο ρυθμό, συγκριτικά με τρόφιμα τα οποία δεν έχουν παστεριωθεί. Τα παραπάνω επιθυμητά αποτελέσματα είναι συνέπεια της μείωσης του πληθυσμού των αλλοιογόνων μικροοργανισμών, ενώ τα υψηλά επίπεδα ασφάλειας οφείλονται στην εξάλειψη των παθογόνων μικροοργανισμών.

Αμέσως μετά την θερμική επεξεργασία ακολουθεί ταχεία ψύξη με νερό. Για μείωση της κατανάλωσης φρέσκου νερού χρησιμοποιείται εγκατάσταση πύργου ψύξης. Ένας πύργος ψύξης αφαιρεί θερμότητα από το νερό μέσω της ενέργειας που απαιτείται για την εξάτμιση μικρής ποσότητας νερού. Ένα μικρό μέρος του νερού που δροσίζεται επιτρέπεται να εξατμιστεί σε ένα κινούμενο ρεύμα αέρα και προσφέρει σημαντική ψύξη για το υπόλοιπο ρεύμα νερού. Το νερό αρχικά περνάει από τον εναλλάκτη θερμότητας όπου απορροφάει θερμότητα. Στη συνέχεια, νερό διαχέεται από την κορυφή του πύργου ψύξης και έρχεται σε επαφή με σωλήνες που διατρέχονται με ζεστό νερό με συνέπεια μια ποσότητα νερού να εξατμίζεται. Η θερμότητα μεταφέρεται από το ρεύμα νερού στο ρεύμα αέρα, ανεβάζοντας την θερμοκρασία του και την σχετική υγρασία στο 100%. Το ρεύμα ζεστού αέρα αποβάλλεται στην ατμόσφαιρα και προκύπτει ένα ρεύμα ψυχρού νερού. Το ψυχρό νερό που συλλέγεται στην βάση οδηγείται στην διεργασία για ψύξη ενώ ένα κομμάτι διαβιβάζεται στην κορυφή του πύργου και ο κύκλος επαναλαμβάνεται<sup>[38]</sup>. Η χρήση πύργου ψύξης είναι σχετικά ανέξοδη και πολύ αξιόπιστη μέθοδος αφαίρεσης θερμότητας από την συνεχή ροή νερού. Στο Διάγραμμα 11 απεικονίζεται ένας τυπικός πύργος ψύξης μαζί με τα κύρια χαρακτηριστικά του όπως η αντλία ανακυκλοφορίας, ο εναλλάκτης θερμότητας και η βαλβίδα πλήρωσης νερού<sup>[39]</sup>.



Διάγραμμα 11: Διάγραμμα λειτουργίας πύργου ψύξης που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση για ψύξη νερού<sup>[39]</sup>.

## Ισοζύγια μάζας

Πίνακας 25: Ισοζύγια μάζας για το στάδιο της παστερίωσης.

Παστερίωση		
Κονσέρβες ντομάτας, τροφοδοσία	26770,41	t/y
Σάλτσα ντομάτας, τροφοδοσία	8605,52	t/y
Συνολικό Heat Duty	4220006	MJ/y
Απαιτούμενος ατμός ανά σεζόν	2096	t/y
Απαιτούμενο ροή ατμού ανά μέρα	24,66	t/d
Απαιτούμενο ροή ατμού ανά ώρα	1,54	t/h
Απαιτούμενο φρέσκο νερό για ατμό	229,23	t/y
Ανακύκλωση ατμού	1866,57	t/y
Συνολική ποσότητα ατμού ανα σεζόν	2095,79	t/y
Κονσέρβες ντομάτας (Τελικό προϊόν)	26770,41	t/y
Σάλτσα ντομάτας (Τελικό προϊόν)	8605,52	t/y



Υπολογίζεται η ποσότητα ατμού που απαιτείται να διατρέχει κάθε ώρα τον εναλλάκτη κελύφους-σωλήνα, αυτή η ποσότητα είναι 1,54 τόνοι. Άρα στην τέταρτη στήλη του Πίνακα 26 είναι το άθροισμα της ανακύκλωσης και του φρέσκου νερού που πρέπει να είναι συνεχώς 0,98 τόνοι. Το ανακυκλώσιμο νερό είναι 95% της απαιτούμενης ποσότητας για κάθε ώρα λειτουργίας και κάθε ώρα προστίθεται ουσιαστικά 5% φρέσκο νερό, με εξαίρεση την πρώτη ώρα όπου όλο το νερό είναι φρέσκο. Τελικά υπολογίζεται ότι το στάδιο αυτό απαιτεί 2,7 τόνους νερού την μέρα ή 229,23 τόνους για όλη την περίοδο λειτουργίας του. Παράλληλα ανακυκλώνονται συνολικά 1866,57 τόνοι νερού.

Πίνακας 26: Σενάριο λειτουργίας για κατανάλωση νερού για θερμική επεξεργασία στο στάδιο της παστερίωσης.

Ημερήσιο σενάριο λειτουργίας			
Ώρες	Ατμός από φρέσκο νερό (t)	Νερό ανακύκλωσης (t)	Ατμός στο σύστημα (t)
0-1	1,54	0	1,54
1-2	0,08	1,5	1,54
2-3	0,08	1,5	1,54
3-4	0,08	1,5	1,54
4-5	0,08	1,5	1,54
5-6	0,08	1,5	1,54
6-7	0,08	1,5	1,54
7-8	0,08	1,5	1,54
8-9	0,08	1,5	1,54
9-10	0,08	1,5	1,54
10-11	0,08	1,5	1,54
11-12	0,08	1,5	1,54
12-13	0,08	1,5	1,54
13-14	0,08	1,5	1,54
14-15	0,08	1,5	1,54
15-16	0,08	1,5	1,54
<b>Σύνολο</b>	<b>2,70</b>	<b>21,96</b>	<b>24,66</b>
% ανακύκλωση ατμού			95%
<b>Συνολικός ατμός ανά μέρα</b>			<b>2,70</b> t/d
<b>Συνολική ανακύκλωση νερού ανά μέρα</b>			<b>21,96</b> t/d

## Ισοζύγιο θερμικής ενέργειας

Ο υπολογισμός της θερμικής ενέργειας που πρέπει να προσφερθεί από τον καυστήρα υπολογίζεται με χρήση των εξισώσεων (4) και (5), στον Πίνακα 27 απεικονίζονται τα ισοζύγια θερμικής ενέργειας για της παστερίωσης. Το ρεύμα τροφοδοσίας της σάλτσας είναι σε θερμοκρασία 95°C ενώ η τροφοδοσία του ρεύματος παραγωγής κονσερβοποιημένης ντομάτας είναι σε θερμοκρασία 62°C. Η θερμοκρασία εισόδου για το ρεύμα κονσερβοποιημένης ντομάτας υπολογίζεται με την βοήθεια της παρακάτω εξίσωσης:

$$T_{\text{κονσέρβας}} = \% \frac{W}{W_{\text{σάλτσας}}} \cdot T_{\text{σάλτσας}} + \% \frac{W}{W_{\text{ντομάτας}}} \cdot T_{\text{ντομάτας}} \quad (11)$$

Οι κονσέρβες αποτελούνται από 60:40 κατά βάρος με 60% τεμαχισμένες ή ολόκληρες ντομάτες και 40% σάλτσα ντομάτας. Το ρεύμα σάλτσας που χρησιμοποιείται για την πλήρωση των δοχείων είναι σε θερμοκρασία 95°C, ενώ ή ολόκληρες ή τεμαχισμένες ντομάτες εισέρχονται στο στάδιο της πλήρωσης των κονσερβών σε θερμοκρασία 40°C.

Πίνακας 27: Ισοζύγια θερμικής ενέργειας για το στάδιο της παστερίωσης.

Αρχική θερμοκρασία σάλτσας	95	C
Τελική θερμοκρασία σάλτσας	100	C
Ειδική θερμοχωρητικότητα ντομάτας	3,98	kJ/kg*K
<b>Heat duty</b>	<b>171250</b>	<b>MJ/y</b>
Αρχική θερμοκρασία κονσέρβας	62	C
Τελική θερμοκρασία κονσέρβας	100	C
Ειδική θερμοχωρητικότητα ντομάτας	3,98	kJ/kg*K
<b>Heat duty</b>	<b>4048756</b>	<b>MJ/y</b>
Αρχική θερμοκρασία νερού	25	C
Τελική θερμοκρασία ατμού	184	C
Ειδική θερμοχωρητικότητα νερού (cp)	4,186	kJ/kg*K
Dh εξάτμισης	2013,56	kJ/kg
Ενέργεια για κορεσμένο υγρό	152568	MJ/y
Ενέργεια για εξάτμιση	461563	MJ/y
<b>Ενέργεια για παραγωγή νέου ατμού</b>	<b>614131</b>	<b>MJ/y</b>
Αρχική θερμοκρασία ανακυκλωμένου νερού	184	C
Τελική θερμοκρασία ατμού	184	C
Ενέργεια για κορεσμένο υγρό	0	MJ/y
Ενέργεια εξάτμισης νερού ανακύκλωσης	<b>3758443</b>	<b>MJ/y</b>
<b>Συνολική ενέργεια που απαιτείται</b>	<b>4372574</b>	<b>MJ/y</b>
<b>Συνολική ενέργεια που απαιτείται</b>	<b>4373</b>	<b>GJ/y</b>

## Ισοζύγια λειτουργίας πύργου ψύξης

Για τον υπολογισμό των ισοζυγίων ενέργειας και μάζας του πύργου ψύξης γίνεται η παραδοχή ότι η ειδική θερμοχωρητικότητα των τελικών προϊόντων είναι ίδια με αυτή της ντομάτας. Αυτό σημαίνει ότι στους υπολογισμούς η ειδική θερμοχωρητικότητα που λαμβάνεται υπόψιν ισούται με  $3,98 \frac{KJ}{kg \cdot K}$  ανεξάρτητα από το υλικό της συσκευασίας και από το είδους του τελικού προϊόντος (κονσέρβα ή βάζο σάλτσας). Ο πύργος ψύξης δεν διαθέτει την ικανότητα να μειώσει δραματικά την θερμοκρασία του θερμού νερού που εισέρχεται ως τροφοδοσία. Στην συγκεκριμένη βιομηχανική εγκατάσταση γίνεται η παραδοχή ότι ο πύργος ψύξης επιτυγχάνει μείωση 5°C μεταξύ του θερμού ρεύματος εισόδου και ψυχρού ρεύματος εξόδου. Τα τελικά προϊόντα ψύχονται μέχρι τους 45°C με την βοήθεια του νερού και στη συνέχεια αφήνονται να φτάσουν στην θερμοκρασία περιβάλλοντος. Το επόμενο στάδιο περιλαμβάνει την τοποθέτηση των τελικών προϊόντων σε παλέτες και την μεταφορά τους στα φορτηγά. Στον Πίνακα 28 παρουσιάζονται τα ισοζύγια ενέργειας και μάζας για τον πύργο ψύξης.

Πίνακας 28: Ισοζύγια ενέργειας και μάζας για την λειτουργία του πύργου ψύξης.

Αρχική θερμοκρασία τελικού προϊόντος	100	C
Τελική θερμοκρασία τελικού προϊόντος	45	C
Ειδική θερμοχωρητικότητα ντομάτας	3,98	kJ/kg*K
<b>Heat duty</b>	<b>7743791</b>	<b>MJ/y</b>

Ειδική θερμοχωρητικότητα νερού (cp)	4,186	kJ/kg*K
Θερμοκρασία εξερχόμενου νερού	25	C
Θερμοκρασία εισερχόμενου νερού	30	C
<b>Απαιτούμενο νερό ανά σεζόν</b>	<b>369985</b>	<b>t/y</b>
Απαιτούμενο νερό ανά μέρα	4352,77	t/d
Απαιτούμενο νερό ανά ώρα	272,05	t/h
<b>Απαιτούμενο φρέσκο νερό</b>	<b>36999</b>	<b>t/y</b>
<b>Ανακυκλωσή νερού</b>	<b>332987</b>	<b>t/y</b>
<b>Συνολική ποσότητα νερού ανα σεζόν</b>	<b>369985</b>	<b>t/y</b>

Υπολογίζεται η απαιτούμενη ποσότητα νερού στο σύστημα προκειμένου να επιτευχθεί η επιθυμητή ψύξη με την βοήθεια της εξίσωσης (4). Κατά την λειτουργία του πύργου ψύξης ένα μέρος του νερού εξατμίζεται προκειμένου ο κύριος όγκος να ψυχθεί. Αυτή η απώλεια νερού πρέπει να αναπληρώνεται με φρέσκο νερό με σκοπό να διατηρείται σταθερή η απαιτούμενη ποσότητα νερού στο σύστημα. Έτσι, θεωρείται ότι στο ημερήσιο σενάριο λειτουργίας υπάρχει 96% ανακύκλωση του νερού. Το υπόλοιπο εξατμίζεται και χάνεται στην ατμόσφαιρα. Στον Πίνακα 29 παρουσιάζεται το ημερήσιο σενάριο λειτουργίας. Υπολογίζεται ότι καθημερινά απαιτούνται 435,28 τόνοι φρέσκου νερού ενώ 3917,49 τόνοι ανακυκλώνονται. Αυτό συνεπάγεται ότι κατά την διάρκεια της σεζόν λειτουργίας

απαιτούνται να αντληθούν 36.999 τόνοι φρέσκου νερού ενώ ανακυκλώνονται 332.987 τόνοι.

Πίνακας 29: Ημερήσιο σενάριο λειτουργίας για τον πύργο ψύξης.

Ημερήσιο σενάριο λειτουργίας			
Ώρες	φρέσκο νερό (t)	Νερό ανακύκλωσης (t)	Νερό στο σύστημα (t)
0-1	272,05	0	272,05
1-2	10,88	261,2	272,05
2-3	10,88	261,2	272,05
3-4	10,88	261,2	272,05
4-5	10,88	261,2	272,05
5-6	10,88	261,2	272,05
6-7	10,88	261,2	272,05
7-8	10,88	261,2	272,05
8-9	10,88	261,2	272,05
9-10	10,88	261,2	272,05
10-11	10,88	261,2	272,05
11-12	10,88	261,2	272,05
12-13	10,88	261,2	272,05
13-14	10,88	261,2	272,05
14-15	10,88	261,2	272,05
15-16	10,88	261,2	272,05
<b>Σύνολο</b>	<b>435,28</b>	<b>3917,49</b>	<b>4352,77</b>
% ανακύκλωση νερού			96%
<b>Συνολική ποσότητα νερού ανά μέρα</b>			<b>435,28</b> t/d
<b>Συνολική ανακύκλωση νερού ανά μέρα</b>			<b>3917,49</b> t/d

### Ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας

Το ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας του σταδίου υπολογίζεται στο κεφάλαιο 2.1.14. Για το στάδιο του ξεφλουδίσματος η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ισούται με 88,93 MWh.

Η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει ο πύργος ψύξης οφείλεται στις απαιτήσεις λειτουργίας της φυγοκεντρικής αντλίας που χρησιμοποιείται για την ανακύκλωση του νερού στην εγκατάσταση του πύργου και στους ανεμιστήρες που συμμετέχουν στο κύκλο εξάτμισης του νερού<sup>[40]</sup>. Πιο αναλυτικά, στον Πίνακα 30 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των ισοζυγίων ενέργειας για την λειτουργία της φυγοκεντρικής αντλίας που προέκυψαν σύμφωνα με τις εξισώσεις (2) και (3).

Για την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία των ανεμιστήρων οι υπολογισμοί βασίστηκαν σε πειραματικά δεδομένα από υπάρχουσα εγκατάσταση<sup>[24]</sup>. Προέκυψε η αναλογία ότι για κάθε τόνο πρώτης ύλης απαιτούνται να καταναλωθούν 0,0035398 MWh. Για συνολική ποσότητα πρώτης ύλης 56500 τόνοι η κατανάλωση ενέργειας προκύπτει ίση με 200 MWh. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στον Πίνακα 31

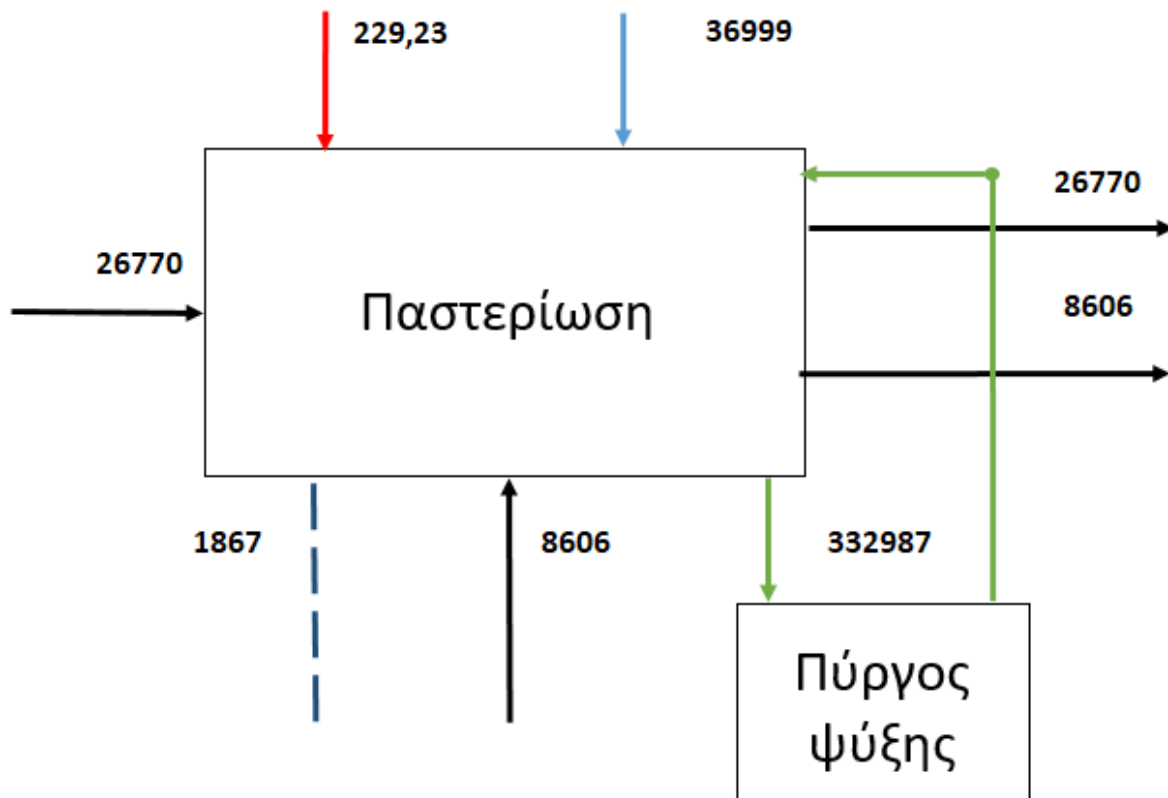
Πίνακας 30: Ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας για φυγοκεντρική αντλία (πύργος ψύξης).

<b>Φυγοκεντρική αντλία, ανακύκλωση νερού ψύξης</b>		
Μάζα νερού ανά ώρα	244,84	t/h
Πυκνότητα νερού	1000	kg/m <sup>3</sup>
Όγκος νερού ανά ώρα	244,84	m <sup>3</sup> /h
Επιτάχυνση της βαρύτητας	9,81	m/s
Υψομετρική διαφορά	20	m
Υδραυλική ισχύς	13,34	kW
Απόδοση αντλίας	0,6	-
Αξονική ισχύς	22,24	kW
Ώρες λειτουργίας	1360	h/y
<b>Κατανάλωση ενέργειας</b>	<b>30,25</b>	<b>MWh/y</b>

Πίνακας 31: Ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργεια για τους ανεμιστήρες του πύργου ψύξης<sup>[24]</sup>.

<b>Ανεμιστήρες πύργου ψύξης</b>		
MWh/t raw tomatoes	0,0035398	-
<b>Κατανάλωση ενέργειας</b>	<b>200,00</b>	<b>MWh/y</b>

### Διάγραμμα ροής



Διάγραμμα 12: Διάγραμμα ροής για το στάδιο της παστερίωσης (συμπεριλαμβάνεται η εγκατάσταση του πύργου ψύξης).

### 2.1.11 Συστήματα καθαρισμού (CIP, Cleaning In Place)

Στα συστήματα CIP, ο καθαρισμός πραγματοποιείται χωρίς αποσυναρμολόγηση του συστήματος. Το CIP αναφέρεται σε όλα τα μηχανικά και χημικά συστήματα που είναι απαραίτητα για την προετοιμασία εξοπλισμού για επεξεργασία τροφίμων, είτε μετά από μια διαδικασία επεξεργασίας που έχει προκαλέσει φυσιολογική ρύπανση είτε όταν αλλάζει μια γραμμή επεξεργασίας από τη μία συνταγή στην άλλη. Ένα σύστημα CIP αποτελείται συνήθως από δοχεία για την προετοιμασία και την αποθήκευση χημικών καθαρισμού, αντλιών και βαλβίδων για κυκλοφορία των χημικών CIP σε όλη τη μονάδα, όργανα για την παρακολούθηση της διαδικασίας καθαρισμού και δοχεία για την ανάκτηση των χημικών<sup>[41]</sup>. Το CIP είναι ένα σημαντικό στοιχείο για την εγγύηση της ασφάλειας των τροφίμων σε εγκαταστάσεις επεξεργασίας τροφίμων. Ο επιτυχημένος καθαρισμός μεταξύ των εργασιών παραγωγής αποτρέπει την πιθανή μόλυνση και προϊόντα που δεν πληρούν τα πρότυπα ποιότητας. Η σωστή εκτέλεση του CIP - από το σχεδιασμό έως την επικύρωση - εξασφαλίζει ασφαλή εμπόδια μεταξύ ροών τροφίμων και καθαρισμού χημικών ροών. Από την άποψη της επεξεργασίας τροφίμων, κάθε χρόνος καθαρισμού είναι εκτός λειτουργίας - ο εξοπλισμός δεν είναι παραγωγικός.

Ο καθαρισμός πρέπει επίσης να πραγματοποιείται με ασφάλεια, επειδή εμπλέκονται πολύ ισχυρές χημικές ουσίες που μπορεί να είναι επιβλαβείς για τους ανθρώπους και τον εξοπλισμό. Τέλος, θα πρέπει να πραγματοποιείται με τις λιγότερες επιπτώσεις στο περιβάλλον χρησιμοποιώντας ελάχιστες ποσότητες νερού και απορρυπαντικών και μεγιστοποιώντας την επαναχρησιμοποίηση των πόρων<sup>[42]</sup>. Ένα παράδειγμα CIP συστήματος απεικονίζεται στην Εικόνα 12.



Εικόνα 12: Παράδειγμα εγκατάστασης CIP<sup>[43]</sup>.

## Ισοζύγιο μάζας

Στην συγκεκριμένη περίπτωση για τον υπολογισμό της ποσότητας μάζας του νερού που απαιτείται για το καθαρισμό των εγκαταστάσεων γίνεται με βάση υπάρχουσα βιομηχανική εγκατάσταση. Συγκεκριμένα η βιομηχανική εγκατάσταση με ίδια δυναμικότητα και χρόνο λειτουργίας με τα δεδομένα που αναλύθηκαν παραπάνω, καταναλώνει 1800 τόνους νερού κατά την διάρκεια της σεζόν<sup>[24]</sup>. Στο ισοζύγιο μάζας δεν μελετήθηκαν τα χημικά και απορρυπαντικά που χρησιμοποιεί η κάθε βιομηχανία για να επιτύχει τα προβλεπόμενα πρότυπα ασφάλειας και αυτό γιατί ανάλογα την πρώτη ύλη αλλά και το κόστος, αυτά τα συστατικά διαφοροποιούνται. Επίσης, γίνεται η παραδοχή ότι ανεξάρτητα από την ποσότητα της παραγωγής η ποσότητα του νερού που αξιοποιείται στο CIP σύστημα παραμένει ίδια.

## Ισοζύγιο ηλεκτρικής ενέργειας

Η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας βασίζεται σε πειραματικά δεδομένα που αντλήθηκαν από υπάρχουσα βιομηχανική μόδα επεξεργασίας ντομάτας. Συγκεκριμένα το σύστημα CIP καταναλώνει 8 MWh κατά την διάρκεια της σεζόν<sup>[24]</sup>.

### 2.1.12 Σύστημα καθαρισμού νερού αποβλήτων (Water treatment)

Το ρεύμα νερού που προκύπτει από το στάδιο του πλυσίματος χρειάζεται να υποστεί επεξεργασία καθαρισμού προτού καταλήξει στο σύστημα αποχέτευσης. Υπάρχουν τρία στάδια επεξεργασίας προκειμένου το νερό να καθαριστεί και να είναι κατάλληλο για απόρριψη. Στο πρώτο στάδιο το νερό αποθηκεύεται σε μεγάλες λεκάνες/ανοικτές δεξαμενές (basin) όπου τα βαριά στερεά συστατικά καθιζάνουν στο πάτο και τα ελαφρύτερα παραμένουν στην επιφάνεια μαζί με το νερό<sup>[44]</sup>.



Εικόνα 13: Δεξαμενή πρώτου σταδίου επεξεργασίας υγρών αποβλήτων<sup>[45]</sup>.

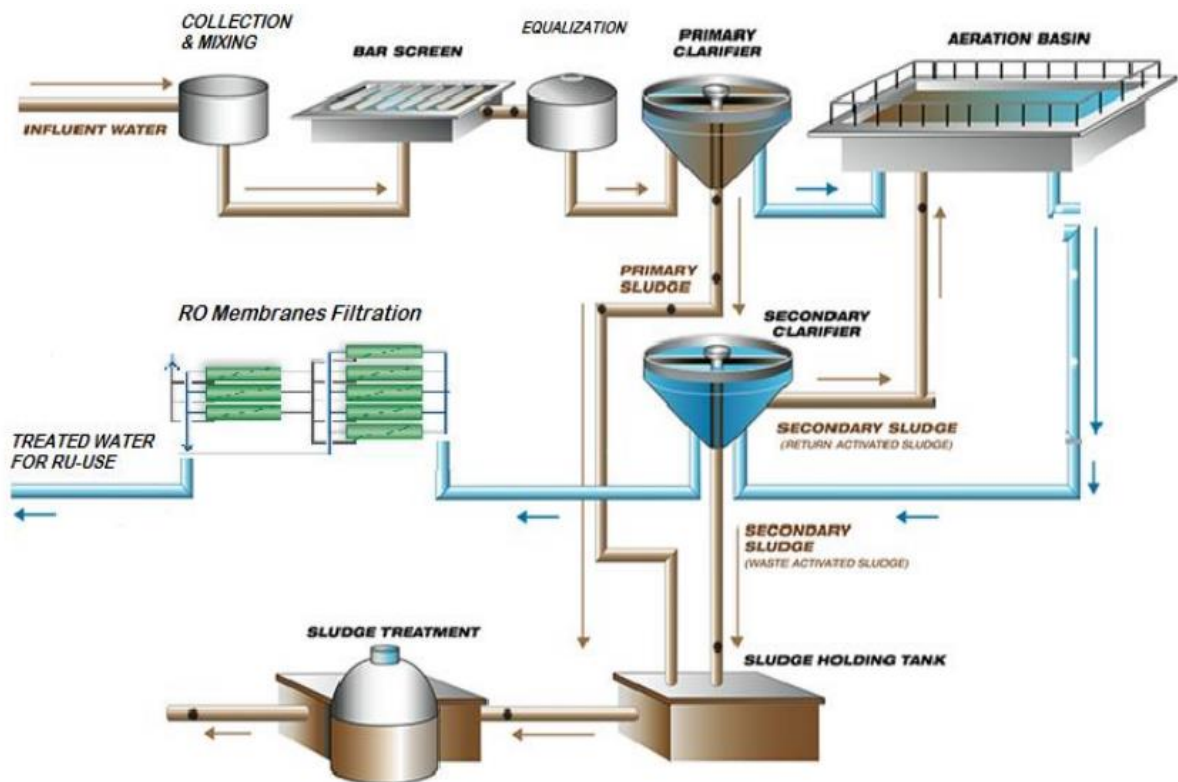
Τα πάνω στρώματα οδηγούνται στο δεύτερο στάδιο της επεξεργασίας ενώ η λάσπη (ιλύς) που συλλέγεται από τον πάτο απορρίπτεται ή οδηγείται σε ξεχωριστή μονάδα επεξεργασίας. Η επεξεργασία της λάσπης ξεφεύγει από τα όρια της διπλωματικής εργασίας και δεν θα αναλυθεί περαιτέρω.

Στο δεύτερο στάδιο της επεξεργασίας πραγματοποιείται αερόβια χώνευση. Η αεροβική χώνευση είναι μια βακτηριακή διαδικασία, η οποία λαμβάνει χώρα παρουσία οξυγόνου. Κάτω από αερόβιες συνθήκες, τα βακτήρια καταναλώνουν με γρήγορο ρυθμό την οργανική ύλη, μετατρέποντας την σε διοξείδιο του άνθρακα. Αφού η οργανική ύλη καταναλωθεί, τα βακτήρια πεθαίνουν και καταναλώνονται από άλλα βακτήρια. Τα πλεονεκτήματα της αερόβιας διαδικασίας είναι ότι πραγματοποιείται πολύ ταχύτερα, έχοντας έτσι μικρότερες κεφαλαιουχικές δαπάνες, δηλαδή αποδίδει περισσότερο. Το λειτουργικό κόστος, όμως, είναι πολύ μεγαλύτερο, εξαιτίας του ενεργειακού κόστους για τον αερισμό που χρειάζεται για την προσθήκη οξυγόνου στην διαδικασία. Επειδή αυτοί οι οργανισμοί απαιτούν οξυγόνο, τα αερόβια συστήματα απαιτούν κάποιο μέσο παροχής οξυγόνου στη βιομάζα με την προσθήκη λιμνών επεξεργασίας λυμάτων (οι οποίες λειτουργούν δημιουργώντας μια μεγάλη επιφάνεια για την εισαγωγή αέρα στα λύματα) ή/και ενσωματώνοντας κάποιο είδος μηχανικής συσκευής αερισμού σε εισάγουν οξυγόνο στη βιομάζα. Ανάλογα με τη χημική σύνθεση των λυμάτων σε σχέση με τις απαιτήσεις εκροής, ένα σύστημα βιολογικής επεξεργασίας λυμάτων μπορεί να αποτελείται από πολλές διαφορετικές διεργασίες και πολυάριθμους τύπους μικροοργανισμών. Θα απαιτήσουν επίσης συγκεκριμένες λειτουργικές διαδικασίες που θα ποικίλλουν ανάλογα με το περιβάλλον που απαιτείται για να διατηρηθούν οι βέλτιστοι ρυθμοί ανάπτυξης βιομάζας για τους συγκεκριμένους μικροβιακούς πληθυσμούς. Για παράδειγμα, απαιτείται συχνά η παρακολούθηση και η προσαρμογή του αερισμού για να διατηρηθεί ένα σταθερό επίπεδο διαλυμένου οξυγόνου για να διατηρηθεί ο πολλαπλασιασμός των βακτηρίων του συστήματος με τον κατάλληλο ρυθμό για την κάλυψη των απαιτήσεων εκκένωσης. Εκτός από το διαλυμένο οξυγόνο, τα βιολογικά συστήματα συχνά χρειάζονται ισορροπία για τη ροή, το φορτίο, το pH, τη θερμοκρασία και τα θρεπτικά συστατικά. Η εξισορρόπηση ενός συνδυασμού παραγόντων του συστήματος μπορεί να κάνει τη διαδικασία βιολογικής επεξεργασίας πολύ περίπλοκη. [46].

Η τριτοβάθμια επεξεργασία χρησιμοποιείται για τον περαιτέρω καθαρισμό του νερού όταν αυτό απορρίπτεται σε ένα ευαίσθητο οικοσύστημα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορες μέθοδοι για την περαιτέρω απολύμανση των λυμάτων πέρα από την πρωτογενή και δευτερογενή επεξεργασία. Το φιλτράρισμα με άμμο, όπου το νερό περνά μέσα από ένα φίλτρο άμμου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απομάκρυνση των σωματιδίων ή την χρήση αντίστροφης ώσμωσης. Τα λύματα μπορεί να έχουν ακόμα υψηλά επίπεδα θρεπτικών συστατικών όπως άζωτο και φώσφορο. Αυτά μπορεί να διαταράξουν τη θρεπτική ισορροπία των υδάτινων οικοσυστημάτων και να προκαλέσουν άνθηση φυκιών και υπερβολική ανάπτυξη ζιζανίων. Ο φώσφορος μπορεί να αφαιρεθεί βιολογικά με μια διαδικασία που ονομάζεται ενισχυμένη βιολογική απομάκρυνση του φωσφόρου. Σε αυτή τη διαδικασία,



συγκεκριμένα βακτήρια, που ονομάζονται πολυφωσφορικά, συσσωρεύουν οργανισμούς που αποθηκεύουν φωσφορικά στον ιστό τους. Όταν η βιομάζα που συσσωρεύεται σε αυτά τα βακτήρια διαχωρίζεται από το επεξεργασμένο νερό, αυτά τα βιοστερεά έχουν υψηλή αξία λιπάσματος. Το άζωτο μπορεί επίσης να αφαιρεθεί χρησιμοποιώντας νιτροποιητικά βακτήρια<sup>[47]</sup>. Στο Διάγραμμα απεικονίζονται όλα τα στάδια της επεξεργασίας του νερού προτού απορριφθεί.



Διάγραμμα 13: Στάδια επεξεργασίας υγρών βιομηχανικών αποβλήτων και ιλύς<sup>[48]</sup>.

Στην περίπτωση της εγκατάστασης προ μελέτη το καθαρισμένο νερό απορρίπτεται σε υπονόμους και δεν επαναχρησιμοποιείται.

### 2.1.13 Εγκατάσταση λέβητα (Boiler)

Η εγκατάσταση περιλαμβάνει 2 λέβητες ατμού (firedtube boilers). Το καύσιμο που χρησιμοποιείται είναι το φυσικό αέριο<sup>[24]</sup>. Στα προηγούμενα στάδια υπολογίστηκε η θερμική ενέργεια που πρέπει να αποδοθεί στο ρεύμα ατμού για να πραγματοποιηθούν οι εκάστοτε διεργασίες. Για τον υπολογισμό της ποσότητας καυσίμου που πρέπει να καταναλωθεί στους καυστήρες πρέπει η ενέργεια που μεταδίδεται στον παραγόμενο ατμό να ισούται με το άθροισμα της θερμικής ενέργειας από κάθε διεργασία που υπολογίστηκε στα παραπάνω στάδια. Η συνολική θερμική ενέργεια που απαιτείται να αποδοθεί στα ρεύματα νερού και ατμού ισούται με  $28171201 \frac{MJ}{σεζόν}$ . Η απόδοση για τους λέβητες κυμαίνεται στο 94%<sup>[49]</sup>. Κάθε κυβικό μέτρο από φυσικό αέριο μπορεί να αποδώσει ενέργεια ίση με  $38,3 MJ$ <sup>[50][51][52][53]</sup>. Η απαραίτητη ποσότητα φυσικού αερίου υπολογίζεται από την εξίσωση<sup>[54]</sup>:

$$V_{\text{φυσικού αερίου}} = \frac{Q}{n_{\text{λέβητα}} \cdot CV_{\text{φυσικού αερίου}}} \quad (12)$$

Όπου,

$V_{\text{φυσικού αερίου}}$  = όγκος απαιτούμενου φυσικού αερίου ( $m^3$ )

$Q$  = άθροισμα θερμικής ενέργειας που απαιτείται από τις θερμικές διεργασίες της εγκατάστασης ( $MJ$ )

$n_{\text{λέβητα}}$  = απόδοση λέβητα (ισούται με 94%)

$CV_{\text{φυσικού αερίου}}$  = ενέργεια που απελευθερώνεται από την καύση του φυσικού αερίου ( $\frac{MJ}{m^3}$ )

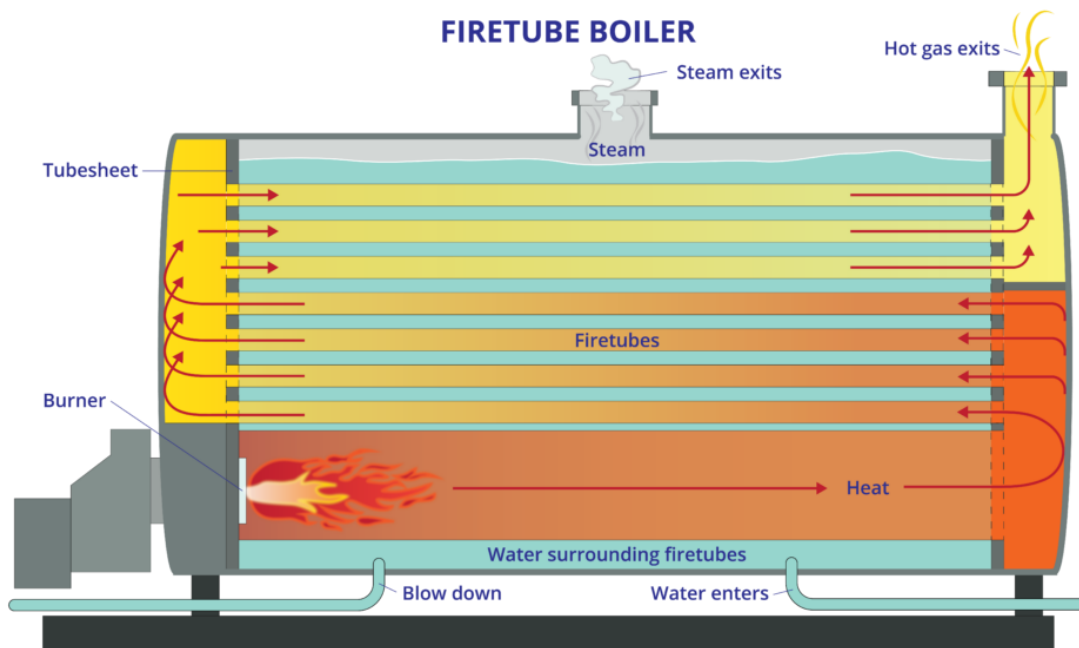
Τα αποτελέσματα των υπολογισμών απεικονίζονται στον Πίνακα 32.

Πίνακας 32: Ισοζύγια για κατανάλωση φυσικού αερίου και νερού στην εγκατάσταση του λέβητα.

Συνολική ενέργεια για παραγωγή ατμού	28171201	MJ/y
Απόδοση καυστήρα	94%	-
MJ/ 1 m <sup>3</sup> φυσικού αερίου	38,3	-
Απαιτούμενο φυσικό αέριο	782490	m <sup>3</sup>
Συνολικό φρέσκο νερό για παραγωγή ατμού	2667	t/y
Συνολικό νερό που τροφοδοτείται στο καυστήρα	13176	t/y

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι το φρέσκο νερό που απαιτείται να αντληθεί για την παραγωγή του ατμού σε κάθε στάδιο, και που υπολογίστηκε σε κάθε στάδιο θερμικής διεργασίας ξεχωριστά, τροφοδοτείται στον λέβητα προκειμένου να δημιουργηθεί ο ατμός. Το άθροισμα του φρέσκου νερού που αντλείται για χρήση στις θερμικές διεργασίες της βιομηχανικής εγκατάστασης ισούται με 2667 τόνους ανά σεζόν λειτουργίας. Ενώ το συνολικό νερό που διέρχεται από το καυστήρα, είτε αυτό είναι φρέσκο είτε ανακυκλωμένο, ισούται με 13176 τόνους.

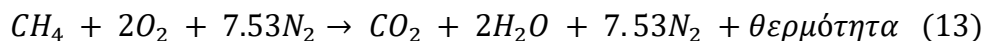
Στην Εικόνα 14 απεικονίζεται η εσωτερική διάταξη ενός λέβητα σαν αυτούς που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εγκατάσταση (firetube boiler)<sup>[55]</sup>.



Εικόνα 14: Απεικόνιση εσωτερικής διάταξης λέβητα ατμού (firetube boiler)<sup>[55]</sup>.

### Ισοζύγια ενέργειας για την εγκατάσταση του λέβητα

Για την σωστή λειτουργία του λέβητα είναι απαραίτητη η ύπαρξη αντλιών για την μεταφορά του φυσικού αερίου στον καυστήρα αλλά και ανεμιστήρων για την παροχή της σωστής ποσότητας ατμοσφαιρικού αέρα για την επίτευξη σωστής καύσης. Για κάθε ένα κυβικό μέτρο φυσικού αερίου απαιτούνται μεταξύ  $9,4 - 11 \text{ m}^3$  ατμοσφαιρικού αέρα. Ο αέρας αποτελείται από 21% οξυγόνο και 79% άζωτο με αποτέλεσμα η εξίσωση καύσης να λαμβάνει την εξής μορφή<sup>[56]</sup>:



Για την συγκεκριμένη εφαρμογή γίνεται η παραδοχή ότι για κάθε κυβικό μέτρο φυσικού αερίου που καίγεται απαιτούνται  $10 \text{ m}^3$  ατμοσφαιρικού αέρα.

Για τον υπολογισμό της ηλεκτρικής ενέργειας για την λειτουργία των ανεμιστήρων για τον καυστήρα δίνονται οι εξής εξισώσεις:

$$h_{\alpha\epsilon\rho\alpha} = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \quad (14)$$

Όπου,

$h_{\alpha\epsilon\rho\alpha}$  = υψομετρική διαφορά ανεμιστήρα (m)

$P_2$  = πίεση αέρα στην έξοδο (Pa)

$P_1$  = πίεση αέρα στην ατμόσφαιρα, είσοδο (Pa)

$h_2$  = ύψος εξόδου του ρεύματος αέρα (m)

$h_1$  = ύψος εισόδου του ρεύματος αέρα (m)

$V_2$  = ταχύτητα εξόδου του ρεύματος αέρα ( $\frac{m}{s}$ )

$V_1$  = ταχύτητα εισόδου του ρεύματος αέρα ( $\frac{m}{s}$ )

$\rho$  = πυκνότητα αέρα

$g$  = επιτάχυνση βαρύτητας ( $\frac{m^2}{s}$ )

Γίνεται η παραδοχή ότι η υψομετρική διαφορά αλλά και η ταχύτητα εισόδου και εξόδου του αέρα είναι μηδέν.

$$h_2 - h_1 = 0 \quad (15)$$

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} = 0 \quad (16)$$

Ως συνέπεια, η εξίσωση (14) λαμβάνει την μορφή:

$$h_{\alpha\epsilon\rho\alpha} = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} \quad (17)$$

Επίσης, φυσικό αέριο τροφοδοτείται με πίεση 1,5 bar στο εσωτερικό του καυστήρα. Προκειμένου ο αέρας να εισέρχεται με την ίδια πίεση απαιτείται  $\Delta P = 50.000 Pa^{[24]}$ . Ορίζεται ότι το ποσοστό των απωλειών κυμαίνεται γύρω στο 10%. Τα αποτελέσματα των υπολογισμών παρουσιάζονται στον Πίνακα 33.

Για τον υπολογισμό της ενέργειας για την λειτουργία της αντλίας καυσίμου γίνεται χρήση της εξίσωσης (14), αλλά αυτή την φορά ισχύει μόνο η εξίσωση (16). Η υψομετρική διαφορά μεταξύ εισόδου και εξόδου ορίζεται στα 10m. Η εξίσωση (14) λαμβάνει την μορφή:

$$h_{\text{αντλίας καυσίμου}} = \frac{P_2 - P_1}{\rho \cdot g} + h_2 - h_1 \quad (18)$$

Οι απώλειές για την αντλία ορίζονται ίσες με 40%<sup>[24]</sup>. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στον Πίνακα 34.

Πίνακας 33: Ισοζύγια ηλεκτρικής ενέργειας για ανεμιστήρες λέβητα.

<b>Ανεμιστήρες παροχής αέρα, λέβητας</b>		
Απαιτούμενος αέρας για ανάφλεξη/φυσικό αέριο	10	
Όγκος απαιτούμενο αέρας	7824899	m <sup>3</sup>
Βάρος m <sup>3</sup> αέρα	1,222	kg/m <sup>3</sup>
Βάρος απαιτούμενου αέρα	9562027	kg
Διαφορά πίεσης	50000	Pa
Υψομετρική διαφορά, ανεμιστήρα	4170,90	m
Απώλειες	10%	
Πραγματική υψομετρική διαφορά	4587,99	m
Ανηγμένο έργο	45008	J/Kg
Έργο	430369	MJ
Κατανάλωση ενέργειας	119,54	MWh

Πίνακας 34: Ισοζύγια ενέργειας για αντλίες καυσίμου λέβητα.

<b>Αντλίες καυσίμου, λέβητας</b>		
Φυσικό αέριο	561045	kg
Πυκνότητα φυσικού αερίου	0,717	kg/m <sup>3</sup>
Διαφορά πίεσης	50000	Pa
Υψομετρική διαφορά	10	m
Υψομετρική διαφορά, ανεμιστήρα	7119	m
Απώλειες	40%	-
Πραγματική υψομετρική διαφορά	9966	m
Ανηγμένο έργο	97766	J/Kg
Έργο	54851	MJ
Κατανάλωση ενέργειας	15,24	MWh

#### 2.1.14 Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας – θερμικές διεργασίες

Σύμφωνα με πειραματικά δεδομένα από υπάρχουσα βιομηχανία επεξεργασίας ντομάτας η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για παραγωγή, μεταφορά και ανακύκλωση του ατμού ισούται με 900 MWh για την σεζόν λειτουργίας του εργοστασίου που αναλύεται στην παρούσα εργασία<sup>[24]</sup>. Παράλληλα, όπως διαπιστώθηκε παραπάνω καταναλώνονται συνολικά 134,78 MWh για την λειτουργία του boiler και συγκεκριμένα για την λειτουργία των ανεμιστήρων και της αντλίας καυσίμου. Προκειμένου να υπολογιστεί πόση ηλεκτρική ενέργεια καταναλώνει κάθε θερμική διεργασία γίνεται χρήση της παρακάτω εξίσωσης:

$$E_i = \frac{W_i}{W_{\text{συνολικό}}} \cdot (E_{\text{διαχείρισης ατμού}} + E_{\text{ανεμ,λέβητα}} + E_{\text{αντλίας,λέβητα}}) \quad (19)$$

$$E_i = \frac{W_i}{2667} \cdot (1034,78) \quad (20)$$

Όπου,

$E_i$  = ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει η θερμική διεργασία  $i$  (MWh)

$W_i$  = φρέσκο νερό που χρησιμοποιείται για παραγωγή ατμού για την θερμική διεργασία  $i$  (t)

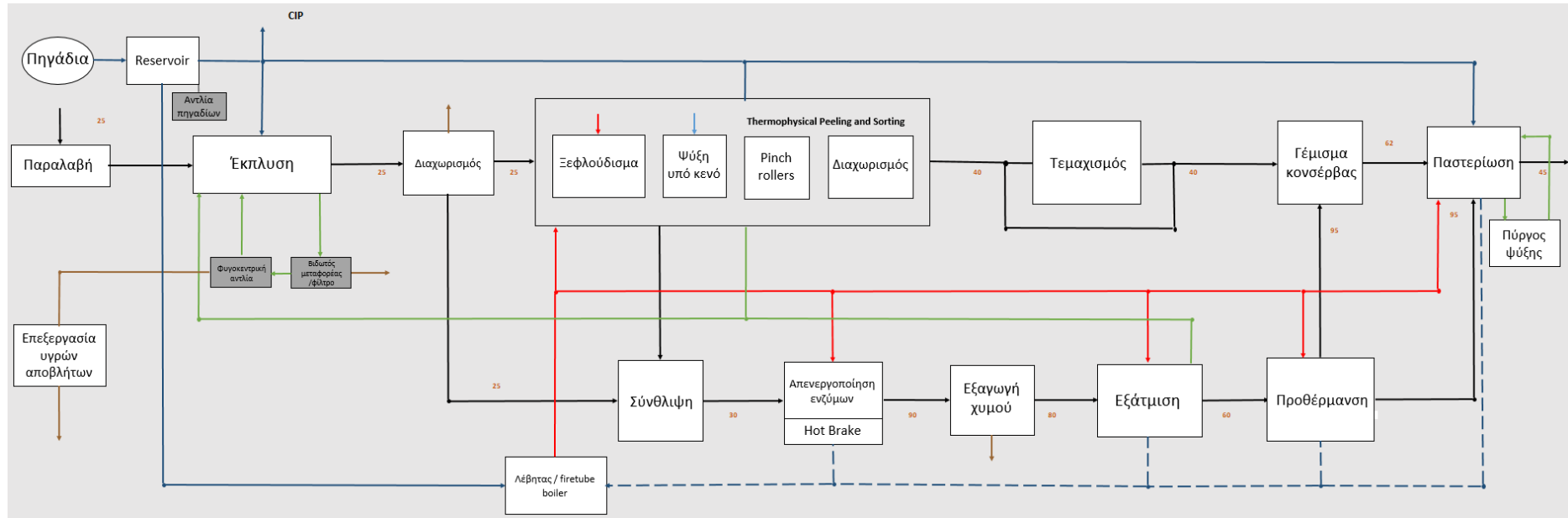
$W_{\text{συνολικό}}$  = Συνολικό φρέσκο νερό που διέρχεται από τον λέβητα (ισούται με 2667 t)

Η εξίσωση έχει σκοπό να προσδιορίσει το ποσοστό της ηλεκτρικής ενέργειας που καταναλώνει κάθε θερμική διεργασία με βάση την ποσότητα του φρέσκου νερού που απαιτεί. Θερμικές διεργασίες είναι τα στάδια της προθέρμανσης, της παστερίωσης, της εξάτμισης, της απενεργοποίησης των ενζύμων και του ξεφλουδίσματος. Τα αποτελέσματα απεικονίζονται στον Πίνακα 35.

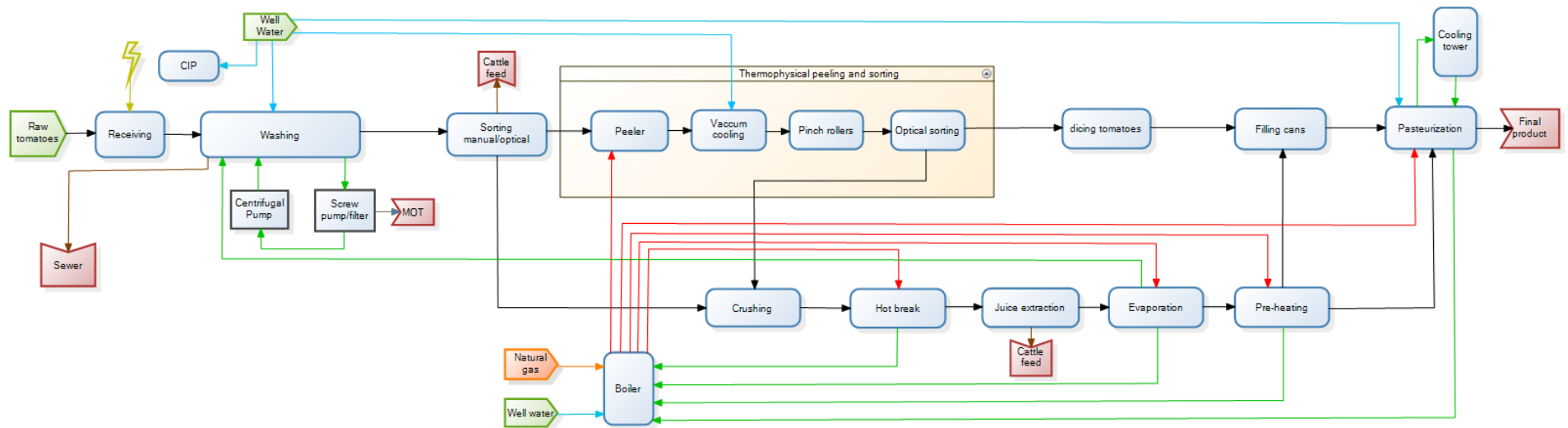
*Πίνακας 35: Υπολογισμός κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για κάθε μία από τις θερμικές διεργασίες.*

Θερμική διεργασία	Φρέσκο νερό (t)	Ηλεκτρική ενέργεια (MWh)
Ξεφλούδισμα	1376,76	534,11
Απενεργοποίηση ενζύμων	453,08	175,77
Εξάτμιση	462,10	179,27
Προθέρμανση	146,14	56,70
Παστερίωση	229,23	88,93
Σύνολο	2667,31	1034,78

2.1.15 Ολοκληρωμένα διαγράμματα ροής για την υφιστάμενη κατάσταση



Διάγραμμα 14: Διάγραμμα ροής για την υφιστάμενη κατάσταση.



Διάγραμμα 15: Διάγραμμα ροής για υφιστάμενη κατάσταση στο υπολογιστικό περιβάλλον του προγράμματος Water-Energy-Waste Nexus\*.

\*Το υπολογιστικό περιβάλλον αποτελεί ένα πρόγραμμα που κατασκευάστηκε στα πλαίσια του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.



## 2.2 Νέα κατάσταση-ενσωμάτωση Παλμικών Ηλεκτρικών Πεδίων (ΠΗΠ)

### 2.2.1 Επεξεργασία με Παλμικά Ηλεκτρικά Πεδία (ΠΗΠ) (Pulsed Electric Field, PEF)

#### **Εισαγωγή**

Το αυξανόμενο ενδιαφέρον των καταναλωτών για προϊόντα υψηλής διατροφικής αξίας, σε συνδυασμό με την έρευνα για τεχνολογίες επεξεργασίας τροφίμων φιλικών προς το περιβάλλον, βοήθησε στην ανάπτυξη μη θερμικών τεχνολογιών όπως τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία. Τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία (PEF) αποτελούν μια μη θερμική μέθοδο συντήρησης των τροφίμων που χρησιμοποιεί σύντομους παλμούς με ελάχιστες αρνητικές συνέπειες για τα ποιοτικά χαρακτηριστικά των τροφίμων. Η τεχνολογία PEF έχει ως στόχο να προσφέρει στους καταναλωτές τρόφιμα υψηλής ποιότητας. Η τεχνολογία PEF θεωρείται ανώτερη των συμβατικών μεθόδων θερμικής επεξεργασίας καθώς περιορίζει σημαντικά τις επιζήμιες αλλαγές στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά και τις φυσικές ιδιότητες των τροφίμων<sup>[57]</sup>.

#### **Αρχή Λειτουργίας PEF**

Η βασική αρχή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF) είναι η εφαρμογή μικρής διάρκειας παλμών υψηλού ηλεκτρικού πεδίου ( $\mu\text{s} - \text{ms}$ ) με ένταση που κυμαίνεται από 100 – 300 V/cm μέχρι και τα 20 – 80 kV/cm<sup>[58][59]</sup>. Σε υψηλά ηλεκτρικά πεδία ( $> 20 \text{ kV / cm}$ ), μπορεί να αποτελέσει μια εναλλακτική λύση στη συμβατική θερμική επεξεργασία για την αδρανοποίηση των παθογόνων μικροοργανισμών και ενζύμων που σχετίζονται με την ποιότητα, με ελάχιστη μεταβολή στις ιδιότητες τροφίμων<sup>[60]</sup>. Παράλληλα τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία έχει πολλές εφαρμογές στην βελτιστοποίηση διεργασιών επεξεργασίας τροφίμων. Το PEF βρίσκει εφαρμογή στην επεξεργασία φυτικών ιστών σε τρόφιμα όπως φρούτα και λαχανικά με σκοπό την αύξηση της απόδοσης ή την εξοικονόμηση ενέργειας. Πιο αναλυτικά, τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία μπορούν να εφαρμοστούν σε τρία ξεχωριστά στάδια της επεξεργασίας ντομάτας. Πρώτον, μπορεί να εφαρμοστεί στην επεξεργασία της τομάτας για να διευκολύνει το ξεφλούδισμα καθώς αυξάνει τη διαπερατότητα των φυτικών κυττάρων μέσω ηλεκτροδιάτρησης. Δεύτερον, μπορεί να εφαρμοστεί σε ψιλοκομμένες ντομάτες με στόχο να αυξηθεί η απόδοση σε χυμό ντομάτας έως και 20,5%. Τρίτον, το PEF μπορεί να εφαρμοστεί στα υπολείμματα του πρώτου σταδίου λήψης χυμού που περιλαμβάνει σπόρους, φλούδες και κλάσμα από σάρκα ντομάτας με σκοπό να αυξηθεί η περαιτέρω παραλαβή χυμού κατά 90,2%<sup>[61]</sup>. Η συγκεκριμένη εφαρμογή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων περιορίζεται μόνο στο στάδιο του ξεφλουδίσματος ώστε να προκύψουν δεδομένα ως προς μείωση στην κατανάλωση ενέργειας, καυσίμου και νερού.

Η διαδικασία βασίζεται στα παλμικά ηλεκτρικά ρεύματα που μεταδίδονται σε ένα προϊόν, το οποίο τοποθετείται μεταξύ ενός συνόλου ηλεκτροδίων. Η διάδοση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσω του τροφίμου οφείλεται στην παρουσία πολλών ιόντων, προσδίδοντας στο εν λόγω προϊόν ηλεκτρική αγωγιμότητα. Έτσι, όταν εφαρμόζεται ένα ηλεκτρικό πεδίο, ηλεκτρικό ρεύμα με τη μορφή παλμών ρέει εντός του τροφίμου και μεταφέρεται σε κάθε σημείο του, λόγω των φορτισμένων μορίων που υπάρχουν<sup>[62]</sup>. Η αρχή λειτουργίας των παλμικών

ηλεκτρικών πεδίων είναι απλή: ηλεκτρική ενέργεια χαμηλής ισχύος συλλέγεται και αποθηκεύεται σε έναν πυκνωτή. Έπειτα, η ίδια ενέργεια εκτονώνεται σχεδόν ακαριαία σε πολύ υψηλά επίπεδα ισχύος. Η παραγωγή παλμικών ηλεκτρικών πεδίων απαιτεί την ύπαρξη δύο κύριων συσκευών: μια τροφοδοσία παλμικής ενέργειας και ένα θάλαμο επεξεργασίας, που μετατρέπει την τάση σε παλμικά ηλεκτρικά πεδία<sup>[63]</sup>. Σε περίπτωση που υπάρχει συνεχής ροή τροφοδοσίας στην μονάδα επεξεργασίας του PEF είναι απαραίτητο να γίνουν ορισμένες τροποποιήσεις. Ο θάλαμος επεξεργασίας που χρησιμοποιείται για επεξεργασίες διαλείποντος έργου θα αντικατασταθεί από ένα λουτρό από ηλεκτρολύτες στο οποίο θα εμβαπτίζεται η τροφοδοσία. Η ταχύτητα του ιμάντα μεταφοράς αλλά και το πλάτος του ορίζονται έτσι ώστε οι ντομάτες να παραμένουν στον απαιτούμενο χρόνο στο λουτρό και να υπόκεινται στην καθορισμένη προεργασία.

### **Παράμετροι Λειτουργίας**

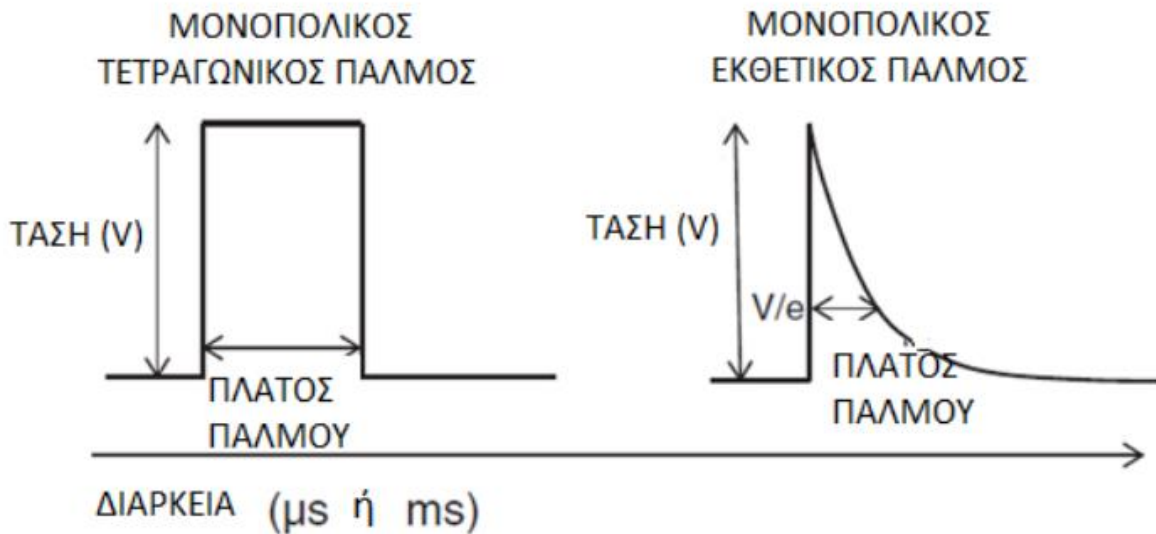
Οι πιο χαρακτηριστικές παράμετροι της διαδικασίας των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων είναι: η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ( $E$ ), ο χρόνος επεξεργασίας ( $t$ ), το σχήμα του παλμού, το πλάτος παλμού ( $\tau$ ), ο αριθμός των παλμών ( $n$ ), η ειδική ενέργεια του παλμού ( $W$ ) και η συχνότητα επανάληψης παλμών ( $f$ ). Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου και ο χρόνος επεξεργασίας είναι οι κύριες παράμετροι της διαδικασίας.

Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου αναφέρεται στην ένταση του πεδίου στο θάλαμο επεξεργασίας, κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του δείγματος. Εξαρτάται από την τάση που εφαρμόζεται μεταξύ των ηλεκτροδίων, τη γεωμετρία του θαλάμου επεξεργασίας και την κατανομή των διηλεκτρικών ιδιοτήτων του υλικού μεταξύ των ηλεκτροδίων<sup>[64]</sup>. Στην περίπτωση των παράλληλων ηλεκτροδίων, το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται εντός του χώρου είναι ομοιογενές και η τιμή του μπορεί να υπολογισθεί διαιρώντας την τάση ( $V$ ) που μετριέται στα άκρα των ηλεκτροδίων στο θάλαμο επεξεργασίας, με την απόσταση των ηλεκτροδίων ( $d$ ):

$$E = \frac{V}{d} \quad (21)$$

Ο ηλεκτρικός παλμός μπορεί να έχει σχήμα εκθετικό ή ορθογώνιο. Ο εκθετικός παλμός χαρακτηρίζεται από μια απότομη αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε μία μέγιστη τιμή που ακολουθείται από μια εκθετική μείωση. Ο ορθογώνιος παλμός χαρακτηρίζεται από μια απότομη αύξηση, ένα χρονικό διάστημα κατά το οποίο η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου παραμένει σταθερή και ίση με την μέγιστη και τέλος μια απότομη μείωση. Για τον ορθογώνιο παλμό, το εύρος ή πλάτος του είναι ο χρόνος κατά τον οποίο το ηλεκτρικό πεδίο βρίσκεται στην μέγιστη έντασή του. Για τον εκθετικό παλμό το πλάτος του ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται για την μείωση της τάσης στο 37% της μέγιστης τιμής<sup>[64]</sup>. Τα σχήματα των παλμών απεικονίζονται στο Διάγραμμα 16.

## ΣΧΗΜΑ ΠΑΛΜΟΥ



Διάγραμμα 16: Σχήματα παλμών για τεχνολογία παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF)<sup>[64]</sup>.

Ο χρόνος επεξεργασίας ισούται με τον αριθμό των παλμών πολλαπλασιασμένος με το πλάτος τους.

$$t = n \cdot \tau \quad (22)$$

Όπου,  $n$  είναι ο αριθμός των παλμών και  $\tau$  το πλάτος του παλμού που εξαρτάται από το σχήμα του.

Η συχνότητα δηλώνει τον αριθμό των παλμών που εφαρμόζονται ανά μονάδα χρόνου, και μετριέται σε Hz (αριθμός παλμών/s). Η συχνότητα του παλμού είναι σημαντική, δεδομένου ότι προσδιορίζει την ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που παραδίδεται ανά μονάδα χρόνου στο προϊόν στο θάλαμο επεξεργασίας, η οποία, με τη σειρά της, επηρεάζει την θερμοκρασιακή αύξηση του επεξεργασμένου προϊόντος λόγω του φαινομένου Joule<sup>[64]</sup>.

Η ειδική ενέργεια ( $W$ , kJ/kg) αφορά στην ηλεκτρική ενέργεια που λαμβάνει το προϊόν στο θάλαμο επεξεργασίας ανά παλμό και εξαρτάται από τις ηλεκτρικές ιδιότητες του προς επεξεργασία προϊόντος και από το σχήμα του παλμού (συμπεριλαμβανομένης της μέγιστης τάσης και του πλάτους του παλμού). Οι ηλεκτρικές ιδιότητες του προϊόντος μεταβάλλονται κατά την επεξεργασία PEF. Πιο συγκεκριμένα, η ηλεκτρική αγωγιμότητα αυξάνεται λόγω της ηλεκτροδιάτρησης της μεμβράνης και της διάχυσης ιόντων από τα κύτταρα στο νερό ή σε κάποιο άλλο μέσο χαμηλής αγωγιμότητας<sup>[64]</sup>. Η ειδική ενέργεια ανά παλμό υπολογίζεται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$W = \frac{1}{m} \int_0^{\infty} V(t) \cdot I(t) dt \quad (23)$$

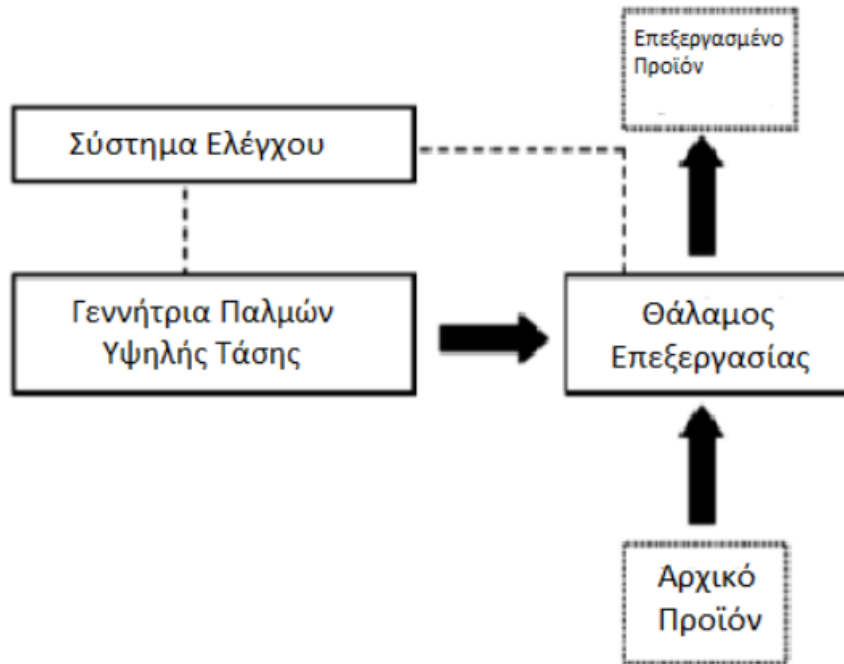
Όπου  $m$  η μάζα του δείγματος,  $V(t)$  η τάση στα άκρα του θαλάμου επεξεργασίας και  $I(t)$  το ρεύμα που διαπερνά το θάλαμο επεξεργασίας τη χρονική στιγμή  $t$ .

Η συνολική ειδική ενέργεια ( $W_T$ , kJ/kg) μπορεί να υπολογισθεί πολλαπλασιάζοντας την ειδική ενέργεια ανά παλμό  $W$  με τον αριθμό των παλμών που εφαρμόζονται:

$$W_T = W \cdot n \quad (24)$$

### Εξοπλισμός

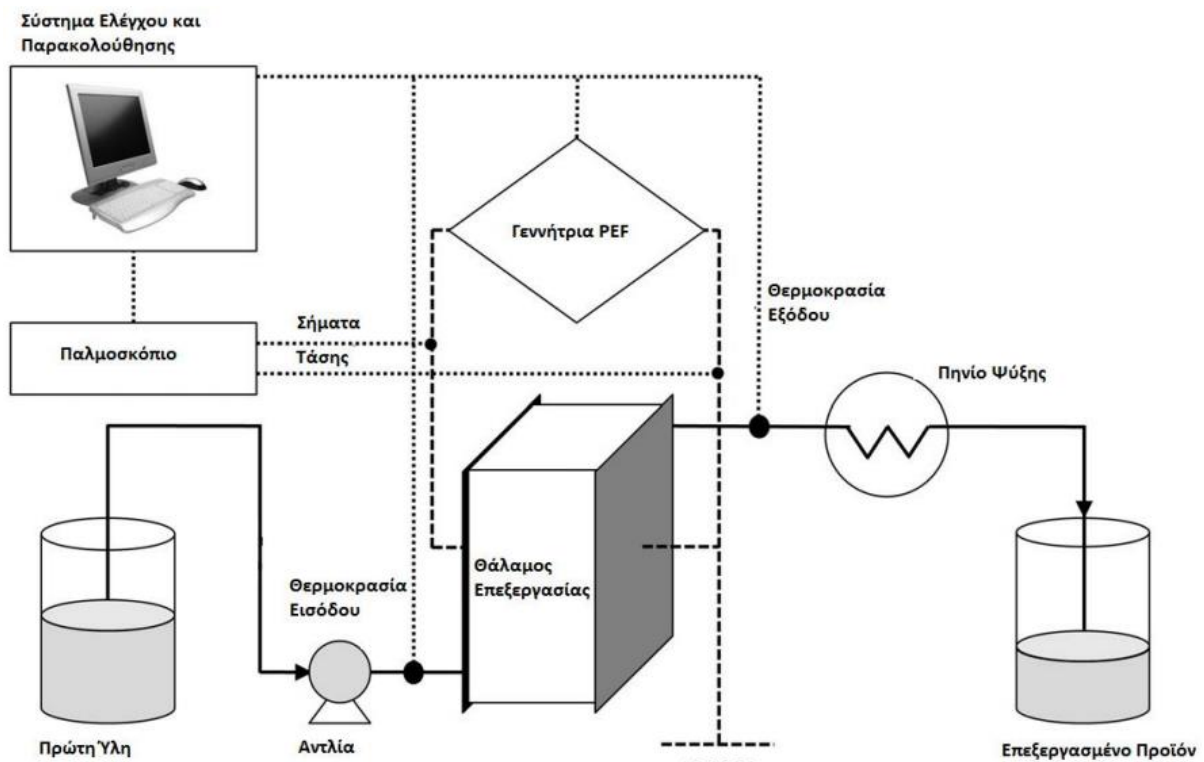
Ένα σύστημα επεξεργασίας τροφίμων PEF, αποτελείται γενικά από τρία βασικά μέρη: μια γεννήτρια παλμών υψηλής τάσης, ένα θάλαμο επεξεργασίας ή λουτρό με ηλεκτρολύτες και ένα σύστημα ελέγχου για την παρακολούθηση και τον έλεγχο των παραμέτρων της διαδικασίας<sup>[65]</sup>. Το διάγραμμα του συστήματος επεξεργασίας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF) περιγράφεται στο Διάγραμμα 17.



Διάγραμμα 17: Διάγραμμα του συστήματος επεξεργασίας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF)<sup>[65]</sup>.

Η γεννήτρια παράγει ηλεκτρικούς παλμούς κατάλληλης τάσης, σχήματος και διάρκειας χρησιμοποιώντας ένα περισσότερο ή λιγότερο πολύπλοκο δίκτυο σχηματισμού των παλμών. Πιο αναλυτικά, πρόκειται για ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που αποτελείται από διάφορα μέρη: ένα ή περισσότερα τροφοδοτικά συνεχούς ρεύματος, μια αντίσταση, μία συστοιχία πυκνωτών που συνδέονται παράλληλα, έναν ή περισσότερους διακόπτες, και επαγωγείς και αντιστάσεις. Η ενέργεια που παρέχεται από το τροφοδοτικό αποθηκεύεται προσωρινά στους πυκνωτές και στη συνέχεια μεταδίδονται με τη μορφή παλμών στο τρόφιμο, δημιουργώντας έτσι το κατάλληλο ηλεκτρικό πεδίο. Η συνολική ονομαστική ισχύς του τροφοδοτικού περιορίζει τον μέγιστο αριθμό των φορών που ο πυκνωτής μπορεί να φορτιστεί και να αποφορτιστεί σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα<sup>[65]</sup>.

Έχουν σχεδιαστεί διάφοροι θάλαμοι επεξεργασίας PEF και κυρίως χρησιμοποιούνται σε εργαστηριακή κλίμακα. Οι θάλαμοι επεξεργασίας μπορούν γενικά να κατηγοριοποιηθούν σε διαλείποντος έργου και συνεχής λειτουργίας<sup>[66]</sup>. Οι πρώτοι θάλαμοι που σχεδιάστηκαν ήταν για διεργασίες διαλείποντος έργου και χρησιμοποιούν ηλεκτρόδια σε παράλληλες πλάκες που διαχωρίζονται από ένα μονωτικό υλικό. Εναλλακτικά, ο θάλαμος έχει σχήμα U και είναι από πολυστυρένιο, ενώ παράλληλα υπάρχουν και άλλες διατάξεις ανάλογα με τις απαιτήσεις και τους περιορισμούς κάθε εφαρμογής<sup>[67]</sup>.



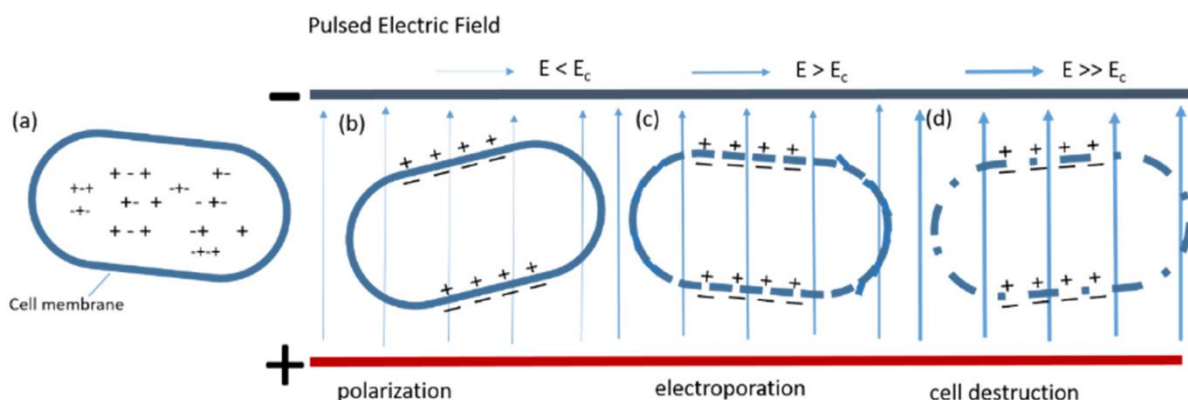
Διάγραμμα 18: Διάγραμμα ροής ενός τυπικού συστήματος PEF<sup>[68]</sup>.

Στο Διάγραμμα 18 απεικονίζεται μια τυπική διάταξη ενός συστήματος PEF. Η συσκευή αποτελείται από πέντε κύρια συστατικά: μια παροχή ρεύματος υψηλής τάσης, ένα πυκνωτή αποθήκευσης ενέργειας, ένα θάλαμο επεξεργασίας, μια αντλία, το ψυκτικό της συσκευής, συσκευές μέτρησης της θερμοκρασίας, και έναν υπολογιστή για τον έλεγχο των εργασιών<sup>[68]</sup>.

Οι παράμετροι της διεργασίας μπορούν να παρακολουθούνται από το σύστημα ελέγχου που αποτελείται από δύο κύριες συσκευές: ένα παλμοσκόπιο και έναν καταγραφικό θερμοκρασίας. Το παλμοσκόπιο μετρά την τάση κατά μήκος του θαλάμου επεξεργασίας και δείχνει το σχήμα της τάσης εξόδου. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθούν οι ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, το παλμοσκόπιο θα πρέπει να τοποθετείται σε μια προστατευμένη περιοχή. Η θερμοκρασία του δείγματος μετριέται με ένα θερμοστοιχείο που τοποθετείται μέσα στο θάλαμο επεξεργασίας<sup>[65]</sup>.

### 2.2.2 Επίδραση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΗΠ) σε φυτικούς ιστούς

Κατά την εφαρμογή των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων σε ένα φυτικό ιστό η τάση εφαρμόζεται στο σύνολο του ιστού<sup>[65]</sup>. Το φαινόμενο που λαμβάνει χώρα είναι η ηλεκτροδιάτρηση των κυττάρων. Η έκθεση των κυττάρων σε ηλεκτρικούς παλμούς υψηλής τάσης προκαλεί την προσωρινή αποσταθεροποίηση της λιπιδικής διπλοστιβάδας και των πρωτεϊνών της κυτταρικής μεμβράνης<sup>[66]</sup>. Η πλασματική μεμβράνη των κυττάρων γίνεται διαπερατή σε μικρά μόρια, με αποτέλεσμα τη διόγκωση και την ενδεχόμενη διάρρηξη της κυτταρικής μεμβράνης (Σχήμα 3.5). Η κύρια επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου σε ένα κύτταρο οργανισμού είναι η αύξηση της διαπερατότητας της μεμβράνης λόγω της συμπίεσης και της δημιουργίας πόρων. Στο διάγραμμα 19 απεικονίζεται πως η αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου πέρα από μια οριακή τιμή  $E_c$  οδηγεί στην δημιουργία πόρων στην πλασματική μεμβράνη. Η αύξηση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου και η διάρκεια παλμού έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγαλύτερων πόρων.



Διάγραμμα 19: Επίδραση PEF στην κυτταρική μεμβράνη-φαινόμενο ηλεκτροδιάτρησης<sup>[69]</sup>.

Στην παρούσα εγκατάσταση θα μελετηθεί η επίδραση που έχει η προσθήκη εγκατάστασης PEF. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου θα είναι  $E = 2 \frac{kV}{cm}$  με ειδική ενέργεια  $W = 0,38 \frac{kJ}{kg}$ . Η επιλογή αυτή δεν είναι τυχαία. Σε αυτές τις συνθήκες επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη συγκέντρωση καρροτενοειδών τόσο στο τελικό προϊόν αλλά όσο και στα παραπροϊόντα<sup>[70]</sup>. Η υψηλή συγκέντρωση των καρροτενοειδών στα τελικά προϊόντα ντομάτας αναβαθμίζει την ποιότητα τους. Παράλληλα η αυξημένη παρουσία συστατικών υψηλής αξίας όπως είναι τα καρροτενοειδή στα παραπροϊόντα ανοίγει την δυνατότητα στην αξιοποίηση τους πέρα από την παραγωγή ζωοτροφών. Με την προ-επεξεργασία της πρώτης ύλης με παλμικά ηλεκτρικά πεδία επιτυγχάνεται μεγαλύτερη απόδοση στην παραλαβή καρροτενοειδών από τα παραπροϊόντα εξαιτίας των αλλαγών στην κυτταρική δομή τους. Οι παραπάνω διατυπώσεις θα εξεταστούν σε παρακάτω κεφάλαια.

Για την ποσοτικοποίηση του βαθμού διάρρηξης του κυττάρου ορίζεται ο δείκτης κυτταρικής διάρρηξης  $Z$ . Ο προσδιορισμός του γίνεται με μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του τροφίμου που υφίσταται επεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία. Η τιμή αυτή συνδυάζεται με τιμές της ηλεκτρικής αγωγιμότητας για ανέπαφα και πλήρως κατεστραμμένα κύτταρα, δίνοντας έτσι το δείκτη κυτταρικής διάρρηξης:

$$Z = \frac{\sigma - \sigma_i}{\sigma_d - \sigma_i} \quad (25)$$

Όπου,  $\sigma$  η μετρούμενη ηλεκτρική αγωγιμότητα του δείγματος ενώ  $\sigma_i$  και  $\sigma_d$  οι ηλεκτρικές αγωγιμότητες του ανέπαφου και του πλήρως διαρρηγμένου τροφίμου αντίστοιχα. Ο δείκτης κυτταρικής διάρρηξης  $Z$  λαμβάνει τιμές από 0 έως 1, με την τιμή 0 να αντιστοιχεί στα ανέπαφα κύτταρα και την τιμή 1 στα πλήρως διαρρηγμένα<sup>[71]</sup>.

Η ηλεκτροδιάτρηση της κυτταρικής μεμβράνης του τροφίμου είναι μία από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον σχεδιασμό της εγκατάστασης παλμικών ηλεκτρικών πεδίων. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να προκαλέσει βλάβη στις επιφάνειες του ηλεκτροδίου, λόγω της αυξημένης πίεσης, οδηγώντας σε εκρήξεις και στη δημιουργία φυσαλίδων αερίου. Απαιτείται λοιπόν ένας επιτυχής σχεδιασμός όσον αφορά στην κατανάλωση ενέργειας και χαμηλή θέρμανση του προϊόντος<sup>[62]</sup>.

Η επεξεργασία με PEF συμβάλλει στην μεταφορά μάζας νερού στο εσωτερικό της ντομάτας, αυξάνοντας το ποσό του νερού ανάμεσα στο δέρμα και την σάρκα του φρούτου. Αυτό με την σειρά του δημιουργεί μεγαλύτερη διαφορά πίεσης με συνέπεια να μειωθεί δραματικά η επιφανειακή αντίσταση οδηγώντας σε ευκολότερο ξεφλούδισμα<sup>[61]</sup>.

### 2.2.3 Ισοζύγια και διαγράμματα ροής για νέα κατάσταση με ενσωμάτωση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΗΠ)

Η μονάδα των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων ενσωματώνεται στην παρούσα βιομηχανική εγκατάσταση πριν από το στάδιο του ξεφλουδίσματος και έχει ως τροφοδοσία το ρεύμα που οδηγείται για παραγωγή κονσερβών από ολόκληρες ή τεμαχισμένες ντομάτες. Το ηλεκτρικό πεδίο που θα δημιουργηθεί έχει ένταση  $E = 2 \frac{kV}{cm}$  και ειδική ενέργεια  $W = 0,38 \frac{kJ}{kg}$ . Αυτό σημαίνει ότι η κατανάλωση ενέργειας είναι ίση με  $0,0001 \frac{kWh}{kg}$ <sup>[24]</sup>. Η επιλογή της έντασης αυτής έγινε διότι διατηρείται μεγάλο μέρος της συγκέντρωσης καροτενοειδών μετά την διεργασία του ξεφλουδίσματος<sup>[70]</sup>. Τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία είναι μια μη θερμική μέθοδος η ενσωμάτωση της οποίας μπορεί να εξοικονομήσει 30% της απαιτούμενης ενέργειας για την παραγωγή ατμού στο στάδιο του ξεφλουδίσματος επιτυγχάνοντας το ίδιο αποτέλεσμα<sup>[24]</sup>. Η ποσότητα που διέρχεται από την μονάδα κατά την περίοδο λειτουργίας ανέρχεται στους 45892,1 τόνους ντομάτας με αποτέλεσμα η εγκατάσταση PEF να καταναλώνει 4589 kWh. Ενώ η ποσότητα του ατμού που απαιτείται μειώνεται κατά 30%. Τα αποτελέσματα στα ισοζύγια μάζας και ηλεκτρικής ενέργειας υπολογίζονται στον Πίνακα

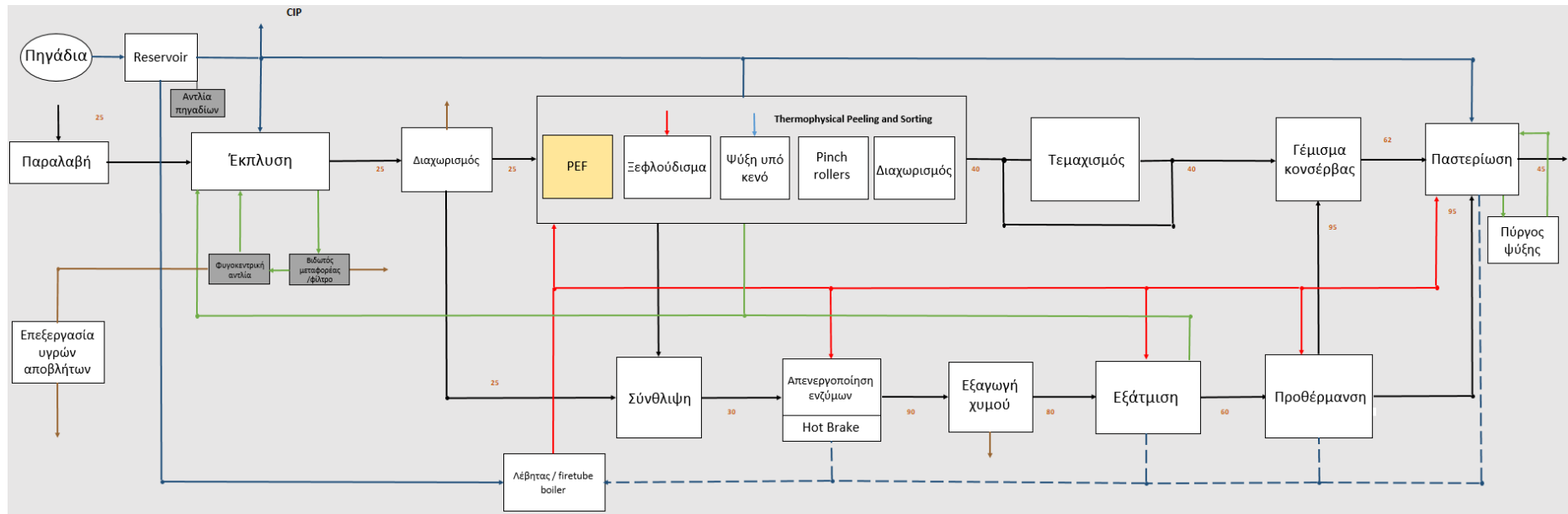
Πίνακας 36: Ισοζύγια μάζας και ηλεκτρικής ενέργειας για την μονάδα παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF).

Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας ανά κιλό ντομάτας	0,0001	kWh/Kg
Ντομάτες προς επεξεργασία	45892,125	t/y
<b>Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας</b>	<b>4589</b>	<b>kWh/y</b>
<b>Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας</b>	<b>4,589</b>	<b>MWh/y</b>
Μείωση στην κατανάλωση ατμού	30%	-

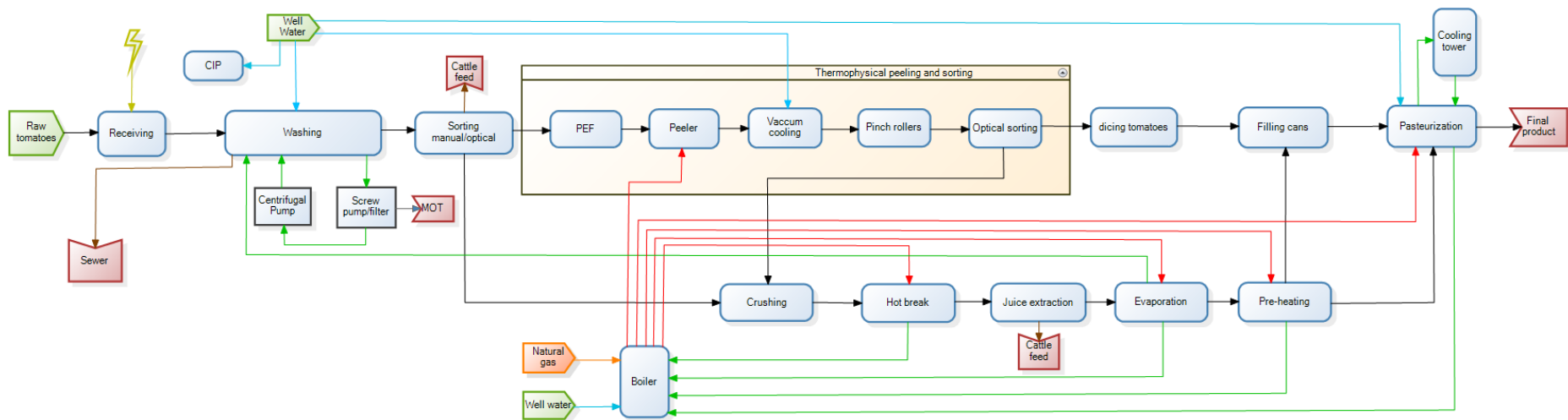
Η μείωση στην απαιτούμενη ποσότητα ατμού στην διεργασία του ξεφλουδίσματος οδηγεί στην εξοικονόμησή 413 τόνων φρέσκου νερού. Αυτό συμβαίνει διότι δίχως την ενσωμάτωση της μονάδας PEF το στάδιο του ξεφλουδίσματος απαιτούσε 1376,76 τόνους νερού για την παραγωγή ατμού ενώ με την εγκατάσταση του PEF απαιτεί πλέον 963,735 τόνους. Στο στάδιο αυτό να σημειωθεί ότι δεν γίνεται ανακύκλωση των ατμών οπότε κάθε τόνος ατμού παράγεται από ένα τόνο φρέσκου νερού που αντλείται από τα πηγάδια. Παράλληλα η απαίτηση λιγότερης ποσότητας ατμού οδηγεί στην εξοικονόμηση  $29.613 m^3$  φυσικού αερίου. Στην υφιστάμενη κατάσταση καταναλώνονται  $782490 m^3$  ενώ με την εγκατάσταση των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων η κατανάλωση ανέρχεται στα  $752877 m^3$  φυσικού αερίου. Η ενσωμάτωση της μονάδας PEF δεν επηρεάζει την κατανάλωση νερού ή ενέργεια κάποιου άλλου σταδίου με αποτέλεσμα να γίνεται εύκολα αντιληπτή η επιρροή της μονάδας τόσο στην ανάλυση κύκλου ζωής αλλά και στο Nexus που θα αναλυθούν σε επόμενα κεφάλαια.

Στα επόμενα διάγραμμα απεικονίζεται το διάγραμμα ροής της βιομηχανικής εγκατάστασης μετά την ενσωμάτωση της μονάδας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΗΠ).





Διάγραμμα 20: Διάγραμμα ροής για νέα κατάσταση με ενσωμάτωση μονάδας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF).



Διάγραμμα 21: Διάγραμμα ροής για νέα κατάσταση με ενσωμάτωση μονάδας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF) στο υπολογιστικό περιβάλλον του προγράμματος Water-Energy-Waste Nexus\*.

\*Το υπολογιστικό περιβάλλον αποτελεί ένα πρόγραμμα που κατασκευάστηκε στα πλαίσια του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

## 2.2.4 Επίδραση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στην συγκέντρωση καροτενοειδών στα προϊόντα και παραπροϊόντα βιομηχανίας επεξεργασίας ντομάτας

Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως η προ επεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία συμβάλλει σε μεγαλύτερη συγκέντρωση καροτενοειδών στα τελικά προϊόντα. Επίσης, εκτός από την εξοικονόμηση πόρων αυξάνει παράλληλα και την συγκέντρωση συστατικών υψηλής αξίας όπως το λυκοπένιο που ανήκει στην οικογένεια των καροτενοειδών<sup>[70]</sup>. Στον Πίνακα 37 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις από διάφορα καροτενοειδή αρχικά σε προϊόντα κονσέρβας ντομάτας που δεν έχουν επεξεργαστεί με PEF και ύστερα συγκρίνονται με όσα έχουν επεξεργαστεί με ένταση ηλεκτρικού πεδίου  $E = 2 \frac{kV}{cm}$  με ειδική ενέργεια  $W = 0,38 \frac{kJ}{kg}$ . Υπολογίζεται η ποσοστιαία μεταβολή της συγκέντρωσης σε κάθε ένα από τα καροτενοειδή αλλά και η συνολική<sup>[70]</sup>.

Πίνακας 37: Σύγκριση συγκεντρώσεων καροτενοειδών σε δείγμα κονσέρβας ντομάτας που έχει επεξεργαστεί με PEF και δείγματος που δεν έχει υποστεί επεξεργασία.

Ειδική ενέργεια (kJ kg <sup>-1</sup> )	Ένταση ηλεκτρικού πεδίου (kV cm <sup>-1</sup> )	Αριθμός παλμών	Συνολικά καροτενοειδή
Untreated	-	-	8,718
0,38	2	5	12,341
Ποσοστιαία μεταβολή συγκέντρωσης			42%

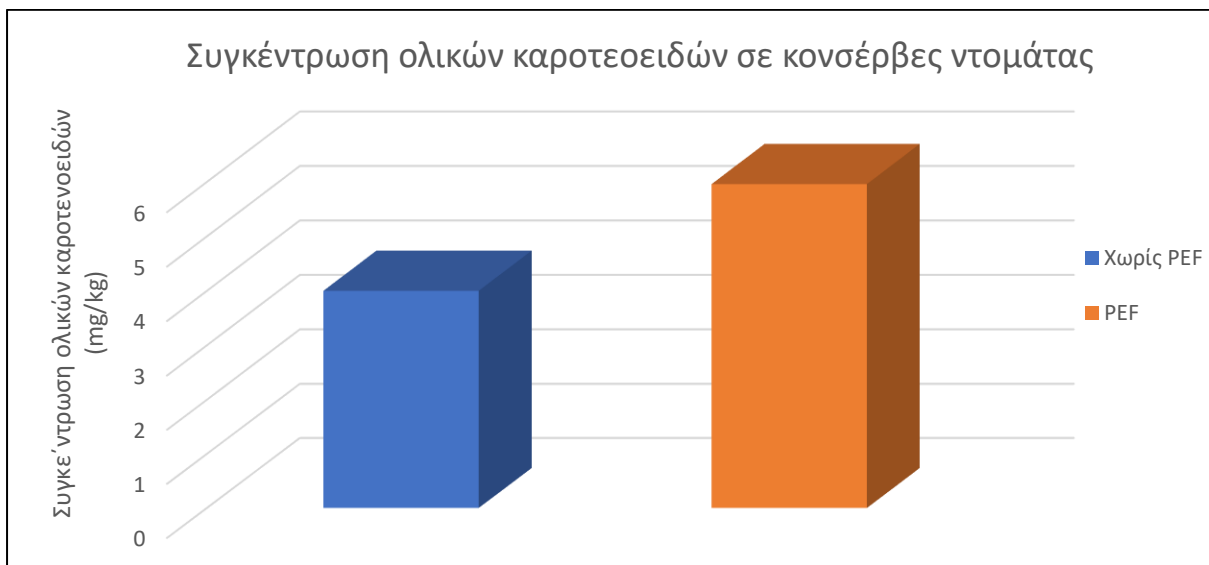
Φυτοφλόλιο	Φυτοένιο	Λυκοπένιο	δ-καροτίνη	Λουτεΐνη	γ-καροτίνη	β-καροτίνη
0,622	0,664	4	0,081	0,24	0,112	3
1,411	1,65	5,96	0,155	0,27	0,078	2,93
127%	148%	49%	91%	13%	-30%	-2%

Όπως απεικονίζεται στον Πίνακα 37 η επεξεργασία με παλμικά ηλεκτρικά πεδία οδηγεί σε αύξηση κατά 42% της συγκέντρωσης των καροτενοειδών στα τελικά προϊόντα κονσέρβας ντομάτας. Επίσης, το λυκοπένιο που εντοπίζεται σε μεγαλύτερες ποσότητες σε σύγκριση με τα άλλα καροτενοειδή στα προϊόντα ντομάτας αυξήθηκε κατά 49%. Παρόμοια αποτελέσματα είναι αναμενόμενο να ισχύουν και για προϊόντα σάλτσα ντομάτας<sup>[70]</sup>.

Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στα Διαγράμματα 22 και 23.



Διάγραμμα 22: Σύγκριση συγκεντρώσεων καροτενοειδών σε δείγμα κονσέρβας ντομάτας που έχει επεξεργαστεί με PEF και δείγματος που δεν έχει υποστεί επεξεργασία<sup>[70]</sup>.



Διάγραμμα 23: Σύγκριση ολικής συγκέντρωσης καροτενοειδών σε δείγμα κονσέρβας ντομάτας που έχει επεξεργαστεί με PEF και δείγματος που δεν έχει υποστεί επεξεργασία<sup>[70]</sup>.

Όμως όπως έχει ήδη ειπωθεί η ενσωμάτωση της μονάδας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων πριν το στάδιο του ξεφλουδίσματος έχει επίδραση και στην ποιότητα των παραπροϊόντων. Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται αυξημένη συγκέντρωση λυκοπενίου αλλά και άλλων καροτενοειδών. Η αυξημένη συγκέντρωση αλλά και το αποτέλεσμα του φαινομένου της ηλεκτροδιάτρησης των κυτταρικών μεμβρανών συμβάλλουν στην βελτίωση της απόδοσης παραλαβής λυκοπενίου από το παραπροϊόν της βιομηχανίας. Η ποσότητα λυκοπενίου που εξάγεται από τα παραπροϊόντα δίχως PEF υπολογίζεται στα  $98,4 \frac{mg}{kg \text{ παραπροϊόντος}}$ . Όμως με

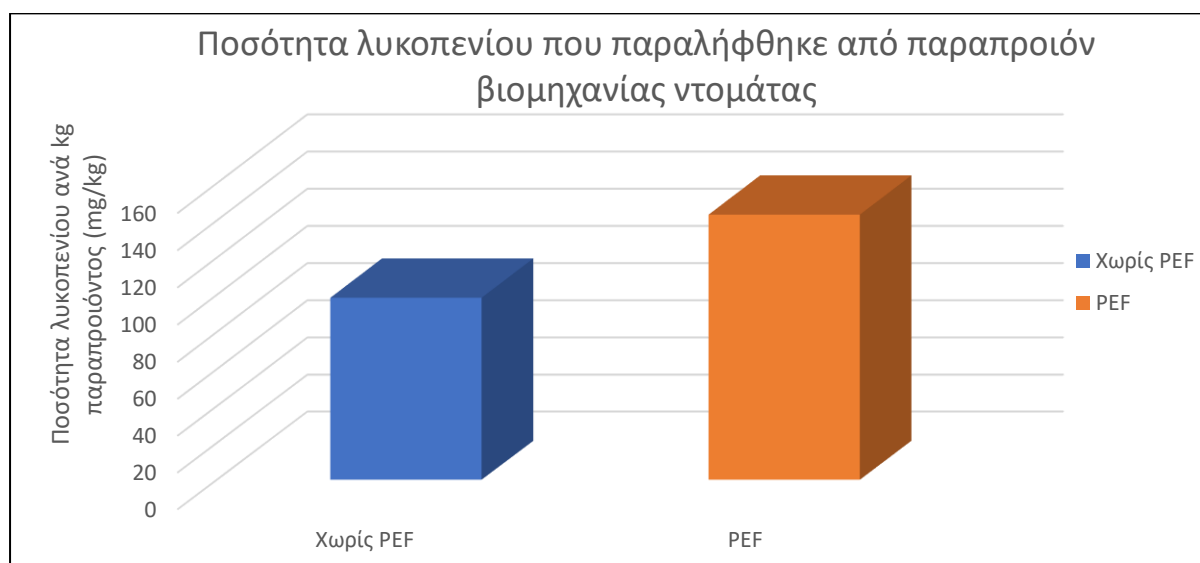
την ενσωμάτωση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων αυτή η τιμή ανέρχεται στα  $143,1 \frac{mg}{kg \text{ παραπροϊόντος}}$ <sup>[72]</sup>. Σύμφωνα με βιβλιογραφικά δεδομένα η συγκέντρωση του λυκοπενίου στο παραπροϊόν της βιομηχανίας ντομάτας ισούται με  $413,7 \frac{mg}{kg \text{ παραπροϊόντος}}$ . Αυτό σημαίνει ότι η προσθήκη PEF αύξησε κατά 45% την απόδοση της διεργασίας εξαγωγής του λυκοπενίου από το παραπροϊόν της παραγωγικής διαδικασίας. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στους Πίνακα 38 και 39 και στο Διάγραμμα 24.

Πίνακας 38: Σύγκριση ποσότητας λυκοπενίου σε δείγμα παραπροϊόντος βιομηχανίας ντομάτας που έχει επεξεργαστεί με PEF και δείγματος που δεν έχει υποστεί επεξεργασία<sup>[61]</sup>.

	Ποσότητα λυκοπενίου ανά kg παραπροϊόντος (mg/Kg)	Ποσότητα λυκοπενίου που παραλήφθηκε (mg)	Ποσότητα λυκοπενίου που παραλήφθηκε (t)
Χωρίς PEF	98,4	470301853	470,30
Με PEF	143,1	683945073	683,95
Συνολική ποσότητα λυκοπενίου σε παραπροϊόν (mg/Kg)	413,7	Συνολική ποσότητα λυκοπενίου σε παραπροϊόν (t)	1977,3

Πίνακας 39: Σύγκριση αποδόσεων εξαγωγής λυκοπενίου πριν και μετά από επεξεργασία με PEF.

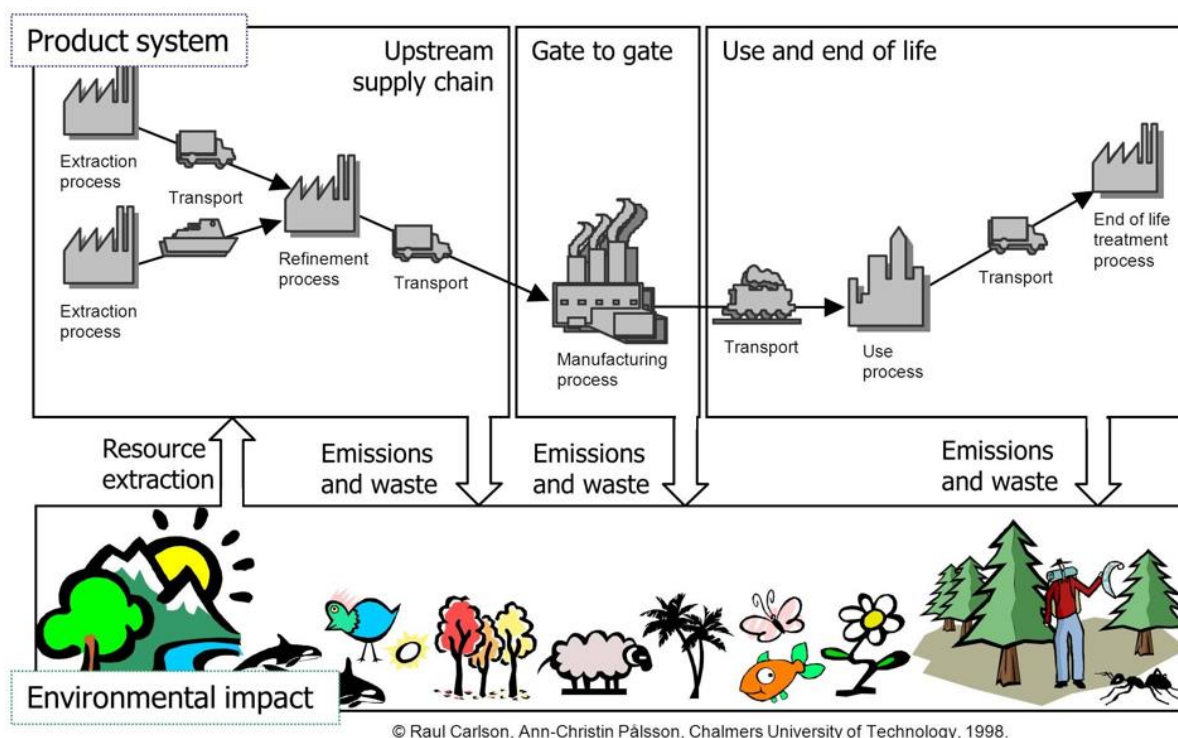
Απόδοση εξαγωγής λυκοπενίου (χωρίς PEF)	Απόδοση εξαγωγής λυκοπενίου (με PEF)	Αύξηση απόδοσης εξαγωγής λυκοπενίου
23,8%	34,6%	45,4%



Διάγραμμα 24: Ποσότητα λυκοπενίου που παραλήφθηκε από δείγμα παραπροϊόντος βιομηχανίας ντομάτας που έχει υποστεί PEF και δείγματος που δεν έχει υποστεί.

### 3. Αξιολόγηση κύκλου ζωής (ΑΚΖ)

Η αξιολόγηση του κύκλου ζωής ενός προϊόντος (Life Cycle Assessment – LCA) αποτελεί μία τεχνική εκτίμησης των περιβαλλοντικών επιπτώσεων που συνδέονται με ένα προϊόν, μια διεργασία ή μία δραστηριότητα από την έναρξη (πρώτες ύλες) μέχρι και το τέλος της ζωής ενός προϊόντος (ανακύκλωση). Η συγκεκριμένη τεχνική προσδιορίζει και ποσοτικοποιεί την ενέργεια και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την παρασκευή ενός προϊόντος καθώς και τα απόβλητα (waste) που προκύπτουν από όλες τις διαδικασίες που επιβαρύνουν το περιβάλλον<sup>[73]</sup>.



Εικόνα 15: Σχηματική απεικόνιση της Ανάλυσης Κύκλου Ζωής (ΑΚΖ)<sup>[74]</sup>.

Η ΑΚΖ μπορεί να αξιοποιηθεί ως ένα εργαλείο για την αξιολόγηση της βιωσιμότητας των εφοδιαστικών αλυσίδων από υπάρχουσες εγκαταστάσεις. Η χρήση της ΑΚΖ γίνεται με σκοπό:

- να ληφθεί μία συγκεντρωτική εικόνα των συνολικών επιπτώσεων, να εντοπιστούν οι διεργασίες που καταναλώνουν την μεγαλύτερη ποσότητα ενέργειας ή παράγουν τους περισσότερους ρύπους (hotspots), καθώς και οι περιοχές όπου μπορούν να εφαρμοστούν βελτιώσεις στον κύκλο ζωής των προϊόντων ή των διεργασιών
- να υπολογιστεί το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των προϊόντων, είτε ξεχωριστά σε κάθε στάδιο είτε καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής,

- να προσφέρει στοιχεία για λήψη αποφάσεων που αφορούν στα σημεία στα οποία θα πρέπει να επικεντρωθούν οι προσπάθειες και οι επενδύσεις ώστε να βελτιστοποιηθούν οι διεργασίες

Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του κύκλου ζωής μπορούν να αποτελέσουν την βάση για την λήψη καθημερινών αποφάσεων σχετικά με την λειτουργία της βιομηχανίας έως και την κατάστρωση στρατηγικής για την ανάπτυξη νέων προϊόντων ή την επιλογή νέων πρώτων υλών και διεργασιών<sup>[75]</sup>.

Για να μπορούν να δίνονται έγκυρα αποτελέσματα, θεσπίστηκε μία σειρά πρότυπων μεθοδολογιών για την διεξαγωγή της ΑΚΖ, η σειρά τυποποίησης ISO 14040 περιλαμβάνει τα εξής<sup>[76]</sup>:

- ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework
- ISO 14044:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines
- ISO/TR 14047:2003 Environmental management – Life cycle impact assessment – Examples of application of ISO 14042
- ISO/TS 14048:2002 Environmental management – Life cycle assessment – Data documentation format
- ISO/TR 14049:2000 Environmental management – Life cycle assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis

Η αξιολόγηση κύκλου ανάλυσης για την υφιστάμενη κατάσταση αλλά και την νέα με την ενσωμάτωση μονάδας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στην παραγωγική διαδικασία της βιομηχανίας επεξεργασίας ντομάτας, έγινε με γνώμονα τα πρότυπα και τις αρχές του ISO 14040.

### 3.1 Οι κύριες αρχές της αξιολόγησης του κύκλου ζωής

Οι βασικές αρχές στις οποίες είναι βασισμένη η μεθοδολογία αξιολόγησης κύκλου ζωής (ΑΚΖ) σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14040 παρουσιάζονται παρακάτω.

#### Προοπτική κύκλου ζωής

Η αξιολόγηση θα πρέπει να περιλαμβάνει τον πλήρη κύκλο ζωής. Αυτό σημαίνει ότι η αξιολόγηση ξεκινά από την εξόρυξη πόρων και συμπεριλαμβάνονται όλα τα στάδια παραγωγής και διεργασιών, έως τη χρήση και το τέλος της ζωής τους. Επίσης στο κύκλο ζωής περιλαμβάνονται οι μεταφορές και η παραγωγή ενέργειας<sup>[77]</sup>.

### **Περιβαλλοντική εστίαση**

Η αξιολόγηση θα πρέπει να περιλαμβάνει όλες τις σχετικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις που σχετίζονται με την παραγωγή του προϊόντος. Παραδείγματα σχετικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που πρέπει να συμπεριληφθούν είναι οι επιπτώσεις στην υπερθέρμανση του πλανήτη και στα οικοσυστήματα, στην ανθρώπινη υγεία και στην εξάντληση των μη ανανεώσιμων πόρων μεταξύ άλλων<sup>[77]</sup>.

### **Σχετική προσέγγιση και λειτουργική μονάδα**

Η αξιολόγηση θα πρέπει να σχετίζεται με τη λειτουργία που παρέχεται από το σύστημα προϊόντος. Οι υπολογισμοί της ΑΚΖ βασίζονται στη λειτουργική μονάδα, δηλαδή ένα αριθμητικό μέτρο με το οποίο σχετίζονται όλες οι εισοδοί και οι έξοδοι. Για παράδειγμα, η λειτουργική μονάδα για μια βιομηχανική εγκατάσταση μπορεί να είναι ένα κιλό τροφοδοσίας ή ένα κιλό προϊόντος<sup>[77]</sup>.

### **Επαναληπτική προσέγγιση**

Κατά την εκτέλεση της αξιολόγησης, μπορεί να χρειαστεί να τροποποιηθούν οι προσδοκίες και οι προϋποθέσεις για τη μελέτη, με βάση τις εμπειρίες και τις πληροφορίες που συλλέγονται κατά την εξέλιξη της. Αυτό είναι ένα σημαντικό μέρος της δουλειάς, να ελέγχεται συνεχώς ο σκοπός της μελέτης και εάν οι ερωτήσεις της μελέτης έχουν απαντηθεί. Για παράδειγμα, πτυχές που δεν ήταν γνωστές στην αρχή μπορεί να είχαν εμφανιστεί κατά τη διάρκεια της μελέτης ή ίσως ορισμένα δεδομένα απλά να μην ήταν δυνατό να ληφθούν<sup>[77]</sup>.

### **Διαφάνεια**

Οι επιλογές που γίνονται κατά την εκτέλεση της αξιολόγησης θα πρέπει να τεκμηριώνονται και να παρουσιάζονται με επαρκή λεπτομέρεια, ώστε να διευκολύνεται η κατανόηση των αποτελεσμάτων και των περιορισμών<sup>[77]</sup>.

### **Περιεκτικότητα**

Η αξιολόγηση θα πρέπει να περιλαμβάνει επαρκές μέρος του κύκλου ζωής και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Αυτό είναι σημαντικό για να διασφαλιστεί ότι το αποτέλεσμα αντιπροσωπεύει μια ουσιαστική εικόνα των συνολικών περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε όλο τον κύκλο ζωής του προϊόντος και ότι κανένα μέρος που μπορεί να είναι σημαντικό στη μελέτη δεν θα παραλειφθεί<sup>[77]</sup>.



### Προτεραιότητα επιστημονικής προσέγγισης

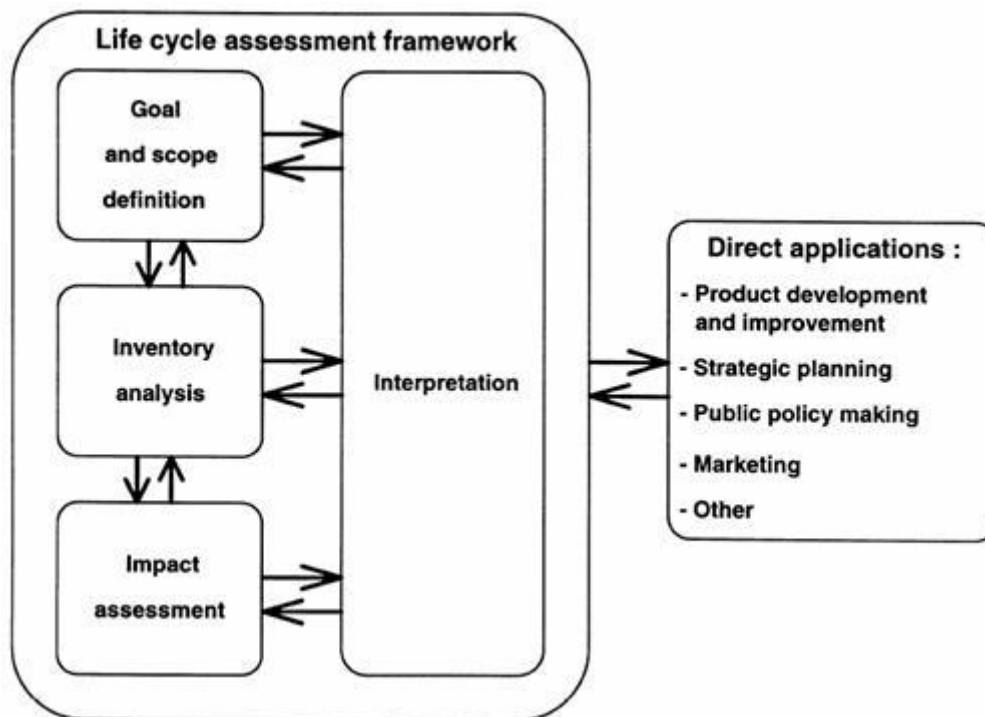
Κατά την εκτέλεση μιας αξιολόγησης του κύκλου ζωής, πρέπει να ληφθούν ορισμένες αποφάσεις. Για παράδειγμα, τι πρέπει να συμπεριληφθεί στην αξιολόγηση, πώς να συλλεχθούν δεδομένα και πώς να πραγματοποιηθεί η εκτίμηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Σε αυτή την εργασία θα πρέπει πάντα να γίνεται προσπάθεια, στο μέτρο του δυνατού, να χρησιμοποιείται μια επιστημονική προσέγγιση για να διασφαλίζει ότι η εργασία είναι αναπαραγωγίσιμη και χαρακτηρίζεται από διαφάνεια. Αυτό με τη σειρά του σημαίνει ότι η εργασία θα πρέπει να τεκμηριωθεί ώστε να επιτρέπεται η ανεξάρτητη αναθεώρηση της ΑΚΖ<sup>[77]</sup>.

### 3.2 Οι φάσεις της αξιολόγησης του κύκλου ζωής

Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14040 η αξιολόγηση κύκλου ζωής περιλαμβάνει τις παρακάτω 4 φάσεις<sup>[78]</sup>.

- **Ορισμός στόχου και πεδίου εφαρμογής (Goal and scope definition)**: Καθορισμός του στόχου για τη μελέτη ΑΚΖ και του εύρους του συστήματος προϊόντων που θα μελετηθεί, δηλαδή ποιες διεργασίες πρέπει να περιλαμβάνονται στο σύστημα προϊόντων.
- **Ανάλυση αποθέματος (Inventory analysis)**: Σύνταξη απογραφής σχετικών εισροών και εκροών του συστήματος προϊόντων, όπως η χρήση πόρων, εκπομπές στον αέρα, το νερό και το έδαφος, και την παραγωγή αποβλήτων. Αυτό περιλαμβάνει τη συλλογή δεδομένων για κάθε διαδικασία που περιλαμβάνεται στο υπό μελέτη σύστημα προϊόντος και τη συγκέντρωση της συνεισφοράς από κάθε διαδικασία στο συνολικό αποτέλεσμα για το σύστημα.
- **Εκτίμηση επιπτώσεων (Impact assessment)**: Αξιολόγηση των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων που σχετίζονται με τις εισροές και τις εκροές για το σύστημα προϊόντων. Αυτό περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του τρόπου με τον οποίο μια συγκεκριμένη εκπομπή στον αέρα επηρεάζει διάφορα περιβαλλοντικά προβλήματα όπως για παράδειγμα την υπερθέρμανση του πλανήτη.
- **Ερμηνεία αποτελεσμάτων (Interpretation)**: Ερμηνεία των αποτελεσμάτων από τη μελέτη και σχηματισμός προτάσεων για την αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων ή για την βελτίωση του συστήματος.

Οι τέσσερις φάσεις και η σύνδεση τους απεικονίζονται στην Εικόνα 16.



Εικόνα 16: Κύριες φάσεις της ΑΚΖ<sup>[78]</sup>.

### 3.2.1 Ορισμός στόχου και Πεδίου Εφαρμογής (Scope of the study)

Η πρώτη φάση μιας μελέτης ΑΚΖ συνίσταται στον καθορισμό του στόχου και του πεδίου της μελέτης. Η πρώτη φάση καθορίζει και καθοδηγεί τις επιλογές που πρέπει να γίνουν στις άλλες φάσεις της μελέτης. Θα πρέπει επίσης κατά τη διάρκεια της μελέτης να χρειαστεί να επαναπροσδιοριστεί ο στόχος και το πεδίο εφαρμογής όταν έχουν αποκτηθεί περισσότερες γνώσεις σχετικά με το σύστημα προϊόντων.

Σύμφωνα με το πρότυπο του ISO 14040 ο στόχος της μελέτης πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής<sup>[79]</sup>:

- την προβλεπόμενη εφαρμογή και τον λόγο διεξαγωγής της μελέτης
- το κοινό στο οποίο απευθύνεται η εν λόγω μελέτη
- Το αν τα αποτελέσματα της έρευνας πρόκειται να χρησιμοποιηθούν για να βασιστούν πάνω τους συγκριτικοί ισχυρισμοί που θα αποκαλυφθούν στο κοινό

Το πεδίο εφαρμογής πρέπει να περιγράφει τη λεπτομέρεια και το βάθος της μελέτης και να δείχνει ότι ο στόχος μπορεί να επιτευχθεί με την πραγματική έκταση των περιορισμών. Κατά τον καθορισμό του αντικείμενου της μελέτης θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν και να περιγράφονται οι ακόλουθες πτυχές:

### **Ορισμός συστήματος (Product system)**

Το σύστημα αποτελεί μία θεμελιώδη έννοια της ΑΚΖ και ουσιαστικά μοντελοποιεί την Αξιολόγηση Κύκλου Ζωής, περιλαμβάνοντας όλες τις διεργασίες που χρειάζεται να εφαρμοστούν ώστε να διενεργηθεί η προς μελέτη λειτουργία. Πρακτικά περιλαμβάνει όλες τις διεργασίες, ανάκτησης πόρων, κατασκευής προϊόντος, μεταφοράς, διεργασίες διαχείρισης αποβλήτων κ.α. και πώς αυτές συνδέονται μεταξύ τους. Προς διευκόλυνση του ενδιαφερόμενου, το σύστημα συχνά παίρνει την μορφή ενός διαγράμματος ροής, όπου παρουσιάζονται όλες οι διεργασίες και οι μεταξύ τους συσχετίσεις<sup>[79]</sup>.

### **Λειτουργική Μονάδα (Functional unit)**

Η λειτουργική μονάδα αποτελεί τον τρόπο έκφρασης της λειτουργίας που περιγράφει το σύστημα. Αυτό συμβαίνει καθώς η λειτουργική μονάδα ποσοτικοποιεί ουσιαστικά την λειτουργία, παρέχοντας μία βάση ώστε να καταστεί εφικτή η σύγκριση μεταξύ των εισροών και των εκροών του συστήματος, καθώς και μία κοινή βάση για την σύγκριση δύο ανεξάρτητων συστημάτων. Ένα παράδειγμα λειτουργική μονάδας μπορεί να αποτελέσει το ένα κιλό τροφοδοσίας ή ένα κιλό τελικού προϊόντος<sup>[79]</sup>.

### **Όρια (Boundaries)**

Τα όρια του συστήματος καθορίζουν ποιες διεργασίες περιλαμβάνονται στο σύστημα, όπως και ποιες εισροές και ποιες εκροές, θα συμπεριληφθούν στην μελέτη. Τα όρια του συστήματος επομένως, καθορίζονται από τον στόχο της έρευνας και την εφαρμογή για την οποία προορίζονται τα αποτελέσματα. Όσον αφορά στις εισροές και τις εκροές, πρέπει να οριστεί συγκεκριμένα ποιες εισροές και εκροές θα πρέπει να περιλαμβάνονται από και προς το περιβάλλον. Οι ροές αυτές ονομάζονται στοιχειώδεις ροές και ορίζονται ως οι ροές εισροών ή εκροών προς μια μονάδα διεργασίας ή σύστημα προϊόντος που προέρχονται ή καταλήγουν στο περιβάλλον<sup>[79]</sup>.

### **Κατανομή πόρων (Allocation)**

Κατανομή πόρων σημαίνει διαχωρισμός εισροών και εκροών στο υπό μελέτη προϊόν. Αυτό θα είναι απαραίτητο για διαδικασίες που παράγουν περισσότερα από ένα προϊόντα. Στην περίπτωση αυτή, οι εισροές υλικών και ενέργειας που μετρώνται για τη διεργασία στο σύνολό της, καθώς και οι περιβαλλοντικές εκλύσεις, πρέπει να κατανέμονται στα διάφορα προϊόντα που παράγονται από τη διαδικασία<sup>[79]</sup>.

### **Απαιτήσεις Ποιότητας Δεδομένων (Data Quality Requirements)**

Η χρησιμότητα και η αξιοπιστία των αποτελεσμάτων μιας μελέτης AKZ εξαρτάται από την ποιότητα των δεδομένων που χρησιμοποιούνται ως βάση. Σύμφωνα με το ISO 14044, οι ακόλουθες πτυχές ποιότητας πρέπει να αντιμετωπίζονται και να περιγράφονται κατά τον καθορισμό του πεδίου εφαρμογής<sup>[79]</sup>:

- Χρονική κάλυψη, καθώς πρέπει να αποφασιστεί σε ποια χρονική περίοδο θα αναφέρονται τα δεδομένα
- Γεωγραφική κάλυψη, δηλαδή σε ποια περιοχή θα πρέπει να αναφέρονται τα δεδομένα, γνωρίζοντας ότι σε έναν κύκλο ζωής ενός προϊόντος, πολλά από τα υλικά που χρησιμοποιούνται παρασκευάζονται σε διαφορετικά σημεία του πλανήτη
- Τεχνολογική κάλυψη, δηλαδή για τις διεργασίες που περιλαμβάνονται, τι τεχνολογικό επίπεδο χρησιμοποιείται για να παραχθούν τα υλικά και τα προϊόντα. Αν για παράδειγμα ένα υλικό παράγεται με διαφορετικές μεθόδους, ποια θα επιλεγεί για να εισαχθεί στην μελέτη
- Ακρίβεια, πληρότητα και αντιπροσωπευτικότητα
- Συνέπεια και αναπαραγωγικότητα των μεθόδων που χρησιμοποιεί η μέθοδος
- Επιλογή των πηγών από τις οποίες προέρχονται τα δεδομένα
- Διαχείριση αβεβαιοτήτων που μπορεί να εντοπιστούν στις πληροφορίες και κενών στα δεδομένα.

#### 3.2.2 Συλλογή Δεδομένων (Inventory)

Το στάδιο της απογραφής κύκλου ζωής μίας AKZ περιλαμβάνει δύο μέρη την συλλογή δεδομένων για κάθε μονάδα διεργασίας και το άθροισμα των συνεισφορών των επιμέρους διεργασιών.

- Συλλογή δεδομένων για κάθε μονάδα διεργασίας που περιλαμβάνεται στο σύστημα προϊόντος, που ορίζεται στη φάση του στόχου και του πεδίου εφαρμογής. Αυτό περιλαμβάνει επίσης την επικύρωση των συλλεγόμενων δεδομένων, για να διασφαλιστεί ότι πληρούνται οι απαιτήσεις ποιότητας των δεδομένων.
- Το άθροισμα των συνεισφορών των επιμέρους διεργασιών ώστε να υπολογιστεί το τελικό αποτέλεσμα για το σύστημα. Το αποτέλεσμα υπολογίζεται σε εισερχόμενα και εξερχόμενα ρεύματα από το ορισμένο σύστημα.

### **Συλλογή και Επικύρωση δεδομένων (Collection and Validation of Data)**

Τα δεδομένα που συλλέγονται για την AKZ έχουν τον πιο σημαντικό ρόλο για την τελική χρησιμότητα της έρευνας καθώς επηρεάζουν σε μεγάλο βαθμό την ακρίβεια της. Συχνά αποτελεί και το πιο χρονοβόρο στάδιο της έρευνας. Ως εκ τούτου η συλλογή των δεδομένων οφείλει να γίνει με προσεκτικό σχεδιασμό και σύμφωνα με τις ποιοτικές προϋποθέσεις που ορίζονται στην φάση του ορισμού στόχου και πεδίου εφαρμογής<sup>[80]</sup>.

Η συλλογή δεδομένων σύμφωνα με το ISO 14044 έχει τα εξής στάδια :

- 1) Προετοιμασία συλλογής δεδομένων
- 2) Συλλογή δεδομένων
- 3) Επικύρωση των συλλεγμένων δεδομένων
- 4) Κατανομή των διεργασιών.

### **1) Προετοιμασία συλλογής δεδομένων (Data Collection Preparation)**

Αρχικά, χρησιμοποιείται το διάγραμμα ροής του συστήματος που έχει ήδη οριστεί ώστε να ταυτοποιηθούν οι διεργασίες που περιλαμβάνονται και να ληφθούν τα δεδομένα για καθεμία από αυτές. Στην συνέχεια αποφασίζεται ποιες πηγές δεδομένων θα επιλεγθούν για την συλλογή. Οι πηγές χωρίζονται σε συγκεκριμένες διεργασίες παραγωγής, εσωτερικές βάσεις δεδομένων και αναφορές, πρότυπα και εκτιμήσεις και εξωτερικές βάσεις δεδομένων και βιβλιογραφία. Στην προετοιμασία συλλογής δεδομένων επιλέγεται επίσης για ποιες διεργασίες τα δεδομένα θα προκύψουν από ποια πηγή<sup>[80]</sup>.

### **2) Συλλογή δεδομένων (Data Collection)**

Για κάθε διεργασία του συστήματος απαιτούνται δεδομένα που αφορούν στα εισερχόμενα ρεύματα πόρων, ενέργειας και τα εξερχόμενα ρεύματα αέριων εκπομπών, αποβλήτων, παραγόμενων προϊόντων και παραπροϊόντων και ρευμάτων προς τον υδροφόρο ορίζοντα και το έδαφος<sup>[80]</sup>.

### **3) Επικύρωση δεδομένων (Data Validation)**

Είναι πολύ σημαντικό να επικυρώνεται η ποιότητα των δεδομένων που συλλέγονται. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι ελέγχου των δεδομένων όπως η πραγματοποίηση ισοζυγίων μάζας και ενέργειας, από τα οποία εξάγονται πληροφορίες που μας δείχνουν αν έχει παραλειφθεί κάποιο εισερχόμενο ή εξερχόμενο ρεύμα και αν συμφωνούν τα δεδομένα με τους νόμους διατήρησης τους. Επιπλέον, μπορούν να γίνουν συγκρίσεις μεταξύ δεδομένων παρόμοιων διεργασιών ώστε να αξιολογηθεί η εγκυρότητα των δεδομένων<sup>[80]</sup>.

### **4) Διαδικασία κατανομής (Allocation Procedure)**

Όταν το σύστημα παράγει περισσότερα του ενός προϊόντα είναι αναγκαίο να γίνει κατανομή των εισερχόμενων και εξερχόμενων ρευμάτων στο εκάστοτε προϊόν. Το ISO 14040 επιβάλλει τα ακόλουθα βήματα όσον αφορά στην κατανομή<sup>[80]</sup>:

- όπου είναι εφικτό, η κατανομή να αποφεύγεται, αυξάνοντας για παράδειγμα το πόσο λεπτομερές είναι το σύστημα
- όπου δεν μπορεί να αποφευχθεί η κατανομή, τα εισερχόμενα και εξερχόμενα ρεύματα να διαχωρίζονται στις επιμέρους λειτουργίες ή προϊόντα με τρόπο που υποδεικνύει τις υποκείμενες μεταξύ τους σχέσεις
- αν ότι προαναφέρθηκε δεν είναι εφικτό, η κατανομή να γίνει με βάση τις υπάρχουσες σχέσεις, όπως είναι η οικονομική αξία των προϊόντων.

### **Το άθροισμα στο αποτέλεσμα του αποθέματος (Aggregation into the inventory result)**

Η σύνταξη του αποτελέσματος με βάση το ISO 14044 έχει τα εξής βήματα<sup>[80]</sup>:

- 1) Συσχετισμό των δεδομένων με διεργασίες και την λειτουργική μονάδα
- 2) Συσσωμάτωση των πληροφοριών
- 3) Εξευγενισμό των ορίων του συστήματος, αν είναι αναγκαίο.

#### **1) Συσχετισμός των δεδομένων με διεργασίες και την λειτουργική μονάδα (Relating data to unit process and functional unit)**

Σε αυτό το στάδιο καθορίζεται το ρεύμα αναφοράς για κάθε διεργασία και συνδέονται με αυτό όλα τα ρεύματα εισόδου και εξόδου που αφορούν στη συγκεκριμένη διεργασία σύμφωνα με τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί. Επιπλέον, γίνεται κανονικοποίηση των δεδομένων που έχουν συλλεχθεί με βάση την επιλεγμένη λειτουργική μονάδα<sup>[80]</sup>.

#### **2) Συσσωμάτωση των πληροφοριών (Data aggregation)**

Τα κανονικοποιημένα δεδομένα που προκύπτουν από τα ρεύματα εισόδου και εξόδου για όλες τις συμπεριλαμβανόμενες διεργασίες κατηγοριοποιούνται και συσσωρεύονται, δίνοντας το ολικό περιβαλλοντολογικό αποτύπωμα. Παραδείγματος χάριν οι εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα από κάθε διεργασία, αθροίζονται και λαμβάνονται οι συνολικές εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα του συστήματος<sup>[80]</sup>.

#### **3) Εξευγενισμός των ορίων του συστήματος (Refining system boundaries)**

Αφού ληφθούν τα αποτελέσματα, πραγματοποιείται ένας έλεγχος ευαισθησίας, ώστε να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα και οι πληροφορίες που εισήχθησαν στο σύστημα. Μπορεί με αυτόν τον τρόπο να παρατηρηθεί ποια στάδια του κύκλου ζωής είναι πιο επιζήμια, αν οι πληροφορίες που υπάρχουν γι' αυτά είναι αρκετές και να γίνει αναθεώρηση των ορίων του συστήματος αν είναι αναγκαίο και επανάληψη της ΑΚΖ<sup>[80]</sup>.

### 3.2.3 Εκτίμηση Επιπτώσεων (Impact assessment)

Η αξιολόγηση των επιπτώσεων της ΑΚΖ στοχεύει στην εκτίμηση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου που έχει το σύστημα. Η εκτίμηση των επιπτώσεων πραγματοποιείται με βάση τα αποτελέσματα της απογραφής και περιλαμβάνει την εκτίμηση των περιβαλλοντολογικών συνεπειών που έχουν οι εισροές και οι εκροές του συστήματος.

Ακολουθώντας τις οδηγίες του ISO 14040 η εκτίμηση επιπτώσεων διαχωρίζεται σε υποχρεωτικά και προαιρετικά στοιχεία<sup>[81]</sup>:

#### **Υποχρεωτικά στοιχεία**

- Γίνεται επιλογή των κατηγοριών των επιπτώσεων που θα συμπεριληφθούν, των δεικτών των κατηγοριών και των μοντέλων χαρακτηρισμού, δηλαδή ουσιαστικά του τρόπου με τον οποίο ποσοτικοποιείται το αποτύπωμα.
- Κατηγοριοποίηση, κατά την οποία τα αποτελέσματα της συλλογής δεδομένων αντιστοιχούνται στις ανάλογες κατηγορίες επιπτώσεων
- Πραγματοποιείται χαρακτηρισμός και υπολογισμός των αποτελεσμάτων των δεικτών της κάθε κατηγορίας, μεταφράζοντας ουσιαστικά τα αποτελέσματα της συλλογής δεδομένων σε αποτελέσματα που αναλογούν σε κάθε κατηγορία επιπτώσεων.

#### **Προαιρετικά στοιχεία**

- Κανονικοποίηση, συγκρίνοντας το μέγεθος των αποτελεσμάτων των δεικτών κάθε κατηγορίας με δεδομένα αναφοράς, συχνά από την παραγωγή παρεμφερούς προϊόντος.
- Ομαδοποίηση των κατηγοριών επιπτώσεων με γνώμονα κοινά στοιχεία ώστε να διευκολυνθεί η ερμηνεία των αποτελεσμάτων.
- Στάθμιση των επιμέρους αποτελεσμάτων των δεικτών για διαφορετικές κατηγορίες επιπτώσεων σε μία κοινή μονάδα, χρησιμοποιώντας παράγοντες που αφορούν την αξία της κάθε επιλογής.
- Ανάλυση της ποιότητας των δεδομένων, μέσω της αξιολόγησης των αποτελεσμάτων και της ταυτοποίησης των κυρίως παραγόντων που οδήγησαν σε αυτά.

Πρακτικά η εκτίμηση των επιπτώσεων της ΑΚΖ πραγματοποιείται κατά κύριο λόγο με έτοιμες μεθόδους εκτίμησης επιπτώσεων, όπου οι περισσότερες επιλογές, όπως η επιλογή των κατηγοριών επιπτώσεων ή οι δείκτες των κατηγοριών, υπονοούνται. Ανάμεσα στις διαθέσιμες μεθόδους που είναι διαθέσιμες, μερικές περιλαμβάνουν μόνο τα υποχρεωτικά στοιχεία ενώ άλλες μπορεί να περιλαμβάνουν και το προαιρετικό στοιχείο της στάθμισης. Συνήθως υπάρχουν δύο κατευθύνσεις για να κινηθεί κανείς στην εκτίμηση των επιπτώσεων, αυτή του μεσαίου σημείου, που προσανατολίζεται σε προβλήματα, και αυτή του τελικού σημείου που προσανατολίζεται σε ζημιές. Η προσέγγιση του μεσαίου σημείου βασίζεται κυρίως σε διεθνώς επιστημονικά αποδεκτές προσεγγίσεις, όπου τα ρεύματα ταξινομούνται

στις διαφορετικές κατηγορίες στις οποίες συνεισφέρουν. Η κατηγοριοποίηση αυτή ευελπιστεί να απλοποιήσει την αξιολόγηση της πληθώρας των ρευμάτων, καθώς το ενδιαφέρον συγκεντρώνεται σε ορισμένες πλέον περιβαλλοντολογικές περιοχές οι οποίες έχουν ενδιαφέρον στην έρευνα. Στην προσέγγιση τελικού σημείου, η κατηγοριοποίηση πηγαίνει ένα βήμα παραπέρα, ταξινομώντας συνήθως με βάση την ανθρώπινη υγεία, την υγεία του οικοσυστήματος ή την ζημιά στους πόρους<sup>[81]</sup>.

### **Επιλογή μεθοδολογίας**

Οι διαθέσιμες μέθοδοι της εκτίμησης των επιπτώσεων έχουν προκαθορισμένες επιλογές στους δείκτες κατηγοριών, στις κατηγορίες αντικτύπων και στον χαρακτηρισμό προτύπων. Γι' αυτό τον λόγο αξιολογούνται εκ των προτέρων οι μέθοδοι για να εξασφαλιστεί ότι οι επιλογές που περιέχουν ικανοποιούν τα κριτήρια που έχουν οριστεί. Σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14044 οι κατηγορίες επιπτώσεων που αναλύονται τα αποτελέσματα της ΑΚΖ πρέπει να πληρούν τα εξής κριτήρια<sup>[81]</sup>:

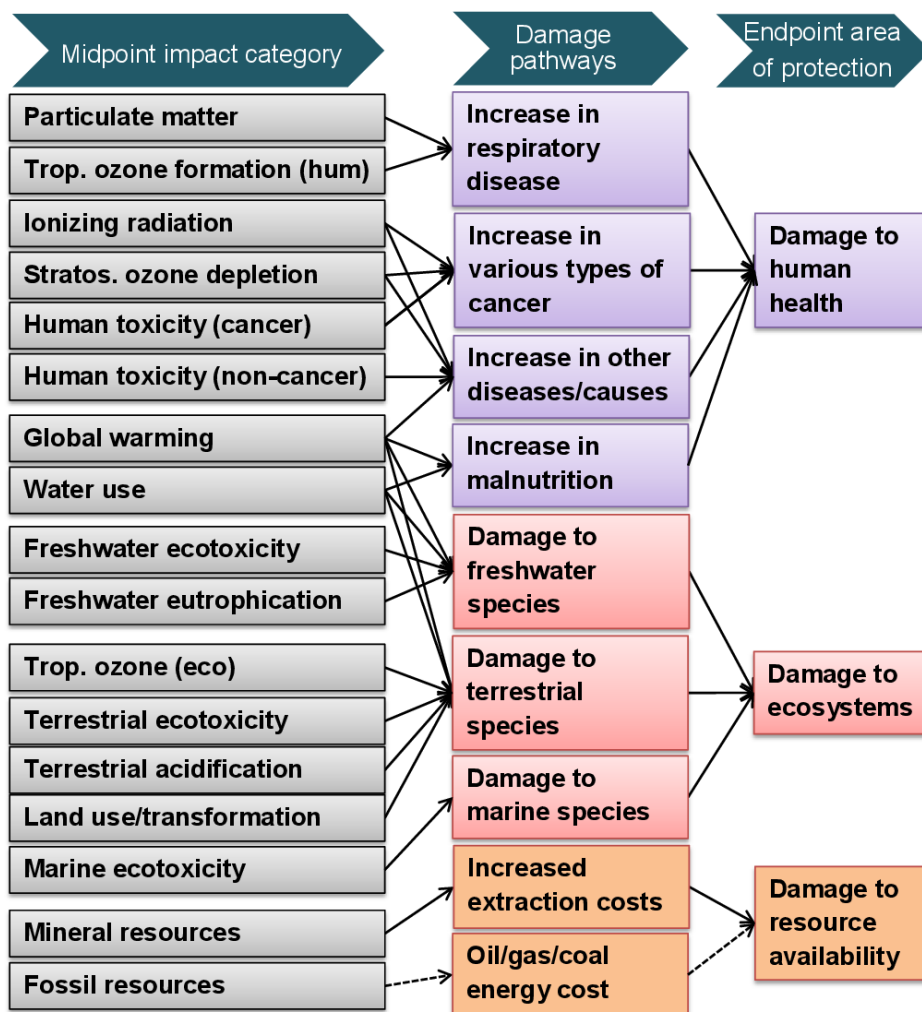
- Οι κατηγορίες που επιλέγονται πρέπει να διέπονται από κάποια πληρότητα, δηλαδή να καλύπτεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερο τμήμα του ενδιαφέροντος που αφορά στην έρευνα.
- Οι κατηγορίες θα πρέπει να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους για την αποφυγή επικαλύψεων.
- Πρέπει να έχουν πρακτικό χαρακτήρα, να μην εξετάζονται πολλές κατηγορίες διαφορετικού χαρακτήρα.
- Οι κατηγορίες πρέπει να είναι εφικτό να ολοκληρωθούν, δηλαδή η πιθανότητα σύνδεσης μεταξύ των παραμέτρων των αποτελεσμάτων ώστε να επιλεχθούν κατηγορίες αντικτύπων και μέθοδοι χαρακτηρισμού.
- Πρέπει να υπάρχει περιβαλλοντολογική συσχέτιση μεταξύ των δεικτών που επιλέγονται με τις κατηγορίες αντικτύπου.
- Οι μέθοδοι χαρακτηρισμού πρέπει να βασίζονται σε επιστημονική μέθοδο.

### **Διαθέσιμες μεθοδολογίες**

Υπάρχουν πολλές διαθέσιμες μεθοδολογίες επιπτώσεων στην αξιολόγηση του κύκλου ζωής (Life Cycle Impact Assessment-LCIA). Μία από αυτές είναι η TRACI 2.0, που χρησιμοποιείται ως εργαλείο για την μείωση και την αξιολόγηση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος από διάφορα χημικά και είναι μία μέθοδος μέσου σημείου. Η μέθοδος αυτή επιτρέπει την ποσοτικοποίηση παραγόντων που συνεισφέρουν στην εξάντληση του όζοντος, την θέρμανση του πλανήτη, την οξίνιση, τον ευτροφισμό, τον σχηματισμό τροποσφαιρικού όζοντος και σε κατηγορίες σχετικές με την ανθρώπινη υγεία. Επίσης, διαθέτει κατηγορίες για την οικοτοξικότητα και την εξάντληση των ορυκτών πόρων<sup>[82]</sup>.



Άλλες μέθοδοι μέσου σημείου που χρησιμοποιούνται είναι η EDIP97 και η CML2001. Οι κατηγορίες στις οποίες επικεντρώνονται και οι δύο μέθοδοι είναι η κλιματική αλλαγή, η εξάντληση του στρατοσφαιρικού όζοντος, ο σχηματισμός φωτοχημικού όζοντος, η οξίνιση, ο ευτροφισμός, η τοξικότητα προς τον άνθρωπο και η χερσαία και υδάτινη οικοτοξικότητα<sup>[83]</sup>. Φυσικά, υπάρχουν και μέθοδοι που συνεχίζουν την ανάλυση πέρα από τα μεσαία σημεία, στα τελικά σημεία. Τα τελικά σημεία είναι τρία και αποτελούν κατηγορίες που καλύπτουν την ανθρώπινη υγεία, την φύση και τους διάφορους πόρους. Ανάμεσα στις μεθόδους που διαθέτουν προσέγγιση τελικού σημείου είναι η Stepwise2006, η Eco-Indicator99 και η ReCiPe<sup>[84][85]</sup>. Η μεθοδολογία εκτίμησης επιπτώσεων που επιλέχθηκε να ακολουθηθεί είναι το **ReCiPe 2016 με 18 μεσαία σημεία, 3 τελικά σημεία**. Ο λόγος είναι ότι η συγκεκριμένη μέθοδος διαθέτει προσέγγιση τόσο για τα μεσαία όσο και για τα τελικά σημεία. Ιδιαίτερα για τα μεσαία σημεία, η προσέγγιση της συγκεκριμένης έκδοσης καλύπτει πολλές διαφορετικές κατηγορίες, αρκετά ικανοποιητικά. Στο Διάγραμμα 25 παρουσιάζεται η μεθοδολογία για την λήψη των αποτελεσμάτων για τα μεσαία και τα τελικά σημεία σε μια μέθοδο όπως η ReCiPe 2016<sup>[86]</sup>.



Διάγραμμα 25: Μεθοδολογία για υπολογισμό μεσαίων και τελικών σημείων για AKZ<sup>[86]</sup>.

Στο Πίνακα χχ και χχ απεικονίζονται τα μεσαία και τελικά σημεία στα οποία βασίζεται ReCiPe 2016 για τα αποτελέσματα της ΑΚΖ.

Πίνακας 40: Μεσαία σημεία της μεθόδου ReCiPe 2016.

<b>Midpoint Impact Category</b>	<b>Unit</b>
Climate change, default, excl biogenic carbon	[kg CO2 eq.]
Climate change, incl biogenic carbon	[kg CO2 eq.]
Fine Particulate Matter Formation	[kg PM2.5 eq.]
Fossil depletion	[kg oil eq.]
Freshwater Consumption	[m3]
Freshwater ecotoxicity	[kg 1,4 DB eq.]
Freshwater Eutrophication	[kg P eq.]
Human toxicity, cancer	[kg 1,4-DB eq.]
Human toxicity, non-cancer	[kg 1,4-DB eq.]
Ionizing Radiation	[Bq C-60 eq. to air]
Land use	[Annual crop eq.·γ]
Marine ecotoxicity	[kg 1,4-DB eq.]
Marine Eutrophication	[kg N eq.]
Metal depletion	[kg Cu eq.]
Photochemical Ozone Formation, Ecosystems	[kg NOx eq.]
Photochemical Ozone Formation, Human Health	[kg NOx eq.]
Stratospheric Ozone Depletion	[kg CFC-11 eq.]
Terrestrial Acidification	[kg SO2 eq.]
Terrestrial ecotoxicity	[kg 1,4-DB eq.]

Πίνακας 41: Τελικά σημεία της μεθόδου ReCiPe 2016.

<b>Endpoint Impact Category</b>	<b>Unit</b>
<i>Damage to Human Health</i>	[DALY]
<i>Damage to Ecosystems</i>	[species.yr]
<i>Damage to Resource Availability</i>	[\$]

### 3.2.4 Ερμηνεία αποτελεσμάτων (Interpretation)

Η ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι μία σημαντική δραστηριότητα της ΑΚΖ, που αποσκοπεί στην λήψη προτάσεων που θα ικανοποιήσουν τα ζητούμενα που έχουν οριστεί από τον στόχο και το πεδίο της έρευνας. Τα αποτελέσματα της απογραφής και της εκτίμησης των περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων συνδυάζονται ώστε να παραχθεί μία αμερόληπτη μελέτη. Το στάδιο της ερμηνείας έχει τρία κυρίως στοιχεία σύμφωνα με το πρότυπο ISO 14040<sup>[87]</sup>:

- την ταυτοποίηση των σοβαρών ζητημάτων με βάση τα αποτελέσματα της φάσης της απογραφής και της φάσης της εκτίμησης των περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων
- την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, μέσω των ελέγχων ολοκλήρωσης, ευαισθησίας και συνοχής. Υπόψιν μπορεί να ληφθούν επίσης έλεγχοι αβεβαιότητας και ποιότητας δεδομένων.
- τα συμπεράσματα, οι περιορισμοί και οι προτάσεις.

Στην πράξη, τα αποτελέσματα από διαφορετικά στάδια της μελέτης εξετάζονται ξεχωριστά

### **Απογραφή**

- Δεδομένα που περιλαμβάνονται στις διεργασίες.
- Όρια του συστήματος, αποφάσεις που αφορούν τον αν θα περιλαμβάνονται ή όχι ορισμένες διεργασίες και οι συνέπειες που ενυπάρχουν με την αποκοπή τους.
- Τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την απογραφή, όπως το ποια σημεία της παραγωγής έχουν μεγάλη συνεισφορά στο τελικό αποτέλεσμα και οι περιοχές στις οποίες μπορούν να εντοπιστούν περιθώρια βελτίωσης.

### **Εκτίμηση επιπτώσεων**

- Ταξινόμηση και χαρακτηρισμός. Για παράδειγμα ποια ρεύματα και ποια κομμάτια του συστήματος έχουν μεγάλη συνεισφορά στο αποτέλεσμα της εκτίμησης των επιπτώσεων για το συγκεκριμένο είδος αντικτύπου που εξετάζεται.
- Στο κομμάτι που αφορά στη στάθμιση εξετάζεται ποια κατηγορία αντικτύπου έχει μεγάλη συνεισφορά στο σταθμισμένο αποτέλεσμα και ποια ρεύματα και διεργασίες συνεισφέρουν σε αυτές τις κατηγορίες.

### 3.3 Επεξεργασία δεδομένων και αποτελέσματα αξιολόγησης κύκλου ζωής

#### 3.3.1 Επιλογή λογισμικού πακέτου AKZ

Για την διεξαγωγή μελετών AKZ έχουν δημιουργηθεί πληθώρα λογισμικών που περιέχουν τις δικές τους βάσεις δεδομένων και ειδικά εργαλεία για την εκτίμηση των επιπτώσεων για το κάθε σύστημα. Μερικά λογισμικά περιέχουν εξειδικευμένες βάσεις δεδομένων κάτι που τα καθιστά ιδανικά για την διεξαγωγή μελέτης σε ορισμένους κλάδους της βιομηχανίας. Από την άλλη, υπάρχουν λογισμικά που περιέχουν ένα πιο διευρυμένο εύρος από βάσεις δεδομένων δίχως όμως να εξειδικεύονται σε ένα τομέα της βιομηχανίας. Αυτά τα μοντέλα είναι κατάλληλα να αξιολογήσουν με ακρίβεια το μεγαλύτερο ποσοστό των συστημάτων που χρειάζονται AKZ. Μερικά από αυτά τα προγράμματα είναι το SimaPro, το OpenLCA και το GaBi το οποίο και θα χρησιμοποιηθεί για την αξιολόγηση του κύκλου ζωής και στα δύο σενάρια που εξετάζονται από την παρούσα διπλωματική εργασία.

Το GaBi προσφέρει στον ερευνητή την δυνατότητα να μοντελοποιεί κάθε στοιχείο της AKZ για κάποιο σύστημα, δίνοντας την ευκαιρία για λήψη αποφάσεων που καθορίζονται από την πιο έγκυρη πληροφόρηση. Επίσης διαθέτει βάσεις δεδομένων που ανανεώνονται συνεχώς, είναι οι μεγαλύτερες σε όγκο δεδομένων όσον αφορά τέτοιου είδους λογισμικά, περιέχουν πληροφορίες που αποκτούνται με βάση τα πρότυπα ISO 14044, 14064 και 14025 και περιέχουν λεπτομέρειες για το κόστος, την ενέργεια και το περιβαλλοντολογικό αποτύπωμα που συνδέονται με κάποια συγκεκριμένη διεργασία. Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι οι τεχνικές που χρησιμοποιεί εμπίπτουν στις οδηγίες των ISO 14040 & 14044.

#### 3.3.2 Ορισμός στόχου και πεδίου εφαρμογής (Goal and scope of the study)

Σε αυτό το στάδιο της AKZ θα οριστεί ο στόχος και το πεδίο εφαρμογής και προκειμένου να γίνει αυτό θα πρέπει να οριστούν και άλλες μεταβλητές όπως τα όρια του συστήματος και η λειτουργική μονάδα μεταξύ άλλων. Ο στόχος της AKZ που θα διεξαχθεί είναι οι εξής:

- η αξιολόγηση της γραμμής παραγωγής της υφιστάμενης κατάστασης της εγκατάστασης επεξεργασίας ντομάτας αλλά και του συστήματος στο οποίο έχει ενσωματωθεί η μονάδα παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (ΠΕΠ)
- η σύγκριση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των δύο συστημάτων και η εύρεση της επίδρασης της προσθήκης της διεργασίας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στην μείωσή του
- η μελέτη AKZ που θα διεξαχθεί απευθύνεται σε ερευνητές και βιομηχανίες που θέλουν να εξερευνήσουν τα οφέλη των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στην βιωσιμότητα της βιομηχανίας επεξεργασίας ντομάτας.

Για τον ορισμό του πεδίου εφαρμογής της AKZ, χρειάζεται να καθοριστούν οι εξής κατηγορίες:

### **Ορισμός συστήματος (Product system)**

Το σύστημα περιλαμβάνει τις διεργασίες που σχετίζονται με την επεξεργασία της ντομάτας μέχρι την παραγωγή του τελικού προϊόντος στα πλαίσια της βιομηχανίας. Επίσης, περιλαμβάνει τα στάδια καλλιέργειας και παραγωγής της πρώτης ύλης που στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι η ντομάτα. Αυτό σημαίνει ότι συμπεριλαμβάνονται όλα τα εισερχόμενα και εξερχόμενα ρεύματα της καλλιέργειας και την μεταφορά μέχρι την βιομηχανική μονάδα. Αυτό αποτελεί το ένα σύστημα ή αλλιώς την υφιστάμενη κατάσταση. Στο δεύτερο σύστημα ισχύουν όλα όσα αναφέρονται παραπάνω για το πρώτο σύστημα με την μόνη διαφορά ότι γίνεται η προσθήκη της διεργασίας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στα πλαίσια της βιομηχανικής εγκατάστασης. Τα διαγράμματα ροής με βάση το οποίο το λογισμικό πρόγραμμα Gabi πραγματοποιεί τους υπολογισμούς απεικονίζονται στα Διαγράμματα 26 και 27.

### **Λειτουργική μονάδα (Functional unit)**

Ως λειτουργική μονάδα βάσει της οποίας υπολογίστηκαν όλες οι εισροές και εκροές της επιμέρους διεργασίας, ορίστηκαν τα **100 κιλά πρώτης ύλης ντομάτας** που οδηγούνται προς επεξεργασία.

### **Όρια Συστήματος (System Boundaries)**

Σε αυτό το στάδιο ορίζονται οι διεργασίες που περιλαμβάνονται στο σύστημα. Μία πλήρης AKZ θα έπρεπε να είναι cradletograde, δηλαδή να περιλαμβάνει τον περιβαλλοντικό αντίκτυπο που προκαλείται από την εξόρυξη των πρώτων υλών έως την τελική απόθεση του προϊόντος. Λόγω έλλειψης πληροφοριών η εν λόγω μελέτη περιορίζεται στον τύπο cradletogate, δηλαδή περιλαμβάνει τις διεργασίες από την καλλιέργεια της ντομάτας, μέχρι την παραγωγή του τελικού προϊόντος και δεν εμπλέκεται με την συσκευασία του και την μετέπειτα κατανάλωση και εναπόθεση του.

Για να είναι η έρευνα έγκυρη και σύμφωνη με τα πρότυπα του ISO, πρέπει να οριστεί ο τόπος και ο χρόνος μέσα στους οποίους διεξάγονται οι διεργασίες του συστήματος. Ο τόπος ορίζεται οποιαδήποτε χώρα εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης και τα χρονικά όρια είναι μεταξύ των μηνών Ιουνίου-Αυγούστου και συγκεκριμένα στο χρονικό πλαίσιο των 85 ημερών ανάμεσα στους μήνες αυτούς.

## **Διαδικασίες**

Σε αυτό το στάδιο πρέπει να αναφερθούν οι διεργασίες που έχει αποφασιστεί να περιληφθούν στο σύστημα. Συγκεκριμένα παρατηρούνται τα εξής στάδια:

- Το στάδιο της καλλιέργειας, όπου εντοπίζονται οι διεργασίες της λίπανσης, της άρδευσης, του ραντίσματος και του σκαλίσματος
- Το στάδιο της επεξεργασίας μετά την καλλιέργεια που περιλαμβάνει την μεταφορά στον τόπο επεξεργασίας
- Στα πλαίσια της βιομηχανίας περιλαμβάνονται οι διεργασίες που αναφέρονται στο κεφάλαιο 2.1. Στο δεύτερο σύστημα όπου έχει γίνει η ενσωμάτωση της διεργασίας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων, περιλαμβάνεται και αυτή μεταξύ των διεργασιών του κεφαλαίου 2.1.

## **Κατανομή πόρων**

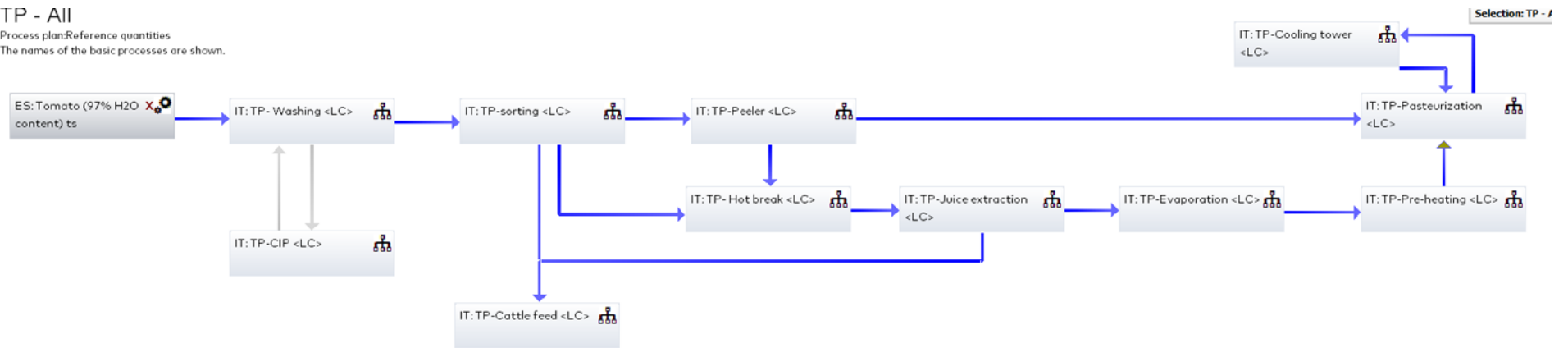
Στο στάδιο αυτό συνδέονται οι πόροι που χρησιμοποιούνται και το αντίκτυπο τους με το κάθε προϊόν που παράγεται, με βάση τις σχέσεις μεταξύ των προϊόντων. Η AKZ υπολογίζει τις συνολικές επιπτώσεις για αυτό και η ανάγκη για κατανομή. Στην συγκεκριμένη έρευνα, παρότι παράγονται 2 διαφορετικά προϊόντα (κονσερβοποιημένες ντομάτας και σάλτσας ντομάτας) δεν θα γίνει κατανομή των πόρων και των επιπτώσεων σε κάθε προϊόν ξεχωριστά. Αυτό συμβαίνει διότι η διεργασία παραγωγής του κάθε προϊόντος είναι στενά συνδεδεμένη με του άλλου, καθιστώντας δύσκολη την προσπάθεια κατανομής των περιβαλλοντικών επιπτώσεων σε κάθε προϊόν ξεχωριστά.

## **Απαιτήσεις ποιότητας προϊόντων**

Τα δεδομένα τόσο για την υφιστάμενη κατάσταση όσο και για το σύστημα όπου γίνεται η ενσωμάτωση των ΠΕΠ, συλλέχθηκαν από την εταιρεία προϊόντων επεξεργασίας ντομάτας και έχουν εμπιστευτικό χαρακτήρα. Η εγκατάσταση εδρεύει σε χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Τα δεδομένα δεν είναι παρωχημένα ενώ και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται, είναι σύγχρονες.

### TP - All

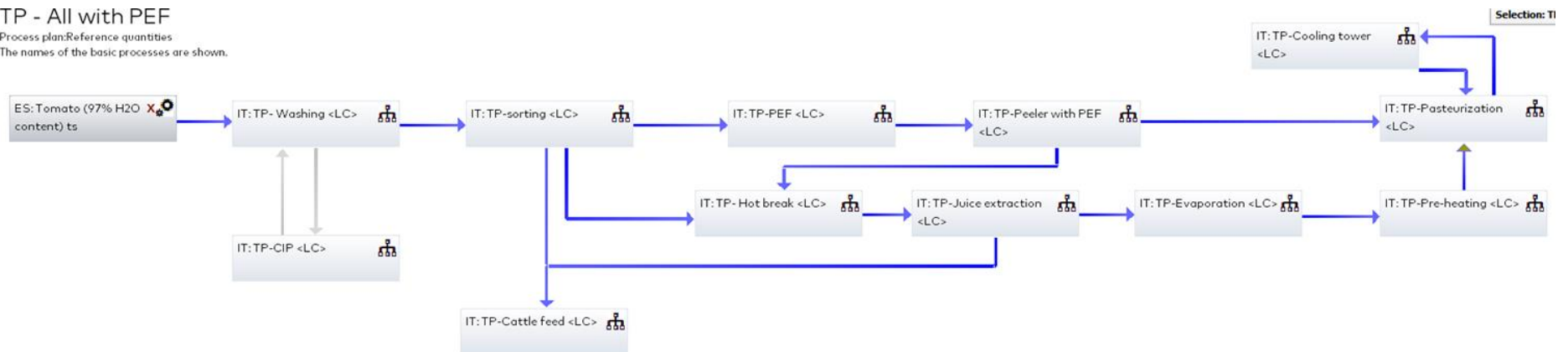
Process plan: Reference quantities  
The names of the basic processes are shown.



Διάγραμμα 26: Διάγραμμα ροής υφιστάμενης κατάστασης στο λογισμικό Gabi.

### TP - All with PEF

Process plan: Reference quantities  
The names of the basic processes are shown.



Διάγραμμα 27: Διάγραμμα ροής με ενσωμάτωση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων στο λογισμικό Gabi

### 3.3.3 Συλλογή δεδομένων

Αφού τελειώσει το στάδιο του ορισμού του στόχου και του πεδίου εφαρμογής, ακολουθεί το ίσως σημαντικότερο στάδιο της έρευνας που είναι η συλλογή δεδομένων. Σε αυτό το στάδιο, θα συλλεχθούν όλα τα δεδομένα σχετικά με τις διαδικασίες που μελετώνται, η εγκυρότητα και η ακρίβεια των οποίων θα καθορίσουν με την σειρά τους και τις αντίστοιχες των αποτελεσμάτων. Ως εκ τούτου η απογραφή όλων των εισροών και εκροών που συνδέονται με το σύστημα καθώς και με κάθε διεργασία ξεχωριστά, πρέπει να διεξαχθεί διεξοδικά και αποτελεσματικά. Για αυτό τον λόγο για την διεξαγωγή της ΑΚΖ χρησιμοποιείται ένα αξιόπιστο λογισμικό όπως το GaBi. Εκτός των έγκυρων και ενημερωμένων βάσεων δεδομένων που διαθέτει, έχει επίσης έναν αρκετά εύχρηστο τρόπο απεικόνισης των δεδομένων που συλλέγει ο ερευνητής. Η συνολική έρευνα μελετάται ως ένα σχέδιο με τα όρια που έχουν οριστεί, το οποίο αποτελείται από επιμέρους διαδικασίες, ροές ή άλλα μικρότερα σχέδια. Οι διαδικασίες δημιουργούνται είτε από τον χρήστη είτε επιλέγονται από τις βάσεις δεδομένων του GaBi, βάσει της κρίσης του χρήστη για το πόσο καλά αναπαριστούν τα δεδομένα της συγκεκριμένης μελέτης. Οι ροές είναι τα εισερχόμενα και εξερχόμενα ρεύματα από κάθε διεργασία που μπορούν να συνδέουν τις διεργασίες μεταξύ τους ή να εισέρχονται και να εξέρχονται από το σύστημα. Το σύνολο των ροών αποτελεί το αποθετήριο ή κατάλογος δεδομένων της ΑΚΖ.

Για την αποτελεσματική συλλογή των δεδομένων κρίνεται σκόπιμο να υπάρξουν ορισμένα βήματα που πρέπει να τηρηθούν. Το άτομο που διεξάγει την ΑΚΖ πρέπει να φροντίσει να ενημερωθεί εκ των προτέρων για τα είδη των διαδικασιών που εφαρμόζονται, ώστε να είναι σε θέση να ζητήσει τα δεδομένα που θα χρειαστεί από τον φορέα με τον οποίο θα συνεργαστεί. Επίσης, πρέπει να βρεθεί ένας τρόπος χειρισμού των πληροφοριών σε περίπτωση που αυτές είναι εμπιστευτικού περιεχομένου. Οι πληροφορίες που συλλέγονται πρέπει να περιγράφονται όσο το δυνατόν αναλυτικότερα, ώστε να διαμορφωθούν αναλόγως και τα εισερχόμενα και εξερχόμενα ρεύματα. Έπειτα οι διεργασίες συνδέονται μεταξύ τους σε ένα διάγραμμα ροής, δημιουργώντας σχέσεις μεταξύ τους με βάση ισοζύγια μάζας και ενέργειας και έχοντας ως σημείο αναφοράς την λειτουργική μονάδα που έχει οριστεί. Υπολογίζονται επιπλέον τα ρεύματα που βρίσκονται εκτός από τα όρια του συστήματος και δίνονται τα τελικά αποτελέσματα των περιβαλλοντολογικών επιπτώσεων.

Τα δεδομένα των ροών εισόδου και εξόδου κάθε διεργασίας απεικονίζεται στους Πίνακες 42, 43 και 44, 45 για τα δύο υπό εξέταση συστήματα αντίστοιχα. Ο τρόπος με τον οποίο δομούνται οι παρακάτω πίνακες ακολουθεί τα πρότυπα της μεθόδου και περιλαμβάνει τις μονάδες μετρήσεις, τις βιβλιογραφικές πηγές αλλά και εάν τα δεδομένα είναι υπολογισμένα ή αποτέλεσμα φυσικών μετρήσεων από την βιομηχανική εγκατάσταση.



Πίνακας 42: Δεδομένα ροών εισόδου και εξόδου για κάθε διεργασία για την υφιστάμενη κατάσταση.

Έκπλυση		Ποσότητα	Μονάδες	Πηγή	Ποιότητα
Είσοδος	Ντομάτα	56500	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Measured
	Ηλεκτρ.ενέργεια	131,65	MWh	Βάση δεδομένων GABI ts, [16]	Calculated
	Νερό	46512	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [34], [13], [19]	Calculated
	Φυσικό αέριο	0	-	-	-
Έξοδος	Ντομάτα	53675	tons	-	Calculated
	Νερό	60031,25	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [34],[13]	Calculated
	MOT	2825	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [15]	Calculated
<b>Διαχωρισμός 1</b>					
Είσοδος	Ντομάτα	53675	tons	-	Calculated
Έξοδος	Ντομάτα	50991,25	tons	-	Calculated
	Ζωοτροφή	2683,75	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [18]	Calculated
<b>Ξεφλούδισμα</b>					
Είσοδος	Ντομάτα	45892,13	tons	-	Calculated
	Ηλεκτρ.ενέργεια	534,11	MWh	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Estimated
	Νερό	1376,76	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Measured
	Φυσικό αέριο	98710	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [51], [52], [53]	Calculated
	Ατμοσφαιρικός αέρας	987105	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [54]	Calculated
Έξοδος	Ντομάτα	45892,13	tons	-	Calculated
	Υδρατμοί	1376,76	tons	-	Calculated
<b>Παστερίωση</b>					
Είσοδος	Tomatoes	35376	tons	-	Calculated
	Ηλεκτρ.ενέργεια	88,93	MWh	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Estimated
	Νερό	229,23	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [40]	Calculated
	Φυσικό αέριο	121454	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [51], [52], [53]	Calculated
	Ατμοσφαιρικός αέρας	1214536	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [54]	Calculated
Έξοδος	Ντομάτα	35376	tons	-	Calculated
	Υδρατμοί	1,16	tons	-	Calculated
<b>Πύργος ψύξης</b>					
Είσοδος	Νερό	36999	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [40]	Calculated
	Ηλεκτρ.ενέργεια	230	MWh	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Measured
Έξοδος	Νερό	36999	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [40]	Calculated
<b>Απενεργοποίηση ενζύμων</b>					
Είσοδος	Ντομάτα	34929	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [27], [28]	Calculated
	Ηλεκτρ.ενέργεια	175,77	MWh	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Estimated
	Νερό	453	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [40]	Calculated
	Φυσικό αέριο	240059	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [51], [52], [53]	Calculated
	Ατμοσφαιρικός αέρας	2400590	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [54]	Calculated
Έξοδος	Ντομάτα	34929	tons	-	Calculated
	Υδρατμοί	2,28	tons	-	Calculated
<b>Εξαγωγή χυμού</b>					
Είσοδος	Ντομάτα	34929	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [32]	Calculated
Έξοδος	Ντομάτα	32833	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [32]	Calculated
	Ζωοτροφή	2096	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [32]	Calculated

Πίνακας 43: Δεδομένα ροών εισόδου και εξόδου για κάθε διεργασία για την υφιστάμενη κατάσταση (συνέχεια).

<b>Εξάτμιση</b>					
Είσοδος	Ντομάτα	32833	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [32]	Calculated
	Ηλεκτρ.ενέργεια	179,27	MWh	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Estimated
	Νερό	462	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [34]	Calculated
	Φυσικό αέριο	244836	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [51], [52], [53]	Calculated
	Ατμοσφαιρικός αέρας	2448360	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [54]	Calculated
Έξοδος	Ντομάτα	19314	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [32]	Calculated
	Υδρατμοί	2,33	tons	-	Calculated
<b>Προθέρμανση</b>					
Είσοδος	Ντομάτα	19314	tons	-	Calculated
	Ηλεκτρ.ενέργεια	56,70	MWh	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Estimated
	Νερό	146	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [40]	Calculated
	Φυσικό αέριο	77431	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [51], [52], [53]	Calculated
	Ατμοσφαιρικός αέρας	774308	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [54]	Calculated
Έξοδος	Ντομάτα	19314	tons	-	Calculated
	Υδρατμοί	0,74	tons	-	Calculated
<b>Auxiliary units (CIP)</b>					
Είσοδος	Νερό	1800	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Measured
	Ηλεκτρ.ενέργεια	8	MWh	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Measured
Έξοδος	Νερό	1800	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Measured

Πίνακας 44: Δεδομένα ροών εισόδου και εξόδου για κάθε διεργασία για το σύστημα όπου έχει γίνει ενσωμάτωση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων.

Έκπλυση		Ποσότητα	Μονάδες	Πηγή	Ποιότητα
Είσοδος	Ντομάτα	56500	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Measured
	Ηλεκτρ.ενέργεια	131,36	MWh	Βάση δεδομένων GABI ts, [16]	Calculated
	Νερό	46512	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [34], [13], [19]	Calculated
	Φυσικό αέριο	0	-	-	-
Έξοδος	Ντομάτα	53675	tons	-	Calculated
	Νερό	60031,25	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [34], [13]	Calculated
	ΜΟΤ	2825	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [15]	Calculated
<b>Διαχωρισμός 1</b>					
Είσοδος	Ντομάτα	53675	tons	-	Calculated
Έξοδος	Ντομάτα	50991,25	tons	-	Calculated
	Ζωοτροφή	2683,75	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [18]	Calculated
<b>Παμλικά ηλεκτρ. Πεδία</b>					
Είσοδος	Ντομάτα	45892	tons	-	Calculated
	Ηλεκτρ.ενέργεια	4,59	MWh	Βάση δεδομένων GABI ts, [64]	Calculated
Έξοδος	Ντομάτα	45892	tons	-	Calculated
<b>Ξεφλούδισμα</b>					
Είσοδος	Ντομάτα	45892	tons	-	Calculated
	Ηλεκτρ.ενέργεια	440,20	MWh	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Estimated
	Νερό	963,73	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Measured
	Φυσικό αέριο	69097	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [51], [52], [53]	Calculated
	Ατμοσφαιρικός αέρας	690973	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [54]	Calculated
Έξοδος	Ντομάτα	45892,13	tons	-	Calculated
	Υδρατμοί	963,73	tons	-	Calculated
<b>Παστερίωση</b>					
Είσοδος	Ντομάτα	35376	tons	-	Calculated
	Ηλεκτρ.ενέργεια	105	MWh	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Estimated
	Νερό	229,23	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [54]	Calculated
	Φυσικό αέριο	121454	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [51], [52], [53]	Calculated
	Ατμοσφαιρικός αέρας	1214536	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [54]	Calculated
Έξοδος	Ντομάτα	35376	tons	-	Calculated
	Υδρατμοί	1,16	tons	-	Calculated
<b>Πύργος ψύξης</b>					
Είσοδος	Νερό	36999	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [40]	Calculated
	Ηλεκτρ.ενέργεια	230	MWh	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Measured
Έξοδος	Νερό	36999	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [40]	Calculated
<b>Απενεργοποίηση ενζύμων</b>					
Είσοδος	Ντομάτα	34929	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [27], [28]	Calculated
	Ηλεκτρ.ενέργεια	206,95	MWh	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Estimated
	Νερό	453	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [40]	Calculated
	Φυσικό αέριο	240059	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [51], [52], [53]	Calculated
	Ατμοσφαιρικός αέρας	2400590	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [54]	Calculated
Έξοδος	Ντομάτα	34929	tons	-	Calculated
	Υδρατμοί	2,28	tons	-	Calculated
<b>Εξαγωγή χυμού</b>					
Είσοδος	Ντομάτα	34929	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [32]	Calculated
Έξοδος	Ντομάτα	32833	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [32]	Calculated
	Ζωοτροφή	2096	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [32]	Calculated

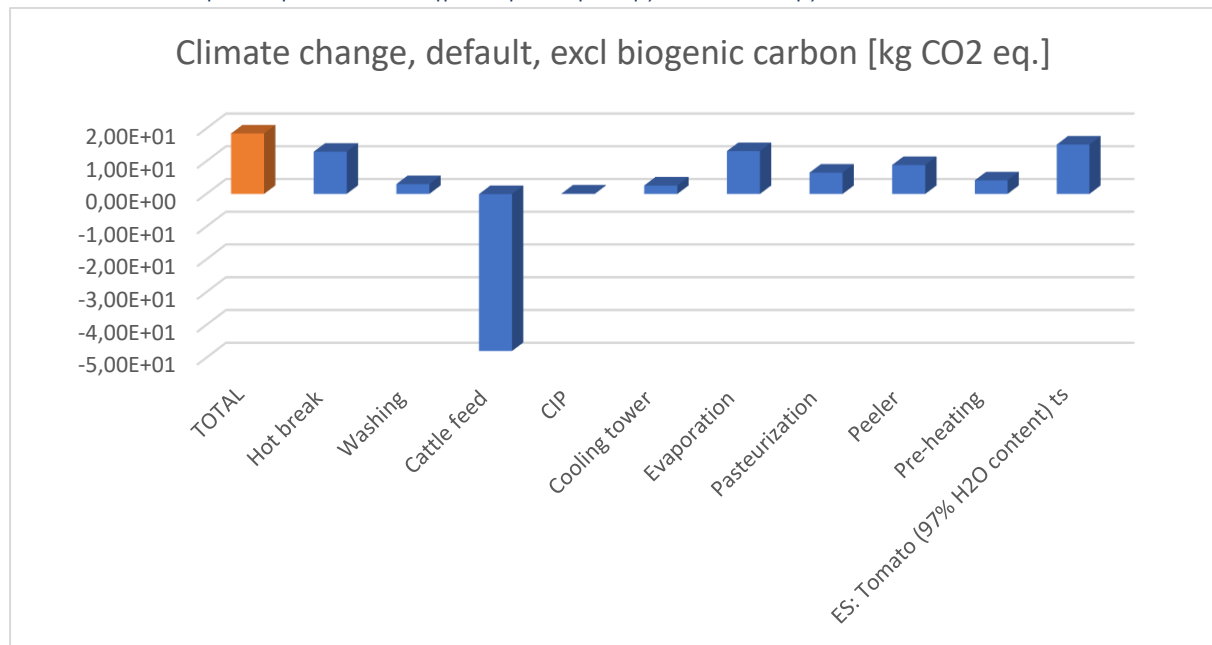
Πίνακας 45: Δεδομένα ροών εισόδου και εξόδου για κάθε διεργασία για το σύστημα όπου έχει γίνει ενσωμάτωση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (συνέχεια).

<b>Εξάτμιση</b>					
Είσοδος	Ντομάτα	32833	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [32]	Calculated
	Ηλεκτρ.ενέργεια	211,07	MWh	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Estimated
	Νερό	462	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [34]	Calculated
	Φυσικό αέριο	244836	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [51], [52], [53]	Calculated
	Ατμοσφαιρικός αέρας	2448360	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [54]	Calculated
Έξοδος	Ντομάτα	19314	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [32]	Calculated
	Υδρατμοί	2,33	tons	-	Calculated
<b>Προθέρμανση</b>					
Είσοδος	Ντομάτα	19314	tons	-	Calculated
	Ηλεκτρ.ενέργεια	66,75	MWh	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Estimated
	Νερό	146	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [40]	Calculated
	Φυσικό αέριο	77431	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [51], [52], [53]	Calculated
	Ατμοσφαιρικός αέρας	774308	m3	Βάση δεδομένων GABI ts, [54]	Calculated
Έξοδος	Ντομάτα	19314	tons	-	Calculated
	Υδρατμοί	0,74	tons	-	Calculated
<b>Auxiliary units (CIP)</b>					
Είσοδος	Νερό	1800	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Measured
	Ηλεκτρ.ενέργεια	8	MWh	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Measured
Έξοδος	Νερό	1800	tons	Βάση δεδομένων GABI ts, [24]	Measured

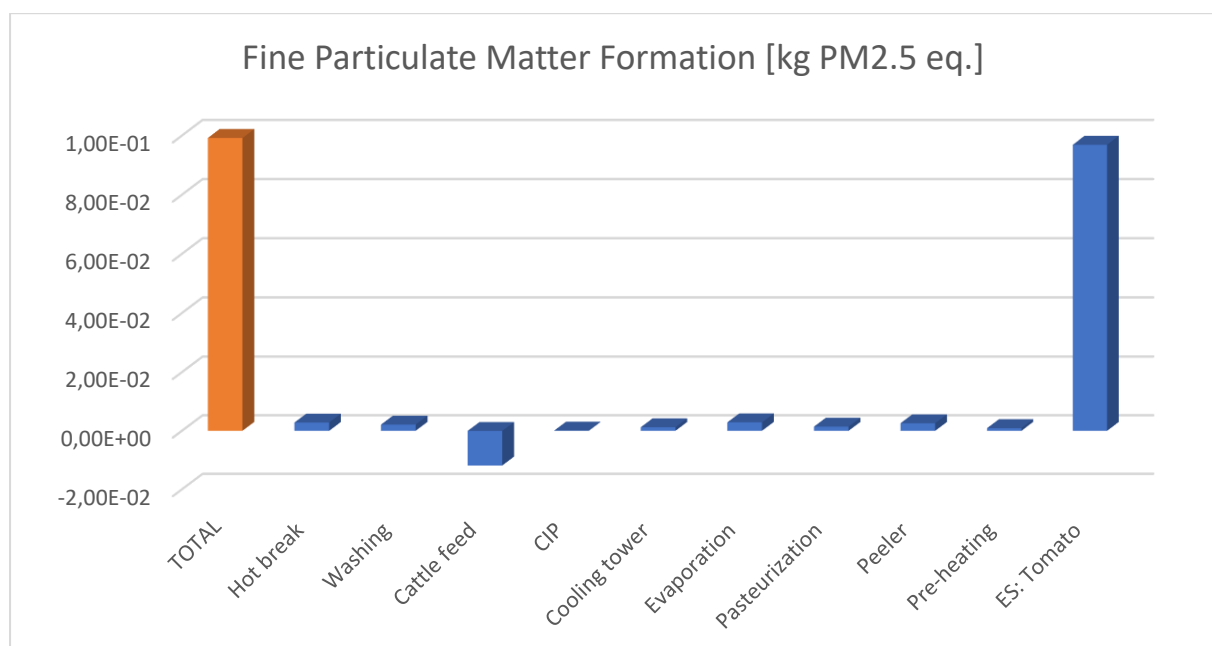
### 3.4 Αποτελέσματα αξιολόγησης κύκλου ζωής

Στα παρακάτω διαγράμματα αναπαρίσταται το περιβαλλοντολογικό αποτύπωμα των δύο συστημάτων που μελετήθηκαν. Τα διαγράμματα αντιστοιχούν στα 5 από τα 18 μεσαία σημεία της μεθοδολογίας ReCiPe 2016 τα οποία κρίθηκαν τα πιο σημαντικά και πιο αντιπροσωπευτικά για την αξιολόγηση του κύκλου ζωής του συγκεκριμένου σεναρίου.

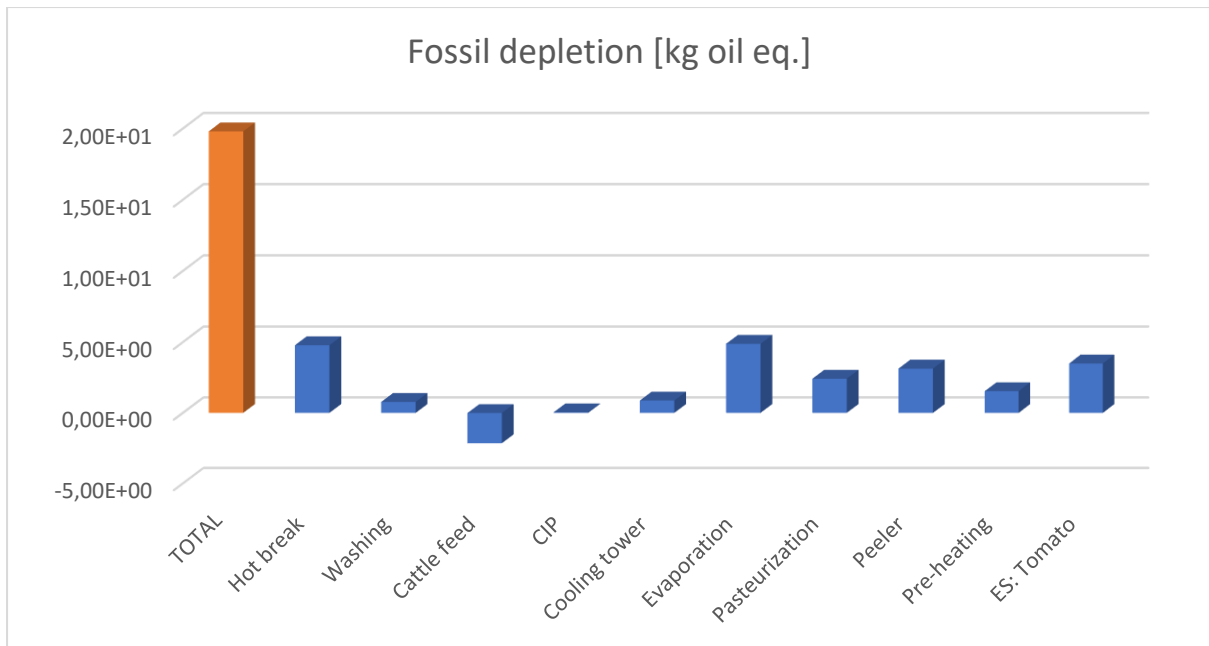
#### 3.4.1 Αποτελέσματα για το σύστημα υφιστάμενης κατάστασης



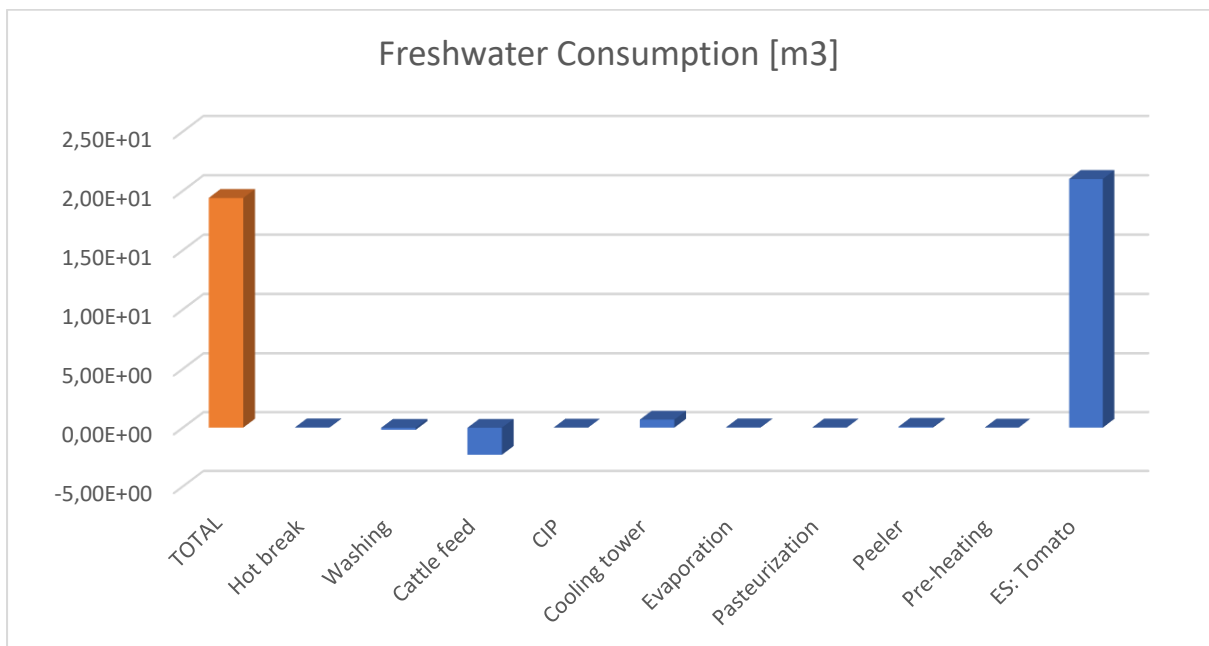
Διάγραμμα 28: Κατηγορία επίπτωσης κλιματικής αλλαγής, χωρίς τον βιογενή άνθρακα-υφιστάμενη κατάσταση.



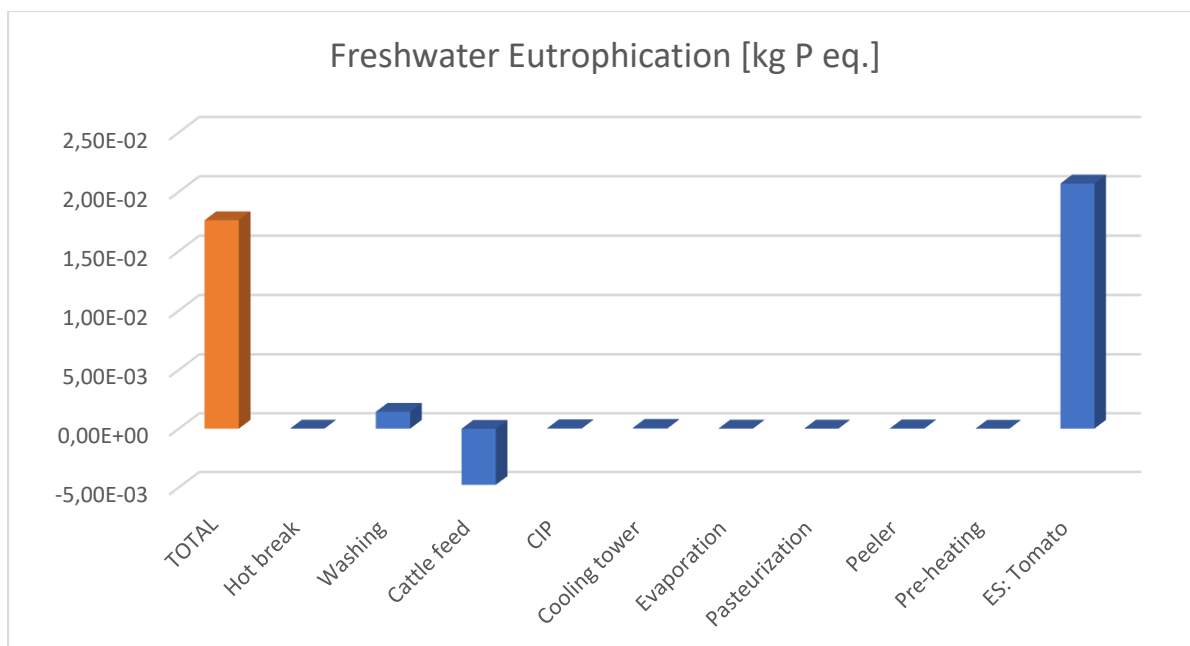
Διάγραμμα 29: Κατηγορία επίπτωσης σχηματισμού λεπτών σωματιδίων-υφιστάμενη κατάσταση.



Διάγραμμα 30: Κατηγορία επίπτωσης εξάντλησης ορυκτών πόρων-υφιστάμενη κατάσταση.



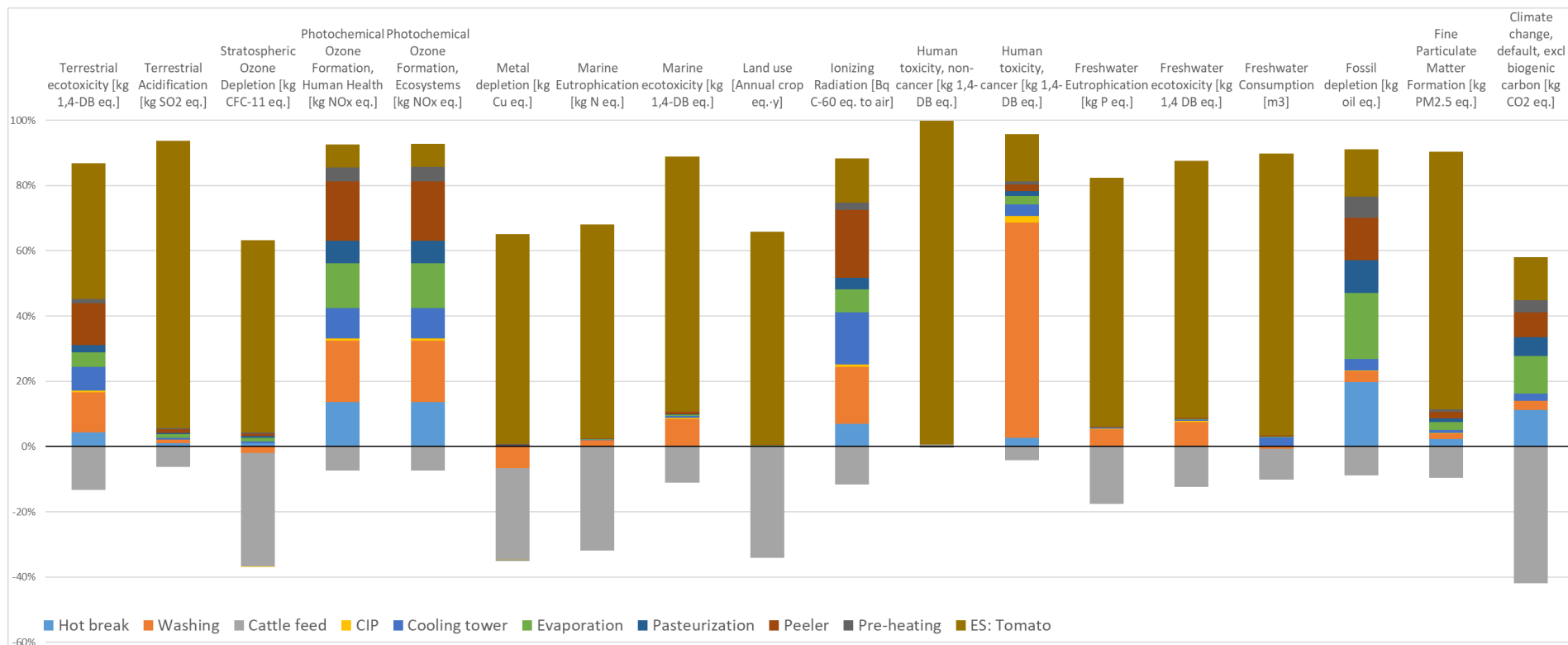
Διάγραμμα 31: Κατηγορία επίπτωσης κατανάλωσης φρέσκου νερού-υφιστάμενη κατάσταση.



Διάγραμμα 32: Κατηγορία επίπτωσης ευτροφισμού φρέσκου νερού-υφιστάμενη κατάσταση.

Πίνακας 46: Αποτελέσματα επιπτώσεων κατηγοριών τελικού σημείου για υφιστάμενη κατάσταση.

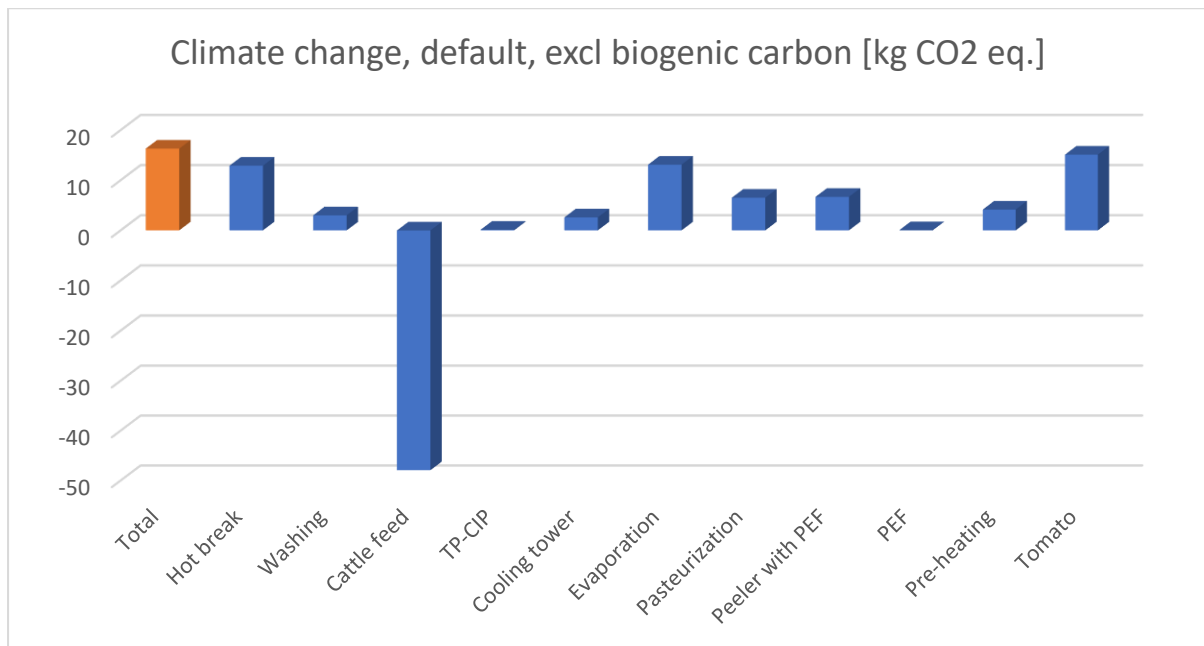
Damage to Human Health [DALY]	0,000224203
Damage to Ecosystems [species.yr]	7,58638E-06
Damage to Resource Availability [\$]	5,7516



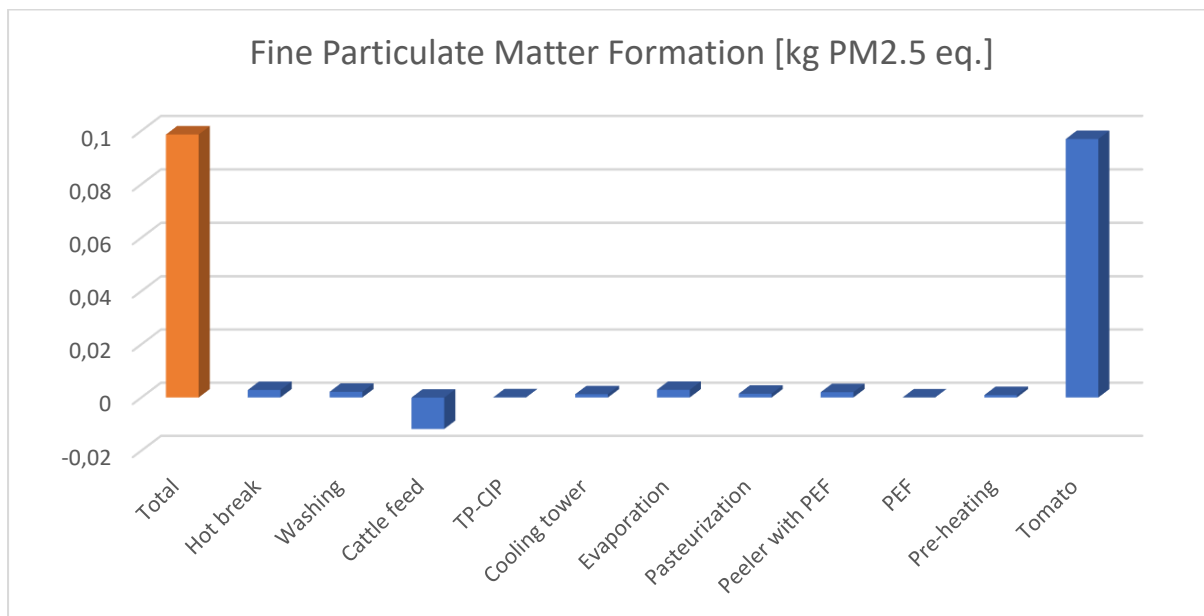
Διάγραμμα 33: Ποσοστιαία συνεισφορά των διεργασιών στην εκάστοτε κατηγορία μεσαίου σημείου – υφιστάμενη κατάσταση επίπεδο ανάλυσης 2.



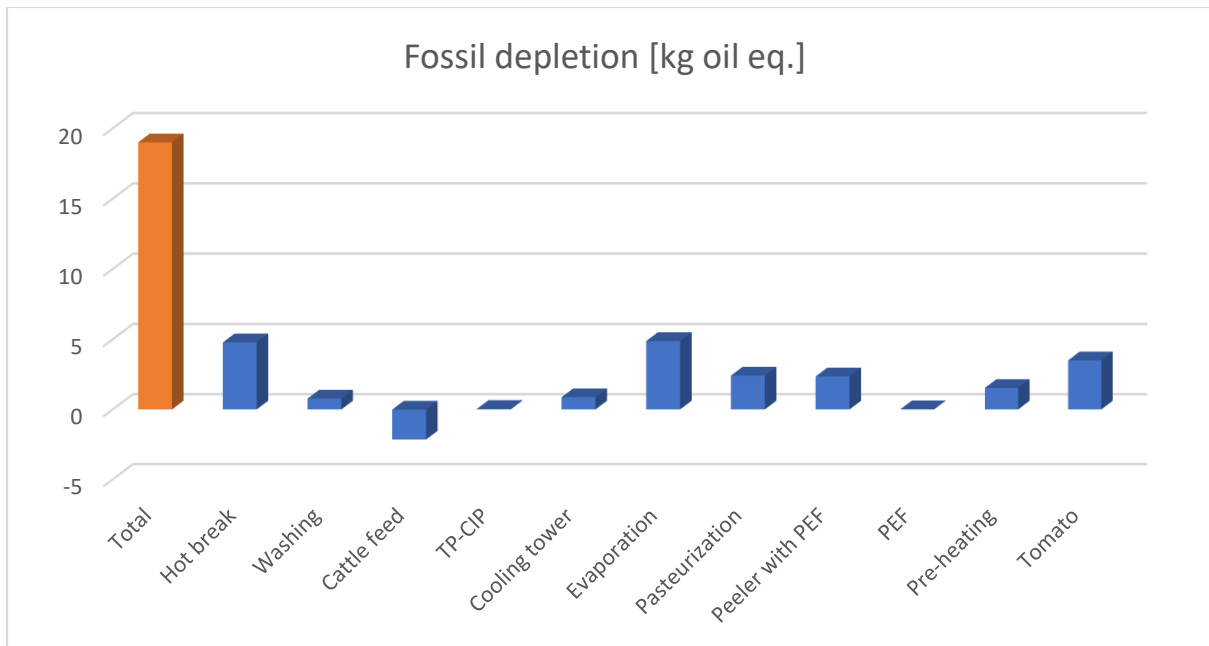
### 3.4.2 Αποτελέσματα για το σύστημα με ενσωμάτωση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων



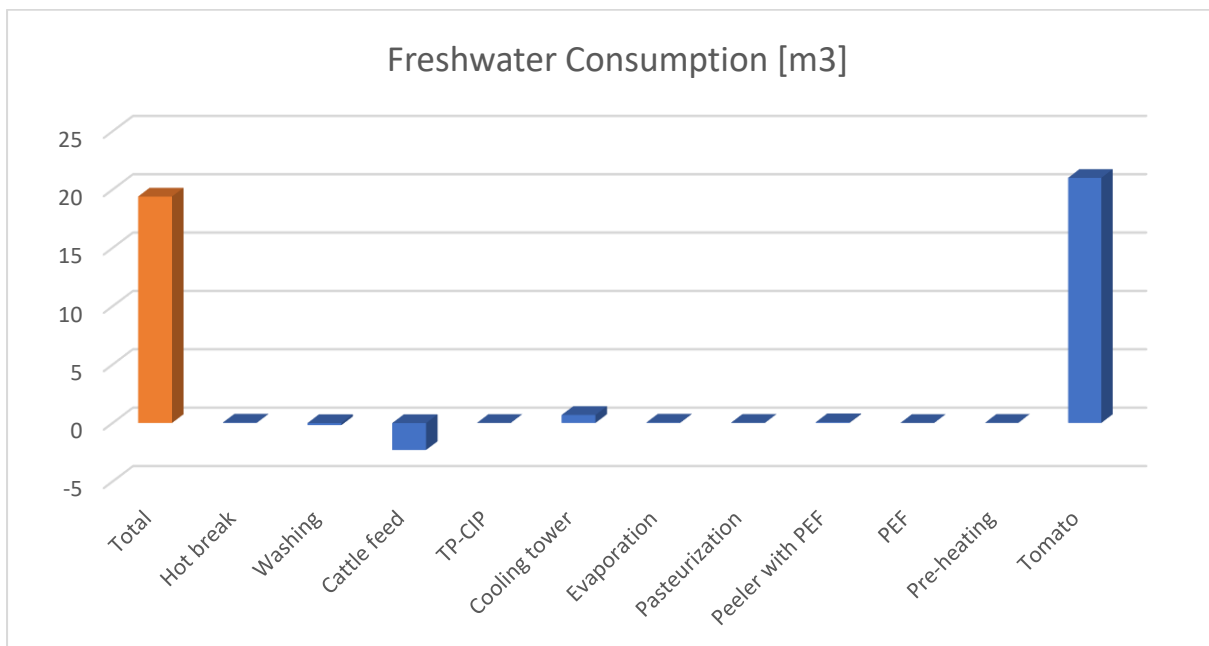
Διάγραμμα 34: Κατηγορία επίπτωσης κλιματικής Αλλαγής, χωρίς τον βιογενή άνθρακα-ενσωμάτωση μονάδας PEF.



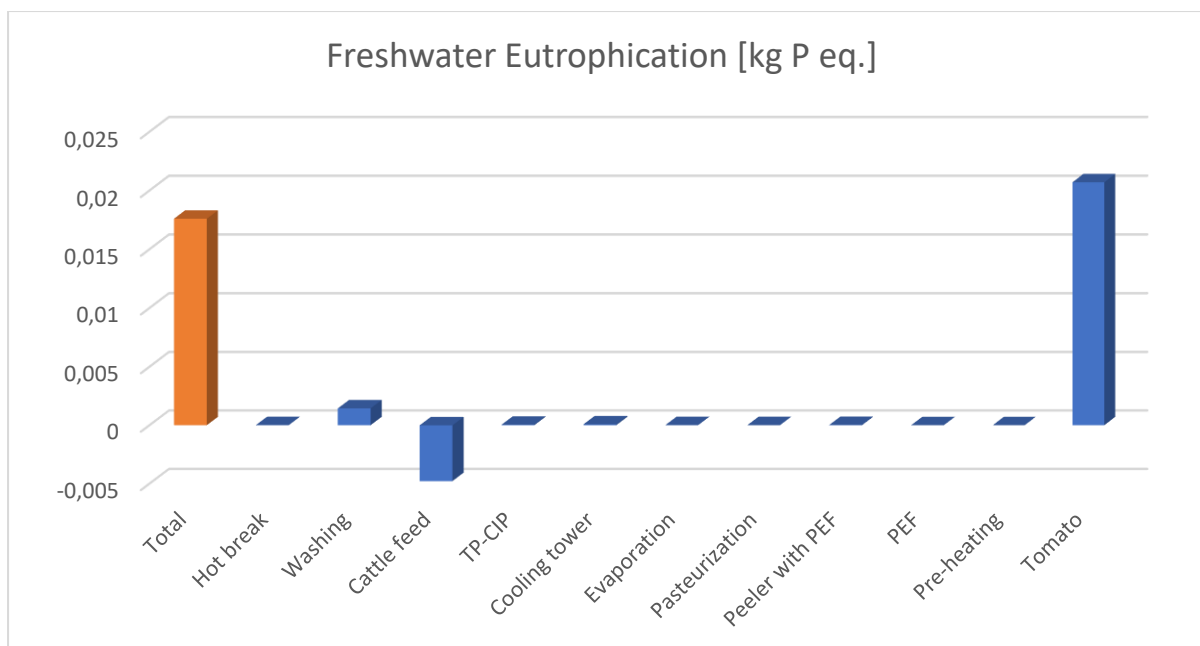
Διάγραμμα 35: Κατηγορία επίπτωσης σχηματισμού λεπτών σωματιδίων- ενσωμάτωση μονάδας PEF.



Διάγραμμα 36: Κατηγορία επίπτωσης εξάντλησης ορυκτών πόρων- ενσωμάτωση μονάδας PEF.



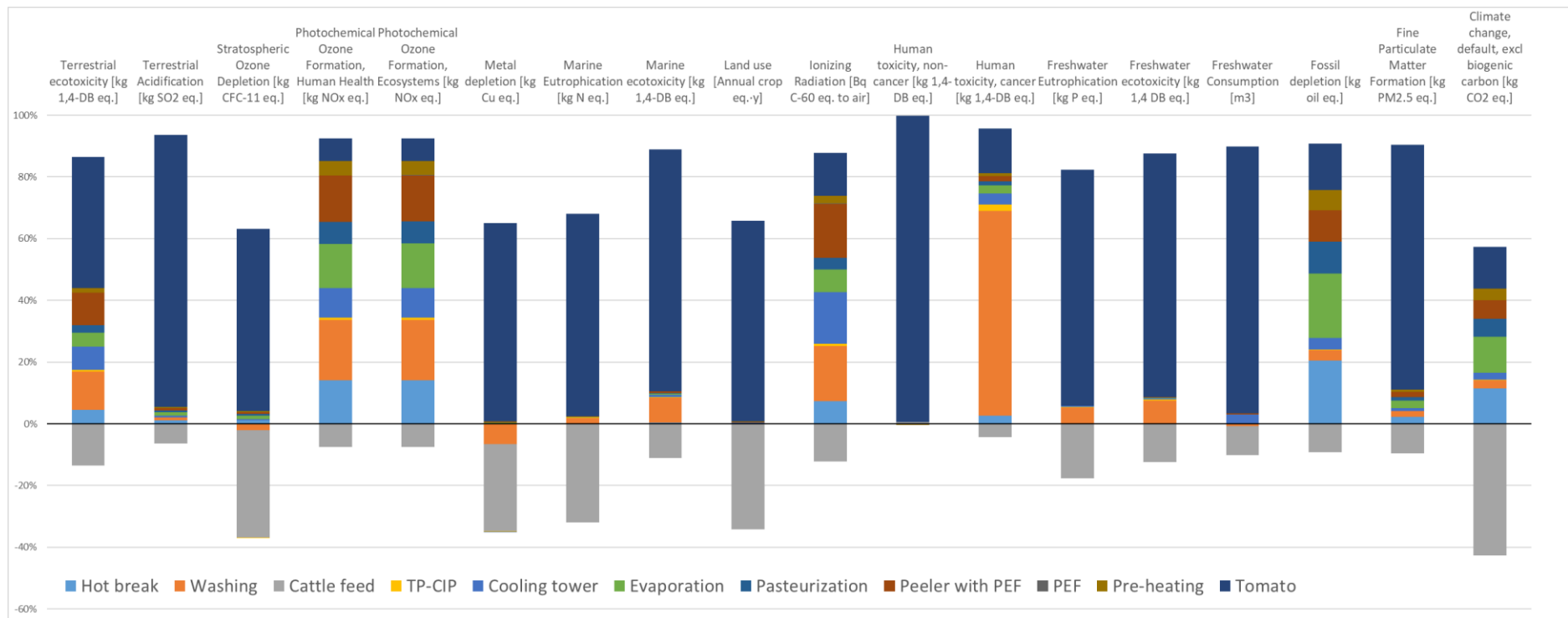
Διάγραμμα 37: Κατηγορία επίπτωσης κατανάλωσης φρέσκου νερού- ενσωμάτωση μονάδας PEF.



Διάγραμμα 38: Κατηγορία επίπτωσης ευτροφισμού φρέσκου νερού- ενσωμάτωση μονάδας PEF.

Πίνακας 47: Αποτελέσματα επιπτώσεων κατηγοριών τελικού σημείου με ενσωμάτωση μονάδας PEF.

Damage to Human Health [DALY]	0,000218601
Damage to Ecosystems [species.yr]	7,28337E-06
Damage to Resource Availability [€]	5,5412



Διάγραμμα 39: Ποσοστιαία συνεισφορά των διεργασιών στην εκάστοτε κατηγορία μεσαίου σημείου –ενσωμάτωση μονάδας PEF επίπεδο ανάλυσης 2.

### 3.4.3 Ερμηνεία αποτελεσμάτων αξιολόγησης κύκλου ζωής

Στο κεφάλαιο 2.4.2 παρουσιάστηκαν μόνο τα 5 μεσαία σημεία και 3 τελικά από τα 18 μεσαία και 3 τελικά της μεθόδου ReCiPe2016. Τα 5 σημεία αυτά κρίθηκαν ως τα πιο σημαντικά και αντιπροσωπευτικά για την περιβαλλοντική εκτίμηση της βιομηχανίας ντομάτας. Θα αναλυθεί ποια διεργασία συμβάλλει περισσότερο σε κάθε κατηγορία εκτίμησης της μεθόδου καθώς και την συνολική περιβαλλοντική επιβάρυνση στην εκάστοτε κατηγορία. Στα διαγράμματα η διεργασία παραλαβής της ζωοτροφής έχει αρνητική τιμή όσον αφορά την περιβαλλοντική επιβάρυνση. Η αρνητική τιμή υποδεικνύει ότι αντί να επιβαρύνει το περιβάλλον η διεργασία αποτρέπει ή μειώνει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα του συστήματος κατά την αναγραφόμενη τιμή στην κάθε κατηγορία εκτίμησης. Η λειτουργική μονάδα είναι τα 100 κιλά ντομάτας που χρησιμοποιούνται ως τροφοδοσία της βιομηχανικής εγκατάστασης

#### **Υφιστάμενη κατάσταση**

Στις κατηγορίες που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, όταν δεν περιλαμβάνεται ο βιογενής άνθρακας,, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο αποτύπωμα κατέχει η διαδικασία της παραγωγής των 100 κιλών πρώτης ύλης με 81,62% της συνολικής ποσότητας των 18,5 *kg CO<sub>2</sub> eq* που απελευθερώνονται.

Στην κατηγορία του σχηματισμού λεπτών σωματιδίων, όπου η μονάδα είναι τα κιλά σωματιδίων που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα, με διάμετρο 2.5 χιλιοστά ή μικρότερη άνθρακας, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο αποτύπωμα κατέχει η διαδικασία της παραγωγής των 100 κιλών πρώτης ύλης με 97,68% της συνολικής ποσότητας των 0,0992 *kg PM<sub>2.5</sub> eq* που απελευθερώνονται.

Στην κατηγορία της εξάντλησης των ορυκτών πόρων, η οποία μετράται σε κιλά ισοδύναμου καταναλισκόμενου αργού πετρελαίου, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο αποτύπωμα κατέχει η διεργασία της εξάτμισης με 24,65% της συνολικής ποσότητας των 19,8 *kg oil eq* που εξαντλούνται.

Στην κατηγορία κατανάλωσης φρέσκου νερού, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο αποτύπωμα κατέχει η διαδικασία της παραγωγής των 100 κιλών πρώτης ύλης με 108,25% της συνολικής ποσότητας των 19,4 *m<sup>3</sup>*. Να σημειωθεί ότι η διεργασία έχει μεγαλύτερο αποτύπωμα από το συνολικό καθώς στο στάδιο παραλαβής της ζωοτροφής η μέθοδος θεωρεί ότι εξοικονομούνται τόνοι νερού. Αυτό συμβαίνει διότι η μέθοδος θεωρεί ότι η ποσότητα ζωοτροφής που παρέχει το εργοστάσιο οδηγεί στην εξοικονόμηση νερού από την εκ νέου παραγωγή ίσης ποσότητας ζωοτροφής. Ουσιαστικά, με την προσφορά του παραπροϊόντος της βιομηχανίας ντομάτας και την αξιοποίησή του ως ζωοτροφή, γίνεται εξοικονόμηση πόρων καθώς δεν θα παραχθεί ζωοτροφή για να καλυφθούν οι ανάγκες σίτισης των ζώων, αφού αυτές οι ανάγκες καλύπτονται από αυτά που προσφέρει η βιομηχανία ως παραπροϊόντα. Η ποσότητα του νερού που εξοικονομείται αναπαρίσταται στα αποτελέσματα της μεθόδου με αρνητικό πρόσημο.

Στον ευτροφισμό του φρέσκου νερού, το μεγαλύτερο αποτύπωμα έχει πάλι η καλλιέργειας. διαδικασία της παραγωγής των 100 κιλών πρώτης ύλης με 117,61% της συνολικής ποσότητας των 0,0176 *kg P eq*. Παρατηρείται ότι η διεργασία παραγωγής της πρώτης ύλης

συνεισφέρει παραπάνω στον ευτροφισμό σε σύγκριση με το συνολικό αποτύπωμα, κάτι που δικαιολογείται με παρόμοιο τρόπο όπως με την περίπτωση της κατανάλωσης φρέσκου νερού που αναλύθηκε παραπάνω.

### **Σύστημα με ενσωμάτωση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων**

Στις κατηγορίες που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, όταν δεν περιλαμβάνεται ο βιογενής άνθρακας,, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο αποτύπωμα κατέχει η διαδικασία της παραγωγής των 100 κιλών πρώτης ύλης με 92,64% της συνολικής ποσότητας των 16,3 kg CO<sub>2</sub> eq που απελευθερώνονται.

Στην κατηγορία του σχηματισμού λεπτών σωματιδίων, όπου η μονάδα είναι τα κιλά σωματιδίων που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα, με διάμετρο 2.5 χιλιοστά ή μικρότερη άνθρακας, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο αποτύπωμα κατέχει η διαδικασία της παραγωγής των 100 κιλών πρώτης ύλης με 98,28% της συνολικής ποσότητας των 0,0986 kg PM<sub>2.5</sub> eq που απελευθερώνονται.

Στην κατηγορία της εξάντλησης των ορυκτών πόρων, η οποία μετράται σε κιλά ισοδύναμου καταναλισκόμενου αργού πετρελαίου, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο αποτύπωμα κατέχει η διεργασία της εξάτμισης με 25,68% της συνολικής ποσότητας των 19 kg oil eq που εξαντλούνται.

Στην κατηγορία κατανάλωσης φρέσκου νερού, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο αποτύπωμα κατέχει η διαδικασία της παραγωγής των 100 κιλών πρώτης ύλης με 108,25% της συνολικής ποσότητας των 19,4 m<sup>3</sup>. Να σημειωθεί ότι η διεργασία έχει μεγαλύτερο αποτύπωμα από το συνολικό καθώς στο στάδιο παραλαβής της ζωοτροφής η μέθοδος θεωρεί ότι εξοικονομούνται τόνοι νερού. Αυτό συμβαίνει διότι η μέθοδος θεωρεί ότι η ποσότητα ζωοτροφής που παρέχει το εργοστάσιο οδηγεί στην εξοικονόμηση νερού από την εκ νέου παραγωγή ίσης ποσότητας ζωοτροφής. Ουσιαστικά, με την προσφορά του παραπροϊόντος της βιομηχανίας ντομάτας και την αξιοποίησή του ως ζωοτροφή, γίνεται εξοικονόμηση πόρων καθώς δεν θα παραχθεί ζωοτροφή για να καλυφθούν οι ανάγκες σίτισης των ζώων, αφού αυτές οι ανάγκες καλύπτονται από αυτά που προσφέρει η βιομηχανία ως παραπροϊόντα. Η ποσότητα του νερού που εξοικονομείται αναπαρίσταται στα αποτελέσματα της μεθόδου με αρνητικό πρόσημο.

Στον ευτροφισμό του φρέσκου νερού, το μεγαλύτερο αποτύπωμα έχει πάλι η καλλιέργειας, διαδικασία της παραγωγής των 100 κιλών πρώτης ύλης με 117,61% της συνολικής ποσότητας των 0,0176 kg P eq. Παρατηρείται ότι η διεργασία παραγωγής της πρώτης ύλης συνεισφέρει παραπάνω στον ευτροφισμό σε σύγκριση με το συνολικό αποτύπωμα, κάτι που δικαιολογείται με παρόμοιο τρόπο όπως με την περίπτωση της κατανάλωσης φρέσκου νερού που αναλύθηκε παραπάνω.

## Σύγκριση των δύο συστημάτων ως προς το περιβαλλοντικό τους αποτύπωμα

Θα αναλυθεί η επίδραση που έχει η ενσωμάτωση της μονάδας παλμικών πεδίων στα αποτελέσματα της αξιολόγησης κύκλου ζωής. Στον Πίνακα 48 απεικονίζονται τα αποτελέσματα και στις 18 κατηγορίες μεσαίου σημείου και υπολογίζεται η ποσοστιαία μεταβολή που επιφέρει το PEF.

Πίνακας 48: Σύγκριση αποτελεσμάτων και ποσοστιαία μεταβολή-κατηγορίες μεσαίου σημείου.

	Υφιστάμενη	Παλμικά ηλεκτρικά πεδία	% μεταβολή
<b>Climate change, default, excl biogenic carbon [kg CO2 eq.]</b>	18,5	16,3	-11,89%
<b>Fine Particulate Matter Formation [kg PM2.5 eq.]</b>	0,0992	0,0986	-0,60%
<b>Fossil depletion [kg oil eq.]</b>	19,8	19	-4,04%
<b>Freshwater Consumption [m3]</b>	19,4	19,4	0,00%
Freshwater ecotoxicity [kg 1,4 DB eq.]	0,114	0,114	0,00%
<b>Freshwater Eutrophication [kg P eq.]</b>	0,0176	0,0176	0,00%
Human toxicity, cancer [kg 1,4-DB eq.]	0,0782	0,0777	-0,64%
Human toxicity, non-cancer [kg 1,4-DB eq.]	215	215	0,00%
Ionizing Radiation [Bq C-60 eq. to air]	0,3	0,286	-4,67%
Land use [Annual crop eq.·y]	54,2	54,2	0,00%
Marine ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]	0,153	0,153	0,00%
Marine Eutrophication [kg N eq.]	0,0352	0,0352	0,00%
Metal depletion [kg Cu eq.]	0,902	0,9	-0,22%
Photochemical Ozone Formation, Ecosystems [kg NOx eq.]	52,5	50,3	-4,19%
Photochemical Ozone Formation, Human Health [kg NOx eq.]	32,6	31,2	-4,29%
Stratospheric Ozone Depletion [kg CFC-11 eq.]	0,0000771	0,0000765	-0,78%
Terrestrial Acidification [kg SO2 eq.]	0,642	0,64	-0,31%
Terrestrial ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]	8,95	8,68	-3,02%

Παρατηρείται ότι η ενσωμάτωση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων έχει μεγαλύτερη επίδραση στις εκπομπές βιογενή άνθρακα. Όπως αποκαλύπτει και ο παραπάνω πίνακας, το PEF το οδηγείσαι σε μείωση κατά περίπου 12%. Σε 7 από τις 18 κατηγορίες δεν παρατηρείται κάποια αλλαγή. Στις υπόλοιπες οι αλλαγές κυμαίνονται μεταξύ του 0,6% και 4,67% με δεύτερη μεγαλύτερη μεταβολή να σημειώνεται στην κατηγορία της ιονίζουσας ακτινοβολίας. Στον Πίνακα 49 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στις κατηγορίες τελικού σημείου καθώς και την ποσοστιαία μεταβολή που επιφέρει η ενσωμάτωση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων.

Πίνακας 49: Σύγκριση αποτελεσμάτων και ποσοστιαία μεταβολή-κατηγορίες τελικού σημείου.

	Υφιστάμενη	Ηλεκτρικά παλμικά πεδία	% μεταβολή
Damage to Human Health [DALY]	0,000224203	0,000218601	-2,50%
Damage to Ecosystems [species.yr]	7,58638E-06	7,28337E-06	-3,99%
Damage to Resource Availability [\$]	5,7516	5,5412	-3,66%

Παρατηρείται ότι σε όλες τις κατηγορίες σημειώνεται μείωση. Συγκεκριμένα η επιβλαβής επίδραση στον άνθρωπο μειώνεται κατά 2,5%, η επιβάρυνση στα είδη του τοπικού οικοσυστήματος κατά 4% και τέλος η διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων αυξάνεται κατά 3,66%.

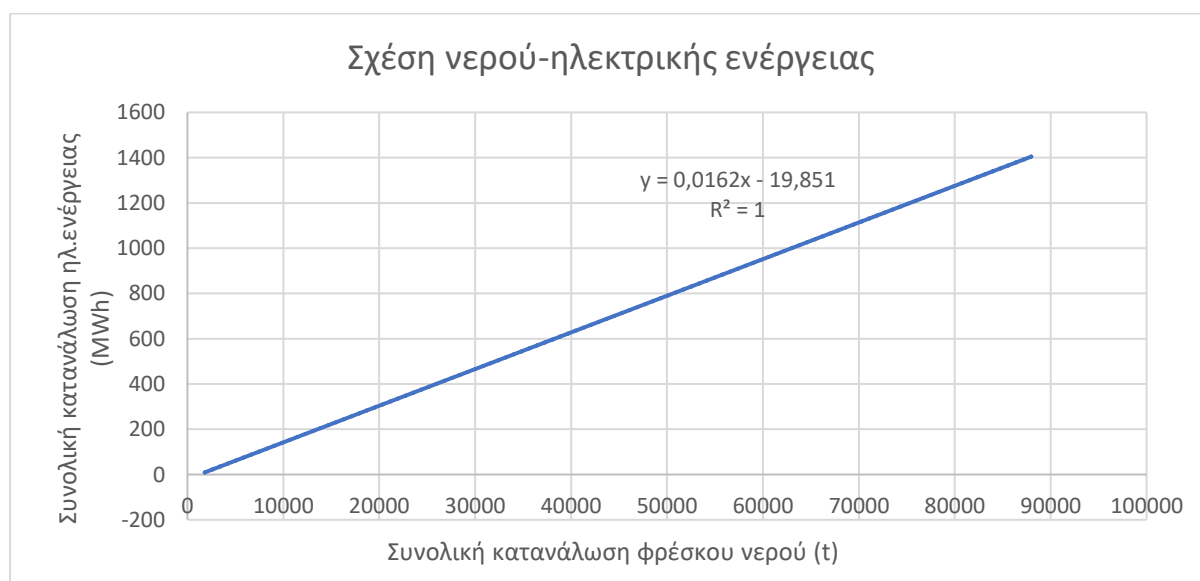


#### 4. Σχέση νερού-ενέργειας/ water-energy Nexus

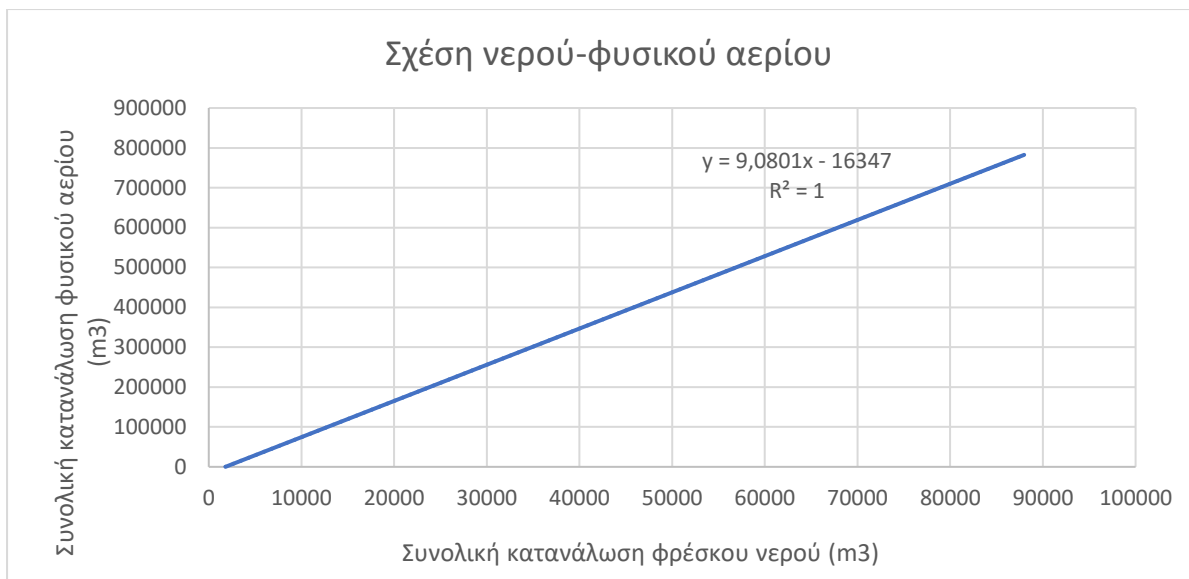
Η προσέγγιση της σχέσης νερού-ενέργειας γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής μεταξύ των επαγγελματιών και των μελετητών, όπως φαίνεται από τον αριθμό των δημοσιεύσεων που αφιερώθηκαν στο θέμα τα τελευταία χρόνια<sup>[88]</sup>. Η σχέση νερού-ενέργειας είναι ο σχεδόν άρρηκτος δεσμός μεταξύ νερού και ενέργειας. Κάθε βήμα του κύκλου του νερού - η παραγωγή, η μετακίνηση, η επεξεργασία και η θέρμανση του νερού, στη συνέχεια η συλλογή και η επεξεργασία λυμάτων - καταναλώνει ενέργεια. Ακριβώς όπως η παραγωγή νερού απαιτεί πολλή ενέργεια, η αξιοποίηση ενέργειας απαιτεί πολύ νερό. Σχεδόν κάθε πηγή ενέργειας απαιτεί νερό με τη μία ή την άλλη μορφή, είτε πρόκειται για παραγωγή πετρελαίου είτε για πλύσιμο άνθρακα, για καλλιέργεια και απόσταξη βιοκαυσίμων, είτε για οδήγηση και μεταφορά της απορριπτόμενης θερμότητας μακριά από τουρμπίνες ατμού<sup>[89]</sup>. Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα αναλυθεί η σχέση μεταξύ του νερού, της ενέργειας η οποία στη συγκεκριμένη περίπτωση αποτελείται από την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και την κατανάλωση φυσικού αερίου που προσφέρει θερμική ενέργεια. Στην ανάλυση θα ήταν δυνατόν να συμπεριληφθεί και η ροή των παραπροϊόντων, όμως επειδή η ροή αυτή δεν μεταβάλλεται με την ενσωμάτωση της μονάδας PEF κρίθηκε ότι η συμμετοχή της στην ανάλυση δεν είναι απαραίτητη. Σκοπός της ανάλυσης είναι να εξακριβωθεί κατά πόσο στενά συνδεδεμένη είναι η κατανάλωση του κάθε πόρου με τους άλλους πόρους κατά μήκος της βιομηχανικής εγκατάστασης επεξεργασίας ντομάτας. Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζεται η σχέση μεταξύ των 3 μεταβλητών σύμφωνα με τα συνολικά ισοζύγια στο εκάστοτε σύστημα.

##### 4.1 Διαγράμματα και μαθηματική συνάρτηση μεταξύ των μεταβλητών νερού, ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου

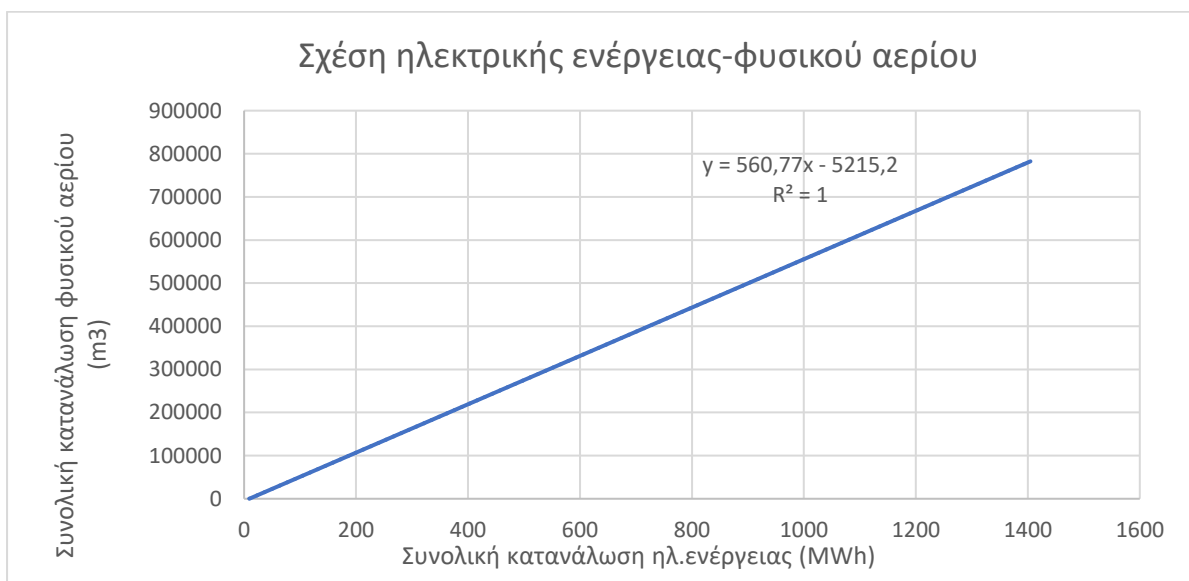
###### Υφιστάμενη κατάσταση



Διάγραμμα 40: Σχέση νερού-ηλεκτρικής ενέργειας για υφιστάμενη κατάσταση.



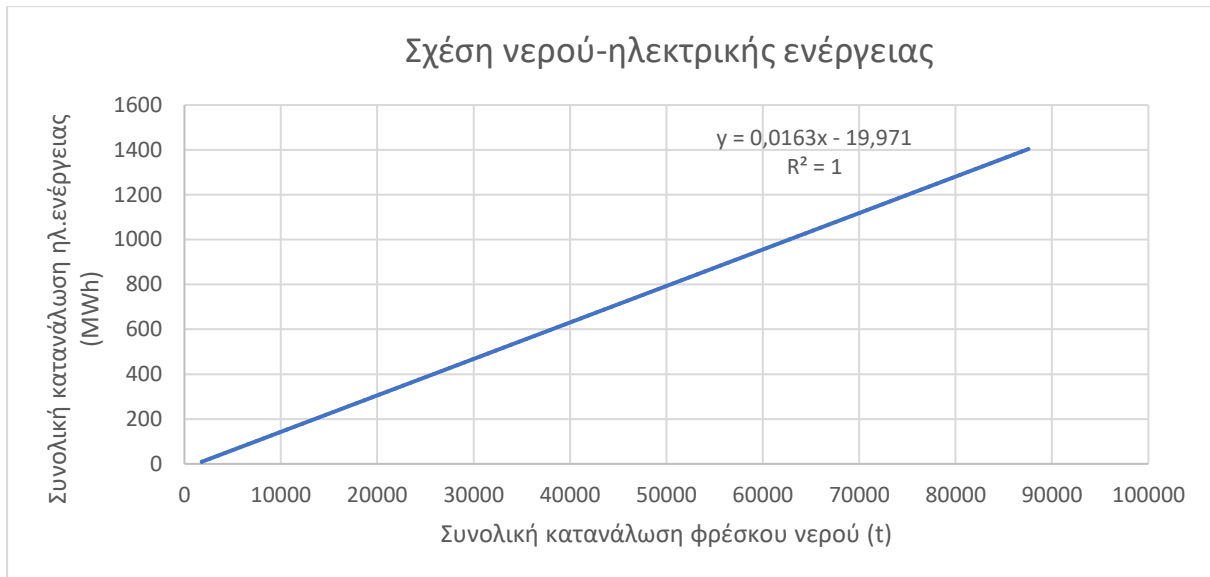
Διάγραμμα 41: Σχέση νερού-φυσικού αερίου για υφιστάμενη κατάσταση.



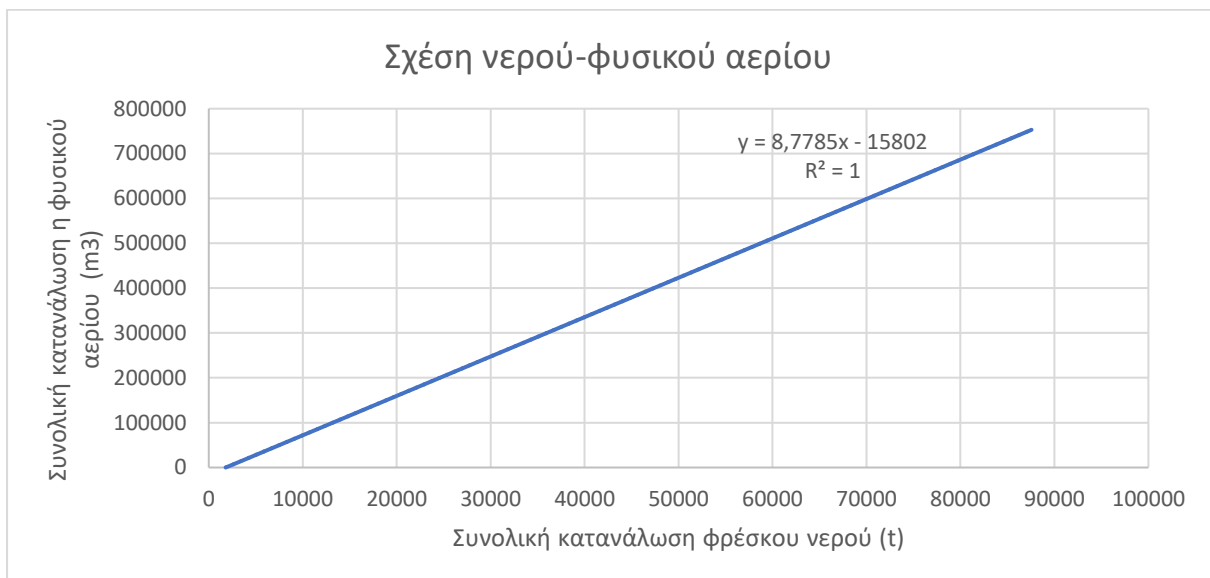
Διάγραμμα 42: Σχέση ηλεκτρικής ενέργειας-φυσικού αερίου για υφιστάμενη κατάσταση.

Η σχέση μεταξύ νερού-ηλεκτρικής ενέργειας ικανοποιεί την γραμμική σχέση  $y = 0,0162x - 19,851$ . Η σχέση μεταξύ νερού-φυσικού αερίου ικανοποιεί την γραμμική σχέση  $y = 9,0801x - 16347$ . Και τέλος η σχέση μεταξύ ηλεκτρικής ενέργειας-φυσικού αερίου περιγράφεται από την γραμμική σχέση  $y = 560,77x - 5215,2$ . Οι σχέσεις είναι γραμμικές με συντελεστής εμπιστοσύνης ίσο με 1. Αυτό συμβαίνει διότι οι μαθηματικές σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του μοντέλου είναι όλες γραμμικές.

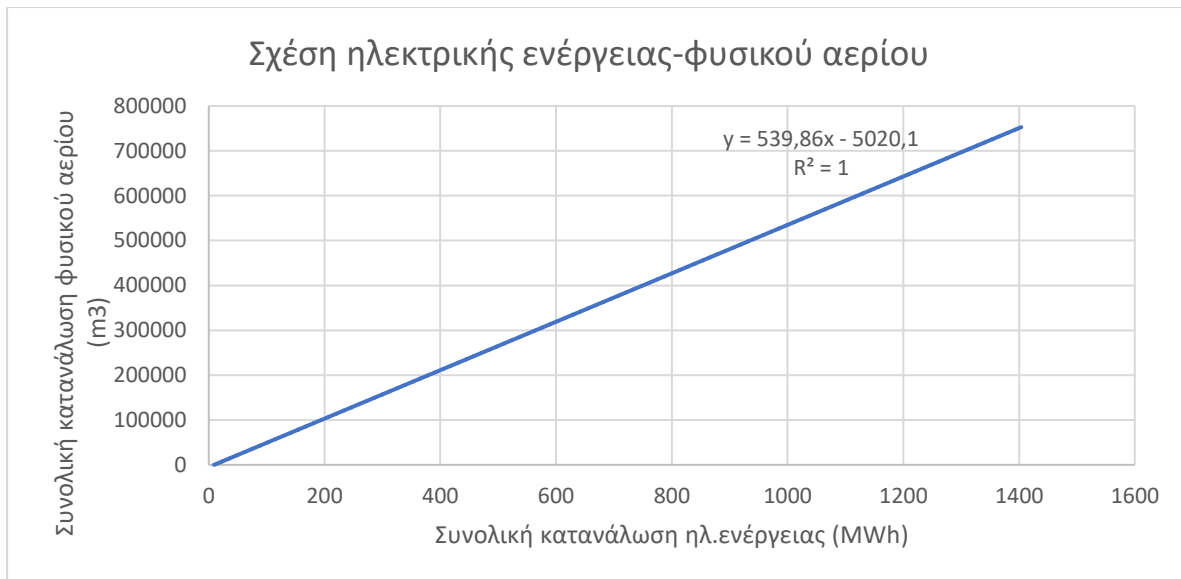
## Ενσωμάτωση μονάδας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων



Διάγραμμα 43: Σχέση νερού-ηλεκτρικής ενέργειας για σύστημα με μονάδα PEF.



Διάγραμμα 44: Σχέση νερού-φυσικού αερίου για σύστημα με μονάδα PEF.



Διάγραμμα 45: Σχέση ηλεκτρικής ενέργειας-φυσικού αερίου για σύστημα με μονάδα PEF.

Η σχέση μεταξύ νερού-ηλεκτρικής ενέργειας ικανοποιεί την γραμμική σχέση  $y = 0,0163x - 19,971$ . Η σχέση μεταξύ νερού-φυσικού αερίου ικανοποιεί την γραμμική σχέση  $y = 8,77851x - 15802$ . Και τέλος η σχέση μεταξύ ηλεκτρικής ενέργειας-φυσικού αερίου περιγράφεται από την γραμμική σχέση  $y = 539,86x - 5020,1$ . Οι σχέσεις είναι γραμμικές με συντελεστής εμπιστοσύνης ίσο με 1. Αυτό συμβαίνει διότι οι μαθηματικές σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του μοντέλου είναι όλες γραμμικές.

Επίσης, σύμφωνα με τα ισοζύγια μάζας και ενέργειας η ενσωμάτωση της μονάδας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων οδήγησε στην εξοικονόμηση 413 τόνων φρέσκου νερού, 0,809 MWh ηλεκτρικής ενέργειας και 29613,14 m<sup>3</sup> φυσικού αερίου.

#### 4.2 Υπολογισμός δεικτών Nexus

Αρχικά για την καλύτερη κατανόηση της μεθοδολογίας θα οριστούν οι όροι που θα χρησιμοποιηθούν παρακάτω. Οι όροι αυτοί είναι της άμεσης και έμμεσης ενέργειας, άμεσου και έμμεσου νερού και το GWP και ETP<sup>[90][91]</sup>.

#### **ΕΝΕΡΓΕΙΑ**

Η ενέργεια που χρησιμοποιείται απευθείας εντός του όγκου ελέγχου αποτελεί την άμεση ενέργεια. Η άμεση ενέργεια μπορεί να είναι η ενέργεια που απαιτείται κατά την παραγωγική διαδικασία, τις βοηθητικές διεργασίες, τη μεταφορά και διανομή, αν αυτή εξετάζεται. Η έμμεση ενέργεια είναι η ενέργεια που καταναλώνεται εκτός του όγκου ελέγχου για παραγωγή των πρώτων υλών και εξοπλισμού που χρησιμοποιείται εντός του όγκου ελέγχου. Στην συγκεκριμένη περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί η ηλεκτρική ενέργεια και το φυσικό αέριο που καταναλώθηκαν στα όρια της βιομηχανικής επεξεργασίας.

## **NEPO**

Το νερό που χρησιμοποιείται απευθείας εντός του όγκου ελέγχου αποτελεί την άμεση ενέργεια. Το άμεσο νερό μπορεί να είναι το νερό που απαιτείται κατά την παραγωγική διαδικασία, τις βοηθητικές διεργασίες. Το έμμεσο νερό είναι το νερό που καταναλώνεται εκτός του όγκου ελέγχου για παραγωγή των πρώτων υλών και εξοπλισμού που χρησιμοποιείται εντός του όγκου ελέγχου. Στην συγκεκριμένη περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί μόνο το φρέσκο νερό που καταναλώνεται εντός της βιομηχανικής εγκατάστασης ώστε να διεξαχθούν τα αποτελέσματα.

## **GWP (Global Warming Potential)**

Το GWP είναι περιβαλλοντικός δείκτης που εκφράζει την επίδραση των αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse gases, GHG) που απελευθερώνονται από την κατανάλωση ενέργειας και έχουν ως αποτέλεσμα επιβάρυνση στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Εκφράζεται σε ισοδύναμα kg CO<sub>2</sub>. Ανάλογα με την παραγωγή των αερίων του θερμοκηπίου εντός ή εκτός του συστήματος ελέγχου το GWP χωρίζεται σε άμεσο και έμμεσο. Το άμεσο GWP είναι αποτέλεσμα της ενεργειακής κατανάλωσης που πραγματοποιείται απευθείας στον όγκο ελέγχου που εξετάζεται, όπως στις παραγωγικές διαδικασίες, στις βοηθητικές διεργασίες και στην μεταφορά και διανομή, αν αυτή εξετάζεται. Το έμμεσο GWP είναι αποτέλεσμα της κατανάλωσης ενέργειας εκτός του όγκου ελέγχου για την παραγωγή υλικών, εξοπλισμού, πρώτων υλών και νερού που χρησιμοποιείται στην παραγωγική διαδικασία. Το συνολικό GWP είναι το άθροισμα του άμεσου και του έμμεσου GWP στον όγκο ελέγχου. Στην συγκεκριμένη περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί το συνολικό GWP και τα αριθμητικά δεδομένα θα αντληθούν από την αξιολόγηση κύκλου ζωής και συγκεκριμένα από την κατηγορία μεσαίου σημείου κλιματικής αλλαγής, χωρίς τον βιογενή άνθρακα.

## **ETP (eutrophication potential)**

Το ETP αντιπροσωπεύει τις αρνητικές επιπτώσεις των λυμάτων στο περιβάλλον και ειδικά στον υδάτινο βιότοπο, που περιλαμβάνει αυξημένα επίπεδα βιολογικής ζήτησης οξυγόνου, χημική ζήτηση οξυγόνου, άζωτου και φώσφορου. Αυτός ο δείκτης εκφράζεται σε kg P eq. και η επίδρασή του επηρεάζει την ποιότητα του οικοσυστήματος από το φαινόμενο του ευτροφισμού στο φρέσκο νερό. Ο ευτροφισμός είναι το περιβαλλοντικό φαινόμενο κατά το οποίο η υπέρμετρη αύξηση της συγκέντρωσης θρεπτικών στοιχείων συνεπάγεται τη μείωση του διαλυμένου οξυγόνου στο νερό και κατά συνέπεια την αλλοίωση της βιοποικιλότητας σε αυτό<sup>[92]</sup>.

### Δείκτης Έντασης NEXUS

Η συνολική ποσότητα που ρέει κατά μήκος της αλυσίδας ενσωματώνεται στον δείκτη ισχύος του Nexus (μέτρο στάθμισης) ο οποίος αξιολογεί το μέγεθος αλληλεξάρτησης νερού και ενέργειας στην αλυσίδα. Αυτός ο δείκτης επιτρέπει τη στάθμιση δύο ή περισσότερων πόρων οι οποίοι μπορεί να έχουν διαφορετικές μονάδες μέτρησης<sup>[90][91]</sup>.

Ο Δείκτης έντασης NEXUS ή αλλιώς NS (Nexus Strength) υπολογίζεται από

$$NS_j = \sum_i p_i d_{ij} \quad (26)$$

Όπου

$j$  = είναι η μελέτη περίπτωσης στην οποία υπολογίζεται ο δείκτης

$i$  = είναι η μεταβλητή (νερό, ενέργεια ή απόβλητο)

$p_i$  = είναι συντελεστής βαρύτητας του κάθε πόρου  $i$ , στην συγκεκριμένη περίπτωση ο συντελεστής βαρύτητας ορίζεται 0,2 και για τις 5 μεταβλητές (νερό, ηλεκτρική ενέργεια, φυσικό αέριο, GWP και ETP)

Η μεταβλητή  $d_i$  είναι μια αδιάστατη μεταβλητή που υπολογίζεται από

$$d_{ij} = \frac{q_i}{\max_j(q_i)} \quad (27)$$

Όπου  $q_i$  είναι η ποσότητα του πόρου  $i$  στην  $j$  μελέτη περίπτωσης και διαιρείται με την μέγιστη ποσότητα αυτού του πόρου  $i$  των περιπτώσεων  $j$ .

Ο λόγος της ποσότητας  $q_i$  προς την μέγιστη ποσότητα χρησιμοποιείται για την αδιαστασιοποίηση του μεγέθους  $d_{ij}$  επειδή κάθε πόρος  $i$  που χρησιμοποιείται εκφράζεται με διαφορετικές μονάδες, μονάδες ενέργειας, μάζας, όγκου. Οπότε για την πρόσθεση των μεγεθών είναι απαραίτητη η χρήση ενός αδιάστατου μεγέθους.

Οι τιμές που παίρνει ο συντελεστής NS κυμαίνονται από 0 έως 1, με το 1 να υποδεικνύει χρήση πόρων στο 100%, ενώ το 0 να συμβολίζει μηδενική χρήση πόρων.

### Nexus Impact Strength indicator

$$NIS = p_{GWP} d_{GWP,ij} + p_{ETP} d_{ETP,ij} \quad (28)$$

Όπου  $p_{GWP}$  και  $p_{ETP}$  είναι οι συντελεστές βαρύτητας των περιβαλλοντικών δεικτών GWP,ETP αντίστοιχα και ορίζονται ίσοι με  $\frac{1}{5}$ . Ομοίως τα  $d_{GWP,ij}$  και  $d_{ETP,ij}$  υπολογίζονται από την εξίσωση 27.

Πάλι τα αποτελέσματα του δείκτη κυμαίνεται από το 0 έως το 1. Μεγαλύτερη τιμή του δείκτη, όσο πιο κοντά στο 1, δηλώνει ότι η διεργασία/μονάδα είναι πιο επιβλαβής για το περιβάλλον, ενώ όσο πιο μικρός ο δείκτης, τόσο πιο φιλική προς το περιβάλλον.

## Nexus Quality Indicator

Ο περιβαλλοντικός δείκτης Nexus είναι το άθροισμα των δύο προηγούμενων δεικτών.

$$NSEI = NS + NIS \quad (29)$$

Στο πίνακα 50 υπολογίζεται ο δείκτης έντασης Nexus για τα δύο συστήματα σύμφωνα με την εξίσωση 26. Αυτός ο δείκτης περιλαμβάνει τις συνολικές της κατανάλωσης νερού, ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου.

Πίνακας 50: Υπολογισμός του δείκτη έντασης Nexus και για τα δύο συστήματα.

	Παλμικά ηλεκτρικά πεδία	Υφιστάμενη
Νερό	87564	87971
Ηλ.ενέργεια	1,40E+03	1,40E+03
Φυσικό αέριο	7,53E+05	7,82E+05
NS	0,591	0,6

Στο Πίνακα 51 υπολογίζεται και ο δείκτης NIS και για τα δύο συστήματα. Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται με βάση τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του κύκλου ζωής και συγκεκριμένα με τις κατηγορίες μεσαίου σημείου που περιγράφουν τις εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα δίχως την συνεισφορά του βιογενή άνθρακα και την συνεισφορά στο φαινόμενο του ευτροφισμού στο φρέσκο νερό.

Πίνακας 51: Υπολογισμός του δείκτη NIS και για τα δύο συστήματα.

	Παλμικά ηλεκτρικά πεδία	Υφιστάμενη
GWP	16,3	18,50
ETP	0,0176	0,02
NIS	0,376	0,4

Τελικά από το άθροισμα των δεικτών NS και NIS υπολογίζεται ο δείκτης ποιότητας Nexus που περιλαμβάνει και περιβαλλοντικά κριτήρια αλλά και τις εισερχόμενες ροές των πόρων. Για την υφιστάμενη κατάσταση ο συντελεστής NSEI ισούται με 1, καθώς με βάση την υφιστάμενη ορίστηκαν οι μέγιστες ποσότητες σε κάθε κατηγορία κατά την εφαρμογή της σχέσης 27. Αυτό αποδεικνύει ότι η υφιστάμενη κατάσταση είναι η πιο ενεργοβόρα ενώ παρατηρείται έντονη συσχέτιση μεταξύ των 3 πόρων που καταναλώνονται. Για το σύστημα όπου ενσωματώθηκε η μονάδα παλμικών ηλεκτρικών πεδίων ο συντελεστής NSEI ισούται με 0,968. Αυτό σημαίνει αρχικά ότι η νέα κατάσταση είναι λιγότερο ενεργοβόρα αλλά και ότι η σχέση μεταξύ των καταναλισκόμενων πόρων είναι πλέον λιγότερο ισχυρή.

## 5. Σχολιασμός αποτελεσμάτων, συμπεράσματα και μελλοντικές προτάσεις

Σύμφωνα με τους υπολογισμούς για τα δύο συστήματα προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα. Μια βιομηχανική εγκατάσταση επεξεργασίας ντομάτας που έχει την διάταξη της υφιστάμενης κατάστασης που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία καταναλώνει 87977 τόνοι φρέσκου νερού, 1404,68 MWh και 782490 m<sup>3</sup> φυσικού αερίου για επεξεργασία 56500 τόνων πρώτης ύλης ντομάτας. Ως αποτέλεσμα της διεργασίας παράγονται 26770 τόνοι κονσερβοποιημένων ντοματών και 8606 σάλτσας ντομάτας με 4779 τόνους παραπροϊόντος που αξιοποιείται ως ζωοτροφή. Ενώ το νερό που οδηγείται σε διεργασίες καθαρισμού (waste water treatment) ανέρχεται στους 60031 τόνους. Με την προσθήκη της μη θερμικής διεργασίας των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF) παρατηρήθηκε ότι η ποσότητα των τελικών προϊόντων, των παραπροϊόντων καθώς και της ποσότητας του νερού που οδηγείται για καθαρισμό παραμένουν αμετάβλητα. Όμως, παρατηρείται μείωση στην κατανάλωση νερού, ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και φυσικού αερίου. Η κατανάλωση για επεξεργασία ίσης ποσότητας πρώτης ύλης ντομάτας, 56500 τόνων, απαιτεί πλέον την άντληση 87564 τόνων φρέσκου νερού και την κατανάλωση 1403,87 MWh ηλεκτρικής ενέργειας και 752877 m<sup>3</sup> φυσικού αερίου. Προκύπτει το συμπέρασμα ότι με την προσθήκη της μονάδας παλμικών ηλεκτρικών πεδίων γίνεται εξοικονόμηση 413 τόνοι νερού, 0,809 MWh ηλεκτρικής ενέργειας και 29613,14 m<sup>3</sup> φυσικού αερίου. Ομολογουμένως, η ποσότητα του νερού που εξοικονομείται στους πόρους της ηλεκτρικής ενέργειας και του νερού δεν είναι μεγάλη συγκριτικά με τις συνολικές ποσότητες που καταναλώνει η βιομηχανία κατά την περίοδο λειτουργίας της. Όμως σημειώνεται μεγάλη μείωση όσον αφορά στην κατανάλωση φυσικού αερίου. Αυτό συμβαίνει διότι η επεξεργασία παλμικών ηλεκτρικών πεδίων αποτελεί μια μη θερμική διεργασία η οποία επιτρέπει το ζεμάτισμα της πρώτης ύλης να ολοκληρώνεται με μικρότερη ποσότητα ενέργειας. Η κύρια επίδραση ενός ηλεκτρικού πεδίου σε ένα φυτικό κύτταρο είναι η αύξηση της διαπερατότητας της μεμβράνης λόγω της συμπίεσης και της δημιουργίας πόρων με αποτέλεσμα ο ατμός να μπορεί να διεισδύσει με μεγαλύτερη ευκολία και το δέρμα της ντομάτας να το αποκολλάται από το κύριο όγκο του φρούτου με μικρότερη απαίτηση σε ατμό. Συγκεκριμένα η μονάδα PEF δίνει την δυνατότητα το ξεφλούδισμα να πραγματοποιείται με 30% μικρότερη ποσότητα ατμού. Τα αποτελέσματα των καταναλισκόμενων πόρων και για τα δύο συστήματα συνοψίζονται στον Πίνακα 52.

Πίνακας 52: Συνολική κατανάλωση νερού, ηλεκτρικής ενέργειας και φυσικού αερίου για τα δύο συστήματα.

Κατανάλωση πόρου	Χωρίς PEF	Χρήση PEF	Εξοικονόμηση πόρων
Φρέσκο νερό (τόνοι)	87977	87564	413
Ηλεκτρική ενέργεια (MWh)	1404,68	1403,87	0,809
Φυσικό αέριο (m <sup>3</sup> )	782490	752887	29603



Για την αξιολόγηση του κύκλου ζωής των δύο σεναρίων της βιομηχανικής εγκατάστασης χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ReCiPe 2016 που παράγει τα αποτελέσματα με μορφή 18 μεσαίων σημείων και 3 τελικών. Μελετήθηκαν σε μεγαλύτερη λεπτομέρεια τα 5 από τα 18 μεσαία σημεία και συγκεκριμένα οι κατηγορίες κλιματικής αλλαγής χωρίς τον βιογενή άνθρακα, τον σχηματισμό λεπτών σωματιδίων, την εξάντληση ορυκτών πόρων, την κατανάλωση φρέσκου νερού και τον ευτροφισμό του φρέσκου νερού. Στον Πίνακα 48 απεικονίζονται τα αποτελέσματα και στις 18 κατηγορίες μεσαίου σημείου και υπολογίζεται η ποσοστιαία μεταβολή που επιφέρει το PEF.

Πίνακας 53: Σύγκριση αποτελεσμάτων και ποσοστιαία μεταβολή-κατηγορίες μεσαίου σημείου.

	Υφιστάμενη	Παλμικά ηλεκτρικά πεδία	% μεταβολή
<b>Climate change, default, excl biogenic carbon [kg CO2 eq.]</b>	18,5	16,3	-11,89%
<b>Fine Particulate Matter Formation [kg PM2.5 eq.]</b>	0,0992	0,0986	-0,60%
<b>Fossil depletion [kg oil eq.]</b>	19,8	19	-4,04%
<b>Freshwater Consumption [m3]</b>	19,4	19,4	0,00%
Freshwater ecotoxicity [kg 1,4 DB eq.]	0,114	0,114	0,00%
<b>Freshwater Eutrophication [kg P eq.]</b>	0,0176	0,0176	0,00%
Human toxicity, cancer [kg 1,4-DB eq.]	0,0782	0,0777	-0,64%
Human toxicity, non-cancer [kg 1,4-DB eq.]	215	215	0,00%
Ionizing Radiation [Bq C-60 eq. to air]	0,3	0,286	-4,67%
Land use [Annual crop eq.·γ]	54,2	54,2	0,00%
Marine ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]	0,153	0,153	0,00%
Marine Eutrophication [kg N eq.]	0,0352	0,0352	0,00%
Metal depletion [kg Cu eq.]	0,902	0,9	-0,22%
Photochemical Ozone Formation, Ecosystems [kg NOx eq.]	52,5	50,3	-4,19%
Photochemical Ozone Formation, Human Health [kg NOx eq.]	32,6	31,2	-4,29%
Stratospheric Ozone Depletion [kg CFC-11 eq.]	0,0000771	0,0000765	-0,78%
Terrestrial Acidification [kg SO2 eq.]	0,642	0,64	-0,31%

Terrestrial ecotoxicity [kg 1,4-DB eq.]	8,95	8,68	-3,02%
---	------	------	--------

Παρατηρείται ότι η ενσωμάτωση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων έχει μεγαλύτερη επίδραση στις εκπομπές βιογενή άνθρακα. Όπως αποκαλύπτει και ο παραπάνω πίνακας, το PEF το οδηγεί σε μείωση κατά περίπου 12%. Σε 7 από τις 18 κατηγορίες δεν παρατηρείται κάποια αλλαγή. Στις υπόλοιπες οι αλλαγές κυμαίνονται μεταξύ του 0,6% και 4,67% με δεύτερη μεγαλύτερη μεταβολή να σημειώνεται στην κατηγορία της ιονίζουσας ακτινοβολίας. Στον Πίνακα 49 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα στις κατηγορίες τελικού σημείου καθώς και την ποσοστιαία μεταβολή που επιφέρει η ενσωμάτωση παλμικών ηλεκτρικών πεδίων.

Πίνακας 54: Σύγκριση αποτελεσμάτων και ποσοστιαία μεταβολή-κατηγορίες τελικού σημείου.

	Υφιστάμενη	Ηλεκτρικά παλμικά πεδία	% μεταβολή
Damage to Human Health [DALY]	0,000224203	0,000218601	-2,50%
Damage to Ecosystems [species.yr]	7,58638E-06	7,28337E-06	-3,99%
Damage to Resource Availability [\$]	5,7516	5,5412	-3,66%

Παρατηρείται ότι σε όλες τις κατηγορίες σημειώνεται μείωση. Συγκεκριμένα η επιβλαβής επίδραση στον άνθρωπο μειώνεται κατά 2,5%, η επιβάρυνση στα είδη του τοπικού οικοσυστήματος κατά 4% και τέλος η διαθεσιμότητα των φυσικών πόρων αυξάνεται κατά 3,66%.

Τέλος, μελετήθηκε η σχέση που συνδέει το ποσό κατανάλωσης των 3 κύριων πόρων (νερού, ηλεκτρικής ενέργειας, φυσικού αερίου) που χρησιμοποιεί το εργοστάσιο. Για την υφιστάμενη κατάσταση η σχέση μεταξύ νερού-ηλεκτρικής ενέργειας ικανοποιεί την γραμμική σχέση  $y = 0,0162x - 19,851$ . Η σχέση μεταξύ νερού-φυσικού αερίου ικανοποιεί την γραμμική σχέση  $y = 9,0801x - 16347$ . Και τέλος η σχέση μεταξύ ηλεκτρικής ενέργειας-φυσικού αερίου περιγράφεται από την γραμμική σχέση  $y = 560,77x - 5215,2$ . Οι σχέσεις είναι γραμμικές με συντελεστής εμπιστοσύνης ίσο με 1. Αυτό συμβαίνει διότι οι μαθηματικές σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του μοντέλου είναι όλες γραμμικές. Για την βιομηχανική εγκατάσταση στην οποία έχει ενσωματωθεί η μονάδα παλμικών ηλεκτρικών πεδίων (PEF) ισχύει ότι η σχέση μεταξύ νερού-ηλεκτρικής ενέργειας ικανοποιεί την γραμμική σχέση  $y = 0,0163x - 19,971$ . Η σχέση μεταξύ νερού-φυσικού αερίου ικανοποιεί την γραμμική σχέση  $y = 8,77851x - 15802$ . Και τέλος η σχέση μεταξύ ηλεκτρικής ενέργειας-φυσικού αερίου περιγράφεται από την γραμμική σχέση  $y = 539,86x - 5020,1$ . Οι σχέσεις είναι γραμμικές με συντελεστής εμπιστοσύνης ίσο με 1. Αυτό συμβαίνει διότι οι μαθηματικές σχέσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του μοντέλου είναι όλες γραμμικές. Παράλληλα χρησιμοποιήθηκε και ο περιβαλλοντικός δείκτης Nexus (Nexus Quality Indicator) για να εκτιμηθεί η σχέση μεταξύ των πόρων. Ο δείκτης αυτός λαμβάνει υπόψιν του και δεδομένα από την αξιολόγηση κύκλου ζωής και συγκεκριμένα από τις κατηγορίες μεσαίου σημείου κλιματικής αλλαγής, χωρίς τον βιογενή άνθρακα και τον ευτροφισμού του φρέσκου νερού. Η κατηγορία μεσαίου σημείου κλιματικής αλλαγής, χωρίς τον βιογενή άνθρακα αντιπροσωπεύει την επίδραση των αερίων του θερμοκηπίου (Greenhouse gases, GHG) που

απελευθερώνονται από την κατανάλωση ενέργειας και έχουν ως αποτέλεσμα επιβάρυνση στο φαινόμενο της κλιματικής αλλαγής. Επίσης, δεδομένου ότι ο δείκτης πέρα από τις δύο περιβαλλοντικές μεταβλητές λαμβάνει υπόψιν του και τους 3 καταναλισκόμενους πόρους. Ως συνέπεια ο συντελεστής βαρύτητας κάθε μεταβλητής ορίζεται ίσος με  $\frac{1}{2}$ . Αυτός ο συντελεστής βαρύτητας θα μπορούσε να λάβει και διαφορετικές τιμές ανάλογα με την κρίση του μηχανικού για το ποια μεταβλητή είναι πιο σημαντική ώστε ο συντελεστής βαρύτητάς της να είναι μεγαλύτερος. Στην συγκεκριμένη περίπτωση ο περιβαλλοντικός δείκτης Nexus για την υφιστάμενη κατάσταση ισούται με 1 ενώ για το σύστημα με την μονάδα PEF 0,968. Ο δείκτης παίρνει τιμές από 0 έως 1 και όσο μικρότερος είναι σηματοδοτεί την μείωση της αλληλεπίδραση της καταναλισκόμενης ποσότητας ενός πόρου με την απαίτηση σε κατανάλωση ενός άλλου. Η υφιστάμενη κατάσταση υπολογίστηκε ίση με 1 διότι σε αυτό το σύστημα καταναλώθηκε η μεγαλύτερη ποσότητα του κάθε πόρου. Οπότε σύμφωνα με την εξίσωση 27 ο περιβαλλοντικός δείκτης Nexus της υφιστάμενης κατάστασης λαμβάνει την μέγιστη τιμή και περιγράφει την χειρότερη δυνατή κατάσταση. Από την άλλη η μείωση που παρατηρείται στον δείκτη του νέου συστήματος αποδίδεται στην μείωση της κατανάλωσης των 3 βασικών πόρων (και κυρίως του φυσικού αερίου) καθώς και στη μείωση του περιβαλλοντικού αποτυπώματος της εγκατάστασης. Η μείωση όμως του δείκτη είναι μικρή και όπως και οι μαθηματική συσχέτιση των πόρων υποδεικνύει ότι η σχέση ανάμεσα στους πόρους παραμένει ισχυρή και η μείωσή της είναι σχεδόν αμελητέα.

### **Μελλοντικές προτάσεις**

Οι παρακάτω προτάσεις αποσκοπούν στην μελλοντική βελτίωση και επέκταση του εύρους της διπλωματικής

- Μελέτη των αποτελεσμάτων της χρήσης PEF σε ψιλοκομμένες ντομάτες με στόχο να αυξηθεί η απόδοση σε χυμό ντομάτας. Επίσης να μελετηθούν τα οφέλη του PEF στην εφαρμογή του στα υπολείμματα το πρώτου σταδίου λήψης χυμού που περιλαμβάνει σπόρους, φλούδες και κλάσμα από σάρκα ντομάτας με σκοπό να αυξηθεί η περαιτέρω παραλαβή χυμού κατά 90,2%.
- Μελέτη των αποτελεσμάτων της προσθήκης της διεργασίας HPH (High-Pressure Homogenization) στα παραπροϊόντα της βιομηχανίας ντομάτας με στόχο της παραλαβή συστατικών υψηλής αξίας.
- Να γίνει πιο λεπτομερής καταγραφή των ροών εισόδου και εξόδου από την βιομηχανική εγκατάσταση ώστε να περιοριστούν οι παραδοχές και τα αποτελέσματα να είναι πιο κοντά στην πραγματικότητα.

## 6. Βιβλιογραφικές αναφορές

- [1] Παπαλοπούλου Α. (2005). Η συμβολιακή γεωργία της βιομηχανικής τομάτας στην Ελλάδα και η μεταποίησή της: κόστος και οικονομικά αποτελέσματα στην περίπτωση του νομού Καρδίτσας. Πτυχιακή Εργασία, Αθήνα: Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο.
- [2] Britannica, T. Editors of Encyclopaedia (2022), tomato. Encyclopedia Britannica. <https://www.britannica.com/plant/tomato>.
- [3] Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021), Crops and livestock products statistics. Διαθέσιμο: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- [4] François-Xavier Branthôme, (2022), Worldwide (total fresh) tomato production exceeds 187 million tonnes in 2020, Tomato news.
- [5] imarc, (2022), Tomato Processing Market: Global Industry Trends, Share, Size, Growth, Opportunity and Forecast 2022-2027
- [6] François-Xavier Branthôme, (2016), Prefer project: the environmental impact of tomato products, Tomato news.
- [7] Γεωργόπουλος Α., Νικολάου Κ., Δημητρίου Α, Γαβριλάκης Κ., Μπιλιώνης Γ. (2013). ΓΗ, ένας μικρός και εύθραυστος πλανήτης. Αθήνα. σελ. 597. ISBN 978-960-01-1607-6.
- [8] María Dolores Carro Travieso, Trinidad de Evan, Carlos Navarro Marcos, Eduarda Molina-Alcaide, Tomato by-products as animal feed, Mejdi Jeguirim, Antonis Zorpas, Tomato Processing by-Products, Academic Press, 2022, Pages 33-76, ISBN 9780128228661, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822866-1.00001-6>
- [9] Pataro, G., Carullo, D., Falcone, M., and G. Ferrari, G. (2020). Recovery of lycopene from industrially derived tomato processing byproducts by pulsed electric fields-assisted extraction. Innovative Food Science and Emerging Technologies.
- [10] George Liadakis, Tryfon Kekes, Georgia Frakolaki, Virginia Giannou, Constantina Tzia, Ingredients for food products, Mejdi Jeguirim, Antonis Zorpas, Tomato Processing by-Products, Academic Press, 2022, Pages 117-148, ISBN 9780128228661, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822866-1.00007-7>
- [11] Noal Farm, Tomatoes Harvesting Machine - Tomato Processing in Factory - How it made Canned Tomato, ketchup. Διαθέσιμο: <https://www.youtube.com/watch?v=mSHWPm5NSJ8>
- [12] Latini, Arianna. (2017). Energy Analysis and Current Value Stream Map Applied to a Typical Triple Concentrate Tomato Paste Production Plant with an Average Production Capacity of 500 ton/day. Open Access Journal of Agricultural Research. 2. 10.23880/OAJAR-16000140.

- [13] TOMÁS-CALLEJAS, A., LÓPEZ-VELASCO, G., VALADEZ, A. M., SBODIO, A., ARTÉS-HERNÁNDEZ, F., DANYLUK, M. D., & SUSLOW, T. V. (2012). Evaluation of Current Operating Standards for Chlorine Dioxide in Disinfection of Dump Tank and Flume for Fresh Tomatoes. *Journal of Food Protection*, 75(2), 304–313. doi:10.4315/0362-028x.jfp-11-347.
- [14] Sodimate Advanced environment solutions, Screw Conveyor Design, Διαθέσιμο: <https://sodimate-inc.com/screw-conveyor/>.
- [15] Sriram K. Vidyarthi, Christopher W. Simmons, Characterization and management strategies for process discharge streams in California industrial tomato processing, *Science of The Total Environment*, Volume 723, 2020, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137976>.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720314893>
- [16] Engineering toolbox website: [https://www.engineeringtoolbox.com/pumps-power-d\\_505.html](https://www.engineeringtoolbox.com/pumps-power-d_505.html)
- [17] Raytec vision. Typhoon και Rayvolution. Διαθέσιμο: <https://www.raytecvision.com/en/prodotto2.asp?ID3=2&con=1>
- [18] Maroulis, Z.B., & Saravacos, G.D. (2003). *Food Process Design* (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780203912010>
- [19] Ellen R. Bornhorst, Yaguang Luo, Eunhee Park, Bryan T. Vinyard, Xiangwu Nou, Bin Zhou, Ellen Turner, Patricia D. Millner, Immersion-free, single-pass, commercial fresh-cut produce washing system: An alternative to flume processing, *Postharvest Biology and Technology*, Volume 146, 2018, Pages 124-133, ISSN 0925-5214, <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2018.08.008>.
- [20] Mizaél WCF, Costa RG, Rodrigo Beltrão Cruz G, Ramos de Carvalho FF, Ribeiro NL, Lima A, Domínguez R, Lorenzo JM. Effect of the Use of Tomato Pomace on Feeding and Performance of Lactating Goats. *Animals (Basel)*. 2020 Sep 3;10(9):1574. doi: 10.3390/ani10091574. PMID: 32899422; PMCID: PMC7552255.
- [21] SCHLIMME, D. & Corey, Kenneth & FREY, B.C. (2006). Evaluation of Lye and Steam Peeling Using Four Processing Tomato Cultivars. *Journal of Food Science*. 49. 1415 - 1418. 10.1111/j.1365-2621.1984.tb12811.x.
- [22] Elisabeth G. Diane M.B. (2005), PEELABILITY AND YIELD OF PROCESSING TOMATOES BY STEAM OR LYE, Department of Food Science and Technology, University of California.
- [23] Giovanna Ferrari, (2018), Steam peeling of tomatoes with Pulsed Electric Field (PEF) technology, food processors can peel tomatoes in a more nutritious and sustainable way, *Taste of Science*, <https://tasteofscience.com/steam-peeling-of-tomatoes/>
- [24] Εμπιστευτικά δεδομένα ρών και κατανάλωσης ενέργειας στα πλαίσια συνεργασίας με το Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο από βιομηχανία επεξεργασίας ντομάτας που εδρεύει σε χώρα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (2022).

- [25] Engineering toolbox-Water thermophysical Properties. Διαθέσιμο: [https://www.engineeringtoolbox.com/water-thermal-properties-d\\_162.html](https://www.engineeringtoolbox.com/water-thermal-properties-d_162.html)
- [26] Kalamaki, Mary & Stoforos, Nikolaos & Taoukis, Petros. (2007). Pectic Enzymes in Tomatoes. 10.1002/9780470277577.ch12.
- [27] H. A. Makroo, N. K. Rastogi, B. Srivastava, (2016), Enzyme inactivation of tomato juice by ohmic heating and its effects on physico-chemical characteristics of concentrated tomato paste, Journal of food process engineering, <https://doi.org/10.1111/jfpe.12464>.
- [28] Fenco (2014): Tomato Paste Processing. [www.fenco.it/eng/tomato-paste-processing.asp](http://www.fenco.it/eng/tomato-paste-processing.asp)
- [29] Mohsenin, N.N. (1980). Thermal Properties of Food and Agricultural Materials C (1st ed.). CCRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003062332>.
- [30] Dennis A. Snow, Plant Engineer's Reference Book (Second Edition), Butterworth-Heinemann, 2002, ISBN 9780750644525, <https://doi.org/10.1016/B978-075064452-5/50070-5>.
- [31] Engineering toolbox- Water - Heat of Vaporization vs. Temperature. Διαθέσιμο: [https://www.engineeringtoolbox.com/water-properties-d\\_1573.html](https://www.engineeringtoolbox.com/water-properties-d_1573.html)
- [32] FAO (2009): "Fruit and Vegetable Processing. Agribusiness Handbook. Italy: FAO Investment Centre.
- [33] H. Panda, (2011), The Complete Book on Wine Production, Niir Project Consultancy Services, ISBN: 938103902X, 9789381039021.
- [34] Latini, Arianna. (2017). Energy Analysis and Current Value Stream Map Applied to a Typical Triple Concentrate Tomato Paste Production Plant with an Average Production Capacity of 500 ton/day. Open Access Journal of Agricultural Research. 2. 10.23880/OAJAR-16000140.
- [35] P.J. Fellows, (2009), Food Processing Technology, Woodhead Publishing, Third edition Pages 381-395, ISBN 9781845692162, <https://doi.org/10.1533/9781845696344.3.381>.
- [36] Forson Akua Obeng, Pokuaa Belinda Gyasi, Michael Olu-Taiwo, F. Patrick Ayeh-kumi, (2018), "Microbial Assessment of Tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) Sold at Some Central Markets in Ghana", BioMed Research International, vol. 2018, Article ID 6743826, 7 pages., <https://doi.org/10.1155/2018/6743826>.
- [37] Διάγραμμα εναλλάκτη θερμότητας κελύφους-σωλήνα. Διαθέσιμο: <https://www.forain.net/news/shell-and-tube-heat-exchanger>
- [38] Dennis P. Nolan, (2019), Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles for Oil, Gas, Chemical, and Related Facilities (Fourth Edition), Gulf Professional Publishing, Pages 383-411, ISBN 9780128160022, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816002-2.00020-9>.

- [39] Chem-Aqua, Inc, (2017), How cooling tower systems work. Learning the fundamentals. Διαθέσιμο: <https://www.chemaqua.com/en-us/Blogs/how-cooling-tower-systems-work-1>
- [40] M. Nitsche, R.O. Gbadamosi, Chapter 1 - Heat Exchanger Design, Heat Exchanger Design Guide, Butterworth-Heinemann, 2016, Pages 1-19, ISBN 9780128037645, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803764-5.00001-8>.
- [41] Rheonics, (2021), Τι είναι το CIP; Βελτιστοποίηση συστημάτων CIP (Clean In Place) με ενσωματωμένες μετρήσεις ιξώδους και πυκνότητας. Διαθέσιμο: <https://el.rheonics.com/what-is-cip-optimizing-cip-clean-in-place-systems-with-inline-viscosity-density-measurements/>
- [42] Adnan Y. Tamime, (2009), Cleaning-in-Place: Dairy, Food and Beverage Operations, Third edition, Blackwell publishing.
- [43] Λύσεις GEA CIP / SIP - <https://www.gea.com/en/products/cleaners-sterilizers/cip-sip/index.jsp>.
- [44] Joanne E. Drinan, Frank Spellman, (2012), Water and Wastewater Treatment: A Guide for the Non-engineering Professional, CRC Press.
- [45] Εικόνα δεξαμενής πρώτου σταδίου επεξεργασίας νερού αποβλήτων, Treatment plant operator (TPO). Διαθέσιμο: [https://www.tpomag.com/online\\_exclusives/2019/01/wastewater-treatment-plants-could-become-sustainable-biorefineries](https://www.tpomag.com/online_exclusives/2019/01/wastewater-treatment-plants-could-become-sustainable-biorefineries)
- [46] SAMCO, (2019), What Are Aerobic Wastewater Treatment Systems and How Do They Work?, <https://samcotech.com/what-are-aerobic-wastewater-treatment-systems-and-how-do-they-work/>.
- [47] Open Education Resource (OER) LibreText, (2022), Microbiology, chapter 17.3B: Wastewater and Sewage Treatment.
- [48] Waterman Engineers Australia, (n.a), Wastewater Treatment & Reuse of Textile Effluent. <https://watermanaustralia.com/wastewater-treatment-reuse-of-textile-effluent/>.
- [49] Esa Kari Vakkilainen, Boiler Processes, Steam Generation from Biomass, Butterworth-Heinemann, 2017, Pages 57-86, ISBN 9780128043899, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-804389-9.00003-4>.
- [50] World nuclear association, <https://www.world-nuclear.org/>, viewed October 2022.
- [51] CALORIFIC VALUE OF NATURAL GAS (MJ/M3 AND BTU/SCF), (2021), METgroup countries, <https://group.met.com/en/media/energy-insight/calorific-value-of-natural-gas>
- [52] Energy." Science & Technology. Gale Research Inc., 1993

- [53] Boyun Guo, Ali Ghalambor, (2005), Chapter 2 - Properties of Natural Gas, Natural Gas Engineering Handbook (Second Edition), Gulf Publishing Company, Pages 13-33, ISBN 9781933762418, <https://doi.org/10.1016/B978-1-933762-41-8.50009-5>.
- [54] Steinberg, B., (2021), An Industry Guide for the Use of Thermal Mass Flow Meters. Sage Metering Inc., <https://sagemetering.com/applications/industry-guide-thermal-mass-flow-meters/>.
- [55] Miura industrial firetube boiler. Διαθέσιμο: <https://miuraboiler.com/>.
- [56] Steinberg B., (2022), Air Fuel Ratio Effect Combustion Efficiency and Air Fuel Ratio, Sage Metering Inc., <https://sagemetering.com/combustion-efficiency/air-fuel-ratio-effect-on-combustion-efficiency/>.
- [57] Barbosa-Canovas G.V., Gongora-Nieto M.M., Pothakamury U.R. and Swanson B.G., (1999), Preservation of foods with pulsed electric fields. Academic Press.
- [58] Fincan, M. and Dejmek, P., (2002). In situ visualization of the effect of a pulsed electric field on plant tissue. Journal of Food Engineering, 55: 223 – 230.
- [59] Koubaa, M., Roselló-Soto, E., Šic Žlabur, J., Režek Jambrak, A., Brnčić, M., Grimi, N., Boussetta, N. and Barba, F.J., (2015). Current and New Insights in the Sustainable and Green Recovery of Nutritionally Valuable Compounds from Stevia rebaudiana Bertoni. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 63: 6835 – 6846.
- [60] Sánchez-Vega, R., Elez-Martínez, P. and Martín-Belloso, O., (2015). Influence of high-intensity pulsed electric field processing parameters on antioxidant compounds of broccoli juice. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 29: 70 – 77.
- [61] Varvara Andreou, George Dimopoulos, Efimia Dermesonlouoglou, Petros Taoukis, (2020), Application of pulsed electric fields to improve product yield and waste valorization in industrial tomato processing, Journal of Food Engineering, Volume 270, 109778, ISSN 0260-8774, <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.109778>.
- [62] Mohamed, M. and Amer – Eissa, A.H., (2012). Pulsed Electric Fields for Food Processing Technology. In: Amer – Eissa, A.H. (ed), (2012). Structure and Function of Food Engineering. INTECH. Chapter 11.
- [63] Vega – Mercado, H., Gongora – Nieto, M.M., Barbosa – Canovas, G.V. and Swanson, B.G., (2007). Pulsed Electric Fields in Food Preservation. In: Rahman, M.N. (ed), (2007). Handbook of Food Preservation. 2nd edition. CRC Press. Chapter 33.
- [64] Raso, J., Freyb, W., Ferraric, G., Pataro, G., D. Knorr, D., Teissief, J. and Miklavčič, D., (2016). Recommendations guidelines on the key information to be reported in studies of application of PEF technology in food and biotechnological processes. Innovative Food Science & Emerging Technologies, 37: 312 – 321.



- [65] De Vito, F., (2005). Application of Pulsed Electric Field (PEF) Techniques in Food Processing. Ph.D. Course in Chemical Engineering. Department of Chemical and Food Engineering, UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO.
- [66] FDA, (2016). Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies – Pulsed Electric Field.
- [67] Leadley, C.E. and William, A., (2006). Pulsed Electric Field Processing, Power Ultrasound and Other Emerging Technologies. In: Brennan, J.G., Grandison, A.S. (eds), Food Processing Handbook. 2nd edition. WILEY – VCH. Chapter 7.
- [68] Ortega-Rivas, E., Zárate-Rodríguez, E. and Barbosa-Cánovas, G.V., (1998). Apple Juice Pasteurization Using Ultrafiltration and Pulsed Electric Fields. Food and Bioprocess Processing, 76: 193 – 198.
- [69] Capodaglio, Andrea G. 2021. "Pulse Electric Field Technology for Wastewater and Biomass Residues' Improved Valorization" Processes 9(5): 736. <https://doi.org/10.3390/pr9050736>.
- [70] Sandra González-Casado, Olga Martín-Belloso, Pedro Elez-Martínez, Robert Soliva-Fortuny, (2018), Application of pulsed electric fields to tomato fruit for enhancing the bioaccessibility of carotenoids in derived products, Food and Function, Issue 4, DOI: <https://doi.org/10.1039/C7FO01857F>.
- [71] Pataro, G., Ferrari, G. and Donsi, F., (2011). Mass Transfer Enhancement by Means of Electroporation. In: Markos, J. (ed), (2011). Mass Transfer in Chemical Engineering Processes. Rijeca, Croatia: INTECH. Chapter 8.
- [72] Knoblich, B., Anderson, B., & Latshaw, D. (2005). Analyses of tomato peel and seed byproducts and their use as a source of carotenoids. Journal of the Science and of Food and Agriculture, 85(7), 1166-1170.
- [73] Παπαγιάννη Γ. και Δρ. Ζεϊμπέκη Β. (n.a), Αξιολόγηση κύκλου ζωής προϊόντος: Μια τεχνική με στόχο φιλικά προς το περιβάλλον και κλιματικά ουδέτερα προϊόντα.
- [74] Raul Carlson, Ann-Christin Pålsson (1998), Chalmers University of Technology.
- [75] Baumann, H. and A.-M. Tillman, (2004), The hitchhiker's guide to LCA: an orientation in life cycle assessment methodology and application.
- [76] Ann-Christin Pålsson, (2011), Introduction to LCA, Tosca sustainability framework.
- [77] Ann-Christin Pålsson & Ellen Riise, (2011), Principles for Life Cycle Assessment, Tosca sustainability framework.
- [78] Ann-Christin Pålsson & Ellen Riise, (2011), Phases in an LCA study, Tosca sustainability framework.

- [79] Ann-Christin Pålsson & Ellen Riise, (2011), Defining the goal and scope of the LCA study, Tosca sustainability framework.
- [80] Ann-Christin Pålsson & Ellen Riise, (2011), performing the inventory in the LCA study, Tosca sustainability framework.
- [81] Ann-Christin Pålsson & Ellen Riise, (2011), Performing the environmental impact assessment in the LCA, Tosca sustainability framework.
- [82] Bare, J., TRACI 2.0: the tool for the reduction and assessment of chemical and other environmental impacts 2.0. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 2011. 13(5): p. 687-696.
- [83] Dreyer, L.C., A.L. Niemann, and M.Z. Hauschild, Comparison of three different LCIA methods: EDIP97, CML2001 and Eco-indicator 99. *The international journal of life cycle assessment*, 2003. 8(4): p. 191-200.
- [84] Weidema, B.P., Comparing three life cycle impact assessment methods from an endpoint perspective. *Journal of Industrial Ecology*, 2015. 19(1): p. 20-26.
- [85] Huijbregts, M.A., et al., ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2017. 22(2): p. 138-147.
- [86] Huijbregts, M.A., Steinmann, Z.J., Elshout, P.M., Stam, G., Verones, F., Vieira, M.D., Hollander, A., Zijp, M.C., & Zelm, R. (2016). ReCiPe 2016. A harmonized life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. Report 1: Characterization.
- [87] Ann-Christin Pålsson, (2011), Performing the interpretation in the LCA, Tosca sustainability framework.
- [88] Hellegers, Petra & Zilberman, David & Steduto, Pasquale & Cornick, P.. (2008). Interactions between water, energy, food and environment: Evolving perspectives and policy issues. *Water Policy* 10 (2008) S1. 10. 10.2166/wp.2008.048.
- [89] UCdavis center for water-energy efficiency, (n.a), Water-Energy-Nexus.
- [90] D. F. Vivanco, «A Novel Metric for Assessing the Global Resource Nexus,» JIE website.
- [91] G. Liu, (2020), «Seafood-energy-water nexus: A study on resource use efficiency and,» *Journal of Cleaner Production*.
- [92] Γεωργόπουλος Α., Νικολάου Κ., Δημητρίου Α, Γαβριλάκης Κ., Μπιλιώνης Γ., Γεωργόπουλος Α., Νικολάου Κ., Δημητρίου Α, Γαβριλάκης Κ., Μπιλιώνης Γ. (2013). ΓΗ, ένας μικρός και εύθραυστος πλανήτης. Αθήνα. σελ. 597. ISBN 978-960-01-1607-6.