



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΙΙ: ΤΟΜΕΑΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ
ΔΙΕΡΓΑΣΙΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΚΑΙ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

Ανάκτηση PVC με Επιλεκτική
Διάλυση/Ανακαταβύθιση:
*Πειραματική διερεύνηση βελτιωμένων μεθόδων
διαχωρισμού διαλύτη/αντιδιαλύτη*

Διπλωματική εργασία

ΜΑΡΙΑ-ΧΡΙΣΤΙΝΑ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ

Επιβλέπων:

ΚΩΣΤΗΣ ΜΑΓΟΥΛΑΣ

ΑΘΗΝΑ

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
ABSTRACT	iv
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
2. ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ: ΠΑΡΑΓΩΓΗ - ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ - ΧΡΗΣΕΙΣ	3
2.1 Παραγωγή και Κατανάλωση πλαστικών σε παγκόσμια κλίμακα	4
2.2 Είδη και χρήσεις πλαστικών	7
2.3 Το πρόβλημα της ανακύκλωσης των πλαστικών	9
2.4 Η περίπτωση του PVC.....	14
2.4.1 Παραγωγή PVC	15
2.4.2 Ιδιότητες και χρήσεις του PVC.....	16
2.4.3 Πλαστικοποιητές	17
2.5 Πλαστικοποιητές και Σημείο Υαλώδους Μετάπτωσης	20
2.6 Δάπεδα PVC.....	22
3. ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗ ΔΙΑΛΥΣΗ / ΑΝΑΚΑΤΑΒΥΘΙΣΗ	23
3.1 Στάδια ΕΔΑ.....	25
3.2 Βιομηχανική εφαρμογή της ΕΔΑ: Μέθοδος Vinylloop.....	26
3.3 Τροποποίηση της ΕΔΑ για τα χρησιμοποιημένα δάπεδα PVC.....	27
4. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΜΟΡΙΑΚΑ ΚΟΣΚΙΝΑ.....	28
5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	31
5.1 Ανακύκλωση δαπέδων PVC.....	31
5.1.1 Προσδιορισμός περιεκτικότητας πλαστικοποιητών στην πρώτη ύλη.....	31
5.1.2 Υπολογισμός περιεκτικότητας σε πληρωτικό υλικό (filler)	33
5.1.3 Ανακύκλωση PVC – Περιγραφή διαγράμματος ροής διεργασίας	33
5.1.4 Αποτελέσματα-Σχολιασμός	46
5.2 Ανάκτηση Διαλυτη-Αντιδιαλυτη.....	47

5.2.1	Πειραματική Διάταξη.....	48
5.2.2	Διαχωρισμός μίγματος MEK/νερού από τη διεργασία ανακύκλωσης PVC	49
6.	ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ.....	53
6.1	Παράμετροι που επηρεάζουν τις ενεργειακές απαιτήσεις της διεργασίας ...	53
6.2	Αποτελέσματα αριστοποίησης.....	55
6.2.1	Αναλογία διαλύτη/πρώτης ύλης	55
6.2.2	Ποσοστό στερεού που περιέχεται στην πάστα μετά τη συμπίεση	56
6.2.3	Αναλογία Αντιδιαλύτη/Διαλύτη (S/AS ratio).....	58
6.2.4	Αναλογία διαλύτη/τροφοδοσία 2 ^{ης} -5 ^{ης} διάλυσης (S/Feed).	59
6.2.5	Μελέτη σεναρίων για την επεξεργασία των διηθημάτων από κάθε κύκλο	60
6.2.6	Επίδραση του ποσοστού κατακράτησης MEK στα κόσκινα κατά την απευθείας αφυδάτωσή της.....	61
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	63
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	67
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I: ΙΣΟΖΥΓΙΑ ΜΑΖΑΣ ΣΕ ΚΑΘΕ ΣΤΑΔΙΟ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ PVC	72
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II: ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ KARL FISCHER.....	78
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III: ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΜΟΡΙΑΚΑ ΚΟΣΚΙΝΑ	80
	ΠΕΙΡΑΜΑ 1	80
	ΠΕΙΡΑΜΑ 2	83
	ΠΕΙΡΑΜΑ 3	85
	ΠΕΙΡΑΜΑ 4	88
	ΠΕΙΡΑΜΑ 5:	90

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο εργαστήριο Θερμοδυναμικής και Φαινομένων Μεταφοράς της Σχολής Χημικών Μηχανικών ΕΜΠ στα πλαίσια της εκπαιδευτικής διαδικασίας της σχολής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Κωστή Μαγουλά για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με αυτό το ενδιαφέρον θέμα, για την διαρκή καθοδήγησή του και για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσε όλους αυτούς τους μήνες για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω και την κ. Γεωργία Παππά για την ανεκτίμητη βοήθεια και τη διαρκή παρουσία της σε κάθε στάδιο διεκπεραίωσης της διπλωματικής μου εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλα τα μέλη του εργαστηρίου Θερμοδυναμικής για την υποστήριξή τους και για το φιλικό κλίμα που δημιούργησαν στο εργαστήριο.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω για τη συνεργασία, τα μέλη του εργαστηρίου Τεχνολογίας Φυσικών Διεργασιών και τη κ. Νατάσα Παπαηλιοπούλου από το εργαστήριο Τεχνολογίας Χημικών Διεργασιών.

Τέλος, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου, Δημήτρη και Γιώτα, για όλα όσα μου έχουν προσφέρει και συνεχίζουν να μου προσφέρουν, για τη συνεχή τους στήριξη στην επίτευξη των στόχων μου και στην αδερφή μου Κωνσταντίνα που είναι πάντα δίπλα μου, σε κάθε μου βήμα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συνεχής τεχνολογική ανάπτυξη στον κλάδο των πολυμερών έχει καθιερώσει τα πλαστικά υλικά ως κυρίαρχο στην παγκόσμια αγορά, καθώς παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι άλλων συμβατικών υλικών (μέταλλο, γυαλί), όπως χαμηλό κόστος, καλή μηχανική αντοχή, χαμηλό βάρος, μηδενική διάβρωση κ.ά. Ωστόσο, τα περισσότερα είδη πλαστικών δεν είναι βιοαποικοδομήσιμα, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται περιβαλλοντικές ανησυχίες, με την επιλογή της ανακύκλωσής τους να κρίνεται αναγκαία.

Το PVC είναι ένα θερμοπλαστικό πολυμερές, που μπορεί να είναι πλαστικοποιημένο ή όχι, δίνοντας τη δυνατότητα παραγωγής μιας ποικιλίας προϊόντων με διαφορετικά χαρακτηριστικά και χρήσεις. Το πλαστικοποιημένο PVC είναι ένα εύκαμπτο, μαλακό πολυμερές, το οποίο μπορεί εύκολα να υποστεί επεξεργασία, σε αντίθεση με το μη πλαστικοποιημένο, το οποίο είναι σκληρό και άκαμπτο. Η ευκαμπτότητα του PVC αποδίδεται στην παρουσία συγκεκριμένων χημικών ενώσεων, των πλαστικοποιητών, με παράδειγμα τους φθαλικούς εστέρες.

Οι πλαστικοποιητές αν και βελτιώνουν τις ιδιότητες του PVC εμφανίζουν ένα μεγάλο μειονέκτημα: ορισμένοι εξ αυτών, που χρησιμοποιούνταν ευρέως παλαιότερα, έχουν ταξινομηθεί πια από τον κανονισμό REACH ως επικίνδυνες (DIHP, BBP, DHP, DEHP). Για αυτό το λόγο, η επεξεργασία των πλαστικών απορριμμάτων για την απομάκρυνση τέτοιων επιβλαβών ενώσεων είναι απαραίτητη, ώστε να είναι κατάλληλα για ανακύκλωση.

Η μέθοδος της Επιλεκτικής Διάλυσης/Ανακαταβύθισης (ΕΔΑ) είναι μια επιτυχημένη μέθοδος ανακύκλωσης πλαστικών υλικών. Ειδικά για την περίπτωση του PVC, έχει αποδειχθεί πειραματικά ότι είναι δυνατή η ανάκτηση ανακυκλωμένου υλικού απαλλαγμένου από πλαστικοποιητές.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, η μέθοδος πραγματοποιείται μέσω μιας σειράς διαδοχικών διαλύσεων και καταβυθίσεων του PVC με χρήση οργανικού διαλύτη (MEK) και νερού ως αντιδιαλύτη. Σε κάθε στάδιο, ποσότητα πλαστικοποιητών απομακρύνεται με το μίγμα διαλύτη/αντιδιαλύτη μειώνοντας έτσι την περιεκτικότητα στο προϊόν. Η μελέτη επικεντρώνεται στο διαχωρισμό του ρεύματος διαλύτη/αντιδιαλύτη/πλαστικοποιητών που προκύπτει από τη διεργασία και που αποτελεί το πιο ενεργοβόρο κομμάτι της, καθορίζοντας κατ' επέκταση και τη βιωσιμότητά της. Ο διαχωρισμός γίνεται με χρήση μοριακών κοσκίνων.

Πιο συγκεκριμένα με 5 διαδοχικούς κύκλους διάλυσης, καταβύθισης, φίλτρανσης και συμπίεσης επιτεύχθηκε ανάκτηση στερεού PVC απαλλαγμένου από πλαστικοποιητές, όπως πιστοποιήθηκε μέσω του σημείου υαλώδους μετάπτωσης του ανακυκλωμένου υλικού

Τα υγρά απόβλητα που λαμβάνονται από τη διεργασία της ΕΔΑ χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- A.** Μίγμα ΜΕΚ/Νερού που προέρχεται από τους τρεις πρώτους κύκλους ΕΔΑ και περιέχει σημαντική ποσότητα πλαστικοποιητών.
- B.** Μίγμα ΜΕΚ/Νερού από τους δύο τελευταίους κύκλους και από την ξήρανση των προϊόντων, το οποίο είναι σχεδόν απαλλαγμένο από πλαστικοποιητές.

Στην περίπτωση (Α), προηγείται εξάτμιση των μιγμάτων προς απομάκρυνση των πλαστικοποιητών, οι οποίοι λαμβάνονται ως υπόλειμμα, και ακόλουθη διοχέτευσή τους στην ατμώδη φάση μέσω μοριακών κοσκίνων όπου προσροφάται το νερό. Αντίθετα στην περίπτωση (Β), τα μίγματα αφυδατώνονται με απευθείας επαφή ως υγρά, με τα μοριακά κόσκινα. Στην προσέγγιση (Β), παρατηρείται, όπως αναμένεται, διαβροχή των μοριακών κόσκινων με ΜΕΚ σε ποσοστό περίπου 25% του βάρους τους.

Και στις δύο περιπτώσεις ο διαχωρισμός είναι αποτελεσματικός καθώς η λαμβανόμενης ΜΕΚ περιέχει νερό σε ποσοστό μόλις 0,2-0,7%. Συνεπώς ο διαλύτης μπορεί να ανακυκλωθεί στην διεργασία.

Τέλος, επιχειρήθηκε η αριστοποίηση των βασικών παραμέτρων σχεδιασμού της διεργασίας, όπως η αναλογία διαλύτη/PVC, αντιδιαλύτη/διαλύτη, συμπίεση του λαμβανόμενου από τη διήθηση PVC προς απομάκρυνση των διαλυτών κλπ, στοχεύοντας στην παραγωγή ανακυκλωμένου προϊόντος με την επιθυμητή περιεκτικότητα σε πλαστικοποιητές και την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας. Το εύρος μεταβολής των παραμέτρων καθορίστηκε με αξιοποίηση της εμπειρίας από την πειραματική διαδικασία.

Συνοψίζοντας, στη παρούσα διπλωματική εργασία αναπτύχθηκε πειραματικά η διεργασία ΕΔΑ για την ανακύκλωση PVC από χρησιμοποιημένα δάπεδα απαλλαγμένου από πλαστικοποιητές, επικεντρώνοντας στη μέθοδο διαχωρισμού των διαλυτών για μείωση των ενεργειακών απαιτήσεων της διεργασίας καθώς και ο προσδιορισμός των βέλτιστων παραμέτρων της διεργασίας που επιτυγχάνουν την ελαχιστοποίηση του ενεργειακού της κόστους.

Λέξεις κλειδιά: PVC, Χρησιμοποιημένα δάπεδα, Πλαστικοποιητές, Φθαλικές ενώσεις, Ανακύκλωση, Επιλεκτική Διάλυση/Ανακαταβύθιση, Μοριακά κόσκινα

ABSTRACT

Plastic materials dominate the world market for years, due to their exceptional advantages against conventional materials, such as metal and glass. The low cost, excellent mechanical properties, low weight, zero corrosion etc. are some of the many properties plastics carry. However, most of them, are not biodegradable and as a result many environmental issues arise, deeming the chance of recycling necessary.

PVC is a thermoplastic polymer that can be plasticised or non-plasticized, being thus suitable for the production of a variety of products with different uses and characteristics. Plasticized PVC is a rather soft and flexible material, easy to elaborate. On the contrary, non-plasticized PVC is a rigid and hard polymer. PVC is such a versatile material due to the presence of some chemical compounds known as "plasticizers", such as phthalates.

Plasticizers have the ability to improve the properties of a polymer, but some of them, which were widely used in the past, have been recently classified as hazardous by the REACH regulation. As a result, the disposal of used PVC products in landfills is not acceptable and furthermore PVC waste should be clean in order to be reused.

The Selective Dissolution/Precipitation (SDP) method is a successful technique for polymer recycling. Especially for waste PVC flooring, it has been proved to produce recycled material with negligible amounts of plasticizers.

In this work, the method is realized through successive dissolutions and precipitations of the waste using MEK as solvent and water as anti-solvent in order to dissolve and precipitate the plastic. During each cycle an amount of the plasticizers is removed with the solvents stream, leading thus to a cleaner product. The study is focused on the separation of the solvent/anti-solvent/plasticizers mixture resulting from each cycle. This separation is the main energy consuming part of the whole process determining thus the feasibility of the technology. In this work, molecular sieves were employed for water removal.

More specifically, after five successive cycles of dissolution, precipitation, filtration and pressing, the recycled PVC contained negligible amounts of plasticizers, as confirmed by the glass transition temperature of the product.

The liquid mixtures obtained from the process were classified to two categories:

- A. MEK/Water mixtures from the first 3 cycles of the SDP method that contain significant amounts of plasticizers.
- B. MEK/Water mixtures from the last 2 cycles of the SDP and the PVC drying that contain very small quantities or no plasticizers at all.

In case A, the mixture is first evaporated, so that plasticizers are removed as residue and the vapours are led through a molecular sieves (MS) column. In case B, the dehydration occurs by direct contact of the liquid mixture with the molecular sieves. Of course in this case, some amount of MEK, about 25% of the MS weight, stays on the MS. Dehydration is successful in both cases leading to a final water content in MEK of about 0,2-0,7%.

Finally, an optimization of the basic parameters of the process was made, such as the solvent/PVC ratio, the anti-solvent/solvent ratio, the pressing of the PVC after filtration to remove remaining solvents, etc., aiming to the minimization of the required energy for solvent separation.

To summarize, in the present work the Selective Dissolution/Precipitation process for PVC flooring recycling has been successfully developed. The process leads to a product which satisfies the specification for the plasticizers content. Also the optimum process parameters for energy requirement minimization were determined.

Further reduction of the energy consumption could be investigated in the future, using different molecular sieving dehydration processes, such as reduced pressure and / or microwave use.

Key words: PVC, Post-used flooring, Plasticizers, Phthalates, Recycling, Selective Dissolution/precipitation process, Molecular Sieves

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η βιομηχανία πλαστικών παρουσιάζει μεγάλη ανάπτυξη στις μέρες μας. Σε συνδυασμό με την εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα των πολυμερών, παράγονται υλικά που παρουσιάζουν βελτιωμένα χαρακτηριστικά, συμβάλλοντας έτσι στην παραγωγή καλύτερων προϊόντων. Το πρόβλημα της μη βιο-αποικοδομησιμότητας των πλαστικών υλικών όμως παραμένει, με εξαίρεση τα βιο-αποικοδομήσιμα πλαστικά.

Το PVC, είναι ένα ευρέως διαδεδομένο πολυμερές. Έχει πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες και χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή προϊόντων, όπως σωληνώσεις και πλαίσια σε πόρτες και παράθυρα. Για την ενίσχυση των ιδιοτήτων του PVC προστίθενται κατάλληλες χημικές ουσίες, που ονομάζονται πλαστικοποιητές. Οι πλαστικοποιητές βελτιώνουν τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού, κάνοντάς το πιο εύκαμπτο και μαλακό. Η πιο συνηθισμένη κατηγορία πλαστικοποιητών που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα είναι οι φθαλικές ενώσεις (phthalates). Το πλαστικοποιημένο PVC, χρησιμοποιείται για την παραγωγή διάφορων προϊόντων, όπως για παράδειγμα: δάπεδα, συσκευασίες προϊόντων και εξαρτήματα αυτοκινήτων.

Όπως όλα τα προϊόντα, τα δάπεδα από PVC έχουν συγκεκριμένο χρόνο ζωής και όταν αυτός λήξει, τα χρησιμοποιημένα - πλέον - δάπεδα δεν θα πρέπει να οδηγούνται σε χώρο υγειονομικής ταφής ούτε σε κάποιο άλλο χώρο διάθεσης απορριμμάτων, αφενός λόγω της μη βιο αποικοδομησιμότητας που εμφανίζουν και αφετέρου, λόγω της παρουσίας πλαστικοποιητών και άλλων πρόσθετων ουσιών.

Πιο συγκεκριμένα, αρκετοί από τους χρησιμοποιούμενους πλαστικοποιητές είναι τοξικές ενώσεις και επικίνδυνες τόσο για το περιβάλλον όσο και για την υγεία του ανθρώπου. Σύμφωνα με τον κανονισμό REACH, η Ευρωπαϊκή Ένωση αξιολογεί τα είδη πλαστικοποιητών, απαγορεύοντας την προσθήκη τέτοιου είδους τοξικών πλαστικοποιητών σε μεγάλες κατηγορίες προϊόντων.

Ως συνέπεια αυτού κρίνεται αναγκαία η απομάκρυνση των πλαστικοποιητών από τα χρησιμοποιημένα δάπεδα προκειμένου να γίνει οποιαδήποτε διαδικασία διαχείρισής τους.

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η απομάκρυνση των πλαστικοποιητών από την πρώτη ύλη (χρησιμοποιημένα δάπεδα από PVC) και η

ανάκτηση ενός ανακυκλωμένου προϊόντος καλής ποιότητας, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πρώτη ύλη παραγωγής άλλων προϊόντων.

Προς τούτο, χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της “Επιλεκτικής Διάλυσης/Ανακαταβύθισης” (ΕΔΑ) που τροποποιήθηκε κατάλληλα και υλοποιήθηκε μέσω μιας σειράς διαδοχικών διεργασιών διάλυσης και καταβύθισης με τη χρήση κατάλληλου διαλύτη και αντιδιαλύτη. Ως διαλύτης χρησιμοποιήθηκε η Μέθυλ-Αίθυλ-Κετόνη (Methyl-Ethyl-Ketone/MEK) και αντίστοιχα ως αντιδιαλύτης το νερό. Κρίσιμης σημασίας για τον σχεδιασμό της διεργασίας είναι η επίτευξη συγκεκριμένης περιεκτικότητας πλαστικοποιητών στο τελικό προϊόν η οποία δεν πρέπει να ξεπερνά το 0,1% wt.

Σε κάθε κύκλο διάλυσης/ανακαταβύθισης, από τη διεργασία φίλτρανσης λαμβάνεται ως διήθημα μίγμα διαλύτη/αντιδιαλύτη μαζί με ποσότητα πλαστικοποιητών. Για τη βιωσιμότητα της μονάδας αλλά και την προστασία του περιβάλλοντος κρίνεται αναγκαίος ο διαχωρισμός του μίγματος διαλύτη/αντιδιαλύτη. Ο διαχωρισμός διαλύτη/αντιδιαλύτη πραγματοποιήθηκε με τη χρήση κατάλληλων μοριακών κοσκίνων διαμέτρου 3^A , τα οποία δεσμεύουν στη μάζα τους την ποσότητα του αντιδιαλύτη (Νερό). Αποτέλεσμα αυτού, είναι η ανάκτηση του διαλύτη (MEK), ο οποίος μπορεί να επανατροφοδοτηθεί στη διεργασία. Για τον προσδιορισμό της βέλτιστης πειραματικής διαδικασίας διαχωρισμού με μοριακά κόσκινα, αρχικά πραγματοποιήθηκε μια σειρά από προκαταρκτικά πειράματα. Στη συνέχεια, τα μοριακά κόσκινα θα πρέπει να αναγεννηθούν ώστε να μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν.

Η ενεργειακή κατανάλωση για τη διεργασία αυτή είναι κρίσιμο σημείο για την οικονομικότητα της μεθόδου. Προς τούτο, στο τελευταίο μέρος της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε μελέτη και βελτιστοποίηση της ενεργειακής κατανάλωσης της διεργασίας της ΕΔΑ για την επεξεργασία χρησιμοποιημένων δαπέδων με προσδιορισμό των βέλτιστων λειτουργικών παραμέτρων της (αναλογίες διαλύτη/αντιδιαλύτη/τροφοδοσίες, ποσοστό στερεών στην πάστα των φίλτρων κλπ).

2. ΠΛΑΣΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ: ΠΑΡΑΓΩΓΗ - ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ - ΧΡΗΣΕΙΣ

Στις μέρες, είναι αδιανόητο να φανταστούμε τη ζωή μας χωρίς τα πλαστικά. Το πρώτο συνθετικό υλικό, εμφανίστηκε στις αρχές του 20^{ου} αιώνα και χρησιμοποιείτο αποκλειστικά στον στρατιωτικό τομέα για τις ανάγκες του 2^{ου} Παγκοσμίου πολέμου. Το 1950 σημειώνεται ως η χρονιά έναρξης παραγωγής πλαστικών προϊόντων σε μεγάλη κλίμακα στη βιομηχανία, με χρήσεις που ξεπερνούν τον στρατιωτικό τομέα [1]. Έκτοτε, η επιστήμη και τεχνολογία των πολυμερών έχουν αναπτυχθεί ραγδαία και συνεχίζουν να εξελίσσονται μέχρι και σήμερα.

Οργανικά προϊόντα όπως κυτταρίνη, άνθρακας, φυσικό αέριο, άλατα και αργό πετρέλαιο επεξεργάζονται και χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη για την παραγωγή πλαστικών υλικών [2][3].

Τα πλαστικά, με την πάροδο των χρόνων, έχουν αντικαταστήσει σε πολλούς τομείς υλικά όπως το γυαλί, το χαρτί και το μέταλλο [1]. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στις εξαιρετικές ιδιότητες που εμφανίζουν. Είναι ανθεκτικά, ελαφριά και ανάλογα με το είδος του πλαστικού εμφανίζουν χαμηλή διαπερατότητα σε υγρά και αέρια [2]. Με την προσθήκη διάφορων χημικών ουσιών (πρόσθετα) και ανάλογα με τη δράση τους, διευκολύνουν την επεξεργασία τους, τροποποιούν τις μηχανικές και οπτικές τους ιδιότητες, χωρίς να μεταβάλλουν τη χημική τους δομή. Ως αποτέλεσμα αυτού, είναι η παραγωγή πολλών και διαφορετικών προϊόντων με ποικίλες χρήσεις και δυνατότητες [4].

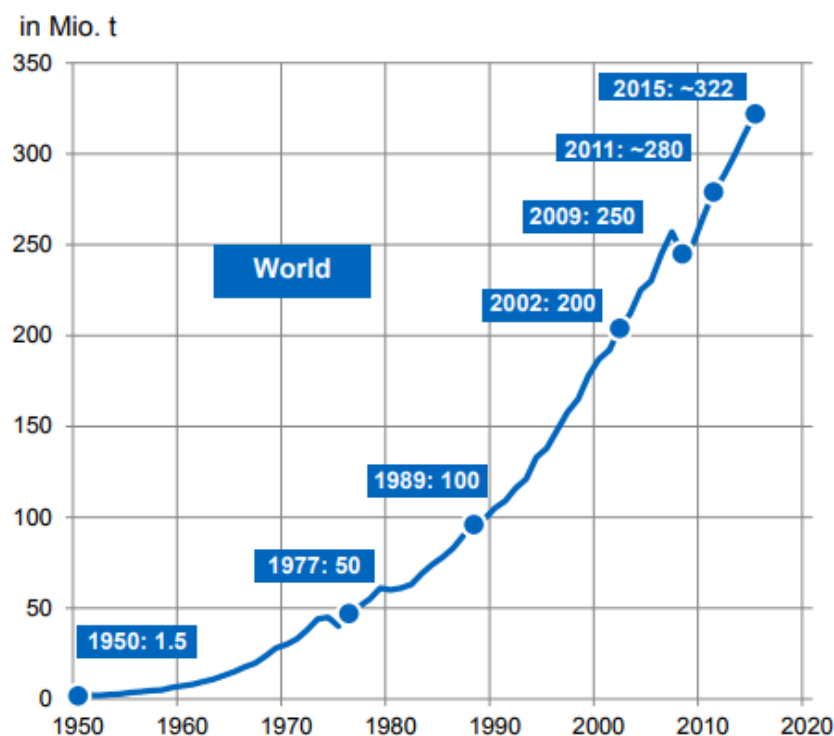
Όταν ο “κύκλος ζωής” του πλαστικού προϊόντος λήξει και το προϊόν πλέον δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, υπάρχει η δυνατότητα της ανακύκλωσης ή διάθεσής του σε χώρους υγειονομικής ταφής (ΧΥΤΑ). Υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα απόβλητα διατίθενται στο φυσικό περιβάλλον. Στην περίπτωση που δεν γίνει ανακύκλωση τα πλαστικά δεν αποσυντίθενται στα ΧΥΤΑ ή στο φυσικό περιβάλλον. Αντιθέτως συσσωρεύονται, με αποτέλεσμα να ρυπαίνουν το περιβάλλον. Σε συνδυασμό με την ηλιακή ακτινοβολία στην οποία εκτίθενται, θρυμματίζονται σε σωματίδια της τάξης των μικρόμετρων (μm), προκαλώντας μεγάλη οικολογική καταστροφή, ειδικότερα αν έχουν απορριφθεί στους ωκεανούς [1]. Σύμφωνα με τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών στον τομέα της ταξινόμησης και επισήμανσης χημικών ουσιών (United Nations Organization for Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals) το 50% των προσθέτων, που τοποθετούνται για τη βελτίωση των ιδιοτήτων των πλαστικών, έχουν τοξικές ιδιότητες. Οι τοξικές ενώσεις, λόγω της έκθεσης του πλαστικού σε ηλιακή ακτινοβολία και νερό της βροχής, μεταναστεύουν

στο περιβάλλον και στον υδροφόρο ορίζοντα, θέτοντας σε κίνδυνο την ανθρώπινη υγεία.

Ο Σύνδεσμος Βιομηχανιών Πλαστικών Ελλάδος πολύ εύστοχα υποστηρίζει ότι ο 20^{ος} αιώνας χαρακτηρίζεται ως ο “Αιώνας του πλαστικού”, ενώ αντίστοιχα, ο 21^{ος} αιώνας χαρακτηρίζεται ως ο “Αιώνας ανακύκλωσης και αναγέννησης πρώτων υλών”[2]. Οπότε λαμβάνοντας υπόψη τα πιο πάνω, η επεξεργασία και ανακύκλωση των πλαστικών υλικών κρίνεται απολύτως αναγκαία.

2.1 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΣΕ ΠΑΓΚΟΣΜΙΑ ΚΛΙΜΑΚΑ

Σε παγκόσμια κλίμακα, από έρευνες που έχουν διεξαχθεί, η παραγωγή και κατανάλωση των πλαστικών ακολουθεί ανοδική πορεία χρόνο με τον χρόνο. Σύμφωνα με έρευνα που διεξάχθηκε από την ομάδα της PEMRG (PlasticsEurope’s Market Research Group) για την Ένωση Κατασκευαστών Πλαστικών Ευρώπης (Association of Plastic Manufactures in Europe), από το 1950 μέχρι το 2015, η παραγωγή πλαστικών αυξήθηκε από 1,5 MT σε 322 MT με ετήσιο ρυθμό ανάπτυξης (Compound Annual Growth Rate – CAGR) ίσο με 8,6%. (Διάγραμμα 1) [5].



Διάγραμμα 1: Παγκόσμια παραγωγή πλαστικών για την περίοδο 1950-2015 [5]

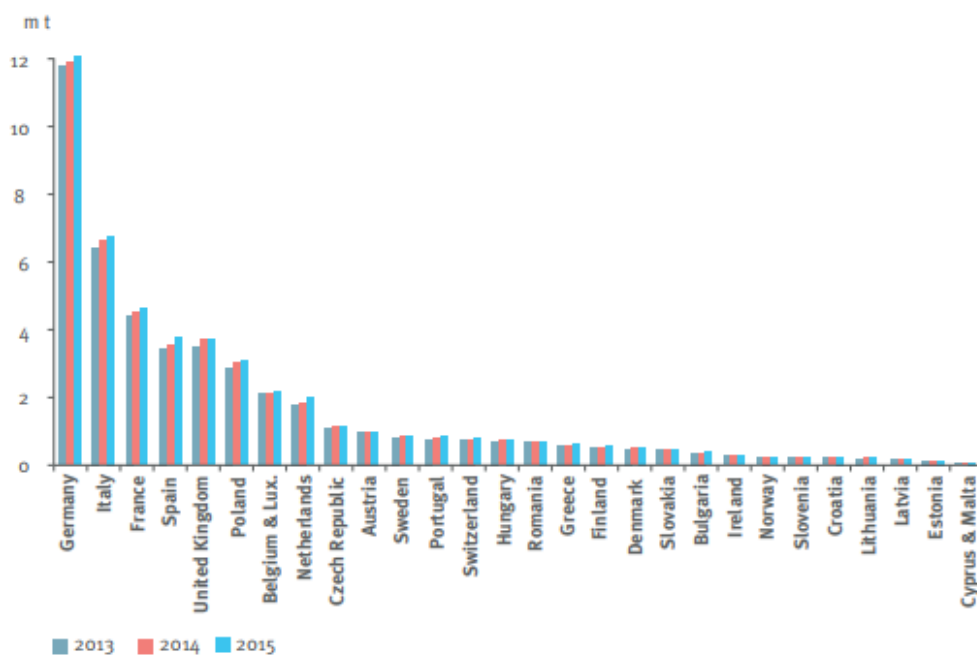
Ανά τον κόσμο, η Κίνα αποτελεί τον κυρίαρχο στην παραγωγή πλαστικών υλικών, καταλαμβάνοντας το 28,8 % της παγκόσμιας παραγωγής πλαστικών. Η

Ευρώπη και οι Η.Π.Α ακολουθούν, στο ίδιο επίπεδο, με ποσοστά παραγωγής 18,5% [3], [5].

Η κατάσταση στην Ευρώπη

Τα πλαστικά παράγονται κυρίως με βάση το πετρέλαιο. Από τη συνολική παραγωγή πετρελαίου και φυσικού αερίου (oil and gas), το 4-6% αξιοποιείται για την παραγωγή πλαστικών προϊόντων.

Στο διάγραμμα 2, παρουσιάζεται η ζήτηση πλαστικών υλικών για τα έτη 2013-2014 στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.



Διάγραμμα 2: Ζήτηση πλαστικών ανά τις χώρες της Ε.Ε. για τα έτη 2013-2015 [2]

Παρατηρείται ότι οι χώρες με τη μεγαλύτερη ζήτηση σε πλαστικά είναι η Γερμανία, Ιταλία και Γαλλία. Πιο συγκεκριμένα για το 2015, η ζήτηση και κατανάλωση πλαστικών, έφτασε τα 49 MT, με την Γερμανία, την Ιταλία, την Γαλλία, την Ισπανία, το Ηνωμένο Βασίλειο και την Πολωνία να κατατάσσονται ως οι 6 χώρες με την περισσότερη ζήτηση σε πλαστικά. Στον πίνακα 1, παρουσιάζονται τα ποσοστά επί του συνόλου της κατανάλωσης πλαστικών που αντιστοιχούν στις έξι αυτές χώρες καθώς και οι αντίστοιχες ετήσιες ποσότητες.

Πίνακας 1: Χώρες της Ε.Ε. με την περισσότερη ζήτηση σε πλαστικά

Σειρά Κατάταξης	Χώρα	Ποσοστό Κατανάλωσης	Ποσότητα πλαστικών υλικών [MT]
1	Γερμανία	24,6%	12,1
2	Ιταλία	14,3%	7
3	Γαλλία	9,6%	4,7
4	Ισπανία	7,7%	3,8
5	Ηνωμένο Βασίλειο	7,5%	3,7
6	Πολωνία	6,3%	3,1
Συνολική κατανάλωση πλαστικών: 49MT			

Οι 6 χώρες συγκεντρώνουν το 70% της κατανάλωσης πλαστικών στην Ευρώπη με το υπόλοιπο 30% τα αντιστοιχεί στις υπόλοιπες [3]. Φυσικά πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ο πληθυσμός της κάθε χώρας, όπως και το βιοτικό επίπεδο.

Για το μέλλον, η παραγωγή πλαστικών προβλέπεται ότι θα συνεχίζει να έχει ανοδική πορεία και μέχρι το 2050 αναμένεται ότι θα φτάσει τους 33 δισεκατομμύρια τόνους [1].

Εφόσον η παραγωγή πλαστικών αυξάνεται χρόνο με τον χρόνο, κάτι τέτοιο συνεπάγεται και την αύξηση της παραγωγής πλαστικών αποβλήτων. Σύμφωνα με τον Οργανισμό Προστασίας Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (Environmental Protection Agency - EPA), για το 2014, σημειώθηκε παραγωγή 258 MT Στερεών Αστικών Αποβλήτων (Municipal Solid Waste-MSW), εκ των οποίων το 13% ήταν πλαστικά απόβλητα, δηλαδή 33,5 MT πλαστικών απόβλητων [6], [7].



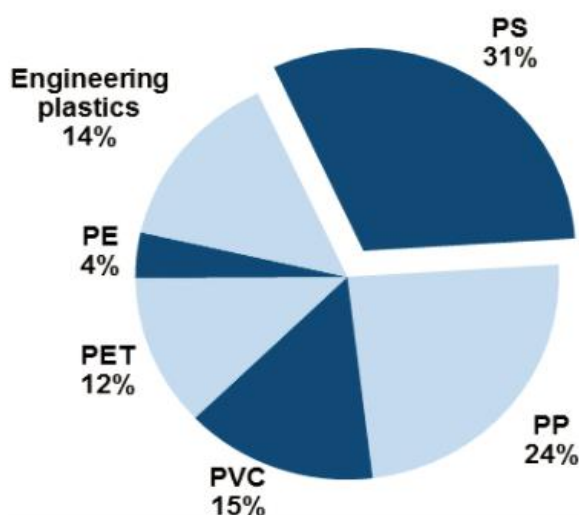
Διάγραμμα 3: Κατάταξη αστικών αποβλήτων στο σύνολο των 258 MT [7].

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 3, την πρώτη θέση καταλαμβάνουν με ποσοστό 28,2% τα οργανικά απορρίμματα (απορρίμματα τροφίμων και κλαδέματα κήπων), ακολουθούμενα από τα απορρίμματα από χαρτί/χαρτόνι και πλαστικά σε ποσοστά 26,6% και 12,9% αντίστοιχα. Τέλος, παρατηρείται ότι απόβλητα από γυαλί και μέταλλο εμφανίζονται σε χαμηλά ποσοστά, γεγονός που επιβεβαιώνει τη συνεχή αντικατάστασή τους από τα πλαστικά υλικά [7].

2.2 ΕΙΔΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ

Τα πλαστικά χωρίζονται στις κατηγορίες των θερμοπλαστικών, θερμοσκληρυνόμενων και ελαστομερών.

Στο διάγραμμα 4, παρουσιάζονται τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα πλαστικά στην παγκόσμια αγορά [8].



Διάγραμμα 4: Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα πλαστικά [8].

Με βάση το διάγραμμα 4, το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο πλαστικό είναι το Πολυστυρένιο (PS), στη συνέχεια ακολουθεί το Πολυπροπυλένιο (PP) και τρίτο στην κατάταξη το Πολυ-βινυλοχλωρίδιο (PVC).

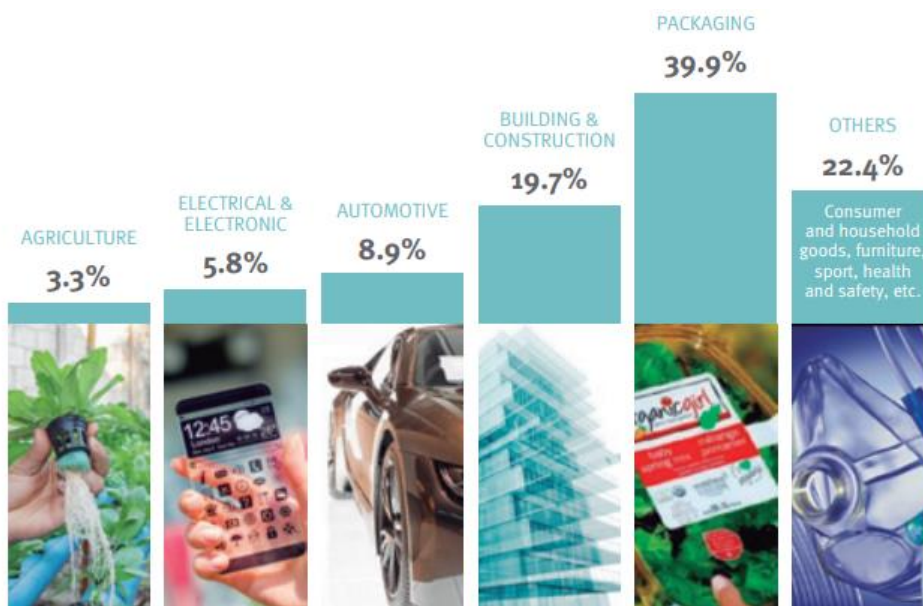
Τα πλαστικά θεωρούνται κυρίαρχος στην αγορά, λόγω των εξαιρετικών ιδιοτήτων που παρουσιάζουν. Έχουν χαμηλό κόστος, πυκνότητα και βάρος, είναι ανθεκτικά και κατατάσσονται στην κατηγορία των μονωτικών υλικών. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα των πλαστικών υλικών έγκειται στην ευκολία επεξεργασίας και μορφοποίησής τους. Υπάρχει η επιλογή προσθήκης χημικών ενώσεων που διαφοροποιούν τις ιδιότητές τους. Ως αποτέλεσμα, υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής μιας ευρείας γκάμας προϊόντων με πολλές χρήσεις [9].

Οι κυριότεροι τομείς στους οποίους βρίσκουν εφαρμογή τα πλαστικά υλικά είναι οι εξής:

- Συσσκευασίες
- Κατασκευές
- Μεταφορές
- Ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές
- Γεωργία
- Άλλοι τομείς, όπως παραγωγή επίπλων, στην ιατρική κ.α.,

Με βάση τα πιο πάνω και με δεδομένα από έρευνα της Ευρωπαϊκής Ένωσης, από τους 49 ΜΤ πλαστικού που έχουν παραχθεί το 2015, το 39,9% αξιοποιήθηκε στον τομέα των συσκευασιών και το 19,7% στον κατασκευαστικό τομέα [3].

Από το διάγραμμα 5, συμπεραίνουμε ότι τα πλαστικά έχουν κυρίαρχο ρόλο στον τομέα των υλικών, καθώς λόγω των ιδιοτήτων τους έχουν αντικαταστήσει σε σημαντικό βαθμό υλικά όπως χαρτί, γυαλί και μέταλλα [1], [10].



Διάγραμμα 5: Τομείς αξιοποίησης πλαστικών στην Ευρώπη για το 2015 [3].



Πιο συγκεκριμένα στον τομέα των συσκευασιών οι γυάλινες συσκευασίες με μεταλλικό καπάκι έχουν αντικατασταθεί με πλαστικό καπάκι και δοχείο. Αντίστοιχα, όλο και περισσότερα κονσερβοποιημένα προϊόντα αντικαθίστανται από πολύστρωματικές, εύκαμπτες πλαστικές συσκευασίες τύπου σακούλας, σύμφωνα με την Εικόνα 1.

Εικόνα 1: Η εξέλιξη των συσκευασιών

2.3 ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΤΩΝ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ

Η συνεχής τεχνολογική ανάπτυξη γύρω από τον τομέα των πλαστικών και η κυριαρχία τους στην αγορά, έχουν άμεση σύνδεση με την παραγωγή μεγάλων ποσοτήτων αποβλήτων, καθώς τα πλαστικά έχουν αντικαταστήσει συμβατικά υλικά, όπως το μέταλλο και το γυαλί. Τα πλαστικά υλικά δεν βιοαποικοδομούνται με αποτέλεσμα όταν μεταφέρονται σε χωματερές να συσσωρεύονται προκαλώντας μόνιμη ρύπανση στο περιβάλλον. Για παράδειγμα, ένα μπουκαλάκι από PET χρειάζεται 500 χρόνια για να διασπαστεί στο φυσικό περιβάλλον [1].

Σύμφωνα με μελέτες, για το 2015 έχουν παραχθεί παγκόσμια 6300 ΜΤ πλαστικού εκ των οποίων, μόνο το 9% έχει ανακυκλωθεί, το 12% αποτεφρωθεί και υπόλοιπο 79% απορρίφθηκε σε χώρους υγειονομικής ταφής [1].

Αντίστοιχα στην Ευρώπη το 2012, το 26 % των πλαστικών αποβλήτων ανακυκλώθηκε, το 36% οδηγήθηκε σε καύση για παραγωγή ενέργειας και το υπόλοιπο 48% απορρίφθηκε στις χωματερές [11].

Ως αποτέλεσμα αυτού, μπορεί κανείς να συμπεράνει ότι η απόρριψη των πλαστικών αποβλήτων σε χωματερές δεν αποτελεί βιώσιμη λύση στο πρόβλημα της διαχείρισης των πλαστικών αποβλήτων και η προσφυγή σε εναλλακτικές μεθόδους επεξεργασίας είναι απολύτως αναγκαία.

Οι μέθοδοι διαχείρισης πλαστικών απορριμμάτων που εφαρμόζονται σήμερα είναι οι εξής [12]:

- Απόρριψη σε χωματερές, στη θάλασσα με ή χωρίς κάποια προεπεξεργασία
- Πρωτογενής ανακύκλωση

- Δευτερογενής ανακύκλωση
- Τριτογενής Ανακύκλωση
- Τεταρτογενής Ανακύκλωση

Οι τεχνολογίες ανακύκλωσης μπορούν να ενταχθούν στις εξής κατηγορίες ανάλογα με την προέλευση, ομοιογένεια, καθαρότητα και ποιότητα των πλαστικών απορριμμάτων: Χωρίζονται σε [13]:

- Τεχνολογίες Μηχανικής Ανακύκλωσης
- Τεχνολογίες Χημικής Ανακύκλωσης
- Τεχνολογίες Ανάκτησης Ενέργειας

Η πρωτογενής και δευτερογενής ανακύκλωση συγκαταλέγονται στις τεχνολογίες μηχανικής ανακύκλωσης. Η διαφορά τους έγκειται στο είδος των απορριμμάτων που επεξεργάζονται. Αντίστοιχα, στην τεχνολογία χημικής ανακύκλωσης ανήκει η τριτογενής ανακύκλωση και στην τεχνολογία ανάκτησης ενέργειας η τεταρτοταγής.

Υπάρχουν διάφορα είδη πλαστικών απορριμμάτων και ανάλογα με το είδος τους επιλέγεται η κατάλληλη διαδικασία ανακύκλωσης [12]:

1. Ανεξάρτητα είδη πλαστικών που μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν και να ενταχθούν ξανά στην παραγωγική διαδικασία από την οποία παρήχθησαν.
2. Είδη πλαστικών που έχουν υποστεί κάποια επιμόλυνση, οπότε δεν μπορούν να ενταχθούν ξανά στην παραγωγική διαδικασία. Απαιτείται η υποβολή τους σε κάποιες συγκεκριμένες διαδικασίες ούτως ώστε να είναι δυνατή η επεξεργασία τους .
3. Μίγματα πλαστικών με γνωστή σύσταση, διαχωρισμένα από κάθε μη πλαστική πρόσμιξη.
4. Τυχαία συλλεγμένα οικιακά απορρίμματα τα οποία μπορεί να περιέχουν μη-πλαστικά υλικά.

❖ Πρωτογενής ανακύκλωση:

Η πρωτογενής ανακύκλωση είναι μια διαδικασία η οποία εφαρμόζεται εκτεταμένα, καθώς είναι μια απλή και χαμηλού κόστους μέθοδος [15]. Συγκαταλέγεται στην κατηγορία της μηχανικής ανακύκλωσης. Τα απορρίμματα που υποβάλλονται στη διαδικασία της πρωτογενούς ανακύκλωσης προκύπτουν συνήθως ως υπολείμματα πλαστικού κατά την επεξεργασία και μορφοποίηση κάποιου προϊόντος.

Τα υπολείμματα επαναχρησιμοποιούνται, μέσω ανάμιξής τους σε κάποιο ποσοστό με το παρθένο υλικό ή σε ξεχωριστές διαδικασίες επεξεργασίας. Επίσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν και ως υλικά δεύτερης κατηγορίας με υποβιβασμένη ποιότητα.

Στην περίπτωση που θα χρησιμοποιηθεί κάποια νέα επεξεργασία, υπάρχουν τρεις εναλλακτικές επιλογές [13]:

1. Επιλογή κλειστού κύκλου (Closed loop recycling): Περιλαμβάνει την ανατροφοδότηση του υπολείμματος πίσω στην παραγωγική διαδικασία, το οποίο έχει προηγουμένως αναμιχθεί με ποσότητα παρθένου υλικού σε χαμηλή αναλογία. Πραγματοποιείται άμεση επαναχρησιμοποίηση των υπολειμμάτων, χωρίς κάποια επιπλέον οικονομική επιβάρυνση.
2. Επιλογή ανοιχτού κύκλου (Open loop Recycling): Πρόκειται για μια διαδικασία κατά την οποία το υπόλειμμα συλλέγεται και φυλάγεται για την χρησιμοποίησή σε κάποια άλλη φάση της επεξεργασίας.
3. Διεργασία κοινής αξιοποίησης.

Βασικό πρόβλημα της Πρωτογενούς ανακύκλωσης είναι ότι κατά την επεξεργασία ή κατά την προηγούμενη χρήση, το πλαστικό μπορεί να υποστεί κάποιες χημικές αλλοιώσεις, επιδρώντας στις τελικές ιδιότητες καθιστώντας το ως χαμηλότερης ποιότητας υλικό [12], [13].

Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα, ο παραγωγός γνωρίζει ακριβώς τη σύνθεση και την ποιότητα του προς ανακύκλωση (επαναχρησιμοποίηση) πλαστικού υπολείμματος. Επίσης το πλαστικό υπόλειμμα περιέχει ήδη τα κατάλληλα πρόσθετα, όπως χρώματα και σταθεροποιητές, σε μικρότερο βαθμό, καλύπτοντας τις πλείστες προδιαγραφές της εφαρμογής. Η πρωτογενής ανακύκλωση αποτελεί την οικονομικότερη, την ευκολότερα εφαρμόσιμη, την αποδοτικότερη και την οικολογικά φιλικότερη επιλογή αξιοποίησης των πλαστικών απορριμμάτων [13].

❖ **Δευτερογενής ανακύκλωση:**

Όπως και η πρωτογενής ανακύκλωση έτσι και η δευτερογενής, βρίσκεται στην κατηγορία της μηχανικής ανακύκλωσης. Υπάρχουν δυο προσεγγίσεις που αφορούν τη δευτερογενή ανακύκλωση.

Η πρώτη προσέγγιση απαιτεί τον διαχωρισμό των απορριμμάτων από τις διάφορες προσμίξεις και στη συνέχεια την ταξινόμησή τους σε κατηγορίες [13]. Στη συνέχεια τα ταξινομημένα πλέον πλαστικά, αναμιγνύονται είτε με παρθένο υλικό, είτε

με είδη ανακυκλωμένα πλαστικά που προέκυψαν κατά την πρωτογενή ανακύκλωση. Τα ανακυκλωμένα προϊόντα που παράγονται έχουν ανάλογη ποιότητα με αυτή του παρθένου υλικού [14].

Αντίθετα, στη δεύτερη προσέγγιση, πραγματοποιείται απομάκρυνση των προσμίξεων από τα πλαστικά, τα οποία στη συνέχεια ανακυκλώνονται ως μίγμα. Το μίγμα ομοιογενοποιείται με τεχνολογία τήγματος. Το ρεύμα που προκύπτει έχει πολύ καλή σύσταση και ποιότητα. Ωστόσο, η ανομοιογένεια που παρουσιάζουν τα πλαστικά απόβλητα ως προς τις θερμοδυναμικές τους ιδιότητες, προκαλεί υποβαθμισμένες μηχανικές ιδιότητες για τα ανακυκλωμένα υλικά, άρα και υποβιβασμένη ποιότητα του τελικού προϊόντος [12], [14].

Γενικότερα και στις δύο περιπτώσεις είναι σημαντική η προκατεργασία των απορριμμάτων, όπου πραγματοποιείται πρώτα μείωση του μεγέθους τους, π.χ. με χρήση κοκκοποιητών, θρυμματιστών. Ακολουθεί ο διαχωρισμός από προσμίξεις που υπάρχουν στο μίγμα των αποβλήτων, περεταίρω καθαρισμός και ξήρανση. Σαν τελευταίο στάδιο γίνεται η κατεργασία και μορφοποίηση σε κάποιο τελικό προϊόν.

Τα πλαστικά απόβλητα που επεξεργάζονται με δευτερογενή ανακύκλωση προέρχονται από απορρίμματα από νοικοκυριά, βιομηχανίες, αγροτικές μονάδες, νοσοκομεία, γραφεία, σχολεία, οικοδομικά υλικά, κατασκευές, αυτοκίνητα, ηλεκτρικά είδη, κ.ά. [15]

❖ Τριτογενής ανακύκλωση:

Πρόκειται για χημική ανακύκλωση. Η τριτογενής ανακύκλωση είναι η διεργασία κατά την οποία τα πλαστικά απορρίμματα μετατρέπονται σε ενέργεια ή ανακτήσιμα χημικά προϊόντα που αποτελούν πρώτες ύλες για περαιτέρω συνθέσεις [13]. Πιο συγκεκριμένα, το αρχικό πλαστικό απόρριμμα μετατρέπεται στις αρχικές χημικές πρώτες ύλες που το αποτελούσαν, οι οποίες στη συνέχεια μπορούν να χρησιμοποιηθούν εκ νέου για την παραγωγή άλλων χημικών προϊόντων ακόμη και νέων πολυμερών. Επιπρόσθετα μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σαν καύσιμη ύλη για ενεργειακή εκμετάλλευση. Οι χημικές ενώσεις που προκύπτουν είναι ισοδύναμες με τις αρχικές πρώτες ύλες, με αποτέλεσμα το ανακυκλωμένο προϊόν να μην έχει υποβαθμισμένη αξία, γεγονός που καθίσταται ως το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της τριτοταγούς ανακύκλωσης [16].

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές τριτογενούς ανακύκλωσης που έχουν ως βάση τον αποπολυμερισμό της πολυμερικής αλυσίδας, δηλαδή την αποσύνθεσή της. Πιο συγκεκριμένα [17]:

Αεριοποίηση (Gasification): Πρόκειται για τη μετατροπή πλαστικών μιγμάτων σε αέριο σύνθεσης με χρήση υψηλών θερμοκρασιών και ειδικών καταλυτών.

Αποπολυμερισμός/ Αποικοδόμηση (Depolymerization/Degradation): Πρόκειται για διαδικασίες θερμο-μηχανικής διάσπασης της πολυμερικής αλυσίδας σε αλυσίδες μικρότερου μοριακού βάρους, οι οποίες επαναχρησιμοποιούνται για την παραγωγή νέων παρθένων πλαστικών.

Γλυκόλυση (Glycolysis): Με τη παρουσία γλυκολών, οι πολυμερικές αλυσίδες σπάζουν μερικώς σε μονομερή προϊόντα.

Διύλιση (Refinery Recycling): Τα πλαστικά απορρίμματα εισέρχονται σε μονάδες διύλισης, όπου μετατρέπονται σε προϊόντα ισοδύναμα με αυτά που προκύπτουν από κλασσικές μονάδες διύλισης πετρελαίου.

Ηλεκτροκινητική Αναγέννηση (Electrokinetic Recovery): Με τη χρήση ηλεκτρικού τόξου, τα πλαστικά απορρίμματα μετατρέπονται σε χρήσιμα βιομηχανικά αέρια.

Καταλυτική Διάσπαση (Cracking): Με τη χρήση καταλυτών, τα πλαστικά απορρίμματα αποσυντίθενται μέσω μιας συνεχούς διεργασίας για την παραγωγή ελαφριών οργανικών χημικών ενώσεων.

Μεθανόλυση (Methanolysis): Για την παραλαβή συγκεκριμένου τύπου χημικών, εφαρμόζεται η μεθανόλυση, όπου με την παρουσία μεθανόλης η πολυμερική αλυσίδα διασπάται πλήρως.

Πυρόλυση (Pyrolysis): Σε υψηλές θερμοκρασίες και απουσία οξυγόνου, τα πλαστικά απόβλητα αποικοδομούνται/μετατρέπονται σε έλαια και αέρια.

Υδρογόνωση (Hydrogeneration): Πρόκειται για τη διεργασία προσθήκης υδρογόνου σε υδρογονάνθρακες με σκοπό την παραγωγή χημικών προϊόντων προστιθέμενης αξίας.

Υδρόλυση (Hydrolysis): Με την παρουσία ατμών, οι πολυμερικές αλυσίδες μετατρέπονται πλήρως στα μονομερή τους με σκοπό τον εκ νέου πολυμερισμό τους.

❖ Τεταρτογενής ανακύκλωση:

Η τεταρτογενής ανακύκλωση –ή αλλιώς θερμική ανακύκλωση– υπάγεται στις τεχνολογίες ανάκτησης ενέργειας. Σκοπός, είναι η ανάκτηση ενέργειας από την

καύση στερεών πλαστικών αποβλήτων, κατά την οποία παράγεται θερμότητα, ατμός και ηλεκτρική ενέργεια, καθώς τα πλαστικά διαθέτουν υψηλό ενεργειακό περιεχόμενο καθιστώντας τα πολύτιμη πηγή ενέργειας [18].

Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει η τεταρτογενής ανακύκλωση είναι [13], [19]:

- Εξοικονόμηση καύσιμων υλών.
- Μείωση κόστους διαχωρισμού των πλαστικών αποβλήτων.
- Μείωση της μάζας των αποβλήτων σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90%.
- Θεωρείται ως η πιο ασφαλής μέθοδος επεξεργασίας επικίνδυνων πλαστικών αποβλήτων (π.χ. ιατρικά απόβλητα).
- Είναι ο ιδανικός τρόπος διαχείρισης ανομοιογενούς μίγματος πλαστικών και απορριμμάτων που παρουσιάζουν έντονη επιμόλυνση από προσμίξεις.
- Το ανόργανο κλάσμα των αποβλήτων μετατρέπεται σε αδρανή σκωρία η οποία χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη στην κατασκευή οδοστρωμάτων.

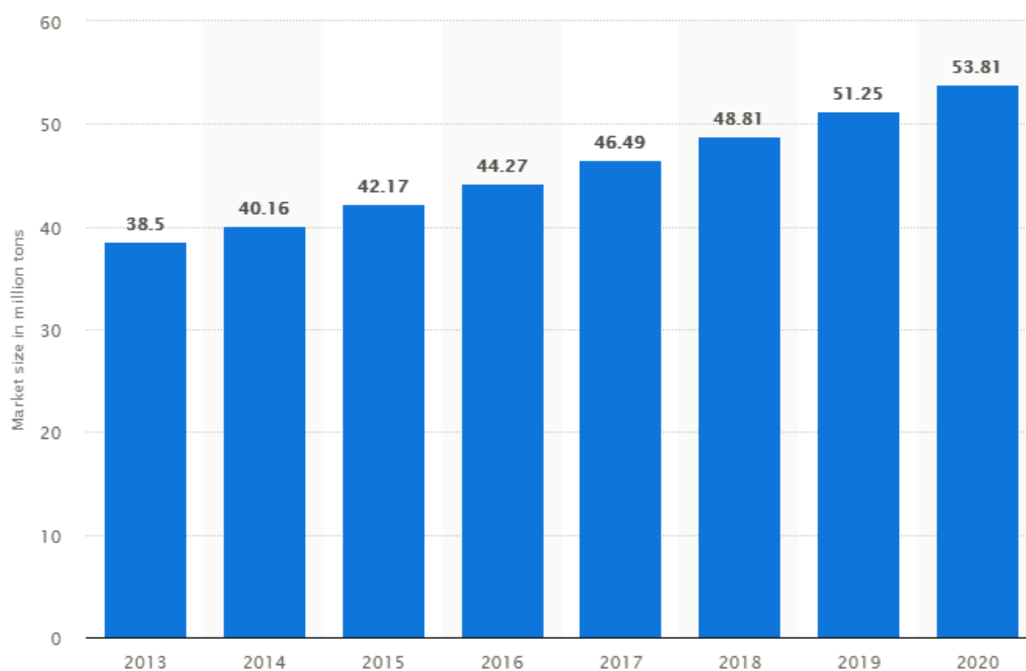
Παρόλα αυτά, η μέθοδος παρουσιάζει και μειονεκτήματα, όπως [12], [13], [16]:

- Πρακτικά μόνο το 30%-40% της ενέργειας που περικλείουν τα πλαστικά μπορεί να ανακτηθεί με καύση. Κάτι τέτοιο αποδίδεται στο γεγονός ότι κατά την επεξεργασία και τελική μορφοποίηση των πλαστικών προϊόντων (τελικό στάδιο πολυμερισμού) παρουσιάζεται αδυναμία στην ανάκτηση ενέργειας που καταναλώθηκε.
- Τα προϊόντα της καύσης περιλαμβάνουν τοξικές ουσίες οι οποίες συμβάλλουν στη ρύπανση του περιβάλλοντος [1]. Ο εφοδιασμός με ειδικά φίλτρα καθαρισμού των καυσαερίων, επιβαρύνει τη μονάδα επεξεργασίας με επιπλέον κόστη εγκατάστασης και συντήρησης [12].

2.4 Η ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΤΟΥ PVC

Οι πρώτες αναφορές στο PVC, εμφανίζονται κατά τον 19^ο αιώνα. Το 1913 ο Γερμανός Friedrich August Klatte , ονομάζεται ως ο πρώτος ο επιστήμονας που κατάφερε επιτυχώς να πολυμερίσει το βινυλικό χλωρίδιο, χρησιμοποιώντας ηλιακό φως. Ωστόσο, στα μέσα της δεκαετίας του 1920 το PVC φάνηκε χρήσιμο σαν προϊόν, καθώς ο Αμερικάνος επιστήμονας Waldo Semon κατάφερε να κάνει το PVC ένα πιο λειτουργικό υλικό, στη προσπάθειά του να συνθέσει ένα εναλλακτικό υλικό έναντι του φυσικού ελαστικού καουτσούκ. Μέσα στα επόμενα χρόνια, οι απαιτήσεις σε PVC αυξήθηκαν ραγδαία, με το υλικό να χρησιμοποιείται ως αδιάβροχη επίστρωση σε υφάσματα και ως μονωτικό καλωδίων σε στρατιωτικά πλοία [20].

Σήμερα το PVC θεωρείται ένα από τα πιο δημοφιλή πλαστικά υλικά, καταλαμβάνοντας την τρίτη θέση μετά το πολυστερένιο και το πολυπροπυλένιο [21]. Το 2016 καταναλώθηκαν πάνω από 42 MT PVC, γεγονός που αντιστοιχεί στο 16% της συνολικής ζήτησης πλαστικών υλικών στον κόσμο. Σύμφωνα με το διάγραμμα 6, για το 2016 η παγκόσμια ζήτηση έφτασε στους 44,27 MT και μέχρι το 2020 αναμένεται να φτάσει στους 53,8 MT [22], [23].



Διάγραμμα 6: Παγκόσμια ζήτηση PVC για την περίοδο 2013-2020 [23].

2.4.1 Παραγωγή PVC

Η σύνθεση του PVC πραγματοποιείται με την επαναλαμβανόμενη προσθήκη μονομερούς βινυλοχλωριδίου (VCM) με χημικό τύπο $\text{CH}_2=\text{CHCl}$, με το χλώριο καταλαμβάνει το 57% του βάρους της πολυμερικής ρητίνης. Το μονομερές (VCM) λαμβάνεται από ενσωμάτωση χλωρίου με αιθυλένιο ($\text{CH}_2=\text{CH}_2$). Το αιθυλένιο, παράγεται μέσω της διεργασίας της πυρόλυσης πετρελαίου, ενώ το χλώριο μέσω της αποσύνθεσης χλωριούχου νατρίου με ηλεκτρόλυση. Το μονομερές, λαμβάνεται ως αέριο και στη συνέχεια πραγματοποιείται ο πολυμερισμός-είτε με τη μέθοδο πολυμερισμού γαλακτώματος είτε με τη μέθοδο πολυμερισμού εναιωρήματος. Κατά τον πολυμερισμό γαλακτώματος, το υλικό λαμβάνεται σε μορφή πάστας λεπτών σωματιδίων, ενώ στην περίπτωση του εναιωρήματος, λαμβάνεται υπό τη μορφή ξηρής σκόνης μεγαλύτερου μεγέθους σωματιδίων [24]. Ακολούθως, το υλικό που προκύπτει από τον πολυμερισμό, αναμιγνύεται με διάφορα πρόσθετα, που σκοπό

έχουν να βελτιστοποιήσουν τις ιδιότητες του υλικού. Τέλος, μετατρέπεται σε κάποιο τελικό προϊόν [25], [26].

2.4.2 Ιδιότητες και χρήσεις του PVC

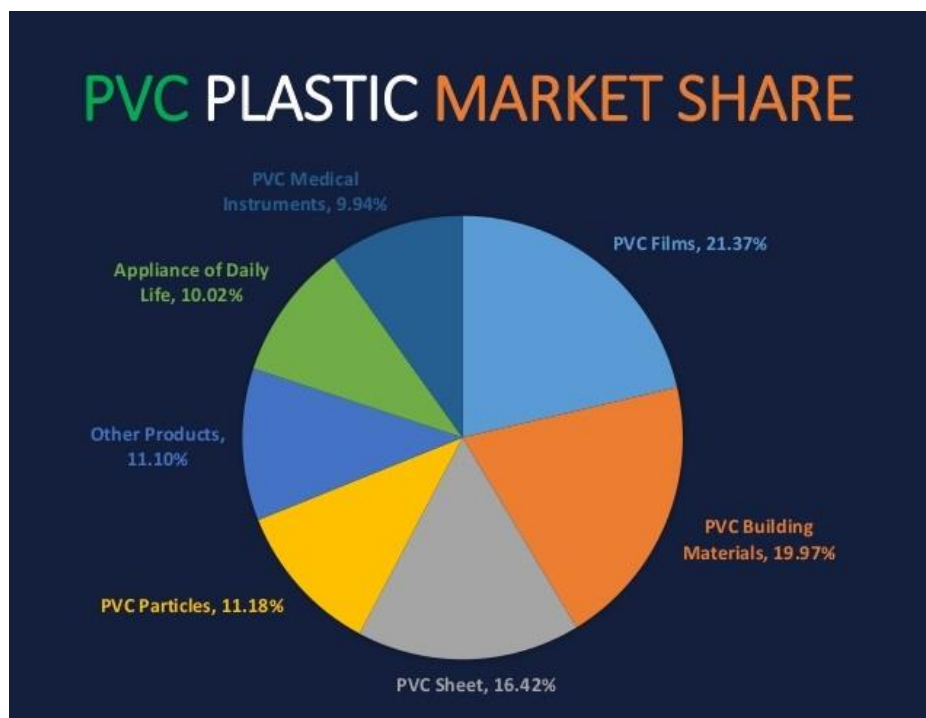
Πρόκειται για ένα άμορφο και σκληρό υλικό με πολύ καλές ιδιότητες και χαμηλό κόστος. Λόγω της παρουσίας χλωρίου στην πολυμερική αλυσίδα, το PVC εμφανίζει πολύ καλές αντι-πυρικές ιδιότητες, αντίσταση στην οξειδωση από τον ατμοσφαιρικό αέρα, με αποτέλεσμα να είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό. Επιπρόσθετα, παρουσιάζει μηχανική σταθερότητα και αντίσταση τόσο σε έλαια όσο και σε συγκεκριμένες χημικές ενώσεις όπως οξέα, αλκάλια και σχεδόν σε όλα τα ανόργανα χημικά στοιχεία. Τέλος, σαν υλικό μπορεί να επεξεργασθεί εύκολα, καθώς λόγω της ιξωδοελαστικής συμπεριφοράς που εμφανίζουν τα τήγματά του, εξαρτάται λιγότερο από τη θερμοκρασία, με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζεται σταθερό ως υλικό και κατάλληλο για την παραγωγή προϊόντων με πολύπλοκο σχήμα [27].

Οι εφαρμογές του PVC ποικίλουν ανάλογα με το είδος των προσθέτων που χρησιμοποιούνται, όπως για παράδειγμα η προσθήκη πλαστικοποιητών [28]. Με την προθήκη κατάλληλης ποσότητας προσθέτων, μεταβάλλονται για παράδειγμα οι μηχανικές ιδιότητες, η εμφάνιση του υλικού (π.χ. χρώμα) με αποτέλεσμα τη δημιουργία προϊόντων με τεράστιο φάσμα εφαρμογών και χρήσεων, σύμφωνα με τον Πίνακα 2 [4], [25], [29].

Πίνακας 2: Γενικές εφαρμογές PVC και παραδείγματα

Τομείς χρήσης	Εφαρμογές
Κατασκευές	Κουφώματα σε πόρτες και παράθυρα, Σωληνώσεις, Καλύμματα καλωδίων, Πατώματα, Καθίσματα, Επενδύσεις τοίχων, Φύλλα, Ρολά
Ιατρικός τομέας	Φαρμακευτικές κυψέλες, Σακούλες για μετάγγιση αίματος, τσάντες μεταφοράς πλάσματος, σωλήνες,
Ηλεκτρικές εφαρμογές	Πληκτρολόγια, Ηλεκτρικά εργαλεία, καλώδια, Συστήματα τηλεφώνου, Περιβλήματα εξαρτημάτων και συσκευών
Μεταφορές/ Αυτοκίνητα	Εσωτερικά εξαρτήματα (χειρόφρενα, μοχλοί), Επίστρωση καθισμάτων, προστατευτικά καλωδίων, μονωτικό
Συσκευασίες	Συσκευασίες τροφίμων, μπουκάλια μεταλλικού νερού, Συσκευασίες καλλυντικών, δοχεία απορρυπαντικών, καπάκια μπουκαλιών
Κάρτες	Πιστωτικές κάρτες, Ταυτότητες
Είδη αναψυχής και αθλητισμός	Παιχνίδια, Μπάλες ποδοσφαίρου
Είδη γραφείου	Θήκες υπολογιστών, Πληκτρολόγια, Εφαρμογές εκτύπωσης
Ρουχισμός	Αδιάβροχα, Σωσίβια, Σόλες παπουτσιών, Πλαστικές μπότες/γαλότσες, δερματίνη

Στο συνολικό μερίδιο της παγκόσμιας αγοράς, κυριαρχεί ο κατασκευαστικός τομέας με ποσοστά 19,97% σε χρήση ως κατασκευαστικό υλικό (πατώματα, κουφώματα σε πόρτες και παράθυρα), 21,37% σε μεμβράνες και 16,42% σε φύλλα PVC σύμφωνα με το διάγραμμα 7.



Διάγραμμα 7: Τομείς χρήσης PVC [22]

2.4.3 Πλαστικοποιητές

Το PVC χωρίζεται σε δύο κατηγορίες: στο πλαστικοποιημένο και στο μη πλαστικοποιημένο PVC. Ο διαχωρισμός αυτός προκύπτει από την προσθήκη κάποιων χημικών ενώσεων που ονομάζονται πλαστικοποιητές [25].

Ο κατά IUPAC ορισμός των πλαστικοποιητών (International Union of Pure and Applied Chemistry) είναι ο εξής: “Πρόκειται για μια ένωση η οποία ενσωματώνεται στο υλικό (συνήθως πλαστικό ή ελαστομερές) με σκοπό την αύξηση της ευκαμπτότητας, λειτουργικότητας και διατασιμότητας του υλικού. Οι πλαστικοποιητές, μπορούν να μειώσουν το ιξώδες τήγματος του υλικού, το σημείο υαλώδους μετάπτωσης και το μέτρο ελαστικότητας του τελικού προϊόντος” [30].

Σήμερα, παράγονται περίπου 300 είδη πλαστικοποιητών παγκοσμίως, εκ των οποίων 100 χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία. Στον πίνακα 3, παρουσιάζονται οι πιο

κοινοί πλαστικοποιητές που χρησιμοποιούνται στην αγορά , μαζί με στοιχεία για το μοριακό βάρος, ιξώδες, ειδικό βάρος τους [31].

Πίνακας 3: Στοιχεία των πιο ευρέως χρησιμοποιημένων πλαστικοποιητών

Plasticizers	Carbon chain	Molecular weight	Vapor pressure, Pa ^a (mm Hg @ 200°C)	Specific gravity 25° / 25°C	Viscosity, mPa.s(cP)@25°C
Dinormalhexyl phthalate (DnHP)	16 ^b	335	400	1.008	30
Diisooheptyl phthalate (DIHP)	7	362	280	0.983	30
Diheptyl phthalate (DnHP)	17	362	253	0.983	30
Di(2-ethylhexyl) phthalate (DEHP)	8	391	173	0.982	58
Diheptylnonyl phthalate (DnHNP)	17, 19	398	147	0.978	49
Dinormaloctyldecyl phthalate (DNODP)	16, 18, 110	401	80	0.965	34
Diheptylnonylundecyl phthalate (DnHNUP)	17, 19, 111	414	107	0.969	41
Diisononyl phthalate (DINP)	9	418	67	0.970	72
Dinonyl phthalate (DNP)	9	418	57	0.971	80
Dinormalnonyl phthalate (DnNP)	19	418	43	0.967	39
Diisodecyl phthalate (DIDP)	10	447	47	0.964	88
Dinormalnonyldodecylundecyl phthalate (DnNDUP)	19, 110, 111	450	40	0.958	48
Dinonylundecyl phthalate (DnNUP)	19, 111	458	40	0.954	50
Diundecyl phthalate (DUP)	111	475	80	0.952	54
Diisoundecyldodecyl phthalate (DUDP)	11, 12	502	20	0.955	185
Ditridecyl phthalate (DTDP)	13	530	11	0.951	160
Di(2-ethylhexyl) teraphthalate (DOTP)	8	391	160	0.981	63
Butylbenzyl phthalate (BBP)	4, 7	312	253	1.119	42
Diheptylnonyl adipate (DnHNA)	17, 19	370	440	0.920	12
Di(2-ethylhexyl) adipate (DEHA)	8	370	307	0.924	14
Diisononyl adipate (DINA)	9	398	227	0.924	2.0
Diisodecyl adipate (DIDA)	10	426	77	0.916	25
Triheptylnonyl trimellitate (TnHNTM)	17, 19	530	16	0.984	105
Tri(2-ethylhexyl) trimellitate (TOTM)	8	530	21	0.987	220
Triisononyl trimellitate (TINTM)	9	589	13	0.975	315
Di(2-ethylhexyl) sebacate (DOS)	8	426	131	0.911	25
Di(2-ethylhexyl) azelate (DOZ)	8	412	147	0.914	15

Το PVC, είναι το μόνο πολυμερές που μπορεί να λάβει μεγάλες ποσότητες πλαστικοποιητών. Κάτι τέτοιο, οφείλεται στο γεγονός ότι σαν υλικό χαρακτηρίζεται ως ημικρυσταλλικό, αποτελείται δηλαδή από άμορφες, και κρυσταλλικές περιοχές. Λόγω αυτής της ιδιαιτερότητας, χωρίς την παρουσία προσθέτων-όπως είναι οι πλαστικοποιητές- το PVC θα είχε περιορισμένες εφαρμογές στη βιομηχανία [32]. Οπότε η επιλογή κατάλληλου πλαστικοποιητή, αποτελεί σημαντική παράμετρο για την παραγωγή ενός προϊόντος με ικανοποιητικές ιδιότητες.

Οι φθαλικοί εστέρες θεωρούνται ως το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο είδος πλαστικοποιητών που παράγεται παγκοσμίως. Ο συνδυασμός των εξαιρετικών ιδιοτήτων που παρουσιάζουν, με την χαμηλή τιμή στην αγορά, καθιστούν τους φθαλικούς εστέρες ως την πρώτη επιλογή προσθέτου για το πλαστικοποιημένο PVC [31].

Μηχανισμοί πλαστικοποίησης

Για την σωστή επίδραση του πλαστικοποιητή, απαιτείται πλήρης ανάμειξη και ενσωμάτωση στην πολυμερική μήτρα του PVC. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται με θέρμανση και ανάμιξη μέχρι τη διάλυση της ρητίνης στη πολυμερική μήτρα. Στη συνέχεια, το πλαστικοποιημένο πλέον υλικό, μορφοποιείται και ψύχεται σε κάποιο τελικό προϊόν. Το είδος του πλαστικοποιητή, επηρεάζει την ευκολία με την οποία μορφοποιείται το πλαστικοποιημένο υλικό αλλά και τις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες του εύκαμπτου προϊόντος που παράγεται [30].

Όσον αφορά τους μηχανισμούς πλαστικοποίησης, έχουν αναπτυχθεί διάφορες θεωρίες. Μια σημαντική ανασκόπηση για την θεωρητική λειτουργία των πλαστικοποιητών περιγράφεται από τους Sears και Darby, με τις πιο κάτω θεωρίες [24], [30], [32]:

- Θεωρία Λίπανσης (Lubricating Theory)
- Θεωρία Ενδιάμεσου Σταδίου (Gel Theory),
- Θεωρία Ελευθέρου όγκου (Free Volume Theory)

Η θεωρία ελευθέρου όγκου, είναι η πιο κοινή θεωρία που χρησιμοποιείται για την επεξήγηση του μηχανισμού πλαστικοποίησης [32]. Ελεύθερος όγκος ορίζεται ως ο διαθέσιμος εσωτερικός χώρος στο εσωτερικό του πολυμερούς. Με την αύξηση του εσωτερικού όγκου, διευκολύνεται η κίνηση των μορίων της πολυμερικής αλυσίδας. Εφόσον τα μακρομόρια των κρυσταλλικών πολυμερών είναι τοποθετημένα σε συγκεκριμένες θέσεις και σε κοντινές αποστάσεις, ο ελεύθερος όγκος είναι χαμηλός και η δυνατότητα κίνησης των μακρομορίων μειώνεται. Κάτι τέτοιο καθιστά το πολυμερές σκληρό και δύσκαμπτο. Όταν το πολυμερές θερμαίνεται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από το σημείο υαλώδους μετάπτωσης (T_g), η θερμική ενέργεια και οι μοριακές δονήσεις δημιουργούν επιπλέον ελεύθερο όγκο, επιτρέποντας στα μόρια να διαπεράσουν το ένα το άλλο πιο γρήγορα. Ως αποτέλεσμα αυτού, το πολυμερές γίνεται πιο μαλακό και εύκαμπτο, με τον ελεύθερο όγκο να αυξάνεται, επιτρέποντας σε μικρά μόρια, όπως τα μόρια των πλαστικοποιητών να ενσωματώνονται στην πολυμερική αλυσίδα. Το σημείο υαλώδους μετάπτωσης μειώνεται, διαχωρίζοντας τα μακρομόρια του PVC, προσθέτοντας ελεύθερο όγκο.

Τοξικότητα πλαστικοποιητών

Παρόλο που με την προσθήκη πλαστικοποιητών βελτιώνονται οι ιδιότητες των υλικών, οι πλαστικοποιητές δεν παύουν να θεωρούνται τοξικές ως ενώσεις, οπότε η απομάκρυνση ή αντικατάστασή τους είναι απαραίτητη. Μπορούν να προκαλέσουν χρόνιες ενδοκρινικές και ορμονικές διαταραχές [28], [24].

Σύμφωνα με τον κανονισμό REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals), οι βιομηχανίες που χρησιμοποιούν πλαστικοποιητές οφείλουν να δηλώνουν στο σύστημα τα είδη των ουσιών που χρησιμοποιούνται με σκοπό την αξιολόγησή τους όσον αφορά την απόδοση, το κόστος αλλά και επιπτώσεις που επιφέρουν στην υγεία και το περιβάλλον. Από το 2007 που εφαρμόστηκε ο κανονισμός, πάνω από 50 είδη πλαστικοποιητών έχουν εισαχθεί στο σύστημα μεταξύ των οποίων είναι και οι φθαλικοί εστέρες DEHP, DIPP και DIHP. Ως αποτέλεσμα αυτού, η περιεκτικότητα των πλαστικοποιητών κατά βάρος δεν πρέπει να ξεπερνά το 0,1%, ειδικότερα αν πρόκειται για παιδικά παιχνίδια και είδη παιδικής φροντίδας [33].

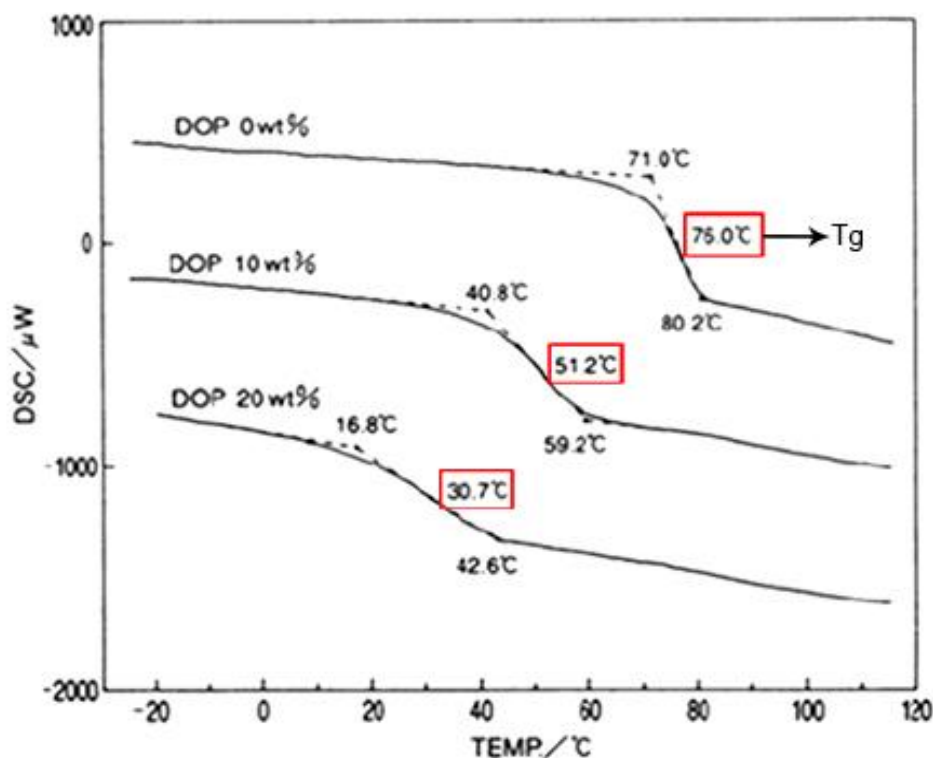
Σήμερα, πραγματοποιούνται έρευνες για την ανεύρεση εναλλακτικών και πιο φιλικών προς το περιβάλλον και την υγεία πλαστικοποιητών, με μεγάλη έμφαση στην σύνθεση φυτικών πλαστικοποιητών. Γίνονται έρευνες για τη χρήση εποξειδικού ελαίου ηλιοτροπίου (epoxidized sunflower oil-ESO), προς αντικατάσταση του DEHP [28].

Επομένως, η απομάκρυνση των πλαστικοποιητών από τα χρησιμοποιημένα δάπεδα είναι αναγκαία για την ανακύκλωσή τους.

2.5 ΠΛΑΣΤΙΚΟΠΟΙΗΤΕΣ ΚΑΙ ΣΗΜΕΙΟ ΥΑΛΩΔΟΥΣ ΜΕΤΑΠΤΩΣΗΣ

Το PVC είναι ένα ημικρυσταλλικό πολυμερές, δηλαδή αποτελείται από κρυσταλλικές και άμορφες περιοχές. Όλα τα άμορφα πολυμερή εμφανίζουν το λεγόμενο σημείο υαλώδους μετάπτωσης, όπου σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία οι πολυμερικές αλυσίδες αποκτούν κίνηση. Με την προσθήκη πλαστικοποιητών, η θερμοκρασία αυτή μειώνεται, προκαλώντας κίνηση στην πολυμερική αλυσίδα, επιτρέποντας στα μόρια των πλαστικοποιητών να συνδέονται με τα μακρομόρια. Έτσι το υλικό γίνεται μαλακό και εύκαμπτο.

Η περιεκτικότητα σε πλαστικοποιητή συνδέεται άμεσα με το σημείο υαλώδους μετάπτωσης. Σύμφωνα με το διάγραμμα 8, με την αύξηση της περιεκτικότητας σε πλαστικοποιητή, η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης μειώνεται. Για το PVC η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης χωρίς πλαστικοποιητές μπορεί να φτάσει τους 76° C [34].



Διάγραμμα 8: Εξάρτηση του Σημείου Υαλώδους Μετάπτωσης (T_g) από την περιεκτικότητα σε πλαστικοποιητές [34]

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, ένας από τους στόχους είναι η απομάκρυνση των πλαστικοποιητών μέσω επαναλαμβανόμενων διαλύσεων και καταβύθισεων. Μετά από κάθε πείραμα διάλυσης/ανακαταβύθισης, ένα δείγμα από ανακυκλωμένο πάτωμα τοποθετείται σε συσκευή DSC για τον υπολογισμό του σημείου υαλώδους μετάπτωσης. Η αύξηση της συγκεκριμένης θερμοκρασίας για κάθε δείγμα μετά από κάθε πείραμα διάλυσης/ανακαταβύθισης υποδεικνύει την απομάκρυνση των πλαστικοποιητών από την ανακτημένη ύλη.

2.6 ΔΑΠΕΔΑ PVC

Το πλαστικοποιημένο PVC, βρίσκει μεγάλη εφαρμογή στον κατασκευαστικό τομέα. Μία από τις κύριες χρήσεις του είναι στην κατασκευή δαπέδων. Υπάρχουν 3 είδη προϊόντων στην αγορά:

- ❖ Βινυλικό πάτωμα
- ❖ Τετράγωνα τύπου “χαλί”
- ❖ Ανθεκτικά βινυλικά δάπεδα τύπου SHEET

Τα δάπεδα από PVC αποτελούνται μέχρι και κατά 80% από ανθρακικό ασβέστιο. Οι πιο γνωστοί πλαστικοποιητές που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πλαστικών δαπέδων είναι οι: DINP,DEHP,DIBP,DIHP, BBP, εκ των οποίων οι DIHP,BBP,DIHP, DEHP είναι καταχωρημένοι στη λίστα REACH και χαρακτηρίζονται ως επικίνδυνες και τοξικές ως ενώσεις [30],[35].

Μετά το κύκλο ζωής του προϊόντος, τα δάπεδα απομακρύνονται και αντικαθίστανται από καινούργια. Τα χρησιμοποιημένα πλέον δάπεδα, δεν μπορούν να μεταφερθούν σε χώρο Υγειονομικής Ταφής, καθώς περιέχουν ενώσεις τοξικές για το περιβάλλον. Ο κύκλος ζωής των πλαστικών δαπέδων φτάνει από 10 μέχρι και τα 50 χρόνια [25].

3. ΕΠΙΛΕΚΤΙΚΗ ΔΙΑΛΥΣΗ / ΑΝΑΚΑΤΑΒΥΘΙΣΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, χρησιμοποιείται η μέθοδος της Επιλεκτικής Διάλυσης/Ανακαταβύθισης (ΕΔΑ) που έχει ως σκοπό τη διάλυση και ανάκτηση καθαρού ανακυκλωμένου PVC, απαλλαγμένου από αδιάλυτα υλικά (ίνες, άλλα πολυμερή, ανόργανα κλπ) και κυρίως, πλαστικοποιητές.

Κατά τη διεργασία χρησιμοποιείται σύστημα διαλύτη/αντιδιαλύτη. Ο διαλύτης που επιλέγεται πρέπει να είναι οργανικός και να διαλύει επιλεκτικά ένα συγκεκριμένο πολυμερές, με σκοπό τον διαχωρισμό του από τα υπόλοιπα πολυμερή που αποτελούν τα προς επεξεργασία απόβλητα. Η χρήση διαλυτών σε αυτή τη μέθοδο ανακύκλωσης πλαστικών είναι ιδιαίτερα σημαντική. Η διάλυση του πλαστικού αποβλήτου σε κάποιο κατάλληλο διαλύτη συμβάλλει στη σημαντική μείωση του όγκου των πλαστικών απορριμμάτων [36]. Ο αντιδιαλύτης που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι είτε οργανικός είτε ανόργανος. Με την προσθήκη του αντιδιαλύτη, το πολυμερές ανακτάται μέσω καταβύθισης.

Μέσα από τη διεξαγωγή πειραμάτων και ερευνών, έχουν εξαχθεί αποτελέσματα για την απόδοση διάφορων συστημάτων διαλύτη/αντιδιαλύτη για την ανάκτηση διάφορων πλαστικών, όπως : πολυ-βινυλο χλωρίδιο (PVC), τερεφθαλικός πολυεστέρας (PET) , πολυστυρένιο (PS), υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE) , χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (LDPE) κ.ά. [37].

Τα συστήματα διαλύτη/αντιδιαλύτη που μελετήθηκαν είναι [38] , [39]:

- Ξυλένιο/Κ-εξάνιο
- Τολουένιο/Κ-εξάνιο
- ΜΕΚ/Μεθανόλη
- ΜΕΚ/κ-εξάνιο
- Π-ξυλόλιο/κ-επτάνιο
- Ξυλένιο/η-προπανόλη
- Τολουένιο/Ακετόνη

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή συστήματος/διαλύτη αντιδιαλύτη για την ανάκτηση μεμονωμένων πολυμερών είναι η ικανότητα διάλυσης του διαλύτη, το ιξώδες του διαλυμένου πολυμερούς που λαμβάνεται, η ελάχιστη αναλογία διαλύτη/αντιδιαλύτη, η μορφή του πολυμερούς που λαμβάνεται με την καταβύθιση, αλλά και η περιεκτικότητά του σε διαλύτες. Ακόμη, πρέπει να ληφθεί υπόψη η

τοξικότητα του συστήματος διαλύτη/αντιδιαλύτη που προκύπτει, καθώς και ο επαρκής διαχωρισμός του, η αντίστοιχη κατανάλωση ενέργειας και το κόστος [39].

Κύριο πλεονέκτημα της μεθόδου της ΕΔΑ αποτελεί το γεγονός ότι το υλικό που ανακτάται έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με το παρθένο πολυμερές (αναλλοίωτη πολυμερική αλυσίδα, ρεολογικά χαρακτηριστικά) [38]. Υπάρχει λοιπόν η ικανότητα παραγωγής νέων προϊόντων καλής ποιότητας από τα ανακυκλωμένα υλικά που προκύπτουν από αυτή τη μέθοδο.

Πέρα από τις καλές ιδιότητες και την ποιότητα των ανακυκλωμένων υλικών, μια σημαντική παράμετρος που πρέπει να ληφθεί υπόψη για την εφαρμογή της ΕΔΑ είναι το κόστος. Μέσα από έρευνες εξάγεται το συμπέρασμα ότι Η εφαρμογή της διεργασίας σε μεγάλη κλίμακα, μπορεί να πραγματοποιηθεί. Ωστόσο, πρέπει να ληφθούν υπόψη και άλλοι παράγοντες για τον σχεδιασμό μιας μονάδας ΕΔΑ [39].

Πιο συγκεκριμένα [40]:

- Απαιτείται προσδιορισμός των βέλτιστων αναλογιών διαλύτη/αντιδιαλύτη. Το σύστημα διαλύτη/αντιδιαλύτη αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τον καθορισμό του κόστους της διεργασίας.
- Η ελαχιστοποίηση των απωλειών διαλύτη κατά τη διεργασία της ανάκτησης του υλικού, μέσω προσδιορισμού των τεχνικών χαρακτηριστικών της διεργασίας.
- Ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση του διαλύτη.
- Ο προσδιορισμός της χρονικής διάρκειας της εργασίας (ο χρόνος επηρεάζει τη διάλυση), την ηλεκτρική ενέργεια και το κεφάλαιο που απαιτείται για την ολοκλήρωση της διεργασίας.
- Για να προσδιορισθεί η οικονομικότερη διαδικασία, πρέπει να ληφθεί υπόψη η ακριβής ακολουθία της διαδικασίας.

Η επιλεκτική Διάλυση/ Ανακαταβύθιση ανήκει στην κατηγορία της δευτερογενούς μηχανικής ανακύκλωσης. Τα πλεονεκτήματά της να υπερτερούν έναντι άλλων μεθόδων ανακύκλωσης, πιο συγκεκριμένα:

- Το υλικό που ανακτάται είναι καθαρό καθώς αδιάλυτα πλαστικά και προσμίξεις απομακρύνονται με διήθηση.
- Με τη χρήση κατάλληλου συστήματος διάλυσης/αντιδιάλυσης, το τελικό υλικό που ανακτάται από τις επαναλαμβανόμενες διαλύσεις/ανακαταβυθίσεις λαμβάνεται με παρόμοιες ιδιότητες με το παρθένο υλικό.
- Διατηρείται η προστιθέμενη αξία του προϊόντος κατά τον πολυμερισμό.

- Ο όγκος των πλαστικών αποβλήτων μειώνεται.
- Λόγω της εκλεκτικότητας που παρουσιάζει ο διαλύτης, πραγματοποιείται εύκολος διαχωρισμός μιγμάτων πολυμερών (πλαστικών αποβλήτων).

Ωστόσο, η μέθοδος παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα, όπως:

- Οι διαλύτες και αντιδιαλύτες που χρησιμοποιούνται είναι τοξικοί, τόσο για την υγεία του ανθρώπου, όσο και για το περιβάλλον.
- Το κόστος αναπλήρωσης διαλύτη/αντιδιαλύτη είναι αρκετά υψηλό.
- Λόγω του μεγέθους των εγκαταστάσεων, αλλά και των βοηθητικών παροχών, το πάγιο κόστος είναι αρκετά μεγάλο.
- Για μεγαλύτερη ανάκτηση, απαιτούνται μεγάλοι χρόνοι διάλυσης.
- Απαιτούνται αντιδραστήρες μεγάλου όγκου.
- Εμφανίζεται δυσκολία στην απομάκρυνση και επαναχρησιμοποίηση των πρόσθετων ενώσεων που βρίσκονται ενσωματωμένα σε όλα τα πλαστικά.

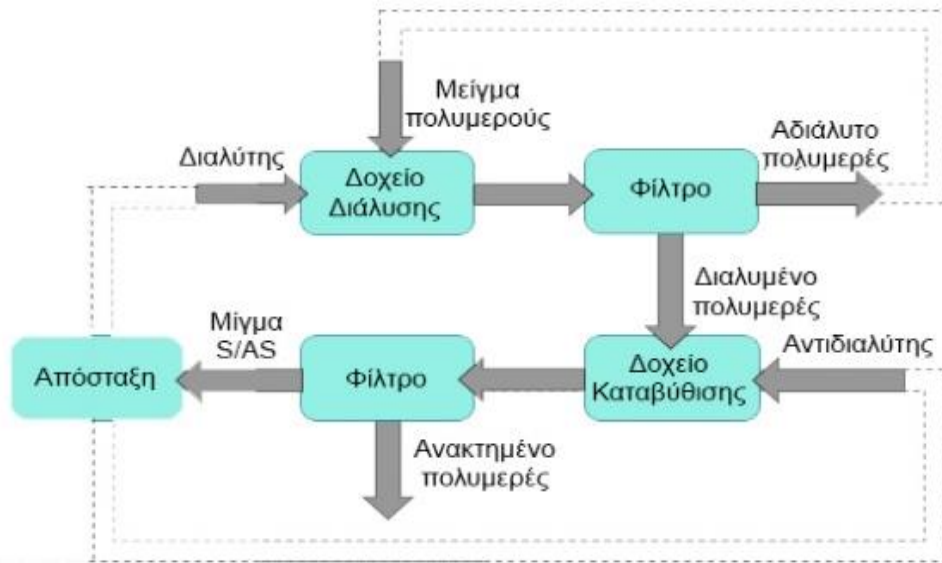
3.1 ΣΤΑΔΙΑ ΕΔΑ

Τα στάδια τα οποία ακολουθούνται κατά τη διεργασία της Επιλεκτικής Διάλυσης/Ανακαταβύθισης είναι:

- ❖ Τεμαχισμός των απορριμμάτων σε μικρά κομμάτια και όπου χρειάζεται πλύσιμο με νερό.
- ❖ Διαχωρισμός του αρχικού μίγματος πλαστικών -σε δύο ή περισσότερα μίγματα-με επίπλευση σε νερό ή κάποιο άλλο υγρό.
- ❖ Επιλεκτική διάλυση σε συγκεκριμένες συνθήκες ενός από τα πολυμερή του μίγματος.
- ❖ Διήθηση για την απομάκρυνση τυχόν αδιάλυτων πολυμερών.
- ❖ Προσθήκη αντιδιαλύτη προς καταβύθιση του πολυμερούς.
- ❖ Διήθηση και ξήρανση του ανακτημένου πολυμερούς.
- ❖ Διαχωρισμός μίγματος Διαλύτη/Αντιδιαλύτη με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή τους.

Για τα υπόλοιπα πολυμερή, η ανάκτηση πραγματοποιείται με επανάλυση της διεργασίας και χρήση κατάλληλου συστήματος διαλύτη/αντιδιαλύτη ή με την διαφοροποίηση των συνθηκών του πειράματος [39].

Τα μείγματα διαλυτών που χρησιμοποιούνται μπορούν να διαχωριστούν εύκολα με απόσταξη, ώστε να διασφαλίζονται ανακτήσεις της τάξης του 90-95% [36].



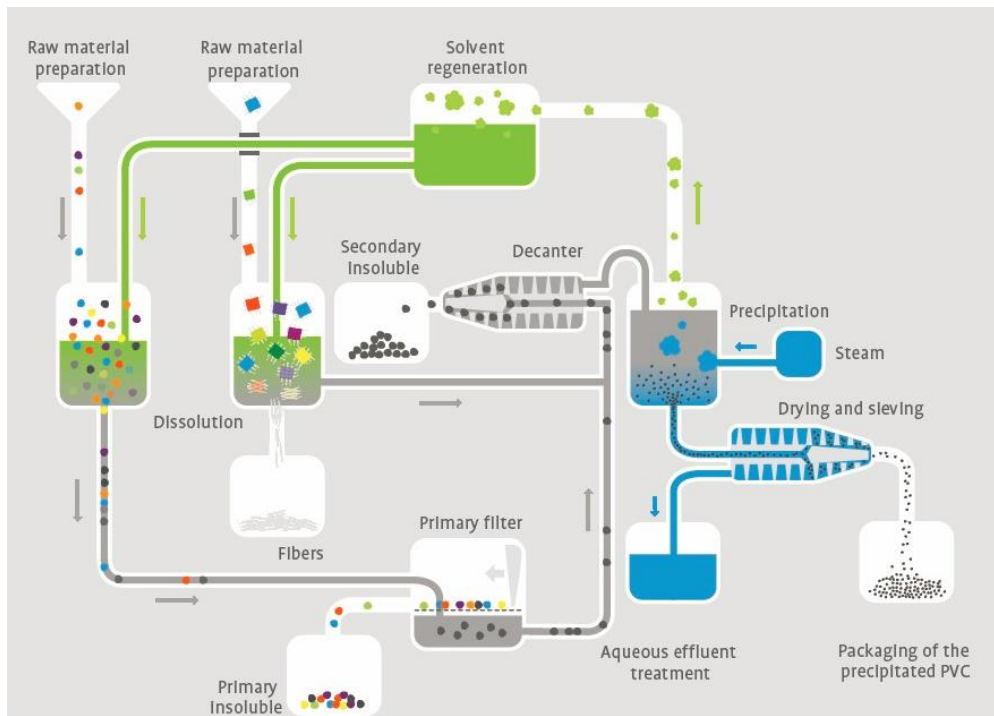
Σχήμα 1: Διεργασία της επιλεκτικής διάλυσης/ανακαταβύθισης [51]

Στη συνέχεια παρουσιάζεται μια βιομηχανική εφαρμογή του συστήματος αυτού με τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματά της.

3.2 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΕΔΑ: ΜΕΘΟΔΟΣ VINYLOOP

Η ανακύκλωση PVC με σύστημα οργανικού διαλύτη με αντιδιαλύτη νερό εφαρμόζεται στη διεργασία Vinyloop. Σύμφωνα με τη διεργασία, αρχικά πραγματοποιείται μια προ-επεξεργασία των χρησιμοποιημένων δαπέδων που περιλαμβάνει το πλύσιμο και τεμαχισμό τους σε μικρότερα κομμάτια, καθώς και την απομάκρυνση εξωγενών υλικών (πέτρες, υπολείμματα κόλλας κ.ά.) από την τροφοδοσία. Το υλικό που προκύπτει διαλύεται επιλεκτικά στον οργανικό διαλύτη. Σε αυτό το σημείο, πλαστικά τα οποία δεν διαλύονται στον οργανικό διαλύτη απομακρύνονται με διήθηση του διαλύματος. Ακολούθως ο αντιδιαλύτης προστίθεται υπό την μορφή ατμού στο σύστημα, προκαλώντας την καταβύθιση του PVC σε κόκκους. Τέλος ο διαλύτης αποστάζεται, συμπυκνώνεται και επαναχρησιμοποιείται [41].

Η διαδικασία είναι αποτελεσματική για την ανάκτηση του PVC, καθώς το προϊόν που ανακτάται παρουσιάζει υψηλή καθαρότητα, παρόμοια με το παρθένο υλικό. Θωρείται ως μια καλή εναλλακτική λύση για εταιρίες που παράγουν απορρίμματα PVC, αποφεύγοντας την αποτέφρωση ή υγειονομική ταφή. Ωστόσο, εμφανίζει το σημαντικό μειονέκτημα της μη απομάκρυνσης των πλαστικοποιητών, οι οποίοι, με τον τρόπο που γίνεται η καταβύθιση και η ανάκτηση διαλύτη, παραμένουν στο ανακυκλωμένο πολυμερές.



Σχήμα 2: Γενικό διάγραμμα ροής διεργασίας ΕΔΑ για μίγμα πολυμερών [41]

3.3 ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΕΔΑ ΓΙΑ ΤΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΔΑΠΕΔΑ PVC

Στην παρούσα εργασία η μέθοδος ΕΔΑ μελετήθηκε και τροποποιήθηκε κατάλληλα, ώστε να επιτυγχάνεται παραγωγή ανακυκλωμένου προϊόντος με επιθυμητή συγκέντρωση πλαστικοποιητών από χρησιμοποιημένα δάπεδα PVC. Ειδικότερα μελετήθηκε η χρήση της Μέθυλ-Αίθυλ-κετόνης (Methyl-Ethyl-Ketone/MEK) ως διαλύτη και του νερού ως ανόργανου αντιδιαλύτη. Το σύστημα MEK/ΝΕΡΟ παρουσιάζει την ιδιαιτερότητα της μερικής αναμιξιμότητας σε ορισμένες αναλογίες και της ύπαρξης αζεοτρόπου.

Παρά ταύτα το νερό επιλέγεται ως αντιδιαλύτης καθώς το PVC μπορεί να καταβυθιστεί με μικρή ποσότητα αντιδιαλύτη, σε αναλογίες πλήρους αναμιξιμότητας, δηλαδή σε αναλογία διαλύτη/αντιδιαλύτη 1:0,085 κατά βάρος.

Η επίτευξη του στόχου περιεκτικότητας 0,1% σε πλαστικοποιητές, πραγματοποιήθηκε μέσω διαδοχικών διαλύσεων/καταβυθίσεων/διηθήσεων και συμπιέσεων, με χρήση του κατάλληλου διαλύτη και αντιδιαλύτη.

Επίσης, για τον διαχωρισμό MEK/Νερού διερευνήθηκε η χρήση μοριακών κοσκίνων, ώστε να επιτευχθεί η βελτίωση της οικονομικότητας της διεργασίας.

Αναλυτικά η διεργασία, όπως τροποποιήθηκε παρουσιάζεται στην παράγραφο 5.1.3.1.

4. ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΜΟΡΙΑΚΑ ΚΟΣΚΙΝΑ

Το σύστημα MEK/NEPO που προκύπτει κατά τη διεργασία ανακύκλωσης, πρέπει να διαχωρισθεί για να επανατροφοδοτηθεί στη μονάδα ανακύκλωσης. Ωστόσο, ο πλήρης διαχωρισμός του συστήματος με τη μέθοδο της απόσταξης είναι αδύνατος, καθόσον το μίγμα MEK/NEPO εμφανίζει αζεότροπο στους 73,3°C. Μπορούν, όμως, να εφαρμοσθούν πιο εξειδικευμένες μέθοδοι απόσταξης, με σημαντικότερες [42], [43]:

- Απόταξη Αζεοτρόπου.
- Εκχυλιστική Απόσταξη.
- Απόσταξη παρουσία αλάτων.

Οι περισσότερες από τις διεργασίες αυτές έχουν αυξημένο κόστος και απαιτούν μεγάλα ποσά ενέργειας. Σύμφωνα με τους Douglas and Feinberg [44], η πιο απλή και οικονομικότερη εναλλακτική μέθοδος διαχωρισμού είναι η Επιλεκτική Προσρόφηση.

Ως προσροφητικό μέσο, χρησιμοποιούνται τα μοριακά κόσκινα. Πρόκειται για μικρά πορώδη σωματίδια από ζεόλιθο, στα οποία η προσρόφηση λαμβάνει χώρα κυρίως στην επιφάνεια των πόρων ή σε συγκεκριμένες θέσεις μέσα στο σωματίδιο. Ο διαχωρισμός πραγματοποιείται με βάση τη διαφορά στο μέγεθος των μορίων του εκάστοτε συστήματος [45].

Στη βιομηχανία χρησιμοποιούνται κόσκινα μεγέθους πόρων 3-10^Å, ανάλογα με το σύστημα που εξετάζεται. Για το σύστημα MEK/NEPO, χρησιμοποιούνται μοριακά κόσκινα διαμέτρου 3^Å. Η ενεργή διάμετρος των μορίων του νερού (2,8^Å) είναι σχεδόν η ίδια με αυτήν των μοριακών κοσκίνων (3^Å), με αποτέλεσμα να γίνεται προσρόφηση μόνο νερού. Τα μόρια του MEK περνούν διαμέσου των κοσκίνων, προκαλώντας έτσι το διαχωρισμό [42].

Προσρόφηση (Adsorption):

Υπάρχουν δύο τρόποι προσρόφησης κάποιας ουσίας στα μοριακά κόσκινα:

- Προσρόφηση υγρού διαλύματος.
- Προσρόφηση μίγματος σε μορφή ατμού.

Από μελέτη των Carton et al. [46], έγινε σύγκριση των δύο διεργασιών για προσρόφηση μίγματος αιθανόλης-νερού σε μοριακά κόσκινα διαμέτρου 3^Å. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι κατά τη διεργασία όπου διοχετεύθηκε ως αέριο το μίγμα αιθανόλης-νερού, η ποσότητα νερού που απορροφήθηκε ήταν μεγαλύτερη. Στη περίπτωση της διεργασίας με υγρή φάση, ένα σημαντικό μειονέκτημα που

παρουσιάζεται είναι ότι κατά το τελικό στάδιο προσρόφησης κατακρατείται ποσότητα τροφοδοσίας στον κενό όγκο που δημιουργείται μεταξύ των κοσκίνων, εμποδίζοντας την προσρόφηση όλης της ποσότητας νερού από τα μοριακά κόσκινα. [43].

Στη βιομηχανία, η διεργασία διαχωρισμού αποτελείται από δύο στήλες, όπου και οι δύο περιλαμβάνουν μοριακά κόσκινα. Στην πρώτη στήλη, το σύστημα περνάει ως ρεύμα ατμού κινούμενο προς τα κάτω. Το νερό συγκρατείται από τα μοριακά κόσκινα, επιτρέποντας στους υπόλοιπους ατμούς –απομακρυσμένους πλέον από νερό-να συλλεχθούν στην έξοδο της στήλης. Η ροή προς τα κάτω προτιμάται, καθώς η ροή προς τα πάνω με ατμούς, μπορεί να προκαλέσει φθορά και απώλεια των μοριακών κοσκίνων, λόγω των τριβών που δημιουργούνται. Μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα, το ρεύμα της πρώτης στήλης κατευθύνεται στη δεύτερη στήλη, ούτως να ξεκινήσει η αναγέννηση των μοριακών κοσκίνων της πρώτης.

Η αναγέννηση των μοριακών κοσκίνων γίνεται στο στάδιο της εκρόφησης, με χρήση θερμών αδρανών αερίων (π.χ. άζωτο) ή και με ταυτόχρονη εφαρμογή κενού για να διευκολύνει την απομάκρυνση του νερού από τα μοριακά κόσκινα, με ανάκτηση της τάξεως του 90-95 % [45], [47].

Πρόκειται για ένα κρίσιμο στάδιο όσον αφορά σημαντικές παραμέτρους της διεργασίας όπως ο χρόνος και η ενέργεια.

Υπάρχουν δύο μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την αναγέννηση των μοριακών κοσκίνων:

- Αναγέννηση μέσω διακύμανσης της πίεσης (Regeneration through pressure variation – PSR)
- Αναγέννηση μέσω διακύμανσης της θερμοκρασίας (Regeneration through temperature variation – TSR)

Στη βιομηχανία, χρησιμοποιείται η πρώτη μέθοδος, κυρίως για ξήρανση αιθανόλης, με χρήση μοριακών κοσκίνων. Η αιθανόλη διοχετεύεται στο σύστημα ως ατμός.

Τα μοριακά κόσκινα έχουν ένα συγκεκριμένο όριο προσρόφησης. Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, τα μοριακά κόσκινα έχουν δυνατότητα προσρόφησης μέχρι 22% του βάρους τους.

Οι διεργασίες που χρησιμοποιούν μεταβαλλόμενες πιέσεις, λειτουργούν σε χαμηλότερα επίπεδα προσρόφησης, οπότε ο χρόνος ξήρανσης μειώνεται, εμποδίζοντας τη διακύμανση της θερμοκρασίας κατά τη διεργασία.

Με τη μείωση του χρόνου προσρόφησης, οι θερμοκρασίες διατηρούνται σταθερές και η θερμοκρασία προσρόφησης διατηρείται στην κλίνη των μοριακών κοσκίνων, με αποτέλεσμα να είναι διαθέσιμη παρέχοντας την κατάλληλη ενέργεια εκρόφησης στο στάδιο της αναγέννησης. Για κάθε κιλό προσροφημένο νερό, η θερμότητα προσρόφησης φτάνει τα 4186,8KJ. Για την αφαίρεση του νερού στο στάδιο της αναγέννησης, απελευθερώνεται η ίδια ποσότητα θερμότητας 4186,8 KJ (θερμότητα εκρόφησης).

Οπότε, εφόσον η θερμότητα προσρόφησης φυλάσσεται στα μοριακά κόσκινα και χρησιμοποιείται μεταγενέστερα στο στάδιο της εκρόφησης, αποτελεί μεγάλο οικονομικό πλεονέκτημα, καθώς συμβάλλει σημαντικά στη μείωση του κόστους και της ενεργειακής κατανάλωσης στη διεργασία [43].

Ουσιαστικά η μόνη ενέργεια που απαιτεί η διεργασία, είναι η ηλεκτρική ενέργεια για το σχηματισμό ατμού που θα διοχετευθεί στη στήλη με τα κόσκινα και η ηλεκτρική ενέργεια που θα χρησιμοποιηθεί από τις αντλίες της μονάδας.

Όσον αφορά τη μέθοδο με διακύμανση της θερμοκρασίας (TSR), το στάδιο της προσρόφησης απαιτεί χαμηλότερες θερμοκρασίες, ενώ αντίθετα τα στάδια της αναγέννησης υψηλότερες. Ως αποτέλεσμα η διεργασία εφαρμόζεται σπάνια σε βιομηχανική κλίμακα, γιατί αφενός είναι πιο αργή και αφετέρου λιγότερο αποτελεσματική σε σύγκριση με τη μέθοδο PSR [48].

Ως εκ τούτου, οι ερευνητικές δραστηριότητες επικεντρώνονται στην ανάπτυξη νέων μεθόδων αναγέννησης.

Μια εναλλακτική μέθοδος που προτείνεται, είναι η αναγέννηση με χρήση μικροκυμάτων (Microwaves). Αυτή η διεργασία υπερτερεί έναντι της αναγέννησης με διακύμανση πίεσης και θερμοκρασίας καθώς η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα κατευθείαν από τα ίδια τα μοριακά κόσκινα, παρέχοντας γρήγορη θέρμανση σε όλο τον όγκο των μοριακών κοσκίνων. Ταυτόχρονα περιορίζεται και η θέρμανση της στήλης στην οποία είναι τοποθετημένα τα κόσκινα. Ακόμη, τα θερμοκρασιακά προφίλ είναι διαφορετικά από εκείνα που ανακτώνται από συμβατικές μεθόδους θέρμανσης, καθώς η θερμοκρασία στο κέντρο των κοσκίνων είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία επιφάνειας, με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση ενέργειας. Τέλος η αναγέννηση με μικροκύματα μπορεί αν επαναλαμβάνεται χωρίς να επηρεάσει την ποιότητα των μοριακών κοσκίνων.

Οι έρευνες που έχουν διεξαχθεί για το συγκεκριμένο θέμα έχουν περιοριστεί σε εργαστηριακή κλίμακα καθώς για τη χρήση της συγκεκριμένης διεργασίας στη βιομηχανία απαιτείται περεταίρω διερεύνηση στο κομμάτι της θέρμανσης μεγάλου όγκου μοριακών κοσκίνων.

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

5.1 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΔΑΠΕΔΩΝ PVC

5.1.1 Προσδιορισμός περιεκτικότητας πλαστικοποιητών στην πρώτη ύλη

Σύμφωνα με έναν από τους σημαντικότερους κατασκευαστές δαπέδων από PVC, η περιεκτικότητα των πλαστικοποιητών ανέρχεται στο 22% κατά βάρος. Στο συγκεκριμένο ποσοστό συμπεριλαμβάνονται και οι πιο ευρέως χρησιμοποιημένες φθαλικές ενώσεις, οι οποίες είναι: DINP, DEHP, DIBP, DIHP, BBP. Οι φθαλικές ενώσεις DIHP, BBP, DIHP και DEHP βρίσκονται καταχωρημένες στη REACH με αποτέλεσμα να χαρακτηρίζονται ως επικίνδυνες και ακατάλληλες ουσίες. Οπότε, η απομάκρυνση αυτών των ουσιών είναι ιδιαίτερα σημαντική.

Ωστόσο, δεδομένου ότι πρώτη μας ύλη αποτελείται από ανακυκλωμένα δάπεδα από πολλούς διαφορετικούς κατασκευαστές και χρήσεις, αρχικά πραγματοποιήθηκε ένα προκαταρκτικό πείραμα για τον προσδιορισμό του ποσοστού πλαστικοποιητών, που περιέχονται στην πρώτη ύλη.

Ο προσδιορισμός των πλαστικοποιητών πραγματοποιήθηκε με χρήση εκχύλισης Soxhlet. Η εκχύλιση Soxhlet αναπτύχθηκε το 1879 από τον Γερμανό χημικό Franz von Soxhlet, από τον οποίο έλαβε και το όνομά της. Αρχικά χρησιμοποιήθηκε για τον προσδιορισμό λιπιδίων στο γάλα. Σήμερα χρησιμοποιείται για την εκχύλιση και απομάκρυνση λιπιδίων και γενικά οργανικών ενώσεων από στερεά. Καλύτερα θα μπορούσε να χαρακτηριστεί με τον όρο «έκπλυση» παρά εκχύλιση, καθώς σκοπός είναι η απομάκρυνση οργανικών ενώσεων μεγάλου μοριακού βάρους ή όπως στην περίπτωση μας ενώσεων που προκαλούν προβλήματα στην περαιτέρω ανάλυση ή επεξεργασία του στερεού [48],[49].

Μια συσκευή Soxhlet αποτελείται από σφαιρική φιάλη στη οποία τοποθετείται ο κατάλληλος διαλύτης, την στήλη Soxhlet και τέλος από ψυκτήρα. Τέλος για την λειτουργία του συστήματος απαιτείται θερμαινόμενη βάση.

5.1.1.1 Αρχή λειτουργίας:

Η στήλη Soxhlet είναι κατασκευασμένη με τέτοιο τρόπο ώστε με τη θέρμανση του διαλύτη, οι ατμοί περνούν πρώτα από το ψυκτήρα, συμπυκνώνονται, με τον υγρό πλέον διαλύτη να μεταφέρεται στο σημείο της στήλης όπου είναι τοποθετημένο το στερεό δείγμα. Το στερεό δείγμα διαβρέχεται και η ουσία που θέλουμε να εκχυλίσουμε, μεταφέρεται στη μάζα του κατάλληλου διαλύτη. Όταν ο ειδικός χώρος

στη στήλη Soxhlet γεμίσει με διαλύτη, τότε ο διαλύτης μαζί με την ουσία επιστρέφουν στη σφαιρική φιάλη, όπου φρέσκος διαλύτης εξατμίζεται για να συμπυκνωθεί και να περάσει εκ νέου στο τμήμα που περιέχεται το στερεό δείγμα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για όσο χρειάζεται.

Ως διαλύτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια διεργασία Soxhlet είναι: το εξάνιο, η αιθανόλη και ο διαιθυλεθέρας. [49, 50]. Στην παρούσα εργασία για τον προσδιορισμό των πλαστικοποιητών στο PVC χρησιμοποιήθηκε διαιθυλεθέρας.

5.1.1.2 Πειραματική διαδικασία:



Εικόνα 2: Πειραματική διάταξη Soxhlet

Αρχικά, ποσότητα 10 g τεμαχισμένων χρησιμοποιημένων δαπέδων, μεταφέρθηκε σε προζυγισμένο διηθητικό χαρτί. Το διηθητικό χαρτί σφραγίστηκε και τοποθετήθηκε στη στήλη Soxhlet. Το διηθητικό χαρτί μαζί με την πρώτη ύλη ζυγίστηκε πριν την τοποθέτησή του στο σωλήνα. Στη σφαιρική φιάλη τοποθετήθηκαν 200 ml διαιθυλαιθέρα μαζί με προζυγισμένο μαγνητάκι ανάδευσης. Το σύστημα τέθηκε σε λειτουργία στους 150° C σε 500 rpm. Στα πρώτα 20 λεπτά σημειώθηκε ο πρώτος κύκλος εκχύλισης. Η διαδικασία συνεχίστηκε για περίπου 16 ώρες. Παρατηρήθηκε αλλαγή στο χρώμα του διαλύματος της σφαιρικής φιάλης, από

άχρωμο σε ανοιχτό κίτρινο. Το κίτρινο χρώμα αποδίδεται στη παρουσία πλαστικοποιητών.

Για την παραλαβή των φθαλικών ενώσεων, το δείγμα στη σφαιρική φιάλη τοποθετήθηκε σε διάταξη εξάτμισης/συμπύκνωσης, όπου ο διαλύτης ανακτήθηκε καθαρός ως διήθημα ενώ ως υπόλειμμα ελήφθησαν οι φθαλικές ενώσεις οι οποίες είχαν την μορφή κίτρινου ελαιώδους υγρού. Το ελαιώδες υγρό τοποθετήθηκε σε φούρνο υπό κενό -προς ξήρανση-σε θερμοκρασία 100°C και κενό 900 mbar. Τέλος η σφαιρική φιάλη ζυγίστηκε και έτσι προσδιορίστηκε η ποσότητα των φθαλικών ενώσεων που περιέχονταν στο δείγμα της πρώτης ύλης.

Η περιεκτικότητα σε φθαλικές ενώσεις βρέθηκε ίση με 22%, δηλαδή είναι μέσα στο εύρος τιμών που χρησιμοποιούνται από τις εταιρείες παρασκευής δαπέδων PVC [35].

5.1.2 Υπολογισμός περιεκτικότητας σε πληρωτικό υλικό (filler)

Το πληρωτικό υλικό (filler) που τοποθετείται στα πλαστικά δάπεδα αποτελείται κυρίως από ανθρακικό ασβέστιο και από άλλες αδρανείς χημικές ενώσεις. Ο filler τοποθετείται με σκοπό την τροποποίηση των ιδιοτήτων των πλαστικών ή τη μείωση του κόστους τους [50].

Το πείραμα που επιχειρήθηκε να διεξαχθεί για τη μέτρηση της ποσότητας του filler εμφάνισε πολλά προβλήματα στα ποσοστά ανάκτησης του πολυμερούς και του διαχωρισμού του filler, ο οποίος βρίσκεται σε πολύ λεπτή διασπορά στο διάλυμα και ο διαχωρισμός του με μηχανικά μέσα είναι πολύ δύσκολος.

Λόγω αυτής της δυσκολίας έγινε αποδεκτό το μέσο ποσοστό που δόθηκε από τον προμηθευτή της πρώτης μας ύλης (ανακυκλωμένα δάπεδα) και το οποίο είναι ίσο με εκείνο του καθαρού PVC.

5.1.3 Ανακύκλωση PVC – Περιγραφή διαγράμματος ροής διεργασίας

Σκοπός του πειράματος είναι η ανάκτηση PVC από χρησιμοποιημένα πλαστικά δάπεδα με ταυτόχρονη απομάκρυνση των πλαστικοποιητών.

Η απομάκρυνση του πλαστικοποιητή που περιέχεται στην πρώτη ύλη επιτυγχάνεται με επαναλαμβανόμενες διαλύσεις και ανακαταβυθίσεις. Με αυτό τον τρόπο λαμβάνει χώρα σταδιακή αραίωση των πλαστικοποιητών (phthalates) που περιέχονται στο PVC καθώς με κάθε ανακαταβύθιση, οι πλαστικοποιητές μεταφέρονται στο διάλυμα διαλύτη/αντιδιαλύτη, λαμβάνοντας καθαρότερο PVC σε κάθε στάδιο.

Ως διαλύτης χρησιμοποιείται η Μέθυλ-Αίθυλ-Κετόνη (Methyl-Ethyl-Ketone) ή αλλιώς βουτανόνη-2 ή MEK (εφεξής ο διαλύτης θα αναφέρεται ως MEK) ενώ ως αντιδιαλύτης χρησιμοποιείται απιονισμένο νερό.

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου το Tg του PVC φτάσει κοντά στους 78° C, το οποίο αποτελεί ένδειξη αμελητέας περιεκτικότητας σε πλαστικοποιητές.

Πιο αναλυτικά, η ανακύκλωση χρησιμοποιημένων δαπέδων PVC με ταυτόχρονη απομάκρυνση των περιεχόμενων πλαστικοποιητών επιτυγχάνεται με 5 διαδοχικές διεργασίες Διάλυσης/Ανακαταβύθισης.

Το διάγραμμα ροής της διαδικασίας φαίνεται στο σχήμα 3.

Σε κάθε περίπτωση, μετά τη φάση διάλυσης/επανακαταβύθισης που πραγματοποιούνται διαδοχικά στο ίδιο δοχείο, το μίγμα διηθείται. Το διήθημα που προκύπτει αποτελείται από το μίγμα MEK/NEPO που περιέχει και πλαστικοποιητές, ενώ στο φίλτρο λαμβάνεται μίγμα PVC/filler στο οποίο εφαρμόζεται εκ νέου η διεργασία Διάλυσης/Επανακαταβύθισης.

Τα διηθήματα που προκύπτουν από τις 3 πρώτες καταβυθίσεις περιέχουν και σημαντικές ποσότητες πλαστικοποιητών. Για το λόγο αυτό ο διαχωρισμός τους γίνεται ως εξής: το μίγμα θερμαίνεται με στόχο την εξάτμιση MEK και νερού, οι ατμοί των οποίων διοχετεύονται σε στήλη με μοριακά κόσκινα διαμέτρου 3^Α. Το νερό προσροφάται στα μοριακά κόσκινα και ο διαλύτης λαμβάνεται τελικά καθαρός. Οι πλαστικοποιητές (Phthalates) παραμένουν ως υπόλειμμα.

Τα διηθήματα των υπόλοιπων διεργασιών όπως και τα συμπυκνώματα της ξήρανσης δεν περιέχουν μεγάλα ποσοστά πλαστικοποιητών οπότε διοχετεύονται κατευθείαν στην υγρή κατάσταση σε στήλη με μοριακά κόσκινα, όπου προσροφάται το νερό και ο διαλύτης λαμβάνεται καθαρός.

Και στις δυο περιπτώσεις απαιτείται αναγέννηση των μοριακών κοσκίων, η οποία επιτυγχάνεται με θέρμανση τους στους 250°C για 3 ώρες.

Το στερεό ρεύμα της φίλτρανσης μετά την 5^η και τελευταία καταβύθιση, οδηγείται σε ξηραντήρα, όπου λαμβάνεται το τελικό ανακτημένο PVC σε μορφή σκόνης.

Το ρεύμα των μη διαλυμένων στερεών, αποτελείται από υλικά όπως ίνες, κόλλες κλπ, τα οποία δεν διαλύθηκαν στην MEK. Περιέχει επίσης υπολειπόμενη ποσότητα PVC. Για το λόγο αυτό, υποβάλλεται σε δεύτερη Διάλυση/Επανακαταβύθιση με στόχο την αύξηση της συνολικής απόδοσης της

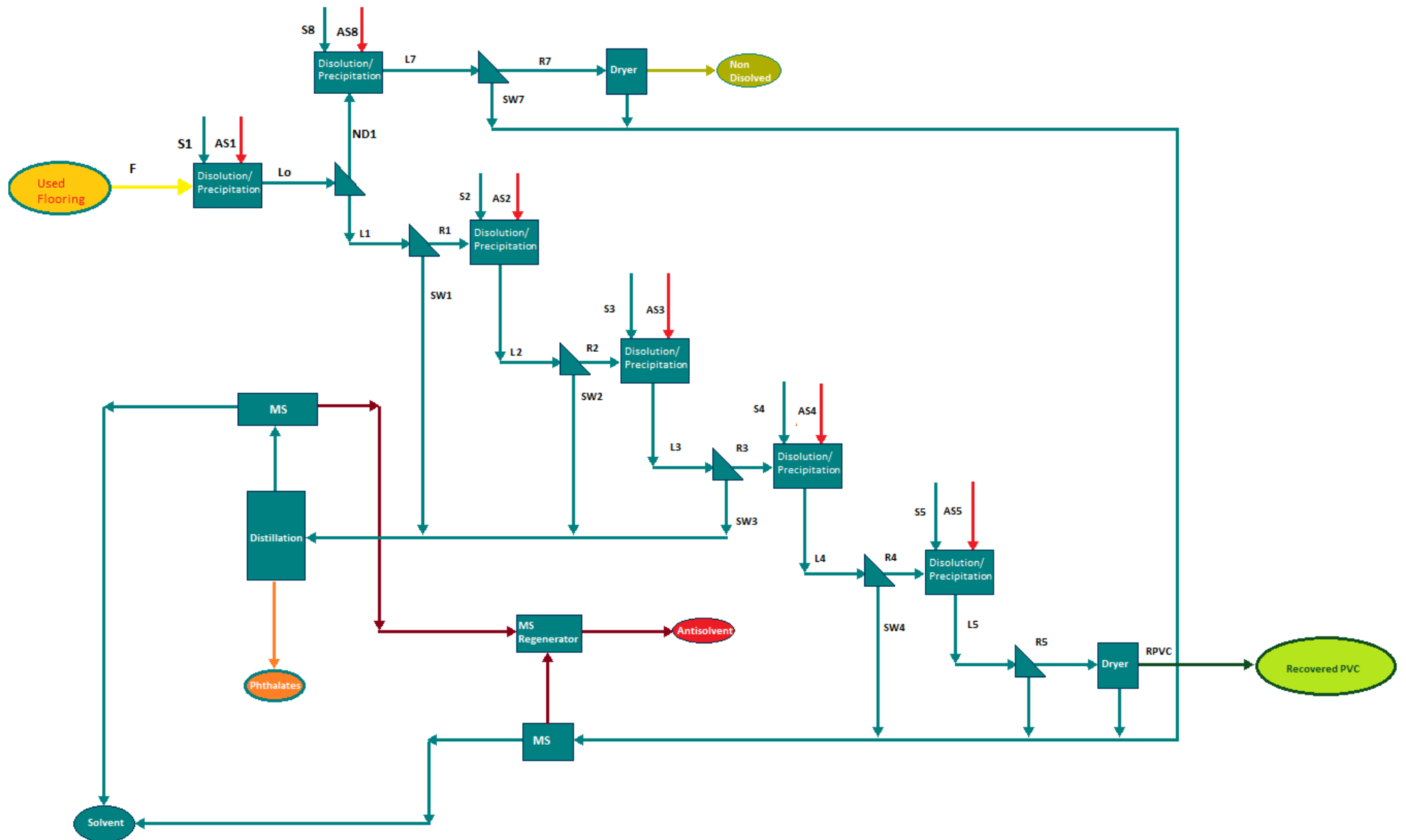
διεργασίας. Το στερεό που τελικά προκύπτει, μεταφέρεται σε ξηραντήρα, όπου λαμβάνονται τα αδιάλυτα πλαστικά (non dissolved).

Οι ποσότητες διαλύτη και αντιδιαλύτη που προκύπτουν από το διαχωρισμό με μοριακά κόσκινα και την αναγέννηση αυτών, χρησιμοποιούνται εκ νέου ως τροφοδοσία στην επόμενη παρτίδα ανακύκλωσης.

Στον πίνακα 4, επεξηγούνται τα σύμβολα για το διάγραμμα ροής της διεργασίας (Σχήμα 3) που ακολουθεί.

Πίνακας 4: Υπόμνημα συμβόλων του διαγράμματος ροής

F	Ρεύμα χρησιμοποιημένων δαπέδων
Si	Ρεύμα Διαλύτη
ASi	Ρεύμα Αντιδιαλύτη
ND	Ρεύμα αδιάλυτων πλαστικών
Li	Ρεύμα υγρού
Ri	Στερεό που ανακτάται από τη φίλτραση
SWi	Ρεύμα απόβλητων
MS	Στήλη με μοριακά κόσκινα
Phthalates	Πλαστικοποιητές



Σχήμα 3: Διάγραμμα ροής της διεργασίας ανακύκλωσης

5.1.3.1 Πειραματική διαδικασία

Σε δοχείο ανάδευσης τοποθετείται ποσότητα χρησιμοποιημένων δαπέδων και διαλύτης MEK, με το μίγμα να αναδεύεται για 3 ώρες. Στη συνέχεια κατάλληλη ποσότητα νερού προστίθεται στάγδην, προκαλώντας την καταβύθιση του PVC. Ακολούθως το σύστημα διηθείται. Το στερεό που λαμβάνεται στο διηθητικό χαρτί συμπιέζεται για 15 λεπτά ανάμεσα σε δύο μεταλλικές πλάκες με επιβολή βάρους 60 kg.

Σημείωση: Το στερεό που ανακτάται μετά από κάθε διήθηση και συμπίεση θα αναφέρεται ως “ΠΑΣΤΑ” και ο όρος “ΥΓΡΑΣΙΑ” αναφέρεται στην ποσότητα MEK/NEPOY που κατακρατείται στη μάζα του στερεού. Η περιεκτικότητα της πάστας σε στερεά είναι η διαφορά 100-ποσοστό υγρασίας.

Μετά τη συμπίεση, κάθε φορά, λαμβάνεται ποσότητα δείγματος από τη συμπιεσμένη πάστα η οποία μεταφέρεται σε φούρνο υπό κενό. Στη συνέχεια το ξηρό δείγμα, τοποθετείται σε συσκευή Θερμιδομετρίας Διαφορικής Σάρωσης (Differential Scanning Calorimetry-DSC), όπου προσδιορίζεται το σημείο υαλώδους μετάπτωσης. Τέλος, λαμβάνεται δείγμα από το κάθε διήθημα που προκύπτει από τη διαδικασία της διήθησης, για μέτρηση της περιεκτικότητας σε νερό με τη χρήση συσκευής Karl Fischer (Παράρτημα II).

Το στερεό που ανακτάται κατά την πρώτη καταβύθιση, μεταφέρεται εκ νέου στο δοχείο ανάδευσης με τη διαδικασία να επαναλαμβάνεται για ακόμη 4 φορές. Συνολικά πραγματοποιούνται 5 διαλύσεις/καταβυθίσεις.

Στην 1^η καταβύθιση η διαδικασία παρουσιάζει μια διαφοροποίηση. Απαιτείται μια επιπλέον διήθηση καθώς πρέπει να απομακρυνθούν τα αδιάλυτα στερεά (χαλίκια, υπολείμματα κόλλας, ίνες κλπ) που περιέχονται στην πρώτη ύλη. Για την απομάκρυνση των αδιάλυτων σωματιδίων, γίνεται μια πρώτη διήθηση - με χρήση σίτας - για την απομάκρυνση των αδιάλυτων σωματιδίων και στη συνέχεια μια δεύτερη διήθηση για την ανάκτηση της πάστας.

Τόσο τα αδιάλυτα πλαστικά, όσο και η πάστα που προκύπτει από τη 2^η διήθηση, συμπιέζονται και μεταφέρονται σε φούρνο κενού προς απομάκρυνση της υγρασίας που κατακρατήθηκε στη μάζα των στερεών και της πάστας. Η υπόλοιπη ποσότητα πάστας τοποθετείται στο δοχείο ανάδευσης για την 2^η καταβύθιση όπου επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία.

Σε κάθε πείραμα εξετάζονται οι πιο κάτω παράμετροι:

- Περιεκτικότητα της ανακτημένης πάστας σε υγρασία (MEK/NEPO)
- Το σημείο υαλώδους μετάπτωσης για κάθε καταβύθιση.

Σχόλια:

❖ Στάδιο διάλυσης/καταβύθισης:

Η κατά βάρος αναλογία χρησιμοποιημένων δαπέδων προς διαλύτη MEK είναι 1:6 και η αντίστοιχη κατά βάρος αναλογία ΝΕΡΟΥ/ΜΕΚ είναι 0,085:1.

Κάθε φορά η ανάδευση του διαλύματος ΜΕΚ/ΠΑΣΤΑ διαρκεί περίπου 3 ώρες για ικανοποιητική διάλυση του πλαστικού στον διαλύτη και κατά το στάδιο της καταβύθισης 1 ώρα.

Πριν την προσθήκη του αντιδιαλύτη, το σύστημα αφήνεται σε ηρεμία, όπου παρατηρείται η καθίζηση του στερεού στον πυθμένα του δοχείου ανάδευσης (Εικόνα 3).



Εικόνα 3: Το μίγμα πριν την τοποθέτηση του αντιδιαλύτη στην 1^η καταβύθιση

❖ Στάδιο διήθησης Αδιάλυτων:

Στο στάδιο της διήθησης των αδιάλυτων, τα στερεά στη σίτα εκπλένονται συνεχώς με το υπερκείμενο διάλυμα που προκύπτει από την καταβύθιση, όπως φαίνεται στις Εικόνες 4 και 5. Οι εκπλύσεις γίνονται με σκοπό την απομάκρυνση όποιας ποσότητας PVC τυχόν συγκρατήθηκε στα αδιάλυτα σωματίδια.

Παρατηρείται ότι όσο σχολαστικά και αν γίνεται η έκπλυση των αδιάλυτων σωματιδίων με το υπερκείμενο διάλυμα, πάντα μια ποσότητα πλαστικού παραμένει στην μάζα τους. Οπότε, στα αδιάλυτα τοποθετείται διαλύτης MEK και η διαδικασία διάλυσης, καταβύθισης και ξήρανσης επαναλαμβάνεται.



Εικόνα 4: Τα αδιάλυτα πλαστικά



Εικόνα 5: Το υπερκείμενο διάλυμα

❖ Στάδιο συμπίεσης:

Το στερεό που ανακτάται από την κάθε διήθηση, συμπιέζεται στις δύο πλάκες με σκοπό την απομάκρυνση ποσότητας υγρασίας που κατακρατείται στη μάζα της πάστας που έχει ανακτηθεί. Αποτελεί καθοριστικό στάδιο για την οικονομικότητα της διεργασίας, καθότι μειώνει τις ποσότητες των διαλυτών που απαιτούνται κατά τα επόμενα στάδια διάλυσης/καταβύθισης.

❖ Στάδιο ξήρανσης (φούρνος υπό κενό):

Από το απόβλητο που προκύπτει από τις διηθήσεις λαμβάνεται ποσότητα δείγματος η οποία μεταφέρεται σε φούρνο υπό κενό. Οι συνθήκες λειτουργίας του φούρνου υπό κενό, για όλα τα πειράματα είναι 120° C και επιβολή κενού στα 850 mbar.

Οι πλαστικοποιητές εξατμίζονται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 250° C, οπότε στις συγκεκριμένες συνθήκες λειτουργίας του φούρνου εξατμίζεται μόνο ο διαλύτης και ο αντιδιαλύτης ενώ οι φθαλικές ενώσεις παραμένουν ως υπόλειμμα. Μετά τη σταθεροποίηση της μάζας στο ποτήρι ζέσεως παρέμεινε ποσότητα κίτρινου ζελατώδους στερεού, που αποτελείται από τους πλαστικοποιητές.

Η απομάκρυνση των πλαστικοποιητών από το στερεό, μπορεί να διαπιστωθεί και από την παρατήρηση των μιγμάτων ΜΕΚ/ΝΕΡΟΥ που λαμβάνονται κατά τις διηθήσεις. Το διήθημα μετά την 1η καταβύθιση έχει έντονο κίτρινο χρώμα, το οποίο αποδίδεται στην παρουσία των πλαστικοποιητών. Με το πέρασμα των διαλύσεων και ανακαταβυθίσεων, το τελευταίο διήθημα γίνεται σχεδόν άχρωμο, ένδειξη απομάκρυνσης των πλαστικοποιητών.



Εικόνα 6: Τα απόβλητα που παράγονται κατά τη διεργασία ανακύκλωσης

5.1.3.2 Αποτελέσματα

Σε κάθε στάδιο του πειράματος όλες οι ποσότητες και σκεύη ζυγίζονται πριν και μετά από κάθε βήμα, ούτως ώστε να μπορούν να ληφθούν υπόψη στα ισοζύγια μάζας οι απώλειες που σημειώθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος. Στο Παράρτημα I παρουσιάζονται αναλυτικά τα ισοζύγια μάζας για το κάθε στάδιο της πειραματικής διαδικασίας.

Στον πίνακα 5, παρουσιάζεται ενδεικτική σύσταση πρώτης ύλης, όπως προσδιορίστηκε από τα αρχικά μας πειράματα και τα δεδομένα από τον προμηθευτή της

Πίνακας 5: Περιεκτικότητες συστατικών δαπέδων από PVC

ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΠΕΡΙΕΚΤΙΚΟΤΗΤΑ
PVC	35%
Πληρωτικό Υλικό(Fillers)	35%
Πλαστικοποιητές	22%
Αδιάλυτα σωματίδια	8%

Στον Πίνακα 6, παρουσιάζονται οι ποσότητες του πειράματος της 1ης Διάλυσης/Καταβύθισης.

Πίνακας 6 : Αρχικές ποσότητες πειράματος 1^{ης} Καταβύθισης

Χρησιμοποιημένα Δάπεδα (g)	100
MEK (g)	600
NEPO(g)	51
Πλαστικοποιητές (Phthalates) (g)	22

Το στερεό που ανακτάται στο κάθε στάδιο της διεργασίας ανακύκλωσης, δεν αποτελείται εξ ολοκλήρου από καθαρό PVC αλλά διατηρεί και κάποια από τα πρόσθετα που περιέχονται στα δάπεδα με κυριότερο το μέσο ενίσχυσης (filler) το οποίο στη προκειμένη περίπτωση είναι σκόνη ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3).

A. Προσδιορισμός της ανάκτησης PVC+ Filler

Η συνολική ανάκτηση και απόδοση σε στερεό υπολογίζεται αθροίζοντας την τελική ποσότητα ανακτημένου PVC, τις μάζες των ξηρών στερεών δειγμάτων που λαμβάνονται από κάθε επιμέρους στάδιο προς μέτρηση στη συσκευή DSC αλλά και οι μετρήσιμες απώλειες στερεού που παρέμειναν στα σκεύη και τα διηθητικά χαρτιά που χρησιμοποιήθηκαν.

Η συνολική ποσότητα στερεού που ανακτήθηκε με την πειραματική διαδικασία ήταν 65,1 g και περιείχε σε ίση αναλογία PVC και filler. Δεδομένου ότι η αρχική ποσότητα του PVC ήταν 35%, η ανάκτηση της διεργασίας τόσο σε καθαρό και σε μίγμα 50% σε PVC/Filler ανέρχεται σε 92,9 %.

B. Περιεκτικότητα υγρασίας στο στερεό

Η πάστα που λαμβάνεται μετά τη συμπίεση αποτελείται από MEK, νερό, πλαστικοποιητές, πληρωτικό υλικό και καθαρό πλαστικό PVC. Η ακριβής περιεκτικότητα σε υγρασία καθορίζεται πειραματικά μετά από κάθε καταβύθιση. Υπολογίζεται με βάση την ποσότητα υγρασίας που εξατμίζεται κατά το στάδιο ξήρανσης του δείγματος που λαμβάνεται μετά από κάθε συμπίεση.

Στον Πίνακα 7, παρουσιάζεται η περιεκτικότητα σε υγρασία (MEK/NEPO) που περιέχεται στην μάζα της πάστας που ανακτάται σε κάθε στάδιο της διεργασίας.

Πίνακας 7: Περιεκτικότητα Πάστας σε υγρασία

1 ^η καταβύθιση	2 ^η καταβύθιση	3 ^η καταβύθιση	4 ^η καταβύθιση	5 ^η καταβύθιση
57,9%	51,4%	58,5%	58,4%	55,8%

Ο μέσος όρος είναι 56,4%. Με τυπική απόκλιση $\pm 3,0\%$. Οι διαφοροποιήσεις που εμφανίζονται στα διάφορα στάδια αποδίδονται κατά κύριο λόγο στο γεγονός ότι οι συνθήκες συμπίεσης δεν είναι εντελώς επαναλήψιμες.

Από τα αποτελέσματα αυτά προκύπτει ότι το μέσο ποσοστό στερεών στην πάστα της διήθησης είναι 43,6 %.

Γ. Σημείο Υαλώδους Μετάπτωσης

Στο κάθε πείραμα ανάκτησης PVC μια μικρή ποσότητα δείγματος μεταφέρεται σε φούρνο υπό κενό προς απομάκρυνση οποιασδήποτε ποσότητας διαλύτη που μπορεί να κατακρατήθηκε στη μάζα του στερεού. Στη συνέχεια, το ξηρό δείγμα τοποθετείται σε όργανο DSC (Differential Scanning Calorimetry) για τον προσδιορισμό του σημείου υαλώδους μετάπτωσης.

Το σημείο υαλώδους μετάπτωσης αποτελεί ένδειξη της περιεκτικότητας του λαμβανόμενου PVC σε πλαστικοποιητές. Οι πλαστικοποιητές έχουν την ικανότητα να μειώνουν το σημείο υαλώδους μετάπτωσης του υλικού, κάνοντας το πιο εύκαμπτο. Οπότε μέσα από τις επαναλαμβανόμενες διαλύσεις και ανακαταβυθίσεις επιτυγχάνεται η σταδιακή αραίωση των πλαστικοποιητών στο PVC καθώς αυτές οι ουσίες απομακρύνονται κάθε φορά στο μίγμα MEK/NEPOY με την κάθε διήθηση.

Άρα σκοπός της διαδικασίας μέτρησης του σημείου υαλώδους μετάπτωσης (T_g) είναι να προσδιορίσουμε κατά πόσο απομακρύνθηκαν οι φθαλικές ενώσεις από το πρώτο (1^η καταβύθιση) μέχρι το τελικό δείγμα (5^η καταβύθιση), το οποίο αναμένεται να έχει απαλλαχθεί από τις φθαλικές ενώσεις. Για να θεωρηθεί ότι η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί με επιτυχία, αναμένεται ότι το σημείο υαλώδους μετάπτωσης (T_g) θα αυξάνεται σταδιακά μετά από κάθε διάλυση/ανακαταβύθιση,

Σύμφωνα με προηγούμενη διπλωματική εργασία, όπου έγινε ανάκτηση PVC από χρησιμοποιημένα δάπεδα με τη μέθοδο της EDA, το στερεό που ανακτήθηκε τοποθετήθηκε σε στήλη Soxhlet για 16 ώρες προς απομάκρυνση της ποσότητας πλαστικοποιητών. Αφού ολοκληρώθηκε η διεργασία απομάκρυνσης, μια ποσότητα δείγματος ξηραίνεται και υπολογίζεται το σημείο υαλώδους μετάπτωσης (T_g), το οποίο βρέθηκε ίσο με $78,3^\circ \text{C}$ [38]. Οπότε η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης για

το στερεό που ανακτάται κατά την 5^η καταβύθιση, αναμένεται να φτάσει κοντά στη συγκεκριμένη θερμοκρασία εις ένδειξη απομάκρυνσης των πλαστικοποιητών.

Για τη μέτρηση του σημείου υαλώδους μετάπτωσης τοποθετείται το εκάστοτε ξηρό δείγμα σε ειδική κάψουλα, με το βάρος του δείγματος να μην ξεπερνάει τα 10 mg, και τοποθετείται στη συσκευή DSC. Το δείγμα βρίσκεται σε μορφή λεπτής σκόνης ενώ στην κάψουλα που τοποθετείται στη συσκευή υπάρχει μια μικρή οπή για την απομάκρυνση τυχόν ποσότητας διαλύτη που μπορεί να περιέχεται ακόμη στο δείγμα.

Πραγματοποιούνται 2 κύκλοι θέρμανσης. Για τον προσδιορισμό του T_g αξιοποιείται ο δεύτερος κύκλος κατά τον οποίο θεωρείται ότι το δείγμα έχει ξηρανθεί πλήρως.

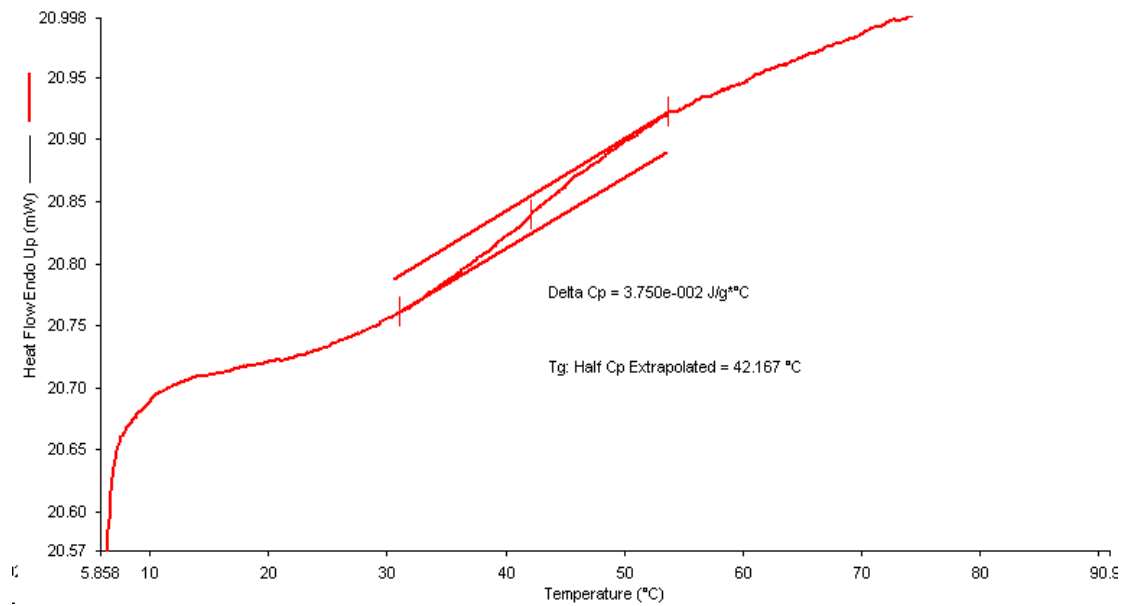
Αρχικά, το δείγμα θερμαίνεται από τους 5°C (initial temperature) στους 120°C, με αύξηση 10°C/min σχηματίζοντας καμπύλη μεταφοράς θερμότητας σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία [heat flow = f(T)]. Στη συνέχεια η θερμοκρασία διατηρείται για 10 λεπτά στους 120°C. Ακολούθως το δείγμα ψύχεται στους 5°C και σχηματίζεται η αντίστοιχη καμπύλη μεταφοράς θερμότητας σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία [heat flow = f(T)], κλείνοντας έτσι τον πρώτο κύκλο της διαδικασίας. Τέλος η διαδικασία επαναλαμβάνεται για ακόμα ένα κύκλο.

Οπότε μετά το πέρας των δύο κύκλων θέρμανσης/ψύξης σαν αποτέλεσμα λαμβάνουμε τις καμπύλες Heat flow = f(T).

Το σημείο υαλώδους μετάπτωσης υπολογίζεται με τη βοήθεια του λογισμικού του οργάνου.

ΔΕΙΓΜΑ 1: 1η Καταβύθιση

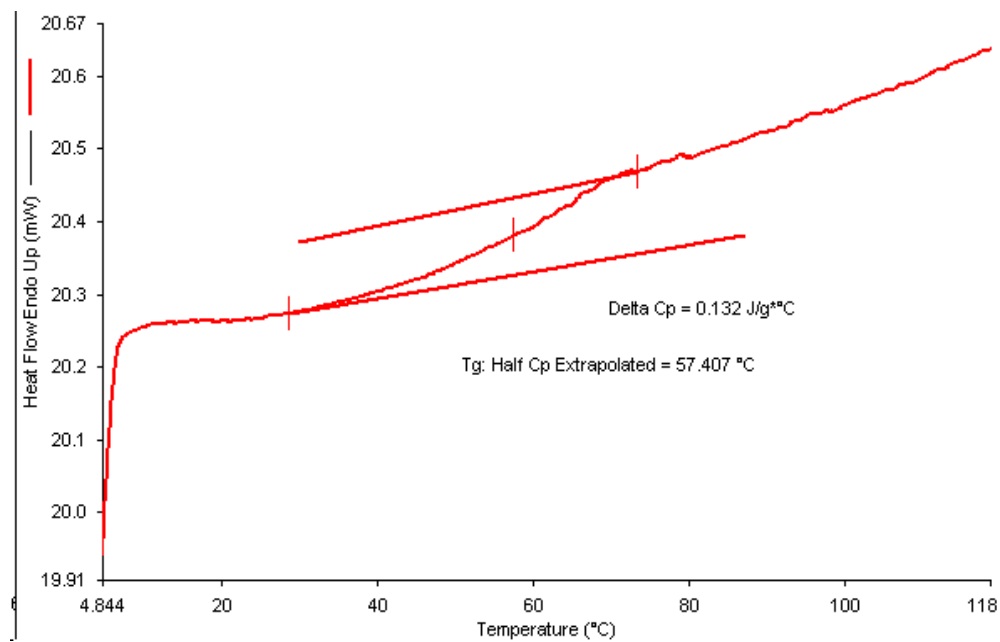
Από το ξηραμένο δείγμα πάστας λαμβάνεται ποσότητα 10,1 mg, η οποία τοποθετείται στη συσκευή DSC προς μέτρηση του σημείου υαλώδους μετάπτωσης. Για το πρώτο δείγμα, το σημείο υαλώδους μετάπτωσης (T_g) βρέθηκε ίσο με 42,2 °C. Η θερμοκρασία είναι αρκετά χαμηλή. Κάτι τέτοιο είναι αναμενόμενο, καθώς βρισκόμαστε στο πρώτο στάδιο της αραίωσης και η περιεκτικότητα των πλαστικοποιητών είναι ακόμη αρκετά υψηλή.



Διάγραμμα 9: Καμπύλη προσδιορισμού T_g για δείγμα στερεού από τη 1^η Καταβύθιση

ΔΕΙΓΜΑ 2: 2η Καταβύθιση

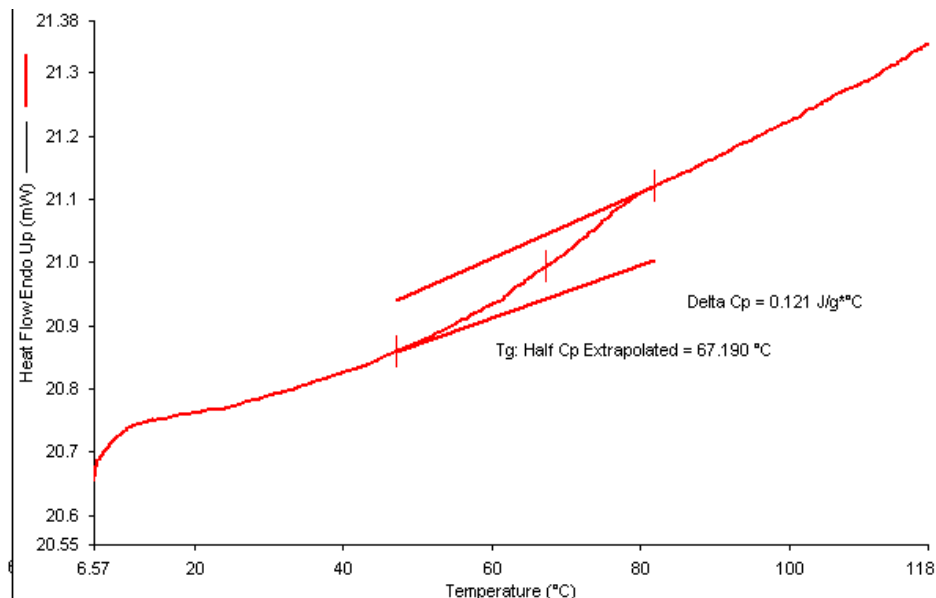
Στο δεύτερο δείγμα που τοποθετήθηκε στη συσκευή, παρατηρείται σημαντική αύξηση του T_g , το οποίο βρέθηκε ίσο με $T_g = 57,4^\circ \text{C}$



Διάγραμμα 10: Καμπύλη προσδιορισμού T_g για το δείγμα στερεού από τη 2^η Καταβύθιση.

ΔΕΙΓΜΑ 3: 3η ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΗ

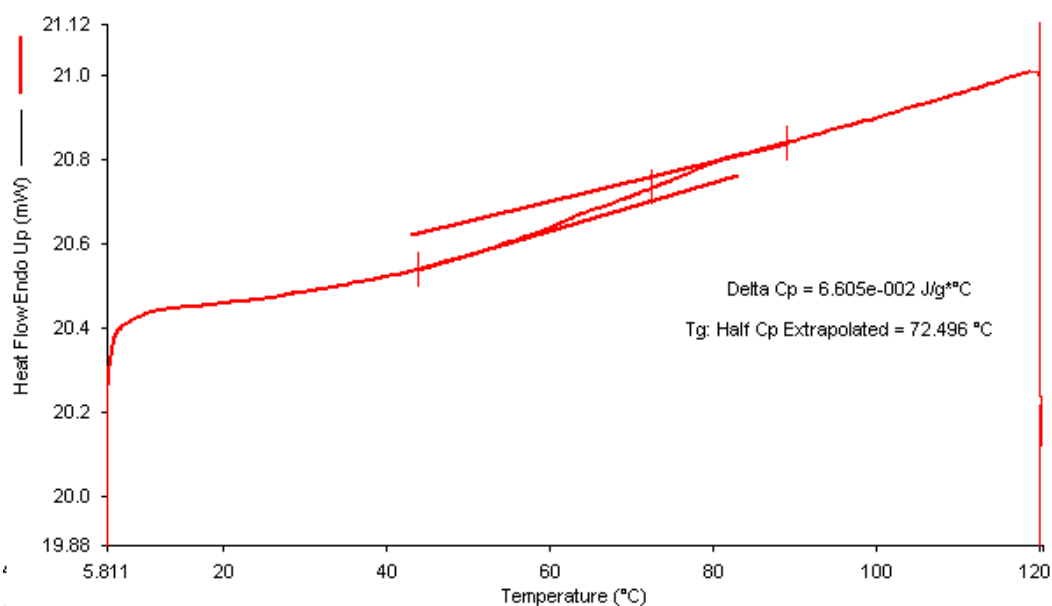
Για το δείγμα της τρίτης καταβύθισης παρατηρείται μεγάλη αύξηση στην τιμή της θερμοκρασίας κατά 10 βαθμούς, με το σημείο υαλώδους μετάπτωσης να φτάνει τους 67,2°C.



Διάγραμμα 11: Καμπύλη προσδιορισμού Tg για το δείγμα στερεού από τη 3η Καταβύθιση.

ΔΕΙΓΜΑ 4: 4η ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΗ

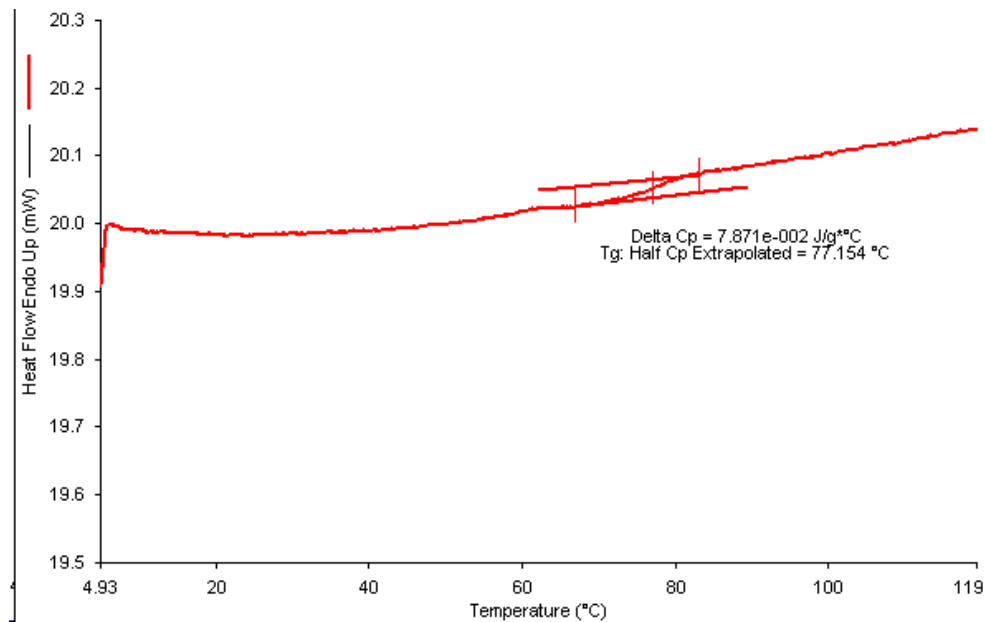
Για το δείγμα της τέταρτης καταβύθισης το Tg φτάνει την τιμή των 72,5° C. επιβεβαιώνοντας την περαιτέρω απομάκρυνση των πλαστικοποιητών από την πάστα.



Διάγραμμα 12: Καμπύλη προσδιορισμού T_g για το δείγμα στερεού από τη 4η Καταβύθιση

ΔΕΙΓΜΑ 5: 5η ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΗ

Για το δείγμα της πέμπτης και τελευταίας καταβύθισης το T_g λαμβάνει την τελική τιμή του. Το σημείο υαλώδους μετάπτωσης (T_g) βρέθηκε ίσο με $77,2^{\circ}\text{C}$.



Διάγραμμα 13: Καμπύλη προσδιορισμού T_g για το δείγμα στερεού από τη 5η Καταβύθιση

5.1.4 Αποτελέσματα-Σχολιασμός

Στον πίνακα 8, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα από όλες τις μετρήσεις που έγιναν.

Πίνακας 8: Συγκεντρωτικά αποτελέσματα από όλα τα πειράματα

Δείγμα	$T_g(^{\circ}\text{C})$
1	42,2
2	57,4
3	67,2
4	72,5
5	77,2

Παρατηρείται ότι η αύξηση του T_g είναι πιο έντονη στα πρώτα στάδια ενώ η αυξητική τάση μειώνεται καθώς προσεγγίζεται η οριακή τιμή του T_g .

5.2 ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΔΙΑΛΥΤΗ-ΑΝΤΙΔΙΑΛΥΤΗ

Στα προηγούμενα κεφάλαια αναπτύχθηκε η μέθοδος στην οποία λαμβάνεται το PVC σε μορφή σκόνης, απαλλαγμένο από πλαστικοποιητές. Σαν παραπροϊόν αυτής της διεργασίας λαμβάνεται το διάλυμα MEK/NEPO με ποσότητα φθαλικών ενώσεων (πλαστικοποιητών), καθώς με τις συνεχείς διαλύσεις και ανακαταβυθίσεις, η ποσότητα αυτών απομακρύνεται από το στερεό μέσα στο διήθημα MEK/NEPOΥ. Το διάλυμα MEK/NEPO είναι απαραίτητο να διαχωριστεί για να επανατροφοδοτηθεί ο διαλύτης στην μονάδα επεξεργασίας χρησιμοποιημένων δαπέδων,

Όπως φαίνεται στο διάγραμμα ροής της συνολικής διεργασίας, τα μίγματα MEK/NEPOΥ που προκύπτουν μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο κατηγορίες:

- Μίγμα MEK/NEPOΥ από τις 3 πρώτες καταβυθίσεις το οποίο περιέχει σημαντική ποσότητα πλαστικοποιητών.
- Μίγμα MEK/NEPOΥ από την 4^η και 5^η καταβύθιση και από τα διάφορα στάδια ξήρανσης στα οποία η ποσότητα πλαστικοποιητών είναι από ελάχιστη έως μηδενική

Σύμφωνα με το Σχήμα 3, διηθήματα μίγματος MEK/NEPOΥ λαμβάνονται από τον κάθε κύκλο ανακύκλωσης. Στα πρώτα τρία στάδια, το μίγμα MEK/NEPO περιλαμβάνει και σημαντικές ποσότητες πλαστικοποιητή, καθώς βρισκόμαστε στα πρώτα στάδια της αραίωσης. Για να μπορέσει να γίνει ο διαχωρισμός του μίγματος MEK/NEPOΥ με χρήση μοριακών κόσκινων, πρώτα πρέπει να απομακρυνθεί η ποσότητα των πλαστικοποιητών. Διαφορετικά, τα κόσκινα θα διαβραχούν με ποσότητα πλαστικοποιητών και θα πρέπει να γίνει καθαρισμός τους πριν την επόμενη χρήση τους.

Για να αποφευχθεί αυτό, πριν περάσει από τα μοριακά κόσκινα, το μίγμα MEK/NEPO/ΠΛΑΣΤΙΚΟΠΟΙΗΤΕΣ υποβάλλεται αρχικά σε μια διεργασία εξάτμισης. Οι πλαστικοποιητές λαμβάνονται ως υπόλειμμα και το σύστημα MEK/NEPO μεταφέρεται στα μοριακά κόσκινα. Το διάλυμα υπό τη μορφή ατμών, απαλλαγμένο από πλαστικοποιητές περνάει διαμέσου των μοριακών κόσκινων, όπου προσροφάται το νερό ενώ το MEK να λαμβάνεται καθαρό, κατάλληλο για επανατροφοδότηση στη διεργασία.

Τα απόβλητα από τους κύκλους 4-5 και την ξήρανση του προϊόντος, περιέχουν ελάχιστες ποσότητες πλαστικοποιητών, οπότε το σύστημα MEK/NEPO τοποθετείται κατευθείαν στα μοριακά κόσκινα για τον διαχωρισμό.

Συνεπώς πραγματοποιούνται δύο προσεγγίσεις:

A. Εξάτμιση μίγματος ΜΕΚ/ΝΕΡΟ/ΠΛΑΣΤΙΚΟΠΟΙΗΤΕΣ, και διοχέτευση των ατμών του στα μοριακά κόσκινα.

B. Απευθείας επαφή του υγρού μίγματος ΜΕΚ/ΝΕΡΟ με μοριακά κόσκινα.

Αρχικά πραγματοποιήθηκε μια σειρά πειραμάτων με στόχο την επιτυχή διαμόρφωση της διάταξης της πρώτης προσέγγισης, ώστε να εξασφαλίζεται:

- Η διέλευση του διαλύματος δια μέσω των κοσκίνων στην ατμώδη φάση.
- Η ομοιόμορφη θέρμανση της διάταξης.
- Οι συνθήκες του πειράματος, δηλαδή η θερμοκρασία - καθώς το μίγμα ΜΕΚ/ΝΕΡΟΥ παρουσιάζει αζεότροπο στους 73,3°C.
- Η ελαχιστοποίηση των απωλειών διαλυτών.
- Η επαρκής μόνωση του συστήματος.

Αναλυτικά τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν παρατίθενται στο Παράρτημα III ενώ στη συνέχεια περιγράφεται η πειραματική διάταξη όπως διαμορφώθηκε τελικά.

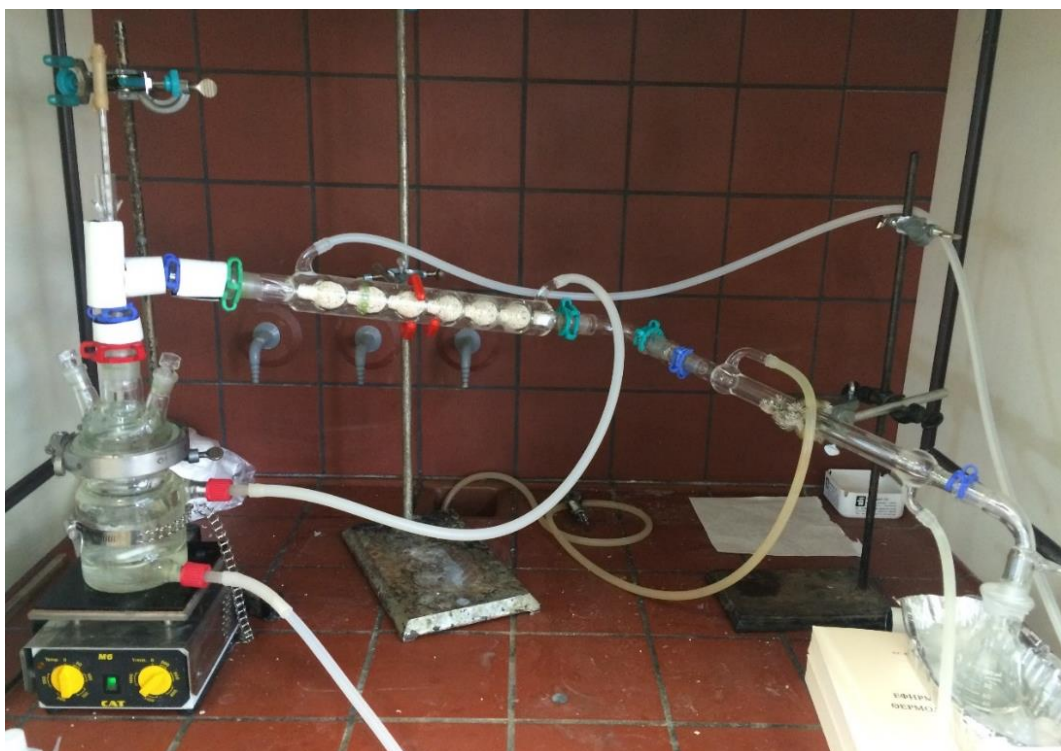
5.2.1 Πειραματική Διάταξη

Τα μοριακά κόσκινα είναι τοποθετημένα στο εσωτερικό ψυκτήρα τύπου Allihn. Στην εξωτερική πλευρά του ψυκτήρα διοχετεύεται το θερμαντικό ρευστό που θερμαίνει και το δοχείο εξάτμισης. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται η μη συμπύκνωση του μίγματος πάνω στα μοριακά κόσκινα, αφού το νερό συκρατείται, ενώ οι ατμοί της ΜΕΚ σε κατάσταση υπέρθερμου ατμού οδεύουν στον συμπυκνωτήρα που ακολουθεί και ψύχεται με νερό θερμοκρασίας περίπου 20°C.

Συμπυκνωτήρας:

Τοποθετείται στην έξοδο του αυλού που είναι τοποθετημένα τα μοριακά κόσκινα προς συμπύκνωση του ΜΕΚ που ανακτάται. Για τη συλλογή του αποστάγματος ΜΕΚ, τοποθετήθηκε παγόλουτρο με σκοπό τη μείωση απώλειας μάζας αποστάγματος λόγω της μεγάλης πτητικότητας που παρουσιάζει η ΜΕΚ και λόγω της λειτουργίας του απαγωγού, που εντείνει το φαινόμενο εξάτμισης ΜΕΚ.

Σε όλη τη συσκευή γίνεται χρήση μονωτικού υλικού (Εικόνα 7) με σκοπό τη μείωση του σχηματισμού συμπυκνώματος σε ανεπιθύμητα σημεία, όπως στην είσοδο του ψυκτήρα με τα κόσκινα.



Εικόνα 7: Τελική πειραματική διάταξη

5.2.2 Διαχωρισμός μίγματος ΜΕΚ/νερού από τη διεργασία ανακύκλωσης PVC

Στη διάταξη που περιγράφηκε παραπάνω πραγματοποιήθηκε ο διαχωρισμός μιγμάτων διαλυτών που παραλήφθησαν κατά την ανακύκλωση δαπέδων PVC. Συγκεκριμένα έγινε διαχωρισμός του διηθήματος που προέκυψε από την 1^η καταβύθιση και του διηθήματος που προέκυψε από την 5^η καταβύθιση. Στην πρώτη περίπτωση, το μίγμα εξατμίζεται πρώτα και οι ατμοί του έρχονται σε επαφή με μοριακά κόσκινα, ενώ στη δεύτερη περίπτωση το μίγμα έρχεται σε επαφή με μοριακά κόσκινα ως έχει, στην υγρή κατάσταση δηλαδή.

Σε κάθε πείραμα εξετάζεται:

- Η ποσότητα ΝΕΡΟΥ και ΜΕΚ που έχουν προσροφήσει τα μοριακά κόσκινα.
- Η περιεκτικότητα σε νερό του διηθήματος που προκύπτει. Για να θεωρηθεί ο διαχωρισμός επιτυχής η περιεκτικότητα σε νερό δεν πρέπει να ξεπερνά το 1% κατά βάρος.

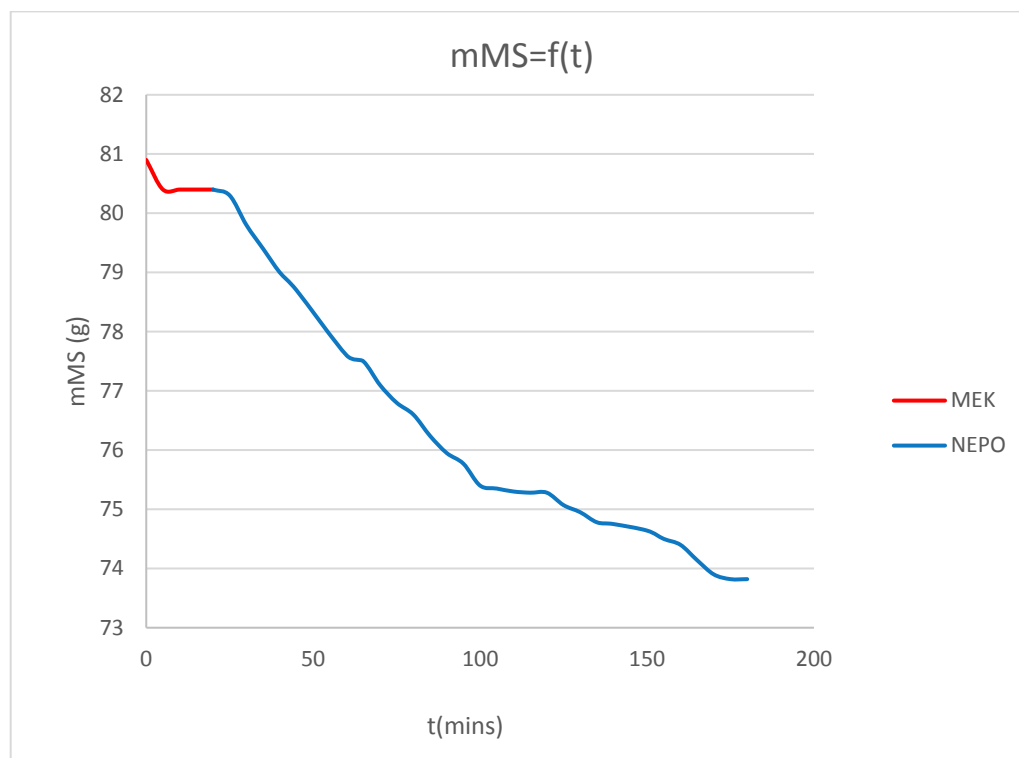
A. Επαφή των ατμών του μίγματος της 1^{ης} καταβύθισης με μοριακά κόσκινα

Λαμβάνονται 74,1 g διηθήματος μετά την 1^η καταβύθιση και τοποθετούνται στον εξατμιστήρα διπλού τοιχώματος. Η ποσότητα μοριακών κοσκίνων που τοποθετείται στο ψυκτήρα είναι 74,5 g. Τόσο στο διπλό τοίχωμα του δοχείου

εξάτμισης όσο και στου ψυκτήρα με τα κόσκινα, κυκλοφορεί νερό θερμοκρασίας 90° C. Το σύστημα τίθεται σε λειτουργία και διαδικασία τελειώνει μετά από 4 ώρες.

Στην έξοδο του δεύτερου ψυκτήρα λαμβάνεται διάφανο διήθημα και στο γυάλινο δοχείο κίτρινο ζελατώδες υπόλειμμα. Τα μοριακά κόσκινα μεταφέρονται σε φούρνο όπου κάθε 5 λεπτά, ζυγίζονται μέχρι σταθεροποίησης του βάρους τους.

Για 20 λεπτά ο φούρνος λειτουργεί στους 90°C και στη συνέχεια για ακόμη περίπου 3 ώρες στους 220°C.



Διάγραμμα 14 :Διάγραμμα μείωσης του βάρους των μοριακών κοσκίνων

Στα πρώτα 20 λεπτά στους 90° C , παρατηρείται μείωση της μάζας τους κατά 0,5g ως ένδειξη παρουσίας MEK στα μοριακά κόσκινα. Στη συνέχεια παρατηρείται απότομη πτώση στη μάζα των κοσκίνων μέχρι να σταθεροποιηθεί μετά από 2,5 ώρες ως ένδειξη απομάκρυνσης του νερού που προσρόφησαν στη μάζα τους τα μοριακά κόσκινα.

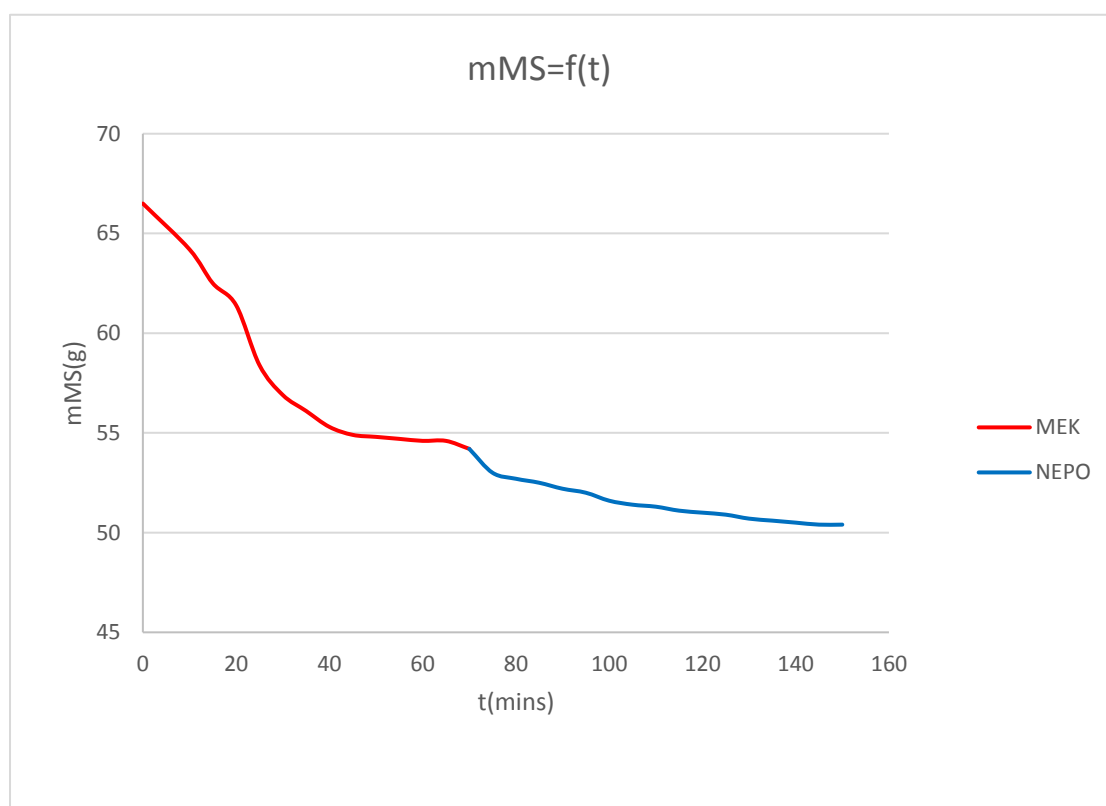
Η ποσότητα νερού που προσροφήθηκε από τα μοριακά κόσκινα είναι 5,95 g και η αντίστοιχη ποσότητα MEK 0,5 g. Το ποσοστό προσρόφησης ανέρχεται στο 8,7% κατά βάρος, ως προς την αρχική ποσότητα των μοριακών κοσκίνων, ενώ η MEK διαβρέχει τα μοριακά κόσκινα σε ποσοστό 0,7% του βάρους τους.

Όσον αφορά το διήθημα, μετρήθηκε με τη μέθοδο Karl Fischer η περιεκτικότητα σε νερό. Βρέθηκε ίση με 0,7%, με αποτέλεσμα ο διαχωρισμός να χαρακτηρίζεται ως επιτυχής.

B. Επαφή του υγρού μίγματος της 5^{ης} καταβύθισης με μοριακά κόσκινα

Λαμβάνεται ποσότητα δείγματος 50,1g από το πείραμα της 5^{ης} καταβύθισης και τοποθετείται κατευθείαν σε ποτήρι ζέσεως με 50,1 g μοριακά κόσκινα. Ακολούθως το σύστημα ΚΟΣΚΙΝΑ/ΜΕΚ/ΝΕΡΟ διηθείται και λαμβάνονται τα μοριακά κόσκινα ως υπόλειμμα στο διηθητικό χαρτί.

Το υπόλειμμα με τα μοριακά κόσκινα ζυγίζεται και τοποθετείται σε φούρνο για 70 λεπτά στους 90°C προς απομάκρυνση της ποσότητας ΜΕΚ που βρίσκεται στην επιφάνεια των κοσκίνων. Στη συνέχεια η θερμοκρασία του φούρνου αυξάνεται στους 220° C, όπου τα μοριακά κόσκινα παραμένουν για ακόμη 90 λεπτά, για να απομακρυνθεί η ποσότητας ΝΕΡΟΥ που απορρόφησαν τα κόσκινα. Κάθε 5 λεπτά τα μοριακά κόσκινα ζυγίζονταν μέχρι σταθεροποίησης της μάζας τους και για τις δύο περιπτώσεις θερμοκρασιών. Τέλος, χαράσσεται το διάγραμμα της μείωσης του βάρους των μοριακών κοσκίνων σε συνάρτηση με τον χρόνο. (Διάγραμμα 15)



Διάγραμμα 15 :Διάγραμμα μείωσης βάρους μοριακών κοσκίνων σε συνάρτηση με το χρόνο

Με βάση το διάγραμμα 15, παρατηρείται ότι στα 20 λεπτά, σημειώνεται μεγάλη πτώση του βάρους των κοσκίνων. Μετά το πέρας 70 λεπτών η μάζα των κοσκίνων σταθεροποιείται και η ποσότητα MEK που απομακρύνθηκε είναι ίση με 12,3 g. Στη συνέχεια, με τη θερμοκρασία στους 220° C, το βάρος των κοσκίνων σταθεροποιείται στα 160 λεπτά. Η συνολική ποσότητα νερού που απομακρύνθηκε από τα κόσκινα είναι 3,9 g. Τελικά, τα μοριακά κόσκινα προσρόφησαν 7,8% του βάρους τους σε νερό και κατακράτησαν το 24,6% του βάρους τους σε MEK.

Όσον αφορά το διήθημα, με τη μέθοδο Karl-Fischer προσδιορίστηκε η περιεκτικότητα σε νερό, ίση με 0,158%. Η συνθήκη για υγρασία μικρότερη του 1% ικανοποιείται, με τον διαχωρισμό να χαρακτηρίζεται ως επιτυχής.

6. ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΓΙΑ ΜΕΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗΣ

Στη βασική της διαμόρφωση, η διεργασία της επιλεκτικής διάλυσης και επανακαταβύθισης που εφαρμόζεται για την ανακύκλωση χρησιμοποιημένων δαπέδων χαρακτηρίζεται ως μη ενεργοβόρος, καθώς αποτελείται από απλά στάδια διάλυσης και διήθησης. Ωστόσο, σημαντικό κόστος προκύπτει από τη διαδικασία διαχωρισμού των μιγμάτων διαλύτη/αντιδιαλύτη/πλαστικοποιητών που προκύπτουν από τα διάφορα στάδια της διεργασίας, διαχωρισμός που αποσκοπεί τόσο στην επαναχρησιμοποίηση των διαλυτών στη διεργασία όσο και στην απομάκρυνση των πλαστικοποιητών.

Στο κεφάλαιο αυτό διερευνάται η επίδραση διαφόρων παραμέτρων της διεργασίας στην απαιτούμενη ενέργεια για το διαχωρισμό του μίγματος αυτού, η οποία τελικά καθορίζει και τη βιωσιμότητας μιας μονάδας μεγάλης κλίμακας για την ανακύκλωση δαπέδων PVC.

6.1 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΙΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ

Όπως έχει περιγραφεί σε προηγούμενα κεφάλαια, η απομάκρυνση του νερού επιτυγχάνεται με χρήση μοριακών κόσκινων. Ωστόσο, η παρουσία πλαστικοποιητών στο μίγμα διαλυτών δεν επιτρέπει την απευθείας επαφή του μίγματος με τα μοριακά κόσκινα, γεγονός που θα περιόριζε το κόστος διαχωρισμού του στο κόστος αναγέννησης των κοσκίνων. Αντιθέτως, ειδικά όσο αφορά τα μίγματα που προέρχονται από τις πρώτες καταβυθίσεις, απαιτείται η απομάκρυνση των πλαστικοποιητών πριν την επαφή του μίγματος με τα μοριακά κόσκινα, ώστε να αποφευχθεί η επιμόλυνση των κοσκίνων με πλαστικοποιητές. Για τον λόγο αυτό, επιβάλλεται η εξάτμιση του διαλύτη/αντιδιαλύτη από το διήθημα της καταβύθισης, ώστε να παραληφθούν οι πλαστικοποιητές ως υπόλειμμα, και ακολούθως η διοχέτευση των ατμών μέσω κλίνης μοριακών κοσκίνων.

Έτσι, στα μίγματα διαλυτών της 4^{ης}, 5^{ης} καταβύθισης αλλά και της ξήρασης (αδιάλυτων στερεών και ανακτημένου PVC) πραγματοποιείται η απομάκρυνση του νερού με απευθείας επαφή με μοριακά κόσκινα, καθώς περιέχουν πρακτικά αμελητέες ποσότητες πλαστικοποιητών. Αντιθέτως, στα μίγματα διαλυτών της 1^{ης}, 2^{ης}

και 3^{ης} καταβύθισης προηγείται εξάτμιση τους και ακολούθως επαφή των ατμών τους με μοριακά κόσκινα.

Με βάση τα παραπάνω ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το κόστος της διεργασίας είναι οι αναλογίες διαλύτη/στερεού και αντιδιαλύτη/διαλύτη στα στάδια διάλυσης/καταβύθισης.

Επιπλέον, μια σημαντική παράμετρος που συνεισφέρει καθοριστικά στην οικονομικότητα της μεθόδου είναι η αποτελεσματικότητα της διήθησης, δηλαδή το ποσοστό στερεού στην πάστα που προκύπτει από τα στάδια της διήθησης.

Έτσι, εξετάστηκε η μεταβολή της ενεργειακής κατανάλωσης της διεργασίας ως συνάρτηση των ακόλουθων παραμέτρων:

- Αναλογία διαλύτη/πρώτης ύλης (S/Feed).
- Αναλογία διαλύτη/στερεό για την 2^η -5^η διάλυση.
- Αναλογία αντιδιαλύτη/διαλύτη (AS/S) που απαιτείται για την καταβύθιση.
- Το ποσοστό στερεού που περιέχεται στο ανακτημένο PVC μετά τις διηθήσεις.

Ο υπολογισμός της κατανάλωσης ενέργειας βασίζεται στη χρήση των ενθαλπιών εξάτμισης νερού και MEK καθώς και της αντίστοιχης ενθαλπίας εκρόφησης του νερού από τα μοριακά κόσκινα κατά το στάδιο της αναγέννησής τους, οι οποίες παρατίθενται στον Πίνακα 9.

Πίνακας 9: Ενθαλπίες εξάτμισης των διαλυτών της διεργασίας

Διαλύτης	ΔHv (kJ/kg)
MEK	440
Νερό	2257
Νερό (εκρόφηση από MK)	4200

Σημειώνεται ότι η ενθαλπία εξάτμισης του νερού από τα μοριακά κόσκινα είναι διαφορετική από την κανονική ενθαλπία εξάτμισης του νερού, λόγω του ότι το νερό απομακρύνεται από τα μοριακά κόσκινα μέσω εκρόφησης.

Στη διερεύνηση που ακολουθεί έχει γίνει η αρχική παραδοχή ότι στην περίπτωση της αφυδάτωσης της MEK με απευθείας επαφή των μοριακών κοσκίων στην υγρή φάση, ένα ποσοστό 20% του MEK παραμένει πάνω στα κόσκινα και συνεπώς θα πρέπει να εξατμιστεί κατά το πρώτο στάδιο της αναγέννησης των κοσκίων, όπως αναπτύχθηκε ανωτέρω στην παράγραφο 5.2.2.B.

6.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΡΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

6.2.1 Αναλογία διαλύτη/πρώτης ύλης

Σημαντική παράμετρος αριστοποίησης, αποτελεί η αναλογία διαλύτη/πρώτης ύλης (S/F) της πρώτης διάλυσης. Η ελάχιστη αναλογία καθορίζεται πρακτικά από την ευκολία της ανάδευσης και κατ' επέκταση, την ευκολία διάλυσης του πλαστικού στον διαλύτη. Σε πολύ χαμηλές αναλογίες το σύστημα εμφανίζει υψηλό ιξώδες καθιστώντας την ανάδευση και διάλυση του PVC στον διαλύτη δύσκολη και ιδιαίτερα χρονοβόρα.

Για την εξέταση της μεταβολής της απαιτούμενης ενέργειας ως συνάρτηση της συγκεκριμένης παραμέτρου οι υπόλοιπες παράμετροι της διεργασίας διατηρούνται σταθερές, με εξαίρεση την αναλογία διαλύτη/στερεό (S_i/F_i) των διαλύσεων 2-5 η οποία τροποποιείται ώστε να εξασφαλίζεται κάθε φορά η προδιαγραφή της περιεκτικότητας του τελικού προϊόντος σε πλαστικοποιητές (>0,1%).

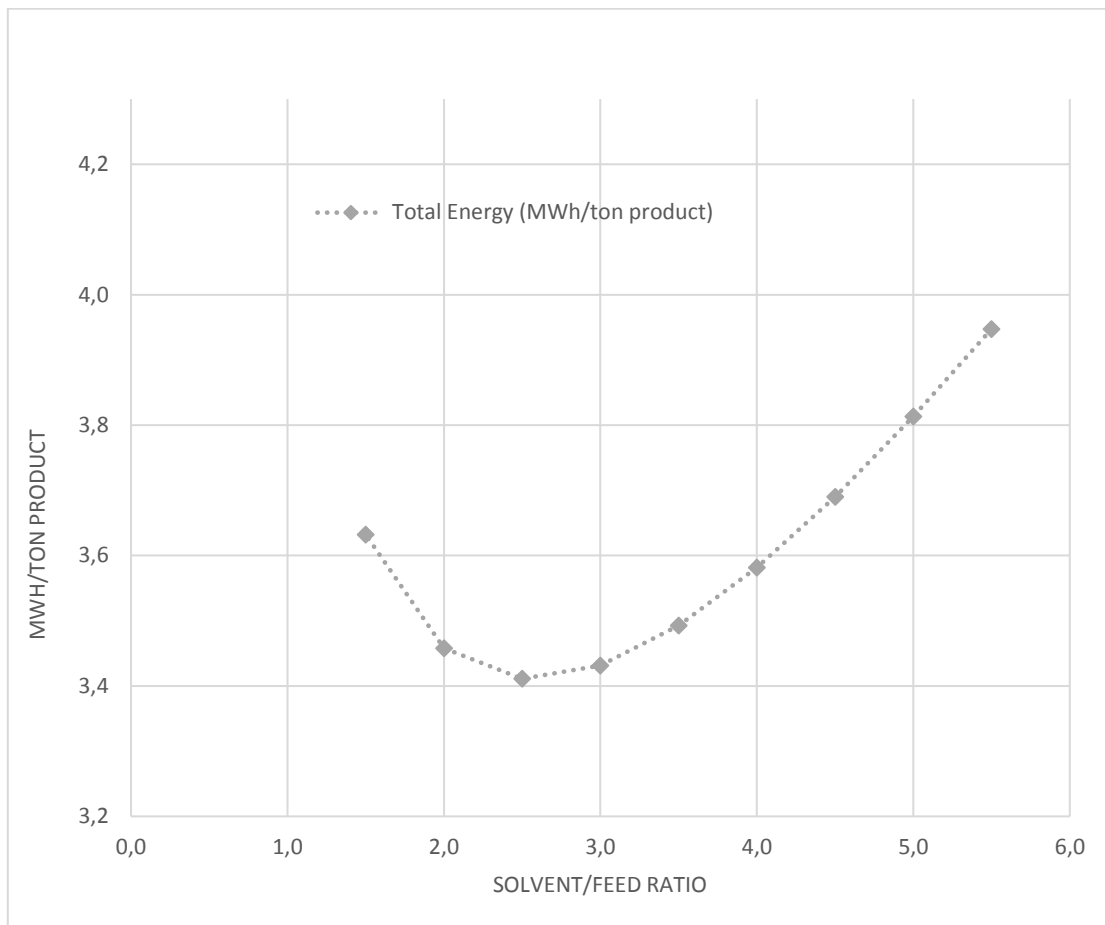
Οι τιμές των υπόλοιπων παραμέτρων δίνονται στο πίνακα 10.

Πίνακας 10: Μεταβολή αναλογίας Διαλύτη/Πρώτης ύλης για την 1^η καταβύθιση

S/F 1 ^{ης} διάλυσης (kg/kg)	Αναλογία ΑΔ/Δ (% wt)	Στερεό στην πάστα των φίλτρων (% wt)	S_i/F_i 2 ^{ης} -5 ^{ης} διάλυσης (kg/kg)	Κατανάλωση ενέργειας (MWh/ton)
1,5			1,54	3,63
2,0			1,40	3,46
2,5			1,29	3,41
3,0			1,21	3,43
3,5	8,0	40	1,14	3,49
4,0			1,09	3,58
4,5			1,04	3,69
5,0			1,00	3,81
5,5			0,96	3,95

Στο διάγραμμα 16, παρουσιάζεται η κατανάλωση ενέργειας σε συνάρτηση με την αναλογία διαλύτη/πρώτης ύλης.

Από τις τιμές του Πίνακα 10 και του Διαγράμματος 16, προκύπτει ότι η ενεργειακή κατανάλωση Παρατηρείται ότι το γράφημα εμφανίζει ελάχιστο (3,4 MWh/ton), το οποίο αντιστοιχεί στη βέλτιστη αναλογία διαλύτη/ πρώτη ύλη που βρέθηκε ίση με 2,6.



Διάγραμμα 16 :Συνολικό κόστος ενέργειας ανά αναλογία Διαλύτη/Πρώτης ύλης

6.2.2 Ποσοστό στερεού που περιέχεται στην πάστα μετά τη συμπίεση

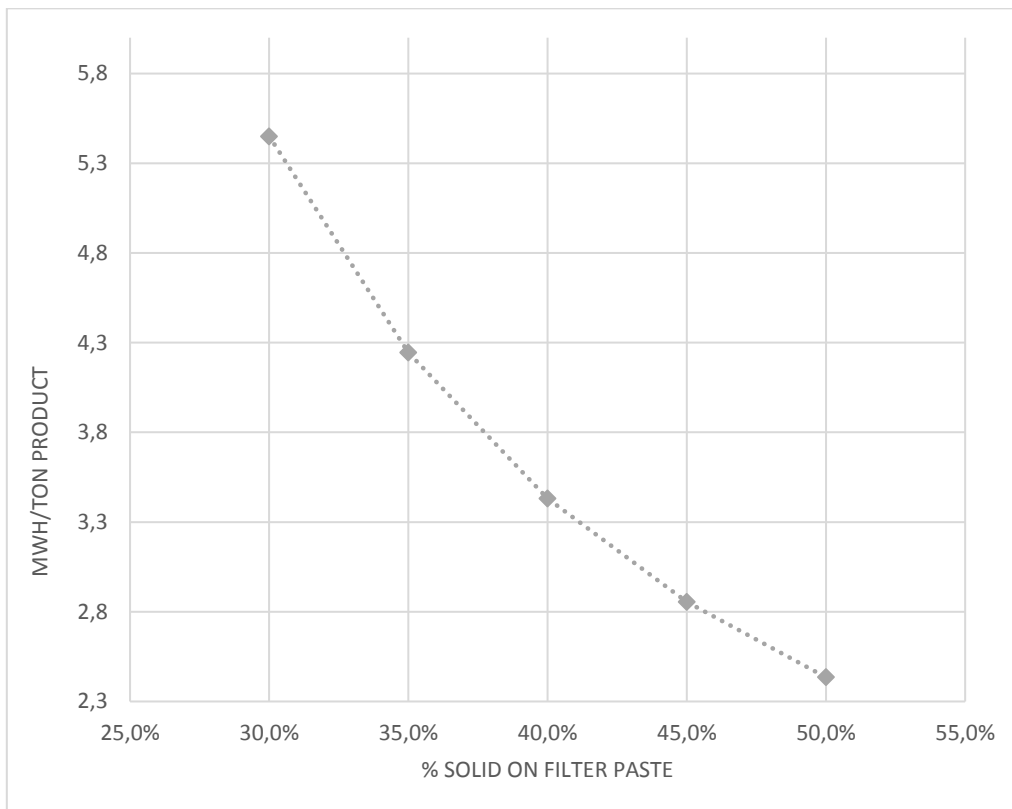
Το ποσοστό στερεού (PVC) που περιέχεται στην πάστα που ανακτάται μετά από κάθε διήθηση και συμπίεση συνδέεται άμεσα με το κόστος και την κατανάλωση ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, πιο αποτελεσματική συμπίεση έχει ως αποτέλεσμα καλύτερη απομάκρυνση των πλαστικοποιητών από το PVC που ανακτάται σε κάθε στάδιο και συνεπώς μικρότερες συνολικές απαιτήσεις σε διαλύτη και αντιδιαλύτη.

Και σε αυτή την περίπτωση οι υπόλοιπες παράμετροι της διεργασίας διατηρούνται σταθερές με εξαίρεση την αναλογία διαλύτη/στερεό των διαλύσεων 2-5 για την εξασφάλιση της προδιαγραφής του τελικού προϊόντος (Πίνακας 11)

Πίνακας 11: Κατανάλωση ενέργειας σε συσχέτιση με την περιεκτικότητα στερεού στην πάστα που ανακτάται από τα φίλτρα

S/F 1 ^{ης} διάλυσης (kg/kg)	Αναλογία ΑΔ/Δ (% wt)	Στερεό στην πάστα των φίλτρων (% wt)	S _i /F _i 2 ^{ης} -5 ^{ης} διάλυσης (kg/kg)	Κατανάλωση ενέργειας (MWh/ton)
3,0	40	30	1,65	5,5
		35	1,41	4,2
		40	1,21	3,4
		45	1,03	2,9
		50	0,87	2,4

Όπως αναμένεται η καμπύλη συσχέτισης κατανάλωσης ενέργειας με το ποσοστό στερεού στην πάστα που ανακτάται είναι φθίνουσα (Διάγραμμα 17), γεγονός που σημαίνει ότι η τιμή της παραμέτρου αυτής περιορίζεται στην πράξη από τα τεχνικά όρια της ίδιας της διαδικασίας φίλτρανσης. Μια τιμή περιεκτικότητας σε στερεό ίση με 40% μπορεί να θεωρηθεί αντιπροσωπευτική βιομηχανικών διατάξεων φίλτρανσης παρόμοιου τύπου υλικών και επιπλέον έχει επιτευχθεί στα πλαίσια των εργαστηριακών πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν. Η κατανάλωση ενέργειας ανέρχεται στα 3,4MWh/tn.



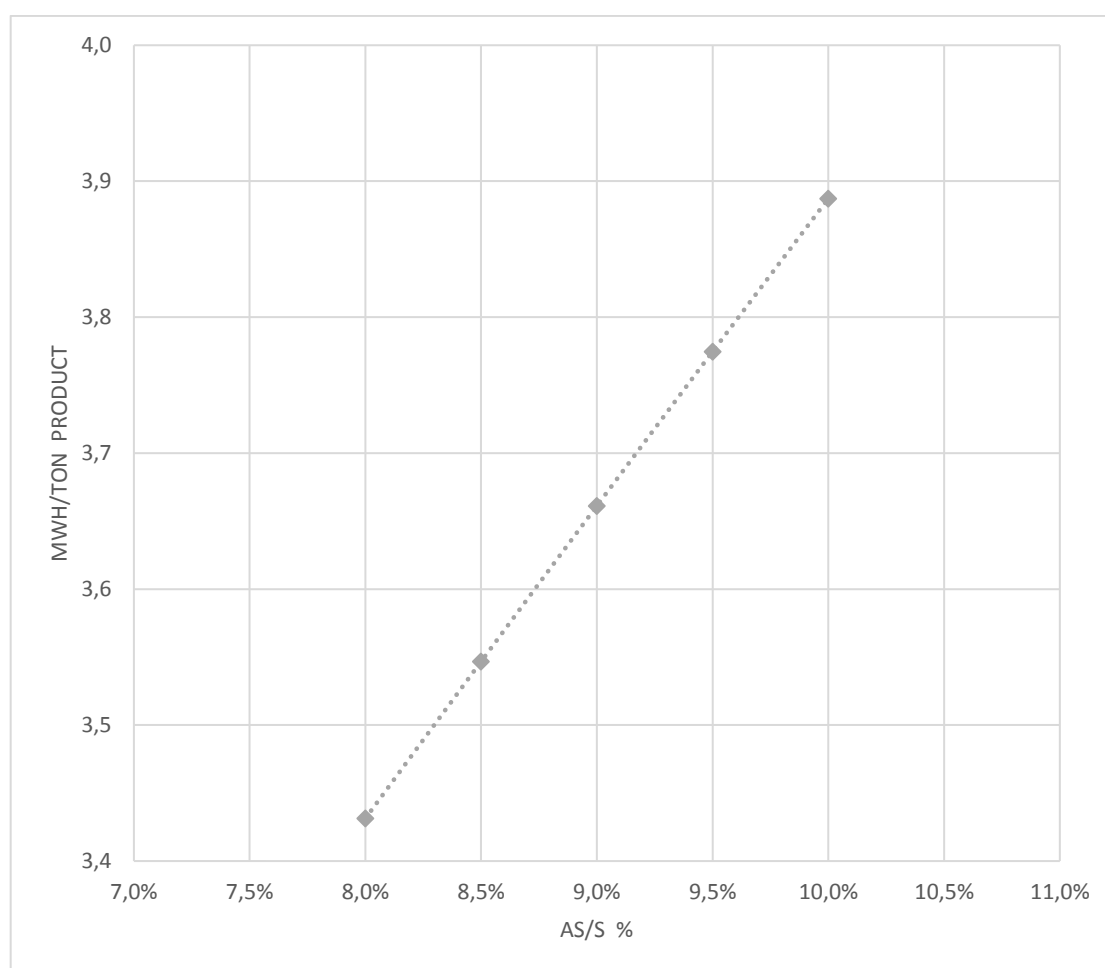
Διάγραμμα 17 : Ποσοστό στερεού στην πάστα που ανακτάται μετά τη συμπίεση

6.2.3 Αναλογία Αντιδιαλύτη/Διαλύτη (S/AS ratio)

Η διερεύνηση για τη βέλτιστη αναλογία αντιδιαλύτη/διαλύτη γίνεται για συγκεκριμένο εύρος τιμών, καθώς υπάρχει περιορισμός ώστε αφενός να επιτυγχάνεται η καταβύθιση και αφετέρου να μην προκύπτει διφασικό μίγμα MEK/Νερού. Έτσι, η αναλογία περιορίζεται στο εύρος 8-10 wt%. Οι τιμές των υπολοίπων παραμέτρων και το αντίστοιχο κόστος παρατίθενται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 12: Συσχέτιση αναλογίας αντιδιαλύτη/διαλύτη με την κατανάλωση ενέργειας

S/F 1 ^{ης} διάλυσης (kg/kg)	Αναλογία ΑΔ/Δ (% wt)	Στερεό στην πάστα των φίλτρων (% wt)	S/F _i 2 ^{ης} -5 ^{ης} διάλυσης (kg/kg)	Κατανάλωση ενέργειας (MWh/ton)
3,0	8,0	40	1,21	3,4
	8,5		1,20	3,5
	9,0		1,19	3,7
	9,5		1,19	3,8
	10,0		1,18	3,9



Διάγραμμα 18 : Αναλογία αντιδιαλύτη/διαλύτη (AS/S)

Σύμφωνα με το διάγραμμα 18, αύξηση της αναλογίας καταβύθισης οδηγεί σε αύξηση τόσο του κόστους όσο και της κατανάλωσης ενέργειας, οπότε ως βέλτιστη αναλογία αντιδιαλύτη/διαλύτη επιλέγεται το 8% wt που οδηγεί σε κατανάλωση ενέργειας 3,43 MWh/tn.

6.2.4 Αναλογία διαλύτη/τροφοδοσία 2^{ης} -5^{ης} διάλυσης (S/Feed).

Στη συνέχεια διερευνάται η επίδραση της αναλογίας διαλύτη/στερεό των διαλύσεων 2-5 στο κόστος προϊόντος. Εξετάζονται δύο περιπτώσεις

(α) ίδια αναλογία διαλύτη/στερεού σε όλες τις διαλύσεις

(β) ίση αναλογία για τα ρεύματα της 2^{ης} και 3^{ης} διάλυσης και αντίστοιχα ίση αναλογία για τα ρεύματα της 4^{ης} και 5^{ης} καταβύθισης.

Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 13.

Πίνακας 13: Αριστοποίηση αναλογίας διαλύτη/στερεού για ίσα ρεύματα και ζεύγη ρευμάτων

S/F 1 ^{ης} διάλυσης (kg/kg)	Αναλογία ΑΔ/Δ (% wt)	Στερεό στην πάστα των φίλτρων (% wt)	S _i /F _i 2 ^{ης} & 3 ^{ης} διάλυσης (kg/kg)	S _i /F _i 4 ^{ης} & 5 ^{ης} διάλυσης (kg/kg)	Κατανάλωση ενέργειας (MWh/ton)
3	8	40	1,21	1,21	3,4
			0,60	2,15	3,1

Με βάση τον πίνακα 13, παρατηρείται μείωση στην κατανάλωση ενέργειας κατά περίπου 8,8% για την περίπτωση (β) υποδεικνύοντας ότι η επιλογή αυτή είναι οικονομικά αποδοτικότερη.

Είναι σημαντικό βέβαια να ληφθεί υπόψη και η συνεισφορά του κόστους εξοπλισμού σε κάθε μια εκ των περιπτώσεων (α) και (β) καθώς προκύπτουν διαφοροποιήσεις στο μέγεθος των δοχείων διάλυσης/καταβύθισης.

Κατά την ανακύκλωση των χρησιμοποιημένων δαπέδων με τη μέθοδο της ΕΔΑ, το στερεό που προκύπτει από την εκάστοτε διήθηση και συμπίεση, μεταφέρεται σε νέο δοχείο ανάμειξης, όπου ανάλογα με την ποσότητα στερεού που ανακτάται προστίθεται και η κατάλληλη ποσότητα διαλύτη βάση αναλογίας. Οπότε, ανάλογα με την περίπτωση αλλάζουν οι ποσότητες των ρευμάτων, άρα και το μέγεθος των δοχείων ανάμειξης. Αυτή η διαφοροποίηση στον εξοπλισμό επηρεάζει φυσικά το κόστος και απαιτεί περαιτέρω οικονομική ανάλυση, η οποία δεν περιλαμβάνεται στους στόχους της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

6.2.5 Μελέτη σεναρίων για την επεξεργασία των διηθημάτων από κάθε κύκλο

Στις προηγούμενες περιπτώσεις θεωρήθηκε ότι το προερχόμενο από την 4^η καταβύθιση ρεύμα διαλυτών περιέχει πλαστικοποιητές σε περιεκτικότητα επαρκώς χαμηλή ώστε να μπορεί να ανακυκλωθεί στη διεργασία μόνο με απομάκρυνση του νερού, δηλαδή ότι δεν προκαλεί σημαντική επιμόλυνση των μοριακών κοσκίνων κατά την απευθείας επαφή του με αυτά (Σενάριο 1).

Στη συνέχεια εξετάζεται η περίπτωση όπου το συγκεκριμένο ρεύμα υπόκειται και σε απομάκρυνση των πλαστικοποιητών ώστε να διασφαλίζεται η διατήρηση της ποιότητας των μοριακών κοσκίνων (Σενάριο 2). Συνεπώς και αυτό το ρεύμα υφίσταται πρώτα εξάτμιση και στη συνέχεια απαλλαγμένο από πλαστικοποιητές έρχεται σε επαφή στην ατμώδη φάση με τα μοριακά κόσκινα.

Στον Πίνακα 14 συγκρίνονται τα Σενάρια 1 και 2.

Πίνακας 14: Σύγκριση Σεναρίων

Σενάριο	S/F 1 ^{ης} διάλυσης (kg/kg)	Αναλογία ΑΔ/Δ (% wt)	Στερεό στην πάστα των φίλτρων (% wt)	S _i /F _i 2 ^{ης} & 3 ^{ης} διάλυσης (kg/kg)	S _i /F _i 4 ^{ης} & 5 ^{ης} διάλυσης (kg/kg)	Κατανάλωση ενέργειας (MWh/ton)
1						3,4
2	3,0	8,0	40	1,209	1,209	3,8

Σύμφωνα με τον πίνακα 14, παρατηρείται –όπως αναμενόταν– αύξηση στην κατανάλωση ενέργειας για το Σενάριο 2 έναντι του Σεναρίου 1 η οποία φτάνει το 10%.

Στην περίπτωση, ωστόσο, εφαρμογής του Σεναρίου 2, θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το ποσοστό πλαστικοποιητών που περιέχει το διήθημα από την 4^ο κύκλο έναντι του αντίστοιχου ρεύμα του 5^{ου} κύκλου, όπου η περιεκτικότητα σε πλαστικοποιητές είναι σαφέστατα λιγότερη (Πίνακας 15). Κάτι τέτοιο μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα, καθότι η παρουσία πλαστικοποιητών, μπορεί να επιμολύνει τα μοριακά κόσκινα, δημιουργώντας την ανάγκη καθαρισμού τους πριν την αναγέννηση και επαναχρησιμοποίησή τους.

Πίνακας 15: Ποσοστό πλαστικοποιητών στα διηθήματα μετά από κάθε καταβύθιση

Ποσοστό πλαστικοποιητών στα διηθήματα μετά από κάθε καταβύθιση (% wt)				
1 ^η καταβύθιση	2 ^η καταβύθιση	3 ^η καταβύθιση	4 ^η καταβύθιση	5 ^η καταβύθιση
6,4	2,1	0,67	0,21	0,05

6.2.6 Επίδραση του ποσοστού κατακράτησης MEK στα κόσκινα κατά την απευθείας αφυδάτωσή της

Σε όλους τους υπολογισμούς που προηγήθηκαν η κατακράτηση του MEK στα μοριακά κόσκινα κατά την απευθείας επαφή τους με το σύστημα MEK/νερό θεωρήθηκε ίση με 20%, τιμή πολύ κοντά σε εκείνη που μετρήθηκε πειραματικά (παράγραφος 5.2.2.B).

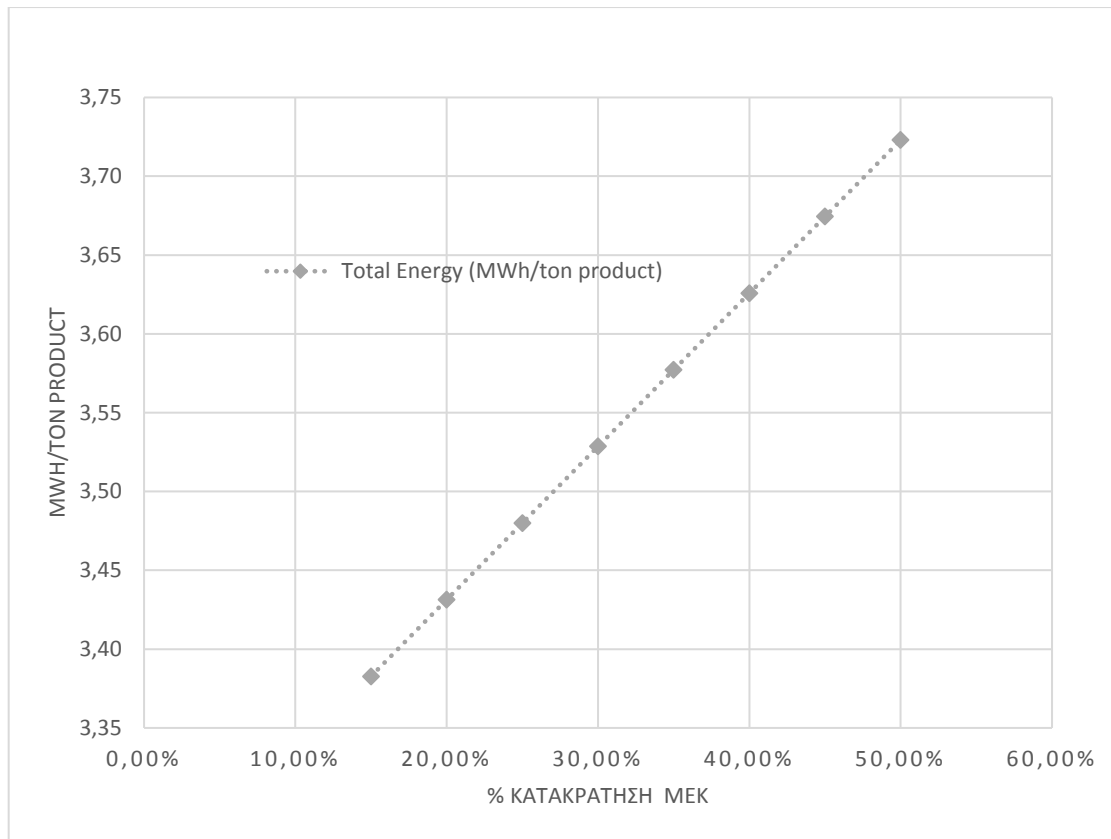
Ωστόσο, η επίδραση του ποσοστού κατακράτησης MEK αποτελεί παράγοντα που επιδρά στη βιωσιμότητα της διεργασίας καθόσον κατά το στάδιο της αφυδάτωσης, καταναλώνεται πολλή ενέργεια.

Στον πίνακα 16, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα συσχέτισης του ποσοστού κατακράτησης MEK στα κόσκινα με την κατανάλωση ενέργειας.

Πίνακας 16: Επίδραση του ποσοστού κατακράτησης MEK στην κατανάλωση ενέργειας

% Επικάλυψη κοσκίνων με MEK	S/F 1 ^{ης} διάλυσης (kg/kg)	Αναλογία ΑΔ/Δ (% wt)	Στερεό στην πάστα των φίλτρων (% wt)	S/F _i 2 ^{ης} & 3 ^{ης} διάλυσης (kg/kg)	S/F _i 4 ^{ης} & 5 ^{ης} διάλυσης (kg/kg)	Κατανάλωση ενέργειας (MWh/ton)
15						3,38
20						3,43
25	3,0	8,0	40	1,209	1,209	3,48
30						3,53
35						3,58
40						3,63
45						3,67
50						3,72

Στο διάγραμμα 19 παρουσιάζεται η ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με το ποσοστό κατακράτησης του MEK. Παρατηρείται γραμμική αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας με αύξηση του ποσοστού κατακράτησης. Για αύξηση της κατακράτησης από 20% σε 25% η αντίστοιχη αύξηση της κατανάλωσης είναι περίπου 1,5%.



Διάγραμμα 19: Επίδραση του ποσοστού κατακράτησης ΜΕΚ στην κατανάλωση ενέργειας

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στις μέρες μας η επιστήμη και τεχνολογία των πολυμερών έχει αναπτυχθεί και συνεχίζει να αναπτύσσεται με ραγδαίους ρυθμούς, όπου σύμφωνα με προβλέψεις η ζήτηση σε πλαστικά να αυξάνεται ραγδαία μέχρι και το 2050. Λόγω του χαμηλού κόστους και των εξαιρετικών ιδιοτήτων που παρουσιάζουν, τα πλαστικά έχουν κυριαρχήσει στην αγορά, με το PVC να καταλαμβάνει την τρίτη θέση στην κατάταξη των πιο ευρέως χρησιμοποιημένων πλαστικών.

Το PVC είναι σκληρό και δύσκαμπτο υλικό. Ωστόσο, με την προσθήκη πρόσθετων ενώσεων βελτιώνονται τα χαρακτηριστικά του, δίνοντας τη δυνατότητα παραγωγής προϊόντων με μεγάλη γκάμα εφαρμογών και χρήσεων. Μια εκ των πολλών χρήσεων του PVC στον κατασκευαστικό τομέα αφορά στην παρασκευή πλαστικών δαπέδων. Τα δάπεδα κατασκευάζονται από πλαστικοποιημένο PVC, δηλαδή PVC στο οποίο προστέθηκαν πλαστικοποιητές με σκοπό να βελτιώσουν τις ιδιότητες του. Πρόκειται για χημικές ενώσεις με τους πιο ευρέως διαδεδομένους πλαστικοποιητές να ανήκουν στην κατηγορία των φθαλικών εστέρων (phthalates). Πολλές εξ αυτών έχουν ταξινομηθεί στη λίστα REACH, ως ύποπτες για τοξικότητα (DIHP, BBP, DIHP, DEHP).

Η παρουσία των πλαστικοποιητών στα χρησιμοποιημένα δάπεδα, καθιστά την απόρριψη τους σε ΧΥΤΑ ανεπιθύμητη, λόγω της επικινδυνότητάς τους, αλλά και την απομάκρυνση τους αναγκαία εάν πρόκειται το PVC να ανακυκλωθεί.

Η Επιλεκτική Διάλυση/Ανακαταβύθιση συγκαταλέγεται στην κατηγορία της δευτερογενούς ανακύκλωσης πλαστικών. Η μέθοδος υλοποιείται μέσω μιας σειράς διαδοχικών διεργασιών διάλυσης και καταβύθισης με τη χρήση κατάλληλου διαλύτη και αντιδιαλύτη. Από τη διεργασία, λαμβάνεται τόσο καθαρό PVC, απαλλαγμένο από πλαστικοποιητές και μίγματα διαλυτών και πλαστικοποιητών ως απόβλητα. Για λόγους βιωσιμότητας της διεργασίας απαιτείται διαχωρισμός των διαλυτών με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή τους. Ο διαχωρισμός γίνεται με χρήση μοριακών κοσκίνων.

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη βελτιστοποιημένων μεθόδων διαχωρισμού διαλύτη/αντιδιαλύτη που προκύπτουν ως απόβλητο από την ΕΔΑ, αποσκοπώντας στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης της διεργασίας ανακύκλωσης χρησιμοποιημένων δαπέδων.

Αρχικά επιβεβαιώθηκε σε πειραματικό επίπεδο μέσης εργαστηριακής κλίμακας η εφικτότητα της διεργασίας της ΕΔΑ, όπως κατάλληλα τροποποιήθηκε για τη συγκεκριμένη χρήση.

Πράγματι, με μια σειρά 5 διαδοχικών κύκλων διάλυσης/καταβύθισης/φίλτρασης/ συμπίεσης επιτεύχθηκε ανάκτηση >90% μίγματος PVC/filler 50% σε PVC απαλλαγμένου από πλαστικοποιητές (περιεκτικότητα σε συνολικούς πλαστικοποιητές <1%). Αυτή η περιεκτικότητα είναι αποδεκτή για επαναχρησιμοποίηση του ανακυκλωμένου προϊόντος, αφού αφενός αφορά στο σύνολο των πλαστικοποιητών και όχι σε μόνο σε εκείνους της λίστας REACH και αφετέρου η χρήση του τυπικά γίνεται σε σχετικά χαμηλό ποσοστό αντικατάστασης (έως 10%) του χρησιμοποιούμενου καθαρού PVC.

Στη συνέχεια μελετήθηκε η εφικτότητα της διεργασίας ανάκτησης διαλυτών με τη χρήση μοριακών κοσκίνων.

Αρχικά, μέσω προκαταρκτικών πειραμάτων, προσδιορίστηκε η βέλτιστη πειραματική διάταξη για την αφυδάτωση της MEK με μοριακά κόσκινα και στη συνέχεια η διάταξη αυτή χρησιμοποιήθηκε για την ανάκτηση της MEK προς επαναχρησιμοποίηση.

Τα μίγματα διαλύτη/αντιδιαλύτη που παράγονται χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Εκείνα των τριών πρώτων κύκλων που περιέχουν σημαντικές ποσότητες πλαστικοποιητών. Προκειμένου να αποφευχθεί η μόλυνση των μοριακών κοσκίνων με πλαστικοποιητές και η ανάγκη χρονοβόρου και ενεργοβόρου καθαρισμού τους, τα μίγματα αυτά καταρχήν εξατμίζονται και οι ακολούθως οι ατμοί MEK/Νερού διοχετεύονται στα μοριακά κόσκινα.
- Εκείνα των δύο τελευταίων κύκλων και τα προερχόμενα από την ξήρανση των προϊόντων, τα οποία είναι σχεδόν απαλλαγμένα από πλαστικοποιητές. Αυτά αφυδατώνονται με απευθείας επαφή με τα μοριακά κόσκινα.

Από τα πειραματικά αποτελέσματα και για 1:1 αναλογία μάζας μοριακών κοσκίνων προς τη μάζα του προς διαχωρισμό διηθήματος προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

A. Επαφή ατμών μίγματος MEK/Νερού με μοριακά κόσκινα που προκύπτουν από την 1^η καταβύθιση:

- Ο διαχωρισμός χαρακτηρίζεται ως επιτυχής. Η περιεκτικότητα σε νερό του ανακτηθέντος ρεύματος MEK βρέθηκε ίση με 0,7%

- Το συνολικό ποσοστό προσρόφησης υγρασίας από τα μοριακά κόσκινα ανέρχεται στο 8,7%
- Η κατακράτηση MEK στα μοριακά κόσκινα έφτασε μόλις στο 0,7 % του βάρους τους.

B. Επαφή του υγρού μίγματος της 5ης καταβύθισης με μοριακά κόσκινα που προκύπτουν από την 5^η καταβύθιση:

- Τα μοριακά κόσκινα προσρόφησαν 7,8% του βάρους τους.
- Η κατακράτηση σε MEK έφτασε στο 24,6 %.
- Η περιεκτικότητα σε νερό του ανακτηθέντος ρεύματος MEK βρέθηκε ίση με 0,2%, με τον διαχωρισμό να χαρακτηρίζεται ως επιτυχημένος.

Συγκρίνοντας τις δυο περιπτώσεις, κατά τη μεταφορά ατμού δια μέσου των κοσκίνων κατακρατείται σημαντικά λιγότερη ποσότητα MEK από τα μοριακά κόσκινα, γεγονός που οδηγεί σε αισθητά μειωμένη κατανάλωση ενέργειας λόγω της μη ανάγκης εξάτμισης του συνόλου των διηθημάτων από τις διεργασίες φίλτρανσης, παρά μόνο αυτών που έχουν μεγάλη περιεκτικότητα σε πλαστικοποιητές. Κάτι τέτοιο οφείλεται στο ότι το υγρό MEK που περνάει διαμέσου των κοσκίνων, κατακρατείται στον κενό χώρο/ όγκο που δημιουργείται μεταξύ των σωματιδίων, πράγμα που δεν συμβαίνει στην περίπτωση όπου περνάει ατμός διαμέσου των κοσκίνων.

Τέλος, με βάση την ως άνω παρατήρηση, επιχειρήθηκε η αριστοποίηση των βασικών παραμέτρων σχεδιασμού της διεργασίας στοχεύοντας στην παραγωγή ανακυκλωμένου προϊόντος με την επιθυμητή περιεκτικότητα σε πλαστικοποιητές και την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας.

Τα βασικά συμπεράσματα που προκύπτουν είναι τα ακόλουθα:

- Σημαντική παράμετρος αριστοποίησης, αποτελεί η αναλογία διαλύτη/πρώτη ύλη της πρώτης διάλυσης. Η βέλτιστη αναλογία διαλύτη/πρώτη ύλη βρέθηκε ίση με 2,6.
- Αύξηση της αναλογίας νερού/MEK για την καταβύθιση οδηγεί σε αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας. Έτσι, ως βέλτιστη αναλογία επιλέγεται το 8% wt, η ελάχιστη αναλογία για αποδοτική καταβύθιση.
- Μείωση της απαιτούμενης ενέργειας μπορεί να επιτευχθεί με χρήση διαφορετικών λόγων διαλύτη/στερεό σε κάθε στάδιο.
- Καθοριστική παράμετρο για την μείωση της απαιτούμενης ενέργειας αποτελεί το ποσοστό του υγρού μίγματος που παραμένει πάνω στο στερεό μετά τη διήθηση. Ως βέλτιστη τιμή λαμβάνεται περιεκτικότητα σε στερεό ίση με 40% το

οποίο είναι αντιπροσωπευτικό βιομηχανικών διατάξεων φίλτρανσης τέτοιου τύπου υλικών.

Συνοψίζοντας, η παρούσα διπλωματική εργασία οδήγησε αφενός στην επιτυχή ανάπτυξη τροποποιημένης διεργασίας ΕΔΑ για την ανακύκλωση PVC από χρησιμοποιημένα δάπεδα ικανοποιώντας τις προδιαγραφές για την περιεκτικότητα σε πλαστικοποιητές και αφετέρου στον προσδιορισμό των βέλτιστων παραμέτρων σχεδιασμού που επιτυγχάνουν την ελαχιστοποίηση του ενεργειακού κόστους της διεργασίας.

Για περαιτέρω μείωση του κόστους της διεργασίας θα μπορούσαν μελλοντικά να διερευνηθούν διαφορετικές διεργασίες αφυδάτωσης των μοριακών κοσκίνων, όπως η μειωμένη πίεση ή και η χρήση μικροκυμάτων.

Τέλος, με χρήση βιομηχανικών προσομοιωτών (πχ Aspen) της διεργασίας θα μπορούσε να εκτιμηθεί το κόστος (πάγιο και λειτουργικό) μιας βιομηχανικής εγκατάστασης και να προσδιοριστεί η βέλτιστη δυναμικότητα που ελαχιστοποιεί το μοναδιαίο κόστος παραγωγής του ανακυκλωμένου PVC.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] R. Geyer , J. Jambeck και K. Kevander-Law, «Production, use and fate of all plastics ever made,» *Science Advances*, τόμ. 3, αρ. 7, 2017.
- [2] «Σύνδεσμος Βιομηχανιών Πλαστικών Ελλάδος: Πλαστικά και Περιβάλλον».
- [3] Plastics-the facts: An analysis of European plastics production, demand and waste data,» *Plastics Europe* .
- [4] Τ. Π. Ανδρεόπουλος Α.Γ., Επιστήμη και Τεχνολογία Πολυμερών ΙΙ-Σημειώσεις, Αθήνα, 2014.
- [5] «Association of Plastics Manufactures: World Plastic Production 1950-2015,» [Ηλεκτρονικό
<https://committee.iso.org/files/live/sites/tc61/files/The%20Plastic%20Industry%20Berlin%20Aug%202016%20-%20Copy.pdf>.]
- [6] «Advancing Sustainable Materials Management : 2014 Fact Sheet: Assessing Trends in Material Generation, Recycling, Composting, Combustion with Energy Recovery and Landfilling in the United States,» November 2016.
[Ηλεκτρονικό
https://www.epa.gov/sites/production/files/201611/documents/2014_smmfactsheet_508.pdf]
- [7] «4 Charts from the EPA'S Latest MSW Estimates,» [Ηλεκτρονικό.
<http://www.waste360.com/waste-reduction/14-charts-epa-s-latest-msw-estimates>.]
- [8] «European sheet market show steady growth,» [Ηλεκτρονικό
<http://www.plastics.gl/extrusion-film/european-sheet-market-shows-steady-growth/>]
- [9] Plastics Europe: Use of plastics,» [Ηλεκτρονικό:
<http://www.plasticseurope.org/use-of-plastics.aspx>.]
- [10] R. S., «Environmental Protection Agency Webinar Series-The changing Waste Stream,» 2014.
- [11] «Global Plastics Production Rises, Recycling Lags: New WorldWatch Institute analysis explores trends in global plastic consumption and recycling,»

[Ηλεκτρονικό: <http://www.worldwatch.org/global-plastic-production-rises-recycling-lags-0>]

- [12]Κ. Π. Παπασπυρίδης, «Επιλογή εργαστηριακών ασκήσεων κατεύθυνσης Πολυμερών,» Αθήνα, 2014, pp. 101-102.
- [13]Χ. Χουρδάκη, «Ανακύκλωση για την παραγωγή υψηλής ποιότητας πολυπροπυλενίου από υπόλειμμα βιομηχανικής παραγωγής,» 2013.
- [14] S. Kumar , A. K. Panda και R. K. Singh, «A review on tertiary recycling of high-density polyethylene to fuel. Resources, Conservation and Recycling,» τόμ. 11, αρ. 55, pp. 893-910, 2011.
- [15] Α. Δ. Γκότσης , «Ανακύκλωση Πλαστικών,» 2010.
- [16] Χ. Καρτάλης, «Ανακύκλωση πλαστικών υλών, Εφαρμογή Ανάτηξης/Ανασταθεροποίησης σε απορρίματα πολυαθιυλενίου και πολυπροπυλενίου,» Αθήνα, 2001.
- [17] R.D.Leaversuch, «Modern Plastics International,» 1991.
- [18] S. M. Al-Salem, P. Lettiery και J. Baeyens, «Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): A review,» *Waste Management*, τόμ. 29, αρ. 10, pp. 2625-2643, 2009.
- [19] A. Brems, J. Baeyens και R. Dewil, «Recycling and recovery of post consumer plastic solid waste in a European context,» *Thermal Science*, τόμ. 3, αρ. 16, pp. 669-685, 2012.
- [20] «Polyvinyl Chloride (PVC),» *Plastics Europe: Association of Plastics Manufactures*.
- [21] «European sheet market shows steady growth,» [Ηλεκτρονικό: <http://www.plastics.gl/extrusion-film/european-sheet-market-shows-steady-growth/>]
- [22]«Polyvinyl Chloride (PVC) Plastic: Properties, Application and Market share,» Plasticut: Engineering Plastics Solutions , 2017.
- [23]«Polyvinyl Chloride (PVC) market size worldwide from 2013 to 2020,» The statistics portal .

- [24] *Experiment 11: PVC-Influence of plasticizer content and testing temperature*, 2011.
- [25] Πράσινης Βίβλου: Περιβαλλοντικά ζητήματα του PVC, Βρυξέλλες: Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων, 2000.
- [26] «Polivynil Chloride (PVC),» Plastics Europe: Association of plastics Manufactures.
- [27] «PVC's mechanical properties,» [Ηλεκτρονικό: [.http://www.pvc.org/en/p/pvcs-physical-properties](http://www.pvc.org/en/p/pvcs-physical-properties)] [Πρόσβαση 2017].
- [28] B. Bouchoul, M. Tahar Beniba και V. Massardier, «Thermal and mechanical properties of bio-based plasticizers mixtures on poly (vinyl chloride),» *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, τόμ. 27, αρ. 3, π. 64, 2017.
- [29] Jie Yu, Lushi Sun, Chuan Ma, Yu Qiao και Hong Yao, «Thermal degradation of PVC: A review,» *Waste management*, τόμ. 48, pp. 300-314, 2016.
- [30] C. E. Wilkes, C. A. Daniels και J. W. Summers, «Plasticizers,» σε *PVC Handbook*.
- [31] J. Darby και J. Sears, «Plasticezers,» *Encyclopedia of Science and Technology*, τόμ. 10, pp. 228-306.
- [32] B. Shtarkman και I. Razinskaya, «Plasticization Mechaninism and structure of polymers,» *Acta polymerica*, τόμ. 8, αρ. 34, 1983.
- [33] «Plasticizers Information Center Regulation,» 2017. [Ηλεκτρονικό] <http://www.plasticisers.org/regulation/>.
- [34] Hitachi, «Thermal Analysis of Polyvinyl Chloride-Influence of Plasticizer on Glass Transition,» 1995.
- [35] TARKETT: Εταιρία παραγωγής δαπέδων PVC
- [36] E. M. Kampouris, D. C. Diakoulaki και C. D. Papaspyrides, «Solvent Recycling of rigid poly (vinyl chloride) bottles,» *Journal of Vinyl Technology*, τόμ. 4, αρ. 13, pp. 325-333, 1986.
- [37] D. S. Achilias, A. Giannoulis και G. Z. Papageorgiou, «Recycling of polymers from plastic packaging materials using the dissolution-reprecipitation technique,» *Polymer Bulletin*, τόμ. 3, αρ. 64, pp. 449-465, 2009.

- [38] Α. Παρασκευά, Ανάκτηση PVC από χρησιμοποιημένα δάπεδα με Επιλεκτική Διάλυση/ Ανακατβύθιση και χρήση συστημάτων μερικής αναμίξιμων διαλυτών/αντιδιαλυτών, Διπλωματική εργασία επιμ., Αθήνα, 2016.
- [39] G. Papa, C. Boukouvalas, C. Giannaris, N. Ntaras, V. Zografos, K. Magoulas και D. Tassios, «The selective dissolution/precipitation technique for polymer recycling: a pilot unit application,» *Resources, conservation and recycling*, τόμ. 1, αρ. 34, pp. 33-44, 2001.
- [40] N. G. Zgouras και Α. Α. Koutinas, «Processing scheme based on selective dissolution to recycle food packaging and other polymeric wastes and its economic analysis,» *Waste management & research*, τόμ. 4, αρ. 13, pp. 325-333, 1995.
- [41] «The Vinyloop process,» Vinyloop: Smart Recycling-Low Footprint, [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.vinyloop.com/en/the-vinyloop-process-en.html>. [Πρόσβαση Μάρτιος 2017].
- [42] A. Carton , G. Gonzalez, A. I. De ta Torre και J. L. Cabezas, «Separation of Ethanol-Water Mixtures Using 3A Molecular Sieve,» *J.Chem.Tech.Biotechnol.*, 1987.
- [43] B. Swowerby και B. D. Crittenden, «An experimental comparisson of type A molecular sieves for drying the ethanol-water azeotrope,» *Gas Separation & Purification*, τόμ. 2, 1988.
- [44] F. D. Douglas L, «Evaluation of non-distillation ethanol-seperation processes,» *Solar Energy Reasearch Institude*, 1983.
- [45] S. McCabe, «Διαχωρισμοί Σταθεροποιημένης Κλίνης,» σε *Βασικές Διεργασίες Χημικής Μηχανικής*, Εκδόσεις Τζιόλα, 2014, pp. 932-933.
- [46] « WINTEK CORPORATION : Molecular Sieve Dehydration Units (MSDU),» [Ηλεκτρονικό]. <http://www.wintek-corp.com/dehydration/molecular-sieve-dehydration-units-msdu.html>. [Πρόσβαση Μάιος 2017].
- [47] E. SÂRBU και . I. CĂLINESCU, «Microwave assisted regeneration of 3A molecular sieves used for ethanol dehydration,» *U.P.B.Sci.Bull.*, τόμ. 76, αρ. 1, 2014.
- [48] M.D. Luque de Castro, F.Priego-Capote, «Soxhlet extraction: Past and present

panacea,» *Journal of Chromatography A*, pp. 2383-2389, 2010.

[49] J. Williams, «General Guide to Soxhlet Extraction,» New Jersey, 2017.

[50] I. D. Housham και W. V. Titow, «Fillers in PVC,» σε *PVC Technology*, Springer, Dordrecht, 1984, pp. 215-254.

[51] Χρήστου Άντια (2016), “Ανάκτηση PVC και πλαστικοποιητών από χρησιμοποιημένα δάπεδα PVC”, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα

Ισοζύγιο μάζας 2ης καταβύθισης

IN										OUT																																																																																																																																																																																																																					
<table border="1"> <tr><td>ΠΑΣΤΑ</td><td>103</td></tr> <tr><td>ΜΕΚ</td><td>247,20</td></tr> <tr><td>ΝΕΡΟ</td><td>21,01</td></tr> <tr><td>ΔΟΧΕΙΟ</td><td>606</td></tr> </table>										ΠΑΣΤΑ	103	ΜΕΚ	247,20	ΝΕΡΟ	21,01	ΔΟΧΕΙΟ	606	<table border="1"> <tr><td>ΠΑΣΤΑ</td><td>78,83</td></tr> <tr><td>TG</td><td>53,75</td></tr> <tr><td>ΞΗΡΑΝΣΗ</td><td></td></tr> <tr><td>ΔΕΙΓΜΑ</td><td>1,83</td></tr> <tr><td>ΞΗΡΟ</td><td>0,89</td></tr> <tr><td>ΠΟΣΟΣΤΑ</td><td></td></tr> <tr><td>ΣΤΕΡΕΟ</td><td>48,63</td></tr> <tr><td>ΥΓΡΑΣΙΑ</td><td>51,37</td></tr> </table>										ΠΑΣΤΑ	78,83	TG	53,75	ΞΗΡΑΝΣΗ		ΔΕΙΓΜΑ	1,83	ΞΗΡΟ	0,89	ΠΟΣΟΣΤΑ		ΣΤΕΡΕΟ	48,63	ΥΓΡΑΣΙΑ	51,37																																																																																																																																																																																				
ΠΑΣΤΑ	103																																																																																																																																																																																																																														
ΜΕΚ	247,20																																																																																																																																																																																																																														
ΝΕΡΟ	21,01																																																																																																																																																																																																																														
ΔΟΧΕΙΟ	606																																																																																																																																																																																																																														
ΠΑΣΤΑ	78,83																																																																																																																																																																																																																														
TG	53,75																																																																																																																																																																																																																														
ΞΗΡΑΝΣΗ																																																																																																																																																																																																																															
ΔΕΙΓΜΑ	1,83																																																																																																																																																																																																																														
ΞΗΡΟ	0,89																																																																																																																																																																																																																														
ΠΟΣΟΣΤΑ																																																																																																																																																																																																																															
ΣΤΕΡΕΟ	48,63																																																																																																																																																																																																																														
ΥΓΡΑΣΙΑ	51,37																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΗΘΗΣΗ</td><td>47</td><td>126,1</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΗΘΗΣΗ	47	126,1	<table border="1"> <tr><td>ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td>103,7</td></tr> </table>										ΣΥΜΠΙΕΣΗ	103,7																																																																																																																																																																																																							
ΑΠΩΛΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΗΘΗΣΗ	47	126,1																																																																																																																																																																																																																													
ΣΥΜΠΙΕΣΗ	103,7																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1"> <tr><td>2η ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΗ</td><td>350,6</td></tr> </table>										2η ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΗ	350,6	<table border="1"> <tr><td>ΔΙΗΘΗΣΗ 3</td><td>177,5</td></tr> </table>										ΔΙΗΘΗΣΗ 3	177,5																																																																																																																																																																																																								
2η ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΗ	350,6																																																																																																																																																																																																																														
ΔΙΗΘΗΣΗ 3	177,5																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ</td><td>20,61</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ	20,61	<table border="1"> <tr><td>ΔΙΗΘΗΜΑ</td><td>177,5</td></tr> </table>										ΔΙΗΘΗΜΑ	177,5																																																																																																																																																																																																								
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ	20,61																																																																																																																																																																																																																														
ΔΙΗΘΗΜΑ	177,5																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΣΚΕΥΗ</td><td></td></tr> <tr><td>ΚΑΘΑΡΑ</td><td>606</td></tr> <tr><td>ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ</td><td>607</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΑ</td><td>1</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΣΚΕΥΗ		ΚΑΘΑΡΑ	606	ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ	607	ΑΠΩΛΕΙΑ	1	<table border="1"> <tr><td>ΣΚΕΥΗ</td><td></td></tr> <tr><td>ΔΙΗΘΗΤΙΚΟ</td><td>9</td></tr> <tr><td>ΤΑΨΙ</td><td>9,1</td></tr> <tr><td>ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ</td><td>18,4</td></tr> <tr><td>ΣΥΝΟΛΟ:</td><td>36,5</td></tr> </table>										ΣΚΕΥΗ		ΔΙΗΘΗΤΙΚΟ	9	ΤΑΨΙ	9,1	ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ	18,4	ΣΥΝΟΛΟ:	36,5																																																																																																																																																																																										
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΣΚΕΥΗ																																																																																																																																																																																																																															
ΚΑΘΑΡΑ	606																																																																																																																																																																																																																														
ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ	607																																																																																																																																																																																																																														
ΑΠΩΛΕΙΑ	1																																																																																																																																																																																																																														
ΣΚΕΥΗ																																																																																																																																																																																																																															
ΔΙΗΘΗΤΙΚΟ	9																																																																																																																																																																																																																														
ΤΑΨΙ	9,1																																																																																																																																																																																																																														
ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ	18,4																																																																																																																																																																																																																														
ΣΥΝΟΛΟ:	36,5																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ</td><td></td></tr> <tr><td>ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td>ΞΗΡΑ</td><td>ΑΠΩΛΕΙΑ</td></tr> <tr><td></td><td>20,1</td><td>18,6</td><td>0,2</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ		ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ		20,1	18,6	0,2	<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ</td><td></td></tr> <tr><td>ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td>ΞΗΡΑ</td><td>ΑΠΩΛΕΙΑ</td></tr> <tr><td></td><td>13,5</td><td>13</td><td>0,5</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ		ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ		13,5	13	0,5																																																																																																																																																																																										
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ																																																																																																																																																																																																																															
ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ																																																																																																																																																																																																																													
	20,1	18,6	0,2																																																																																																																																																																																																																												
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ																																																																																																																																																																																																																															
ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ																																																																																																																																																																																																																													
	13,5	13	0,5																																																																																																																																																																																																																												
<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΗΘ.</td><td></td></tr> <tr><td>ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td>ΞΗΡΑ</td><td>ΑΠΩΛΕΙΑ</td></tr> <tr><td></td><td>13,5</td><td>13</td><td>4</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΗΘ.		ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ		13,5	13	4	<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΗΘ.</td><td></td></tr> <tr><td>ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td>ΞΗΡΑ</td><td>ΑΠΩΛΕΙΑ</td></tr> <tr><td></td><td>13,5</td><td>13</td><td>4</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΗΘ.		ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ		13,5	13	4																																																																																																																																																																																										
ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΗΘ.																																																																																																																																																																																																																															
ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ																																																																																																																																																																																																																													
	13,5	13	4																																																																																																																																																																																																																												
ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΗΘ.																																																																																																																																																																																																																															
ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ																																																																																																																																																																																																																													
	13,5	13	4																																																																																																																																																																																																																												
<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td></td></tr> <tr><td>ΔΧ (ΟΛΑ)+ΠΑΣΤΑ+ΤΑΨΙ</td><td>162,6</td><td>126,1</td></tr> <tr><td>ΔΧ+ΠΑΣΤΑ(ΜΕΤΑ)</td><td>140,2</td><td>103,7</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>22,4</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ		ΔΧ (ΟΛΑ)+ΠΑΣΤΑ+ΤΑΨΙ	162,6	126,1	ΔΧ+ΠΑΣΤΑ(ΜΕΤΑ)	140,2	103,7			22,4	<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td></td></tr> <tr><td>ΔΧ (ΟΛΑ)+ΠΑΣΤΑ+ΤΑΨΙ</td><td>162,6</td><td>126,1</td></tr> <tr><td>ΔΧ+ΠΑΣΤΑ(ΜΕΤΑ)</td><td>140,2</td><td>103,7</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>22,4</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ		ΔΧ (ΟΛΑ)+ΠΑΣΤΑ+ΤΑΨΙ	162,6	126,1	ΔΧ+ΠΑΣΤΑ(ΜΕΤΑ)	140,2	103,7			22,4																																																																																																																																																																																						
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ																																																																																																																																																																																																																															
ΔΧ (ΟΛΑ)+ΠΑΣΤΑ+ΤΑΨΙ	162,6	126,1																																																																																																																																																																																																																													
ΔΧ+ΠΑΣΤΑ(ΜΕΤΑ)	140,2	103,7																																																																																																																																																																																																																													
		22,4																																																																																																																																																																																																																													
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ																																																																																																																																																																																																																															
ΔΧ (ΟΛΑ)+ΠΑΣΤΑ+ΤΑΨΙ	162,6	126,1																																																																																																																																																																																																																													
ΔΧ+ΠΑΣΤΑ(ΜΕΤΑ)	140,2	103,7																																																																																																																																																																																																																													
		22,4																																																																																																																																																																																																																													
<table border="1"> <tr><td>phthalates</td><td></td></tr> <tr><td>ΞΗΡΑΝΣΗ</td><td></td></tr> <tr><td>ΔΕΙΓΜΑ</td><td>50,15</td></tr> <tr><td>ΞΗΡΟ</td><td>0,62</td></tr> <tr><td>ph</td><td>0,500598</td></tr> <tr><td>ΝΕΡΟ</td><td>8,88%</td></tr> </table>										phthalates		ΞΗΡΑΝΣΗ		ΔΕΙΓΜΑ	50,15	ΞΗΡΟ	0,62	ph	0,500598	ΝΕΡΟ	8,88%	<table border="1"> <tr><td>phthalates</td><td></td></tr> <tr><td>ΞΗΡΑΝΣΗ</td><td></td></tr> <tr><td>ΔΕΙΓΜΑ</td><td>50,15</td></tr> <tr><td>ΞΗΡΟ</td><td>0,62</td></tr> <tr><td>ph</td><td>0,500598</td></tr> <tr><td>ΝΕΡΟ</td><td>8,88%</td></tr> </table>										phthalates		ΞΗΡΑΝΣΗ		ΔΕΙΓΜΑ	50,15	ΞΗΡΟ	0,62	ph	0,500598	ΝΕΡΟ	8,88%																																																																																																																																																																																				
phthalates																																																																																																																																																																																																																															
ΞΗΡΑΝΣΗ																																																																																																																																																																																																																															
ΔΕΙΓΜΑ	50,15																																																																																																																																																																																																																														
ΞΗΡΟ	0,62																																																																																																																																																																																																																														
ph	0,500598																																																																																																																																																																																																																														
ΝΕΡΟ	8,88%																																																																																																																																																																																																																														
phthalates																																																																																																																																																																																																																															
ΞΗΡΑΝΣΗ																																																																																																																																																																																																																															
ΔΕΙΓΜΑ	50,15																																																																																																																																																																																																																														
ΞΗΡΟ	0,62																																																																																																																																																																																																																														
ph	0,500598																																																																																																																																																																																																																														
ΝΕΡΟ	8,88%																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1"> <tr><td>phthalates on liquid base</td><td>0,88%</td></tr> <tr><td>phthalates on solid base</td><td>0,45%</td></tr> </table>										phthalates on liquid base	0,88%	phthalates on solid base	0,45%	<table border="1"> <tr><td>phthalates</td><td></td></tr> <tr><td>ΞΗΡΑΝΣΗ</td><td></td></tr> <tr><td>ΔΕΙΓΜΑ</td><td>50,15</td></tr> <tr><td>ΞΗΡΟ</td><td>0,62</td></tr> <tr><td>ph</td><td>0,500598</td></tr> <tr><td>ΝΕΡΟ</td><td>8,88%</td></tr> </table>										phthalates		ΞΗΡΑΝΣΗ		ΔΕΙΓΜΑ	50,15	ΞΗΡΟ	0,62	ph	0,500598	ΝΕΡΟ	8,88%																																																																																																																																																																																												
phthalates on liquid base	0,88%																																																																																																																																																																																																																														
phthalates on solid base	0,45%																																																																																																																																																																																																																														
phthalates																																																																																																																																																																																																																															
ΞΗΡΑΝΣΗ																																																																																																																																																																																																																															
ΔΕΙΓΜΑ	50,15																																																																																																																																																																																																																														
ΞΗΡΟ	0,62																																																																																																																																																																																																																														
ph	0,500598																																																																																																																																																																																																																														
ΝΕΡΟ	8,88%																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1"> <tr><td>solid+ph</td><td>38,34</td></tr> <tr><td>H2O</td><td>3,60</td></tr> <tr><td>MEK</td><td>36,90</td></tr> <tr><td>ph</td><td>0,36</td></tr> <tr><td>tot</td><td>78,83</td></tr> <tr><td>%</td><td>0,45%</td></tr> </table>										solid+ph	38,34	H2O	3,60	MEK	36,90	ph	0,36	tot	78,83	%	0,45%	<table border="1"> <tr><td>solid+ph</td><td>38,34</td></tr> <tr><td>H2O</td><td>3,60</td></tr> <tr><td>MEK</td><td>36,90</td></tr> <tr><td>ph</td><td>0,36</td></tr> <tr><td>tot</td><td>78,83</td></tr> <tr><td>%</td><td>0,45%</td></tr> </table>										solid+ph	38,34	H2O	3,60	MEK	36,90	ph	0,36	tot	78,83	%	0,45%																																																																																																																																																																																				
solid+ph	38,34																																																																																																																																																																																																																														
H2O	3,60																																																																																																																																																																																																																														
MEK	36,90																																																																																																																																																																																																																														
ph	0,36																																																																																																																																																																																																																														
tot	78,83																																																																																																																																																																																																																														
%	0,45%																																																																																																																																																																																																																														
solid+ph	38,34																																																																																																																																																																																																																														
H2O	3,60																																																																																																																																																																																																																														
MEK	36,90																																																																																																																																																																																																																														
ph	0,36																																																																																																																																																																																																																														
tot	78,83																																																																																																																																																																																																																														
%	0,45%																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1"> <tr><td>IN</td><td>371,21</td></tr> <tr><td>ΙΣΟΖΥΓΙΟ</td><td>256,33</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ</td><td>114,88</td></tr> <tr><td>ΑΓΝΩΣΤΑ</td><td>0,00</td></tr> </table>										IN	371,21	ΙΣΟΖΥΓΙΟ	256,33	ΑΠΩΛΕΙΕΣ	114,88	ΑΓΝΩΣΤΑ	0,00	<table border="1"> <tr><td>OUT</td><td>256,33</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ</td><td>114,88</td></tr> <tr><td>ΑΓΝΩΣΤΑ</td><td>0,00</td></tr> </table>										OUT	256,33	ΑΠΩΛΕΙΕΣ	114,88	ΑΓΝΩΣΤΑ	0,00																																																																																																																																																																																														
IN	371,21																																																																																																																																																																																																																														
ΙΣΟΖΥΓΙΟ	256,33																																																																																																																																																																																																																														
ΑΠΩΛΕΙΕΣ	114,88																																																																																																																																																																																																																														
ΑΓΝΩΣΤΑ	0,00																																																																																																																																																																																																																														
OUT	256,33																																																																																																																																																																																																																														
ΑΠΩΛΕΙΕΣ	114,88																																																																																																																																																																																																																														
ΑΓΝΩΣΤΑ	0,00																																																																																																																																																																																																																														
<table border="1"> <tr><td>STEREA</td><td>43,4455</td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>4</td><td>37,84</td><td>0,61</td><td>ΚΑΘΑΡΟ ΣΤΕΡΕΟ</td></tr> <tr><td>Ygrasia</td><td>59,5545</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>47</td><td>24,87</td><td>0,7</td><td>22,4</td><td>40,49</td><td>-251,21</td></tr> <tr><td>MEK</td><td>247,20</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>20,61</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>226,59</td></tr> <tr><td>H2O</td><td>21,01</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>21,01</td></tr> <tr><td>phthalates</td><td>2,88</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2,38</td></tr> <tr><td>total</td><td>327,7665</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>20,612</td><td>175,3056</td><td>0</td><td>47</td><td>24,87</td><td>0,7</td><td>22,4</td><td>0</td><td>40,49</td><td>-3,61</td></tr> <tr><td>AGNOSTA</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-1,77</td></tr> <tr><td></td><td>6,6%</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1,3%</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>unkn loss (solids)</td><td>-0,83%</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>unkn loss (liquid)</td><td>-1,12%</td></tr> </table>										STEREA	43,4455	1								4	37,84	0,61	ΚΑΘΑΡΟ ΣΤΕΡΕΟ	Ygrasia	59,5545									47	24,87	0,7	22,4	40,49	-251,21	MEK	247,20									20,61					226,59	H2O	21,01														21,01	phthalates	2,88														2,38	total	327,7665	0	0	0	0	0	0	20,612	175,3056	0	47	24,87	0,7	22,4	0	40,49	-3,61	AGNOSTA																	-1,77		6,6%																																		1,3%																		unkn loss (solids)	-0,83%																		unkn loss (liquid)	-1,12%	<table border="1"> <tr><td>PERIEKTOTHTA PASΤAS</td><td></td></tr> <tr><td>% pasta</td><td></td></tr> <tr><td>Dry mass in paste (%)</td><td></td></tr> <tr><td>solid</td><td>48,2%</td></tr> <tr><td>MEK</td><td>46,8%</td></tr> <tr><td>H2O</td><td>4,6%</td></tr> <tr><td>ph</td><td>0,5%</td></tr> <tr><td>tot</td><td>100,0%</td></tr> </table>										PERIEKTOTHTA PASΤAS		% pasta		Dry mass in paste (%)		solid	48,2%	MEK	46,8%	H2O	4,6%	ph	0,5%	tot	100,0%
STEREA	43,4455	1								4	37,84	0,61	ΚΑΘΑΡΟ ΣΤΕΡΕΟ																																																																																																																																																																																																																		
Ygrasia	59,5545									47	24,87	0,7	22,4	40,49	-251,21																																																																																																																																																																																																																
MEK	247,20									20,61					226,59																																																																																																																																																																																																																
H2O	21,01														21,01																																																																																																																																																																																																																
phthalates	2,88														2,38																																																																																																																																																																																																																
total	327,7665	0	0	0	0	0	0	20,612	175,3056	0	47	24,87	0,7	22,4	0	40,49	-3,61																																																																																																																																																																																																														
AGNOSTA																	-1,77																																																																																																																																																																																																														
	6,6%																																																																																																																																																																																																																														
																	1,3%																																																																																																																																																																																																														
																	unkn loss (solids)	-0,83%																																																																																																																																																																																																													
																	unkn loss (liquid)	-1,12%																																																																																																																																																																																																													
PERIEKTOTHTA PASΤAS																																																																																																																																																																																																																															
% pasta																																																																																																																																																																																																																															
Dry mass in paste (%)																																																																																																																																																																																																																															
solid	48,2%																																																																																																																																																																																																																														
MEK	46,8%																																																																																																																																																																																																																														
H2O	4,6%																																																																																																																																																																																																																														
ph	0,5%																																																																																																																																																																																																																														
tot	100,0%																																																																																																																																																																																																																														

Ισοζύγιο μάζας 3^{ης} καταβύθισης

IN										OUT																																																																																																																																																																																																							
<table border="1"> <tr><td>ΠΑΣΤΑ</td><td>77</td></tr> <tr><td>ΜΕΚ</td><td>184,80</td></tr> <tr><td>ΝΕΡΟ</td><td>15,708</td></tr> <tr><td>ΔΟΧΕΙΟ</td><td>606</td></tr> </table>										ΠΑΣΤΑ	77	ΜΕΚ	184,80	ΝΕΡΟ	15,708	ΔΟΧΕΙΟ	606	<table border="1"> <tr><td>3η ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΗ</td><td>277,51</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΗΘΗΣΗ</td><td>21,4</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ</td><td>15,11</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΣΚΕΥΗ</td><td>606</td></tr> <tr><td>ΚΑΘΑΡΑ</td><td>607,4</td></tr> <tr><td>ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ</td><td>607,4</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΑ</td><td>1,4</td></tr> </table>										3η ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΗ	277,51	ΑΠΩΛΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΗΘΗΣΗ	21,4	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ	15,11	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΣΚΕΥΗ	606	ΚΑΘΑΡΑ	607,4	ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ	607,4	ΑΠΩΛΕΙΑ	1,4	<table border="1"> <tr><td>ΔΙΗΘΗΣΗ 4</td><td>262,4</td></tr> <tr><td>ΔΙΗΘΗΜΑ</td><td>120,6</td></tr> <tr><td>phthalates</td><td>20,45</td></tr> <tr><td>ΞΗΡΑΝΣΗ</td><td>0,13</td></tr> <tr><td>ΔΕΙΓΜΑ</td><td>0,248998</td></tr> <tr><td>ΞΗΡΟ</td><td>8,5%</td></tr> <tr><td>ph</td><td>0,248998</td></tr> <tr><td>ΝΕΡΟ</td><td>8,5%</td></tr> </table>										ΔΙΗΘΗΣΗ 4	262,4	ΔΙΗΘΗΜΑ	120,6	phthalates	20,45	ΞΗΡΑΝΣΗ	0,13	ΔΕΙΓΜΑ	0,248998	ΞΗΡΟ	8,5%	ph	0,248998	ΝΕΡΟ	8,5%	<table border="1"> <tr><td>ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td>120,4</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ</td><td>9</td></tr> <tr><td>ΔΙΗΘΗΤΙΚΟ</td><td>9,1</td></tr> <tr><td>ΤΑΨΙ</td><td>18,4</td></tr> <tr><td>ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ</td><td>36,5</td></tr> <tr><td>ΣΥΝΟΛΟ:</td><td>20,4</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ</td><td>18,7</td></tr> <tr><td>ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td>18,7</td></tr> <tr><td>ΞΗΡΑ</td><td>0,3</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΑ</td><td>0,3</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ</td><td>11,4</td></tr> <tr><td>ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td>11,2</td></tr> <tr><td>ΞΗΡΑ</td><td>0,2</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΑ</td><td>0,2</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΗΘ.</td><td>11,4</td></tr> <tr><td>ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td>11,2</td></tr> <tr><td>ΞΗΡΑ</td><td>2,2</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΑ</td><td>2,2</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td>152,5</td></tr> <tr><td>ΔΧ (ΟΛΑ)+ΠΑΣΤΑ+ΤΑΨΙ</td><td>116</td></tr> <tr><td>ΔΧ+ΠΑΣΤΑ(ΜΕΤΑ)</td><td>92,5</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΑ</td><td>23,5</td></tr> </table>										ΣΥΜΠΙΕΣΗ	120,4	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ	9	ΔΙΗΘΗΤΙΚΟ	9,1	ΤΑΨΙ	18,4	ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ	36,5	ΣΥΝΟΛΟ:	20,4	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ	18,7	ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	18,7	ΞΗΡΑ	0,3	ΑΠΩΛΕΙΑ	0,3	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ	11,4	ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	11,2	ΞΗΡΑ	0,2	ΑΠΩΛΕΙΑ	0,2	ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΗΘ.	11,4	ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	11,2	ΞΗΡΑ	2,2	ΑΠΩΛΕΙΑ	2,2	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	152,5	ΔΧ (ΟΛΑ)+ΠΑΣΤΑ+ΤΑΨΙ	116	ΔΧ+ΠΑΣΤΑ(ΜΕΤΑ)	92,5	ΑΠΩΛΕΙΑ	23,5	<table border="1"> <tr><td>ΠΑΣΤΑ</td><td>67</td></tr> <tr><td>TG</td><td>53,75</td></tr> <tr><td>ΞΗΡΑΝΣΗ</td><td></td></tr> <tr><td>ΔΕΙΓΜΑ</td><td>1,3</td></tr> <tr><td>ΞΗΡΟ</td><td>0,54</td></tr> <tr><td>ΠΟΣΟΣΤΑ</td><td></td></tr> <tr><td>ΣΤΕΡΕΟ</td><td>41,54</td></tr> <tr><td>ΥΓΡΑΣΙΑ</td><td>58,46</td></tr> <tr><td>PERIEKTHKOTHTA ΠΑΣΤΑΣ</td><td></td></tr> <tr><td>% pasta</td><td></td></tr> <tr><td>solid+ph</td><td>27,83</td></tr> <tr><td>Dry mass in paste (%)</td><td></td></tr> <tr><td>solid</td><td>41,4%</td></tr> <tr><td>H2O</td><td>3,33</td></tr> <tr><td>30,1%</td><td></td></tr> <tr><td>MEK</td><td>35,83984615</td></tr> <tr><td>H2O</td><td>5,0%</td></tr> <tr><td>ph</td><td>0,080839156</td></tr> <tr><td>ph</td><td>0,1%</td></tr> <tr><td>tot</td><td>67</td></tr> <tr><td>tot</td><td>100,0%</td></tr> <tr><td>%</td><td>0,12%</td></tr> <tr><td>IN</td><td>277,51</td></tr> <tr><td>ΙΣΟΖΥΓΙΟ</td><td></td></tr> <tr><td>OUT</td><td>187,6</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ</td><td>89,91</td></tr> <tr><td>ΑΓΝΩΣΤΑ</td><td>4,30</td></tr> <tr><td></td><td>27,58</td></tr> <tr><td></td><td>6,27</td></tr> <tr><td></td><td>-190,451</td></tr> <tr><td></td><td>169,69</td></tr> <tr><td></td><td>15,71</td></tr> <tr><td></td><td>0,25</td></tr> <tr><td></td><td>0,25</td></tr> <tr><td></td><td>-5,05</td></tr> <tr><td></td><td>6,02</td></tr> <tr><td></td><td>0,9%</td></tr> <tr><td>unkn loss (solids)</td><td>3,24%</td></tr> <tr><td>unkn loss (liquid)</td><td>-2,06%</td></tr> </table>										ΠΑΣΤΑ	67	TG	53,75	ΞΗΡΑΝΣΗ		ΔΕΙΓΜΑ	1,3	ΞΗΡΟ	0,54	ΠΟΣΟΣΤΑ		ΣΤΕΡΕΟ	41,54	ΥΓΡΑΣΙΑ	58,46	PERIEKTHKOTHTA ΠΑΣΤΑΣ		% pasta		solid+ph	27,83	Dry mass in paste (%)		solid	41,4%	H2O	3,33	30,1%		MEK	35,83984615	H2O	5,0%	ph	0,080839156	ph	0,1%	tot	67	tot	100,0%	%	0,12%	IN	277,51	ΙΣΟΖΥΓΙΟ		OUT	187,6	ΑΠΩΛΕΙΕΣ	89,91	ΑΓΝΩΣΤΑ	4,30		27,58		6,27		-190,451		169,69		15,71		0,25		0,25		-5,05		6,02		0,9%	unkn loss (solids)	3,24%	unkn loss (liquid)	-2,06%
ΠΑΣΤΑ	77																																																																																																																																																																																																																
ΜΕΚ	184,80																																																																																																																																																																																																																
ΝΕΡΟ	15,708																																																																																																																																																																																																																
ΔΟΧΕΙΟ	606																																																																																																																																																																																																																
3η ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΗ	277,51																																																																																																																																																																																																																
ΑΠΩΛΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΗΘΗΣΗ	21,4																																																																																																																																																																																																																
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ	15,11																																																																																																																																																																																																																
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΣΚΕΥΗ	606																																																																																																																																																																																																																
ΚΑΘΑΡΑ	607,4																																																																																																																																																																																																																
ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ	607,4																																																																																																																																																																																																																
ΑΠΩΛΕΙΑ	1,4																																																																																																																																																																																																																
ΔΙΗΘΗΣΗ 4	262,4																																																																																																																																																																																																																
ΔΙΗΘΗΜΑ	120,6																																																																																																																																																																																																																
phthalates	20,45																																																																																																																																																																																																																
ΞΗΡΑΝΣΗ	0,13																																																																																																																																																																																																																
ΔΕΙΓΜΑ	0,248998																																																																																																																																																																																																																
ΞΗΡΟ	8,5%																																																																																																																																																																																																																
ph	0,248998																																																																																																																																																																																																																
ΝΕΡΟ	8,5%																																																																																																																																																																																																																
ΣΥΜΠΙΕΣΗ	120,4																																																																																																																																																																																																																
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ	9																																																																																																																																																																																																																
ΔΙΗΘΗΤΙΚΟ	9,1																																																																																																																																																																																																																
ΤΑΨΙ	18,4																																																																																																																																																																																																																
ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ	36,5																																																																																																																																																																																																																
ΣΥΝΟΛΟ:	20,4																																																																																																																																																																																																																
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ	18,7																																																																																																																																																																																																																
ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	18,7																																																																																																																																																																																																																
ΞΗΡΑ	0,3																																																																																																																																																																																																																
ΑΠΩΛΕΙΑ	0,3																																																																																																																																																																																																																
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ	11,4																																																																																																																																																																																																																
ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	11,2																																																																																																																																																																																																																
ΞΗΡΑ	0,2																																																																																																																																																																																																																
ΑΠΩΛΕΙΑ	0,2																																																																																																																																																																																																																
ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΗΘ.	11,4																																																																																																																																																																																																																
ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	11,2																																																																																																																																																																																																																
ΞΗΡΑ	2,2																																																																																																																																																																																																																
ΑΠΩΛΕΙΑ	2,2																																																																																																																																																																																																																
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	152,5																																																																																																																																																																																																																
ΔΧ (ΟΛΑ)+ΠΑΣΤΑ+ΤΑΨΙ	116																																																																																																																																																																																																																
ΔΧ+ΠΑΣΤΑ(ΜΕΤΑ)	92,5																																																																																																																																																																																																																
ΑΠΩΛΕΙΑ	23,5																																																																																																																																																																																																																
ΠΑΣΤΑ	67																																																																																																																																																																																																																
TG	53,75																																																																																																																																																																																																																
ΞΗΡΑΝΣΗ																																																																																																																																																																																																																	
ΔΕΙΓΜΑ	1,3																																																																																																																																																																																																																
ΞΗΡΟ	0,54																																																																																																																																																																																																																
ΠΟΣΟΣΤΑ																																																																																																																																																																																																																	
ΣΤΕΡΕΟ	41,54																																																																																																																																																																																																																
ΥΓΡΑΣΙΑ	58,46																																																																																																																																																																																																																
PERIEKTHKOTHTA ΠΑΣΤΑΣ																																																																																																																																																																																																																	
% pasta																																																																																																																																																																																																																	
solid+ph	27,83																																																																																																																																																																																																																
Dry mass in paste (%)																																																																																																																																																																																																																	
solid	41,4%																																																																																																																																																																																																																
H2O	3,33																																																																																																																																																																																																																
30,1%																																																																																																																																																																																																																	
MEK	35,83984615																																																																																																																																																																																																																
H2O	5,0%																																																																																																																																																																																																																
ph	0,080839156																																																																																																																																																																																																																
ph	0,1%																																																																																																																																																																																																																
tot	67																																																																																																																																																																																																																
tot	100,0%																																																																																																																																																																																																																
%	0,12%																																																																																																																																																																																																																
IN	277,51																																																																																																																																																																																																																
ΙΣΟΖΥΓΙΟ																																																																																																																																																																																																																	
OUT	187,6																																																																																																																																																																																																																
ΑΠΩΛΕΙΕΣ	89,91																																																																																																																																																																																																																
ΑΓΝΩΣΤΑ	4,30																																																																																																																																																																																																																
	27,58																																																																																																																																																																																																																
	6,27																																																																																																																																																																																																																
	-190,451																																																																																																																																																																																																																
	169,69																																																																																																																																																																																																																
	15,71																																																																																																																																																																																																																
	0,25																																																																																																																																																																																																																
	0,25																																																																																																																																																																																																																
	-5,05																																																																																																																																																																																																																
	6,02																																																																																																																																																																																																																
	0,9%																																																																																																																																																																																																																
unkn loss (solids)	3,24%																																																																																																																																																																																																																
unkn loss (liquid)	-2,06%																																																																																																																																																																																																																
<table border="1"> <tr><td>Sterea</td><td>37,44809</td><td>1,4</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>2,2</td><td>27,58</td><td>6,27</td></tr> <tr><td>Ygrasia</td><td>39,55191</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>119,8333</td><td></td><td>21,4</td><td>25,6</td><td>0,5</td><td>23,5</td><td>39,17</td><td>-190,451</td></tr> <tr><td>MEK</td><td>184,80</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>15,11</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>169,69</td></tr> <tr><td>H2O</td><td>15,71</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>15,71</td></tr> <tr><td>phthalates</td><td>0,495446</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0,25</td></tr> <tr><td>total</td><td>240,0599</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>15,11</td><td>119,8333</td><td>0</td><td>21,4</td><td>25,6</td><td>0,5</td><td>23,5</td><td>-5,05</td></tr> <tr><td>AGNOSTA</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>6,02</td></tr> <tr><td></td><td>1,3%</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0,9%</td></tr> </table>										Sterea	37,44809	1,4								2,2	27,58	6,27	Ygrasia	39,55191							119,8333		21,4	25,6	0,5	23,5	39,17	-190,451	MEK	184,80							15,11							169,69	H2O	15,71														15,71	phthalates	0,495446														0,25	total	240,0599	0	0	0	0	0	0	15,11	119,8333	0	21,4	25,6	0,5	23,5	-5,05	AGNOSTA															6,02		1,3%														0,9%																																																																											
Sterea	37,44809	1,4								2,2	27,58	6,27																																																																																																																																																																																																					
Ygrasia	39,55191							119,8333		21,4	25,6	0,5	23,5	39,17	-190,451																																																																																																																																																																																																		
MEK	184,80							15,11							169,69																																																																																																																																																																																																		
H2O	15,71														15,71																																																																																																																																																																																																		
phthalates	0,495446														0,25																																																																																																																																																																																																		
total	240,0599	0	0	0	0	0	0	15,11	119,8333	0	21,4	25,6	0,5	23,5	-5,05																																																																																																																																																																																																		
AGNOSTA															6,02																																																																																																																																																																																																		
	1,3%														0,9%																																																																																																																																																																																																		

Ισοζύγιο μάζας 4^{ης} καταβύθισης

IN										OUT																																																																																																																																																																																														
<table border="1"> <tr><td>ΠΑΣΤΑ</td><td>65,7</td></tr> <tr><td>ΜΕΚ</td><td>157,68</td></tr> <tr><td>ΝΕΡΟ</td><td>13,40</td></tr> <tr><td>ΔΟΧΕΙΟ</td><td>606</td></tr> </table>										ΠΑΣΤΑ	65,7	ΜΕΚ	157,68	ΝΕΡΟ	13,40	ΔΟΧΕΙΟ	606	<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΗΘΗΣΗ</td><td>22,6</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΗΘΗΣΗ	22,6	<table border="1"> <tr><td>ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td>87</td></tr> </table>										ΣΥΜΠΙΕΣΗ	87	<table border="1"> <tr><td>ΠΑΣΤΑ</td><td>66,6</td></tr> <tr><td>TG</td><td>61</td></tr> <tr><td>ΞΗΡΑΝΣΗ</td><td></td></tr> <tr><td>ΔΕΙΓΜΑ</td><td>2,7</td></tr> <tr><td>ΞΗΡΟ</td><td>1,05</td></tr> <tr><td>ΠΟΣΟΣΤΑ</td><td></td></tr> <tr><td>ΣΤΕΡΕΟ</td><td>38,88888889</td></tr> <tr><td>ΥΓΡΑΣΙΑ</td><td>61,11111111</td></tr> </table>										ΠΑΣΤΑ	66,6	TG	61	ΞΗΡΑΝΣΗ		ΔΕΙΓΜΑ	2,7	ΞΗΡΟ	1,05	ΠΟΣΟΣΤΑ		ΣΤΕΡΕΟ	38,88888889	ΥΓΡΑΣΙΑ	61,11111111																																																																																																																																					
ΠΑΣΤΑ	65,7																																																																																																																																																																																																							
ΜΕΚ	157,68																																																																																																																																																																																																							
ΝΕΡΟ	13,40																																																																																																																																																																																																							
ΔΟΧΕΙΟ	606																																																																																																																																																																																																							
ΑΠΩΛΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΗΘΗΣΗ	22,6																																																																																																																																																																																																							
ΣΥΜΠΙΕΣΗ	87																																																																																																																																																																																																							
ΠΑΣΤΑ	66,6																																																																																																																																																																																																							
TG	61																																																																																																																																																																																																							
ΞΗΡΑΝΣΗ																																																																																																																																																																																																								
ΔΕΙΓΜΑ	2,7																																																																																																																																																																																																							
ΞΗΡΟ	1,05																																																																																																																																																																																																							
ΠΟΣΟΣΤΑ																																																																																																																																																																																																								
ΣΤΕΡΕΟ	38,88888889																																																																																																																																																																																																							
ΥΓΡΑΣΙΑ	61,11111111																																																																																																																																																																																																							
<table border="1"> <tr><td>4η ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΗ</td><td>236,78</td></tr> </table>										4η ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΗ	236,78	<table border="1"> <tr><td>ΔΙΗΘΗΣΗ 5</td><td>222,8</td></tr> </table>										ΔΙΗΘΗΣΗ 5	222,8	<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ</td><td></td></tr> <tr><td>ΔΙΗΘΗΤΙΚΟ</td><td>9</td></tr> <tr><td>ΤΑΨΙ</td><td>9,1</td></tr> <tr><td>ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ</td><td>18,2</td></tr> <tr><td>ΣΥΝΟΛΟ:</td><td>36,3</td></tr> <tr><td>ΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ</td><td></td></tr> <tr><td>ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td>ΞΗΡΑ</td><td>ΑΠΩΛΕΙΑ</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>20,9</td><td>18,2</td><td>0</td></tr> <tr><td>ΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ</td><td></td></tr> <tr><td>ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td>ΞΗΡΑ</td><td>ΑΠΩΛΕΙΑ</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>10,8</td><td>10</td><td>0,8</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΗΘ.</td><td></td></tr> <tr><td>ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td>ΞΗΡΑ</td><td>ΑΠΩΛΕΙΑ</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>10,8</td><td>10</td><td>1</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td></td></tr> <tr><td>ΔΧ (ΟΛΑ)+ΠΑΣΤΑ+ΤΑΨΙ</td><td>142,2</td><td>105,9</td><td></td></tr> <tr><td>ΔΧ+ΠΑΣΤΑ(ΜΕΤΑ)</td><td>123,4</td><td>87,1</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td>18,8</td><td></td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ		ΔΙΗΘΗΤΙΚΟ	9	ΤΑΨΙ	9,1	ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ	18,2	ΣΥΝΟΛΟ:	36,3	ΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ		ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ			20,9	18,2	0	ΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ		ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ			10,8	10	0,8	ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΗΘ.		ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ			10,8	10	1	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ		ΔΧ (ΟΛΑ)+ΠΑΣΤΑ+ΤΑΨΙ	142,2	105,9		ΔΧ+ΠΑΣΤΑ(ΜΕΤΑ)	123,4	87,1				18,8																																																																																																																		
4η ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΗ	236,78																																																																																																																																																																																																							
ΔΙΗΘΗΣΗ 5	222,8																																																																																																																																																																																																							
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ																																																																																																																																																																																																								
ΔΙΗΘΗΤΙΚΟ	9																																																																																																																																																																																																							
ΤΑΨΙ	9,1																																																																																																																																																																																																							
ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ	18,2																																																																																																																																																																																																							
ΣΥΝΟΛΟ:	36,3																																																																																																																																																																																																							
ΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ																																																																																																																																																																																																								
ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ																																																																																																																																																																																																						
	20,9	18,2	0																																																																																																																																																																																																					
ΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ																																																																																																																																																																																																								
ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ																																																																																																																																																																																																						
	10,8	10	0,8																																																																																																																																																																																																					
ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΗΘ.																																																																																																																																																																																																								
ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ																																																																																																																																																																																																						
	10,8	10	1																																																																																																																																																																																																					
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ																																																																																																																																																																																																								
ΔΧ (ΟΛΑ)+ΠΑΣΤΑ+ΤΑΨΙ	142,2	105,9																																																																																																																																																																																																						
ΔΧ+ΠΑΣΤΑ(ΜΕΤΑ)	123,4	87,1																																																																																																																																																																																																						
		18,8																																																																																																																																																																																																						
<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ</td><td>13,98</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ	13,98	<table border="1"> <tr><td>ΔΙΗΘΗΜΑ</td><td>94,5</td></tr> </table>										ΔΙΗΘΗΜΑ	94,5	<table border="1"> <tr><td>solid+ph</td><td>25,9</td><td>Dry mass in paste (%)</td><td>38,8%</td></tr> <tr><td>H2O</td><td>3,4595</td><td>29,7%</td><td>55,9%</td></tr> <tr><td>MEK</td><td>37,2405</td><td></td><td>5,2%</td></tr> <tr><td>ph</td><td>0,047864729</td><td></td><td>0,072%</td></tr> <tr><td>tot</td><td>66,6</td><td></td><td>100,0%</td></tr> <tr><td>%</td><td>0,07%</td><td></td><td></td></tr> </table>										solid+ph	25,9	Dry mass in paste (%)	38,8%	H2O	3,4595	29,7%	55,9%	MEK	37,2405		5,2%	ph	0,047864729		0,072%	tot	66,6		100,0%	%	0,07%																																																																																																																																																	
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ	13,98																																																																																																																																																																																																							
ΔΙΗΘΗΜΑ	94,5																																																																																																																																																																																																							
solid+ph	25,9	Dry mass in paste (%)	38,8%																																																																																																																																																																																																					
H2O	3,4595	29,7%	55,9%																																																																																																																																																																																																					
MEK	37,2405		5,2%																																																																																																																																																																																																					
ph	0,047864729		0,072%																																																																																																																																																																																																					
tot	66,6		100,0%																																																																																																																																																																																																					
%	0,07%																																																																																																																																																																																																							
<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΣΚΕΥΗ</td><td></td></tr> <tr><td>ΚΑΘΑΡΑ</td><td>ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ</td><td>ΑΠΩΛΕΙΑ</td><td></td></tr> <tr><td>606</td><td>606,8</td><td>0,8</td><td></td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΣΚΕΥΗ		ΚΑΘΑΡΑ	ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ		606	606,8	0,8		<table border="1"> <tr><td>phthalates</td><td></td></tr> <tr><td>ΞΗΡΑΝΣΗ</td><td></td></tr> <tr><td>ΔΕΙΓΜΑ</td><td>19,68</td></tr> <tr><td>ΞΗΡΟ</td><td>0,04</td></tr> <tr><td>ph</td><td>0,082724</td></tr> <tr><td>ΝΕΡΟ</td><td>8,5%</td></tr> </table>										phthalates		ΞΗΡΑΝΣΗ		ΔΕΙΓΜΑ	19,68	ΞΗΡΟ	0,04	ph	0,082724	ΝΕΡΟ	8,5%	<table border="1"> <tr><td>phthalates</td><td></td></tr> <tr><td>phthalates on liquid base</td><td>0,12%</td></tr> <tr><td>phthalates on solid base</td><td>0,07%</td></tr> </table>										phthalates		phthalates on liquid base	0,12%	phthalates on solid base	0,07%																																																																																																																																															
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΣΚΕΥΗ																																																																																																																																																																																																								
ΚΑΘΑΡΑ	ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ																																																																																																																																																																																																						
606	606,8	0,8																																																																																																																																																																																																						
phthalates																																																																																																																																																																																																								
ΞΗΡΑΝΣΗ																																																																																																																																																																																																								
ΔΕΙΓΜΑ	19,68																																																																																																																																																																																																							
ΞΗΡΟ	0,04																																																																																																																																																																																																							
ph	0,082724																																																																																																																																																																																																							
ΝΕΡΟ	8,5%																																																																																																																																																																																																							
phthalates																																																																																																																																																																																																								
phthalates on liquid base	0,12%																																																																																																																																																																																																							
phthalates on solid base	0,07%																																																																																																																																																																																																							
<table border="1"> <tr><td>Sterea</td><td>27,29077</td><td>0,8</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>1</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>25,82</td><td>-0,32651</td></tr> <tr><td>Ygrasia</td><td>38,40923</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>94,30793</td><td></td><td></td><td>22,6</td><td>20,4</td><td>0,8</td><td>18,8</td><td>40,70</td><td>-159,199</td></tr> <tr><td>MEK</td><td>157,68</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>13,98</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>143,70</td></tr> <tr><td>H2O</td><td>13,40</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>13,40</td></tr> <tr><td>phthalates</td><td>0,24637</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0,163647</td></tr> <tr><td>total</td><td>209,492</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>13,9828</td><td>94,30793</td><td>0</td><td></td><td></td><td>22,6</td><td>20,4</td><td>0,8</td><td>18,8</td><td>0</td><td>-2,0987</td></tr> <tr><td>AGNOSTA</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-0,49015</td></tr> <tr><td></td><td>0,9%</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0,3%</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>unkn loss (solids)</td><td>-0,29%</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>unkn loss (liquid)</td><td>-0,99%</td></tr> </table>										Sterea	27,29077	0,8								1						25,82	-0,32651	Ygrasia	38,40923									94,30793			22,6	20,4	0,8	18,8	40,70	-159,199	MEK	157,68								13,98									143,70	H2O	13,40																	13,40	phthalates	0,24637																	0,163647	total	209,492	0	0	0	0	0	0	13,9828	94,30793	0			22,6	20,4	0,8	18,8	0	-2,0987	AGNOSTA																		-0,49015		0,9%																0,3%																				unkn loss (solids)	-0,29%																			unkn loss (liquid)	-0,99%
Sterea	27,29077	0,8								1						25,82	-0,32651																																																																																																																																																																																							
Ygrasia	38,40923									94,30793			22,6	20,4	0,8	18,8	40,70	-159,199																																																																																																																																																																																						
MEK	157,68								13,98									143,70																																																																																																																																																																																						
H2O	13,40																	13,40																																																																																																																																																																																						
phthalates	0,24637																	0,163647																																																																																																																																																																																						
total	209,492	0	0	0	0	0	0	13,9828	94,30793	0			22,6	20,4	0,8	18,8	0	-2,0987																																																																																																																																																																																						
AGNOSTA																		-0,49015																																																																																																																																																																																						
	0,9%																0,3%																																																																																																																																																																																							
																		unkn loss (solids)	-0,29%																																																																																																																																																																																					
																		unkn loss (liquid)	-0,99%																																																																																																																																																																																					

Ισοζύγιο μάζας 5^{ης} καταβύθισης

IN										OUT																																																																																																																																																				
<table border="1"> <tr><td>ΠΑΣΤΑ</td><td>63,9</td></tr> <tr><td>ΜΕΚ</td><td>153,36</td></tr> <tr><td>ΝΕΡΟ</td><td>13,04</td></tr> <tr><td>ΔΟΧΕΙΟ</td><td>606</td></tr> </table>										ΠΑΣΤΑ	63,9	ΜΕΚ	153,36	ΝΕΡΟ	13,04	ΔΟΧΕΙΟ	606	<table border="1"> <tr><td>ΠΑΣΤΑ</td><td>60,21</td></tr> <tr><td>TG</td><td>73,66</td></tr> <tr><td>ΞΗΡΑΝΣΗ</td><td></td></tr> <tr><td>ΔΕΙΓΜΑ</td><td>1,81</td></tr> <tr><td>ΞΗΡΟ</td><td>0,8</td></tr> <tr><td>ΠΟΣΟΣΤΑ</td><td></td></tr> <tr><td>ΣΤΕΡΕΟ</td><td>44,19889503</td></tr> <tr><td>ΥΓΡΑΣΙΑ</td><td>55,80110497</td></tr> </table>										ΠΑΣΤΑ	60,21	TG	73,66	ΞΗΡΑΝΣΗ		ΔΕΙΓΜΑ	1,81	ΞΗΡΟ	0,8	ΠΟΣΟΣΤΑ		ΣΤΕΡΕΟ	44,19889503	ΥΓΡΑΣΙΑ	55,80110497																																																																																																																			
ΠΑΣΤΑ	63,9																																																																																																																																																													
ΜΕΚ	153,36																																																																																																																																																													
ΝΕΡΟ	13,04																																																																																																																																																													
ΔΟΧΕΙΟ	606																																																																																																																																																													
ΠΑΣΤΑ	60,21																																																																																																																																																													
TG	73,66																																																																																																																																																													
ΞΗΡΑΝΣΗ																																																																																																																																																														
ΔΕΙΓΜΑ	1,81																																																																																																																																																													
ΞΗΡΟ	0,8																																																																																																																																																													
ΠΟΣΟΣΤΑ																																																																																																																																																														
ΣΤΕΡΕΟ	44,19889503																																																																																																																																																													
ΥΓΡΑΣΙΑ	55,80110497																																																																																																																																																													
<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΗΘΗΣΗ</td><td>26</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΗΘΗΣΗ	26	<table border="1"> <tr><td>ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td>70,5</td></tr> </table>										ΣΥΜΠΙΕΣΗ	70,5																																																																																																																																							
ΑΠΩΛΕΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΗΘΗΣΗ	26																																																																																																																																																													
ΣΥΜΠΙΕΣΗ	70,5																																																																																																																																																													
<table border="1"> <tr><td>5η ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΗ</td><td>197,8</td></tr> </table>										5η ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΗ	197,8	<table border="1"> <tr><td>ΔΙΗΘΗΣΗ 6</td><td>82,6</td></tr> </table>										ΔΙΗΘΗΣΗ 6	82,6																																																																																																																																							
5η ΚΑΤΑΒΥΘΙΣΗ	197,8																																																																																																																																																													
ΔΙΗΘΗΣΗ 6	82,6																																																																																																																																																													
<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ</td><td>32,50</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ	32,50	<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ</td><td></td></tr> <tr><td>ΔΙΗΘΗΤΙΚΟ</td><td>9</td></tr> <tr><td>ΤΑΨΙ</td><td>9,1</td></tr> <tr><td>ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ</td><td>18,3</td></tr> <tr><td>ΣΥΝΟΛΟ:</td><td>36,4</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ		ΔΙΗΘΗΤΙΚΟ	9	ΤΑΨΙ	9,1	ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ	18,3	ΣΥΝΟΛΟ:	36,4																																																																																																																															
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΑΝΑΔΕΥΣΗΣ	32,50																																																																																																																																																													
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ																																																																																																																																																														
ΔΙΗΘΗΤΙΚΟ	9																																																																																																																																																													
ΤΑΨΙ	9,1																																																																																																																																																													
ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ	18,3																																																																																																																																																													
ΣΥΝΟΛΟ:	36,4																																																																																																																																																													
<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΣΚΕΥΗ</td><td></td></tr> <tr><td>ΚΑΘΑΡΑ</td><td>606</td></tr> <tr><td>ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ</td><td>606,8</td></tr> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΑ</td><td>0,8</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΣΚΕΥΗ		ΚΑΘΑΡΑ	606	ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ	606,8	ΑΠΩΛΕΙΑ	0,8	<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ</td><td></td></tr> <tr><td>ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td>ΞΗΡΑ</td><td>ΑΠΩΛΕΙΑ</td></tr> <tr><td></td><td>20,5</td><td>18,3</td><td>0</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ		ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ		20,5	18,3	0																																																																																																																										
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΤΑ ΣΚΕΥΗ																																																																																																																																																														
ΚΑΘΑΡΑ	606																																																																																																																																																													
ΥΠΟΛΕΙΜΜΑΤΑ	606,8																																																																																																																																																													
ΑΠΩΛΕΙΑ	0,8																																																																																																																																																													
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ																																																																																																																																																														
ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ																																																																																																																																																												
	20,5	18,3	0																																																																																																																																																											
<table border="1"> <tr><td>ΔΙΗΘΗΜΑ</td><td>89,2</td></tr> </table>										ΔΙΗΘΗΜΑ	89,2	<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ</td><td></td></tr> <tr><td>ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td>ΞΗΡΑ</td><td>ΑΠΩΛΕΙΑ</td></tr> <tr><td></td><td>9,7</td><td>9,6</td><td>0,1</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ		ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ		9,7	9,6	0,1																																																																																																																																
ΔΙΗΘΗΜΑ	89,2																																																																																																																																																													
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΣΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΑ																																																																																																																																																														
ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ																																																																																																																																																												
	9,7	9,6	0,1																																																																																																																																																											
<table border="1"> <tr><td>phthalates</td><td></td></tr> <tr><td>ΞΗΡΑΝΣΗ</td><td></td></tr> <tr><td>ΔΕΙΓΜΑ</td><td>9,32</td></tr> <tr><td>ΞΗΡΟ</td><td>0,0003</td></tr> <tr><td>ph</td><td>0,001081</td></tr> <tr><td>ΝΕΡΟ</td><td>8,5%</td></tr> </table>										phthalates		ΞΗΡΑΝΣΗ		ΔΕΙΓΜΑ	9,32	ΞΗΡΟ	0,0003	ph	0,001081	ΝΕΡΟ	8,5%	<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΗΘ.</td><td></td></tr> <tr><td>ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td>ΞΗΡΑ</td><td>ΑΠΩΛΕΙΑ</td></tr> <tr><td></td><td>9,7</td><td>9,6</td><td>0,6</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΗΘ.		ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ		9,7	9,6	0,6																																																																																																																						
phthalates																																																																																																																																																														
ΞΗΡΑΝΣΗ																																																																																																																																																														
ΔΕΙΓΜΑ	9,32																																																																																																																																																													
ΞΗΡΟ	0,0003																																																																																																																																																													
ph	0,001081																																																																																																																																																													
ΝΕΡΟ	8,5%																																																																																																																																																													
ΑΠΩΛΕΙΑ ΣΤΕΡΕΟΥ ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΔΙΗΘ.																																																																																																																																																														
ΜΕΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ	ΞΗΡΑ	ΑΠΩΛΕΙΑ																																																																																																																																																												
	9,7	9,6	0,6																																																																																																																																																											
<table border="1"> <tr><td>phthalates</td><td></td></tr> <tr><td>phthalates on liquid base</td><td>0,04%</td></tr> <tr><td>phthalates on solid base</td><td>0,02%</td></tr> </table>										phthalates		phthalates on liquid base	0,04%	phthalates on solid base	0,02%	<table border="1"> <tr><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ</td><td></td></tr> <tr><td>ΔΧ (ΟΛΑ)+ΠΑΣΤΑ+ΤΑΨΙ</td><td>119</td><td>82,6</td></tr> <tr><td>ΔΧ+ΠΑΣΤΑ(ΜΕΤΑ)</td><td>106,9</td><td>70,5</td></tr> <tr><td></td><td></td><td>12,1</td></tr> </table>										ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ		ΔΧ (ΟΛΑ)+ΠΑΣΤΑ+ΤΑΨΙ	119	82,6	ΔΧ+ΠΑΣΤΑ(ΜΕΤΑ)	106,9	70,5			12,1																																																																																																																										
phthalates																																																																																																																																																														
phthalates on liquid base	0,04%																																																																																																																																																													
phthalates on solid base	0,02%																																																																																																																																																													
ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΔΙΑΛΥΤΗ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΜΠΙΕΣΗ																																																																																																																																																														
ΔΧ (ΟΛΑ)+ΠΑΣΤΑ+ΤΑΨΙ	119	82,6																																																																																																																																																												
ΔΧ+ΠΑΣΤΑ(ΜΕΤΑ)	106,9	70,5																																																																																																																																																												
		12,1																																																																																																																																																												
<table border="1"> <tr><td>phthalates</td><td></td></tr> <tr><td>phthalates on liquid base</td><td>0,04%</td></tr> <tr><td>phthalates on solid base</td><td>0,02%</td></tr> </table>										phthalates		phthalates on liquid base	0,04%	phthalates on solid base	0,02%	<table border="1"> <tr><td>ΔΡΥ ΜΑΣΣΑ ΣΤΗ ΠΑΣΤΑ (%)</td><td></td></tr> <tr><td>solid+ph</td><td>26,6121547</td><td>44,2%</td></tr> <tr><td>H2O</td><td>2,855816851</td><td>37,7%</td></tr> <tr><td>ΜΕΚ</td><td>30,74202845</td><td>4,7%</td></tr> <tr><td>ph</td><td>0,013021465</td><td>0,022%</td></tr> <tr><td>tot</td><td>60,21</td><td>100,0%</td></tr> <tr><td>%</td><td>0,02%</td><td></td></tr> </table>										ΔΡΥ ΜΑΣΣΑ ΣΤΗ ΠΑΣΤΑ (%)		solid+ph	26,6121547	44,2%	H2O	2,855816851	37,7%	ΜΕΚ	30,74202845	4,7%	ph	0,013021465	0,022%	tot	60,21	100,0%	%	0,02%																																																																																																																		
phthalates																																																																																																																																																														
phthalates on liquid base	0,04%																																																																																																																																																													
phthalates on solid base	0,02%																																																																																																																																																													
ΔΡΥ ΜΑΣΣΑ ΣΤΗ ΠΑΣΤΑ (%)																																																																																																																																																														
solid+ph	26,6121547	44,2%																																																																																																																																																												
H2O	2,855816851	37,7%																																																																																																																																																												
ΜΕΚ	30,74202845	4,7%																																																																																																																																																												
ph	0,013021465	0,022%																																																																																																																																																												
tot	60,21	100,0%																																																																																																																																																												
%	0,02%																																																																																																																																																													
<table border="1"> <tr><td>ΙΣΟΖΥΓΙΟ</td><td>IN</td><td>230,30</td></tr> <tr><td></td><td>OUT</td><td>149,41</td></tr> <tr><td></td><td>ΑΠΩΛΕΙΕΣ</td><td>80,89</td></tr> <tr><td></td><td>ΑΓΝΩΣΤΑ</td><td>0,00</td></tr> </table>										ΙΣΟΖΥΓΙΟ	IN	230,30		OUT	149,41		ΑΠΩΛΕΙΕΣ	80,89		ΑΓΝΩΣΤΑ	0,00	<table border="1"> <tr><td>Sterea</td><td>24,85</td><td>0,8</td><td>0,6</td><td>26,61</td><td>-3,16107</td></tr> <tr><td>Ygrasia</td><td>39,05</td><td>89,19713</td><td>26</td><td>10,29</td><td>0,1</td><td>12,1</td><td>33,60</td><td>-132,235</td></tr> <tr><td>MEK</td><td>153,36</td><td>32,50</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>120,86</td></tr> <tr><td>H2O</td><td>13,04</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>13,04</td></tr> <tr><td>phthalates</td><td>0,079624</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0,00</td><td>0,078543</td></tr> <tr><td>total</td><td>205,4456</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>32,4956</td><td>89,19713</td><td>0</td><td>26</td><td>10,29</td><td>0,1</td><td>12,1</td><td>0</td><td>33,5978453</td><td>1,665026</td></tr> <tr><td>AGNOSTA</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>-3,23962</td></tr> <tr><td></td><td>0,3%</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>0,0041%</td><td></td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>unkn loss (solids)</td><td>-2,24%</td></tr> <tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>unkn loss (liquid)</td><td>0,82%</td></tr> </table>										Sterea	24,85	0,8	0,6	26,61	-3,16107	Ygrasia	39,05	89,19713	26	10,29	0,1	12,1	33,60	-132,235	MEK	153,36	32,50						120,86	H2O	13,04							13,04	phthalates	0,079624						0,00	0,078543	total	205,4456	0	0	0	0	0	32,4956	89,19713	0	26	10,29	0,1	12,1	0	33,5978453	1,665026	AGNOSTA																-3,23962		0,3%														0,0041%																	unkn loss (solids)	-2,24%																unkn loss (liquid)	0,82%
ΙΣΟΖΥΓΙΟ	IN	230,30																																																																																																																																																												
	OUT	149,41																																																																																																																																																												
	ΑΠΩΛΕΙΕΣ	80,89																																																																																																																																																												
	ΑΓΝΩΣΤΑ	0,00																																																																																																																																																												
Sterea	24,85	0,8	0,6	26,61	-3,16107																																																																																																																																																									
Ygrasia	39,05	89,19713	26	10,29	0,1	12,1	33,60	-132,235																																																																																																																																																						
MEK	153,36	32,50						120,86																																																																																																																																																						
H2O	13,04							13,04																																																																																																																																																						
phthalates	0,079624						0,00	0,078543																																																																																																																																																						
total	205,4456	0	0	0	0	0	32,4956	89,19713	0	26	10,29	0,1	12,1	0	33,5978453	1,665026																																																																																																																																														
AGNOSTA																-3,23962																																																																																																																																														
	0,3%														0,0041%																																																																																																																																															
															unkn loss (solids)	-2,24%																																																																																																																																														
															unkn loss (liquid)	0,82%																																																																																																																																														

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ: ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΥΓΡΑΣΙΑΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΟΓΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΑΝΑΛΥΣΗΣ KARL FISCHER

Για να διαπιστωθεί ότι είναι επιτυχής η μέθοδος διαχωρισμού, είναι σημαντικό να προσδιορισθεί αν το καθαρό MEK που ανακτάται από τη μέθοδο διαχωρισμού περιέχει ποσότητα υγρασίας και πόση είναι αυτή. Μέχρι το 1% υγρασία κατά βάρος θεωρείται αποδεκτή. Κάτι τέτοιο επιτυγχάνεται με τη μέθοδο Karl-Fischer.

Η μέθοδος Karl-Fischer, ανακαλύφθηκε από τον Γερμανό χημικό KARL-FISCHER το 1935, η οποία έχει σαν στόχο τον προσδιορισμό ποσότητας νερού σε δείγματα. Πρόκειται για μέθοδο τιτλοδότησης, που χρησιμοποιείται ευρέως στην αναλυτική χημεία και αποτελεί την πλέον διαδεδομένη μέθοδο προσδιορισμού περιεκτικότητας νερού σε δείγματα όπου χρησιμοποιείται σε ερευνητικό επίπεδο, στην επιστήμη των τροφίμων και στον ποιοτικό έλεγχο προϊόντων στη βιομηχανία.

Γενικότερα η χρησιμοποιούνται 2 μέθοδοι. Για μικρές ποσότητες υγρασίας, η κουλομετρική μέθοδος είναι προτιμότερη. Για ποσοστά υγρασία μεγαλύτερα του 1-2% απαιτείται η ογκομετρική μέθοδος.

Η αρχή της μεθόδου βασίζεται στην αντίδραση μεταξύ Ιωδίου και νερού, όπου η αντίδραση αλλάζει την αγωγιμότητα του δείγματος που περιέχει νερό σε διαφορετικό επίπεδο με βάση την αντίδραση KARL-FISCHER. Η αλλαγή στην αγωγιμότητα καθορίζει το σημείο στο οποίο τερματίζεται η αντίδραση.

Ένας διαλύτης(Aqualine solvent) μεταφέρεται σε κελί τιτλοδότησης το οποίο περιλαμβάνει ένα ηλεκτρόδιο, την είσοδο του δείγματος και την είσοδο του αντιδραστήριου Karl-Fischer και έναν αναδευτήρα.

Η μέθοδος, χρησιμοποιώντας κάποιο "τίτλο", στην περίπτωση μας Ιώδιο, εντοπίζει και δεσμεύει την ποσότητα υγρασίας που περιέχεται στο διάλυμα ,το οποίο τιτλοδοτείται και προσδιορίζεται το ποσοστό υγρασίας κατά βάρος που περιέχει το υπό εξέταση δείγμα.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

Το δείγμα μεταφέρεται με χρήση σύριγγας στο κελί τιτλοδότησης, το οποίο διαλύεται με τον διαλύτη που είναι ήδη τοποθετημένος στο κελί. Κάτι τέτοιο προκαλεί την αλλαγή την ηλεκτρική αγωγιμότητα του συστήματος δείγμα/διαλύτη. Ταυτόχρονα τοποθετείται ο τίτλος-ΙΩΔΙΟ-το οποίο αντιδρά με την ποσότητα του νερού που

εμπεριέχεται στο δείγμα έτσι ώστε η αγωγιμότητα να επανέλθει στα αρχικά επίπεδα. Η ποσότητα υγρασίας στο δείγμα υπολογίζεται με βάση την ποσότητα τίτλου που χρειάζεται για να φτάσει το σύστημα στα αρχικά επίπεδα αγωγιμότητας.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ: ΔΙΑΤΑΞΗ ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗΣ ΝΕΡΟΥ ΜΕ ΜΟΡΙΑΚΑ ΚΟΣΚΙΝΑ

Στο παράρτημα αυτό παρουσιάζονται τα πειράματα που έγιναν με σκοπό τη διερεύνηση για τη βέλτιστη πειραματική διάταξη διαχωρισμού ΜΕΚ/ΝΕΡΟΥ με χρήση μοριακών κοσκίνων.

Σε κάθε πείραμα, παρασκευάζεται πρότυπο διάλυμα ΜΕΚ/ΝΕΡΟΥ, το οποίο περνάει διαμέσου μοριακών κοσκίνων. Στόχος, είναι στη βέλτιστη πειραματική διάταξη να εξασφαλίζεται η διέλευση του διαλύματος ΜΕΚ/ΝΕΡΟΥ διαμέσου των κοσκίνων υπό τη μορφή ατμών. Τα πειράματα ξεκίνησαν από μια αρχική διάταξη, όπου ανάλογα με τις παρατηρήσεις από το κάθε πείραμα, εξελίχθηκε στην τελική διάταξη (Πείραμα 5) που χρησιμοποιήθηκε για τις τελικές μετρήσεις, όπως περιγράφεται στο Κεφάλαιο 5.

Σε κάθε πείραμα εξετάζεται:

- Η διέλευση του διαλύματος δια μέσω των κοσκίνων στην ατμώδη φάση
- Η ομοιόμορφη θέρμανση της διάταξης
- Οι συνθήκες του πειράματος, δηλαδή η θερμοκρασία - καθώς το μίγμα ΜΕΚ/ΝΕΡΟΥ παρουσιάζει αζεότροπο στους 73,3°C
- Η ελαχιστοποίηση των απωλειών διαλυτών
- Η επαρκής μόνωση του συστήματος

ΠΕΙΡΑΜΑ 1

Στην πρώτη προσπάθεια διαχωρισμού του διαλύματος ΜΕΚ/ΝΕΡΟΥ έγινε χρήση κάθετου γυάλινου σωλήνα, με άνοιγμα στο πλάι, στον οποίο τοποθετήθηκε ποσότητα μοριακών κοσκίνων. Ο γυάλινος σωλήνας οδηγεί σε κατακόρυφο ψυκτήρα, προς τη συμπύκνωση και συλλογή της καθαρής ποσότητας ΜΕΚ. Στην Εικόνα Π-1, παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη:



Εικόνα Π-1: Διάταξη πειράματος 1

Η πειραματική διάταξη αποτελείται από:

- Θερμαινόμενη βάση
- Ψυκτήρας
- Σφαιρική φιάλη
- Κωνική φιάλη/ποτήρι ζέσεως για την συλλογή του συμπυκνώματος από τον ψυκτήρα
 - Γυάλινο κατακόρυφο σωλήνα με άνοιγμα στο πλάι-ανάλογα με την δοκιμή- στον οποίο τοποθετούνται τα μοριακά κόσκινα.
- Σύνδεσμοι
- Λάστιχα

Στη σφαιρική φιάλη τοποθετήθηκαν το NEPO και το MEK. Το σύστημα τέθηκε σε λειτουργία με μαγνητική ανάδευση στα 500 rpm και θερμοκρασία στους 150° C.

Από τα πρώτα μόλις 10 λεπτά σχηματίστηκαν ατμοί οι οποίοι διαπέρασαν το φράγμα από το βαμβάκι προς τα μοριακά κόσκινα βρέχοντάς τα, παρατηρώντας τα εξής:

- Μεταξύ της εισόδου του ψυκτήρα και της εξόδου του σωλήνα με τα μοριακά κόσκινα, παρατηρήθηκε συσσώρευση υγρού. Θεωρητικά περιμέναμε να περνάει υπό τη μορφή αερίου στον ψυκτήρα-που είναι και ο στόχος του πειράματος- πράγμα που δεν έγινε.
- Δεν έγινε εξάτμιση μέχρι ξηρού, οπότε στη σφαιρική φιάλη παρέμεινε ποσότητα διαλύματος MEK/NEPOY ως υπόλειμμα.
- Τόσο στο υπόλειμμα όσο και στο απόσταγμα παρατηρήθηκε ότι το διάλυμα από άχρωμο έγινε κίτρινο. Κάτι τέτοιο οφείλεται στο ότι τα MS τοποθετήθηκαν κατευθείαν από το κουτί στη διάταξη, χωρίς κάποια προκατεργασία, με αποτέλεσμα να βγάλουν χρώμα. Ο αποχρωματισμός των κοσκίων είναι ανεπιθύμητος, αφού στα υπό εξέταση δείγματα υπάρχει ποσότητα φθαλικών ενώσεων οι οποίες αποδίδουν κίτρινο χρώμα στο διάλυμα. Οπότε για τα επόμενα πειράματα, τα μοριακά κόσκινα υπόκεινται σε προκατεργασία όπως αναφέρεται στο Παράρτημα II.

Αποτελέσματα-Σχολιασμός:

Το αρχικό διάλυμα MEK/NEPOY, περιείχε 5,5% κατά βάρος περιεκτικότητα σε νερό στο σύνολο των 127 g διαλύματος. Η ποσότητα του αποστάγματος που ανακτήθηκε είναι 94,68g με υγρασία 1,042%. Η παρουσία υγρασίας ικανοποιεί την συνθήκη για μέχρι 1% περιεκτικότητα σε νερό στο απόσταγμα. Όσον αφορά τις απώλειες, παρατηρείται ότι χάθηκαν 1,52 g, δηλαδή 1,2% ως προς την αρχική μάζα του συστήματος.

Με βάση τα πιο πάνω λοιπόν, παρατηρείται πως ο διαχωρισμός ναί μεν ήταν επιτυχής με μικρές απώλειες, όμως δεν μπορούν να μην ληφθούν υπόψη τα προβλήματα που δημιουργήθηκαν κατά τη διάρκεια του πειράματος, με πιο σημαντικό το ότι το μίγμα MEK/NEPO συμπυκνώθηκε πριν περάσει μέσα από τα μοριακά κόσκινα. Η παρουσία συμπυκνώματος είναι ανεπιθύμητη καθώς στόχος του πειράματος είναι η διοχέτευση του μίγματος υπό μορφή αερίου έτσι ώστε να συγκρατηθεί η ελάχιστη ποσότητα MEK, και η περισσότερη δυνατή σε νερό.

Οπότε ως λύση αποφασίστηκε να αλλάξει κλίση ο ψυκτήρας και από κατακόρυφος να γίνει πλάγιος, έτσι ώστε να διευκολύνεται η ροή του συμπυκνώματος. Επίσης άλλαξε και ο σωλήνας στον οποίο θα τοποθετηθούν τα κόσκινα, όπως παρουσιάζεται στο Πείραμα 2. Ο κατακόρυφος σωλήνας αντικαθίσταται με οριζόντιο γυάλινο σωλήνα.

ΠΕΙΡΑΜΑ 2

Στο συγκεκριμένο πείραμα ο καμπυλωτός σωλήνας του πειράματος 2, αντικαθίσταται με γυάλινο οριζόντιο σωλήνα υπό κλίση για την τοποθέτηση των μοριακών κόσκινων, ο οποίος συνδέεται με την σφαιρική φιάλη μέσω καμπυλωτού συνδέσμου. Ο νέος σωλήνας έχει μεγαλύτερο μήκος, με σκοπό να αυξηθεί ο χρόνος παραμονής των ατμών μέσα στο σωλήνα για καλύτερα αποτελέσματα.



Εικόνα Π-2: Διάταξη πειράματος 2

Όπως φαίνεται και από την νέα διάταξη, (Εικόνα Π-2), χρησιμοποιείται μόνωση εξωτερικά με πετροβάμβακα και μεμβράνη αλουμινίου προς αποφυγή διαρροών και απωλειών δείγματος, τόσο στο γυάλινο σωλήνα όσο και στο λαιμό που συνδέει τη σφαιρική φιάλη με το σωλήνα με τα μοριακά κόσκινα. Τοποθετήθηκαν 59 g μοριακά κόσκινα, 10 g νερό και 72 g MEK. Το σύστημα τέθηκε σε λειτουργία στους 150° C και σε μαγνητική ανάδευση στα 200rpm , όπου παρατηρήθηκαν τα εξής:

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

- Δεν εμφανίστηκαν ιδιαίτερα προβλήματα κατά τη διάρκεια του πειράματος .
- Αυξήθηκε η θερμοκρασία από 150° C σε 170° C για να γίνει πιο έντονος ο βρασμός και ο σχηματισμός των ατμών.
- Παρατηρείται όμως ότι στα τοιχώματα της σφαιρικής φιάλης εμφανίζονται σταγονίδια τα οποία υγροποιούνται με την ψύξη της σφαιρικής φιάλης σε θερμοκρασία δωματίου. Οπότε την επόμενη φορά το σύστημα θερμαίνεται μέχρι ξηρού και αφήνεται σε θερμοκρασία

δωματίου προς την υγροποίηση αυτών των σταγονιδίων. Έπειτα το σύστημα θερμαίνεται ξανά ούτως ώστε να εξατμιστούν τα σταγονίδια που τυχόν παρέμειναν στη συσκευή.

- Παρατηρείται ότι τα βαμβάκια που τοποθετήθηκαν στην είσοδο και έξοδο του γυάλινου σωλήνα με τα μοριακά κόσκινα, μάζεψαν αρκετή ποσότητα MEK-ειδικότερα στην είσοδο του σωλήνα- με αποτέλεσμα να έχουμε απώλειες δείγματος. Οπότε τοποθετείται κομμάτι σίτας στην είσοδο του σωλήνα με τα μοριακά κόσκινα και στην έξοδο προζυγισμένο βαμβάκι. Το MEK περνάει ως ατμός στον ψυκτήρα προς συμπύκνωση και συλλογή του.

Αποτελέσματα-Σχολιασμός:

Από το αρχικό διάλυμα MEK/NEPO με υγρασία 12,2% κατά βάρος, η υγρασία στο απόσταγμα μειώνεται σε 2,6% χωρίς να ικανοποιείται η συνθήκη για την υγρασία του αποστάγματος. Οπότε επαναλαμβάνεται το πείραμα, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ότι μέσα στον σωλήνα με τα μοριακά κόσκινα περνάει ατμός MEK/NEPOY όπου δεσμεύεται μόνο ποσότητα νερού.

Οι απώλειες σημειώνονται στο 1 g γεγονός που υποδεικνύει ότι η μόνωση στη σύνδεση και στο σωλήνα με τα μοριακά κόσκινα είναι απαραίτητη και για τα υπόλοιπα πειράματα. Η ποσότητα του υπολείμματος δεν ήταν επαρκής ποσότητα υπολείμματος για να προσδιοριστεί το ποσοστό υγρασίας.

ΠΕΙΡΑΜΑ 3

Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιήθηκε εναλλακτική συσκευή για την τοποθέτηση των μοριακών κόσκινων. Έγινε χρήση ψυκτήρα, όπου τα μοριακά κόσκινα τοποθετήθηκαν στο εσωτερικό του σπειρωτού σωλήνα όπου και σφραγίστηκαν οι δυο άκρες με υαλοβάμβακα. Χρησιμοποιείται υαλοβάμβακας και όχι βαμβάκι, στη προσπάθεια να μειωθούν οι απώλειες.

Σε σύγκριση με τα προηγούμενα πειράματα, μειώνεται η ποσότητα των κοσκίνων στο ψυκτήρα, όμως ταυτόχρονα αυξάνεται ο χρόνος παραμονής των ατμών. Ο σπειρωτός ψυκτήρας με τα κόσκινα τοποθετείται πλάγια. Σκοπός αυτής της αλλαγής είναι η αύξηση του χρόνου παραμονής της ατμώδους φάσης δια μέσου των μοριακών κοσκίνων, καθώς η διαδρομή που πρέπει να διανύσει ο ατμός είναι μεγαλύτερη.

Το διάλυμα ΜΕΚ/ΝΕΡΟΥ αποτελείται από 6g νερό και 54 g ΜΕΚ. Στον ψυκτήρα τοποθετήθηκαν 62 g μοριακά κόσκινα τα οποία προηγουμένως τοποθετήθηκαν σε φούρνο στους 250° C για μια ώρα προς απομάκρυνση οποιασδήποτε ποσότητας υγρασίας, η οποία μπορεί να απορροφήθηκε κατά την αποθήκευσή τους. Το σύστημα τέθηκε σε λειτουργία στους 170° C και σε ανάδευση στα 250 rpm, με σταδιακή αύξηση των στροφών στα 500 rpm.



Εικόνα Π-3: Διάταξη Πειράματος 3

Παρατηρήσεις:

- Μετά τα πρώτα 30 λεπτά λειτουργίας, ο βρασμός έγινε εντονότερος με τα μοριακά κόσκινα να διαβρέχονται από διάλυμα MEK/NEPO.
- Παρατηρήθηκε ότι από ένα σημείο και μετά η ποσότητα του διαλύματος στη σφαιρική φιάλη δεν ήταν αρκετή για να συνεχίσει το πείραμα. Εφόσον άλλαξε το είδος του ψυκτήρα και τα κόσκινα πλέον τοποθετήθηκαν μέσα στη σπείρα, απαιτείται περισσότερη ποσότητα MEK, για να κάνει όλη τη διαδρομή δια μέσου των κοσκίων μέχρι την έξοδο και τελικά προς τη συμπύκνωση. Η ποσότητα του MEK διαβρέχει και τα τοιχώματα της σπείρας κατά τη διαδρομή –του MEK- προς τον ψυκτήρα και για την συμπύκνωσή του, οπότε εκεί κατακρατήθηκε αρκετή ποσότητα MEK.
- Ακόμη στην είσοδο του ψυκτήρα με τα MS, παρατηρήθηκε συσσώρευση συμπυκνώματος πράγμα ανεπιθύμητο. Οπότε τοποθετήθηκε θερμαινόμενη ταινία κατά μήκος του ψυκτήρα με τα MS έτσι ώστε να διασφαλιστεί η διέλευση ατμού δια μέσου των κοσκίων. Η ταινία τοποθετήθηκε στην είσοδο και έξοδο του ψυκτήρα με τα μοριακά κόσκινα (Εικόνα Π-4), καθώς σε εκείνα σημεία και ειδικότερα στην είσοδο παρατηρείται το φαινόμενο της πρόωρης συμπύκνωσης των ατμών MEK/NEPOY. Ακόμη η ταινία τοποθετήθηκε σε όλο το μήκος του ψυκτήρα, για να αποφευχθεί η ξήρανση των κοσκίων. Το συμπύκνωμα όμως δεν εξατμίστηκε και έτσι έγινε αλλαγή στην διάταξη, με τον ψυκτήρα να τοποθετείται κατακόρυφα, όπως περιγράφεται στο επόμενο πείραμα.



Εικόνα Π-4: Η ταινία τοποθετημένη στην είσοδο και έξοδο του ψυκτήρα

Εφόσον παρατηρήθηκε ότι η συμπύκνωση συνεχιζόταν στην είσοδο του ψυκτήρα, το πείραμα διακόπηκε για να μπορέσει να συνεχιστεί αλλάζοντας τον προσανατολισμό του ψυκτήρα από πλάγιο σε κατακόρυφο, χρησιμοποιώντας επίσης και περισσότερη ποσότητα διαλύματος.

Αποτελέσματα-Σχολιασμός:

Από το αρχικό διάλυμα ΜΕΚ/ΝΕΡΟΥ περιεκτικότητας 10% κατά βάρος καταλήξαμε σε απόσταγμα περιεκτικότητας 4,5% κατά βάρος, αποτέλεσμα το οποίο δεν ικανοποιεί την συνθήκη για περιεκτικότητα αποστάγματος 1% κατά βάρος. Κάτι τέτοιο οφείλεται στο ότι το πείραμα διακόπηκε για να συνεχιστεί με διαφορετικό προσανατολισμό του ψυκτήρα με τα μοριακά κόσκινα.

ΠΕΙΡΑΜΑ 4

Σε αυτό το πείραμα άλλαξε ο προσανατολισμός του ψυκτήρα και από πλάγια, τοποθετήθηκε κατακόρυφα, έτσι ώστε οποιαδήποτε ποσότητα συσσωρεύεται λόγω συμπύκνωσης και διαβροχής του MEK στα τοιχώματα στη σπείρας, να επιστρέφει πίσω στη σφαιρική φιάλη για να εξατμισθεί περαιτέρω. Ακόμη χρησιμοποιείται λουτρό για την θέρμανση του ψυκτήρα που είναι τοποθετημένα τα κόσκινα. Η συνεχής θέρμανσή τους εξασφαλίζει την μεταφορά ατμού δια μέσω τους. Η θερμοκρασία του λουτρού είναι ίση με 84°C , ούτως ώστε να διατηρείται σταθερή η θερμοκρασία και να εξασφαλίζεται ότι μέσα από τα μοριακά κόσκινα περνάει ατμός.



Εικόνα Π-5: Διάταξη Πειράματος 4

Όπως φαίνεται και από τη διάταξη (Εικόνα Π-5), για τη συλλογή του αποστάγματος, προστέθηκε παγόλουτρο με σκοπό τη μείωση της εξάτμισης του MEK, το οποίο είναι αρκετά πτητικό και κατ' επέκταση μείωση των απωλειών του πειράματος. Η έξοδος του ψυκτήρα με το συμπυκνωμένο MEK, σφραγίστηκε με φιλμ παραφίνης για τον ίδιο λόγο.

Παρατηρήσεις:

- Σχηματισμός φυσαλίδων αέρα στο συμπύκνωμα γεγονός που υποδεικνύει την παρουσία ατμού, δηλαδή ότι επιτεύχθηκε ο στόχος να περνάει μόνο ατμός ανάμεσα στα κόσκινα.

- Όταν ο βρασμός σταματάει, τότε λόγω πτώσης πίεσης η στάθμη του συμπυκνώματος στην έξοδο κατεβαίνει-εξαιτίας της κατακόρυφης τοποθέτησης του ψυκτήρα με τα κόσκινα- και καταβρέχει τα κόσκινα τα οποία ξηραίνονται περαιτέρω.
- Δια μέσου των μοριακών κοσκίων επιτυγχάνεται η μεταφορά ατμού καθώς παρατηρείται έντονος βρασμός στις σπείρες.
- Στην έξοδο του ψυκτήρα, παρατηρείται σχηματισμός συμπυκνώματος και φυσαλίδων που φανερώνουν την μεταφορά ατμού διαμέσου των κοσκίων.



Εικόνα Π-6: Σε μεγέθυνση η μεταφορά ατμού δια μέσου των μοριακών κοσκίων

Αποτελέσματα-Σχολιασμός:

Από το αρχικό διάλυμα με 7% περιεκτικότητα σε νερό κατά βάρος καταλήξαμε σε απόσταγμα 0,176% περιεκτικότητα σε υγρασία. Κάτι τέτοιο υποδεικνύει ότι ο διαχωρισμός ΜΕΚ/ΝΕΡΟΥ ήταν επιτυχής. Η τοποθέτηση του λουτρού κυκλοφορίας θερμού νερού στον ψυκτήρα με τα τοιχώματα, όχι μόνο εξασφάλισε την μεταφορά ατμού δια μέσου των κοσκίων, αλλά διατήρησε τα κόσκινα σε σταθερή θερμοκρασία.

Το πείραμα 4, θεωρείται επιτυχές όσον αφορά τον διαχωρισμό διαλύτη/αντιδιαλύτη, όμως κατά τη διάρκεια του πειράματος εμφανίστηκαν διάφορα προβλήματα τα οποία δεν μπορούσαν να αγνοηθούν.

- Το συμπύκνωμα που σχηματίζεται στην έξοδο του ψυκτήρα, λόγω πτώσης πίεσης αποτελεί ένα σημαντικό πρόβλημα στην πειραματική διαδικασία καθώς λόγω του μη ελεγχόμενου βρασμού της σφαιρικής φιάλης από τη θερμαινόμενη βάση, προκαλεί ακόμη πιο έντονο και ανεξέλεγκτο βρασμό του συμπυκνώματος.

- Μη ελεγχόμενη και σταθερή θέρμανση της σφαιρικής φιάλης, η οποία προκαλεί έντονο βρασμό του συμπυκνώματος.

Για τη μείωση της στάθμης του συμπυκνώματος, σταματάει ο βρασμός και η στάθμη κατεβαίνει, διαβρέχει τα κόσκινα και επιστρέφει στην σφαιρική φιάλη. Η βάση ανοίγει ξανά στους 50°C για να αποφευχθεί ο έντονος βρασμός και η συσσώρευση συμπυκνώματος, μέχρις ότου όλη η ποσότητα του διαλύματος στη σφαιρική φιάλη εξατμιστεί.

Διεξάγεται λοιπόν νέο πείραμα, στο οποίο ο ψυκτήρας θα είναι και πάλι πλάγιος με τη διαφορά ότι θα τοποθετηθεί και πάλι θερμό λουτρό στο εξωτερικό του ψυκτήρα με τα μοριακά κόσκινα.

ΠΕΙΡΑΜΑ 5:

Στο ψυκτήρα τοποθετούνται 79 g μοριακά κόσκινα ενώ στο δοχείο εξάτμισης τοποθετείται διάλυμα ΜΕΚ/ΝΕΡΟΥ μάζας 100 g που προέκυψε με ανάμιξη ΜΕΚ νερού και περιεκτικότητα 3% wt νερό. Στην έξοδο του συστήματος -για τη συλλογή του αποστάγματος- τοποθετήθηκε παγόλουτρο με σκοπό τη μείωση απώλειας μάζας αποστάγματος λόγω της μεγάλης πτητικότητας του και λειτουργίας του απαγωγού που εντείνει το φαινόμενο εξάτμισης ΜΕΚ.

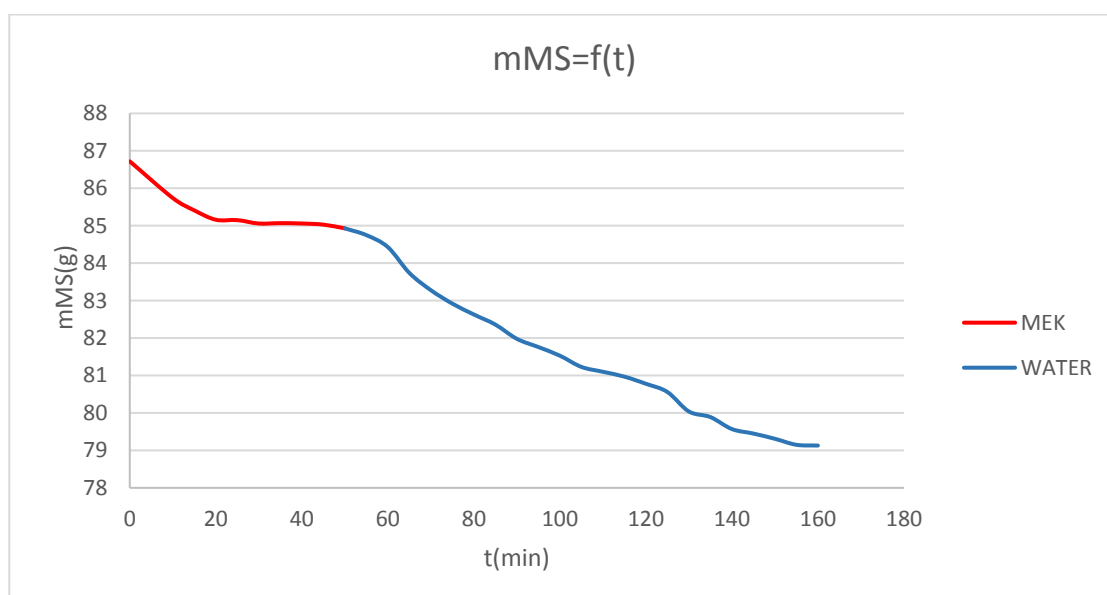
Το θερμαντικό λουτρό τίθεται σε λειτουργία στους 90° C.

Παρατηρήσεις:

- Η θερμοκρασία στην οποία πραγματοποιείται η εξάτμιση είναι σταθερή σε όλη τη διάρκεια του πειράματος και ίση με 73,3°C, στη θερμοκρασία δηλαδή που σχηματίζεται αζεότροπο για το μίγμα ΜΕΚ/ΝΕΡΟ.
- Ο σχηματισμός συμπυκνώματος πριν την είσοδο του ατμού στα μοριακά κόσκινα είναι πολύ περιορισμένος.
- Στον ψυκτήρα δεν παρατηρείται διαβροχή των μοριακών κοσκίων, γεγονός που υποδεικνύει τη μεταφορά ατμού δια μέσου των κοσκίων.
- Παρατηρήθηκε αλλαγή στο χρώμα των μοριακών κόσκινων από γαλάζιο σε μπλε που αποτελεί ένδειξη απορρόφησης νερού.
- Μικρή ποσότητα διαλύματος παρέμεινε στο δοχείο ως υπόλειμμα.

Από το αρχικό διάλυμα υγρασίας 3% παραλήφθηκε απόσταγμα MEK με υγρασία 0,2% που ικανοποιεί τη συνθήκη για υγρασία λιγότερο του 1% στο απόσταγμα για να θεωρηθεί ο διαχωρισμός επιτυχημένος και αυτό να μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί ως διαλύτης.

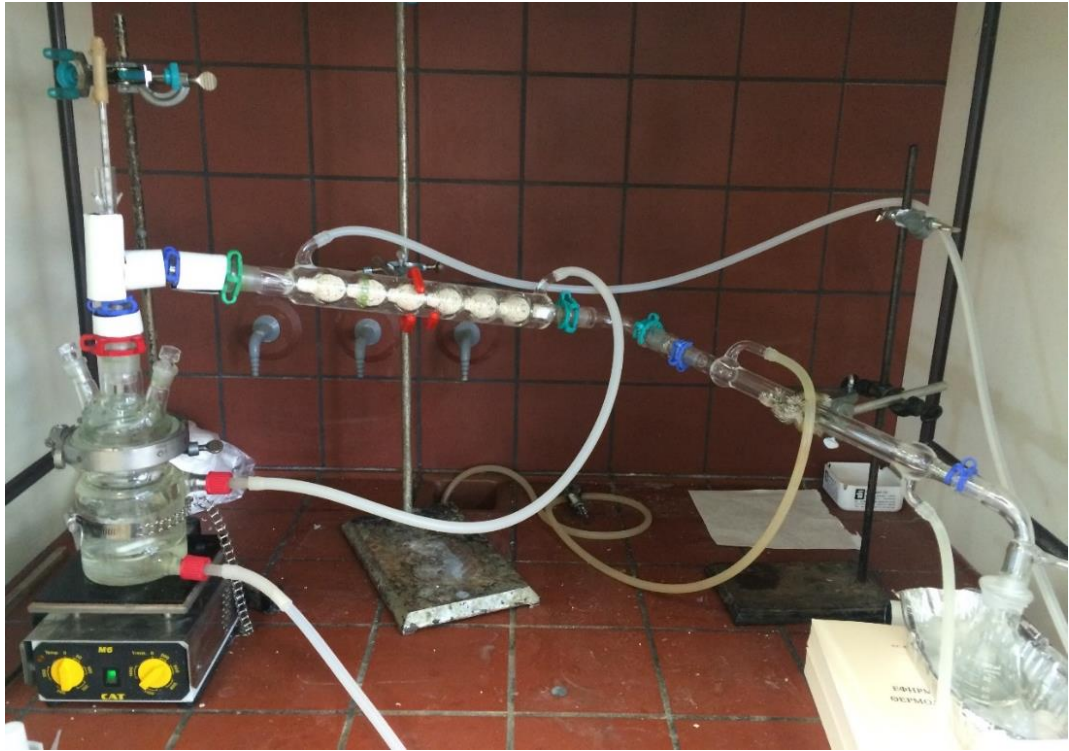
Στη συνέχεια τα κόσκινα τοποθετήθηκαν στο φούρνο στους 90°C για 1 ώρα μέχρι σταθεροποίησης της μάζας, με διαδοχικές ζυγίσεις ανά 5 λεπτά για να προσδιοριστεί η απώλεια μάζας, η οποία οφείλεται στην απομάκρυνση του MEK. Ακολούθως η θερμοκρασία αυξήθηκε στους 220°C και επαναλήφθηκε η πιο πάνω διαδικασία μέχρι σταθεροποίησης της μάζας, για να προσδιοριστεί η ποσότητα νερού που απομακρύνθηκε από τα κόσκινα και κατ' επέκταση να προσδιοριστεί αν τα κόσκινα απορρόφησαν όλη την ποσότητα νερού που υπήρχε στο διάλυμα. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Διάγραμμα Π-1.



Διάγραμμα Π-1: Διάγραμμα μείωσης μάζας κοσκίνων σε συνάρτηση με το χρόνο

Με βάση το πιο πάνω διάγραμμα, παρατηρείται ότι στα πρώτα 50 λεπτά απομακρύνονται 1,79 g MEK – στους 80° C - και με την αύξηση της θερμοκρασίας στους 200° C, απομακρύνονται 5,8 g NEPO. Κάτι τέτοιο επιβεβαιώνει την αύξηση μάζας των κοσκίνων που είναι ίση με 7,59 g .Η αρχική προσυξημένη μάζα ζυγίστηκε και βρέθηκε ίση με 7,64 g . Η διαφορά 0,05 g αποδίδεται σε απώλειες υγρασίας κατά τη μεταφορά των κοσκίνων από το φούρνο προς το ζυγό.

Το πείραμα 5 είναι πετυχημένο καθώς πληροί όλες τις προϋποθέσεις είναι και η τελική πειραματική διάταξη που χρησιμοποιείται για το κύριο πείραμα διαχωρισμού MEK/NEPOΥ από τα απόβλητα που προέκυψαν από την ανακύκλωση PVC.



Εικόνα Π-7: Τελική διάταξη απομάκρυνσης νερού