

Τεχνολογίες ανακύκλωσης πλαστικών υλικών

Περίληψη

Το Εργαστήριο Τεχνολογίας Πολυμερών Ε.Μ.Π., είναι σε θέση σήμερα να προτείνει μια ολοκληρωμένη λύση στο θέμα της ανακύκλωσης των πλαστικών απορριμμάτων. Η σχετική έρευνα αφορά θερμοπλαστικά πολυμερή και έχει επικεντρωθεί, τα τελευταία 20 χρόνια, στην ανάκτηση ανακυκλωμένου πολυμερούς της καλύτερης δυνατής ποιότητας.

Οι τεχνολογικές λύσεις που προτείνονται, στηρίζονται σε δύο ανεξάρτητες τεχνικές, η εφαρμογή των οποίων, εξαρτάται από την καθαρότητα του πλαστικού απορριμματος:

Τεχνολογία Ανάτηξης - Ανασταθεροποίησης Πολυμερών (Plastics Restabilization).

Η βασική επιδίωξη είναι η προστασία του πολυμερούς, όταν εισέλθει σ' ένα νέο κύκλο χρήσης, από θερμική και φωτο-οξειδωτική αποικοδόμηση, χρησιμοποιώντας το βέλτιστο δυνατό σύστημα ανασταθεροποίησης.

Τεχνολογία Εκλεκτικής Διάλυσης/Επανακαταβύθισης (Selective Dissolution / Reprecipitation).

Στην περίπτωση μιγμάτων πολυμερών, η τεχνολογία που αναπτύσσεται, εκμεταλλεύεται τη θερμοδυναμική ασυμβατότητα των πολυμερών. Τα πολυμερή διαχωρίζονται μεταξύ τους μέσω της εκλεκτικής διάλυσής τους σ' έναν κατάλληλο διαλύτη, μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία. Ακολούθως, κάθε πολυμερές ανακτάται από το διάλυμα με την προσθήκη ενός μη-διαλύτη. Συνεπώς, σ' ένα επόμενο στάδιο, τα πλαστικά απορρίμματα μπορούν να ανακυκλωθούν σε προϊόντα ανταγωνιστικά των παρθένων.

1. Εισαγωγή.

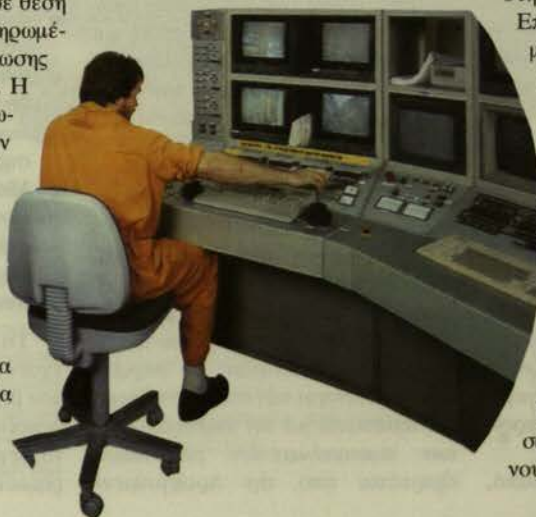
Τα πολυμερή κατέχουν ήδη ένα σημαντικό ποσοστό των οικιακών και βιομηχανικών στερεών απορριμμάτων (σε ορισμένες περιπτώσεις συνιστούν έως και το 30% κ. ο. του συνόλου των στερεών απορριμμάτων). Παράλληλα, είναι από όλους πλέον αποδεκτό ότι η ανακύκλωση, αφού προηγηθεί η κατά το δυνατόν μείωση του όγκου τους, αποτελεί την μόνη αξιόπιστη και αποτελεσματική μέθοδο διαχείρισης των πλαστικών απορριμμάτων, συμβάλλοντας σημαντικά στην εξοικονόμηση πρώτων υλών και ενέργειας, καθώς και στην προστασία του περιβάλλοντος.

Το Εργαστήριο Τεχνολογίας Πολυμερών του Ε.Μ.Π., είναι σε θέση σήμερα να προτείνει μια ολοκληρωμένη λύση στο θέμα της ανακύκλωσης των πλαστικών απορριμμάτων. Η σχετική έρευνα έχει επικεντρωθεί, τα τελευταία 20 χρόνια, στην ανάκτηση ανακυκλωμένου πολυμερούς της καλύτερης δυνατής ποιότητας. Αν αυτό καταστεί εφικτό, τότε οι αγορές που θα απορροφήσουν τα ανακυκλωμένα πολυμερή θα γίνουν αυτόματα περισσότερες και ευρύτερες. Με άλλα λόγια, η θεμελιώδης φιλοσοφία της ανακύκλωσης για μας ήταν πάντα: Δεν πρέπει να απωλεστεί η αξία που προστί-

θεται στο υλικό κατά τη διάρκεια του σταδίου πολυμερισμού, αλλά συγχρόνως, πρέπει να αποφευχθεί η αντικατάσταση τεράστιων όγκων πλαστικών απορριμμάτων με πλαστικά δευτέρας ή τρίτης ποιότητας και περιορισμένων εφαρμογών {1}.

Παρακάτω, αναλύονται οι τεχνολογικές λύσεις που προτείνονται και στηρίζονται σε δύο ανεξάρτητες τεχνικές η εφαρμογή των οποίων, εξαρτάται από την καθαρότητα του πλαστικού απορριμματος.

2. Τεχνολογία ανάτηξης - ανασταθεροποίησης πολυμερών.



2.1. Ένα κρίσιμο πρόβλημα κατά την ανακύκλωση των πλαστικών.

Τα οργανικά πολυμερή σε αντίθεση με άλλα υλικά (μέταλλα, γυαλί) υπόκεινται σε μη αναστρέψιμες μεταβολές στη χημική δομή τους, κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και χρήσης τους, από οξειδωτικούς και / ή φωτο-οξειδωτικούς παράγοντες.

Οι χημικές μεταβολές ξεκινάνε από την μορφοποίηση του πλαστικού, παρ' όλο που λαμβάνονται μέτρα για την ελαχιστοποίηση της φθοράς με την χρήση προσθέτων. Η διαδικασία της επεξεργασίας προκαλεί ανεπιθύμητες χημικές ενώσεις, που οδηγούν σε επιβλαβείς επιδράσεις στην δομή του πολυμερούς, οι οποίες επιδρούν τελικά στη συνολική αντοχή του προϊόντος.

Επιπλέον, οι χημικές και μηχανικές μεταβολές επιτείνονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανακύκλωσης {1, 2}.

Η φάση της εκβολής (επεξεργασίας), είναι η πιο φθοροποιός διαδικασία, την οποία μπορούν τα πλαστικά να υποστούν. Οδηγεί στον μηχανικό «ψαλιδισμό» της αλυσίδας, στο τμήμα του πολυμερούς και αυτό δημιουργεί έντονα ενεργές ελεύθερες ρίζες υψηλού μοριακού βάρους στα άκρα της αλυσίδας. Οι ρίζες αυτές, παρουσία μικρής ποσότητας διαλυμένου οξυγόνου στο πολυμερές, σχη-

των
Κ. Δ. Παπασπυρίδη,
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.
Ι. Γ. Πουλάκη,
Δρ Χημ. Μηχανικού,
Χ. Ν. Καράλη,
Υ. Δ. Ε.Μ.Π.
Τμ. Χημικών
Μηχανικών
Ε.Μ.Π.

ματίζουν ρίζες υπεροξυλίου και υδρο-υπεροξειδία, καθώς δεν μπορούν να επανασυνδυαστούν. Παράλληλα με την φθορά που δέχονται τα πολυμερή κατά την επεξεργασία τους, σημαντική είναι και η φθορά που εμφανίζεται κατά την διάρκεια της «ζωής» του πλαστικού (κατά την χρήση του). Η φθορά αυτή προέρχεται, κυρίως, από οξειδωτικούς και φωτοοξειδωτικούς παράγοντες. Οι παράγοντες αυτοί δημιουργούν τις προϋποθέσεις για την έναρξη ενός φαινομένου, που ακούει στο όνομα *αυτο-οξείδωση* και χαρακτηρίζει την δράση οργανικών ενώσεων με μοριακό οξυγόνο. Μερικοί βασικοί παράγοντες που οδηγούν στην εκκίνηση της διαδικασίας αυτο-οξείδωσης είναι η θερμοκρασία, η ακτινοβολία, η μηχανική καταπόνηση, η παρουσία υπολειμμάτων καταλυτών, η δράση με προσμίξεις ελεύθερων ριζών κ.α.

2.2 Ανασταθεροποίηση και Ανακύκλωση.

Επαναφέροντας την συζήτηση στην ανακύκλωση των πλαστικών, είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι το ενδιαφέρον έχει στραφεί στην παραγωγή υψηλά ποιοτικών ανακυκλωμένων προϊόντων, ικανών να χρησιμοποιηθούν σε βασικές εφαρμογές (εφαρμογές παρθένου υλικού). Ένας βασικός παράγοντας για να επιτευχθεί αυτός ο αντικειμενικός στόχος είναι η διαδικασία της *ανασταθεροποίησης*.

Τα παρθένα υλικά «προετοιμάζονται» προσεκτικά για τις τελικές τους εφαρμογές, με αριστοποίηση της διαδικασίας σταθεροποίησής τους. Αντίθετα, στα ανακυκλωμένα υλικά η σταθεροποίηση δεν λαμβάνεται συχνά υπόψη.

Με βάση τα παραπάνω, συχνά αμελείται το γεγονός ότι η αρχική συγκέντρωση σταθεροποιητών, στο παρθένο υλικό, επαρκεί μόνο για την πρώτη επεξεργασία και χρήση του. Χωρίς έλεγχο της σταθεροποίησης πριν την ανακύκλωση των χρησιμοποιημένων πλαστικών, είναι πιθανή η υποβάθμιση των ιδιοτήτων τους, γεγονός που οδηγεί σε ασαφή τελικά προϊόντα.

Σε αντίθεση με τα παρθένα υλικά,

για την ανασταθεροποίηση των ανακυκλωμένων πλαστικών πρέπει να ληφθούν υπόψη επιπλέον παράγοντες: π.χ. η προϊστορία του πλαστικού, υπάρχουσα φθορά καθώς και η ύπαρξη ακαθαρσιών και προσμίξεων.

Ένα επιπλέον πρόβλημα, προκύπτει στην περίπτωση των μειγμάτων πλαστικών, που είναι κλασικό φαινόμενο κατά την συλλογή οικιακών απορριμμάτων και η σύνθεση τους ποικίλει ιδιαίτερα. Τα μείγματα απαιτούν ειδική φροντίδα και εξειδικευμένα συστήματα ανασταθεροποίησης, για να είναι εφικτή η αποτελεσματική τους ανακύκλωση.

Ο στόχος της ανασταθεροποίησης στα ανακυκλωμένα πλαστικά, επικεντρώνεται στον περιορισμό του φαινομένου της αυτο-οξείδωσης (που αναφέρθηκε παραπάνω) και στο «μπλοκάρισμα» των επιβλαβών παραγώγων της, με την χρήση ειδικών σταθεροποιητών. Οι σταθεροποιητές αυτοί, διακόπτουν την πορεία (κύκλο) της αυτο-οξείδωσης με διάφορους τρόπους, ανάλογα με την σύσταση και δομή τους. Οι δύο βασικές κατηγορίες σταθεροποιητών είναι:

- Πρωτογενή αντιοξειδωτικά τετραπαισιμίου της αλυσίδας,
- Δευτερογενή αντιοξειδωτικά αποσύνθεσης υδροϋπεροξειδίων.

Τα πρωτογενή αντιοξειδωτικά, αντιδρούν ταχέως με τις σχηματιζόμενες ελεύθερες ρίζες υπεροξυλίου και για τον λόγο αυτό, συχνά αποκαλούνται «ανιχνευτές ελεύθερων ριζών». Τα δευτερογενή αντιοξειδωτικά, αντιδρούν με υδρο-υπεροξειδία μέσα και οδηγούν σε προϊόντα απαλλαγμένα από ελεύθερες ρίζες. Για τον λόγο αυτό, αποκαλούνται «διασπαστές υδροϋπεροξειδίων». Τα δευτερογενή αντιοξειδωτικά χρησιμοποιούνται στην πράξη σε συνδυασμό με πρωτογενή αντιοξειδωτικά.

Στους περισσότερους τύπους πλαστικών, η διαδικασία της ανασταθεροποίησης, μπορεί να επιτευχθεί με σχετικά μικρές συγκεντρώσεις των παραπάνω σταθεροποιητών. Η ακριβής βέλτιστα ποσότητα των σταθεροποιητών που απαιτείται για την σταθεροποίηση των ανακυκλωμένων πλαστικών, εξαρτάται από την προηγούμενη

«ιστορία» του υλικού. Η διαδικασία της ανασταθεροποίησης, τέλος, εξαρτάται και από τον τύπο του υλικού και προφανώς, από την χημική δομή του. {2, 3}

2.3 Η συμβολή του Εργαστηρίου Τεχνολογίας Πολυμερών.

Στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Πολυμερών, έχει αναπτυχθεί, τα τελευταία χρόνια, μια πρωτοποριακή τεχνολογία ανασταθεροποίησης (re-stabilization), για την αναβάθμιση ανακυκλωμένων πολυμερών. Η έρευνα αυτή πραγματοποιείται σε συνεργασία με την γερμανική εταιρεία CIBA Spezialitatenchemie Lambe-rtheim GmbH και εντάσσεται, κατά ένα σημαντικό μέρος, στα πλαίσια του Επιχειρησιακού Προγράμματος Έρευνας και Τεχνολογίας - ΕΠΕΤ II (1994-1999).

Η ανασταθεροποίηση συνίσταται ουσιαστικά, στην προσθήκη στο πλαστικό απόρριμμα αντιοξειδωτικών, θερμικών και UV σταθεροποιητών, σε πολύ μικρές συγκεντρώσεις (0.05-0.3 % κ.β.). Η βασική επιδίωξη είναι η προστασία του πολυμερούς, όταν εισέλθει στον νέο κύκλο χρήσης, από θερμική και φωτοοξειδωτική αποικοδόμηση, χρησιμοποιώντας το βέλτιστο δυνατό σύστημα ανασταθεροποίησης. Τα κύρια στάδια της πειραματικής διαδικασίας, μπορούν να συνοψισθούν στα εξής:

- Υποβιβασμός μεγέθους και καθαρισμός του πλαστικού απορριμματος - Εκπλύση με νερό - Ξήρανση.
- Διαδικασία ξήξης ανάμιξης με συστήματα ανασταθεροποίησης.
- Φάση διαδοχικών κύκλων ανάτηξης, σαν στάδιο προσομοίωσης των κύκλων επεξεργασίας και χρήσης.
- Μελέτη των ρεολογικών, μηχανικών και θερμικών ιδιοτήτων του πολυμερούς, σε συνθήκες θερμικής γήρανσης και σε τεχνητές καιρικές συνθήκες.

Τα πλαστικά απορρίμματα, που έχουν μελετηθεί για τον προσδιορισμό του βέλτιστου συστήματος ανασταθεροποίησης, είναι τα εξής: Απορρίμματα μεγάλων δοχείων (HDPE), απορρίμματα κιβωτίων για μπουνάλια

(HDPE), απορρίμματα από φιλμ συσκευασίας (LDPE) κ.α.

Τα μέχρι τώρα συγκεντρωμένα αποτελέσματα, είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικά και αποδεικνύουν ότι η τεχνολογία ανάτηξης/ανασταθεροποίησης θα προσφέρει πολλά στην προσπάθεια αποτελεσματικής ανακύκλωσης των πλαστικών απορριμμάτων {4}.

3. Τεχνολογία εκλεκτικής διάλυσης/ επανακαταβύθισης.

3.1 Διάλυση / Επανακαταβύθιση. Μια εναλλακτική πορεία.

Είναι από τις σύγχρονες τεχνολογίες αντιμετώπισης των πλαστικών απορριμμάτων και η μόνη που στηρίζεται στην μετατροπή των πλαστικών σε διαλύματα, γι' αυτό συχνά αποκαλείται υγρά μέθοδος. Μπορεί να εφαρμοστεί, είτε στην ανακύκλωση πλαστικών συγκεκριμένου τύπου, είτε σε μίγματα πολυμερών αφού γίνεται παράλληλα διαχωρισμός τους.

Η κεντρική ιδέα της μεθόδου, στηρίζεται στην εκλεκτική διάλυση ενός είδους πολυμερούς σε συγκεκριμένο διαλύτη και θερμοκρασία, τον διαχωρισμό του από τα άλλα αδιάλυτα πλαστικά και τον καθαρισμό του από αδιάλυτες προσμίξεις και τέλος, την επανακαταβύθιση του πολυμερούς στην αρχική του κατάσταση, χωρίς μεταβολές στην μοριακή του δομή. Η διαδικασία καταβύθισης μπορεί να πραγματοποιηθεί με διαφορετικές μεθόδους: με χρήση μη διαλύτη, με διαδικασία ψύξης, και με διαδικασία απότομης αλλαγής πίεσης για την απομάκρυνση του διαλύτη (Flash-devolatilization).

Στην πράξη, έχουν αναπτυχθεί διαδικασίες που ανακυκλώνουν τα δημοφιλέστερα πολυμερή με διάλυση στον ίδιο διαλύτη, αλλά σε διαφορετικές θερμοκρασίες για οικονομικούς λόγους. Παράλληλα όμως, υπάρχει ευελιξία στη χρήση διαφορετικών δια-

λυτών εάν αυτό επιφέρει καλύτερα αποτελέσματα. Η αποτελεσματικότητά του διαχωρισμού υπερβαίνει το 99% και η ποιότητα των ανακυκλωμένων υλικών είναι άριστη {1}.

Η επιλογή του συστήματος διαλύτη/μη-διαλύτη, γίνεται, λαμβάνοντας υπόψη τα ακόλουθα κριτήρια:

- Μορφή του καταβυθισμένου πολυμερούς, δηλαδή προτίμηση σε μικρούς κόκκους αντί συσσωματωμάτων.
- Απόδοση σε ανακυκλωμένο πολυμερές.
- Ποιότητα του ανακυκλωμένου πολυμερούς, ιδιαίτερα επικεντρωμένη στη διατήρηση του μοριακού

Όλα αυτά αποτελούν ένα μεγάλο πεδίο έρευνας, πριν η τεχνολογία διάλυσης κατασταλάξει σε τελικά πρότυπα.

Τα κύρια στάδια της πειραματικής διαδικασίας, που προτείνεται και διεξάγεται σε χαμηλές πιέσεις και χαμηλές έως ενδιάμεσες θερμοκρασίες, είναι τα ακόλουθα:

- Υποβιβασμός μεγέθους των απορριμμάτων και έκπλυση με νερό.
- Εκλεκτική διάλυση σε έναν διαλύτη στη μέγιστη δυνατή συγκέντρωση.
- Διήθηση υπό πίεση του διαλύματος, για τον διαχωρισμό των αδιάλυτων συστατικών.
- Επανακαταβύθιση του πολυμερούς με χρήση μη-διαλυτών σε θερμοκρασία και πίεση περιβάλλοντος.
- Ανάκτηση του πολυμερούς με έκπλυση και ξήρανση.
- Διαχωρισμός και ανάκτηση του συστήματος διαλύτη/μη-διαλύτη, με κλασματική απόσταξη {1, 5}.



3.2 Η συμβολή του Εργαστηρίου Τεχνολογίας Πολυμερών.

Απορρίμματα ενός είδους πολυμερούς.

Αρχικά, έμφαση δόθηκε στην ανάπτυξη πιλοτικών διεργασιών (model processes) για ένα είδος πολυμερούς.

Για συγκριτικούς λόγους, υποβλήθηκαν στη διαδικασία ανακύκλωσης και παρθένα πολυμερή και αντικείμενα απορριμμάτων, τα οποία είναι τα εξής:

βάρους και των μηχανικών αντοχών.

- Μέγιστη δυνατή ανάκτηση του συστήματος διαλυτών που χρησιμοποιήθηκαν.
- Οικονομικότητα και τοξικότητα των διαλυτών.

- Πολυ(χλωριούχο βινύλιο) σκληρό και πλαστικοποιημένο και φιάλες πολυ(χλωριούχου βινυλίου),
- Πολυστυρένιο και απόρριμμα αφρώδους πολυστυρενίου,
- Πολυ(μεθακρυλικό μεθύλιο) και διακοσμητικοί υαλοπινάκες πολυ(μεθακρυλικού μεθυλίου),
- Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας και φύλλα θερμοκηπίου από

πολυαιθυλένιο.

- Πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας και φιάλες πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας,
- Πολυπροπυλένιο και σωλήνες πολυπροπυλενίου,
- Ιονομερές και απορρίμματα παχιδιών από ιονομερές,
- Πολυ(τερεφθαλικό αιθυλένιο) και φιάλες πολυ(τερεφθαλικού αιθυλενίου).

Τυπικές ιδιότητες, που προσδιορίζονται πειραματικά για τον χαρακτηρισμό του ανακυκλωμένου πολυμερούς, περιλαμβάνουν:

- Μοριακό βάρος.
- Κρυσταλλικότητα και θερμικές ιδιότητες.
- Προσδιορισμό εναπομείναντος σταθεροποιητή και άλλων προσθέτων.
- Ιξώδες τήγματος.
- Ιξώδες διαλυμάτων.
- Μηχανικές αντοχές.
- Κοκκομετρία.

Για όλα τα αναφερθέντα συστήματα, η εφαρμογή της μεθόδου οδήγησε σε προϊόντα τα οποία ανακτήθηκαν ποσοτικά με την μορφή κόκκων ή λεπτής σκόνης. Η ανάκτηση πολυμερούς, διαλύτη και μη-διαλύτη, προσέγγισε το 100%. Η διεργασία ανακύκλωσης δεν επηρεάζει κρίσιμες ιδιότητες των τελικών προϊόντων, ενώ υπάρχουν σαφείς ενδείξεις για απομάκρυνση των προσθέτων που αρχικά είχαν ενσωματωθεί στο πολυμερές. Με άλλα λόγια, η υπό μελέτη διεργασία, παρέχει πράγματι ανακυκλωμένα πολυμερή, με ποιότητα εφάμιλλη του παρθένου{6, 7}.

“Εκλεκτική Διαλυτοποίηση” μιγμάτων πολυμερών.

Στην περίπτωση μιγμάτων πολυμερών, η τεχνολογία που αναπτύσσεται εκμεταλλεύεται τη θερμοδυναμική ασυμβατότητα των πολυμερών: Τα πολυμερή διαχωρίζονται μεταξύ τους μέσω της εκλεκτικής διάλυσής τους σ' έναν κατάλληλο διαλύτη, μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία. Ακολουθώντας, κάθε πολυμερές ανακτάται από το διάλυμα με την προσθήκη ενός μη-διαλύτη. Η μέθοδος αυτή, γνωστή και ως τεχνολογία εκλεκτικής διάλυσης

/επανακαταβύθισης (selective dissolution/ reprecipitation), παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλες τεχνικές ανακύκλωσης, αφού: (i) μειώνεται σημαντικά ο όγκος των πλαστικών λόγω της διάλυσής τους, (ii) υπάρχει η δυνατότητα απομάκρυνσης προσθέτων και ακαθαρσιών, και (iii) εκτός από τη θέρμανση κατά τη διάλυση, καμμία επιπλέον αποικοδόμηση δεν προβλέπεται, ενώ το καταβυθισμένο πολυμερές, παραλαμβάνεται σε κατάλληλη μορφή κόκκου, έτοιμο για περαιτέρω επεξεργασία.

Συγκεκριμένα λοιπόν, μελετήθηκαν οι λειτουργικές παράμετροι για τον διαχωρισμό και ανακύκλωση με τη χρήση διαλυτών, των έξι βασικών θερμοπλαστικών που βρίσκονται στα στερεά οικιακά απορρίμματα (συνθέτουν περίπου το 95% του ρεύματος των πλαστικών στα στερεά οικιακά απορρίμματα), ονομαστικά δηλαδή LDPE, HDPE, PP, PS, PVC και PET. Με βάση τα δεδομένα που προέκυψαν για ενός είδους πλαστικά απορρίμματα, έγινε δυνατός ο αποτελεσματικός διαχωρισμός ενός μίγματος που περιείχε (κ.β.): 20% LDPE, 10% HDPE, 10% PP, 25% PVC, 25% PS και 10% PET. Η μέθοδος συνίσταται στα εξής:

- Προκαταρκτικός διαχωρισμός των προαναφερθέντων πολυμερών με μία απλή διαδικασία επίπλευσης /καταβύθισης.
- Διαλυτοποίηση ενός πολυμερούς κάθε φορά, σε συγκεκριμένο διαλύτη και σε συγκεκριμένη θερμοκρασία, αφήνοντας τα άλλα πολυμερή αδιάλυτα.
- Διαχωρισμός του παραγόμενου διαλύματος από το στερεό υπόλειμμα.
- Ανάκτηση του πολυμερούς από το διάλυμά του με επανακαταβύθιση, είτε προσθέτοντας ένα υγρό που δρα ως μη-διαλύτης, είτε με ψύξη του διαλύματος.
- Διήθηση του αωρήματος, διαδοχικές εκπλύσεις με μη-διαλύτη και ξήρανση υπό κενό σε ενδιάμεσες θερμοκρασίες.

Απαιτείται επαναλαμβανόμενη εφαρμογή των τεσσάρων τελευταίων βημάτων, ανάλογα με τον αριθμό των

πολυμερών που πρόκειται να διαχωριστούν. Το μίγμα διαλύτη/μη-διαλύτη, διαχωρίζεται με κλασματική απόσταξη για να ξανα-χρησιμοποιηθεί {5}.

Ανακύκλωση συνθέτων υλικών.

Έχει ήδη επισημανθεί, ότι η μέθοδος διάλυσης δίνει σ' ένα πολυμερικό σύστημα τη αναγκαία κινητικότητα, ώστε πρόσθετα, ελαττωματικό υλικό, χρωστικές ή μέσα ενίσχυσης, να μπορούν να απομακρυνθούν. Με βάση αυτή τη θεωρία, προτείνεται μία μέθοδος ανακύκλωσης συνθέτων υλικών (θερμοπλαστικής βάσης), η οποία συνίσταται στα εξής:

- Διάλυση του συνθέτου, σε συγκεκριμένο διαλύτη και σε συγκεκριμένη θερμοκρασία.
- Διήθηση του διαλύματος πολυμερούς/ενισχυτικών ινών, που προκύπτει και διαχωρισμός πολυμερικής μήτρας και ενισχυτικού μέσου.
- Ανάκτηση του πολυμερούς με επανακαταβύθιση από το διάλυμά του.
- Επικάλυψη των ινών με ελεγχόμενη ποσότητα πολυμερικής μήτρας, ανάλογα με τις συνθήκες έκπλυσης, κατά τη διάρκεια της διήθησης.
- Ενσωμάτωση των ινών στη νέα πολυμερική μήτρα, για τη δημιουργία συνθέτων «δευτέρας γενιάς».

Ορισμένα παραδείγματα ανακύκλωσης συνθέτων υλικών, εφαρμοζόμενα τη μέθοδο που μόλις περιγράφηκε, είναι τα ακόλουθα:

1. Ιονομερές με ίνες γυαλιού ή αραμιδικές ίνες.
2. Πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας με ίνες γυαλιού.
3. Πολυπροπυλένιο με ίνες γυαλιού.

Διαπιστώθηκε, ότι με τη χρήση της υπόψη μεθόδου, είναι δυνατή όχι μόνο η ανακύκλωση συνθέτων υλικών με ανάκτηση πολυμερικής μήτρας και ενισχυτικού μέσου, αλλά ταυτόχρονα και η παραγωγή «βελτιωμένων» συνθέτων δεύτερης γενιάς, τα οποία περιέχουν τις ανακυκλωμένες ίνες {8}.

4. Συμπεράσματα- προτάσεις για το μέλλον.

Με δεδομένη την ευνοϊκή στάση της κοινής γνώμης για περιβαλλοντικά αποδεκτή διαχείριση των απορριμμάτων

των, επιζητείται η συνεργασία:

- Του Κράτους, που χαράσσει πολιτική και κατανέμει πόρους.
- Της Τοπικής Αυτοδιοίκησης, που διαχειρίζεται σε καθημερινή βάση το πρόβλημα.
- Των Επιστημονικών Φορέων, που κατέχουν διεθνώς την γνώση των εναλλακτικών μεθόδων επεξεργασίας των απορριμμάτων.

Πιστεύουμε ότι σε Εθνική Κλίμακα η διαχείριση των πλαστικών απορριμμάτων, με έμφαση στην επαναχρησιμοποίηση/ανακύκλωση, έχει ήδη καθυ-

στερήσει. Από τη δική μας πλευρά και στοχεύοντας στο μέλλον, επιζητούμε την παραπάνω συνεργασία, δηλαδή με το Κράτος και την Τοπική Αυτοδιοίκηση, και τοποθετούμε το πρόβλημα των πλαστικών απορριμμάτων ως εξής:

«Το πλαστικό απόρριμμα κοστίζει και λαμβάνοντας υπ' όψη την παγκόσμια ενεργειακή κρίση, δεν έχουμε την πολυτέλεια να το κάψουμε, να το διασπάσουμε ή να το θάψουμε σε μια χωματερή».

Έτσι, στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Πολυμερών, αποσκοπούμε:

- Στον κατά το δυνατόν αποτελεσματικό διαχωρισμό των πλαστικών απορριμμάτων μεταξύ τους, προσβλέποντας σε οικονομικά βιώσιμη επαναχρησιμοποίησή τους. Σ' αυτό καθοριστικό παράγοντα επιτυχίας, θα αποτελέσει και η παροχή κινήτρων για συλλογή και διαχωρισμό στην «πηγή»: στο πεζοδρόμιο του δήμου ή της κοινότητας, όπως άλλωστε έχει ήδη εφαρμοσθεί στο χαρτί, το γυαλί, το αλουμίνιο.
- Στη βέλτιστη αναβάθμιση της αξίας των ανακτώμενων πλαστικών.

Βιβλιογραφία.

1. C.D. Papaspyrides, J.G. Poulakis, «Plastics Recycling» in *The Polymeric Materials Encyclopedia* (ed. J.C.Salamone), CRC Press, Inc. (1997).
2. F. Sitek, H. Herbst, K. Hoffmann, R. Pfaendner, «Upgrading of Used Plastics: Why and How ?», *Ciba Additive GmbH - Ciba-Geigy Ltd.*, Davos Recycle'94, 7th International Forum and Exposition, Davos, Switzerland, March 14 - 18, (1994).
3. R. Pfaendner, H. Herbst, K. Hoffmann, F. Sitek, «Recycling, Restabilization and Repair Concept in the Field of Plastics», *Ciba Additive GmbH - Ciba-Geigy Ltd.*, Recycle'95, 8th Davos Global Forum and Exposition on Environmental Technologies, Davos, Switzerland, May 15 - 19, (1995).
4. Kartalis, C.D. Papaspyrides, R. Pfaendner, K. Hoffmann, H. Herbst, «Mechanical Recycling of Post-Used HDPE Crates Using the Restabilization Technique» *J. of Applied Polymer Science*, submitted.
5. Papaspyrides, J.G. Poulakis, «Dissolution and Reprecipitation: A Promising Route for Thermoplastics Recycling», R'97 Recovery, Recycling, Re-Integration, 3rd International Congress with Exhibition, February 1997, Geneva.
6. E.M. Kampouris, C.D. Papaspyrides, C.N. Lekakou, «A Model Process for the Solvent Recyclong of Polystyrene» *Polymer Eng. Sci.*, 8(8), p. 534, (1988).
7. J. G. Poulakis and C. D. Papaspyrides, «The Dissolution/Reprecipitation Technique applied on HDPE: Model Recycling Experiments», *Advances in Polymer Technology*, 14(3), p. 237, (1995)
8. J. G. Poulakis, C. D. Papaspyrides and C. D. Arvanitopoulos, «A New Technique for Coating Aramid Fibers by Recycling of Aramid-Based Thermoplastic Composites», *J. of Thermoplastic Composite Materials*, 8, p. 410, (1995).