



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**Σχολή Χημικών Μηχανικών**  
**Εργαστήριο Τεχνολογίας Πολυμερών**

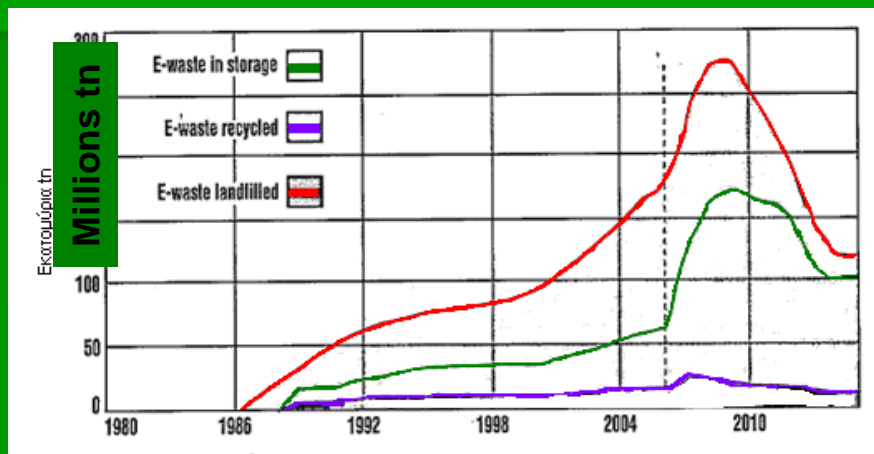
**Ανακύκλωση Πλαστικών από  
Ηλεκτρολογικό και Ηλεκτρονικό  
Εξοπλισμό**

**1<sup>ο</sup> ΣΥΜΠΟΣΙΟ ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ  
ΠΛΑΣΤΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΚΕΥΑΣΙΑΣ-ΣΒΠΕ- 19.3.2010**



# Σπουδαιότητα

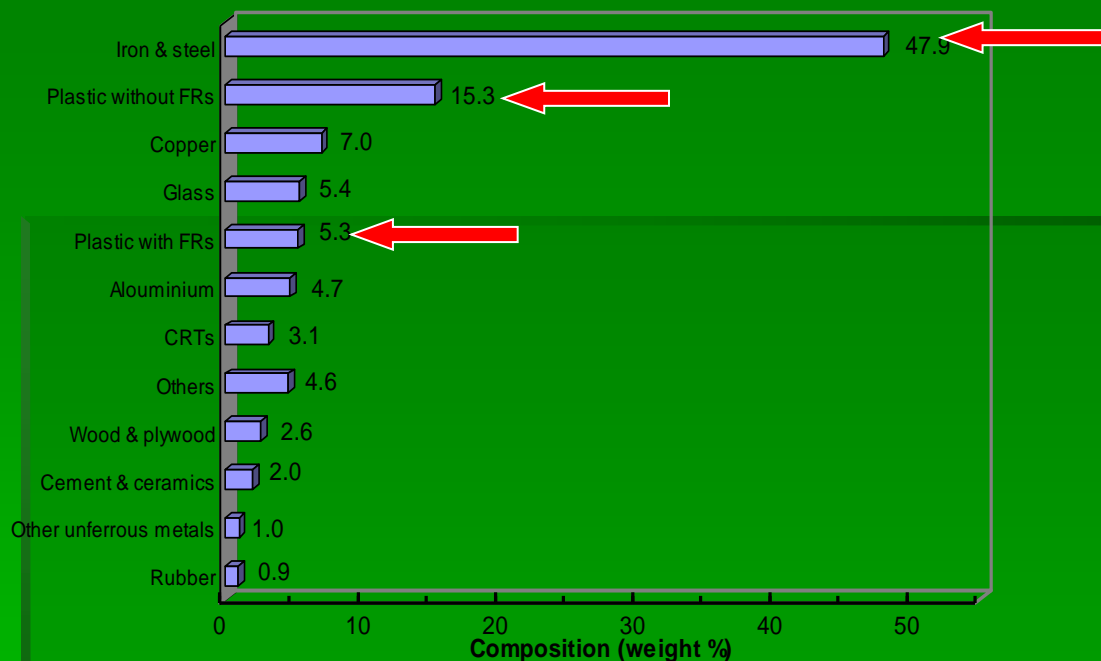
- ❖ Η ανακύκλωση απορριμμάτων από ηλεκτρονικό και ηλεκτρολογικό εξοπλισμό (ΑΗΗΕ) είναι μια πολύ σημαντική διαδικασία, καθώς μειώνεται η ποσότητα των απορριμμάτων που χρειάζεται επεξεργασία, ενώ παράλληλα προωθείται η ανάκτηση των πολύτιμων υλικών.
- ❖ Επιπλέον η παρουσία πολλών τοξικών και επικίνδυνων ουσιών στα ΑΗΗΕ, όπως βαρέα μέταλλα και αλογόνα που περιέχουν επιβραδυντές καύσης, καθιστά την ανακύκλωση ως μία ασφαλή περιβαλλοντικά μέθοδο συγκρινόμενη με άλλες μεθόδους επεξεργασίας αποβλήτων, όπως η αποτέφρωση ή η ταφή.
- ❖ Τέλος, το μέγεθος της αγοράς είναι σημαντικό, καθώς η παραγωγή ειδών ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού αποτελεί έναν από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους τομείς της βιομηχανικής παραγωγής. Στην Ευρώπη η αύξηση, εκτιμάται ότι θα φτάσει σε επίπεδα της τάξης του 3-5% ανά χρόνο.



Εκτίμηση για ΗΠΑ



# Σύνθεση υλικών ΑΗΗΕ

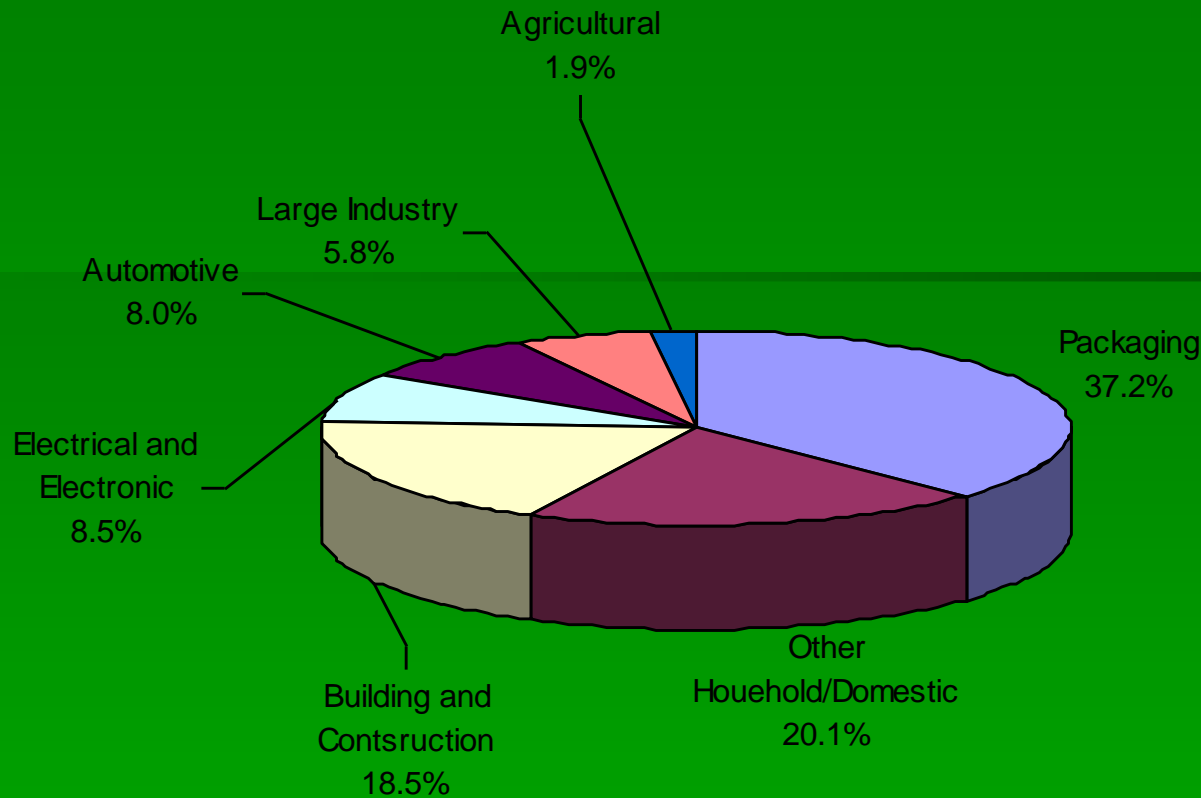


- ☞ Τα ΑΗΗΕ περιέχουν πάνω από 1000 διαφορετικές ουσίες, πολλές από τις οποίες είναι τοξικές όπως μόλυβδος, υδράργυρος, αρσενικό, κάδμιο και επιβραδυντές καύσης οι οποίοι παράγουν διοξίνες με την καύση
- ☞ Ο σίδηρος και το ασβάλι είναι τα πιο κοινά υλικά που συναντούνται στα ΑΗΗΕ και αποτελούν σχεδόν το μισό από το ολικό βάρος τους.
- ☞ Τα πλαστικά είναι τα δεύτερα μεγαλύτερα αναλογικά σε βάρος υλικά που συναντώνται στα ΑΗΗΕ, με ποσοστό της τάξης του 21%.

*Source: European Topic Centre on Resource and Waste Management*



# Πωλήσεις Πλαστικών ανά κατηγορία αγοράς(2000)

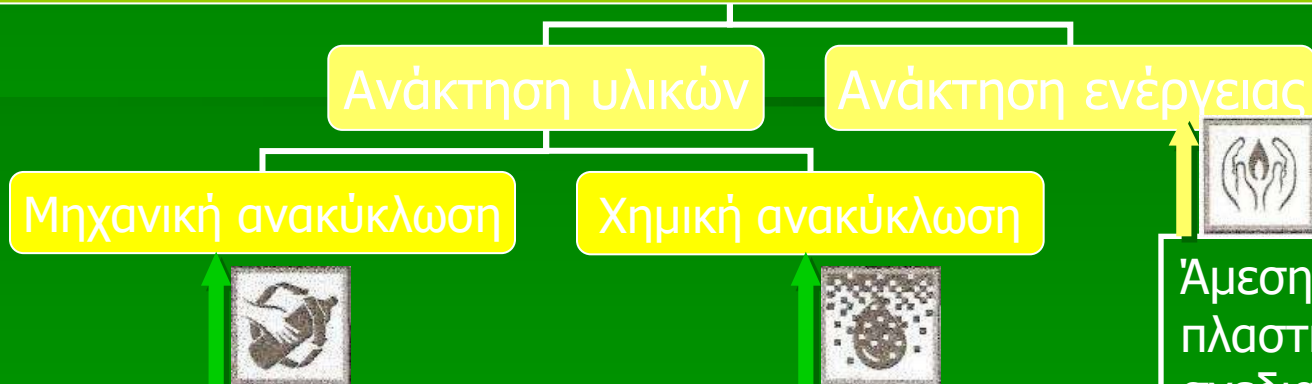


Στην Ευρώπη, στην Ιαπωνία και στην Αμερική, η αγορά του ΗΗΕ, χρησιμοποιεί σχεδόν το 8% της ολικής παραγωγής πλαστικού, η οποία είναι αρκετά μικρότερη από την βιομηχανία προϊόντων συσκευασίας και τον κατασκευαστικό τομέα, αλλά μπορεί να συγκριθεί με τον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας, και επιπλέον πρέπει να επισημανθεί ότι η αγορά των ΗΗΕ έχει μεγάλες δυνατότητες ανάπτυξης.



# Επιλογές ανακύκλωσης για διαχείριση πλαστικών μετά το τέλος ζωής του ΗΗΕ

Επιλογές ανάκτησης των χρησιμοποιημένων πλαστικών



Στοχεύει στην παραγωγή ανακυκλωμένων πλαστικών, σε μορφή πελετών ή κόκκων, για περαιτέρω μετατροπή σε νέα αναμορφωμένα πλαστικά προϊόντα.

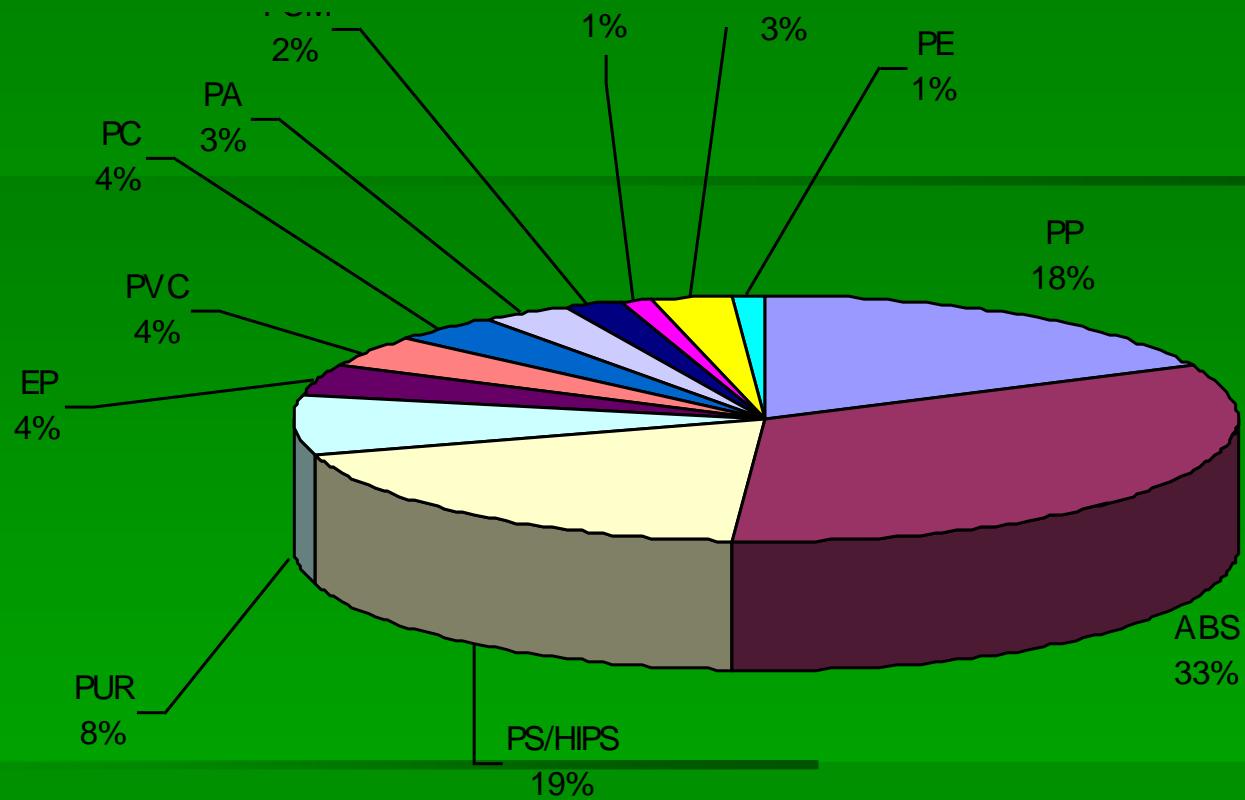
Χρήση των χημικών διεργασιών για αναμόρφωση

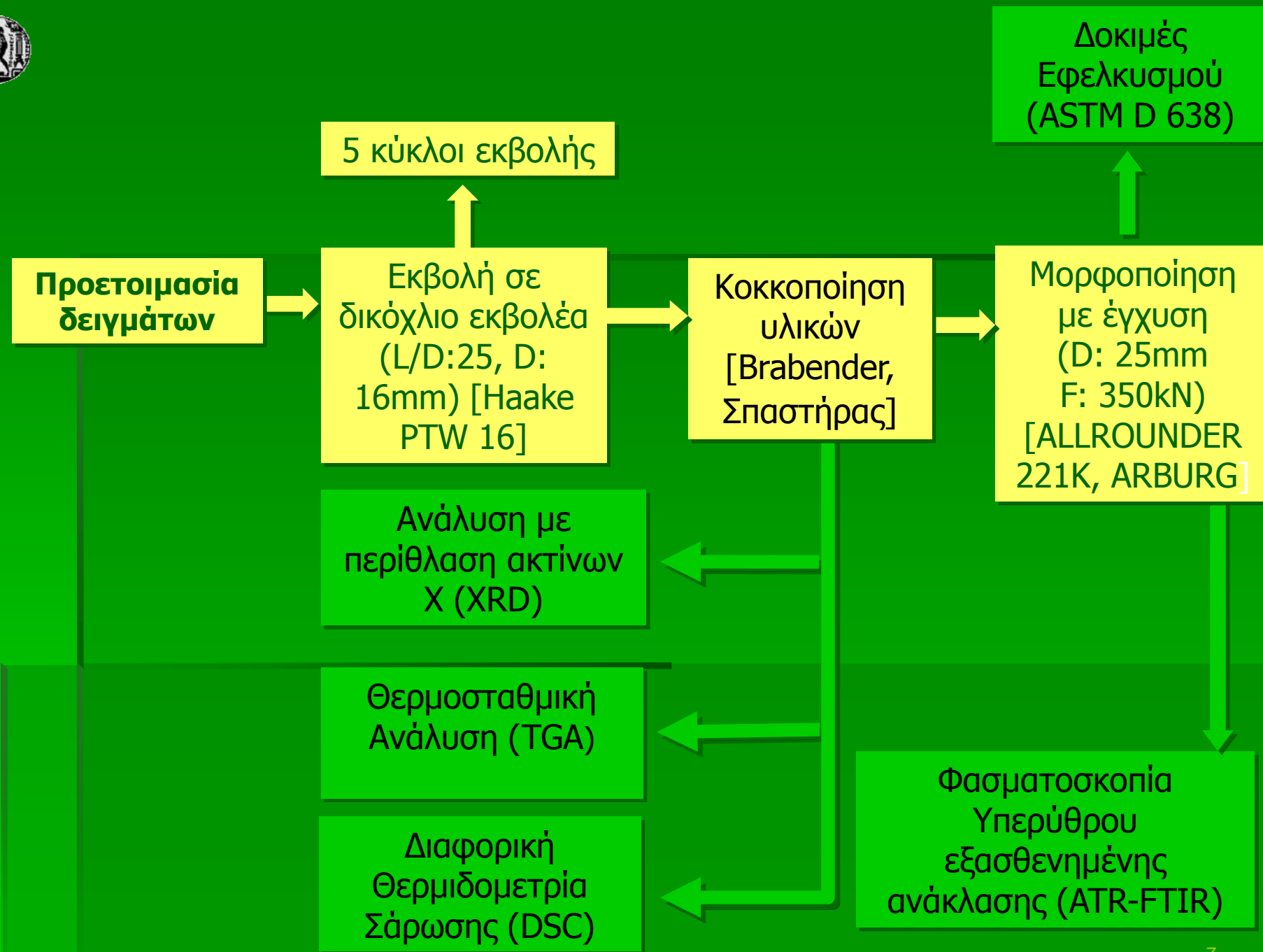
- σε μονομερή ή άλλα πετροχημικά προϊόντα
- για παραγωγή χημικών, για χρήση ως καύσιμα μεταφορών ή για παραγωγή θερμότητας και ισχύος.

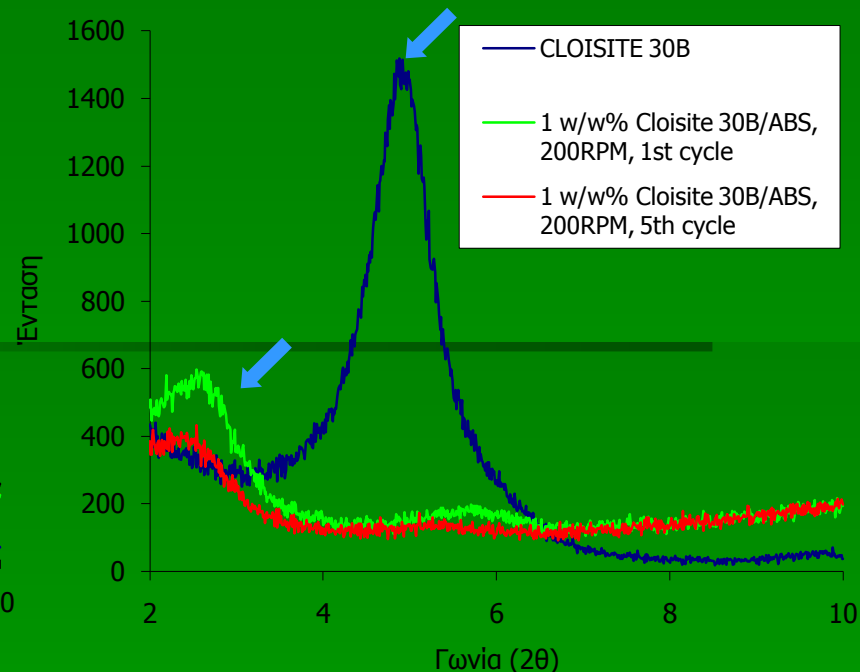
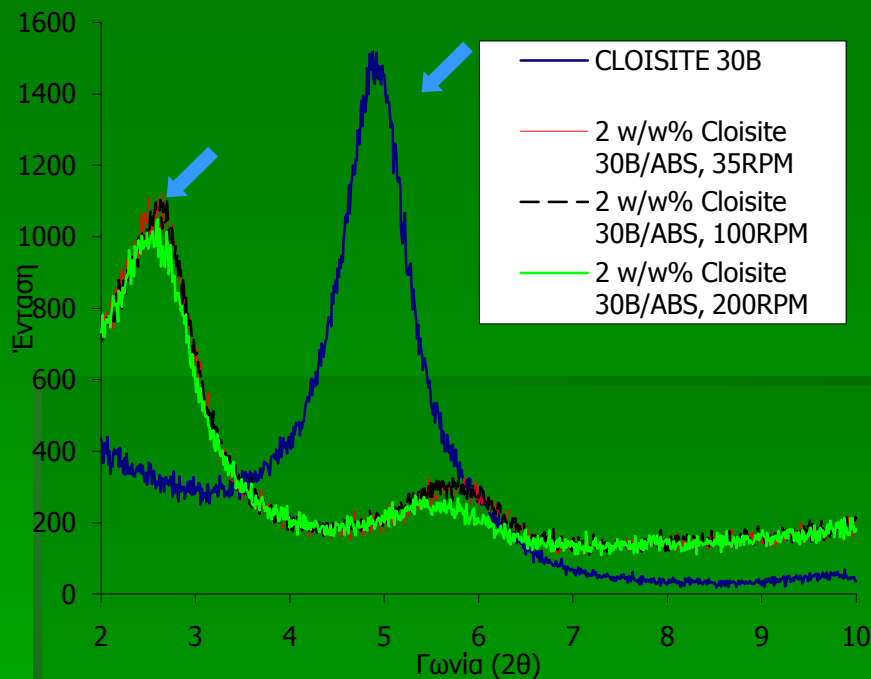
Άμεση καύση των πλαστικών σε ειδικά σχεδιασμένο εξοπλισμό, για ανάκτηση του ενεργειακού περιεχομένου τους.



# Κατανάλωση Πλαστικών σε ΗΗΕ ανά είδος πλαστικού (WE 2000)

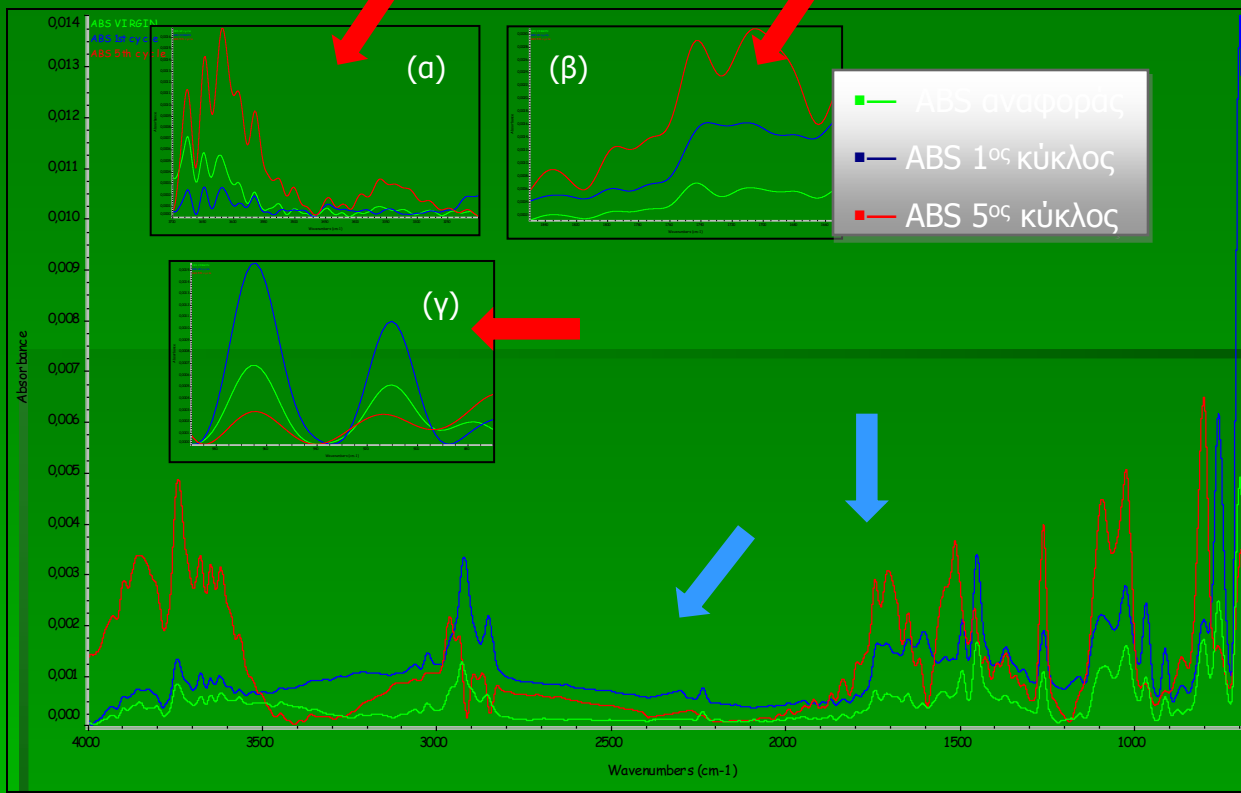






- Η ταχύτητα στρέψης των κοχλιών, διαδραματίζει μικρό ρόλο στην διασπορά των νανοσωματιδίων του μέσου ενίσχυσης για τις εξεταζόμενες περιεκτικότητες (1% και 2% w/w).
- Η επανάληψη της εκβολής στα μίγματα του ABS με 1% w/w Cloisite 30B, βοηθά στην καλύτερη διασπορά του ενισχυτικού μέσου.

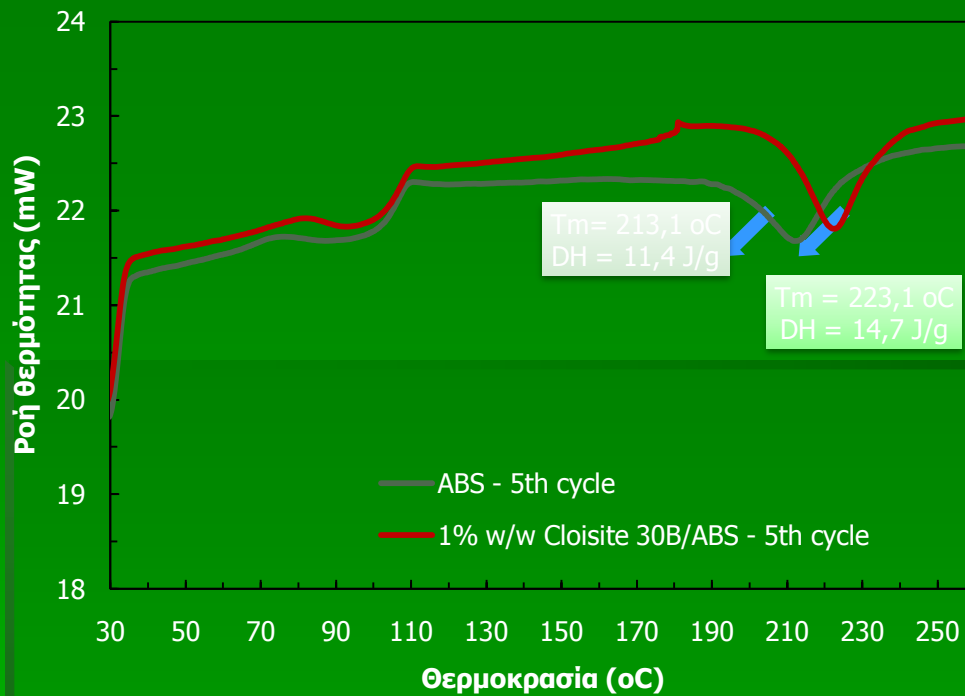




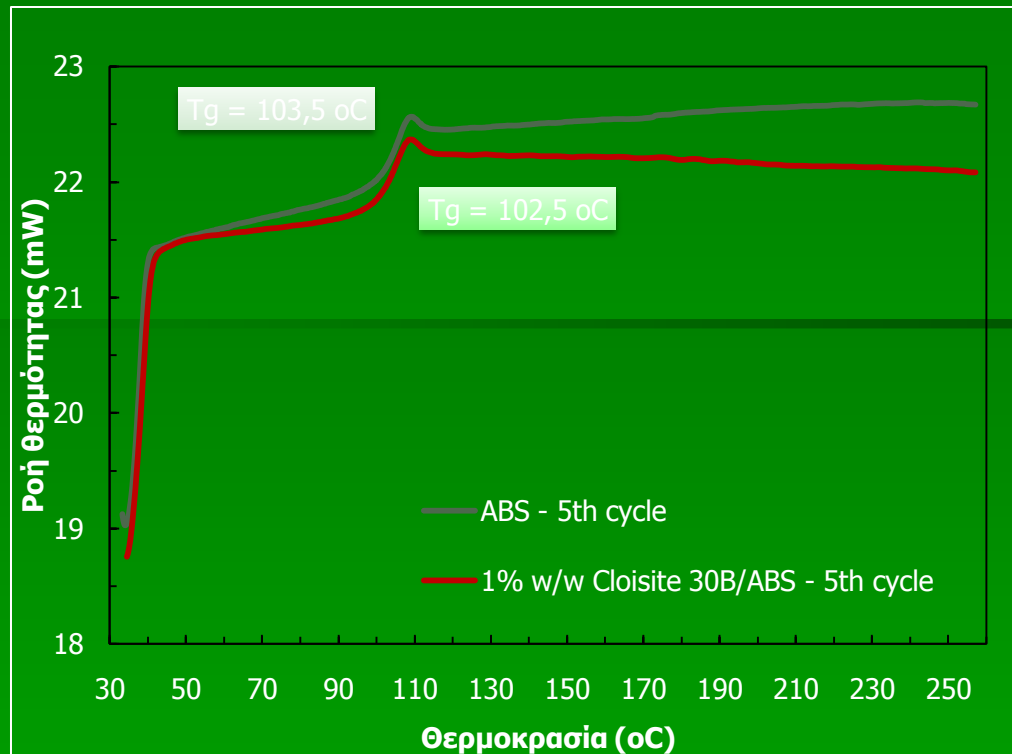
- Παρατηρείται ενσωμάτωση της ορυκτής αργίλου στις μοριακές αλυσίδες του ABS.
- Αντίστοιχες κορυφές απορρόφησης στην υδροξυλική, στην καρβονυλική ζώνη αλλά στην περιοχή του βουταδιενίου, που υποδηλώνουν οξειδωτικές δράσεις και για τα νανοσύνθετα μίγματα του ABS με ορυκτή άργιλο.



- Στην υδροξυλική ζώνη (3600-3200  $\text{cm}^{-1}$ ) παρατηρούνται πολλές κορυφές απορρόφησης, οι οποίες είναι χαρακτηριστικές για τις δονήσεις τάσης του ΟΗ και σχετίζονται με οξειδωτικές δράσεις.
- Η αύξηση και πλάτυνση της καρβονυλικής ζώνης (1850-1650  $\text{cm}^{-1}$ ), οφείλεται στον σχηματισμό διαφόρων τύπων καρβονυλίων, όπως οι εστέρες, κετόνες, οξέα και αλδεΐδες.
- Στην περιοχή του βουταδιενίου (1000-850  $\text{cm}^{-1}$ ), παρατηρείται, αύξηση κατά τον πρώτο κύκλο εκβολής, αλλά σημαντική μείωση της κορυφής κατά τον πέμπτο κύκλο στα 967  $\text{cm}^{-1}$  και 911  $\text{cm}^{-1}$ , το οποίο υποδηλώνει υποβάθμιση του ABS.



- Η θερμοκρασία τήξης υφίστανται μείωση από τον πρώτο προς τον πέμπτο κύκλο εκβολής, η οποία είναι σημαντικότερη για το παρθένο ABS ενώ η ενθαλπία τήξης παρουσιάζει αυξητική τάση για το καθαρό ABS.
- Η προσθήκη ορυκτής αργίλου αυξάνει τόσο την τιμή της θερμοκρασίας, όσο και της ενθαλπίας τήξης.
- Παρατηρείται μετατόπιση της θερμοκρασίας τήξης προς τα αριστερά, και αύξηση της τιμής της κατά 10 μονάδες.
- Συμπεραίνεται ότι τα νανοσωματίδια συμβάλλουν στην ανάπτυξη κρυσταλλικής δομής του ABS.



- ▶ Οι επαναλαμβανόμενοι κύκλοι εκβολής δεν επηρεάζουν την θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης, τόσο για το παρθένο ABS, όσο και τα μίγματα του με μοντμοριλλονίτη.



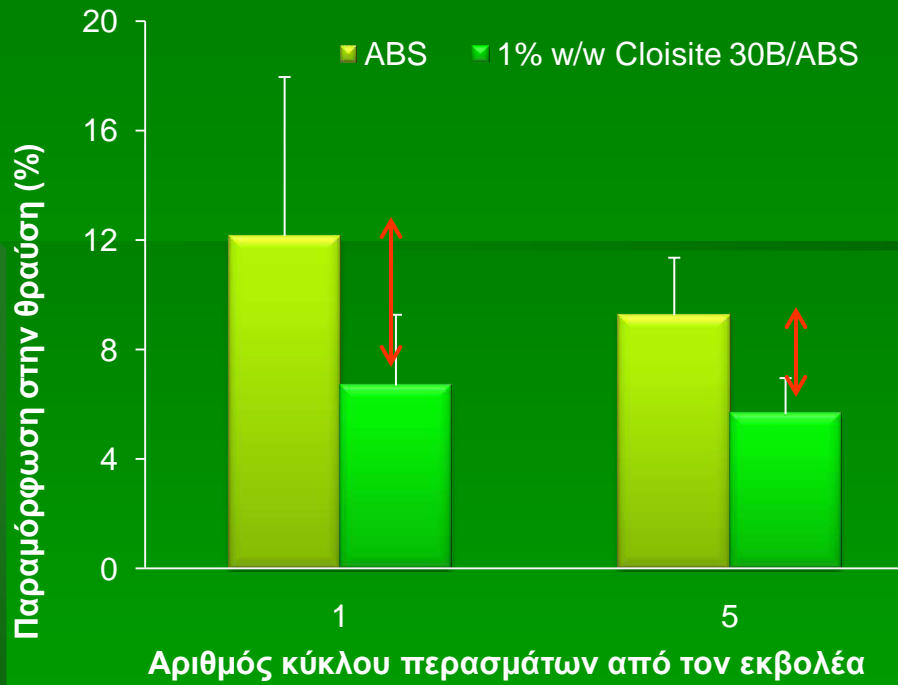
Extrusion cycle	Θερμοκρασία ενάρξης αποδόμησης (°C)		Θερμοκρασία Μέγιστου Ρυθμού αποδόμησης (°C)		Υπόλειμμα (%)	
	ABS	ABS NC (1% w/w CL 30B)	ABS	ABS NC (1% w/w CL 30B)	ABS	ABS NC (1% w/w CL 30B)
1	407,3	403,0	428,3	427,3	2,893	3,574
5	405,7	402,2	428,0	427,0	0,432	3,753

- Η θερμική αποδόμηση του ABS και των μιγμάτων του με ορυκτή άργιλο, δεν επηρεάζεται από την επανάληψη των κύκλων εκβολής.
- Το υπόλειμμα των νανοσυνθέτων είναι μεγαλύτερο απ' ό,τι το αντίστοιχο μη ενισχυμένο πολυμερές λόγω της δημιουργίας σταθερότερων προϊόντων στη πρώτη περίπτωση.



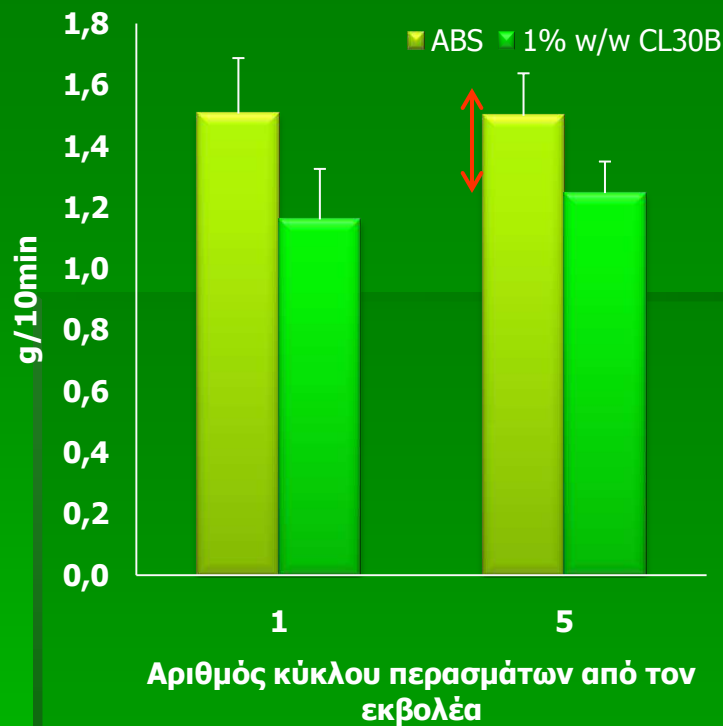
Extrusion cycle	Tensile strength (MPa)		Modulus of elasticity (MPa)	
	ABS	ABS NC (1% w/w CL 30B)	ABS	ABS NC (1% w/w CL 30B)
1	50.3 ±1.79	50.8 ±0.62	1939.8 ±103.84	2117.9 ±159.1
2	52.3 ±0.74	51.3 ±1.64	2030.9 ±59.44	2091.5 ±14.5
3	51.8 ±0.97	51.3 ±0.88	2049.1 ±33.85	2160.0 ±94.3
4	52.7 ±0.03	51.2 ±0.63	2037.6 ±8.18	2065.1 ±47.6
5	52.4 ±0.21	50.6 ±0.66	2041.3 ±19.00	2170.3 ±101.5

- Οι επαναλαμβανόμενοι κύκλοι εκβολής έχουν αμελητέα επίδραση στην αντοχή σε εφελκυσμό και στο μέτρο ελαστικότητας τόσο για το ABS, όσο και στα μίγματα του με ορυκτή άργιλο.
- Η προσθήκη αργίλου, δεν επηρεάζει την αντοχή σε εφελκυσμό, αλλά προκαλεί μία μικρή αύξηση του μέτρου ελαστικότητας.



Extrusion cycle	Strain at break (%)	
	ABS	ABS NC (1% w/w CL 30B)
1	12.15±5.81	6.7 ±2.58
2	10.61±2.85	10.4 ± 3.61
3	18.36±4.94	5.98 ±1.33
4	17.5±3.24	6.7 ±2.85
5	9.25±2.10	5.6 ±1.31

- Η προσθήκη της ορυκτής αργίλου, ως μέσο ενίσχυσης, μειώνει την τιμή της παραμόρφωσης στη θραύση, κατά τους επαναλαμβανόμενους κύκλους μορφοποίησης.



	MFI (g/10min)	
Extrusion cycle	ABS	ABS NC (1% w/w CL 30B)
1	1.507 ± 0.181	1.161 ± 0.165
2	1.493 ± 0.141	1.181 ± 0.173
3	1.470 ± 0.188	1.199 ± 0.120
4	1.439 ± 0.131	1.204 ± 0.144
5	1.500 ± 0.139	1.247 ± 0.136

- Η τιμή του MFI διατηρείται σχεδόν σταθερή κατά τους επαναλαμβανόμενους κύκλους εκβολής, όσο για το καθαρό ABS, τόσο και για τα νανοσύνθετα υλικά του.
- Η ενσωμάτωση του μοντμοριλλονίτη επιφέρει μικρή μείωση στις τιμές του MFI σε σχέση με το καθαρό ABS, το οποίο υποδηλώνει αύξηση του ιξώδους του συστήματος.





# Συμπεράσματα

- ➔ Η επανάληψη της εκβολής στα μίγματα του ABS με 1% w/w Cloisite 30B, βοηθά στην καλύτερη διασπορά του ενισχυτικού μέσου
- ➔ Η ανάμειξη σε δικόχλιο σύστημα εκβολής είναι αποτελεσματική διεργασία για μηχανική ανακύκλωση πλαστικών που προέρχονται από ΑΗΗΕ
- ➔ Η θερμική αποικοδόμηση του και των μιγμάτων του με ορυκτή άργιλο δεν επηρεάζεται από την επαναλαμβανόμενη εκβολή, τουλάχιστον μέχρι 5 κύκλους
- ➔ Ομοίως μικρή επίδραση παρατηρείται στις μηχανικές ιδιότητες των ανακυκλωμένων προϊόντων



Ευχαριστώ για την  
προσοχή σας