



Βιοπλαστικά από ανανεώσιμες πρώτες ύλες

Καθ.Γεράσιμος Λυμπεράτος και Δρ. Ιωάννα Ντάϊκου

Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή Χημικών Μηχανικών

&

Εργαστήριο Περιβαλλοντικής Βιοτεχνολογίας, ΙΤΕ/ΙΕΧΜΗ

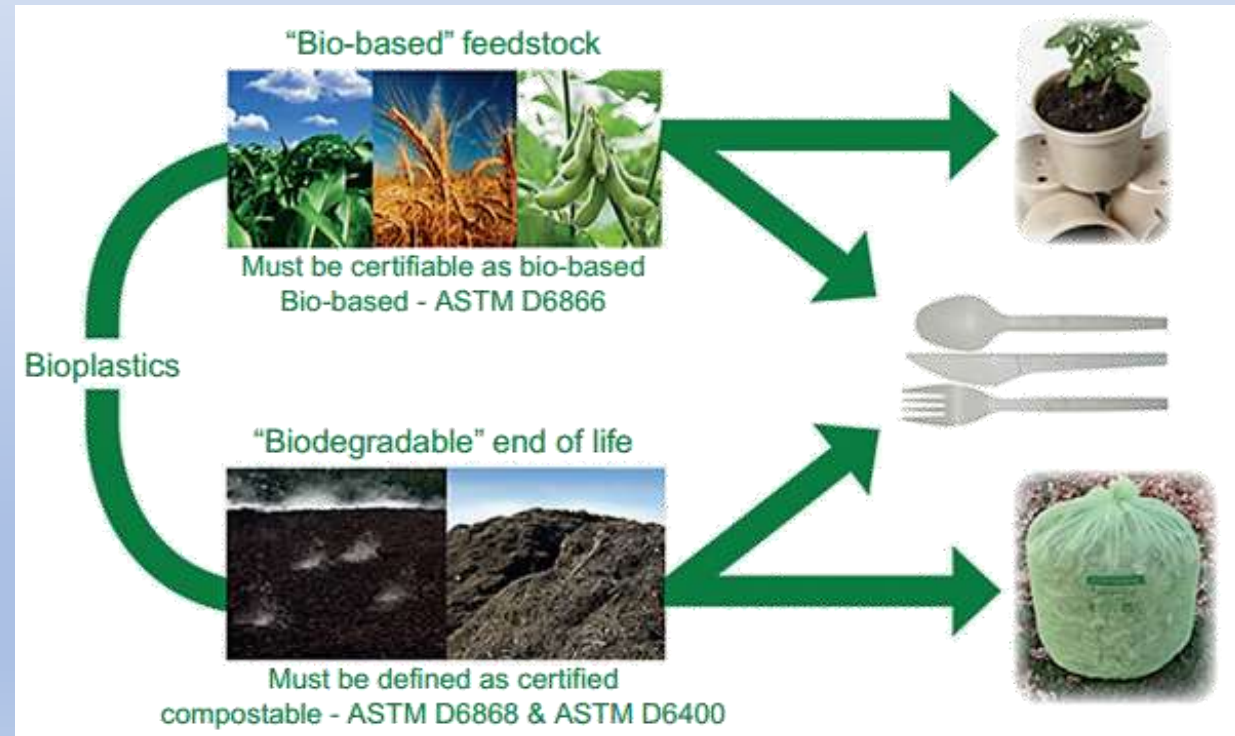
Πλαστικά και βιοπλαστικά...

- Ορισμός των βιοπλαστικών

- ✓ Επί τη βάσει της **προέλευσης** πρόκειται για τα πλαστικά που παράγονται από ανανεώσιμες πρώτες ύλες (βιοβασισμένα, bio-based)

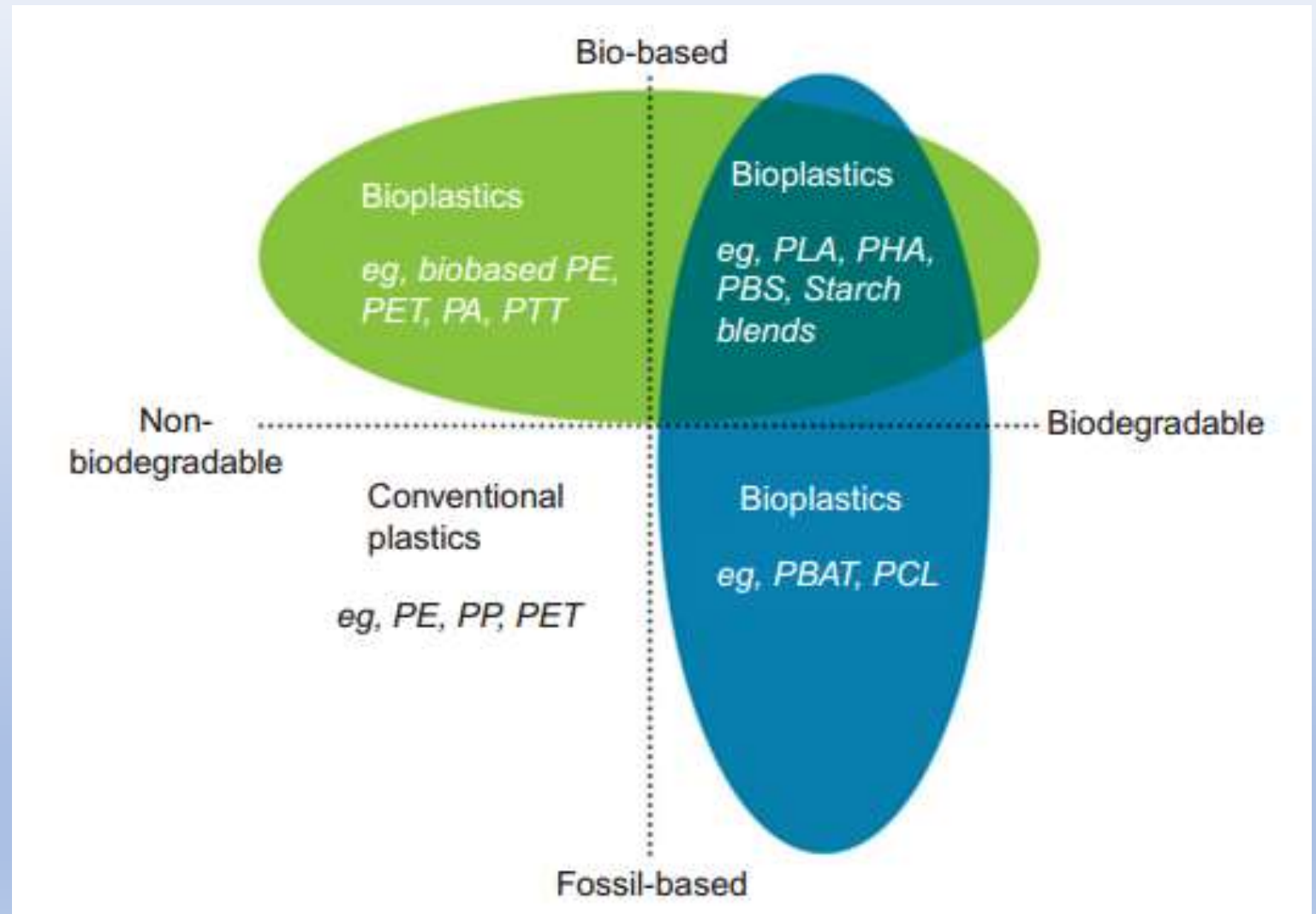
- ✓ Επί τη βάσει του **κύκλου ζωής** είναι τα πλαστικά που μπορούν να κομποστοποιηθούν ή γενικότερα να βιοαποδομηθούν

- (βιοδιασπάσιμα, biodegradable)



Πλαστικά και βιοπλαστικά...

**Ταξινόμηση βιοπλαστικών
και συμβατικών
πλαστικών ανάλογα με τη
βιοποδομησιμότητα και
την προέλευση από
ανανεώσιμες πρώτες ύλες**



source: www.bio-based.eu

Βιοδιάσπαση

- Διάσπαση στη φύση μέσω **βιολογικών διεργασιών**, κυρίως μέσω ζυμώσεων από βακτήρια και μύκητες
 - Οδηγεί σε αλλαγές **στη χημική δομή του** υλικού καθώς και στις **μηχανικές του ιδιότητες**
 - Τελικά προϊόντα σε **αερόβιες** συνθήκες: CO_2 , νερό, ανόργανα συστατικά και βιομάζα
 - Τελικά προϊόντα σε **αναερόβιες** συνθήκες: CO_2 , CH_4 και βιομάζα κάτω από αναερόβιες συνθήκες.



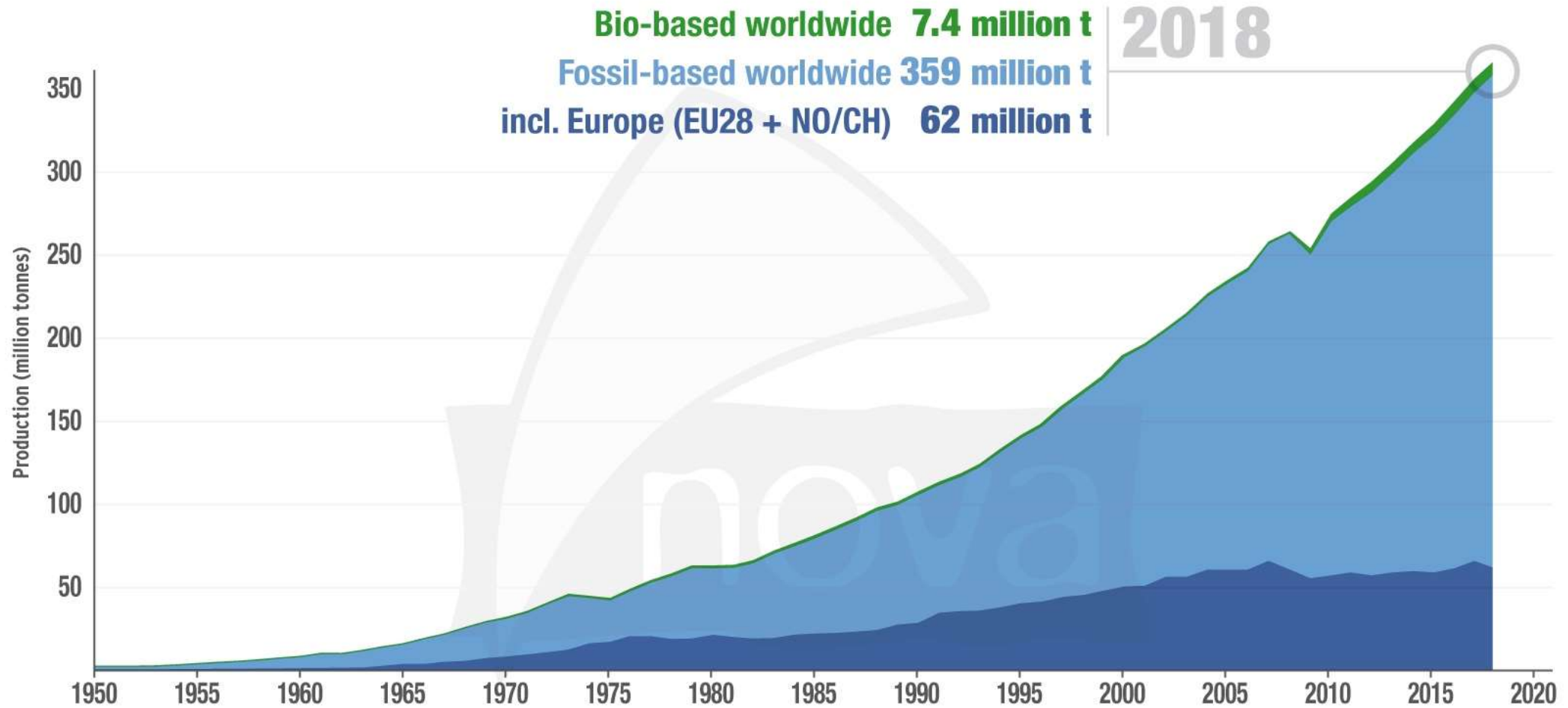
Κομποστοποίηση

- Ελεγχόμενος μηχανισμός **αερόβιας** διάσπασης οργανικής ύλης με τρόπο φυσικό από μικροοργανισμούς προς παραγωγή εδαφοβελτιωτικού (κομπόστ).
- Κομποστοποιήσιμα βιοπλαστικά: βιοδιασπώνται αερόβια σε ελεγχόμενες συνθήκες και σε χρόνο αντίστοιχο με άλλα γνωστά κομποστοποιήσιμα υλικά, όπως η κυτταρίνη και τα οργανικά απορρίμματα, όπως ορίζεται από τον διεθνή οργανισμό πιστοποίησης ASTM

Κατηγορίες βιοπλαστικών

- ✓ Βασισμένα στο άμυλο: μίγματα συμβατικών πλαστικών και αμύλου
- ✓ Χημικά παραγόμενα, PLA, poly (ethylene oxide)
- ✓ Πολυ-υδροξυ-αλκανοϊκοί εστέρες (PHAs), π.χ πολυ-υδροξυβουτυρικό (PHB), πολυ-υδροξυβαλερικό(PHV) κλπ

Plastics production from 1950 to 2018



Εφαρμογές εμπορικά παραγόμενων βιοπλαστικών

Προϊόν	Εταιρεία	Σύσταση	Εφαρμογές
Mater-Bi[®]	Novamont (Ιταλία)	Άμυλο και πολυεστέρας	Τσάντες συλλογής 'πράσινων' αποβλήτων, γεωργικές μεμβράνες, προϊόντα μίας χρήσεως
Polynat[®]	Roverch (Γαλλία)	Σίκαλη (80%)	Προϊόντα μίας χρήσεως, γλάστρες
Ecofoam[®]	AEC (Η.Π.Α.)	Άμυλο	Μεμβράνες περιτύλιξης
Biopol[®]	Goodfellow (Μ. Βρετανία)	PHB/PHV	Ξυράφια, φιάλες
Eco-pla[®]	Cargill Dow (Η.Π.Α.)	PLA	Προϊόντα υγιεινής, αθλητικά ενδύματα, συσκευασία, βιοϊατρική
Bio-D[®]	Cirad (Γαλλία)	Πρωτεΐνες από βαμβάκι	Γεωργικές μεμβράνες
Ecoflex[®]	BASF (Γερμανία)	Συμπολυεστέρες	Γεωργικές μεμβράνες
Eastar Bio[®]	Eastman (Μ. Βρετανία)	Συμπολυεστέρες	Γεωργικές μεμβράνες
BAK 1095[®]	Bayer (Γερμανία)	Αμίδια πολυεστέρα	Προϊόντα μίας χρήσεως, γλάστρες

Πλαστικά και βιοπλαστικά...δυνατότητες υποκατάστασης

Συμβατικά πλαστικά

Κατηγορία 1: Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο (PET);
 Κατηγορία 2: Υψηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (HDPE);
 Κατηγορία 3: Πολυβινυλοχλωρίδιο(PVC);
 Κατηγορία 4: Χαμηλής πυκνότητας πολυαιθυλένιο (LDPE);

Κατηγορία 5: Πολυπροπυλένιο (PP);
 Κατηγορία 6: Πολυστυρένιο(PS);
 Κατηγορία 7: Άλλα πλαστικά (π.χ., ακρυλικά, νάυλον, πολυκαρβονικά, Teflon)

Κατηγορία	Εκτιμώμενη τιμή	Χρήση	Αποδόμηση στο έδαφος (έτη)	Αμυλώδες	ΠΥΑ (PHA) Πολυυδροξυαλκανοϊκά οξέα	ΠΓΟ (PLA) Πολυγαλακτικό οξύ
PET (C ₁₀ H ₈ O ₄) _n	1,05/kg	Φιάλες αναψυκτικών, Συσκευασίες τροφών, δίσκοι, μεμβράνες	27-93	Εύκαμπτη συσκευασία	φιλμ	Φιάλες περιορισμένου χρόνου
HDPE (C ₂ H ₄) _n	1,21/kg	Φιάλες (π.χ. απορρυπαντικά, σακούλες)	<700	Εύκαμπτη συσκευασία	Συσκευασία	Φιάλες σαμπουάν
PVC (C ₂ H ₃ Cl) _n	1,59/kg	σωλήνες, κουφώματα, ιατρικά προϊόντα	<32	Φιλμ συσκευασίας	Δάπεδα βινυλίου	Φιλμ
LDPE (C ₂ H ₄) _n	1,12/kg	παιχνίδια, συμπιέσιμες φιάλες, μεμβράνες	>32	Συσκευασία	Συσκευασία	Επικάλυψη
PP (C ₃ H ₆) _n	0,90/kg	δοχεία, φιάλες Πλαστικά αντοχής	<100	Συσκευασία	Συσκευασία	κεσές γιαουρτιού
PS (C ₈ H ₈) _n	0,57/kg	δοχεία, παιχνίδια, Ιατρικά προϊόντα, μονώσεις	<32	Πληρωτικό υλικό συσκευασίας	Ιατρικό ικρίωμα	Μόνωση
Others	ποικίλλει	ακρυλικά, νάυλον, πολυκαρβονικά, Teflon	<ποικίλλει	Αντικατάσταση ακρυλικών	Αντικατάσταση τερεφθαλικού αντιπικκού πολυβουτυλενίου	Αντικατάσταση πολυκαρβονικών

Product	Company	Location	Capacity (tonnes)	Price (EUR per kg)
PLA	NatureWorks	United States	140 000	1.5 - 2.0
PLA	Hisun	China	5 000	2.1
PHAs	Metabolix	United States	300/50 000	4.3 - 4.6
PHBV	Tianan	China	2 000	4.1 - 4.3
Mater-Bi	Novamont	EU	75 000	3.4 - 5.1
Cereplast	Cereplast	United States	25 000	2.6 - 3.4

Πολυ-υδροξυαλκανοϊκοί εστέρες (ΠΥΑ, PHAs)

- **Γενικά χαρακτηριστικά**

- Πολυμερή υδροξυαλκανοϊκών εστέρων
- Απαντώνται στη φύση (σε φυτά και μικροοργανισμούς)
- Πρώτη ύλη: σάκχαρα, άμυλο, απόβλητα
- Ιδιότητες αντίστοιχες πολυαιθυλενίου (PE) και του πολυπροπυλενίου (PP)
- Διάσπαση μέσω υδρόλυσης/ κομποστοποίησης
- Εφαρμογές

- Στην Ιατρική και τη Φαρμακευτική

- ✓ Καρδιαγγεϊκά μπαλώματα, Οδοντικές εφαρμογές, απελευθέρωση φαρμάκων, στεντ αποκατάστασης νεύρων, Μοσχέυματα οστών, Ουρολογία, διαχείριση τραυμάτων

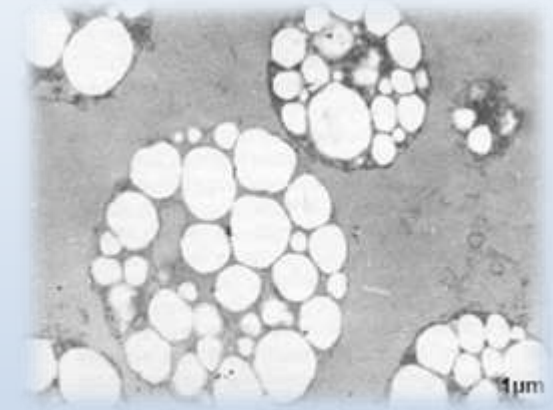
- Βιομηχανικά προϊόντα

- ✓ **Συσκευασία τροφών**, φιλμ, πλαστικοποίηση χαρτιού, σακούλες και δοχεία
- ✓ Αυτοκινητοβιομηχανία
- ✓ Οικιακές χρήσεις ξυραφάκια μιας χρήσης, μαχαιροπήρουνα, πάνες, σερβιέτες κλπ.



Μικροβιακή παραγωγή ΠΥΑ

● ΠΥΑ παράγονται από διάφορα βακτήρια ως αποθεματική πηγή άνθρακα και ενέργειας. Συσσωρεύονται σε ειδικά κυτταρικά έγκλειστα (granules) με διάμετρο 0,2-0,9 μm, και μπορούν να φτάσουν έως και το 90% του τελικού ξηρού βάρους του κυττάρου.



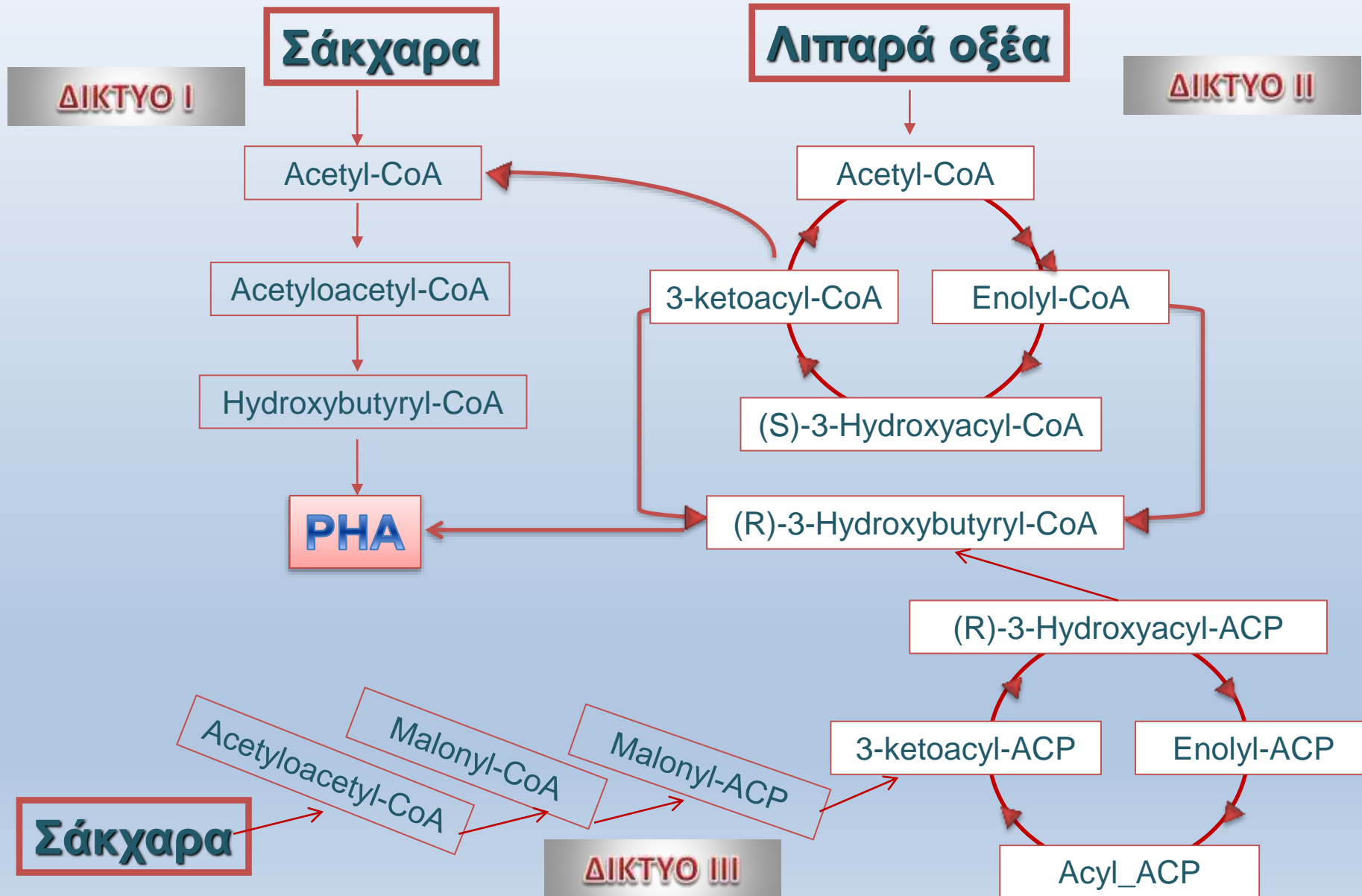
PHB σε κύτταρα *Ralstonia eutropha* (Yu J., 2002)

- 2 βασικές κατηγορίες βακτηρίων
 - βακτήρια που βιοσυσσωρεύουν υπό **περιορισμό βασικών θρεπτικών συστατικών** (N, O₂, P, S, Mg) παρουσία **περίσσειας άνθρακα**.
 - βακτήρια που βιοσυσσωρεύουν ταυτόχρονα με την ανάπτυξη

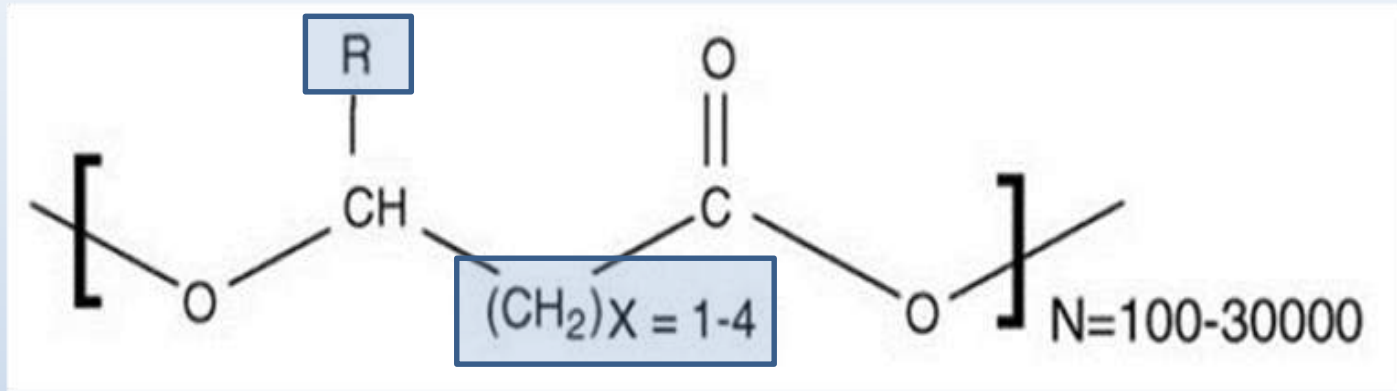
Μικροβιακή παραγωγή PHAs

Συστατικό σε περιορισμό	Μικροοργανισμοί
N	<i>Alcaligenes latus</i> , <i>Pseudomonas oleovorans</i> , <i>P. cepacia</i> , <i>Ralstonia eutrophus</i> , <i>Rhodobacter sphaeroides</i> , <i>Speudomonas sp. K.</i> , <i>Methylocystus oarvus</i> , <i>Thiosphaera pantotropha</i> , <i>Rhizobium ORS 571</i>
Mg	<i>Pseudomonas sp. K.</i>
O ₂	<i>Azotobacter vinelandii</i> , <i>A. Beijerinckii</i> , <i>Rhizobium ORS571</i>
P	<i>Rhodospirillum rubrum</i> , <i>Rhodobacter sphaeroidis</i> <i>Caulobacter crescentus</i> , <i>Pseudomonas oleovorans</i>
S	<i>Bacillus thuringiensis</i> , <i>Pseudomonas sp. K.</i> , <i>Pseudomonas oleovorans</i> , <i>Rhodospirillum rubrum</i> , <i>Rhodobacter sphaeroids</i>

Μικροβιακή παραγωγή PHAs



Χημική δομή ομοπολυμερών



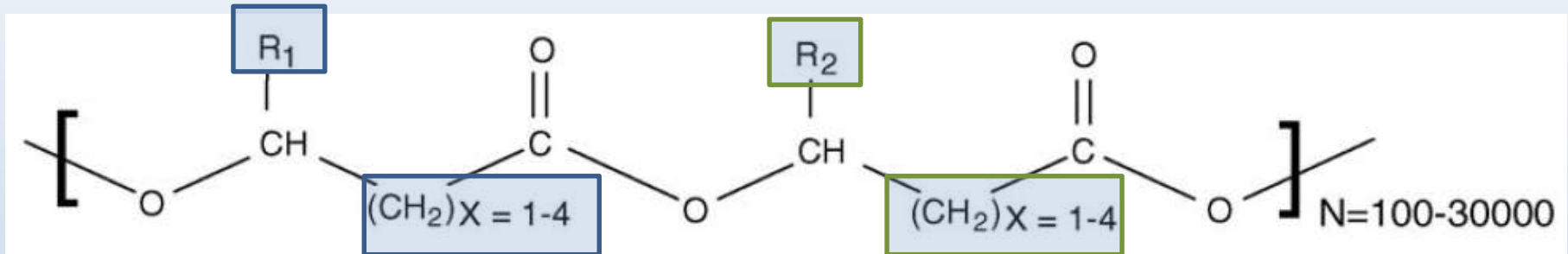
Δυο κύριες κατηγορίες

- ✓ μικρού μήκους αλυσίδας (scl-PHAs) \Rightarrow όταν $\text{R} = \text{H}, \text{CH}_3, \text{C}_2\text{H}_5, \text{C}_3\text{H}_7$
- πολυμερή ψαθυρά, κρυσταλλικά, θερμοπλαστικά με παρόμοιες ιδιότητες με το PP
- ✓ μεσαίου μήκους αλυσίδας (mcl-PHAs) \Rightarrow όταν $\text{R} = (\text{CH}_2)_3\text{CH}_3$ έως $(\text{CH}_2)_8\text{CH}_3$
- ημικρυσταλλικά, θερμοπλαστικά ελαστομερή

Ομοπολυμερή

Χ	Ομάδα R	Πολυεστέρας	Συντομογραφία
1	H	πολυ (3-υδροξυπροπιονικός)	P(3HP)
	CH ₃	πολυ (3-υδροξυβουτυρικός)	P(3HB)
	C ₂ H ₅	πολυ (3-υδροξυβαλερικός)	P(3HV)
	C ₃ H ₇	πολυ (3-υδροξυεξανοϊκός)	P(3HHx)
	C ₄ H ₉	πολυ (3-υδροξυεπτανοϊκός)	P(3HHp)
	C ₅ H ₁₁	πολυ (3-υδροξυοκτανοϊκός)	P(3HO)
	C ₆ H ₁₃	πολυ (3-υδροξυεννεανικός)	P(3HN)
	C ₇ H ₁₅	πολυ (3-υδροξυδεκανοϊκός)	P(3HD)
	C ₈ H ₁₇	πολυ (3-υδροξυεντεκανοϊκός)	P(3HUD)
	C ₉ H ₁₉	πολυ (3-υδροξυδωδεκανοϊκός)	P(3HDD)
2	H	πολυ (4-υδροξυβουτυρικός)	P(4HB)
	CH ₃	πολυ (4-υδροξυβαλερικός)	P(4HV)
3	H	πολυ (5-υδροξυβαλερικός)	P(5HV)
	CH ₃	πολυ (5-υδροξυεξανοϊκός)	P(5HHx)
4	C ₆ H ₁₃	πολυ (6-υδροξυδωδεκανοϊκός)	P(6HDD)

Χημική δομή συμπολυμερών



Τα μονομερή που απαρτίζουν τον πολυεστέρα ανήκουν σε δύο διαφορετικές ομάδες PHA,

- scl PHAs
- mcl PHAs.

Συμπολυμερή

Χ	Ομάδα R1	Χ	Ομάδα R2	Συμπολυμερές
1	CH ₃	1	H	P(3HP-co-3HB)
1	CH ₃	1	C ₂ H ₅	P(3HB-co-3HV)
1	CH ₃	2	H	P(3HB-co-4HB)
1	CH ₃	1	C ₃ H ₇	P(3HB-co-3HHx)
1	C ₃ H ₇	1	C ₅ H ₁₁	P(3HHx-co-3HO)
1	C ₃ H ₇	1	C ₇ H ₁₅	P(HHx-co-HD)
1	C ₅ H ₁₁	1	C ₇ H ₁₅	P(3HO-co-3HD)
1	C ₇ H ₁₅	1	C ₉ H ₁₉	P(3HD-co-3HDD)

Ιδιότητες των ΠΥΑ (PHAs)

Τα ΠΥΑ έχουν παρόμοιες ιδιότητες με τα συμβατικά πλαστικά

- Ανάλογα με τη μονομερική τους σύσταση μπορούν να είναι *είτε σκληρά και εύθραυστα είτε ελαστικά και εύπλαστα σε ποικίλο βαθμό*
 - ↳ Κρυσταλλική δομή → αυξάνει την σκληρότητα
 - ↳ Οι ιδιότητες μπορούν να μεταβληθούν με μίξη διαφορετικών ΠΥΑ ή με τη ρύθμιση της τροφοδοσίας κατά την παρασκευή τους για παραγωγή συμπολυμερών

αλλά επίσης είναι

- Ανθεκτικά στην υγρασία, αδιάλυτα στο νερό, μερικώς διαπερατά για το οξυγόνο
- Βιοσυμβατά
- Μη τοξικά
- Πλήρως βιοαποδομήσιμα

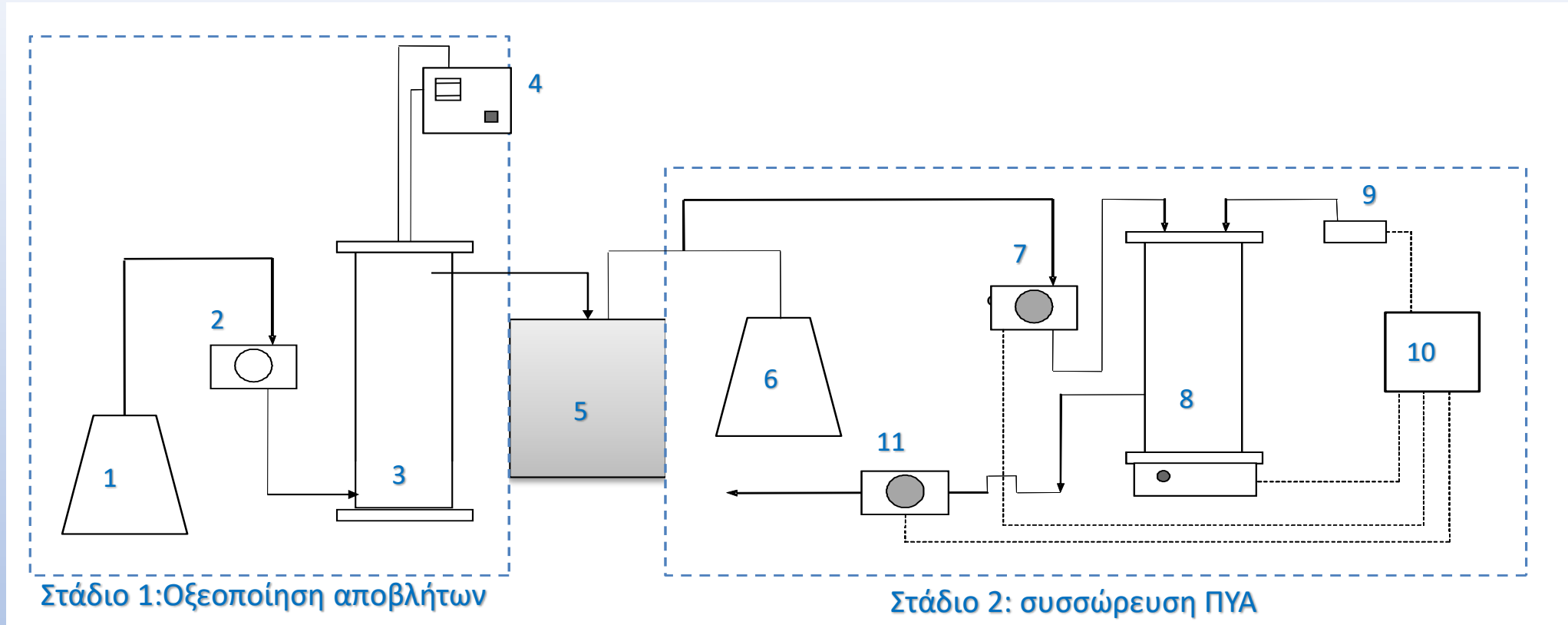
Ιδιότητες των ΠΥΑ

<u>PHAs</u>	Θ/σία τήξης, Tm (°C)	Θ/σία υαλώδους μετάπτωσης, Tg (°C)	Μέτρο ελαστικότητας GPa	Αντοχή σε εφελκυσμό (MPa)	Επιμήκυνση μέχρι την θραύση %
P(3HB)	180	10	3.5	40	5
P(3HB-co-14% 3HV)	150	4	1.5	35	
P(3HB-co-20% 3HV)	145	-1	1.2	32	50
P(3HB-co-25% 3HV)	137	-6	0.7	30	
P(4HB)	53	-36	149	104	1000
P(3HB-co-3% 4HB)	166	-7		28	45
P(3HB-co-10% 4HB)	159			24	242
P(3HB-co-16% 4HB)	150	-7		26	444
P(3HB-co-64% 4HB)	50		30	17	591
P(3HB-co-90% 4HB)	50		100	65	1080

Ανανεώσιμες πρώτες ύλες

	Πηγή άνθρακα	Μικροοργανισμός	Δομή PHA	% PHAs
Υδατανθρακες	Μελάσα	Μικτή καλλιέργεια	PHBV	30
	Απόβλητα χαρτοβιομηχανίας	Μικτή καλλιέργεια	PHBV	48.2
	Άμυλο από τομάτες	<i>R. eutropha</i> NCIMB 11599	PHB	55
	Φοινικέλαιο	<i>Cupriavidus necator</i> PHB-4	P(HB-HV-HHx)	79
Έλαια	Καλαμποκέλαιο	<i>P. putida</i>	mcl-PHAs	27.2
	Φυτικά έλαια	<i>Cupriavidus necator</i> H16	PHBV	80
	Τυρόγαλα	<i>P. hydrogenovora</i>	PHB	-
Σύνθετα απόβλητα	Βιομηχανική γλυκερόλη	<i>Cupriavidus necator</i> JMP 134	PHB	48
	Τυρόγαλα	<i>P. hydrogenovora</i>	PHB	-
	Αστικά λύματα	Μικτή καλλιέργεια	PHBV	40
	Απόβλητα ζυθοποιίας	Μικτή καλλιέργεια	-	38

Σύστημα παραγωγής ΠΥΑ δύο σταδίων βασιζόμενο σε μικτές μικροβιακές καλλιέργειες στο ΕΠΒ



1. Τροφοδοσία οξεοποίησης
2. Αντλία
3. αντιδραστήρας οξεοποίησης
4. ρυθμιστής θερμοκρασίας
5. συλλογή απορροής

6. τροφοδοσία συστήματος συσσώρευσης ΠΥΑ
7. Αντλία
8. αντιδραστήρας παραγωγής ΠΥΑ (SBR)
9. Αεραντλία
10. πάνελ ελέγχου
11. αντλία

Σύστημα παραγωγής ΠΥΑ δύο σταδίων βασιζόμενο σε μικτές μικροβιακές καλλιέργειες στο ΕΠΒ

Στάδιο 1: Αναερόβια οξεοποίηση

	<u>Συνεχούς λειτουργίας πλήρως αναδευόμενος (CSTR)</u>	<u>Βιοαντιδραστήρας στήλης ανοδικής ροής (Up-flow Column Bioreactor)</u>
Αντιδραστήρας	Ανοξείδωτος χάλυβας V_w : 0,5L και 20L 35°C, Περιοδική ανάδευση	Plexiglas V_w : 1,5L 35 °C βιοφίλμ
Εμβόλιο	Ιλύς από μονάδα επεξεργασία λυμάτων προθερμασμένη (100°C, 20min)	
Πρώτη ύλη	Απόβλητα ελαιουργείου	Γλυκερόλη (παραπροϊόν βιοντίζελ)
Βελτιστοποίηση	Υδραυλικός χρόνος παραμονής (ΥΧΠ) :7,5h-60h	<ul style="list-style-type: none"> ΥΧΠ : 12h-48 h Οργανική φόρτιση :8-30g d⁻¹L⁻¹ pH_{τροφοδοσίας} : 6-7
Πτητικά λιπαρά οξέα που παράγονται	Οξικό, Βουτυρικό και προπιονικό	Οξικό, Βουτυρικό και Εξανοϊκό



Σύστημα παραγωγής ΠΥΑ δύο σταδίων βασιζόμενο σε μικτές μικροβιακές καλλιέργειες στο ΕΠΒ



Στάδιο 2αερόβια παραγωγή ΠΥΑ

	<u>Αντιδραστήρας διαδοχικών φορτίσεων SBR</u>	
Αντιδραστήρες	Γυαλί, V_w : 1,5L	Plexiglas, V_w : 30L
Εμβόλιο	Εμπλουτισμένη αερόβια μικτή καλλιέργεια από ενεργό ιλύ και χώμα	Εμπλουτισμένη αερόβια μικτή καλλιέργεια από ενεργό ιλύ
Λειτουργικές φάσεις	Φάσεις: α) <u>ανάπτυξη</u> , παροχή <u>N</u> (περιορισμός άνθρακα), β) καθίζηση (χωρίς αερισμό και ανάδευση) γ) αφαίρεση υπερκείμενου ($2/3$ του V_w), δ) <u>συσσώρευση</u> , παροχή <u>C</u> (περιορισμός αζώτου), ε) εκροή των $2/3$ του V_w υπό ανάδευση για εξαγωγή ΠΥΑ	
Πρώτη ύλη	α. Κατσίγαρος χωρίς στερεά β. Γλυκερόλη	Κατσίγαρος
Βελτιστοποίηση	Οργανική φόρτιση, διάρκεια φάσεων, pH	
Παραγόμενα ΠΥΑ	α. ΡΗΒΗV, ΡΗΒΗVΗxx β. ΡΗΒ	ΡΗΒΗΟ

Ανάκτηση ΠΥΑ



Συλλογή βακτηριακή μάζας από τα αιωρήματα με φυγοκέντριση και ξήρανση με λυοφιλοποίηση



Εξαγωγή ΠΥΑ με οργανικούς διαλύτες και μερική ανάκτηση διαλυτών



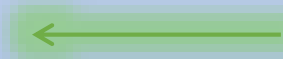
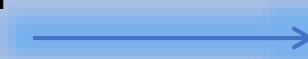
Καθαρισμός και κατακρήμνιση ΠΥΑ με μεθανόλη



Ανάκτηση και ξήρανση



Μορφοποίηση για παραγωγή φιλμ



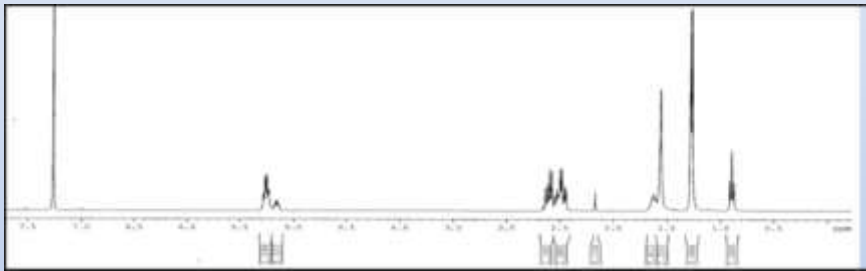
Χαρακτηρισμός ιδιοτήτων βιοπλαστικών



➤ Εκτίμηση φυσικοχημικών ιδιοτήτων

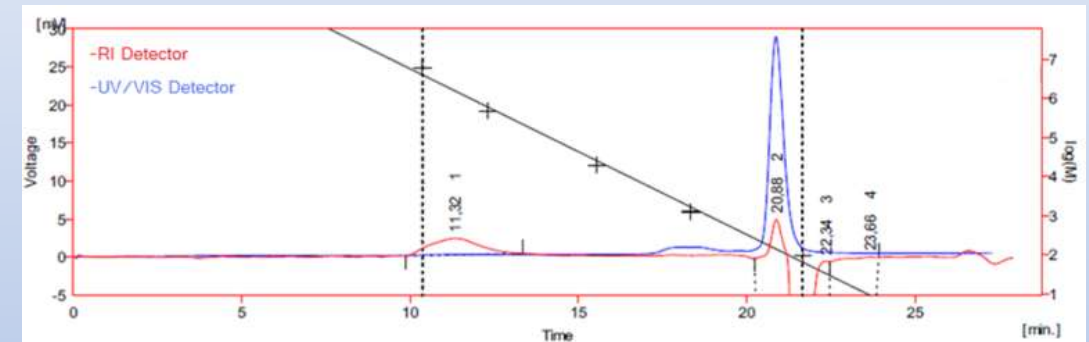
Σύσταση και δομή

- ✓ Αέρια χρωματογραφία
- ✓ Φασματοσκοπία πυρηνικού μαγνητικού συντονισμού (NMR)



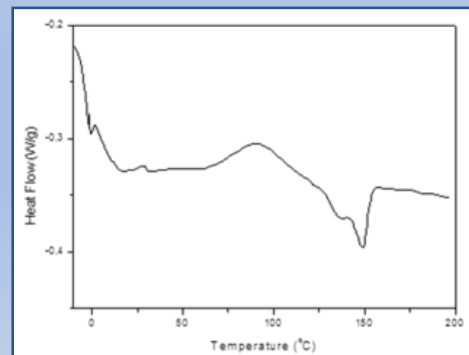
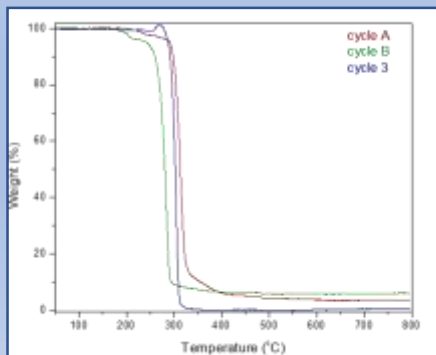
Μοριακές μάζες

- ✓ Χρωματογραφία αποκλεισμού μεγέθους



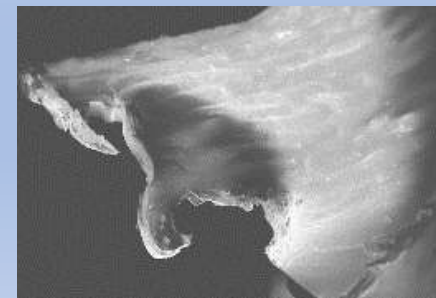
Θερμικές ιδιότητες και σταθερότητα

- ✓ Θερμοβαρτική ανάλυση
- ✓ Θερμιδομετρία διαφορικής σάρωσης (DSC)



Μηχανικές ιδιότητες

- ✓ Τεστ εφελκυσμού
- ✓ Δυναμική Μηχανική Ανάλυση



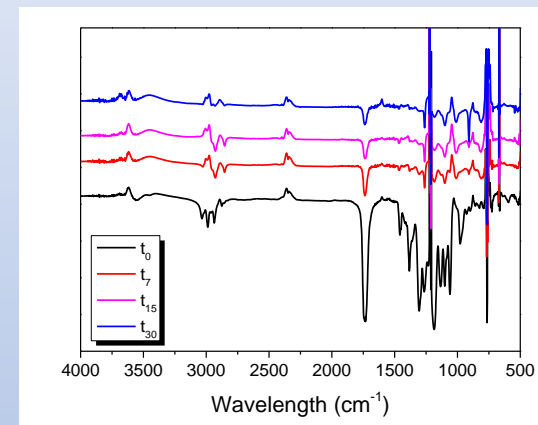
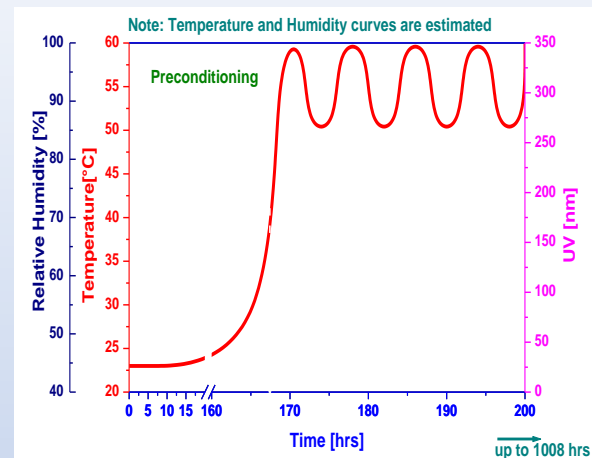
Χαρακτηρισμός ιδιοτήτων βιοπλαστικών

➤ Επίδραση της γήρανσης

Προσδιορισμός των μεταβολών των φιλμ ΠΥΑ μετά από τεχνητή γήρανση

Ελεγχόμενη περιοδική μεταβολή υπεριώδους ακτινοβολίας, θερμοκρασίας και υγρασίας, προσομοιώνοντας έτσι ακραίες περιβαλλοντικές συνθήκες.

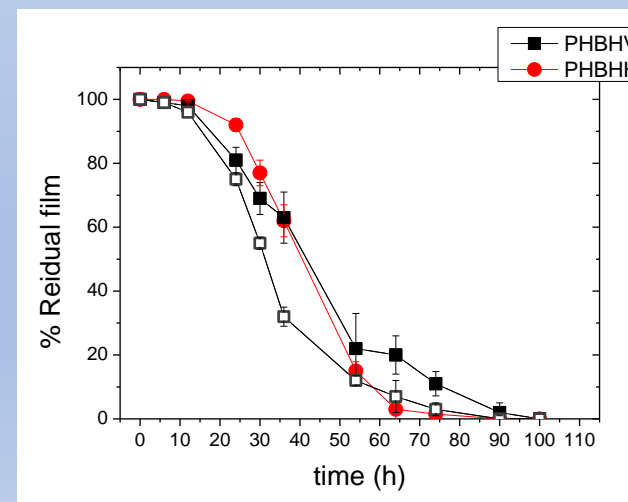
- ✓ Περιοδική αφαίρεση δειγμάτων ΠΥΑ για προσδιορισμό
 - Χημικής δομής (FTIR)
 - Θερμικές ιδιότητες (TGA, DSC)
 - Μοριακά βάρη και πολυδιασπορά (SEC)
 - Μηχανικές ιδιότητες (αντοχή σε εφελκυσμό)



➤ Εκτίμηση βιοαποδομησιμότητας

Τεστ αναερόβιας αποδόμησης με μεικτές καλλιέργειες

- ✓ Πειράματα διαλείποντος έργου μικρής κλίμακας
- ✓ Μεσόφιλες αναερόβιες συνθήκες
- ✓ ΠΥΑ ως μοναδική πηγή άνθρακα
- ✓ Ουρία ως πηγή αζώτου



Παρελθόντα και τρέχοντα ερευνητικά προγράμματα

POLYVER - COOP-CT-2006-032967—“Production of Polyhydroxyalkanoates from olive oil mills wastewater” (5/2006-9/2008). EU-6th Framework Programme. Horizontal research Activities involving SMEs

✓ *PHAs production from olive mill wastewaters*

Bioref -09SYN-81-715—“Development of a biorefinery process for valorization of biodiesel wastes streams towards biopolymers and high added value production”. (8/2011-7/2014) General Secretariat of Research and Technology (GSRT)

✓ *PHAs production from waste glycerol*

Waste2Biopolymers—“Conversion of Food Industry wastes to Biopolymers for Packaging Applications in a Biorefinery concept”. (7/2019, ongoing) General Secretariat of Research and Technology (GSRT)

✓ *PHAs and PLA production from sugar based industrial food wastes*

Waste2Plastics—“Development and Demonstration of Key Technologies for Industrializable Polyhydroxyalkanoates Production from Industrial and Environmental Waste Streams (10/2019, ongoing) General Secretariat of Research and Technology (GSRT)

✓ *PHAs production from waste glycerol and industrial food wastes*



International Journal of Biobased Plastics



ISSN: 0167-6369 | Online Journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/ijbpl>

Effect of nitrogen limitation on polyhydroxyalkanoates production efficiency, properties and microbial dynamics using a soil-derived mixed continuous culture

Ioanna Ntaikou, Ioannis Kourmelis, Maria Kamilaris, Zacharoula Iatridi, Constantinos Tsiatsilianis & Gerasimos Lyberatos



Journal of Biotechnology 188 (2014) 136–147

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Biotechnology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jbiotec



Microbial bio-based plastics from olive-mill wastewater: Generation and properties of polyhydroxyalkanoates from mixed cultures in a two-stage pilot scale system

I. Ntaikou^{a,b}, C. Valencia Perosi^{b,c}, C. Kourmentza^a, V.I. Ilieva^a, A. Morelli^d, E. Chiellini^e, G. Lyberatos^{a,b}

^a Institute of Chemical Engineering Sciences, Foundation for Research and Technology (ICTAS/FORES), 26504 Patras, Greece
^b Labor 24, Technopole Thessaloniki, Via Giuseppe Perini 366, 55131 Arete, Italy
^c Department of Chemistry and Industrial Biotechnology, University of Pisa, 56100 Pisa, Italy
^d School of Chemical Engineering, National Technical University of Athens (NTUA), Athens Campus, 15701 Athens, Greece



Bioresource Technology 148 (2009) 1724–1734

Contents lists available at ScienceDirect

Bioresource Technology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/biortech

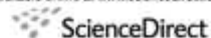
Exploitation of olive oil mill wastewater for combined biohydrogen and biopolymers production

I. Ntaikou^{a,b,c}, C. Kourmentza^{a,b}, E.C. Koutrouli^{a,b}, K. Stamatielou^{a,b}, A. Zampraka^a, M. Kornaros^a, G. Lyberatos^{a,b}

^a Department of Chemical Engineering, University of Patras, Bachelourat 1, 26504 Patras, Greece
^b Institute of Chemical Engineering and High Temperature Chemical Processes, 26504 Patras, Greece



Available online at www.sciencedirect.com



DESALINATION

Desalination 245 (2009) 723–732

www.elsevier.com/locate/desal

Production of PHAs from mixed and pure cultures of *Pseudomonas* sp. using short-chain fatty acids as carbon source under nitrogen limitation

C. Kourmentza^{a,b}, I. Ntaikou^{a,b}, M. Kornaros^{a*}, G. Lyberatos^{a,b}

^a Department of Chemical Engineering, University of Patras, 1 Karathessaloniki st., 26500 Patras, Greece
^b Institute of Chemical Engineering and High Temperature Chemical Processes, 26504 Patras, Greece
Tel/Fax: +30-2610-997418; email: kornaros@chemeng.upatras.gr

Received 14 October 2008; accepted 29 January 2009



International Journal of Biological Macromolecules 33 (2015) 280–288

Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Biological Macromolecules

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijbiomac



Polyhydroxyalkanoates from *Pseudomonas* sp. using synthetic and olive mill wastewater under limiting conditions

C. Kourmentza^{a,b,c}, I. Ntaikou^b, G. Lyberatos^{a,b}, M. Kornaros^a

^a Laboratory of Biotechnological Engineering in Environmental Technology (LUBET), Department of Chemical Engineering, University of Patras, 1 Karathessaloniki St., 26500 Patras, Greece
^b Institute of Chemical Engineering Sciences, Foundation for Research and Technology (ICTAS/FORES), 26504 Patras, Greece
^c School of Chemical Engineering, National Technical University of Athens (NTUA), Zografos Campus, 15701 Athens, Greece



International Journal of Biological Macromolecules 112 (2013) 375–381

Contents lists available at ScienceDirect

International Journal of Biological Macromolecules

journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/ijbiomac>



Comparison of yields and properties of microbial polyhydroxyalkanoates generated from waste glycerol based substrates

Ioanna Ntaikou^{a*}, Ioannis Kourmelis^{a,b}, Constantinos Tsiatsilianis^{a,b}, John Parthenios^a, Gerasimos Lyberatos^{a,b}

^a Foundation for Research & Technology, Institute of Chemical Engineering Sciences, Iraklio 16, Heraklion, Patras 26504, Greece
^b Department of Chemical Engineering, University of Patras, Patras 26500, Greece
^c School of Chemical Engineering, National Technical University of Athens (NTUA), Zografos Campus, Athens 15701, Greece

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!



Professor Gerasimos Lyberatos
School of Chemical Engineering
National Technical University of Athens
Zografou Campus, Athens 15 780 Greece
e-mail: lyberatos@chemeng.ntua.gr
Tel: +30 210 7723256



Dr. Ioanna G. Ntaikou,
Biologist, Chemical Engineer Ph.D,
Laboratory of Environmental Biotechnology
FORTH/ICE-HT
10 Stadiou st, Platani, 26 504 Patra, Greece
e-mail: ntaikou@iceht.forth.gr
Tel: +30 2610 965 317-8 FAX: +30 2610 965 318