



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ



CHIMAR.



ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
AGRICULTURAL UNIVERSITY OF ATHENS



“Ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων σύνθετης ξυλείας με προηγμένες υδροφοβικές και αντιμικροβιακές ιδιότητες ενισχυμένων με νανο-κυτταρίνη”

ΓΕΩΠΟΝΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ (ΓΠΑ)

Ερμίντα Τσούκο, Μεταδιδακτορική Ερευνήτρια, Εθνικό Ίδρυμα Ερευνών, Ινστιτούτο Θεωρητικής και Φυσικής Χημείας (ΙΘΦΧ)

Απόστολος Κουτίνας, Καθηγητής,
Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών



ΕΠΑΝΕΚ 2014-2020
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ
ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ
ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΝΔΥΣΕΩΝ
ΕΘΝΙΚΟ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΟ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΩΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΩΝ
ΕΣΠΑ ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΕΡΕΥΝΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ



ΕΣΠΑ
2014-2020
ανάπτυξη - εργασία - αλληλεγγύη

Με τη συνδρομιασθήση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης

27/11/2023 ΑΘΗΝΑ



Ενότητα Εργασίας 1: Παραδοτέα - Ορόσημα

ΠΑΡΑΔΟΤΕΑ

	Τίτλος	Παράδοση
Π1.1	Εκλεκτική παραγωγή κυτταρίνης απο λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες	12/2020
Π1.2	Παραγωγή βακτηριακής κυτταρίνης από γλυκερόλη	04/2021
Π1.3	Παραγωγή νανοδομών κυτταρίνης και επιφανειακή τροποποίηση	12/2020 & 12/2021
Π1.4	Δημοσιότητα - Ιστοσελίδα έργου	03/2020
Π1.5	Διάχυση αποτελεσμάτων & δημοσιότητα (δημοσιεύσεις ή/και ανακοινώσεις σε συνέδρια	12/2021

ΟΡΟΣΗΜΑ

	Τίτλος	Παράδοση
ΟΡ1.1	Εκλεκτική και αποδοτική απομόνωση φυτικής κυτταρίνης από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες	09/2020

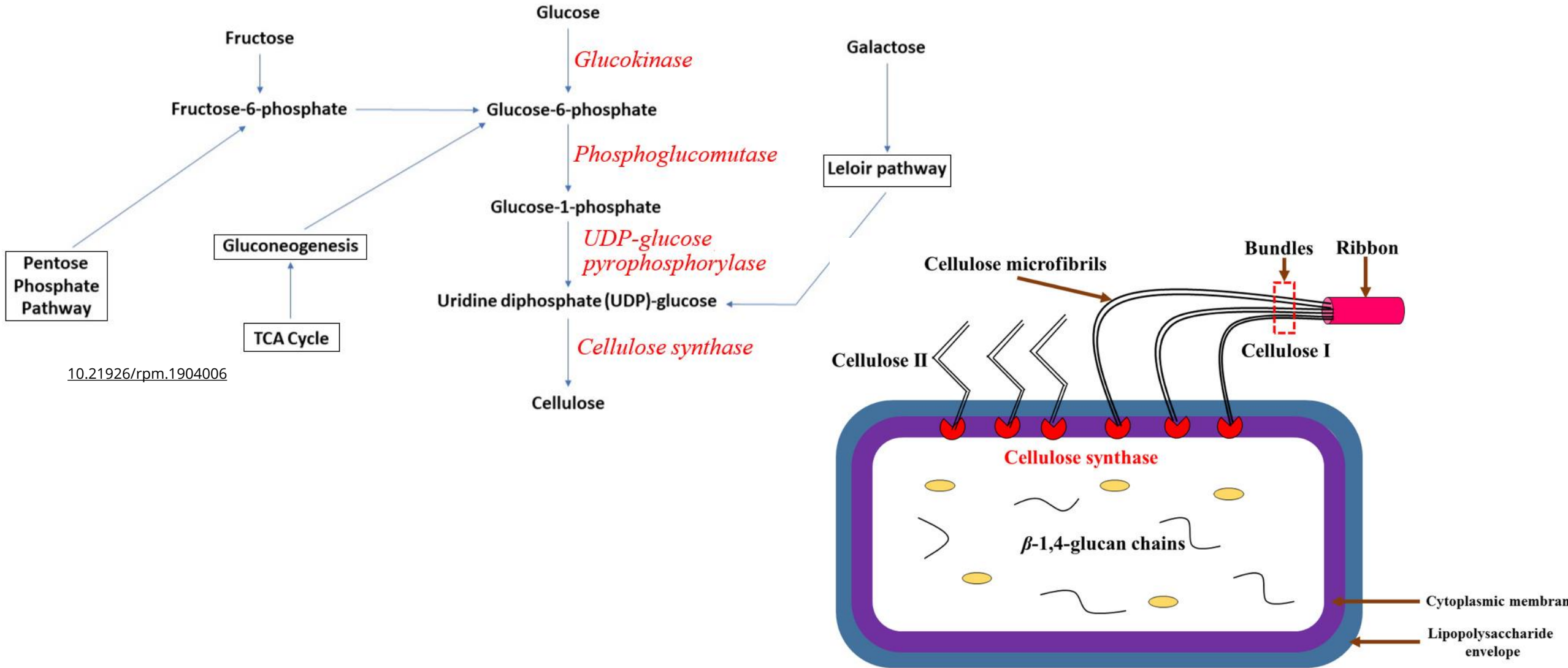
AVAILABILITY OF MAJOR WASTE AND BY-PRODUCT STREAMS FROM VARIOUS AGRI-FOOD SECTORS



Industrial side stream	Annual production worldwide (10 ⁶ t)
Cheese whey	209.8
Soybean meal	243.0
Rapeseed meal	38.8
Sunflower meal	21.8
Olive mill waste	30.0
Brewer's spent grains	36.4

Industrial side stream	Annual production worldwide (10 ⁶ t)
Crude Glycerol	41.9 (L)
Waste from manufactured bread	~10.0
Bakery waste	69.0
Distillery effluents	1182.0 (L)
Waste from citrus juice production	25.0
Fruit and vegetable waste	> 55.0

SYNTHESIS OF BACTERIAL CELLULOSE (BC)

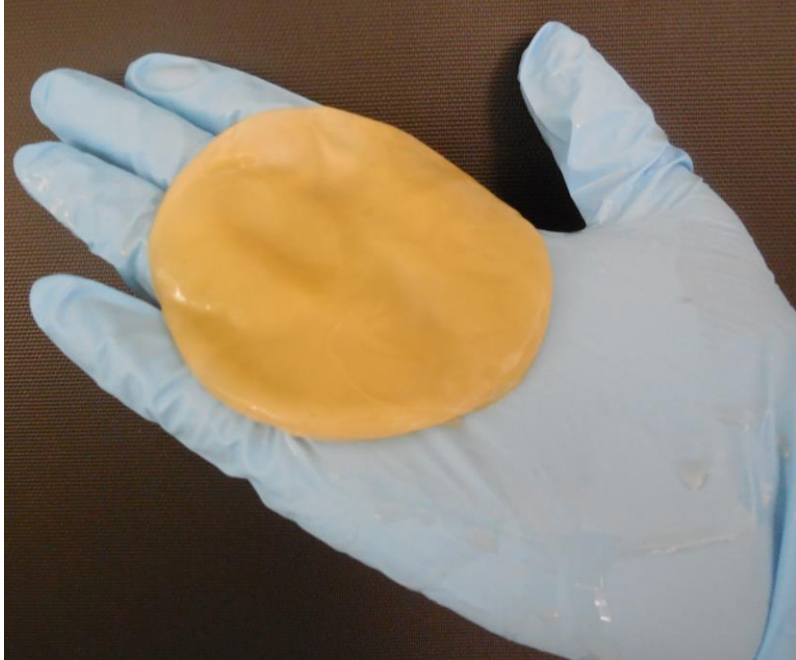


10.21926/rpm.1904006

<https://doi.org/10.1002/nano.202100044>

Cultivation systems

Static conditions



Agitated conditions

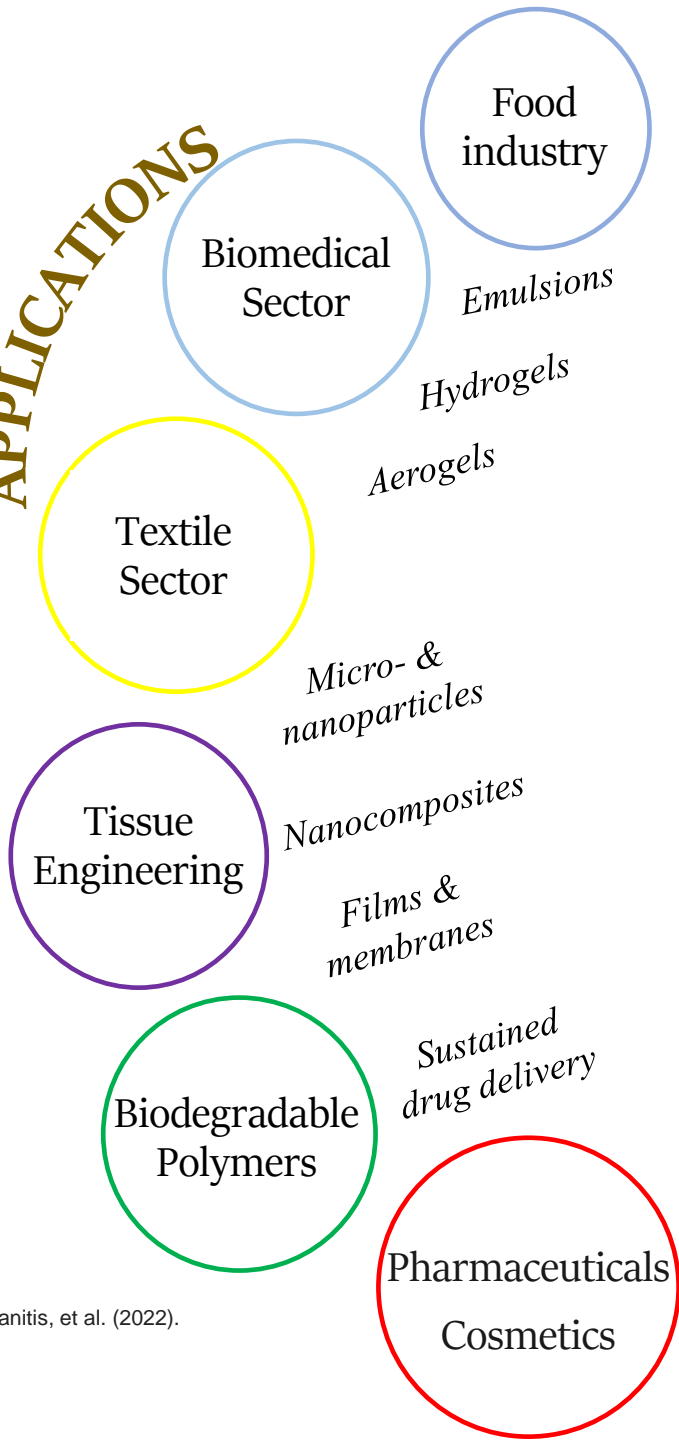


Rotating drum bioreactor

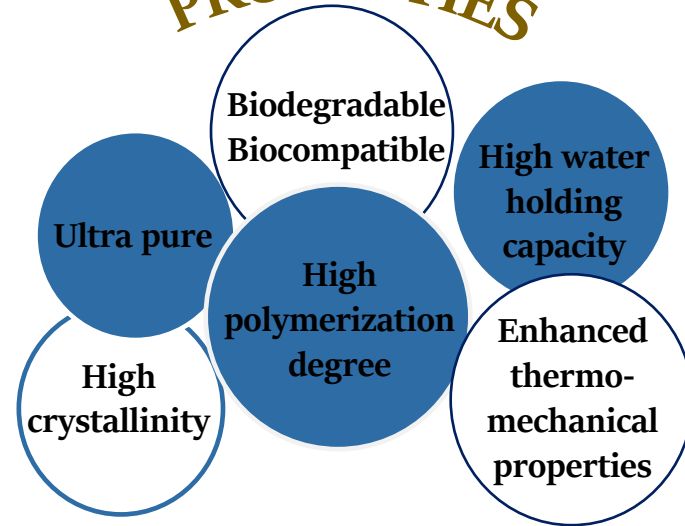


SOURCES, PROPERTIES AND APPLICATIONS OF BC

APPLICATIONS



PROPERTIES



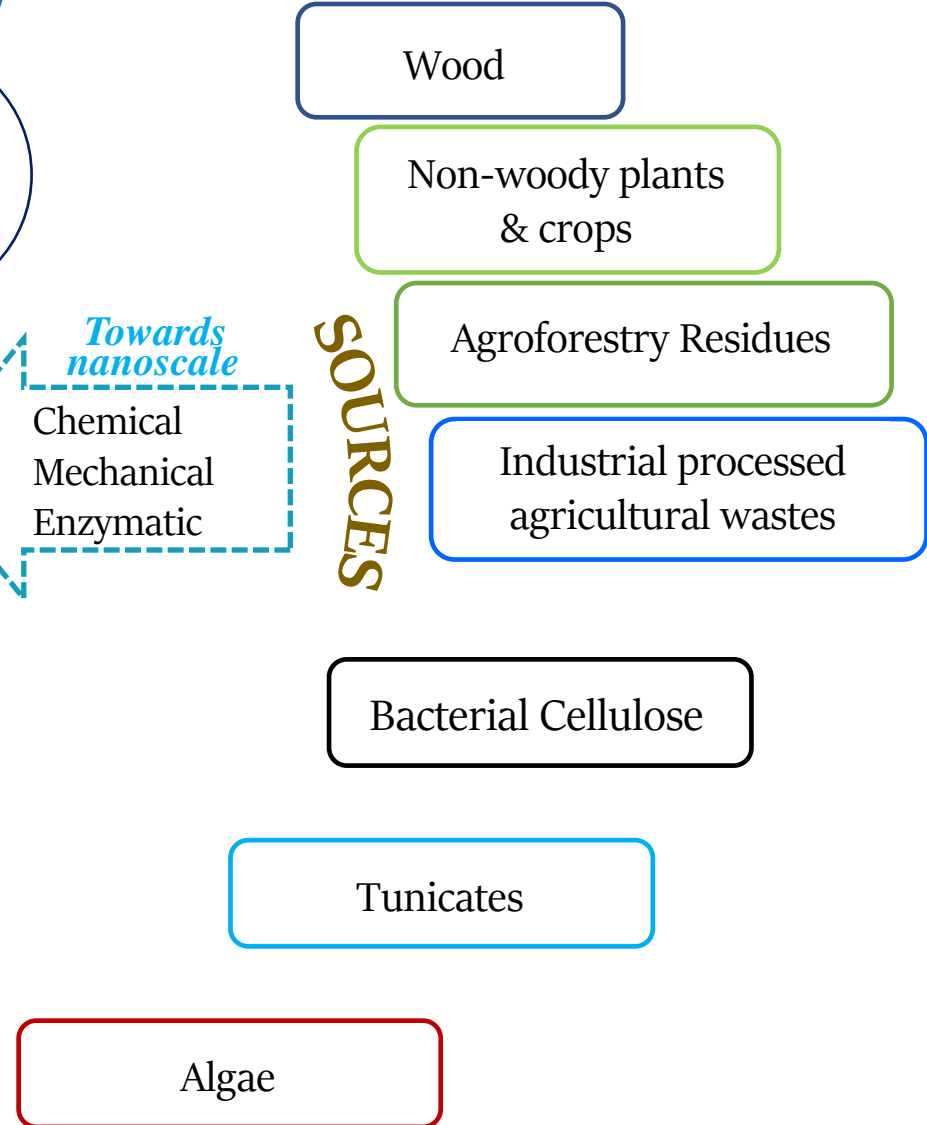
Bacterial cellulose



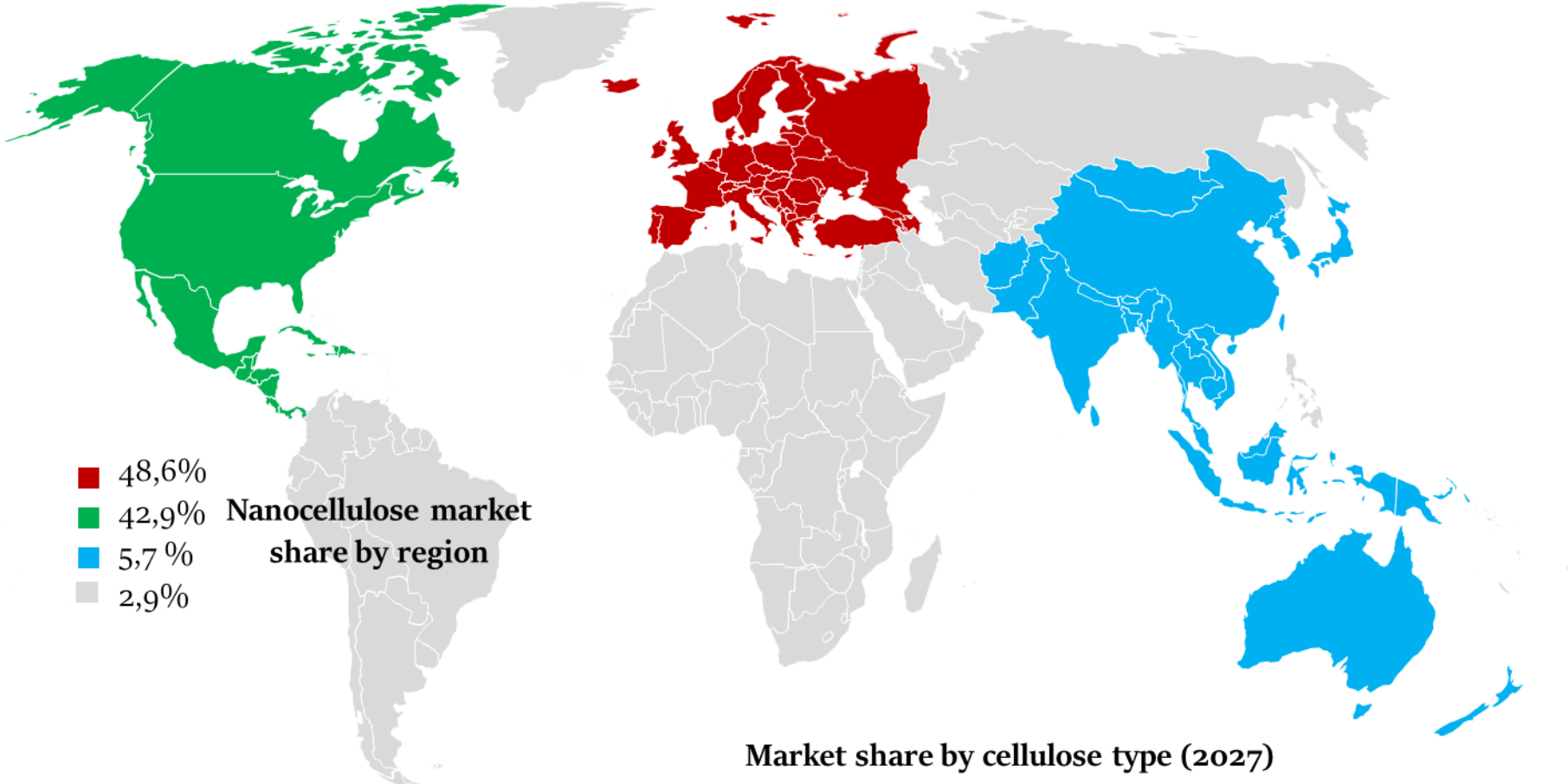
Towards nanoscale

Chemical
Mechanical
Enzymatic

SOURCES



MARKET SHARE OF NANOCELLULOSE

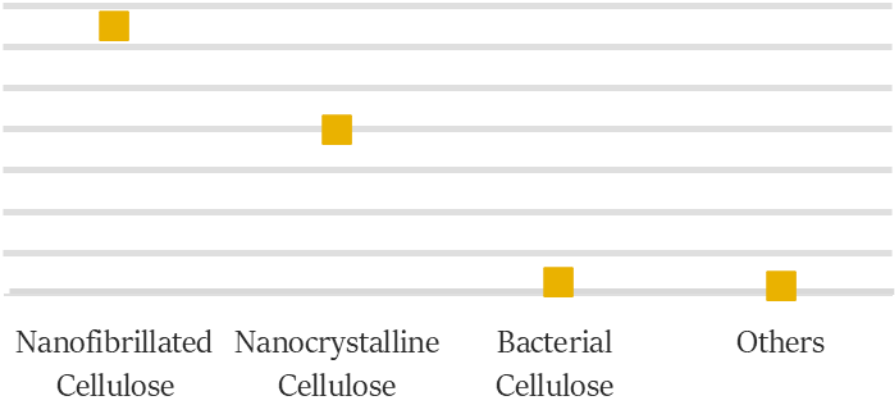


CAGR of 20.4%



**From USD 247.2 million (2019)
to USD 1.1 billion (2027)**

Market share by cellulose type (2027)

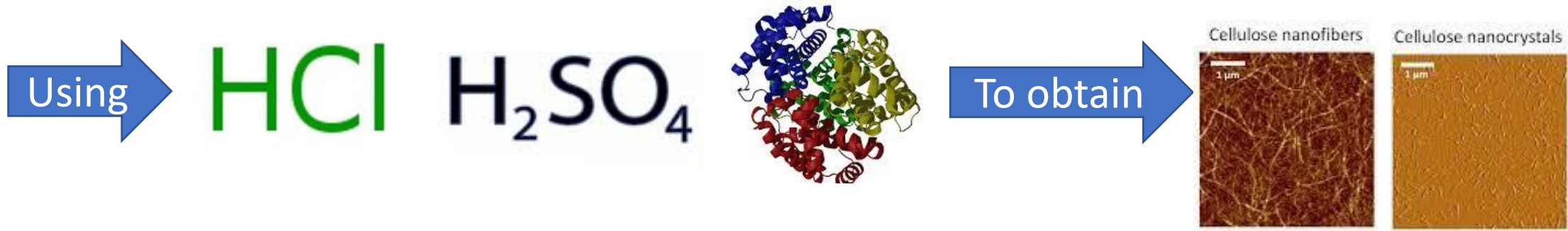


Selianitis, D., Efthymiou, M. N., Tsouko, E., Papagiannopoulos, A., Koutinas, A., & Pispas, S. (2022). Nanocellulose Production from Different Sources and Their Self-Assembly in Composite Materials. In *Handbook of Nanocelluloses*, Cham: Springer International Publishing.

Bacterial cellulose production using various renewable resources

Renewable resources	Bacterial Strain	BC production (g/L)	Productivity (g/L/d)
Grape bagasse	<i>G. xylinus</i> NRRL 42	8.0	0.57
Wheat straw hydrolysate	<i>G. xylinus</i> ATCC	10.6	1.51
Waste beer yeast hydrolysate	<i>G.hansenii</i> CGMCC	7.02	0.70
Flour-rich waste hydrolysate	<i>K. sucrofermentans</i>	13.0	0.87
Crude glycerol, sunflower meal hydrolysate	DSM 15973	13.3	0.89
Molasses	<i>G. intermedius</i>	12.6	1.8
Corn stalk hydrolysate	<i>A. xylinus</i> ATCC 23767	2.9	0.41
Saccharified food wastes		18.0	3.6
Citrus juices	<i>K. sucrofermentans</i>	6.1-6.7	0.55-0.61
Citrus peel extracts	DSM 15973	2.9-5.2	0.26-0.47

Ex-situ modification of bacterial cellulose



Targeted applications in domains of nanoparticle science

Size distribution

aspect ratios

thermal stability

Crystallite sizes

fibrillar orientation

dispersion capacity

mechanical properties



Ενότητα Εργασίας 1: Πειραματική Ανάπτυξη

E1.2

K. sucrofermentans



Βακτηριακές Ζυμώσεις



Ακατέργαστη
Γλυκερόλη

Παράγοντες Βελτιστοποίησης

- Λόγος άνθρακα προς άζωτο
- Χρήση παραπροϊόντων πλούσιων σε πηγές αζώτου
- Ζυμώσεις σε περιέκτες μεγάλου όγκου

E1.3

ultra turrax homogenizer

50% w/v H_2SO_4
(55 °C, 500 rpm)

bleach and oxidize
(30 wt% H_2O_2)

dialyzing membrane (3500 cutoff)



Bacterial cellulose
nanocrystals (BCNs)

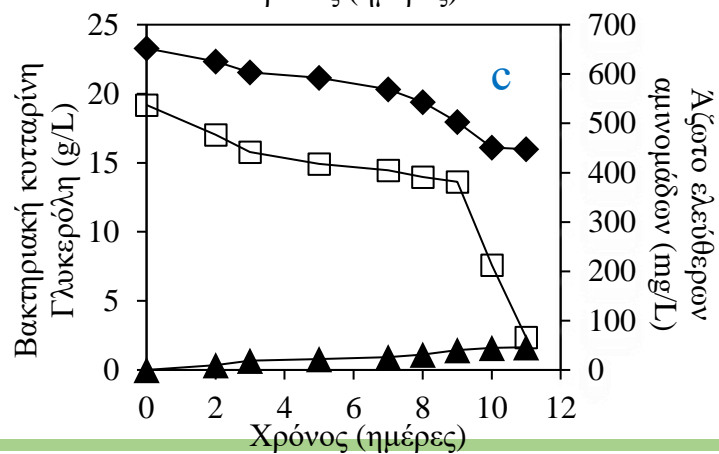
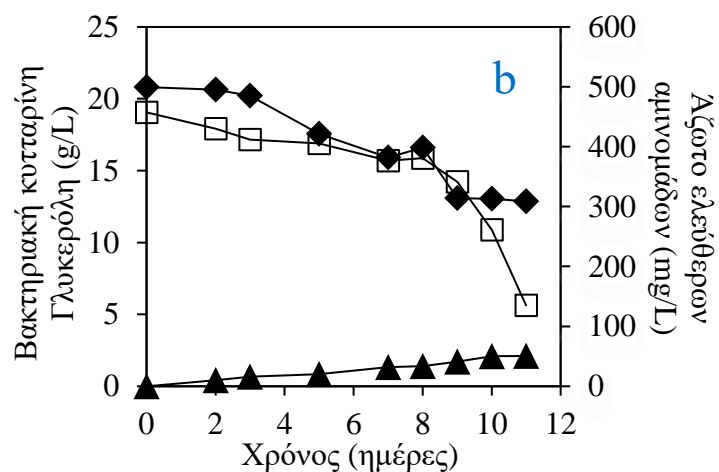
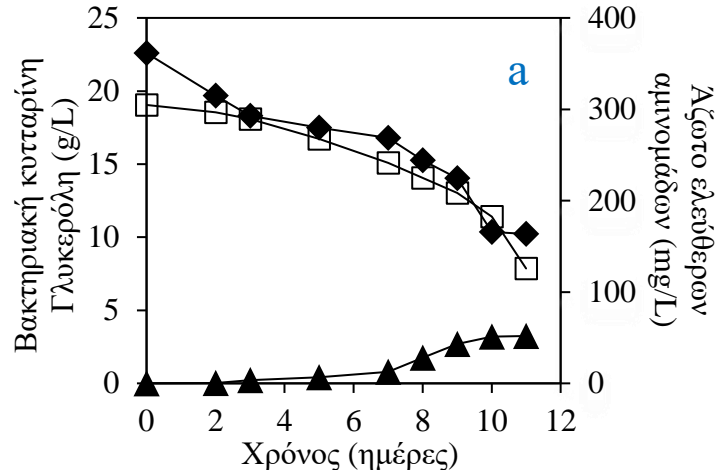
Παράγοντες Βελτιστοποίησης

- Χρόνος υδρόλυσης
- Λόγος οξέος προς BC



Πακέτο Εργασίας 1

E1.2: Παραγωγή βακτηριακής κυτταρίνης από γλυκερόλη



C/FAN	Βακτηριακή Κυτταρίνη (g/L)	Απόδοση ¹ (g/g)	Παραγωγικότητα (g/L/d)	Κατανάλωση γλυκερόλης (% w/w) ²	Κατανάλωση FAN (% w/w)
20,6	3,21	0,169	0,321	40	54,1
14,9	2,08	0,109	0,208	42,9	37,3
11,5	1,59	0,083	0,159	60,3	30,8

¹ σε ολικά σάκχαρα; ² g καταναλωθείσας γλυκερόλης / g ολικής γλυκερόλης

✓ ~200 mg/L καταναλωθέν FAN

a C/FAN: 20.6

b C/FAN: 14.9

c C/FAN: 11.5

▲ Βακτηριακή κυτταρίνη (g/L)

□ Γλυκερόλη (g/L)

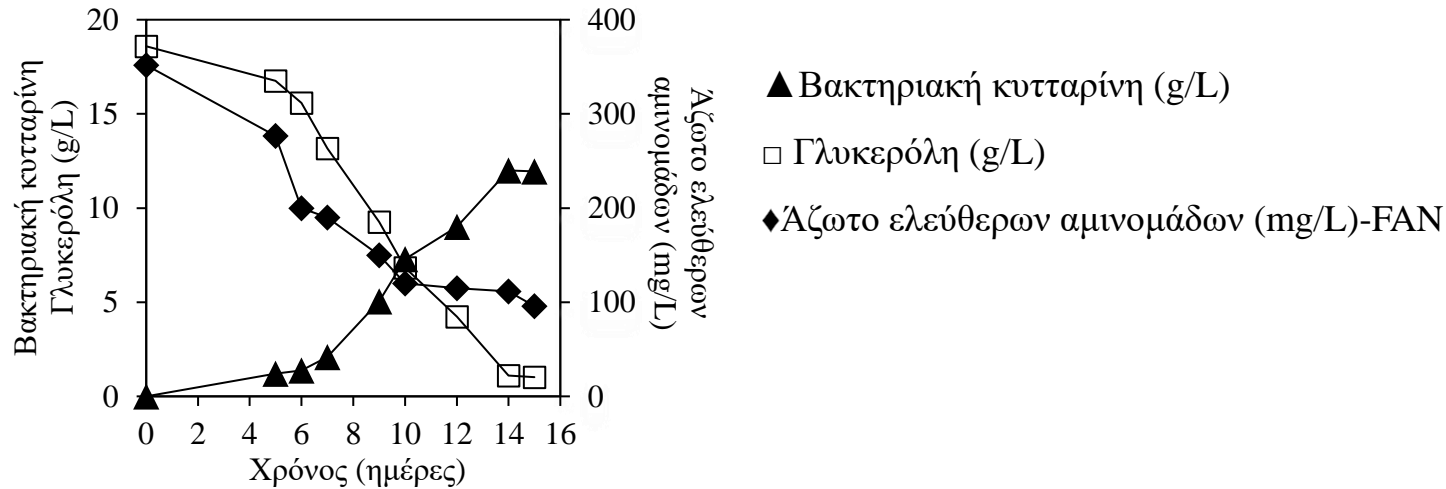
◆ Άζωτο ελεύθερων αμινομάδων (mg/L)-FAN

Πακέτο Εργασίας 1



E1.2: Παραγωγή βακτηριακής κυτταρίνης από γλυκερόλη

Υδρόλυμα ηλιάλευρων ως πηγή αζώτου με ακατέργαστη γλυκερόλη



✓ ~240 mg/L καταναλωθέν FAN



Βακτηριακές ζυμώσεις σε στατικούς περιέκτες με επιφάνεια 70×30 cm², με ενεργό όγκο 1500 mL με την χρήση ακατέργαστης γλυκερόλης και ενζυμικών υδρολυμάτων SFM.

C/FAN	Βακτηριακή Κυτταρίνη (g/L)	Απόδοση ¹ (g/g)	Παραγωγικότητα (g/L/d)	Κατανάλωση γλυκερόλης (% w/w) ²	Κατανάλωση FAN (% w/w)
20,7	12,0	0,646	0,857	94,02	68,3

¹ σε ολικό C; ² g καταναλωθείσας γλυκερόλης / g ολικής γλυκερόλης

E1.3: Παραγωγή νανοδομών κυτταρίνης και επιφανειακή τροποποίηση

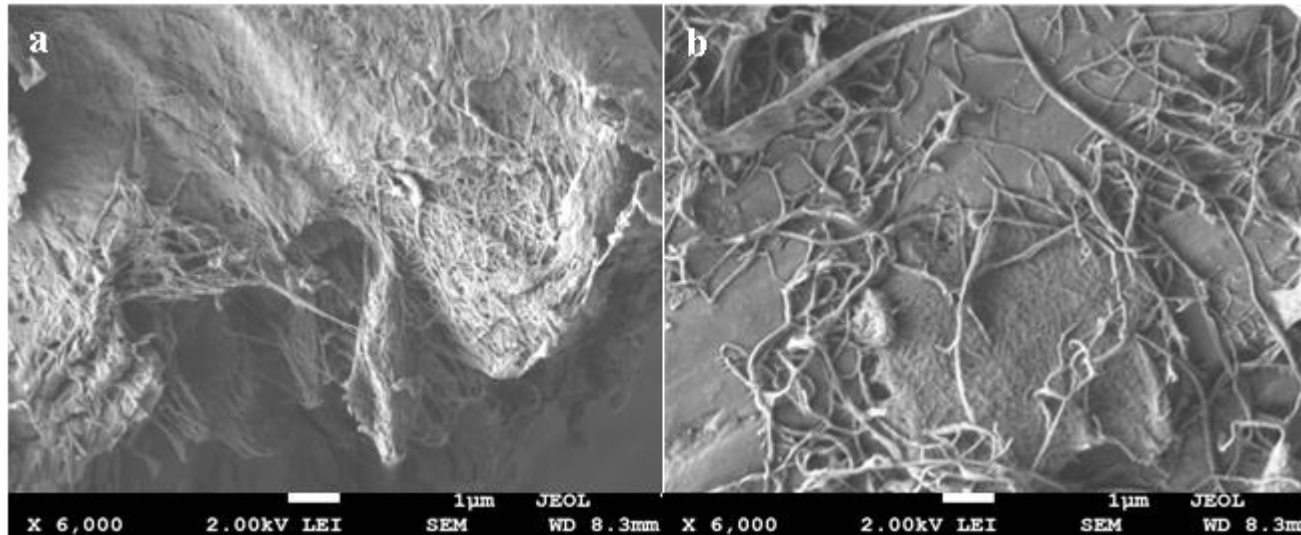
Ανάλυση ιδιοτήτων βακτηριακής κυτταρίνης και νανοκυτταρίνης

Ανάλυση μορφολογίας

Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης

Χαρακτηριστικά νανοκυτταρίνης

- Μήκος (nm): αρκετά μικρόμετρα
- Διάμετρος (nm): 45,8-73,1
- Αναλογία L/D: >13

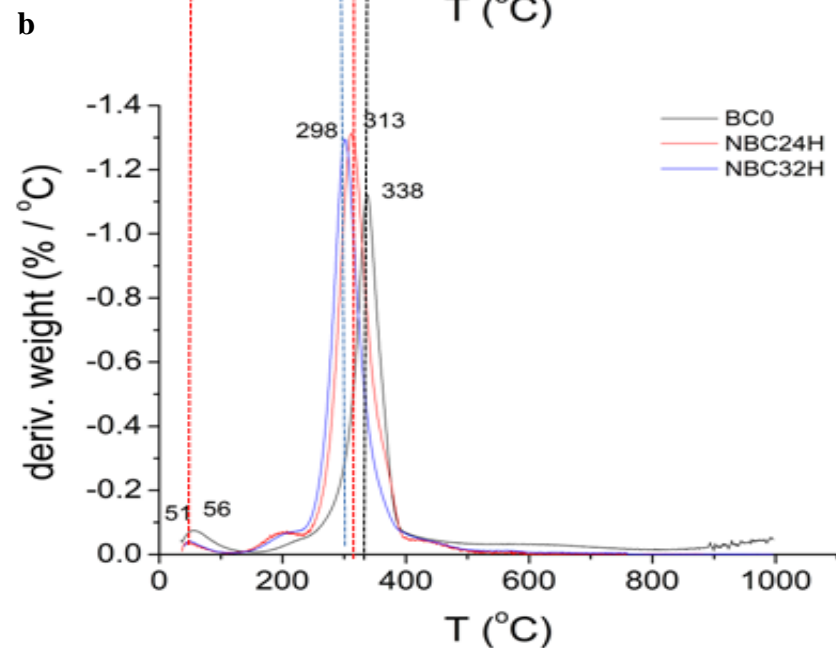
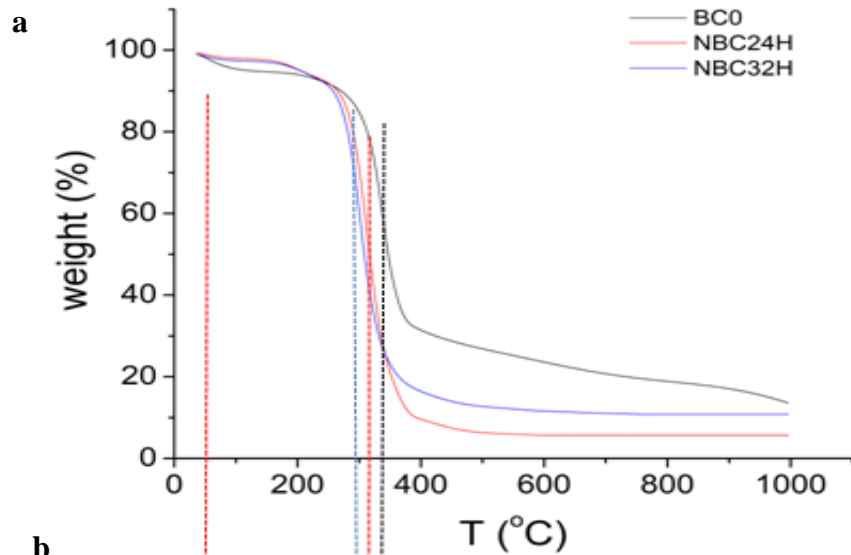


↓
Παράγοντες ενίσχυσης
σε μήτρες πολυμερών

Μικρογραφίες SEM της βακτηριακής κυτταρίνης (a) και της βακτηριακής νανοκυτταρίνης (b) που προέκυψε από κατεργασία με θειικό οξύ έπειτα από υδρόλυση 32 ωρών (όλες οι μικρογραφίες αντιστοιχούν σε 6k μεγέθυνση)

E1.3: Παραγωγή νανοδομών κυτταρίνης και επιφανειακή τροποποίηση

Ανάλυση ιδιοτήτων βακτηριακής κυτταρίνης και νανοκυτταρίνης



Θερμοσταθμική ανάλυση TGA/ Παράγωγα θερμοβαρυτικών ιχνών DTG

Μέγιστη θερμοκρασία αποσύνθεσης

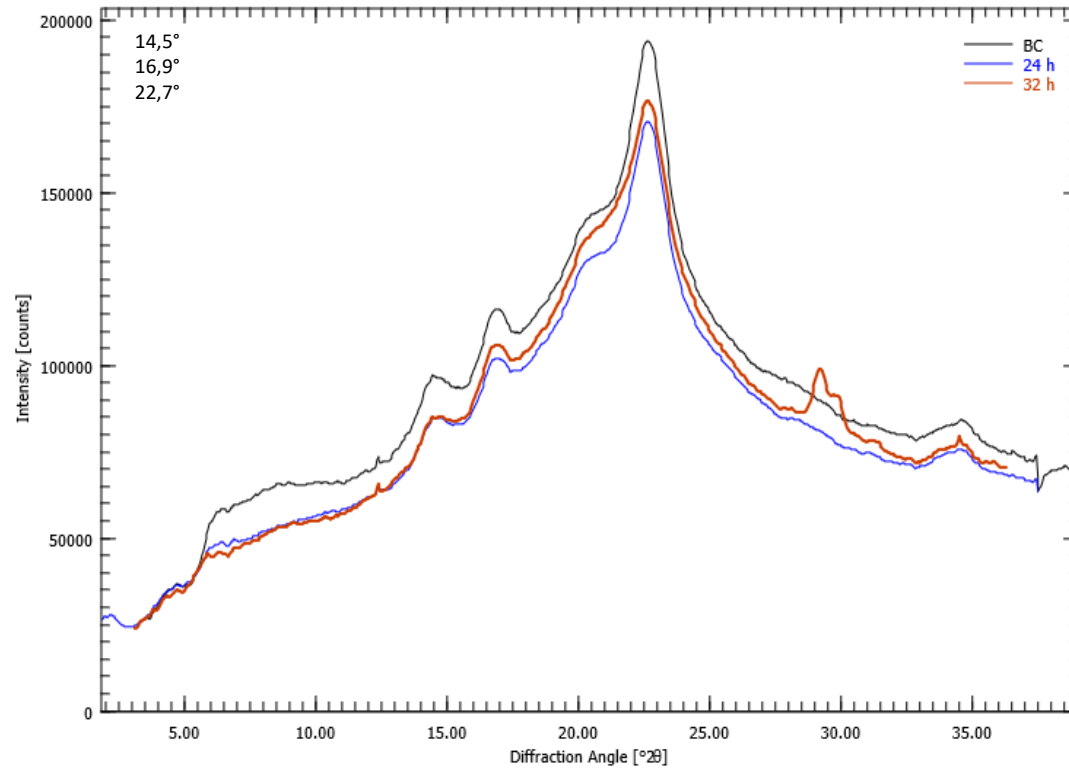
- ✓ Βακτηριακή κυτταρίνη: 338 °C
- ✓ Νανοκυτταρίνη (24 ώρες υδρόλυσης): 313 °C
- ✓ Νανοκυτταρίνη (32 ώρες υδρόλυσης): 298 °C

Θερμοσταθμική ανάλυση (TGA) (a) και παράγωγα θερμοβαρυτικών ιχνών (DTG) (b) της βακτηριακής κυτταρίνης και της βακτηριακής νανοκυτταρίνης που προέκυψε από κατεργασία με θειικό οξύ έπειτα από υδρόλυση 24 και 32 ωρών

E1.3: Παραγωγή νανοδομών κυτταρίνης και επιφανειακή τροποποίηση

Ανάλυση ιδιοτήτων βακτηριακής κυτταρίνης και νανοκυτταρίνης

Φασματοσκοπία περίθλασης ακτινών



Δείκτης κρυσταλλικότητας

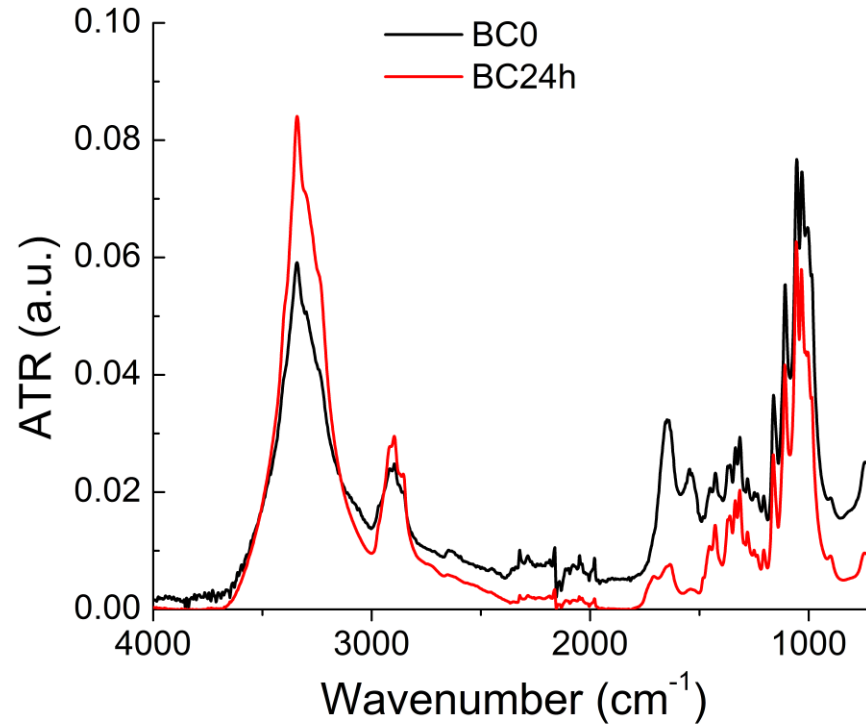
- ✓ BC: 81,8%
- ✓ BNC (24 ώρες υδρόλυσης): 90,1%
- ✓ BNC (32 ώρες υδρόλυσης): 91,7%

Φασματοσκοπία περίθλασης ακτινών-X (XRD) της βακτηριακής κυτταρίνης και της βακτηριακής νανοκυτταρίνης που προέκυψε από κατεργασία με θειικό οξύ έπειτα από υδρόλυση 24 και 32 ωρών

BC: Βακτηριακή κυτταρίνη
BNC: Βακτηριακή νανοκυτταρίνη

Ε1.3: Παραγωγή νανοδομών κυτταρίνης και επιφανειακή τροποποίηση Ανάλυση ιδιοτήτων βακτηριακής κυτταρίνης και νανοκυτταρίνης

Φασματοσκοπία υπέρυθρου μετασχηματισμού Fourier



- ✓ Οι κορυφές 744 cm⁻¹ και 3340 cm⁻¹ υπέδειξαν την παρουσία των δύο αλλόμορφων I_α και I_β

FT-IR ανάλυση της βακτηριακής κυτταρίνης και της βακτηριακής νανοκυτταρίνης που προέκυψε από κατεργασία με θειικό οξύ έπειτα από υδρόλυση 24 ωρών

E1.3: Παραγωγή νανοδομών κυτταρίνης και επιφανειακή τροποποίηση

Ανάλυση ιδιοτήτων βακτηριακής κυτταρίνης και νανοκυτταρίνης

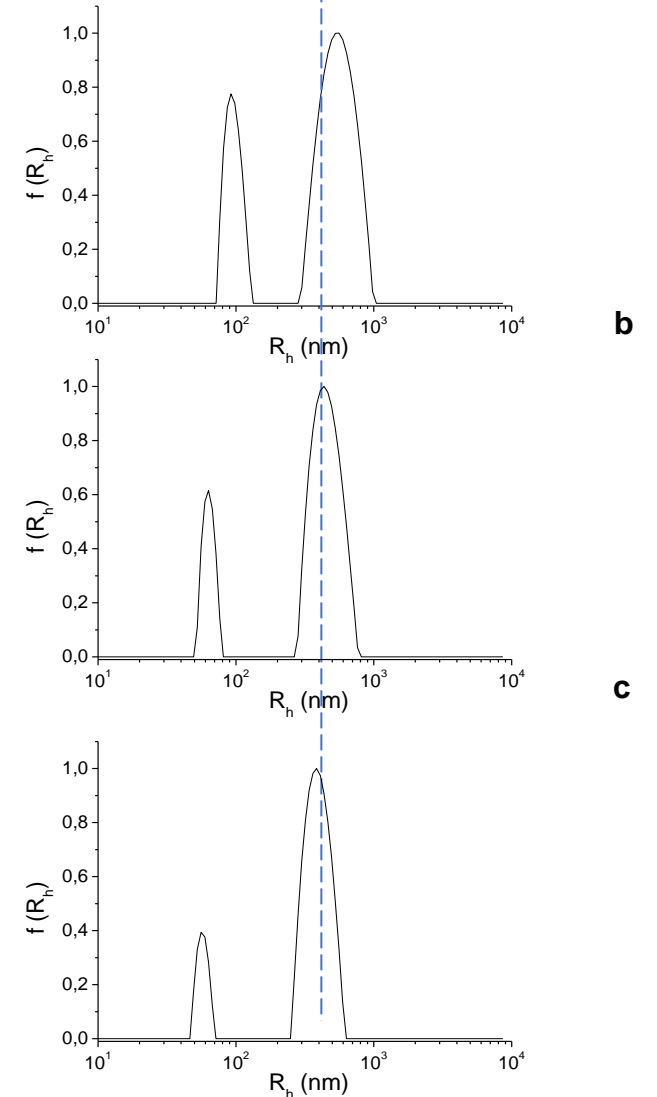
Ανάλυση του δυναμικού επιφανείας

	Δυναμικό επιφανείας (mV)
BC	-19,1
BNC (24h)	-27,6
BNC (32h)	-27,8

Ώρες υδρόλυσης	R_h (nm)	
3	92,1	559,7
24	63,3	435,6
32	55,9	384,6

Κατανομή μεγέθους δειγμάτων νανοκυτταρίνης (ανάλυση CONTIN μέσω DLS) ύστερα από υδρόλυση με H_2SO_4 για 3 (a), 24 (b) and 32 (c) ώρες.

Δυναμική σκέδαση φωτός



E1.3: Παραγωγή νανοδομών κυτταρίνης και επιφανειακή τροποποίηση

Ανάλυση ιδιοτήτων βακτηριακής κυτταρίνης και νανοκυτταρίνης

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

	Συνθήκες υδρόλυσης	Δείκτης κρυσταλλικότητας (%)	Θερμοκρασία αποσύνθεσης (°C)	Δυναμικό επιφανείας (mV)	Βιβλιογραφία
BC	50% H ₂ SO ₄ (w/w), 3h, 500 rpm	75,1	305	-26,5	Yan et al., 2017
BNC		89,6	350	-34,8	
BC	50% H ₂ SO ₄ (w/w), 1 h, 500 rpm	79	335		Vasconcelos et al., 2017
BNC		91	223	-33,6	
BC		79	315,8		Andritsou et al., 2018
BC	50% H ₂ SO ₄ (w/v), 24 h, 500 rpm	81,8	338	-19,1	Παρούσα μελέτη
BNC		90,1	313	-27,6	
BNC		50% H ₂ SO ₄ (w/v), 32 h, 500 rpm	91,7	298	

BC: Βακτηριακή κυτταρίνη BNC: Βακτηριακή νανοκυτταρίνη



Πακέτο Εργασίας 4: Αντικείμενο - Διάρκεια

Τεχνοοικονομική αξιολόγηση και ανάλυση κύκλου ζωής (LCA)

Ενέργειες		Διάρκεια (μήνες)
E4.1	Τεχνοοικονομική ανάλυση διεργασιών και εμπορική αξιοποίηση των νέων προϊόντων	30-36
E4.2	Εκτίμηση Κύκλου Ζωής (LCA) των παραγόμενων νέων προϊόντων	30-36

	1 ^ο Έτος												2 ^ο Έτος												3 ^ο Έτος																												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36																	
E1.1	Κλασμάτωση και εκλεκτική παραλαβή κυτταρίνης από λιγνοκυτταρινούχες πρώτες ύλες																																																				
E1.2	Παραγωγή βακτηριακής κυτταρίνης από γλυκερόλη																																																				
E1.3						Παραγωγή νανοδομών κυτταρίνης και επιφανειακή τροποποίησή της																																															
E4.1																																																	Τεχνοοικονομική ανάλυση διεργασιών και εμπορική αξιοποίηση των νέων προϊόντων				
E4.2																																															Εκτίμηση Κύκλου Ζωής (LCA) των παραγόμενων νέων προϊόντων						

Ευχαριστίες

Η εργασία υλοποιείται στο πλαίσιο της Δράσης «Ειδικές Δράσεις «Υδατοκαλλιέργειες» - «Βιομηχανικά Υλικά» - «Ανοιχτή Καινοτομία στον Πολιτισμό» που συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης (ΕΤΠΑ) της Ευρωπαϊκής Ένωσης και εθνικούς πόρους μέσω του Ε.Π. Ανταγωνιστικότητα, Επιχειρηματικότητα & Καινοτομία (ΕΠΑνΕΚ 2014-2020) (κωδικός έργου: Τ6ΥΒΠ-00341)



Acknowledgements

The project is implemented under the «Special Actions "Aquaculture" - "Industrial Materials" - "Open Innovation In Culture“» which are co-financed by the European Regional Development Fund of the European Union and Greek national funds through the Operational Program Competitiveness, Entrepreneurship and Innovation (EPAneK 2014-2020) (project code: Τ6ΥΒΠ-00341)



Co-financed by Greece and the European Union