



**Εθνικό Μετσόβιο  
Πολυτεχνείο**  
**ΣΧΟΛΗ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
Τομέας Ι – Τομέας Χημικών Επιστημών

Διπλωματική Εργασία

«Αξιοποίηση βρεφικών πανών προς  
παραγωγή δευτερογενών προϊόντων»

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια: Κωνσταντίνα Κόλλια

Αθήνα, Ιούνιος, 2024



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στη Μονάδα Περιβαλλοντικής Επιστήμης Τεχνολογίας της Σχολής Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, υπό την επίβλεψη της κα Κωνσταντίνας Κόλλια, καθηγήτριας του Ε.Μ.Π.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κα Κόλλια για την εμπιστοσύνη της στο να αναλάβω ένα τόσο σημαντικό και ενδιαφέρον θέμα. Η ενασχόλησή μου με αυτή την εργασία αποτέλεσε μεγάλη ευκαιρία να διευρύνω τις γνώσεις μου πάνω στα περιβαλλοντικά ζητήματα που έρχεται αντιμέτωπος ένας σύγχρονος χημικός μηχανικός.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Βαρβάρα Καραμπλιά, μέλος του προσωπικού του εργαστηρίου, για την πολύτιμη βοήθειά της, την επιστημονική υποστήριξη, την καθοδήγηση και τις γνώσεις που μου παρείχε σε οποιαδήποτε απορία μου για την εκπόνηση της εργασίας μου. Η Βαρβάρα έγινε ο μέντοράς μου τόσο για την διπλωματική εργασία όσο και για την μελλοντική επαγγελματική και προσωπική μου εξέλιξη.

Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τις Έλλη - Μαρία Μπαραμπούτη, και Σοφία Μάη, ΕΔΙΠ του Ε.Μ.Π. για τη σημαντική βοήθεια και τις χρήσιμες συμβουλές τους σε πολύ κομβικά σημεία της διπλωματικής μου εργασίας, καθώς και όλα τα υπόλοιπα μέλη του Εργαστηρίου για την άριστη συνεργασία μας σε καθημερινό επίπεδο που ήταν εκεί τόσο σαν συνεργάτες, όσο και σαν φίλοι.

Τέλος, δεν είναι δυνατόν να μην αναφέρω την ευγνωμοσύνη που νιώθω για την οικογένειά μου, τους φίλους μου αλλά και τους συμφοιτητές μου για την έμμεση αλλά ταυτόχρονα έμπρακτη βοήθειά τους, κατά την διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας αλλά και για όλα τα προηγούμενα χρόνια των σπουδών μου.

Είμαι αισιόδοξη πως αυτή η διπλωματική εργασία μαζί με την έρευνα που έχει προηγηθεί και αυτή που θα πραγματοποιηθεί στο σύντομο μέλλον, θα αποτελέσουν τα πρώτα βήματα για «νέες ανακαλύψεις». Νιώθω μεγάλη τιμή που συμβάλλω με την έρευνά μου στην δημιουργία νέων τεχνολογιών που προσφέρουν στη βιωσιμότητα του πλανήτη και την καλύτερη ποιότητα ζωής των συνανθρώπων μου.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι βρεφικές πάνες μιας χρήσης ανήκουν σε μια σημαντική ομάδα προϊόντων που χρησιμοποιούνται καθ' όλη τη διάρκεια της βρεφικής ηλικίας λόγω της υψηλής αποδοτικότητας και της ευκολίας χρήσης τους. Ωστόσο, οι χρησιμοποιημένες βρεφικές πάνες αποτελούν πρόκληση στη διαχείριση, καθώς συνιστούν περίπου το 3.3% των αστικών αποβλήτων και δεν μπορούν να ανακυκλωθούν εύκολα λόγω της πολυστρωματικής και μεικτής οργανικής-ανόργανης σύνθεσής τους. Η διαχείριση των απορριμμάτων αυτών παρουσιάζει σημαντικές προκλήσεις για τη βιωσιμότητα και την περιβαλλοντική υγεία.

Η εργασία αυτή εξετάζει την επεξεργασία και αξιοποίηση των βρεφικών πάνων για την παραγωγή δευτερογενών προϊόντων, όπως είναι η ανάκτηση του υπεραπορροφητικού πολυμερούς (SAP), η παραγωγή γλυκόζης από τον κυτταρινούχο πυρήνα του βαμβακιού, και η παραγωγή βιοαιθανόλης. Ακόμα δοκιμάστηκε και η ανακλιμάκωση του πειράματος της παραγωγής γλυκόζης σε αντιδραστήρα (4L). Αρχικά, επιλέχθηκε η αιθανόλη ως κατάλληλος διαλύτης για το διαχωρισμό των στρωμάτων της πάνας. Για την παραλαβή και την ανακύκλωση του SAP έγινε προσπάθεια αφυδάτωσής με διάλυμα χλωριδίου του νατρίου (20% w/v NaCl), η πιο κατάλληλη μέθοδος όμως αποδείχθηκε η παραλαβή του μέσω διήθησης και ξήρανόσής του από τη διεργασία του διαχωρισμού.

Για την αποδέσμευση της γλυκόζης, ο κυτταρινούχος πολτός υποβλήθηκε σε προεπεξεργασία και στη συνέχεια σε ενζυμική υδρόλυση. Ειδικότερα για την προεπεξεργασία δοκιμάστηκαν τόσο το υδατόλουτρο (115min, 90°C) όσο και το αυτόκλειστο (autoclave) (30min, 121°C). Σε αυτή την μελέτη εξετάστηκαν διάφοροι διαλύτες στο στάδιο της προεπεξεργασίας (όξινο, αλκαλικός και το νερό). Τα καλύτερα αποτελέσματα έδωσε η αλκαλική προεπεξεργασία όπου εξετάστηκαν τρεις συγκεντρώσεις του διαλύτη NaOH (0,1M, 0,2M και 0,3M) με φορτίο στερεού 3% w/w. Για τον σκοπό της ενζυμικής υδρόλυσης χρησιμοποιήθηκε κυτταρινάση (cellulase) σε τρία διαφορετικά φορτία (200, 400 και 500 μL/g κυτταρίνης) σε κατάλληλες συνθήκες (48h, 50°C, 150 rpm).

Το υπόστρωμα για την παραγωγή του βιο-διαλύτη αιθανόλη ήταν η γλυκόζη που παράχθηκε στο πείραμα η οποία μετατράπηκε σε αιθανόλη με ζύμωση και προσθήκη μαγιάς *Saccharomyces cerevisiae* φορτίου 2% w/w (24h, 35°C, 150 rpm). Μετά από αρκετές δοκιμές και μετά από συλλογή δειγμάτων ανά 24h έως και τις 72h, βρέθηκε ότι η μέγιστη συγκέντρωση γλυκόζης ήταν σχεδόν 21 g/L (απόδοση σακχαροποίησης σε σχέση με τη θεωρητική 85%) μετά από 48 ώρες με προεπεξεργασία στο υδατόλουτρο, συγκέντρωση NaOH 0,3M και φορτίο ενζύμου 500 μL/g κυτταρίνης. Η μέγιστη συγκέντρωση αιθανόλης ήταν 6,25g/L (απόδοση σε

αιθανόλη 50%) με προεπεξεργασία στο autoclave, συγκέντρωση NaOH 0,2M και φορτίο ενζύμου 400  $\mu\text{L/g}$  κυτταρίνης. Από την άλλη πλευρά, η διεργασία της ανακλιμάκωσης με συνθήκες (autoclave, NaOH 0,3M, φορτίο 0,75% w/w και φορτίο ενζύμου 400  $\mu\text{L/g}$  κυτταρίνης) όπου επιλέχθηκαν λόγω της αυξημένης αποδόμησης του αποβλήτου, έδωσε μέγιστη γλυκόζη 5,67g/L (απόδοση 91%) στις 48h και αιθανόλη 0,6g/L (απόδοση 20%).

Συνολικά, από την παρούσα διπλωματική εργασία αποδείχθηκε ότι είναι τεχνικά εφικτή η αξιοποίηση βρεφικών πανών προς παραγωγή δευτερογενών προϊόντων και πιο συγκεκριμένα των πολυμερών, του SAP και της αιθανόλης από τις βρεφικές πάνες παρέχοντας μια βιώσιμη προσέγγιση στην κυκλική οικονομία, περιορίζοντας τα απόβλητα και ελαχιστοποιώντας τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αστικών αποβλήτων. Περαιτέρω διερεύνηση των λειτουργικών παραμέτρων και των χρησιμοποιούμενων υποστρωμάτων θα μπορούσε να ενισχύσει την τεχνολογική και εμπορική ετοιμότητα της βιομηχανικής παραγωγής τέτοιων διεργασιών.

## ABSTRACT

Disposable baby diapers are an essential product group used throughout infancy due to their high efficiency and ease of use. However, managing used baby diapers poses a significant challenge as they constitute approximately 3.3% of municipal waste and cannot be easily recycled due to their multilayered and mixed organic-inorganic composition. The management of these wastes presents significant challenges for sustainability and environmental health.

This thesis examines the processing and utilization of baby diapers for the production of secondary products, such as the recovery of the superabsorbent polymer (SAP), the production of glucose from the cotton cellulose core, and the production of bioethanol. The experiment for glucose production was also scaled up in a reactor (4L). Initially, ethanol was selected as the suitable solvent for the separation of diaper layers. An attempt was made to recover and recycle SAP by dehydration with sodium chloride solution (20% w/v NaCl), but the most appropriate method proved to be its recovery by filtration and drying from the separation process.

For the release of glucose, the cellulose pulp was subjected to pretreatment followed by enzymatic hydrolysis. Especially for pretreatment, both water bath (115min, 90°C) and autoclave (30min, 121°C) were tested. In this study, different solvents were tested in the pretreatment stage (acidic, alkaline and water). Alkaline pretreatment gave the best results where three concentrations of NaOH solvent (0.1M, 0.2M and 0.3M) with a solids load of 3% w/w were tested. For the purpose of enzymatic hydrolysis, cellulase was used at three different loads (200, 400 and 500  $\mu\text{L/g}$  cellulose) under appropriate conditions (48h, 50°C, 150 rpm).

The substrate for the production of ethanol bio-solvent was the glucose produced in the experiment which was converted to ethanol by fermentation and addition of *Saccharomyces cerevisiae* yeast of 2% w/w load (24h, 35°C, 150 rpm). After several trials and after collecting samples every 24h up to 72h, it was found that the maximum glucose concentration was almost 21 g/L (saccharification efficiency compared to the theoretical 85%) after 48h with pretreatment in the water bath, NaOH concentration of 0.3M and enzyme load of 500  $\mu\text{L/g}$  cellulose. The maximum ethanol concentration was 6.25 g/L (ethanol yield 50%) with pretreatment in the autoclave, NaOH concentration 0.2M and enzyme load 400  $\mu\text{L/g}$  cellulose. On the other hand, the recalcification process with conditions (autoclave, NaOH 0.3M, 0.75% w/w load and 400  $\mu\text{L/g}$  cellulose enzyme load) selected due to increased degradation of the waste, gave a maximum glucose of 5.67g/L (91% yield) at 48h and ethanol of 0.6g/L (20% yield).

Overall, this thesis demonstrated that it is technically feasible to utilize baby diapers to produce secondary products, namely polymers, SAP and ethanol from baby diapers providing a sustainable approach to the circular economy, reducing waste and minimizing the environmental impact of municipal waste. Further investigation of the functional parameters and the substrates used could enhance the technological and commercial readiness of industrial production of such processes.



## Περιεχόμενα

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>2</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>4</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>6</b>
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	<b>10</b>
<b>ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ</b> .....	<b>12</b>
<b>ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b> .....	<b>14</b>
<b>1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ</b> .....	<b>15</b>
1.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ.....	15
1.1.1 Στερεά απόβλητα.....	15
1.1.2 Υγρά Απόβλητα.....	19
1.1.3 Οργανικά απόβλητα.....	19
1.1.4 Τοξικά Απόβλητα.....	22
1.2 ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ.....	22
1.3 ΝΕΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ Ε.Ε.....	24
1.4 ΣΤΟΧΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ Ε.Ε.....	26
1.5 ΟΙ 12 ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ.....	29
<b>2. Η ΒΡΕΦΙΚΗ ΠΑΝΑΣ</b> .....	<b>31</b>
2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΠΑΝΑΣ.....	31
2.2 ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΒΡΕΦΙΚΗΣ ΠΑΝΑΣ ΜΙΑ ΧΡΗΣΗΣ.....	34
2.2.1 Σύσταση της πάνας μιας χρήσης.....	37
2.2.2 Τοξικές ενώσεις στη βρεφική πάνα.....	38
2.3 ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΝΑΣ ΜΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ.....	40
2.4 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΑΝΑΣ ΜΕΣΩ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	41
<b>3. SAP – SUPER ABSORBENT POLYMER</b> .....	<b>46</b>
3.1 Ιδιότητες και κατηγορίες SAP.....	47
3.2 Εφαρμογές SAP.....	48
3.3 Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση του SAP.....	49
<b>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b> .....	<b>51</b>
<b>ΣΚΟΠΟΣ</b> .....	<b>52</b>
<b>4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ</b> .....	<b>53</b>
4.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ.....	53
4.1.1 Προσδιορισμός υδατοδιαλυτών στερεών (WS).....	53
4.1.2 Προσδιορισμός Ελεύθερης Γλυκόζης.....	54
4.1.3 Προσδιορισμός Κυτταρίνης.....	56
4.1.3.2 Εξουδετέρωση.....	57
4.1.4 Προσδιορισμός Ημικυτταρίνης.....	58
4.1.5 Προσδιορισμός Λιγνίνης.....	60
4.1.6 Προσδιορισμός αιθανόλης.....	61
4.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΡΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ.....	62
<b>5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ</b> .....	<b>64</b>
5.1 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΠΑΝΑΣ.....	64
5.2 ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΤΟΥ SAP.....	66
5.2.1 Αφυδάτωση SAP χρησιμοποιώντας ολόκληρη την πάνα.....	66
5.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΓΛΥΚΟΖΗΣ ΑΠΟ ΤΕΜΑΧΙΣΜΕΝΗ ΠΑΝΑ.....	67
5.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΓΛΥΚΟΖΗΣ ΑΠΟ ΠΟΛΤΟ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ.....	68
5.4.1 Υδρόλυση πολτού βαμβακιού χωρίς προεπεξεργασία.....	68
5.4.2 Υδρόλυση πολτού βαμβακιού με προεπεξεργασία και προσθήκη ενζύμου.....	69
5.4 ΑΝΑΚΛΙΜΑΚΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΖΥΜΙΚΗΣ ΥΔΡΟΛΥΣΗΣ ΜΕ ΠΟΛΤΟ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ.....	71
5.5 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ.....	73
5.6 ΑΠΟΔΟΜΗΣΗ ΣΤΕΡΕΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΟΥ.....	74
<b>6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ</b> .....	<b>75</b>
6.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΠΟΛΤΟΥ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ.....	75
6.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΠΑΝΑΣ.....	75
6.2.1 Χρήση ακετόνης για τον διαχωρισμό της πάνας.....	75
6.2.2 Αποτελέσματα αιθανόλης στο διαχωρισμό της πάνας.....	76

6.2.3 Αποτελέσματα διαχωρισμού της ενυδατωμένης πάνας.....	77
6.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗΣ ΤΟΥ SAP .....	80
6.3.1 Αποτελέσματα αφυδάτωσης του SAP χρησιμοποιώντας τεμαχισμένη πάνα.....	80
6.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΛΥΚΟΖΗΣ.....	82
6.4.1 Αποτελέσματα υδρόλυσης τεμαχισμένης πάνας.....	82
6.4.2 Αποτελέσματα υδρόλυσης πολτού βαμβακιού χωρίς προεπεξεργασία.....	86
6.4.3 Αποτελέσματα υδρόλυσης πολτού βαμβακιού με προεπεξεργασία και προσθήκη ενζύμου .....	87
6.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΚΛΙΜΑΚΩΣΗΣ .....	94
6.6 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ.....	96
6.6.1 Αποτελέσματα επίδρασης της συγκέντρωσης του διαλύτη NaOH στην παραγωγή βιοαιθανόλης.....	96
6.6.4 Απόδοση ζύμωσης .....	99
6.7 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗΣ ΣΤΕΡΕΟΥ.....	100
6.8 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΒΡΕΦΙΚΗΣ ΠΑΝΑΣ.....	102
<b>7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>104</b>
<b>8. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ .....</b>	<b>105</b>
<b><i>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</i></b>	<b><i>106</i></b>

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1: Σύσταση καθαρής βρεφικής πάνας.....	37
Πίνακας 2-2: Σύσταση χρησιμοποιημένης βρεφικής πάνας από εταιρία παραγωγής.....	38
Πίνακας 5-1: Συνθήκες πειραμάτων υδρόλυσης τεμαχισμένης πάνας.....	68
Πίνακας 5-2: Συνθήκες υδρόλυσης χωρίς προεπεξεργασία. ....	68
Πίνακας 5-3: Συνθήκες πειραμάτων για την υδρόλυση με προεπεξεργασία σε υδατόλουτρο .....	69
Πίνακας 5-4: Συνθήκες πειραμάτων για την υδρόλυση με προεπεξεργασία στο autoclave ...	69
Πίνακας 5-5: Συνθήκες πειράματος με προσθήκη ενζύμου. ....	70
Πίνακας 5-6: Συνθήκες πειραμάτων για τον έλεγχο της επίδρασης της συγκέντρωσης του διαλύτη στο υδατόλουτρο .....	70
Πίνακας 5-7: Συνθήκες πειραμάτων για τον έλεγχο της επίδρασης της συγκέντρωσης του διαλύτη στο autoclave.....	70
Πίνακας 5-8: Συνθήκες πειραμάτων για τον έλεγχο της επίδρασης της συγκέντρωσης του ενζύμου .....	71
Πίνακας 5-9: Συνθήκες πειράματος ανακλιμάκωσης για την προεπεξεργασία στο autoclave. .....	71
Πίνακας 5-10: Συνθήκες πειράματος ανακλιμάκωσης για την ενζυμική υδρόλυση. ....	71
Πίνακας 5-11: Συνθήκες πειράματος παραγωγής βιοαιθανόλης.....	73
Πίνακας 6-1: Χαρακτηρισμός πολτού βαμβακιού από βρεφική πάνα μιας χρήσης.....	75
Πίνακας 6-2: Αποτελέσματα υδρολύσεων τεμαχισμένης πάνας .....	86
Πίνακας 6-3: Αποτελέσματα παραγωγής γλυκόζης από τον πολτό βαμβακιού χωρίς επεξεργασία .....	86
Πίνακας 6-4: Αποτελέσματα πειράματος χωρίς προσθήκη ενζύμου αφού έχει προηγηθεί προεπεξεργασία με υδατόλουτρο και autoclave. ....	87
Πίνακας 6-5: Αποτελέσματα πειράματος χρόνου δράσης ενζύμου αφού έχει προηγηθεί προεπεξεργασία με υδατόλουτρο και autoclave .....	88
Πίνακας 6-6: Μέγιστες αποδόσεις πειραμάτων επίδρασης χρόνου ενζύμου κυτταρινάσης και διαλύτη.....	90
Πίνακας 6-7: Αποτελέσματα πειράματος χωρίς προσθήκης ενζύμου αφού έχει προηγηθεί προεπεξεργασία με υδατόλουτρο και autoclave με διαφορετικές συγκεντρώσεις NaOH.....	90
Πίνακας 6-8: Αποτελέσματα πειράματος επίδρασης συγκέντρωσης NaOH με προεπεξεργασία σε υδατόλουτρο και autoclave. ....	91
Πίνακας 6-9: Μέγιστες αποδόσεις πειραμάτων επίδρασης της συγκέντρωσης του διαλύτη. .	92
Πίνακας 6-10: Αποτελέσματα πειράματος χωρίς προσθήκης ενζύμου αφού έχει προηγηθεί προεπεξεργασία με υδατόλουτρο και autoclave με NaOH.....	92
Πίνακας 6-11: Αποτελέσματα πειραμάτων γλυκόζης μετά τη προσθήκη διαφόρων φορτίων ενζύμου. ....	93
Πίνακας 6-12: Μέγιστες αποδόσεις πειραμάτων επίδρασης φορτίου του ενζύμου .....	94
Πίνακας 6-13: Αποτελέσματα ανακλιμάκωσης μετά την προεπεξεργασία και πριν την προσθήκη ενζύμου. ....	94
Πίνακας 6-14: Αποτελέσματα ανακλιμάκωσης για 24h και 48h ενζυμικής υδρόλυσης.....	95
Πίνακας 6-15: Αποτελέσματα πειράματος επίδρασης συγκέντρωσης NaOH στην παραγωγή αιθανόλης με προεπεξεργασία στο υδατόλουτρο και στο autoclave. ....	96
Πίνακας 6-16: Μέγιστες αποδόσεις αιθανόλης πειραμάτων επίδρασης της συγκέντρωσης του NaOH. ....	97
Πίνακας 6-17: Αποτελέσματα πειράματος επίδρασης φορτίου κυτταρινάσης στην παραγωγή αιθανόλης με προεπεξεργασία στο υδατόλουτρο και στο autoclave. ....	97

Πίνακας 6-18:Αποδόσεις πειραμάτων επίδρασης φορτίου κυτταρινάσης στην παραγωγή αιθανόλης με προεπεξεργασία στο υδατόλουτρο και στο autoclave. ....	98
Πίνακας 6-19: Μέγιστες αποδόσεις πειραμάτων επίδρασης φορτίου κυτταρινάσης στην παραγωγή αιθανόλης με προεπεξεργασία στο υδατόλουτρο και στο autoclave. ....	98
Πίνακας 6-20:Αποτελέσματα παραγωγής βιοαιθανόλης στο πείραμα της ανακλιμάκωσης. ..	99
Πίνακας 6-21: Αποδόσεις πειραμάτων επίδρασης φορτίου κυτταρινάσης στην παραγωγή αιθανόλης με προεπεξεργασία στο υδατόλουτρο και στο autoclave. ....	99
Πίνακας 6-22: Αποτελέσματα αποδόμησης πολτού βαμβακιού (%) με προεπεξεργασία στο υδατόλουτρο και στο autoclave. ....	100
Πίνακας 6-23: Μέγιστες αποδόσεις πειραμάτων της αποδόμησης στερεού .....	101
Πίνακας 6-24: Αποτελέσματα πειραμάτων ανακλιμάκωσης για την αποδόμηση αποβλήτου .....	101

## ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1-1: Σύνθεση και κατηγοριοποίηση των δημοτικών αστικών αποβλήτων που παρήγαγαν οι ΗΠΑ το 2013. ....	17
Σχήμα 1-2: Πρωτογενής παραγωγή πλαστικού ανά βιομηχανικό τομέα, 2015.....	18
Σχήμα 1-3: Οργανικά απόβλητα από νοικοκυριά.....	20
Σχήμα 1-4: Αερόβια και αναερόβια χώνευση οργανικών αποβλήτων. ....	21
Σχήμα 1-5: Τρόπος Λειτουργίας της Κυκλικής Οικονομίας.....	24
Σχήμα 1-6: Ποσοστά ανακύκλωσης στην Ε.Ε ανάλογα με τον τύπο ροής των αποβλήτων. ...	25
Σχήμα 1-7: Εκτιμώμενη απώλεια ευημερίας ως ποσοστό του ΑΕΠ μετά από αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης κατά 1.5 , 2 και 3°C .....	29
Σχήμα 2-1: Σχηματική απεικόνιση των διαφόρων στρωμάτων της πάνας μιας χρήσης [27]..	34
Σχήμα 2-2: Στρωματική ανάλυση βρεφικής πάνας μιας χρήσης.....	35
Σχήμα 2-3: Σύσταση πάνας από το 1987 έως και το 2021. ....	36
Σχήμα 2-4: Η μεταβολή του βάρους μιας πάνας από το 1987 έως και το 2021. ....	36
Σχήμα 2-5: Σύσταση βρεφικής πάνας.....	37
Σχήμα 2-6: Διάγραμμα ροής πιλοτικής κλίμακας στη Κορέα για τον διαχωρισμό και την διαχείριση της πάνας μιας χρήσης .....	41
Σχήμα 2-7: Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας παραγωγής κομπόστ από πάνες μιας χρήσης.....	43
Σχήμα 2-8: Φωτογραφία από τα αποτελέσματα της πιλοτικής έρευνας (α) Κομπόστ που παράχθηκε μετά από την κατεργασία (b) Οι κόκκινοι γαιοσκώληκες από την Καλιφόρνια. .	44
Σχήμα 2-9: Χημική σύσταση του παραγόμενου κομπόστ της πιλοτικής ανάλυσης στη Βολιβία.....	45
Σχήμα 3-1: Το SAP χωρίς την παρουσία νερού (αριστερά) και το SAP διογκωμένο (δεξιά).	47
Σχήμα 3-2: Κατηγορίες SAP .....	48
Σχήμα 4-1: Ανακινούμενο υδατόλουτρο IKA KS 30001 control.....	53
Σχήμα 4-2: Φυγόκεντρος IEC CENTRA CL2.....	54
Σχήμα 4-3: Φωτόμετρο Spectroquant Pharo 300 Merck. ....	55
Σχήμα 4-4: Κλίβανος αποστείρωσης ISOLAB Laborgerate GmbH Autoclave .....	57
Σχήμα 5-1: Απεικόνιση των στρωμάτων της πάνας .....	64
Σχήμα 5-2: Στεγνό κομμάτι πάνας που βυθίστηκε σε ακετόνη .....	65
Σχήμα 5-3: Στεγνή πάνα βυθισμένη σε ακετόνη .....	65
Σχήμα 5-4: Ενυδατωμένη πάνα μέσα σε διάλυμα αλατιού μετά από φυγοκέντρηση .....	67
Σχήμα 5-5: Διάταξη του πειράματος ανακλιμάκωσης.....	72
Σχήμα 5-6: Διάγραμμα ροής διεργασίας ανακλιμάκωσης.....	73
Σχήμα 6-1: Εξωτερικό στρώμα της πάνας .....	75
Σχήμα 6-2: Στρώμα της πάνας που εμπεριέχει το SAP. ....	76
Σχήμα 6-3: Στρώμα της πάνας που εμπεριέχει τον πολτό βαμβακιού.....	76
Σχήμα 6-4: Κομμάτι πάνας βυθισμένο σε αιθανόλη. ....	77
Σχήμα 6-5: Διαχωρισμένο κομμάτι πάνας μετά από την επίδραση της αιθανόλης. ....	77
Σχήμα 6-6: Ενυδατωμένη πάνα βυθισμένη στην αιθανόλη.....	78
Σχήμα 6-7: Υπολειπόμενο SAP στο διάλυμα της ακετόνης και του νερού.....	78
Σχήμα 6-8: Διαχωρισμένα στρώματα της ενυδατωμένης πάνας από την αιθανόλη .....	78
Σχήμα 6-9: Ενυδατωμένη πάνα βυθισμένη στην αιθανόλη.....	79
Σχήμα 6-10: Διαχωρισμένα στρώματα της ενυδατωμένης πάνας από την αιθανόλη.....	79
Σχήμα 6-11: Ανακτημένο SAP από τα διαλύματα της αιθανόλης και της ακετόνης μετά από διήθηση. ....	80
Σχήμα 6-12: Φυγοκέντρηση τεμαχισμένης πάνας με προσθήκη 20% w/v NaCl .....	81

Σχήμα 6-13: Φυγοκέντρωση τεμαχισμένης πάνας χωρίς την προσθήκη NaCl.....	81
Σχήμα 6-14: Κοσκίνισμα των στερεών που βρίσκονταν στο κάτω μέρος .....	81
Σχήμα 6-15: Όξινο διάλυμα πριν την υδρόλυση .....	82
Σχήμα 6-16: Όξινο διάλυμα μετά την υδρόλυση στους 50. ....	82
Σχήμα 6-17: Ξήρανση στους 50°C του στερεού μέρους της διήθησης του όξινου διαλύματος. .....	82
Σχήμα 6-18: Αλκαλικό διάλυμα πριν αλκαλική υδρόλυση .....	83
Σχήμα 6-19: Αλκαλικό διάλυμα μετά την υδρόλυση στους 50°C.....	83
Σχήμα 6-20: Ξήρανση στους 50°C του στερεού μέρους της διήθησης του αλκαλικού διαλύματος. ....	83
Σχήμα 6-21: Ενζυμικό διάλυμα μετά την υδρόλυση στους 50.....	84
Σχήμα 6-22: Ενζυμικό διάλυμα πριν την ενζυμική υδρόλυση .....	84
Σχήμα 6-23: Ξήρανση στους 50°C του στερεού μέρους της διήθησης του ενζυμικού διαλύματος. ....	84
Σχήμα 6-24: Υδατικό διάλυμα μετά τους 50°C στο αερόλουτρο.....	85
Σχήμα 6-25: Υδατικό διάλυμα πριν την εισαγωγή στο αερόλουτρο. ....	85
Σχήμα 6-26: Ξήρανση στους 50°C του στερεού μέρους της διήθησης του υδατικού διαλύματος. ....	85
Σχήμα 6-27: Επίδραση χρόνου δράσης ενζύμου και διαλύτη στην παραγωγή γλυκόζης με χρήση υδατόλουτρου .....	88
Σχήμα 6-28: Επίδραση χρόνου δράσης ενζύμου και διαλύτη στην παραγωγή γλυκόζης με χρήση autoclave. ....	89
Σχήμα 6-29: Επίδραση χρόνου δράσης ενζύμου στην παραγωγή γλυκόζης στους δυο τρόπους προεπεξεργασίας.....	89
Σχήμα 6-30: Επίδραση συγκέντρωσης του διαλύτη NaOH στην παραγωγή γλυκόζης με δύο μεθόδους προεπεξεργασίας.....	91
Σχήμα 6-31: Επίδραση συγκέντρωσης του διαλύτη NaOH καθώς και του φορτίου του ενζύμου στην παραγωγή γλυκόζης με δυο τρόπους προεπεξεργασίας υδατόλουτρου/autoclave. ....	93
Σχήμα 6-32: Σχηματική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων της ανακλιμάκωσης στην αποδέσμευση της γλυκόζης. ....	95
Σχήμα 6-33: Διάγραμμα ροής της αξιοποίησης της βρεφικής πάνας μιας χρήσης .....	102

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

# 1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΑΠΟΒΛΗΤΑ

## 1.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ

### 1.1.1 Στερεά απόβλητα

*“Τα στερεά απόβλητα αναφέρονται σε κάθε είδους σκουπίδια, απορρίμματα ή απορριπτόμενα υλικά και μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ανάλογα με το πού παράγονται τα απόβλητα [1].”*

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει μια πιο εκτενή αναφορά για την ειδική κατηγορία των στερεών αποβλήτων, μιας και η πάνα εντάσσεται σε αυτή την κατηγορία. Τα απόβλητα αυτά, χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: **(1)** βασιζόμενα στα υλικά από τα οποία αποτελούνται, **(2)** βασιζόμενα στην προέλευση τους. Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται στα ραδιενεργά, τοξικά, βιολογικά, εύφλεκτα και εκρηκτικά. Ενώ στη δεύτερη κατηγορία, μοιράζονται σε βιομηχανικά και σε αστικά απόβλητα.

Η διάθεση των στερεών αποβλήτων είναι ένα διαδεδομένο πρόβλημα τόσο στις αστικές όσο και στις αγροτικές περιοχές σε πολλές ανεπτυγμένες και αναπτυσσόμενες χώρες. Η συλλογή και διάθεση των αστικών στερεών αποβλήτων (ΑΣΑ) είναι ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα του αστικού περιβάλλοντος στις περισσότερες χώρες παγκοσμίως σήμερα. Οι λύσεις διαχείρισης ΑΣΑ πρέπει να είναι οικονομικά βιώσιμες, τεχνικά εφικτές, κοινωνικά, νομικά αποδεκτές και φιλικές προς το περιβάλλον.

Η αξιοποίηση των οργανικών απορριμμάτων τροφίμων είναι ένας από τους σημαντικούς τρέχοντες τομείς έρευνας. Η συμβατική υγειονομική ταφή, η αποτέφρωση, η κομποστοποίηση και οι τρόποι χειρισμού στερεών αποβλήτων είναι κοινές ως ώριμες τεχνολογίες για τη διάθεση των απορριμμάτων. Παραδοσιακά, οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες για την επεξεργασία και την αξιοποίηση του οργανικού κλάσματος των ΑΣΑ είναι η κομποστοποίηση και η αναερόβια χώνευση (AD).

Η οδηγία για τα απόβλητα 2008/98/EK, όπως τροποποιήθηκε και ισχύει από την Οδηγία 2018/851/EK, αναφέρεται στις γενικές απαιτήσεις για την διαχείριση των αποβλήτων, όπως είναι η προστασία της ανθρώπινης υγείας και του περιβάλλοντος κατά την επεξεργασία αποβλήτων και η ανακύκλωση. Η Οδηγία ορίζει ως «απόβλητο»: «κάθε ουσία ή αντικείμενο, το οποίο ο κάτοχός του απορρίπτει ή προτίθεται ή υποχρεούται να απορρίψει και περιέχει ειδικά στοιχεία σχετικά με τα βιολογικά απόβλητα». Ενσωματώνει την έννοια «υποπροϊόν» και εισάγει τη διάκριση μεταξύ αποβλήτων και μη αποβλήτων διευκρινίζοντας, ότι μια ουσία ή αντικείμενο που αναγράφεται στον ΕΚΑ (2000/532/EK) δεν συνιστά οπωσδήποτε απόβλητο, παρά μόνο εάν πληροί τα κριτήρια του ορισμού αποβλήτων [2].

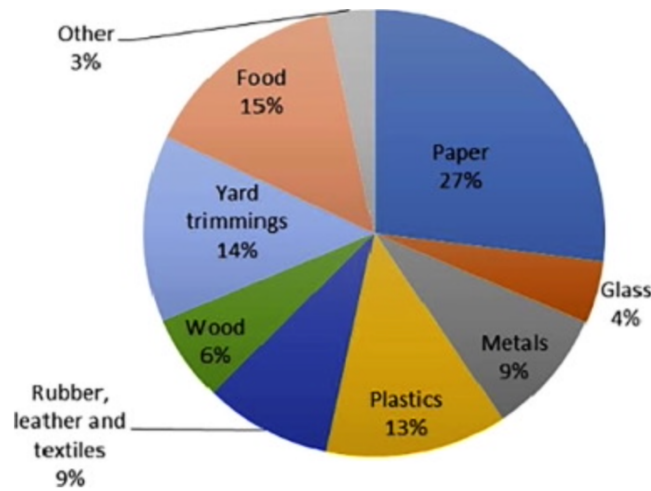


### *Αστικά στερεά απόβλητα*

Τα αστικά στερεά απόβλητα χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες τα κοινοτικά και τα οικιακά. Στη κατηγορία των κοινοτικών αποβλήτων περιέχονται τα απορρίμματα τα οποία συλλέγονται μέσω του δήμου. Αναφέρεται στα κανονικά, μη επικίνδυνα σκουπίδια που παράγονται σε έναν δήμο από ιδιώτες, εταιρείες και ιδρύματα (σχολεία, νοσοκομεία κλπ.) . Το χαρτί, το χαρτόνι, τα πλαστικά, το γυαλί, τα μέταλλα και τα οργανικά υλικά είναι μεταξύ των πολλών συστατικών που περιλαμβάνονται σε αυτό το ρεύμα αποβλήτων. Οι δήμοι, γενικά, είναι υπεύθυνοι για τη διαχείριση των απορριμμάτων. Πρέπει να παρέχουν ένα αποτελεσματικό και αποδοτικό σύστημα στους κατοίκους. Ωστόσο, συχνά αντιμετωπίζουν πολλά προβλήματα που υπερβαίνουν την ικανότητα της δημοτικής αρχής να διαχειριστεί τα απορρίμματα. Αυτό οφείλεται κυρίως σε οικονομικούς πόρους, έλλειψη οργάνωσης και πολυπλοκότητα.

Η σύνθεση των απορριμμάτων διαφέρει σημαντικά από δήμο σε δήμο αλλά και από μια χώρα σε μια άλλη. Αυτή η ποικιλομορφία εξαρτάται κυρίως από τον τρόπο ζωής, την οικονομική κατάσταση, τους κανονισμούς διαχείρισης αποβλήτων και τη βιομηχανική δομή της τοποθεσίας. Η ποσότητα και η σύνθεση των αστικών αποβλήτων είναι κρίσιμες για τον καθορισμό της κατάλληλης διαχείρισης αυτών των αποβλήτων. Αυτές οι πληροφορίες είναι ουσιώδεις και χρήσιμες για την εγκαταστάσεις μετατροπής αποβλήτων σε ενέργεια εντός του δήμου όπως για παράδειγμα μονάδες παραγωγής βιοαερίου κλπ. Με βάση τη θερμική αξία και τη στοιχειώδη σύνθεση των αστικών αποβλήτων, αποφασίζετε και η χρησιμότητά του ως καύσιμο. Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί υπόψη τυχόν επικίνδυνες ουσίες που εμφανίζονται στη στάχτη που προέρχονται από τη σύσταση του απορρίμματος [3].

Η ΕΡΑ εκτίμησε ότι οι Ηνωμένες Πολιτείες παρήγαγαν 254 εκατομμύρια τόνους αποβλήτων το 2013. Η σύνθεση και η κατάταξη των αποβλήτων αυτών φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 1-1.



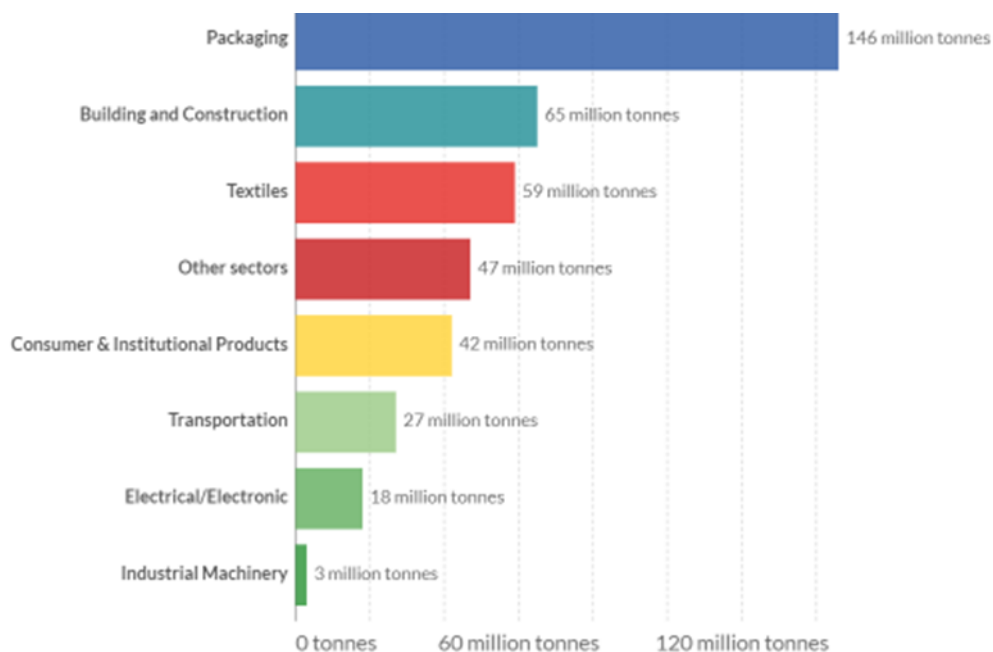
Σχήμα 1-1: Σύνθεση και κατηγοριοποίηση των δημοτικών αστικών αποβλήτων που παράγγαγαν οι ΗΠΙΑ το 2013.

Τα οικιακά απορρίμματα αποτελούν σημαντικό μέρος της ροής των αστικών στερεών αποβλήτων. Τα απόβλητα αυτά αποτελούν ένα ποικίλο μείγμα αποβλήτων, συμπεριλαμβανομένων βιοδιασπώμενων, μη βιοδιασπώμενων, επικίνδυνων, στερεών, ημι-στερεών και αδρανών υλικών. Σε αστικά κέντρα με γρήγορη αστικοποίηση όπως η Dehradun, στην Ινδία, είναι αναγκαία αποκεντρωμένα συστήματα διαχείρισης αποβλήτων προσαρμοσμένα στις τοπικές ανάγκες. Μια έρευνα που διεξάχθηκε στη Dehradun, στην Ινδία έδειξε τα παρακάτω. Η μέση ποσότητα ΟΑ στα νοικοκυριά υπολογίστηκε: 267,17g/ημέρα. Τα απορρίμματα τροφίμων ήταν το κύριο συστατικό ( $\geq 80\%$ ) των ΟΑ στην πόλη ακολουθούμενο από το πολυαιθυλένιο και πλαστικό ( $\approx 7\%$ ), χαρτί ( $\approx 6\%$ ), χαρτόνι ( $\approx 2\%$ ), γυαλί ( $\approx 1\%$ ) και άλλα διάφορα είδη (π.χ. πανιά, λάσπη, καουτσούκ, κλπ.  $\approx 4\%$ ). Η ποσότητα και η σύνθεση των ΟΑ διέφεραν σημαντικά μεταξύ των διαφόρων κοινωνικοοικονομικών ομάδων της πόλης. Με βάση τα σύνολα δεδομένων από την έρευνα, συνάγεται ότι τα ΟΑ μπορεί να είναι ένας πιθανός πόρος για την παραγωγή ενέργειας και κοπριάς εάν σχεδιαστεί κατάλληλο σύστημα διαχείρισης απορριμμάτων [4].

Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, οι χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης στρέφουν όλο και περισσότερο το ενδιαφέρον τους στην αντιμετώπιση των αστικών αποβλήτων. Αν και τα αστικά απόβλητα συντελούν το 10% των συνολικών αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση, προκαλούν σοβαρά περιβαλλοντικά και κοινωνικά προβλήματα. Η συνολική παραγωγή αστικών αποβλήτων στις χώρες Ευρωπαϊκής Ένωσης μειώθηκε κατά 3% από το 2004 μέχρι το 2014. Το 2014, η παραγωγή αστικών απορριμμάτων ανά άτομο ήταν η υψηλότερη στη Δανία και την Ελβετία και η χαμηλότερη στη Ρουμανία, την Πολωνία και τη Σερβία. Διαπιστώνεται, λοιπόν, ότι οι πλουσιότερες χώρες τείνουν να παράγουν περισσότερα αστικά

απόβλητα ανά άτομο σε σχέση με τις πιο φτωχές. Ο τουρισμός είναι ακόμη ένας παράγοντας που συμβάλλει σημαντικά σε υψηλά ποσοστά παραγωγής αστικών αποβλήτων. Στα αστικά απόβλητα συγκαταλέγονται τα οικιακά απόβλητα, εμπορικά απόβλητα, απόβλητα ιδρυμάτων, απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων και απόβλητα καθαρισμού κοινόχρηστων χώρων (για παράδειγμα υπολείμματα τροφών, ζυμώσιμα, χαρτόνια, πλαστικά, ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές).

Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η κατηγορία των πλαστικών. Πιο συγκεκριμένα, διανύεται μια εποχή, όπου η καθημερινότητα χωρίς τα πλαστικά φαντάζει σχεδόν αδύνατη. Τα πλαστικά έχουν αντικαταστήσει πλειάδα τόσο τεχνητών όσο και φυσικών υλικών, με εφαρμογές σε διάφορους, αν όχι όλους, τους τομείς της ζωής ενός μέσου πολίτη.



Σχήμα 1-2: Πρωτογενής παραγωγή πλαστικού ανά βιομηχανικό τομέα, 2015

Η συσκευασία ήταν η βασική χρήση των πρωτογενών πλαστικών, με το 42% των πλαστικών να χρησιμοποιείται για την παραγωγή συσκευασιών. Τα κτίρια, η οικοδομή και οι κατασκευές ήταν ο δεύτερος μεγαλύτερος τομέας που χρησιμοποίησε το 19% του συνόλου. Επόμενα στην κατάταξη έρχονται τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα και ακολουθούν διάφοροι άλλοι βιομηχανικοί τομείς. Η πρωτογενής παραγωγή πλαστικών δεν αντικατοπτρίζει άμεσα την παραγωγή πλαστικών, αφού αυτή επηρεάζεται από τον τύπο του πολυμερούς και τη διάρκεια ζωής του τελικού προϊόντος. Τα πολυμερή που έχουν την μεγαλύτερη παραγωγή είναι και αυτά που δεν ανακυκλώνονται [5].

### 1.1.2 Υγρά Απόβλητα

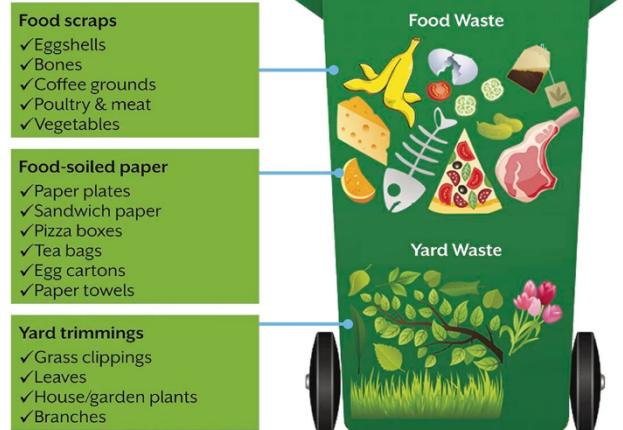
Τα υγρά απόβλητα περιλαμβάνουν τα στερεά υπολείμματα τα οποία είναι διαλυμένα σε ένα υγρό μέσο (νερό ή κάποιο οργανικό διαλύτη) και αποτελούν σήμερα μια από τις κυριότερες πηγές ρύπανσης του περιβάλλοντος. Κύριες πηγές προέλευσης των υγρών αποβλήτων είναι τα οικιακά, τα αστικά και τα βιομηχανικά απόβλητα. Γενικά οι κύριοι ρύποι των υγρών αποβλήτων είναι τα οργανικά βιοαποικοδομήσιμα υλικά, τα οργανικά μη βιοαποικοδομήσιμα υλικά, θρεπτικά υλικά, τοξικές ουσίες (π.χ. θειούχα, τα χρωμικά, τα αρσενικά άλατα, τα κυανιούχα, οι φαινόλες και τα παράγωγά τους, τα οργανοσφωρικά, το οργανικό θείο, τα αλογόνα), βαρέα μέταλλα, άλλα ανόργανα υλικά (π.χ. χλωριούχο νάτριο), παθογόνοι μικροοργανισμοί (π.χ. *Escherichia coli* κ.α). Συγκεκριμένα τα σημαντικότερα συστατικά των αστικών και βιομηχανικών υγρών αποβλήτων είναι τα αιωρούμενα στερεά, το Βιοχημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο (BOD5), το Χημικά Απαιτούμενο Οξυγόνο COD και το άζωτο.

### 1.1.3 Οργανικά απόβλητα

Τα οργανικά απόβλητα περιλαμβάνουν βιοαποδομήσιμα υλικά όπως τρόφιμα, λίπη, λάσπες και κόπρανα, προερχόμενα τόσο από νοικοκυριά όσο και από βιομηχανικές δραστηριότητες. Αυτά προέρχονται από ποικίλες πηγές, όπως φυτά, ζώα και βιομηχανικές διαδικασίες. Ένα μεγάλο ποσοστό των οργανικών αποβλήτων παραμένει αχρησιμοποίητο και καταλήγει είτε σε απόρριψη είτε σε καύση, προκαλώντας ρύπανση και απειλές για το περιβάλλον και την υγεία του ανθρώπου [6]. Σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος το 2018, η συνολική παραγωγή αστικών στερεών αποβλήτων άγγιξε τους 292,4 εκατομμύρια τόνους, με τα οργανικά απόβλητα να αντιστοιχούν στο 21,6% για τα κλαδιά και τα απορρίμματα τροφίμων, και στο 12,1% για τα υπόλοιπα. Δυστυχώς, πάνω από το 90% των οργανικών αποβλήτων απορρίπτονται άμεσα στη γη χωρίς επεξεργασία [7]. Οι βασικές κατηγορίες οργανικών αποβλήτων περιλαμβάνουν τα φυτικά υλικά όπως τα υπολείμματα καλλιεργειών και τα απορρίμματα της «φυτικής» αγοράς, τα ζωικά υπολείμματα όπως τα ούρα και τα κόπρανα, καθώς και τα βιομηχανικά και αστικά απόβλητα, που περιλαμβάνουν τα σκουπίδια των πόλεων, τα λύματα και τα απόβλητα των βιομηχανιών όπως η γαλακτοκομία και η χαρτοποιία.

# What is Organic Waste?

Organic waste is any biodegradable material from either a plant or an animal that can be broken into carbon dioxide, methane, or simple organic molecules.



Σχήμα 1-3: Οργανικά απόβλητα από νοικοκυριά

## 1.1.3.1 Διαχείριση οργανικών αποβλήτων

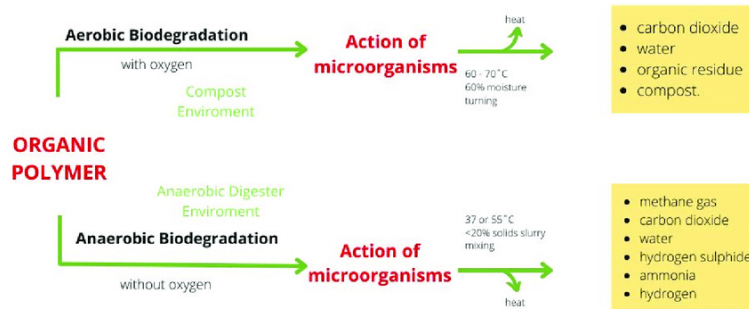
Η ανακύκλωση των οργανικών αποβλήτων έχει πολλά οφέλη, όπως η αξιοποίηση των θρεπτικών συστατικών, η διατήρηση της ενέργειας, η μείωση του κόστους των λιπασμάτων, η ελαχιστοποίηση της ρύπανσης του εδάφους και η προώθηση της βιωσιμότητας στη βιομηχανία. Η επαναχρησιμοποίηση των οργανικών αποβλήτων μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία νέων προϊόντων, συμβάλλοντας έτσι στην προώθηση της κυκλικής οικονομίας [8][9].

Η κομποστοποίηση και η αναερόβια χώνευση είναι οι δύο κύριοι τρόποι επεξεργασίας των οργανικών αποβλήτων. Η κομποστοποίηση είναι μια απλή και οικονομικά προσιτή διαδικασία, ενώ η αναερόβια χώνευση είναι πιο κατάλληλη για μεγάλες εγκαταστάσεις λόγω του υψηλότερου κόστους εγκατάστασης. Και οι δύο μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές κλίμακες. Η κομποστοποίηση παράγει κομπόστ για χρήση στην τοπική γεωργία και δασοκομία, ενώ η αναερόβια χώνευση παράγει βιοαέριο, ένα ανανεώσιμο καύσιμο.

Η κύρια διαφορά μεταξύ των δύο μεθόδων είναι η παρουσία οξυγόνου. Κατά την ταφή των οργανικών αποβλήτων σε χώρους υγειονομικής ταφής, η έλλειψη οξυγόνου οδηγεί στην παραγωγή υψηλών επιπέδων μεθανίου. Η κομποστοποίηση, αντίθετα, εκτίθεται στον οξυγόνο, παράγοντας μικρότερα επίπεδα μεθανίου και περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα [10]. Η κομποστοποίηση επίσης ενισχύει την παραγωγικότητα των καλλιεργειών και μειώνει τη χρήση

χημικών λιπασμάτων, ενώ το παραγόμενο κομπόστ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ποικίλους σκοπούς, όπως η αστική δασοκομία.

Η αναερόβια χώνευση, από την άλλη πλευρά, παράγει βιοαέριο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για θέρμανση και μαγείρεμα, και επίσης παράγει χωνεμένο υλικό που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βιολίπασμα ή συμπλήρωμα για την παραγωγή τροφίμων [11].



Σχήμα 1-4: Αερόβια και αναερόβια χώνευση οργανικών αποβλήτων.

## Μικροβιακή Ζύμωση

Η ζύμωση είναι μια πολύ γνωστή τεχνική που χρονολογείται από τους αρχαίους πολιτισμούς για την παραγωγή προϊόντων διατροφής όπως το ψωμί, το κρασί και το γάλα που έχει υποστεί ζύμωση. Ο μικροβιακός μετασχηματισμός έκανε τα προϊόντα να εκτιμηθούν ιδιαίτερα για την ευκολότερη πεπτικότητα, τη γεύση και τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τους. Σήμερα, υπάρχει μεγάλο ενδιαφέρον για τη βελτίωση των υγιεινών, διατροφικών, τεχνολογικών και οργανοληπτικών ιδιοτήτων των τροφίμων που έχουν υποστεί ζύμωση και, χάρη στην ανάπτυξη νέων καλλιεργειών εκκίνησης, είναι δυνατόν να καθοδηγηθούν μικροοργανισμοί σε διαφορετικά υποστρώματα για την παραγωγή νέων ενώσεων και νέων προϊόντων.

Η ζύμωση είναι μια διαδικασία που εκτελείται από μικροοργανισμούς, για τη διάσπαση οργανικών ενώσεων για τη λήψη ενέργειας μέσω του αναερόβιου μεταβολισμού. Αυτή η βιολογική διαδικασία χαρακτηρίζεται από χαμηλό κόστος, χαμηλή κατανάλωση ενέργειας και χαμηλή παραγωγή λυμάτων και μπορεί να αξιοποιηθεί για την επαναχρησιμοποίηση των οργανικών αποβλήτων σε προϊόντα προστιθέμενης αξίας. Οι μύκητες, οι ζυμομύκητες και τα βακτήρια αναπτύσσονται στην επιφάνεια διαφόρων οργανικών ουσιών, οι οποίες λειτουργούν ως φυσικό στήριγμα για την ανάπτυξή τους χωρίς προσθήκη νερού. Η επιλογή των καταλληλότερων μέσων και μικροοργανισμών για τη βελτιστοποίηση και τον σχεδιασμό των σταδίων επεξεργασίας, καθώς και η δυνατότητα χρήσης υποστρωμάτων χαμηλού έως μηδενικού κόστους, όπως τα απορρίμματα τροφίμων, αντιπροσωπεύουν τα κλειδιά για την επιτυχία αυτής της τεχνικής [12].

Η διαδικασία της μικροβιακής ζύμωσης, με την ανάπτυξη νέων τεχνολογιών μπορεί να βοηθήσει στην μετατροπή οργανικών αποβλήτων σε νέα χρήσιμα προϊόντα τα οποία θα χαρακτηρίζονται πράσινα, όπως βιοδιαλύτες, βιοκαύσιμα κ.α. Η μέθοδος αυτή έχει κινήσει το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών οι οποίοι αναζητούν νέους τρόπους για την αξιοποίηση των οργανικών αποβλήτων.

#### 1.1.4 Τοξικά Απόβλητα

Τα τοξικά / χημικά / βιομηχανικά απόβλητα είναι «υλικά ικανά να προκαλέσουν τραυματισμό ή ακόμα και θάνατο σε ζωντανούς οργανισμούς». [13] Τα απόβλητα αυτά μπορεί να είναι δηλητηριώδη, ραδιενεργά, εκρηκτικά, καρκινογόνα, μεταλλαξιογόνα (δηλ. προκαλούν μόνιμες βλάβες στα χρωμοσώματα), τερατογόνα (προκαλούν γενετικές ανωμαλίες) ή βίο-συσσωρευτικά. Βιομηχανικές, χημικές και βιολογικές διεργασίες είναι οι κύριοι πηγές που ευθύνονται για την προέλευση των τοξικών αποβλήτων. Είναι προτεραιότητα, λοιπόν, να υπάρχει πλάνο ώστε να επιτυγχάνεται η σωστή απόρριψη τέτοιων αποβλήτων ώστε να μην καταλήγουν στο οικοσύστημα αλλά και σε ιδιαίτερα σημαντικά περιβαλλοντολογικές περιοχές που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ανεπανόρθωτες βλάβες για τον ζωικό και τον ανθρώπινο πληθυσμό

## 1.2 ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

Παρόλο που τα αστικά απόβλητα αποτελούν το 1/10 από τους συνολικά 2.5 δις τόνους αποβλήτων που παράγονται ετησίως στην ΕΕ, είναι αρκετά ορατά και πολύπλοκα από τη φύση τους. Το 2018 η ΕΕ έθεσε νέους στόχους για την ανακύκλωση, τη συσκευασία και την υγειονομική ταφή αποβλήτων. Στόχος των νέων κανόνων είναι η προώθηση της μετάβασης προς το πιο βιώσιμο μοντέλο κυκλικής οικονομίας.

Είναι ευρέως αναγνωρισμένο ότι στην Ευρώπη, το γραμμικό μοντέλο οικονομικής ανάπτυξης που στηρίζεται στην κατανάλωση πόρων και τις εκπομπές ρύπων δεν είναι βιώσιμο καθώς χρησιμοποιεί ενέργεια σε όλες τις φάσεις της παραγωγής. Από την άλλη πλευρά, στο μοντέλο της κυκλικής οικονομίας, οι πρώτες ύλες κυκλοφορούν και μετατρέπονται από τη μία μορφή στην άλλη, με αποτέλεσμα τη μηδενική ή ελάχιστη παραγωγή αποβλήτων. Για τον λόγο αυτό, προτείνεται το οικονομικό μοντέλο της κυκλικής οικονομίας.

Πιο συγκεκριμένα, με τον όρο κυκλική οικονομία εννοείται ένα παγκόσμιο οικονομικό μοντέλο που αποσυνδέει την οικονομική ανάπτυξη από την κατανάλωση των πεπερασμένων πόρων. Αναγνωρίζεται από τα ΟΗΕ συμβάλλει στην υλοποίηση των στόχων της βιώσιμης

ανάπτυξης. Το Μάρτιο του 2020, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε ένα σχέδιο δράσης κυκλικής οικονομίας που στοχεύει στη μείωση των αποβλήτων μέσω της καλύτερης διαχείρισης πόρων.

Το συγκεκριμένο σχέδιο εγκρίθηκε τον Φεβρουάριο του 2021 από το Κοινοβούλιο ζητώντας πρόσθετα μέτρα για την επίτευξη μιας ουδέτερης ως προς τον άνθρακα, περιβαλλοντικά βιώσιμης, χωρίς τοξικές ουσίες και πλήρως κυκλικής οικονομίας έως το 2050, συμπεριλαμβανομένων αυστηρότερων κανόνων ανακύκλωσης.

Τον Μάρτιο του 2022, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή πρότεινε μέτρα για την μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία, στα πλαίσια της Πράσινης Συμφωνίας.

Τα μέτρα που προτάθηκαν συμπεριλαμβάνουν:

- την προώθηση βιώσιμων προϊόντων,
- την ενδυνάμωση των καταναλωτών για την πράσινη μετάβαση
- την αναθεώρηση του κανονισμού για τα προϊόντα του κατασκευαστικού τομέα
- και μια στρατηγική για βιώσιμη υφαντουργία.

Τα μέτρα που θεσπίζονται καλύπτουν τον πλήρη κύκλο ζωής των προϊόντων, από την παραγωγή και την κατανάλωση έως τη διαχείριση των απορριμμάτων και την αγορά δευτερογενών πρώτων υλών.

Σε μια κυκλική οικονομία, η παραγωγή απορριμμάτων ελαχιστοποιείται χάρη στον οικολογικό σχεδιασμό προϊόντων και στην βιομηχανική διαδικασία στην οποία τα υλικά κυκλοφορούν συνεχώς σε ένα “σύστημα κλειστού βρόχου”. Ως σύστημα κλειστού βρόχου καλείται το σύστημα στο οποίο η είσοδος είναι συνάρτηση της εξόδου. Ο οικολογικός σχεδιασμός προϊόντων, καθορίζει έως και το 80% των περιβαλλοντικών επιπτώσεων του κύκλου ζωής ενός προϊόντος. Κατά τον σχεδιασμό, τα προϊόντα θα γίνονται πιο ανθεκτικά, αξιόπιστα, επαναχρησιμοποιήσιμα, αναβαθμίσιμα, επισκευάσιμα, ευκολότερα στη συντήρηση, ανακαίνιση και ανακύκλωση, καθώς και αποδοτικά σε ενέργεια και πόρους. Το προϊόν θα έχει ακόμη ένα Ψηφιακό διαβατήριο, στο οποίο θα αναγράφονται όλες οι απαιτούμενες πληροφορίες ώστε ο καταναλωτής να γνωρίζει τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις των αγορών του.

### *Οφέλη κυκλικής οικονομίας*

#### 1. Οικονομικά

Μέσα στα επόμενα 15 χρόνια, αναμένεται η ζήτηση για πρώτες ύλες από την παγκόσμια οικονομία να αυξηθεί κατά 50%. Η ευρωπαϊκή επιτροπή αναφέρει πως το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας, με την προϋπόθεση ότι θα εφαρμοστεί ορθά, μπορεί να αποφέρει



καθαρή εξοικονόμηση 600 δις. ευρώ ή 8 % του ετήσιου κύκλου εργασιών για τις επιχειρήσεις στην ΕΕ, μειώνοντας παράλληλα τις συνολικές ετήσιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου κατά 2 έως 4 %.

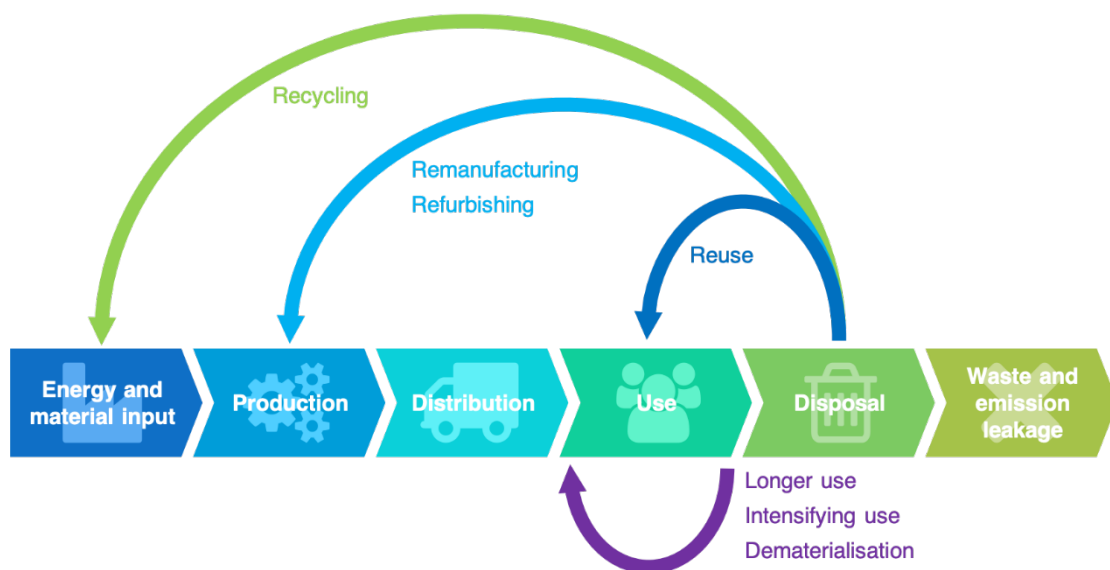
Η Inovative UK εκτιμά ότι μέχρι το 2030 η κυκλική οικονομία μπορεί να αποφέρει στην παγκόσμια οικονομία επιπλέον 2,9 τρισεκατομμύρια δολάρια.

## 2. Εργασιακά

Τα μέτρα που λαμβάνονται για την εφαρμογή της κυκλικής οικονομίας θα χρειάζονται και το ανάλογο εργατικό προσωπικό ώστε να επιτευχθούν με τον βέλτιστο τρόπο. Κατά αυτόν τον τρόπο, δημιουργούνται από 170.000 έως και 2 εκατομμύρια θέσεις εργασίας στην Ε.Ε για τους πολίτες, δίνοντας μια ανάσα στην οικονομία και στο πρόβλημα της ανεργίας.

## 3. Ενεργειακά

Εφαρμόζοντας το μοντέλο της Κυκλικής Οικονομίας , μειώνεται και το ενεργειακό αποτύπωμα, δηλαδή την ποσότητα των εκπομπών αερίων που περικλείονται στον κύκλο ζωής ενός προϊόντος [14][15].



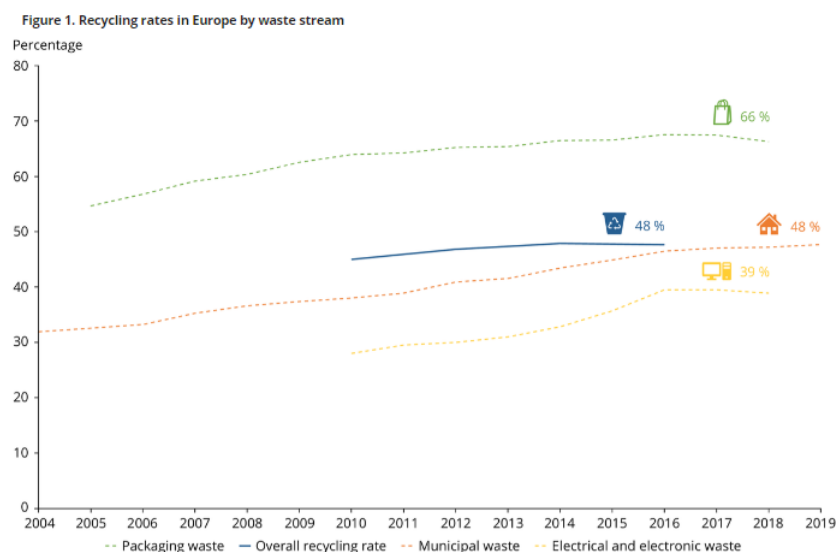
Σχήμα 1-5: Τρόπος Λειτουργίας της Κυκλικής Οικονομίας.

## 1.3 ΝΕΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ Ε.Ε.

Η μείωση των αποβλήτων, αλλά και η σωστή επεξεργασία τους κρίνονται απαραίτητες ώστε να μειωθούν οι επιπτώσεις τους στον πλανήτη. Η ΕΕ στοχεύει στην πρόληψη των αποβλήτων

και την όσο το δυνατόν συχνότερη επαναχρησιμοποίηση των προϊόντων. Η επιβλαβέστερη λύση για το περιβάλλον και την υγεία, είναι η απλή διάθεση των αποβλήτων για παράδειγμα μέσω υγειονομικής ταφής, παρ' ότι συνιστά μια από τις φθηνότερες επιλογές. Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του 2017, το 46% όλων των αστικών αποβλήτων στην ΕΕ ανακυκλώνεται ή κομποστοποιείται [16]. Ωστόσο οι πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων ποικίλλουν σημαντικά μεταξύ των κρατών μελών, ενώ αρκετές χώρες εξακολουθούν να βασίζονται σε μεγάλο βαθμό στην υγειονομική ταφή των δημοτικών τους αποβλήτων.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα γράφημα με βάση τα στατιστικά στοιχεία της ανακύκλωσης στην ΕΕ. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1-6 η ΕΕ έχει έναν μέσο όρο 48% στην γενικότερη ανακύκλωση, ποσοστό το οποίο είναι αναγκαίο να αυξηθεί με την πάροδο του χρόνου.



Σχήμα 1-6: Ποσοστά ανακύκλωσης στην Ε.Ε ανάλογα με τον τύπο ροής των αποβλήτων.

Στις 23 Φεβρουαρίου 2018, η Ευρωπαϊκή Ένωση ενέκρινε τρεις νομοθετικές προτάσεις για τα στερεά απόβλητα που αποσκοπούν στην αύξηση της ανακύκλωσης των απορριμμάτων και συμβάλουν στη δημιουργία κυκλικής οικονομίας. Στόχος αυτής της πρωτοβουλίας είναι η μείωση της παραγωγής απορριμμάτων, η καλύτερη διαχείριση των απορριμμάτων και η ενθάρρυνση των πολιτών να επαναχρησιμοποιούν τα προϊόντα σε όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Στις 18 Ιανουαρίου του 2018, η Ευρωπαϊκή Ένωση ενέκρινε την «Ευρωπαϊκή στρατηγική για τα πλαστικά στα πλαίσια κυκλικής οικονομίας». Σύμφωνα με τους νέους νόμους, όλες οι πλαστικές συσκευασίες στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης θα είναι ανακυκλώσιμες έως το 2030 και η κατανάλωση των πλαστικών μίας χρήσης και μικροπλαστικών θα ελαχιστοποιηθεί. Είναι μέγιστης σημασίας λοιπόν να βρεθεί ένας τρόπος ώστε οι πάνες μιας χρήσης να μπορέσουν να ενταχθούν σε ροή ανακύκλωσης.

Μία από τις επιτυχημένες πολιτικές της Ευρωπαϊκής Ένωσης είναι η αύξηση των ποσοστών ανακύκλωσης αστικών απορριμμάτων. Οι χώρες της Ε.Ε. πέτυχαν ποσοστό ανακύκλωσης 33% το 2014, σε σύγκριση με το 2004 που το ποσοστό δεν ξεπέρασε το 22%. Το ποσοστό υγειονομικής ταφής αστικών απορριμμάτων μειώθηκε από το 49% το 2004 στο 34% το 2014 στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Στην Αυστρία, στο Βέλγιο, στη Δανία, στη Γερμανία, στην Ολλανδία, στη Νορβηγία, στη Σουηδία και στην Ελβετία τα απόβλητα δεν αποστέλλονται καν σε χώρους υγειονομικής ταφής. Αντίθετα, στην Κύπρο, στην Κροατία, στην Ελλάδα, στη Λετονία, στη Μάλτα και στην Τουρκία εξακολουθούν να απορρίπτονται σε χώρους υγειονομικής ταφής περισσότερα από τα τρία τέταρτα των αστικών αποβλήτων. Συνολικά, τα ποσοστά υγειονομικής ταφής μειώθηκαν σε 24 από τις 27 χώρες. Μεταξύ 2004 και 2014, οι μεγαλύτερες μειώσεις σημειώθηκαν στην Εσθονία (57 ποσοστιαίες μονάδες), στη Φιλανδία (41 ποσοστιαίες μονάδες) και το Ηνωμένο Βασίλειο (41 ποσοστιαίες μονάδες) [17].

Για την πιο ρεαλιστική μέτρηση των ποσοστών ανακύκλωσης αστικών αποβλήτων στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, εφαρμόστηκε μια νέα μεθοδολογία καταμέτρησης. Τα απορρίμματα τα οποία προσμετρώνται στα στατιστικά για την ανακύκλωση είναι εκείνα τα οποία δεν έχουν επεξεργαστεί περαιτέρω πριν ανακυκλωθούν (για παράδειγμα να πολτοποιηθούν σε γυάλινο κλίβανο). Έτσι, τα στατιστικά της ανακύκλωσης δεν καθορίζονται πλέον από την ποσότητα απορριμμάτων που χρησιμοποιείται ως πρώτη ύλη για την ανακύκλωση [18].

Πιο συγκεκριμένα για τα πλαστικά, στην Ελλάδα ένα μεγάλο μέρος των πλαστικών απορριμμάτων καταλήγει στις χωματερές λόγω δυσκολιών στην συλλογή και στην διαχείριση των αποβλήτων, ενώ το 6% διαρρέει στο περιβάλλον. Η Ελλάδα παράγει περίπου 700.000 τόνους πλαστικών απορριμμάτων ετησίως ή 68 κιλά πλαστικών κατά κεφαλήν. Ο ερχομός των τουριστών στις παραθαλάσσιες περιοχές της Ελλάδας αυξάνει τα απορρίμματα έως και 26% κατά την περίοδο αιχμής. Μόνο το 8% των πλαστικών απορριμμάτων ανακυκλώνεται, εξαιτίας των χαμηλών ποσοστών διαλογής, των δυσκολιών ανάκτησης των πλαστικών από μικτά ρεύματα απορριμμάτων και των περιορισμένων υποδομών ανακύκλωσης. Αυτές οι μελέτες προτείνουν ότι είναι απαραίτητη μια διεθνή πολιτική ως προς την διαχείριση του προβλήματος της μόλυνσης του περιβάλλοντος από τα πλαστικά.

#### 1.4 ΣΤΟΧΟΙ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΑΠΟΒΛΗΤΩΝ ΣΤΗΝ Ε.Ε.

Μετά από χρόνια που η κλιματική αλλαγή και το περιβάλλον βρίσκονται στο περιθώριο της πολιτικής της ΕΕ, τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει ένα από τα πιο κρίσιμα ζητήματα στην πολιτική ατζέντα. Η επερχόμενη πρόεδρος της Ευρωπαϊκής Επιτροπής Ursula Von der Leyen

πρότεινε την «Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία» ως την πρώτη από τις πολιτικές της προτεραιότητες [19]. Η πράσινη συμφωνία πραγματεύεται ένα σύνολο πρωτοβουλιών πολιτικής από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή οι οποίες παρέχουν ένα σχέδιο δράσης για την ενίσχυση της αποτελεσματικής χρήσης των πόρων με την μετάβαση σε μια καθαρή, κυκλική οικονομία και την αποκατάσταση της βιοποικιλότητας και την μείωση της ρύπανσης. Καλύπτει όλους τους τομείς της οικονομίας, ιδίως τις μεταφορές, την ενέργεια, τη γεωργία, τα υλικά κτηρίων και βιομηχανιών όπως ο χάλυβας, το τσιμέντο, η κλωστοϋφαντουργία, τα χημικά κλπ. Πέρα από αυτό, η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία είναι ένα συνονθύλευμα αλληλεπικαλυπτόμενων πολιτικών σχεδίων – το καθένα με τους δικούς του στόχους, τις ιδιαιτερότητες, τους κινδύνους και τους παράγοντες επιτυχίας του. Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία θεωρείται επιπλέον ένα πρόγραμμα στρατηγικής για το κλίμα, με στόχο να καταστήσει την Ευρώπη μια κλιματικά ουδέτερη ήπειρο και προβάλλεται ακόμα ως ένα κοινωνικό έργο, το οποίο προσδίδει υποστήριξη και ενότητα μεταξύ των χωρών της ΕΕ. Επιπλέον έχει σκοπό και την οικονομική αναζωογόνηση των επενδύσεων και της υγιούς ανταγωνιστικότητας της ΕΕ.

Οι κύριοι στόχοι της πράσινης συμφωνίας είναι μια Ευρωπαϊκή Ένωση με ουδέτερη ολική εκπομπή άνθρακα έως το 2050 και η απόξευση της οικονομικής ανάπτυξης και της χρήσης πόρων [20]. Οι οκτώ βασικοί τομείς που συνθέτουν την Πράσινη Συμφωνία είναι οι εξής:

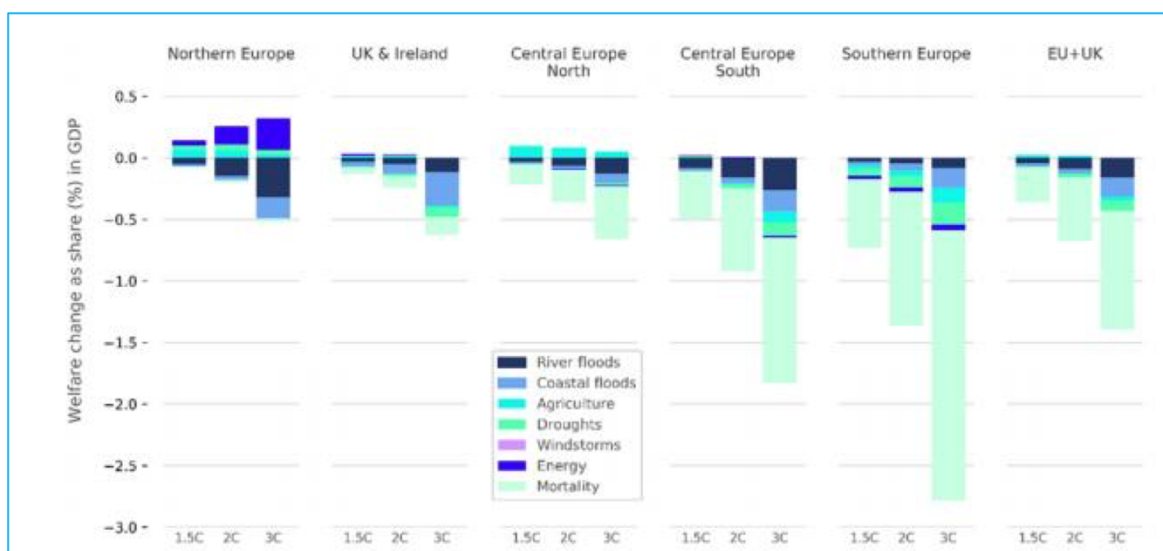
- 1) Αύξηση της περιβαλλοντολογικής φιλοδοξίας της ΕΕ για το 2030 και το 2050
- 2) Παροχή καθαρής, φθηνής και ασφαλούς ενέργειας
- 3) Κινητοποίηση των βιομηχανιών για μια καθαρή και «κυκλική οικονομία» με την ενίσχυση της αποτελεσματικής χρήσης των πόρων.
- 4) Δόμηση και ανακαίνιση με αποδοτικό τρόπο ως προς την ενέργεια και την χρήση πόρων
- 5) Φιλοδοξία μηδενικής ρύπανσης για ένα περιβάλλον χωρίς τοξικά
- 6) Διατήρηση και αποκατάσταση των οικοσυστημάτων και της βιοποικιλότητας
- 7) «Farm to Fork»: ένα δίκαιο, υγιεινό και φιλικό προς το περιβάλλον σύστημα παραγωγής τροφίμων
- 8) Στροφή προς τη βιώσιμη και έξυπνη διαμετακόμιση.

Τα 27 κράτη μέλη της ΕΕ δεσμεύτηκαν να μετατρέψουν την ΕΕ την πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρο έως το 2050. Δεσμεύτηκαν λοιπόν ως πρώτο βήμα να μειώσουν τις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα τουλάχιστον κατά 55% έως το 2030, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Αυτό θα οδηγήσει στην επίτευξη κάποιων από τους οκτώ βασικούς τομείς που συμπεριλαμβάνονται στην πράσινη συμφωνία ενώ ταυτόχρονα, θα διασφαλίσει ότι υπάρχουν

ισότιμες ευκαιρίες για όλους, παρέχοντας υποστήριξη κυρίως στους ευάλωτους πολίτες μέσω της αντιμετώπισης της ανισοτιμίας και της ενεργειακής φτώχειας [21].

Η Ευρωπαϊκή επιτροπή ενέκρινε μερικές κατευθυντήριες γραμμές για την υποστήριξη των επενδύσεων προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι της Ευρωπαϊκής Πράσινης Συμφωνίας εντός της χρονικής διορίας που έχει τεθεί. Η ενίσχυση αφορά τόσο την κινητοποίηση των βιομηχανιών για επενδύσεις σε έργα που στοχεύουν στη μείωση των αερίων του θερμοκηπίου ή της πράσινης ενέργειας (όπως ενίσχυση για μείωση και εξάλειψη των εκπομπών αερίων θερμοκηπίου, βελτίωση της ενεργειακής και περιβαλλοντικής απόδοσης των κτιρίων, απόκτηση και μίσθωση καθαρών οχημάτων) όσο και σε ενισχύσεις με τη μορφή φορολογικών μειώσεων ή εισφορών, όπως μειώσεις από περιβαλλοντικούς φόρους και εισφορές υπέρ τρίτων ή ελαφρύνσεις από εισφορές ηλεκτρικής ενέργειας που ισχύουν για καταναλωτές μεγάλων ποσών ενέργειας [22].

Μέσω της συμφωνίας αυτής επιτυγχάνεται και η επίτευξη και άλλων στόχων όπως για παράδειγμα της Συμφωνίας του Παρισιού ενώ παράλληλα συμβάλλει στην υλοποίηση της ατζέντας των Ηνωμένων Εθνών για το 2030 και των στόχων βιώσιμης ανάπτυξης. Παρόλα αυτά χρειάζεται περαιτέρω δέσμευση και από άλλες μεγάλες οικονομίες του κόσμου αφού «το επίπεδο των παγκοσμίων προσπαθειών είναι ανεπαρκές για την εκπλήρωση των παγκοσμίων κλιματικών στόχων της Συμφωνίας του Παρισιού, δηλαδή τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας κάτω από 2 βαθμούς και κατά προτίμηση κάτω από 1,5 βαθμούς κελσίου σε σχέση με τη μέση θερμοκρασία της Γης την περίοδο πριν την βιομηχανική επανάσταση». Επίσης παρουσιάστηκαν στην ΠΣ οι αναμενόμενες επιπτώσεις και κίνδυνοι οι οποίοι καταγράφονται κυρίως στην Νότια Ευρώπη και στην Μεσόγειο λόγω της αύξησης των αερίων του θερμοκηπίου. Οι κίνδυνοι αυτοί είναι οι εξής: αύξηση θερμοκρασίας η οποία θα οδηγήσει σε ακόμα περισσότερες εμφανίσεις καύσωνα, ξηρασία στην Νότια Ευρώπη και κυρίως στην Μεσόγειο ενώ το αντίθετο θα συμβεί στην Βόρεια, τέλος αύξηση κίνδυνου πυρκαγιάς [23].



Σχήμα 1-7: Εκτιμώμενη απώλεια ευημερίας ως ποσοστό του ΑΕΠ μετά απο αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης κατά 1.5 , 2 και 3°C

Όσον αφορά τα απόβλητα και την διαχείριση αυτών εκτός από την θέσπιση την κυκλικής οικονομίας έχουν συμφωνηθεί και άλλα μέτρα μεταξύ άλλων το «Farm to Fork» το οποίο έχει ως κύρια προτεραιότητα να καταστήσει τα ευρωπαϊκά συστήματα τροφίμων φιλικά προς το περιβάλλον. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει το βιώσιμο αυτό σύστημα τροφίμων να έχει ουδέτερο θετικό περιβαλλοντικό αντίκτυπο. Εστιάζει κυρίως στην μείωση απώλειας και σπατάλης τροφίμων, στη βιώσιμη δηλαδή παραγωγή αλλά και βιώσιμη επεξεργασία κάτι που συνεπάγεται και σωστή συσκευασία τρόφιμου χωρίς περιττά πλαστικά και άλλες ετικέτες οι οποίες καταλήγουν να ρυπαίνουν τον πλανήτη μας. Οι εκπομπές των αερίων του θερμοκηπίου από τον αγροτικό τομέα της ΕΕ φτάνουν το 37% γεγονός που αντικατοπτρίζει την τεράστια επίπτωση που έχει η διατροφή του πληθυσμού στον πλανήτη. Επίσης αυτό δείχνει και την αναγκαιότητα για την θέσπιση νόμων όσον αφορά την βιομηχανία τροφίμων.

### 1.5 ΟΙ 12 ΑΡΧΕΣ ΤΗΣ ΠΡΑΣΙΝΗΣ ΧΗΜΕΙΑΣ

Ο σκοπός αλλά και η πρόκληση ταυτόχρονα, είναι η δημιουργία και η εφαρμογή πράσινων προϊόντων και διεργασιών. Οι αρχές της Πράσινης Χημείας στοχεύουν στην εξασφάλιση πως το μεγαλύτερο μέρος των διεργασιών που πραγματοποιούνται για την παραγωγή ενός νέου προϊόντος είναι φιλικές προς το περιβάλλον και οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις του μειωμένες σε σχέση με το αντίστοιχο «συμβατικό» προϊόν.

Οι 12 αρχές της Πράσινης Χημείας:

1. Προτιμάται η πρόληψη των αποβλήτων από την επεξεργασία και τον καθαρισμό τους αφού παραχθούν.
2. Οι συνθετικές μέθοδοι θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ούτως ώστε να μεγιστοποιείται η ενσωμάτωση όλων των υλικών που χρησιμοποιούνται για τη διαδικασία στο τελικό προϊόν.
3. Οι μεθοδολογίες αυτές θα πρέπει, όπου είναι εφικτό, να χρησιμοποιούν και να παράγουν ουσίες που προκαλούν ελάχιστη ή και καθόλου τοξικότητα τόσο στην ανθρώπινη υγεία, όσο και στο περιβάλλον.
4. Τα χημικά προϊόντα θα πρέπει να είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρούν την αποτελεσματική λειτουργία τους με ταυτόχρονη μείωση της τοξικότητας.
5. Οι βοηθητικές ουσίες όπως οι διαλύτες θα πρέπει να κρίνονται μη απαραίτητοι και να μην χρησιμοποιούνται όπου είναι δυνατόν.
6. Οι ενεργειακές απαιτήσεις θα πρέπει να αναλογιστεί ότι έχουν και περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις και για αυτό θα πρέπει να ελαχιστοποιούνται.
7. Θα πρέπει οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται να είναι ανανεώσιμες όποτε αυτό είναι τεχνικά και οικονομικά εφικτό.
8. Η περιττή παραγωγοποίηση (προστασία/αποπροστασία και προσωρινή τροποποίηση φυσικών/χημικών διεργασιών) πρέπει να αποφεύγεται όσο το δυνατόν γίνεται.
9. Τα αντιδραστήρια που χρησιμοποιούνται ως καταλύτες (όσο το δυνατόν πιο εκλεκτικά) υπερτερούν σημασίας συγκριτικά με τα στοιχειομετρικά αντιδραστήρια.
10. Τα χημικά προϊόντα πρέπει να σχεδιάζονται ώστε στο τέλος της λειτουργίας τους να μην παραμένουν στο περιβάλλον αλλά να διασπώνται σε αβλαβή προϊόντα.
11. Οι αναλυτικές μεθοδολογίες χρειάζονται περαιτέρω ανάπτυξη ώστε να επιτρέπουν τον έλεγχο και την παρακολούθηση της διαδικασίας σε πραγματικό χρόνο προκειμένου να αποφευχθεί ο πιθανός σχηματισμός επικίνδυνων ουσιών.
12. Οι ουσίες που χρησιμοποιούνται καθώς και οι μορφές που έχουν αυτές σε μια χημική διεργασία, πρέπει να επιλέγονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι πιθανότητες πραγματοποίησης χημικών ατυχημάτων, όπως εκλύσεων, εκρήξεων και πυρκαγιών. [24]

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε ακολουθώντας τις αρχές που αναφέρθηκαν παραπάνω.

## 2. Η ΒΡΕΦΙΚΗ ΠΑΝΑ

### 2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΤΗΣ ΠΑΝΑΣ

Η λέξη "πάνα" αρχικά αναφερόταν στο ύφασμα - ένα είδος λινού - και όχι στη χρήση του σε μωρά. Τα τελευταία χρόνια ο όρος «πάνα», συχνά αναφέρεται σε πάνες μιας χρήσης όπως οι Pampers ή Babyline ή σε υφασμάτινες πάνες από φυσικές ίνες που θεωρούνται απαλές και φιλικές προς το δέρμα του μωρού αλλά και πιο οικολογικές. Είναι γνωστό ότι οι πάνες αυτές απορροφούν αρκετά αποτελεσματικά τα βρεφικά απόβλητα και παραμένουν αξιόπιστες κατά τη διάρκεια μεγάλων χρονικών διαστημάτων. Παρόλα αυτά, είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι η πάνα έχει εξελιχθεί ραγδαία τα τελευταία χρόνια μέσω της χρήσης διαφόρων υλικών για την κατασκευή τους ώστε να είναι πιο αποδοτικές κατά τη χρήση τους.

Στα πρώιμα χρόνια η χρήση της βρεφικής πάνας δεν ήταν καθόλου διαδεδομένη καθώς τα μωρά συνήθιζαν να ήταν γυμνά. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν ιστορικά έγγραφα και κείμενα που δείχνουν ότι μερικές μορφές πάνας χρησιμοποιούνταν ακόμη και στην αρχαιότητα. Για μεγάλο μέρος της ιστορίας, οι ανάγκες υγιεινής των βρεφών αντιμετωπιζόνταν με την τοποθέτηση απορροφητικού υλικού (βρύα, κουρέλια κλπ.). Τα μωρά μπορεί να ήταν τυλιγμένα με φύλλα γαλατσίδα, δέρματα ζώων, λινά και άλλους φυσικούς πόρους για να τα προστατεύουν από τα στοιχεία της φύσης και να αποτρέπουν την εξάπλωση των μικροβίων.

Στην Ευρώπη, η πράξη του τυλίγματος χρησίμευε ως μια μορφή πάνας. Το λινό τυλιγόταν γύρω από τα άκρα και το σώμα του μωρού. Αυτό το λινό θα είχε δεσμεύσει τα απόβλητα και θα κρατούσε το μωρό ζεστό καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Σε άλλες φυλές όπως για παράδειγμα οι Ινουίτ στα ψυχρότερα κλίματα της Αλάσκας, της Γροιλανδίας, του Καναδά και της Σιβηρίας, τοποθετούσαν βρύα γύρω από το μωρό και στη συνέχεια το κάλυπταν με δέρμα φώκιας για να βοηθήσουν τόσο στο να διατηρηθεί το μωρό στεγνό όσο και στη μόνωση της λιγοστής θερμότητας που είναι διαθέσιμη σε τέτοιου είδους κλίματα. Ομοίως, οι ιθαγενείς Αμερικανοί τόσο στη Βόρεια όσο και στη Νότια Αμερική ακολουθούσαν μια πρακτική παρόμοια με αυτή των Ινουίτ, αλλά αντί για βρύα και δέρμα φώκιας, αυτές οι μητέρες χρησιμοποιούσαν συσκευασμένο χορτάρι και δέρμα κουνελιού.

Στις αρχές του 1800, η υφασμάτινη πάνα ήταν ένα τετράγωνο ή ορθογώνιο από λινό, βαμβακερή φανέλα ή καλτσόν που διπλωνόταν σε ορθογώνιο σχήμα και δένονταν γύρω από το μωρό. Συχνά τις κρεμούσαν για να στεγνώσουν, αν ήταν μόνο βρεγμένες, αλλά σπάνια τις έπλεναν. Όταν εφευρέθηκε η παραμάνα το 1849, αυτές χρησιμοποιήθηκαν τότε από όσους είχαν την οικονομική δυνατότητα να τις αγοράσουν για να συγκρατούν την ορθογώνια πάνα



στη θέση της. Το 1887 εφευρέθηκαν οι σύγχρονες υφασμάτινες πάνες και άρχισαν να παράγονται μαζί ως τετράγωνα από λινό ή φανέλα που διπλώνονταν σε τρίγωνο και συγκρατούνταν στη θέση τους με μια παραμάνα. Περίπου εκείνη την εποχή, οι μητέρες άρχισαν επίσης να βράζουν τις βρώμικες πάνες για να τις απολυμαίνουν πριν από την επαναχρησιμοποίησή τους, ενώ, τα στενά μάλλινα παντελόνια ή σορτς ήταν κατάλληλα ως καλύμματα πάνας και φοριόντουσαν πάνω από τις πάνες για να διατηρούν τα ρούχα στεγνά μέχρι το 1946, όταν εφευρέθηκε το πλαστικό κάλυμμα πάνας. Οι πάνες μιας χρήσης εμφανίστηκαν για πρώτη φορά στην αγορά στις αρχές της δεκαετίας του 1960 [25].

Στη δεκαετία του 1930, βιομηχανικοί ερευνητές στην Ευρώπη και τη Βόρεια Αμερική ακολούθησαν διαφορετικούς δρόμους ως προς την «κατασκευή» της πάνας μιας χρήσης, ο ένας προέρχεται από την παραγωγή χαρτιού και ο άλλος από εξειδικευμένα υφάσματα για ιατρικές χρήσεις. Η εταιρία Pauliström, αξιοποιώντας μια καινούργια για τότε τεχνική από την Γερμανία αποφάσισε να εισάγει ένα νέο υλικό στο εμπόριο. Η εταιρία σχεδίασε και παρέδωσε ένα κουτί 2,5 κιλών με φύλλα ιστού κυτταρίνης κομμένα σε κατάλληλο μέγεθος. Τα φύλλα αυτά διπλώνονταν σε τρεις στρώσεις και από πάνω τοποθετούταν ένα ύφασμα γάζας ώστε να μην κολλήσει το χαρτί πάνω στο δέρμα του μωρού.

Μετά τον πόλεμο, η Pauliström άρχισε να συσκευάζει τα φύλλα κυτταρίνης σε πλαστικό δίχτυ για να μην κολλάνε πάνω στο δέρμα του μωρού. Μετά το 1950, η εταιρεία πρόσφερε αυτό το προϊόν σε μακριά ρολά που οι καταναλωτές μπορούσαν να κόψουν και να τα τοποθετήσουν σε παντελόνια. Στα τέλη της δεκαετίας του 1940, μερικοί άλλοι κατασκευαστές πάνας εμφανίστηκαν σε όλη την Ευρώπη. Το 1947, η Valerie Hunter Gordon, μια βρετανίδα μητέρα ανέπτυξε ένα μοντέλο πάνας δύο τεμαχίων που αποτελείται από ένα ένθετο χαρτιού μιας χρήσης με βαμβακερό μαλλί και ένα αδιάβροχο παντελόνι. Το προϊόν λειτούργησε αρκετά καλά, με αποτέλεσμα το 1949 να συνεργαστεί με την εταιρία Robinson & Sons και να κατασκευάσει πάνες δύο τεμαχίων με την επωνυμία Paddi Pad.

Οι πάνες μιας χρήσης ξεπέρασαν γρήγορα σε πωλήσεις τις βαμβακερές πάνες σε όλο τον κόσμο κατά την περίοδο μεταξύ του τέλους της δεκαετίας του 1960 έως και του τέλους της δεκαετίας του 1980. Οι καταναλωτές στράφηκαν στις αναλώσιμες πάνες για ποικίλους λόγους, συμπεριλαμβανομένων των εγγενών πλεονεκτημάτων του προϊόντος. Οι περισσότεροι γονείς βρήκαν το αναλώσιμο προϊόν πιο εύχρηστο. Σε αντίθεση με τις βαμβακερές πάνες, οι αναλώσιμες βελτιώνονταν κάθε χρόνο καθώς οι κατασκευαστές εισήγαγαν νέα σχέδια και χαρακτηριστικά όπως βελτιωμένα συστήματα στερέωσης, αυξημένη απορροφητικότητα και στενότερη εφαρμογή. Μόλις οι αναλώσιμες πάνες έγιναν ευρέως διαθέσιμες σε προσιτές τιμές, οι καταναλωτές συνέρρεαν για να τις αγοράσουν και να τις χρησιμοποιήσουν. Η ταχεία

υιοθέτηση τους ξεδιπλώθηκε σε δύο στάδια: αρχικά με την εμπορευματοποίηση της φθηνής μονοκόμματης πάνας τις δεκαετίες του 1960 και του 1970 και στη συνέχεια με την εισαγωγή εξαιρετικά λεπτών μοντέλων πάνας που χρησιμοποιούσαν καινοτόμες απορροφητικές ουσίες στα μέσα της δεκαετίας του 1980.

Ο ανταγωνισμός μεταξύ των κατασκευαστών οδήγησε σε μια σταθερή ροή καινοτομιών και βελτιώσεων στις πάνες. Η δραματική επιτυχία της πάνας μιας χρήσης στη μαζική αγορά ξεκίνησε με μια σημαντική ανακάλυψη στην κατασκευή της από την εταιρία Procter & Gamble στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η P&G εστίασε σε μια απλή μονοκόμματη πάνα μιας χρήσης που αποτελείται από έναν απορροφητικό ινώδη πυρήνα συνδεδεμένο με μια πλαστική επιφάνεια. Το προϊόν διέθετε πολλά καινοτόμα χαρακτηριστικά συμπεριλαμβανομένου ενός υδρόφοβου φύλλου στην πάνω μεριά αποτελούμενο από ύφασμα ρεγιόν για τη διατήρηση της υγρασίας στο στρώμα του απορροφητικού πυρήνα. Ακόμα διέθετε και ένα μεγάλο πλαστικό φύλλο που σκοπό είχε την αποφυγή τυχών διαρροών. Η P&G κυκλοφόρησε δοκιμαστικά στην αγορά το νέο της προϊόν, που τώρα ονομάζεται Pampers, στην Peoria του Ιλινόις το 1961.

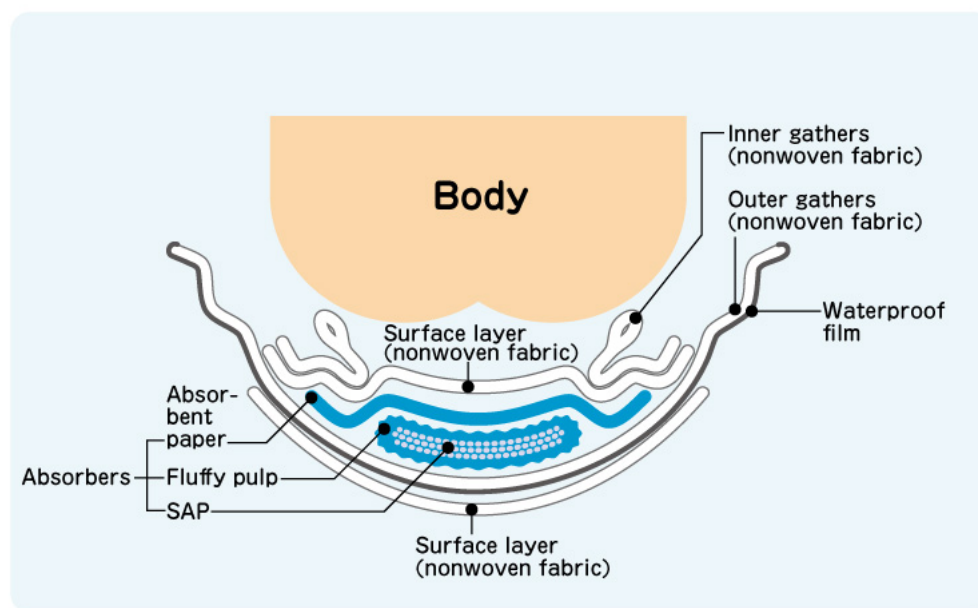
Η απόλυτη νίκη της πάνας μιας χρήσης ανάμενε μια σειρά τεχνολογικών βελτιώσεων και καινοτομιών μεταξύ των μέσων της δεκαετίας του 1970 και των μέσων της δεκαετίας του 1980. Το πρώτο ήταν ένα πιο εφαρμοστό σχήμα με ελαστικά ανοίγματα για τα πόδια. Η P&G παρουσίασε αυτά τα χαρακτηριστικά το 1976 στις Ηνωμένες Πολιτείες. Η δεύτερη σημαντική βελτίωση στο σχεδιασμό της πάνας αφορούσε τη χρήση υπερ-απορροφητικών πολυμερών ή αλλιώς SAPs (Super Absorbent Polymers), τα οποία επέτρεψαν τη δραματική συρρίκνωση της πάνας κατά 30%. Οι ερευνητές διαπίστωσαν ότι το SAP μπορούσε να απορροφήσει από τριάντα έως και εξήντα φορές το βάρος του σε υγρό. Το γεγονός αυτό αποτέλεσε ένα τεράστιο πλεονέκτημα σε σχέση με τα συμβατικά υλικά που χρησιμοποιούνταν τα προηγούμενα χρόνια. Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1980, ο όγκος της πάνας μειώθηκε περίπου στο μισό ενώ κατά τη διάρκεια των επόμενων δέκα ετών, οι περαιτέρω βελτιώσεις και η χρήση των SAPs επέτρεψαν άλλη μια μείωση του όγκου κατά 50%. Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980, οι πάνες μιας χρήσης αντιπροσώπευαν περισσότερο από το 95% στην Ιαπωνία, τη Βόρεια Αμερική και τις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες [26].

Η πάνα μίας χρήσης είναι μία από τις σημαντικότερες εξελίξεις στα καταναλωτικά προϊόντα του εικοστού αιώνα. Λίγα μόλις χρόνια μετά την εμπορική διάθεση, οι πάνες μίας χρήσης αντικατέστησαν ουσιαστικά τις παραδοσιακές υφασμάτινες πάνες, καθώς οι καταναλωτές αναγνώρισαν και εκτίμησαν τα συντριπτικά πλεονεκτήματα που παρείχαν. Ταυτόχρονα, ο ανταγωνισμός του κλάδου και το ιστορικό της συνεχούς καινοτομίας και της μείωσης του

κόστους έδωσαν τη δυνατότητα σε γονείς από όλα τα μέρη του κόσμου και όλες τις οικονομικές συνθήκες να επωφεληθούν κοινωνικά καθώς και οικονομικά.

## 2.2 ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΒΡΕΦΙΚΗΣ ΠΑΝΑΣ ΜΙΑ ΧΡΗΣΗΣ

Η σημερινή πάνα μιας χρήσης, χρησιμοποιείται σε ένα μεγάλο ποσοστό των σημερινών νοικοκυριών και θεωρείται στερεό απόβλητο καθώς κατατάσσεται στην κατηγορία οικιακών απορριμμάτων. Δεδομένου ότι χρησιμοποιείται εκτενώς, αποτελείται από υψηλής απόδοσης και δοκιμασμένα υλικά, με απώτερο σκοπό, την προστασία και φροντίδα της βρεφικής επιδερμίδας. Οι πάνες μιας χρήσης είναι κατασκευασμένες να απορροφούν και να συγκρατούν τα κόπρανα και τα ούρα διατηρώντας παράλληλα το δέρμα του μωρού καθαρό και στεγνό. Τα χαρακτηριστικά αυτά της πάνας είναι αποτέλεσμα της πολυστρωματικής κατασκευής της που παρουσιάζεται και στο Σχήμα 2-1.



Σχήμα 2-1: Σχηματική απεικόνιση των διαφόρων στρωμάτων της πάνας μιας χρήσης [27].

Αποτελούνται ως επί το πλείστον από φυσιολογικά αδρανή πολυμερή, τα οποία βρίσκονται συχνά σε τρόφιμα, καλλυντικά, ρούχα και άλλα προϊόντα που έρχονται σε επαφή με το δέρμα. Οι πάνες είναι απορροφητικά προϊόντα υγιεινής που μπορούν να διατεθούν σε μεγάλη ποικιλία σχημάτων, μεγεθών και υλικών. Τα περισσότερα από τα υλικά που συνθέτουν τις βρεφικές πάνες περιέχουν έναν απορροφητικό πυρήνα που οι ιδιότητες πρέπει να επιτρέπουν την απορρόφηση υγρών με διάχυση ή/και με τριχοειδική απορρόφηση. Οι πάνες μιας χρήσης

είναι κατασκευασμένες από διάφορα είδη πολυμερών και αποτελούνται από τέσσερα μέρη που εκτελούν συγκεκριμένες λειτουργίες: ένα εσωτερικό προστατευτικό στρώμα, ένα στρώμα απορροφητικού πυρήνα και ένα πλαστικό εξωτερικό στρώμα.

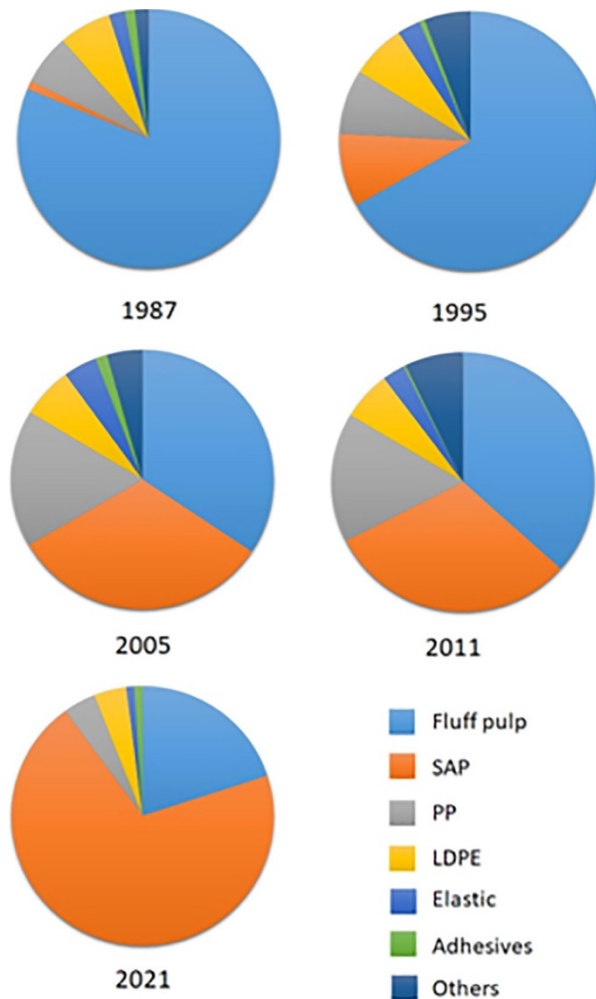
Το εσωτερικό στρώμα είναι κατασκευασμένο από ένα υλικό που βάση έχει το πολυμερές, σκοπός του είναι να απομονώνει το στρώμα του πυρήνα προστατεύοντας έτσι το δέρμα του μωρού από την υγρασία. Αυτό το στρώμα αποτελείται από ένα φύλλο συνήθως κατασκευασμένο από υλικά με βάση το πολυπροπυλένιο. Ορισμένα φύλλα όμως μπορεί επίσης να περιέχουν φαρμακευτικής ποιότητας βαζελίνη και στεαρυλική αλκοόλη για την ενυδάτωση του δέρματος και την παροχή περισσότερης άνεσης. Το εξωτερικό στρώμα είναι κατασκευασμένο από υλικά πολυαιθυλενίου και αποτρέπει τη διαρροή από τις πάνες. Το πιο σημαντικό μέρος της πάνας είναι ο πυρήνας, η κύρια λειτουργία του οποίου είναι να απορροφά και να συγκρατεί την απέκκριση του υγρού. Αυτό είναι συνήθως κατασκευασμένο από χνουδωτό πολτό από υλικά κυτταρίνης ή από υπερ-απορροφητικά πολυμερή (SAP) όπως το πολυακρυλικό νάτριο. [28]

Part	Materials	Characteristics
Outer layer	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Propylene (PP) and Polyethylene (PE).</li> <li>○ Viscose rayon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ PP and PE fibres are commonly used in hygiene products because of their low density, softness, and chemical stability (Kyrikou and Briassoulis, 2007).</li> <li>○ Viscose rayon, a synthetic fibre derived from cellulose xanthate, can be also used because of its absorbency properties and hydrophilic characteristics (Hubbe et al., 2013).</li> </ul>
Acquisition and distribution layer (ADL)	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fluff pulp that can be made of:</li> <li>○ Cellulose based fibres such as: cotton and wood pulp.</li> <li>○ Protein based fibres such as silk or wool-</li> <li>○ SAPs</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Fluff pulp stores the liquid temporarily before its distribution through capillaries to the absorbent core and can absorb liquids up to 10 times its weight (Cordella et al., 2015).</li> </ul>
Absorbent core	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Cellulose based fibres (wood and cotton pulp)</li> <li>○ SAPs</li> <li>○ Polylactic acid (PLA)</li> <li>○ Protein based fibres (Asim et al., 2015; Mukhopadhyay and Vinay Kumar, 2008; Patiño-Masó et al., 2019; Ramamoorthy et al., 2015; Shanmugasundaram and Gowda, 2011)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ SAPs are developed with hydrophilic polymers such as polyvinyl alcohol (PVA), polyethylene oxide (PEO) acrylamide, and the most commonly used sodium polyacrylate (Lee and Lee, 2016; Tesfaye et al., 2019). SAP can absorb liquids up to 1000 times its weight.</li> <li>○ PLA is a novel biopolymer produced from renewable sources and that has desirable properties such as mechanical strength and biodegradability (Singhvi et al., 2019).</li> </ul>
Inner layer	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ PE and PP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ These are used to maintain dryness and comfort by transporting wet through the material (Elmogahzy, 2020).</li> </ul>

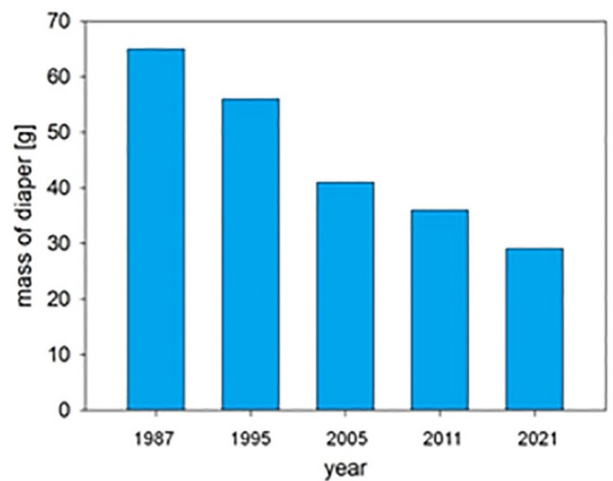
Σχήμα 2-2: Στρωματική ανάλυση βρεφικής πάνας μιας χρήσης

Ένα κύριο συστατικό που βρίσκεται στις πάνες μιας χρήσης είναι ο πολτός κυτταρίνης, το ποσοστό του οποίου μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με την αγορά. Αυτό το ανανεώσιμο υλικό προέρχεται κυρίως από κωνοφόρα ξύλα. Συνήθως απαιτούνται μεταξύ 200 και 400 κιλά χνουδωτού πολτού το οποίο ισοδυναμεί με περίπου ένα δισεκατομμύριο δέντρα ετησίως για την παροχή πάνας για ένα μωρό ετησίως. Τα περισσότερα υλικά που χρησιμοποιούνται στις πάνες μίας χρήσης μπορούν να αποσυντεθούν σχετικά γρήγορα, το υπερ-απορροφητικό πολυμερές (SAP) όμως και τα πλαστικά συστατικά μπορεί να χρειαστούν περισσότερα από 500 χρόνια για την πλήρη αποικοδόμησή τους [29]. Το SAP, ονομάζεται και πολυακρυλικό

νάτριο, και αποτελεί περίπου το 33% του μέσου βάρους μιας πάνας. Το μέσο περιεχόμενο SAP σημείωσε σημαντική αύξηση από το 1995 έως το 2005 στην ευρωπαϊκή αγορά (βλ. Σχήμα 2-3).



Σχήμα 2-3: Σύνσταση πάνας από το 1987 έως και το 2021.



Σχήμα 2-4: Η μεταβολή του βάρους μιας πάνας από το 1987 έως και το 2021.

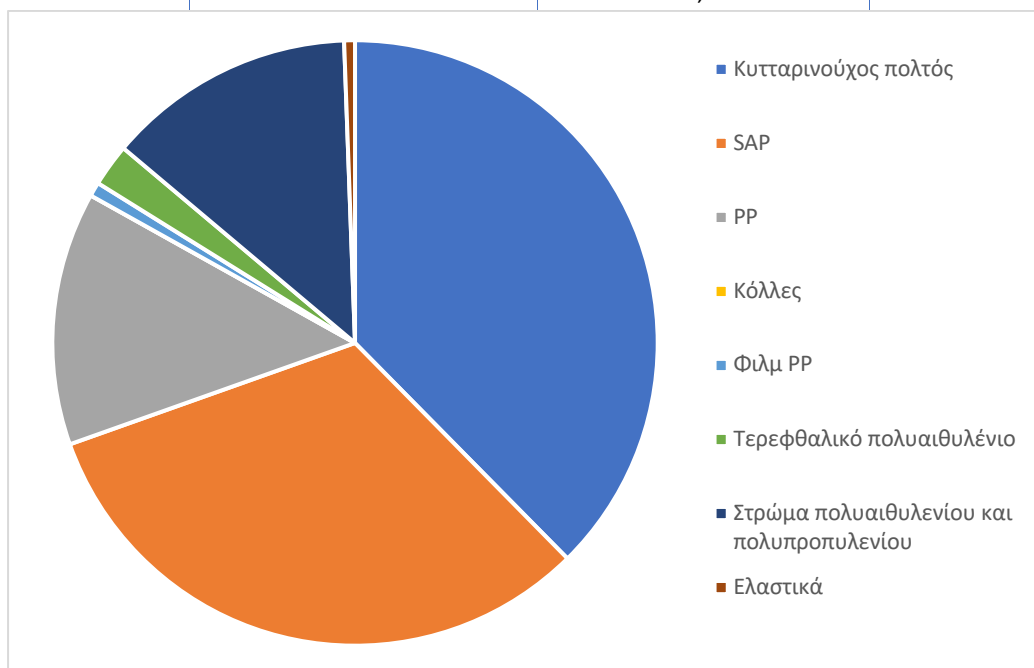
Από το Σχήμα 2-3 και το Σχήμα 2-4 φαίνεται ότι η αντικατάσταση του πολτού κυτταρίνης με το SAP έχει μειώσει αρκετά το μέσο βάρος της πάνας. Με την αύξηση του SAP επιτυγχάνεται μεγαλύτερη λειτουργικότητα όσον αφορά τη χρήση της πάνας αφού μπορεί και συγκρατεί περισσότερο υγρό από την κυτταρίνη ενώ ταυτόχρονα μειώνει το βάρος της πάνας γεγονός που συμβάλει στην άνεση του μωρού αλλά και στη μείωση του όγκου της. Η αύξηση του SAP όμως δυσχεραίνει τη διαδικασία της ανακύκλωσης και ταυτόχρονα αυξάνει τον χρόνο αποικοδόμησής της.

### 2.2.1 Σύσταση της πάνας μιας χρήσης

Η σύσταση των αχρησιμοποίητων βρεφικών πανών μιας χρήσης σύμφωνα με μια ελληνική εταιρεία παραγωγής φαίνεται στον Πίνακα 2-1. Η εταιρία παραγωγής αυτή αποτελεί μια από τις μεγαλύτερες παραγωγικές μονάδες προϊόντων προσωπικής υγιεινής στην Ευρώπη. Έχει κατακτήσει στην ελληνική αγορά ηγετική θέση όσον αφορά στον τομέα προϊόντων προσωπικής υγιεινής (σερβιέτες, σερβιετάκια, βρεφικές πάνες, υγρά μαντήλια, προϊόντα ακράτειας και προϊόντα βάμβακος) [30].

Πίνακας 2-1: Σύσταση καθαρής βρεφικής πάνας

Σύσταση	Αχρησιμοποίητη πάνα (%)
Κυτταρινούχος πολτός	35,88%
SAP	30,48%
PP	12,91%
Κόλλες	4,61%
Φιλμ PP	0,72%
Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο	2,17%
Στρώμα πολυαιθυλενίου και πολυπροπυλενίου	12,68%
Ελαστικά	0,55%
Οργανική ύλη	0%
Συνολικά	100,00%



Σχήμα 2-5: Σύσταση βρεφικής πάνας

Συγκρίνοντας το Σχήμα 2-5 με το Σχήμα 2-3 μπορεί να βγει το συμπέρασμα ότι η αναλογία Pulp/SAP θυμίζει διαγραμματικά πιο πολύ τις πάνες που παραγότουσαν το 2005-2011. Το SAP βρίσκεται ακόμα σε ένα πιο χαμηλό ποσοστό από ότι το 2021. Επίσης όταν η πάνα είναι χρησιμοποιημένη η σύστασή της αλλάζει και φαίνεται στον Πίνακα 2-2. Σε αυτή την περίπτωση η οργανική ύλη αποτελεί το 80% της σύστασης. Αυτό σημαίνει ότι το μεγαλύτερο ποσοστό αποβλήτου της πάνας θεωρείται πλέον οργανικό και όχι στερεό. Ωστόσο, το γεγονός αυτό δεν υποδηλώνει ότι δεν υπάρχουν πλέον στερεά απόβλητα εντός της πάνας, είναι όμως, τώρα αναγκαίο να ληφθεί υπόψη και το οργανικό μέρος που εμπεριέχει κατά την διαχείρισή της ως απόβλητο.

Πίνακας 2-2: Σύσταση χρησιμοποιημένης βρεφικής πάνας από εταιρία παραγωγής

Σύσταση	Χρησιμοποιημένη πάνα (%)
Κυτταρινούχος πολτός	7,18%
SAP	6,10%
PP	2,58%
Κόλλες	0,92%
Φιλμ PP	0,14%
Τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο	0,43%
Στρώμα πολυαιθυλενίου και πολυπροπυλενίου	2,54%
Ελαστικά	0,11%
Οργανική ύλη	80,00%
Συνολικά	100,00%

### 2.2.2 Τοξικές ενώσεις στη βρεφική πάνα

Μερικές επιστημονικές αναφορές όμως δείχνουν ότι οι παιδικές πάνες μιας χρήσης από διάφορες μάρκες, συμπεριλαμβανομένων των πιο γνωστών εταιριών αλλά και των "βιολογικών", ενδέχεται να περιέχουν αρκετές τοξικές ενώσεις. Ωστόσο, η έρευνα σχετικά με τη χημική σύσταση των παιδικών πανών μιας χρήσης παραμένει περιορισμένη. Συνήθως, οι πάνες μπορεί να περιέχουν διάφορους ρύπους, όπως πολυχλωροδιβενζο-ρ-διοξίνες (PCDDs), οργανικά ενεργές ενώσεις όπως το αιθυλοβενζόλιο, το ξυλένιο και το τολουόλιο, καθώς και πολυακρυλικές ή φθαλικές ενώσεις. Πολλές από αυτές τις ουσίες έχει αποδειχθεί ότι ενδεχομένως να αποτελούν πιθανό κίνδυνο για την υγεία των παιδιών.

Η κύρια πηγή των τοξικών αυτών ενώσεων στις πάνες οφείλεται στη μόλυνση των πρώτων υλών, από τη χρήση για παράδειγμα ζιζανιοκτόνων ή φυτοφαρμάκων, καθώς και από τη χρήση ακατάλληλων υλικών κατά τη διάρκεια της παραγωγής τους ή/και με τον τρόπο σύνδεσης των στρωμάτων της πάνας (π.χ. χρήση κόλλας). Οι διαδικασίες κατασκευής μπορούν επίσης να συμβάλλουν στην παρουσία τοξικών ενώσεων. Για παράδειγμα, τα PCBs, τα PCDDs και οι πολυχλωροδιβενζο φουράνες (PCDFs) μπορεί να προκύψουν από μεθόδους λεύκανσης της κυτταρίνης. Παρόλο που υπάρχουν διάφορες τεχνικές λεύκανσης, οι διαδικασίες με χλωριούχο διοξείδιο είναι οι πιο κοινές, παρόλο που δεν εξαλείφουν εντελώς τα χλωριωμένα παραπροϊόντα. Η νουλφαινόλη, μια άλλη δυνητικά επιβλαβής ένωση, μπορεί να ανιχνευθεί σε αιθοξυλικές εννεύλοφαινόλες, που χρησιμοποιούνται συνήθως ως επιφανειοδραστικά σε διαδικασίες καθαρισμού, επεξεργασίας επιφανειών, γαλακτωματοποίησης ή διαλυτοποίησης. Η καπρολακτάμη, που προέρχεται από νήματα όπως νάιλον και ελαστομερή πολυ(αιθεροαμιδίου), το αβιετικό οξύ και το αφυδροαβιετικό οξύ, που προέρχονται από κόλλες πάνας, συμβάλλουν επίσης στην παρουσία τοξικών ουσιών. Τέλος, οι πολύ-κυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες (PAHs), βρίσκονται κυρίως στα ελαστικά, και μπορούν να σχηματιστούν κατά τη διάρκεια διεργασιών παραγωγής όταν χρειάζονται υψηλές θερμοκρασίες [31].

Η P&G μελέτησε και αξιολόγησε την ασφάλεια των υπερ-απορροφητικών βρεφικών πανών της εταιρίας ως προς κάποιες δερματικές παθήσεις που συχνά εμφανίζονται στα βρέφη. Σύμφωνα με την P&G οι ευεργετικές επιπτώσεις που προέρχονται από τις βελτιώσεις στις πάνες μωρών με υψηλή απορροφητικότητα έχουν καταγραφεί παγκοσμίως. Κλινικές μελέτες δείχνουν ότι αυτές οι βελτιώσεις συμβάλλουν στη μείωση της υπερβολικής ενυδάτωσης και της τριβής του δέρματος, οι οποίες αποτελούν κρίσιμους παράγοντες όσον αφορά στη βρεφική δερματίτιδα λόγω της πάνας. Ένας άλλος ωφέλιμος παράγοντας των πανών με υψηλή απορροφητικότητα είναι η βελτίωση της σωματικής υγιεινής, και ειδικότερα η μείωση της βακτηριακής μόλυνσης που οφείλεται συνήθως στα κόπρανα. Η συντριπτική πλειονότητα των υλικών των πανών είναι πολυμερή που θεωρούνται ασφαλή και δεν προκαλούν εγγενείς ανησυχίες τοξικότητας. Ενδείξεις ποσοτήτων μη πολυμερών υλικών, όπως χρωστικές, αξιολογούνται βάσει του δυνητικού επαφής με το δέρμα. Η κατανόηση της χημικής σύστασης της ουσίας είναι συχνά χρήσιμη σε αυτό το βήμα. Είναι λοιπόν απαραίτητο να ληφθεί υπόψη η ακριβής πηγή, καθώς μπορεί να υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα καθαρότητας με αποτέλεσμα διαφορετικοί προμηθευτές να παρέχουν υλικό με διαφορετικά προφίλ ακαθαρσιών [32].

Επί του παρόντος, υπάρχει περιορισμένη επιστημονική έρευνα που να υποστηρίζει τα παραπάνω. Οι έρευνες αυτές σχετικά με την παρουσία τοξικών ενώσεων στις πάνες έχουν διεξαχθεί μόνο σε λίγες χώρες. Ως εκ τούτου, δεν είναι γνωστό ποια είναι η κατάσταση σε



άλλες χώρες και εάν το πρόβλημα των τοξικών ενώσεων στις πάνες μιας χρήσης είναι ένα παγκόσμιο θέμα. Αναμφίβολα, απαιτείται πολύ μεγαλύτερη έρευνα σε μεγαλύτερη κλίμακα. Προς το παρόν, στις περισσότερες χώρες δεν υπάρχουν νομικοί κανονισμοί που να ορίζουν το μέγιστο επιτρεπτό ποσοστό των μεμονωμένων τοξικών στις πάνες. Επομένως, δεν υπάρχουν κοινές μέθοδοι για τον καθορισμό τους, και μόνο λίγες δημοσιεύσεις μπορούν να βρεθούν πάνω σε αυτό το θέμα.

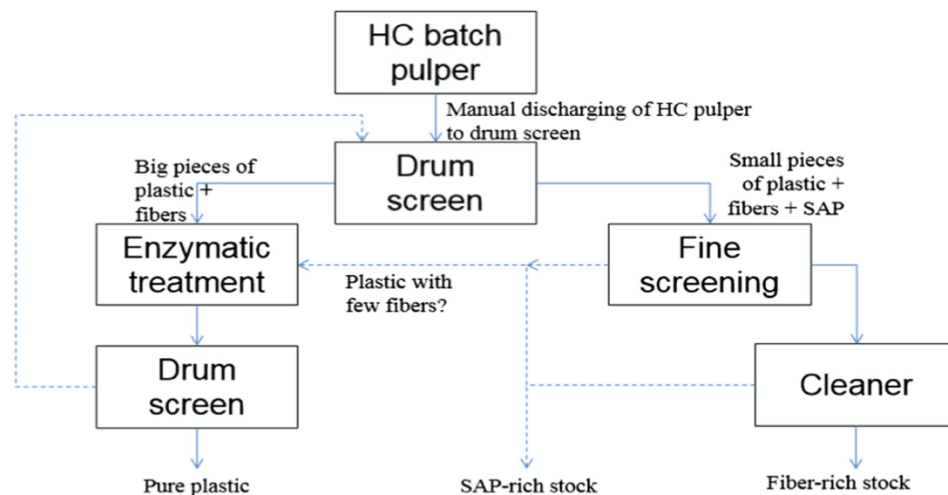
### 2.3 ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΤΗΣ ΠΑΝΑΣ ΜΙΑΣ ΧΡΗΣΗΣ

Αυτό που η ανθρωπότητα δεν γνώριζε όταν οι πρώτες μαζικής παραγωγής πάνες μιας χρήσης έφτασαν στην αγορά στα τέλη της δεκαετίας του 1940 ήταν πόσο καταστροφικές θα ήταν οι περιβαλλοντικές τους επιπτώσεις. Κάθε λεπτό, περισσότερες από 300.000 πάνες μιας χρήσης αποτεφρώνονται, αποστέλλονται σε χώρους υγειονομικής ταφής ή καταλήγουν στο περιβάλλον. Έχει βρεθεί ότι παγκοσμίως 250 εκατομμύρια πάνες μιας χρήσης πετιούνται καθημερινά. Το γεγονός ότι τα δύο τρίτα της πάνας μιας χρήσης είναι πλαστικά το καθιστά ένα απόβλητο ακόμα πιο δύσκολο στην πράξη να ανακυκλωθεί [33]. Η πάνα που βρίσκεται στα ΧΥΤΑ, θα μπορούσε να παραμείνει εκεί για έως και 500 χρόνια, εκπέμποντας διάφορα αέρια θερμοκηπίου καθώς αποικοδομείται με πολύ βραδείς ρυθμούς [34].

Οι πάνες μιας χρήσης κατασκευάζονται από ξυλοπολλτό, βαμβάκι, ρεγιόν βισκόζης και πολλά πλαστικά όπως πολυεστέρας, πολυαιθυλένιο και πολυπροπυλένιο. Εκτός από το ότι περιέχουν πλαστικά, οι πάνες που πετιούνται συνήθως περιέχουν και τα απόβλητα των μωρών. Τα βρεφικά αυτά απόβλητα συγκαταλέγονται στην κατηγορία των οργανικών αποβλήτων. Η πάνα λοιπόν αποτελεί ένα σύνθετο απόβλητο αποτελούμενο από στερεά αλλά και οργανικά μέρη. Τα σύνθετα απόβλητα είναι απόβλητα που, λόγω της ετερογένειας της σύνθεσής τους, είναι δύσκολο να ανακυκλωθούν και, ως εκ τούτου, συχνά θάβονται ή αποτεφρώνονται. Σημαντικό λοιπόν κομμάτι στην ανακύκλωση της πάνας είναι ο διαχωρισμός των διαφόρων υλικών ή/και στρωμάτων που υπάρχουν μέσα σε αυτή [35]. Παρακάτω γίνεται αναφορά σε μια έρευνα που έλαβε μέρος στο πανεπιστήμιο Kyungnam στην Κορέα.

Στόχος της έρευνας αυτής ήταν ο προσδιορισμός των ισοζυγίων μάζας των συστατικών στα απόβλητα της πάνας κατά τη διάρκεια διαφόρων σταδίων επεξεργασίας που διερευνήθηκαν μέσω πειραμάτων πιλοτικής κλίμακας. Το διάγραμμα ροής της διεργασίας φαίνεται παρακάτω (βλ. Σχήμα 2-6). Ο πιλοτικός εξοπλισμός αυτός χρησιμοποιείται συνήθως σε γραμμές ανακύκλωσης και απομελάνωσης στη βιομηχανία χαρτιού. Το στάδιο πολτοποιήσης μπορεί να θεωρηθεί ως μια διαδικασία όπου συμβαίνουν φαινόμενα κατακερματισμού των ινών. Το

μηχάνημα «drum screen» χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό μεγάλων πλαστικών και το «cleaner» περιλαμβάνει την περιστροφή του πολτού μέσα σε διάλυμα καθαρισμού προκαλώντας τα υλικά που είναι πυκνότερα από τις ίνες του πολτού να κινηθούν προς τα έξω και να απορριφθούν. Το «fine screening» χρησιμοποιείται για την αφαίρεση των ρύπων όπου είναι μεγαλύτεροι από τις ίνες του πολτού. Τα μεγάλα κομμάτια των πλαστικών ινών αποτελούνται κυρίως από πλαστικό και λίγες ίνες. Το καθαρό πλαστικό μπορεί στη συνέχεια να διαχωριστεί μέσω ενζυμικής επεξεργασίας (enzymatic treatment), όπου διαχωρίζεται το υλικό των ινών.



Σχήμα 2-6: Διάγραμμα ροής πιλοτικής κλίμακας στη Κορέα για τον διαχωρισμό και την διαχείριση της πάνας μιας χρήσης

Αυτή η έρευνα πραγματοποιήθηκε σε ανακυκλωμένες πάνες με σκοπό την επιβεβαίωση της επίδρασης της συνοχής του πολτού στην αποτελεσματικότητα της διαχωριστικής διαδικασίας με το drum screen και την εξέταση πιθανών διεργασιών για την επίτευξη ενός πλαστικού κλάσματος και ενός κλάσματος που θα εμπεριέχει SAP/ίνες όσο το δυνατόν πιο καθαρό. Ακόμα διερεύνησε τις ιδιότητες της ίνας που ανακυκλώθηκε από την πάνα και συγκρίθηκε με τις ίνες του πολτού από χαρτομάνηλα. Η σύγκριση αυτή έδειξε ότι τα φυσικά και οπτικά χαρακτηριστικά ήταν παρόμοια. Με αυτήν την πιλοτική διεργασία, μπόρεσαν να εντοπίσουν κάποιες εφικτές λύσεις με τις οποίες θα μπορούσε να διαχωριστεί κάθε υλικό από τα απόβλητα της πάνας [36].

## 2.4 ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΤΟΥ ΟΡΓΑΝΙΚΟΥ ΚΛΑΣΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΠΑΝΑΣ ΜΕΣΩ ΚΟΜΠΟΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

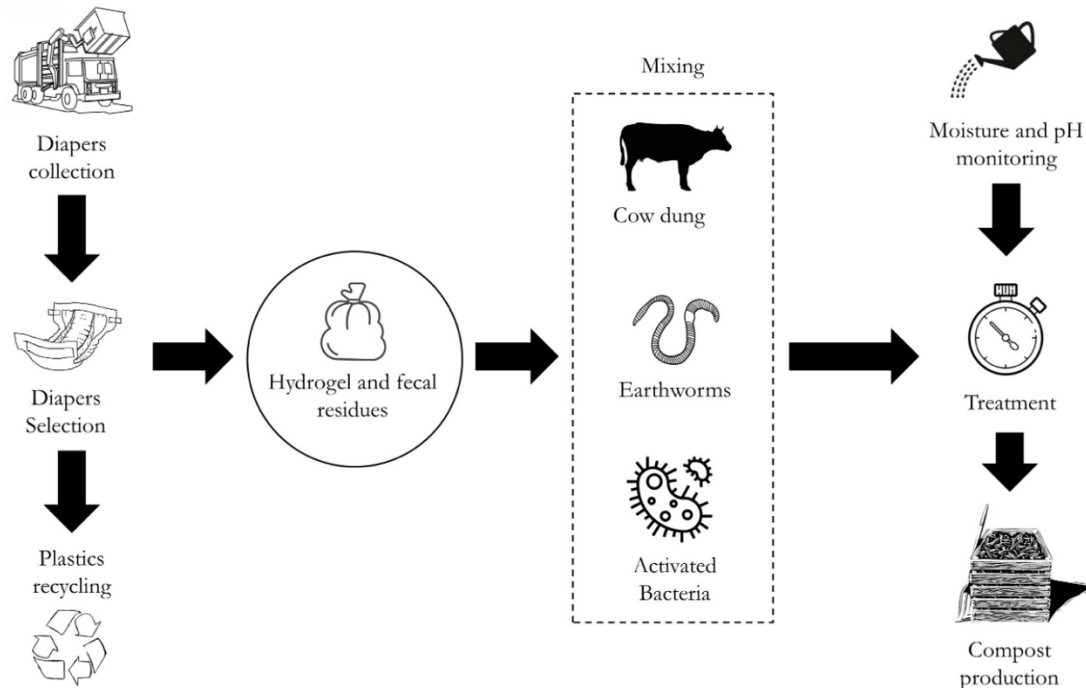
Στην Ελλάδα, η διαχείριση αποβλήτων περιορίζεται ως επί το πλείστον στη συλλογή και την υγειονομική ταφή, παρά τις προσπάθειες της χώρας κατά τα τελευταία χρόνια για την

υλοποίηση επιλογών επεξεργασίας υψηλότερης έντασης κεφαλαίου. Η επικρατούσα μέθοδος συλλογής ανακυκλώσιμων υλικών σε επίπεδο δήμου βασίζεται σε ένα μεικτό σύστημα συλλογής χαρτιού, πλαστικού και μετάλλων, ενώ μόνο ένας περιορισμένος αριθμός δήμων εφαρμόζει χωριστή συλλογή βιοαποβλήτων (π.χ. Χαλανδρίου, Κοζάνης, Βάρης - Βούλας - Βουλιαγμένης, Βριλησίων). Η χωριστή συλλογή των επιμέρους κλασμάτων αποβλήτων θεωρείται αναγκαία προϋπόθεση για την προώθηση ανακύκλωσης υψηλής ποιότητας και την επίτευξη υψηλών ποσοστών ανακύκλωσης. Ως εκ τούτου, η Οδηγία-Πλαίσιο της ΕΕ για τα απόβλητα καθορίζει τις γενικές απαιτήσεις για τη χωριστή συλλογή και υποχρεώνει τα κράτη μέλη να λάβουν μέτρα για την προώθηση ανακύκλωσης υψηλής ποιότητας, καθώς και να συγκροτήσουν συστήματα χωριστής συλλογής για τα ξηρά ανακυκλώσιμα υλικά (χαρτί, μέταλλα, πλαστικά και γυαλί) και τα βιοαπόβλητα έως το 2023. Ωστόσο, παρά την ενσωμάτωση όλων των Οδηγιών της ΕΕ στο ελληνικό δίκαιο, συμπεριλαμβανομένης της θέσπισης στόχων για τη χωριστή συλλογή από το 2012, η Ελλάδα υπολείπεται ως προς την εφαρμογή τους [37].

Η Οδηγία για την υγειονομική ταφή (1999/31/ΕΚ) καθόριζε ως στόχο τη μείωση της υγειονομικής ταφής των βιοαποδομήσιμων αποβλήτων στο 35% (ως προς το επίπεδο των παραγόμενων ποσοτήτων του 1995) έως το 2016. Η Οδηγία αυτή αναθεωρήθηκε πρόσφατα βάσει της Οδηγίας (ΕΕ) 2018/850, η οποία επιβάλλει αυστηρότερους περιορισμούς όσον αφορά την υγειονομική ταφή, υποχρεώνοντας τα κράτη μέλη, έως το 2035, να διαθέτουν σε ΧΥΤΑ το 10% ή λιγότερο της συνολικής ποσότητας των αστικών αποβλήτων που παράγονται και απαγορεύοντας, παράλληλα, την υγειονομική ταφή των χωριστά συλλεγόμενων αποβλήτων που είναι κατάλληλα για ανακύκλωση και ανάκτηση, συμπεριλαμβανομένων των βιοαποβλήτων.

Το πρόβλημα που υπάρχει όσον αφορά τα απόβλητα που καταλήγουν στα ΧΥΤΑ είναι αρκετά διαδεδομένο και ειδικότερα στις αναπτυσσόμενες χώρες που προσπαθούν να επεκταθούν στο τομέα της ανακύκλωσης. Μια έρευνα που διεξάχθηκε στη Βολιβία στοχεύει να αντιμετωπίσει την ανακύκλωση της παιδικής πάνας μιας χρήσης που συνήθως απορρίπτεται στα ΧΥΤΑ. Η υπόθεση πίσω από αυτήν την έρευνα ήταν ότι η χρήση κόκκινων γαιοσκωλίκων από την Καλιφόρνια μαζί με κοπριά αγελάδας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατεργασία του βιοαποδομήσιμου κλάσματος της πάνας. Το Σχήμα 2-7 παρουσιάζει την πιλοτική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε. Μετά τη συλλογή, οι πάνες ανοίγονται και το πλαστικό μέρος διαχωρίζεται από το οργανικό κλάσμα (υπολείμματα κοπράνων και κυτταρινούχα πολυμερή). Το οργανικό κλάσμα ορίζεται ως το «υπόστρωμα». Τα πλαστικά μέρη αφαιρούνται από τις πάνες ενώ το οργανικό κλάσμα διαχωρίζεται και συλλέγεται σε ειδικά δοχεία. Τα πλαστικά

μέρη αναμιγνύονται με άμμο και τοποθετούνται σε μπουκάλια PET με σκοπό την κατασκευή τούβλων που χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση των κήπων. Αντιπροσωπεύει τον μόνο διαθέσιμο τοπικό τρόπο για ανακύκλωση πλαστικών, αν και θα πρέπει μελλοντικά να βρεθούν άλλες λύσεις.



Σχήμα 2-7: Σχηματική αναπαράσταση της διαδικασίας παραγωγής κομπόστ από πάνες μιας χρήσης.

Η έρευνα έδειξε ότι, χωρίς κοπριά αγελάδας, η αερόβια κατεργασία δεν λειτούργησε καλά. Η κοπριά της αγελάδας συνέβαλε στη βιολογική δραστηριότητα λόγω της βακτηριακής δράσης που υπάρχει στα περιττώματα. Σε αυτή την περίπτωση, η κοπριά αγελάδας θα μπορούσε να συγκριθεί ως ένα «εμβόλιο» που συμβάλει στη βελτίωση των συνθηκών ανοργανοποίησης. Συνολικά, περίπου 55–60 ημέρες απαιτούνται παγκοσμίως για την αποικοδόμηση της βιομάζας από την κοπριά αγελάδας και των γαισκωλήκων, ενώ περισσότερες από 70 ημέρες απαιτούνται για την επεξεργασία του υποστρώματος που αναμιγνύεται μόνο με κοπριά. Είναι σημαντική η παρουσία τόσο των γαισκωλήκων όσο και της κοπριάς για τη λήψη κομπόστ από χρησιμοποιημένες βρεφικές πάνες, βελτιστοποιώντας τον χρόνο επεξεργασίας και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Όπως φαίνεται παρακάτω (βλ. Σχήμα 2-8) η κοπριά αγελάδας και το υπόστρωμα δεν είναι διακρίσιμα αποδεικνύοντας την αποτελεσματικότητα της διαδικασίας κομποστοποίησης.



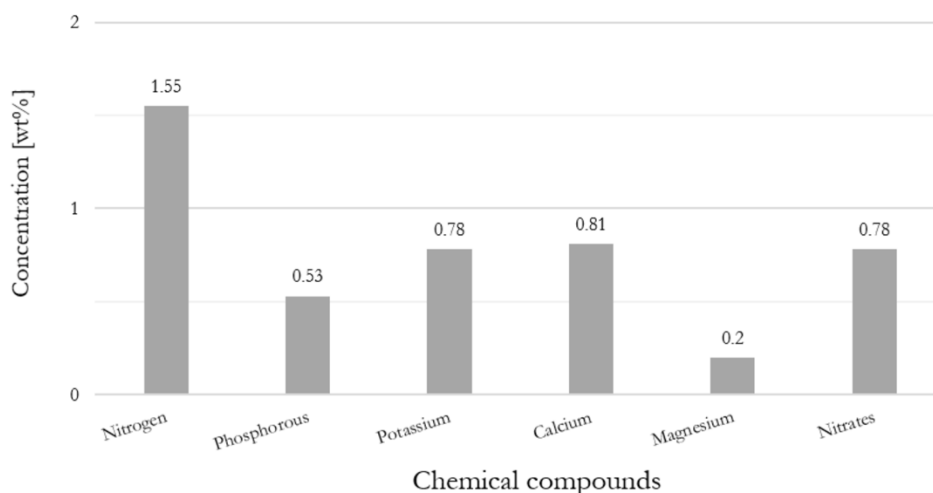
(a)



(b)

Σχήμα 2-8: Φωτογραφία από τα αποτελέσματα της πιλοτικής έρευνας (a) Κομπόστ που παράχθηκε μετά από την κατεργασία (b) Οι κόκκινοι γαιοσκώληκες από την Καλιφόρνια.

Τέλος, το παραγόμενο κομπόστ δείχνει μέσα από αναλύσεις να έχει και την κατάλληλη χημική σύσταση. Το Σχήμα 2-9 παρουσιάζει τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης του κομπόστ. Οι συγκεντρώσεις που λαμβάνονται μπορούν να συγκριθούν με άλλους τύπους κομπόστ καθώς και με άλλες βιομάζες που περιγράφονται σε περαιτέρω επιστημονικές έρευνες. Το κομπόστ με περισσότερο από 1% άζωτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως λίπασμα γεγονός που καθιστά το συγκεκριμένο κομπόστ κατάλληλο ως προς αυτή την χρήση. Αυτή η μελέτη αντιπροσωπεύει την πρώτη απόπειρα βερμικομπόστ για βρεφικές πάνες μιας χρήσης, προσφέροντας πολλά υποσχόμενα αποτελέσματα. Η βερμικομποστοποίηση με αγελαδινή κοπριά αναδεικνύεται ως βιώσιμη επιλογή ανακύκλωσης, προωθώντας βιώσιμες πρακτικές και συμβάλλοντας σε μια κυκλική οικονομία στις αναπτυσσόμενες περιοχές [38].



Σχήμα 2-9: Χημική σύσταση του παραγόμενου κομπόστ της πιλοτικής ανάλυσης στη Βολιβία

Η έρευνα που παρουσιάζεται σε αυτό το άρθρο παρείχε προκαταρκτικά αποτελέσματα ενός θέματος που εξακολουθεί να έχει ελάχιστα διερευνηθεί στην επιστημονική βιβλιογραφία. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την έρευνα μπορούν να υποστηρίξουν την εισαγωγή νέων συστημάτων ανακύκλωσης στις αναπτυσσόμενες αγροτικές περιοχές, που αντιπροσωπεύουν μια παγκόσμια πρόκληση. Στην Ελλάδα, η χωριστή συλλογή βιοαποβλήτων έχει υλοποιηθεί σε μικρή μόνο κλίμακα, μέσω της εφαρμογής περιορισμένων πιλοτικών προγραμμάτων οικιακής κομποστοποίησης, επιτόπιας κομποστοποίησης, διαλογής στην πηγή (ΔσΠ) και κομποστοποίησης υλικών ανακτημένων από εγκαταστάσεις ΜΒΕ [39]. Μια στρατηγική Οδηγία για τα βιοαπόβλητα μπορεί να συνεισφέρει στην εκπλήρωση των στόχων της Οδηγίας για την υγειονομική ταφή και να ενισχύσει τη συμμόρφωση με τις στρατηγικές για την πρόληψη και την ανακύκλωση αποβλήτων, για την προστασία του εδάφους, για την αειφόρο χρήση των φυσικών πόρων και να συμβάλει στην επίτευξη των στόχων του Ευρωπαϊκού Προγράμματος για την Κλιματική Αλλαγή. Επίσης, θα ήταν ένα σημαντικό εργαλείο προκειμένου να προωθηθούν συνεπείς στρατηγικές για την εκτροπή των βιοαποβλήτων από τους χώρους υγειονομικής ταφής. Η Οδηγία πρέπει να περιλαμβάνει κανονιστικές πτυχές (π.χ. συνθήκες για την εφαρμογή του κομπόστ κ.λπ.), αλλά κυρίως οδηγίες και στόχους που θα δημιουργήσουν ένα ασφαλές περιβάλλον που θα εξασφαλίσει μακροπρόθεσμα επιχειρηματικά σχέδια και επενδύσεις, στον τομέα των βιοαποβλήτων. Ένα σημαντικό ζήτημα που αντιμετωπίζουν οι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων, όταν η διαχείριση βιολογικών αποβλήτων γίνεται σε τοπικό επίπεδο, είναι η βιωσιμότητα και το κόστος των συστημάτων χωριστής συλλογής, τα οποία έχουν ρόλο κλειδί στην παραγωγή καλής ποιότητας κομπόστ, που απαιτείται ώστε να ικανοποιούνται οι αρχές των «ευεργετικών επιπτώσεων» και «πρόληψης της μόλυνσης» που αναφέρονται εκτενώς, στη στρατηγική για το έδαφος.

### 3. SAP – SUPER ABSORBENT POLYMER

Τα υπεραπορροφητικά πολυμερή υλικά (SAPs) είναι δίκτυα διασυνδεδεμένων πολυμερών που αποτελούνται από υδατοδιαλυτά δομικά στοιχεία. Τα πολυμερή αυτά αποτελούνται συνήθως από ιοντικά μονομερή και έχουν χαμηλή πυκνότητα σταυροδεσμών, επιτρέποντάς τους να απορροφούν μεγάλες ποσότητες υγρού (έως και 1000 φορές το βάρος τους). Είναι αξιοσημείωτο ότι αυτά τα υπεραπορροφητικά δίκτυα μπορούν να διατηρήσουν υδατικά διαλύματα έως εκατοντάδες φορές το βάρος τους, ακόμη και υπό πίεση. Είναι σημαντικό να επίσης να σημειωθεί πως υπάρχει διάκριση μεταξύ της υδρογέλης και των SAP, με τα SAP να έχουν μεγαλύτερη ικανότητα πρόσληψης υγρών σε σύγκριση με τα συμβατικά υδρογέλη (έως και 10 φορές το βάρος τους).

Το ιδανικό SAP πρέπει να πληροί πολλές απαιτήσεις, ανάλογα με την εφαρμογή του. Αυτά περιλαμβάνουν υψηλή ικανότητα απορρόφησης, ρυθμιζόμενο ρυθμό απορρόφησης, υψηλή απορροφητικότητα υπό φορτίο, υψηλό κλάσμα γέλης μετά από σταυροσύνδεση (που κυμαίνεται από 85% έως 95%), χαμηλό κόστος, εξαιρετική αντοχή και σταθερότητα κατά τη διόγκωση ή κατά τη διάρκεια αποθήκευσης (με επιθυμητή διάρκεια ζωής πολλών ετών), μη τοξικότητα και δυνατότητα επαναδιαβροχής, ικανότητα δηλαδή απελευθέρωσης απορροφημένου υγρού με την πάροδο του χρόνου [40].

Με βάση το πολυακρυλικό νάτριο το οποίο είναι ένα παράδειγμα υπερ-απορροφητικού πολυμερούς που περιέχει άτομα νατρίου θα γίνει περιγραφή του τρόπου με τον οποίο απορροφάει το νερό. Αυτό συμβαίνει με μια διαδικασία που ονομάζεται ώσμωση. Όταν το πολυμερές έρχεται σε επαφή με το νερό, υπάρχει η τάση το νάτριο να κατανέμεται ισόποσα μεταξύ του δικτύου και του νερού. Αυτό σημαίνει ότι ορισμένα από τα άτομα νατρίου θέλουν να φύγουν από το δίκτυο και να μετακινηθούν στο νερό. Όταν αυτά τα άτομα νατρίου φύγουν, αντικαθίστανται με μόρια νερού. Το νερό διογκώνει το δίκτυο του πολυμερούς για να προσπαθήσει να διατηρήσει ισορροπημένη τη συγκέντρωση νατρίου μεταξύ του πολυμερούς και του νερού. Οι διασταυρώσεις που συνδέουν τις αλυσίδες μεταξύ τους εμποδίζουν τη διάλυσή τους στο νερό. Αυτή η διαδικασία μπορεί να εξηγήσει και γιατί το πολυακρυλικό νάτριο μπορεί να απορροφήσει 800 φορές το βάρος του σε απιονισμένο νερό, αλλά μόνο 300 φορές το βάρος του σε νερό βρύσης, καθώς το νερό της βρύσης περιέχει νάτριο, ασβέστιο και άλλα μεταλλικά άλατα [41].



Σχήμα 3-1: Το SAP χωρίς την παρουσία νερού (αριστερά) και το SAP διογκωμένο (δεξιά)

### 3.1 Ιδιότητες και κατηγορίες SAP

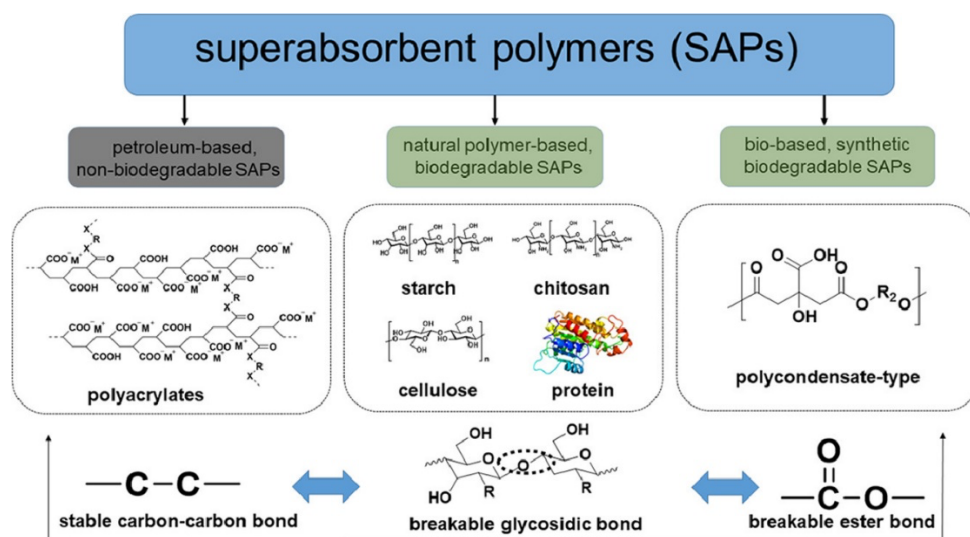
Το υπεραπορροφητικό πολυμερές (SAP) είναι ένας ευρύς όρος που περιλαμβάνει διάφορους τύπους πολυμερών με διαφορετικές χημικές συνθέσεις, όπως πολυακρυλικό νάτριο και πολυακρυλικό κάλιο. Τυπικά, το πολυακρυλικό νάτριο παράγεται με πολυμερισμό υδροξειδίου του νατρίου και ακρυλικού οξέος. Διαφορετικοί τύποι υπεραπορροφητικών πολυμερών παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις σε βασικές παραμέτρους όπως ο ρυθμός απορρόφησης νερού, η χωρητικότητα και ο ρυθμός κατακράτησης νερού της φυγοκέντρωσης, οι οποίοι επηρεάζονται από τη σύνθεση και τις μεθόδους παραγωγής τους.

Για την κάλυψη των γεωργικών αναγκών για παράδειγμα, η πρώτη ύλη μπορεί να μετατραπεί από υδροξείδιο νατρίου σε υδροξείδιο του καλίου, με αποτέλεσμα το σχηματισμό μιας υδατοαπορροφητικής ρητίνης τύπου πολυακρυλικού καλίου. Αυτό όχι μόνο μετριάξει τον κίνδυνο αλάτωσης του εδάφους από προϊόντα αποσύνθεσης όπως τα ιόντα νατρίου, αλλά επίσης ενισχύει την περιεκτικότητα του εδάφους σε κάλιο. Συνοπτικά, το υπεραπορροφητικό πολυμερές περιλαμβάνει κάτι περισσότερο από το πολυακρυλικό νάτριο. Μπορεί επίσης να περιλαμβάνει πολυακρυλικό κάλιο και διάφοραμπολιασμένα απορροφητικά πολυμερή, όπως αυτά που έχουν σχεδιαστεί με σκοπό να είναι βιοαποικοδομήσιμα όπως για παράδειγμα το SAP-αμύλου (βλ. Σχήμα 3-2).

Το SAP ταξινομείται σε δύο κύριους τύπους: πολυακρυλικό κάλιο και πολυακρυλικό νάτριο. Το πολυακρυλικό κάλιο χρησιμοποιείται συνήθως για την ενίσχυση της ικανότητας απορρόφησης του εδάφους και διατίθεται σε κοκκώδη μορφή, είναι ανθεκτικό στη φωτόλυση και έχει μεγάλη περίοδο ισχύος. Ενώ, το πολυακρυλικό νάτριο βρίσκεται εκτεταμένη εφαρμογή σε προϊόντα υγιεινής όπως πάνες και σερβιέτες υγείας, που χαρακτηρίζεται από τον γρήγορο



ρυθμό απορρόφησης του, την ικανότητα να διατηρεί την απορρόφηση υπό πίεση και την ικανότητα συγκράτησης μετά τη φυγοκέντρωση, καθώς και τη διαπερατότητα υγρών και την περιεκτικότητά του σε υπολειμματικά μονομερή.



Σχήμα 3-2: Κατηγορίες SAP

### 3.2 Εφαρμογές SAP

Το υπεραπορροφητικό πολυμερές SAP ή υπεραπορροφητικό υλικό SAM, χρησιμοποιείται σε μια ευρεία γκάμα εφαρμογών τόσο για την καταναλωτική όσο και για τις βιομηχανικές αγορές λόγω της απίστευτης ανταπόκρισης που έχει όταν έρχεται σε επαφή με το νερό και με υδατικά διαλύματα. Αρχικά αναπτύχθηκε από το Υπουργείο Γεωργίας των ΗΠΑ στη δεκαετία του 1960 για να ενισχύσει την κατακράτηση νερού στο έδαφος.

Αυτά τα καινοτόμα υπεραπορροφητικά πολυμερή αποδείχθηκαν εξαιρετικά αποτελεσματικά όχι μόνο στη γεωργία αλλά και σε προϊόντα προσωπικής υγιεινής μιας χρήσης. Κατά συνέπεια, ενσωματώθηκαν για πρώτη φορά στις σερβιέτες το 1978 και στις πάνες μωρών το 1982. Το πολυακρυλικό νάτριο είναι το κύριο συστατικό στις βρεφικές πάνες και μπορεί να απορροφήσει περίπου 30 φορές το βάρος του σε ούρα. Από τότε, τα υπεραπορροφητικά πολυμερή έχουν γίνει βασικό στοιχείο στη βιομηχανία υγιεινής, με περίπου 3 εκατομμύρια τόνους να παράγονται ετησίως. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε σερβιέτες γυναικείας υγιεινής, πάνες για βρέφη και ενήλικες και άλλα προϊόντα ακράτειας [42].

Λόγω της εξαιρετικής ικανότητας απορρόφησης νερού, του γρήγορου ρυθμού απορρόφησης και της ελάχιστης εκκένωσης του απορροφημένου νερού υπό πίεση, το υπεραπορροφητικό πολυμερές έχει βρει εφαρμογή σε διάφορα βιομηχανικά προϊόντα όπως επιδέσμους τραυμάτων, χειρουργικά επιθέματα, τζελ, επιβραδυντικά φωτιάς και πρόσθετα τροφίμων. Η παγκόσμια αγορά SAP έφτασε τους περίπου 2,3 εκατομμύρια μετρικούς τόνους το 2020,

υποδηλώνοντας σημαντική αύξηση στην ημερήσια διάθεση των απορριμμάτων SAP. Δεδομένου ότι το SAP είναι συνήθως εγγενώς μη βιοαποδομήσιμο, αυτά τα απόβλητα προκαλούν σημαντική περιβαλλοντική ανησυχία, υπογραμμίζοντας την επείγουσα ανάγκη για χρήση περισσότερο των φιλικών προς το περιβάλλον και βιοαποικοδομήσιμων SAP ή την ανάκτηση και επαναχρησιμοποίησή των μη βιοαποικοδομήσιμων.

### 3.3 Ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση του SAP

Τα υπεραπορροφητικά πολυμερή συνήθως απορροφούν την υγρασία ως αποτέλεσμα της διάστασης των ιόντων νατρίου σε ένα υγρό, τα άτομα οξυγόνου των καρβοξυλομάδων στο υπεραπορροφητικό πολυμερές παίρνουν αρνητικό φορτίο και το νερό έλκεται από τα άτομα οξυγόνου που έχουν αρνητικό φορτίο. Ωστόσο, εάν σε ένα υγρό υπάρχουν κατιόντα μετάλλων αλκαλικών γαιών ή μετάλλων μεταπτώσεως με σθένος 2 ή περισσότερο τα άτομα οξυγόνου καρβοξυλικών ομάδων στο υπεραπορροφητικό πολυμερές συνδέονται με αυτά τα κατιόντα με αποτέλεσμα την απώλεια της απορροφητικότητας της υγρασίας. Δηλαδή, με επεξεργασία με ένα υδατικό πολυσθενές διάλυμα άλατος μετάλλου, απελευθερώνεται νερό από το υπεραπορροφητικό πολυμερές, δηλαδή το υπεραπορροφητικό πολυμερές μπορεί να αφυδατωθεί.

Έχουν διεξαχθεί μελέτες για μεθόδους ανάκτησης και ανακύκλωσης υπεραπορροφητικών πολυμερών, SAP, από χρησιμοποιημένα απορροφητικά προϊόντα και την επαναφορά της ικανότητάς τους να απορροφούν υγρασία, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν ξανά. Σύμφωνα με το έγγραφο ευρεσιτεχνίας [43] η πιο διαδεδομένη μέθοδος περιλαμβάνει την προσθήκη ενός άλατος μετάλλου μεταπτώσεως ή ενός μίγματος αλάτων μετάλλων μεταπτώσεως, αλάτων μετάλλων αλκαλίων ή αλάτων μετάλλων αλκαλικών γαιών σε ένα μίγμα γέλης ενός συστατικού πάστας και ενός υπεραπορροφητικού πολυμερούς. Στη συνέχεια, το υπεραπορροφητικό πολυμερές υποβάλλεται σε επεξεργασία για την απομάκρυνση της υγρασίας, ενώ ταυτόχρονα συρρικνώνεται και στερεοποιείται μαζί με χρωματισμό από το άλας μετάλλου μετάπτωσης. Έπειτα, τα συστατικά του μείγματος διαχωρίζονται και ανακτώνται. Το αλάτι που χρησιμοποιείται ανακτάται μέσω επεξεργασίας με οξύ, ενώ το υπεραπορροφητικό πολυμερές υφίσταται αλκαλική επεξεργασία ακολουθούμενη από επεξεργασία με οξύ και τελικά ξήρανση για την επαναχρησιμοποίησή του.

Εάν το υπεραπορροφητικό πολυμερές αφεθεί να ξηραθεί πριν από το στάδιο επεξεργασίας με το διάλυμα άλατος αλκαλικού μετάλλου, υπάρχει ο κίνδυνος να είναι δύσκολο να αποκατασταθεί η απορροφητικότητα υγρασίας του υπεραπορροφητικού πολυμερούς.

Παραδείγματα αλάτων αλκαλικών μετάλλων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν περιλαμβάνουν υδατοδιαλυτά άλατα λίθου, νατρίου, καλίου, ρουβιδίου και καισίου. Γενικά προτιμώνται τα άλατα όπως χλωριούχο νάτριο, χλωριούχο κάλιο, νιτρικό νάτριο, νιτρικό κάλιο, θειικό νάτριο και θειικό κάλιο, και μεταξύ αυτών.

Τα ανακτημένα υπεραπορροφητικά πολυμερή μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διάφορες εφαρμογές, όπως στους πυρήνες απορροφητικών προϊόντων καθώς και βιομηχανικών απορροφητικών προϊόντων όπως σε υλικά στεγανοποίησης από νερό, σε ιατρικό εξοπλισμό, σε διατήρηση φρεσκάδας τροφίμων όπως για παράδειγμα για υλικά που απορροφούν την υγρασία από τα τρόφιμα. Στα ανακτημένα υπεραπορροφητικά πολυμερή υπάρχει ο κίνδυνος να παραμείνει οξύ ή βάση σε περίπτωση που δεν εξουδετερωθεί πλήρως κατά τη διάρκεια της αλκαλικής επεξεργασίας μετά την όξινη επεξεργασία. Στην περίπτωση αυτή που περιέχει υπολειμματικό οξύ ή βάση σε πάνα μιας χρήσης ή άλλο απορροφητικό προϊόν, μπορεί να προκαλέσει ερεθισμό του δέρματος στον χρήστη.

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

## ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της δυνατότητας διαχωρισμού των διαφορετικών στρώσεων των βρεφικών πανών καθώς και παραλαβής δευτερογενών προϊόντων όπως πολυμερή (PP- πολυπροπυλένιο, PE- πολυαιθυλένιο, SAP-Superabsorbent polymer) και βιο-αιθανόλη από το κυτταρινούχο στρώμα των βρεφικών πανών. Τα στάδια επεξεργασίας περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων τεμαχισμό, αφυδάτωση του υπερ-απορροφητικού πολυμερούς, σακχαροποίηση κυτταρινούχων συστατικών, και αλκοολική ζύμωση. Στην παρούσα έρευνα διεξήχθησαν πειράματα για την διάσπαση της πάνας στα διάφορα στρώματα που περιλαμβάνει χρησιμοποιώντας κατάλληλο διαλύτη, δοκιμές αφυδάτωσης του ενυδατωμένου SAP μέσω της χρήσης διαλυμάτων αλατιού διαφόρων συγκεντρώσεων, επεξεργασία της πάνας με σκοπό την παραγωγή της γλυκόζης από τα κυτταρινούχα συστατικά και τέλος η παραγωγή βιοαιθανόλης. Σε κάθε περίπτωση οι αναλύσεις και οι χαρακτηρισμοί πραγματοποιήθηκαν χρησιμοποιώντας πρότυπες μεθόδους ανάλυσης, οι οποίες θα αναλυθούν παρακάτω. Σημαντικό είναι να διευκρινισθεί ότι στην συγκεκριμένη διπλωματική πραγματοποιήθηκε προσπάθεια επεξεργασίας της πάνας χωρίς την περιεκτικότητα οργανικών αποβλήτων. Η επεξεργασία και διαχείριση της χρησιμοποιημένης πάνας είναι ένα πεδίο που αναμένει περαιτέρω πειραματική και επιστημονική έρευνα.

## 4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Το βαμβάκι (κυτταρινούχος πολτός) της πάνας χαρακτηρίστηκε ως προς τις παρακάτω παραμέτρους:

- Υδατοδιαλυτά στερεά (WS)
- Ελεύθερη γλυκόζη
- Κυτταρίνη
- Ήμι-κυτταρίνη
- Λιγνίνη

### 4.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

#### 4.1.1 Προσδιορισμός υδατοδιαλυτών στερεών (WS)

Για τον προσδιορισμό των ολικών υδατοδιαλυτών στερεών αρχικά λαμβάνονται 625 mg από την πρώτη ύλη. Αυτά τοποθετούνται μαζί με 25 mL απιονισμένου νερού σε γυάλινα μπουκαλάκια τα οποία σφραγίζονται. Στη συνέχεια, τα γυάλινα μπουκαλάκια τοποθετούνται στο ανακινούμενο υδατόλουτρο IKA KS 30001 control (Σχήμα 4-1) σε θερμοκρασία 50 °C και ταχύτητα ανάδευσης 130 rpm για 1 ώρα.



Σχήμα 4-1: Ανακινούμενο υδατόλουτρο IKA KS 30001 control.

Μετά το πέρας της 1 ώρας, τα δείγματα φυγοκεντρούνται (Σχήμα 4-2) και διηθούνται για να συλλεχθεί η στερεή και η υγρή φάση. Η στερεή φάση των δειγμάτων ζυγίζεται και τοποθετείται σε προζυγισμένα ποτήρια ζέσεως, τα οποία μπαίνουν στον φούρνο ξήρανσης στους 50 °C για 24 ώρες. Μετά το πέρας των 24 ωρών, τα δείγματα τοποθετούνται στον αφυγραντήρα για περίπου 15 λεπτά και ακολούθως ζυγίζονται. Συλλέγεται η υγρή φάση των δειγμάτων, ώστε να μετρηθεί η ελεύθερη γλυκόζη με GOD/PAP.



Σχήμα 4-2: Φυγόκεντρος IEC CENTRA CL2.

Τα ολικά υδατοδιαλυτά στερεά υπολογίζονται σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\%WS = \left( \frac{m_i - m_f}{m_i} \right) \cdot 100$$

$$m_i = m_2 - m_1$$

$$m_f = m_3 - m_1$$

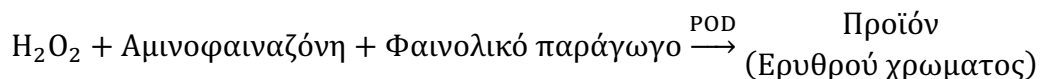
όπου:

$m_i$  = αρχική μάζα στερεού ξηρού δείγματος.

$m_f$  = τελική μάζα στερεού μετά το πέρας 24 ωρών στους 50 °C .

#### 4.1.2 Προσδιορισμός Ελεύθερης Γλυκόζης

Η μέθοδος προσδιορισμού της γλυκόζης βασίζεται στη μετατροπή της γλυκόζης σε ένα προϊόν ερυθρού χρώματος, που είναι αποτέλεσμα της διαδοχικής δράσης των ενζύμων οξειδάση και υπεροξειδάση της γλυκόζης. Αρχικά, η γλυκόζη με τη δράση της οξειδάσης μετατρέπεται σε γλυκονικό οξύ με ταυτόχρονη παραγωγή υπεροξειδίου του υδρογόνου. Στη συνέχεια, το υπεροξείδιο του υδρογόνου παρουσία αμινοφαιναζόνης και κάποιου φαινολικού παραγώγου με τη δράση της υπεροξειδάσης μετατρέπεται σε κάποιο προϊόν ερυθρού χρώματος το οποίο παρουσιάζει μέγιστη απορρόφηση στα 510 nm. Οι 2 αντιδράσεις που αναφέρθηκαν παρουσιάζονται παρακάτω (GOD=οξειδάση, POD=υπεροξειδάση):



Το διάλυμα εργασίας παρασκευάζεται μεταφέροντας ποσοτικά ένα φιαλίδιο ενζύμων σε ένα φιαλίδιο ρυθμιστικού διαλύματος και είναι σταθερό 45 ημέρες στους 4 °C.

#### 4.1.2.1 Κατασκευή καμπύλης αναφοράς με τη μέθοδο GOD/PAP

Για τον προσδιορισμό της ελεύθερης γλυκόζης με τη μέθοδο GOD/PAP κατασκευάζεται πρώτα η καμπύλη αναφοράς της γλυκόζης, με την εν λόγω μέθοδο.

Τα βήματα κατασκευής της καμπύλης αναφοράς με τη μέθοδο DNS είναι τα ακόλουθα:

- Χρησιμοποιείται πρότυπο διάλυμα γλυκόζης 1 g/L. Πραγματοποιούνται αραιώσεις του παραπάνω διαλύματος με απιονισμένο νερό, έτσι ώστε να προκύψουν διαλύματα γλυκόζης 0.25, 0.5, 0.75 g/L.
- Σε 8 δοκιμαστικούς σωλήνες (δύο για κάθε συγκέντρωση γλυκόζης) προστίθενται 2 ml διαλύματος εργασίας και 0.1 ml από το κάθε διάλυμα γλυκόζης.
- Στη συνέχεια σε δύο ακόμα δοκιμαστικούς σωλήνες προστίθενται 2 ml διαλύματος εργασίας και 0.1 ml απιονισμένου νερού (τυφλό).
- Όλοι οι δοκιμαστικοί σωλήνες επωάζονται σε υδατόλουτρο θερμοκρασίας 37 °C για 10 min.
- Επιλέγεται στο φωτόμετρο (Σχήμα 4-3) το μήκος κύματος των 510 nm. Το όργανο μηδενίζεται με απιονισμένο νερό, οι δοκιμαστικοί σωλήνες αναδεύονται στη συσκευή Vortex- Genie 2, της εταιρείας Scientific Industries, και μετρούνται οι απορροφήσεις των διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης.



Σχήμα 4-3: Φωτόμετρο Spectroquant Pharo 300 Merck.

Από την εξίσωση της καμπύλης λαμβάνεται ο συντελεστής που μετατρέπει την απορρόφηση γλυκόζης στα 510 nm σε συγκέντρωση.

Για τον προσδιορισμό της ελεύθερης γλυκόζης στα προς μελέτη υλικά άγνωστης συγκέντρωσης, χρησιμοποιήθηκαν τα διηθήματα που προέκυψαν μετά από την ενζυμική υδρόλυση των δειγμάτων. Στα διηθήματα αυτά, αρχικά πραγματοποιήθηκε πραγματοποιείται η κατάλληλη αραιώση ανάλογα το υπόστρωμα. Στη συνέχεια, προστέθηκαν σε δοκιμαστικούς σωλήνες 2 mL διαλύματος εργασίας και 0.1 mL διηθήματος από κάθε αραιωμένο διάλυμα. Για



την παρασκευή του τυφλού, προστέθηκαν σε δοκιμαστικό σωλήνα 2 mL διαλύματος εργασίας και 0.1 mL απιονισμένου νερού. Ακολούθως, οι δοκιμαστικοί σωλήνες τοποθετήθηκαν για επώαση στο υδατόλουτρο σε θερμοκρασία 37°C για 10 λεπτά.

Μετά το πέρας της επώασης κάθε ένας δοκιμαστικός σωλήνας αναδεύεται στη συσκευή Vortex-Genie 2 και ακολουθεί η φωτομέτρηση, στο φωτόμετρο (Σχήμα 4-3) σε μήκος κύματος 510 nm. Το φωτόμετρο πριν την έναρξη της φωτομέτρησης των δειγμάτων μηδενίστηκε με απιονισμένο νερό.

*Σημείωση: Η παρουσία γλυκόζης στο δείγμα φαίνεται στον χρωματισμό του σακχάρου από άχρωμο σε ελαφρύ ροζ κατά την προσθήκη δείγματος. Στην περίπτωση που το δείγμα δε χρωματιζόταν αυτό θα σήμαινε ή ότι το δείγμα δεν περιείχε γλυκόζη ή ότι η γλυκόζη έχει καταναλωθεί από μικροοργανισμούς αν τυχόν το διήθημα είχε μείνει αρκετή ώρα εκτός ψυγείου.*

Τέλος, η ελεύθερη γλυκόζη υπολογίζεται με βάση τη σχέση που ακολουθεί:

$$\text{Ελεύθερη γλυκόζη (\% w/w)} = \frac{0.6254 \cdot \text{ABS}_{\text{mean}} \cdot D \cdot V \cdot 10^{-3}}{\text{Initial Solid}} \cdot 100$$

όπου:

$\text{ABS}_{\text{mean}}$  = ο μέσος όρος απορρόφησης.

D = η αραίωση που έχει πραγματοποιηθεί στο διάλυμα (D=1 όταν το διάλυμα παραμένει χωρίς αραίωση, D=10 όταν η αραίωση είναι 1/10).

V = ο συνολικός όγκος του διηθήματος.

Initial solid: η αρχική μάζα του δείγματος.

#### 4.1.3 Προσδιορισμός Κυτταρίνης

Η διαδικασία προσδιορισμού κυτταρίνης πραγματοποιείται στην όξινη υδρόλυση του στερεού υπολείμματος που προέκυψε από τον προσδιορισμό των ολικών υδατοδιαλυτών στερεών (WS).

##### 4.1.3.1 Όξινη Υδρόλυση

1. Λαμβάνονται 100 mg από την πρώτη ύλη και τοποθετούνται σε γυάλινα μπουκαλάκια. Εκεί προστίθενται 3 mL H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 72% w/w.
2. Τα γυάλινα μπουκαλάκια σφραγίζονται και τοποθετούνται σε ανακινούμενο υδατόλουτρο σε θερμοκρασία 30°C και ταχύτητα ανάδευσης 150 rpm για 1 ώρα.
3. Μετά το πέρας 1 ώρας προστίθενται σε κάθε μπουκαλάκι 84 mL απιονισμένου νερού και τα δείγματα τοποθετούνται στον αποστειρωτή ISOLAB Laborgerate GmbH Autoclave

Σχήμα 4-4 για μία ώρα και σε θερμοκρασία 121°C. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο αποστειρωτής.

4. Μετά την αποστείρωση, τα δείγματα αφήνονται να έρθουν σε θερμοκρασία δωματίου και στη συνέχεια διηθούνται. Τα διηθήματα αποθηκεύονται σε falcon tubes των 50 mL, ενώ τα στερεά υπολείμματα σε πορσελάνινες προζυγισμένες κάψες. Από το υπερκείμενο υγρό προσδιορίζεται η διαλυτή λιγνίνη με φωτομέτρηση στα 320 nm, ενώ από το στερεό που συλλέγεται στις κάψες μπορούν να προσδιοριστούν τα μη διαλυτά σε οξύ υπολείμματα.



Σχήμα 4-4: Κλίβανος αποστείρωσης ISOLAB Laborgerate GmbH Autoclave

#### 4.1.3.2 Εξουδετέρωση

1. Από τα διηθήματα που προκύπτουν από την όξινη υδρόλυση λαμβάνονται 20 mL από το καθένα και εξουδετερώνονται υπό ανάδευση, με χρήση  $\text{CaCO}_3$  (περίπου 0,81 g) έως ότου το pH να κυμαίνεται μεταξύ 5 και 6.
2. Μετά την εξουδετέρωση τα δείγματα αφήνονται να ηρεμήσουν και συλλέγεται το υπερκείμενο υγρό μέσω φυγοκέντρησης.

Το υπερκείμενο υγρό κάθε δείγματος αραιώνεται κατάλληλα και ακολουθεί η μέθοδος προσδιορισμού της ελεύθερης γλυκόζης GOD/PAP (βλ. [Κεφάλαιο 4.1.2](#)). Από το υπερκείμενο υγρό λαμβάνονται 0,1 mL τα οποία τοποθετούνται σε γυάλινα φιαλίδια, στα οποία προστίθενται και 2 mL αντιδραστηρίου σακχάρου. Ακολούθως, τα φιαλίδια τοποθετούνται στο υδατόλουτρο σε θερμοκρασία 37 °C για 10 λεπτά. Τέλος, λαμβάνει χώρα φωτομέτρηση σε μήκος κύματος 510 nm.

Οι μετρούμενες απορροφήσεις εισάγονται στη κατασκευασμένη καμπύλη αναφοράς της γλυκόζης με τη μέθοδο GOD/PAP και υπολογίζεται το ποσοστό γλυκόζης με την παρακάτω σχέση:

$$Total\ gluc\ (\% w/w) = \frac{0,6254 \cdot ABS_{mean} \cdot D \cdot 86,73 \cdot 10^{-3}}{Initial\ Solid} \cdot \frac{100}{0,897}$$

Όπου:

*ABS<sub>mean</sub>*: ο μέσος όρος απορρόφησης

*D*: αραίωση

86.73 (mL): προκαθορισμένη τιμή συνολικού όγκου

*Initial Solid*: η μάζα του δείγματος που λήφθηκε από τα στερεά υπολείμματα που προέκυψαν κατά τον προσδιορισμό της κυτταρίνης

0.897: συντελεστής διόρθωσης της συγκέντρωσης της γλυκόζης

Τέλος το ποσοστό της κυτταρίνης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Κυτταρίνη\ (\% w/w) = Total\ gluc\ (\% w/w) \cdot \frac{Mr, cellulose}{Mr, glucose}$$

Όπου:

$$\frac{Mr, cellulose}{Mr, glucose} = \frac{162}{180} = 0,9$$

#### 4.1.4 Προσδιορισμός Ημικυτταρίνης

Για τον προσδιορισμό της ημικυτταρίνης ακολουθείται η διαδικασία προσδιορισμού αναγωγικών σακχάρων (βλ. [Κεφάλαιο 4.1.4.1](#) και [Κεφάλαιο 4.1.4.2](#)). Από το υπερκείμενο υγρό που προέκυψε μετά την εξουδετέρωση κατά τον προσδιορισμό της κυτταρίνης λαμβάνονται 0,5 mL από κάθε δείγμα και τοποθετούνται σε γυάλινα φιαλίδια. Σε αυτά προστίθενται 0,5 mL αντιδραστηρίου DNS και τα δείγματα αφήνονται σε βραστό νερό για 5 λεπτά. Μετά, προστίθενται 4 mL νερού στο καθένα και ακολουθεί φωτομέτρηση σε μήκος κύματος 540 nm.

Οι μετρούμενες απορροφήσεις εισάγονται στην κατασκευασμένη καμπύλη αναφοράς της ημικυτταρίνης και στη συνέχεια με βάση τις σχέσεις που ακολουθούν προσδιορίζεται η συγκέντρωση ημικυτταρίνης.

Αρχικά υπολογίζεται η απορρόφηση της ξυλόζης στα 540nm:

$$ABS_{xyl} = ABS_{hcell} - ABS_{glu}$$

$$ABS_{glu} = 0.6591 \cdot C_{glu}$$

*ABS<sub>xyl</sub>*: η απορρόφηση της ξυλόζης σε μήκος κύματος 540 nm

*ABShcell*: η απορρόφηση σε μήκος κύματος 540 nm, η οποία μετρήθηκε στο συγκεκριμένο στάδιο

*Cglu*: συγκέντρωση γλυκόζης που μετρήθηκε στον προσδιορισμό της κυτταρίνης

*ABSglu*: η απορρόφηση στα 540 nm που προκύπτει εισάγοντας την *Cglu*, στην καμπύλη αναφοράς γλυκόζης με τη μέθοδο DNS (βλ. [Κεφάλαιο 4.1.4.2](#))

Κατόπιν υπολογίζεται η συγκέντρωση ξυλόζης:

$$Total\ xylose\ (mg/mL) = \frac{1,4268 \cdot ABS_{xyl}}{0,86}$$

Όπου:

0,86: συντελεστής διόρθωσης της συγκέντρωσης της ξυλόζης

Τέλος, η ποσότητα της ημικυτταρίνης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Ημικυτταρίνη\ (\% w/w) = \frac{(Total\ xylose) \cdot \left(\frac{Mr, hcell}{Mr, xylose}\right) \cdot 86,73}{Initial\ Solid} \cdot 100$$

Όπου:

$$\left(\frac{Mr, hcell}{Mr, xylose}\right) = \frac{132}{150}$$

86,73 (mL): προκαθορισμένη τιμή του συνολικού όγκου

Initial Solid (mg): η μάζα του δείγματος που λήφθηκε από τα στερεά υπολείμματα κατά τον προσδιορισμό της κυτταρίνης.

#### 4.1.4.1 Παρασκευή διαλύματος 3,5-δινιτροσαλικυλικού οξέος (DNS)

1. Παρασκευάζεται υδατικό διάλυμα NaOH συγκέντρωσης 22.86 g/L και όγκου 700 mL.
2. Στο διάλυμα NaOH (στάδιο 1) προστίθενται 10g άνυδρου 3,5-δινιτροσαλικυλικού οξέος (αν το αντιδραστήριο είναι ένυδρο υπολογίζεται η ανάλογη ποσότητα).
3. Το προκύπτον διάλυμα τίθεται υπό ανάδευση και ελαφρά θέρμανση μέχρι την πλήρη διάλυση του 3,5-δινιτροσαλικυλικού οξέος.
4. Στο προκύπτον διάλυμα του σταδίου 2 προστίθενται σταδιακά 300 g άνυδρου τρυγικού καλιονατρίου (αν το αντιδραστήριο είναι ένυδρο υπολογίζεται η ανάλογη ποσότητα). Το διάλυμα εξακολουθεί να αναδεύεται υπο ελαφρά θέρμανση.
5. Μετά την ολοκλήρωση της προσθήκης του τρυγικού καλιονατρίου και την πλήρη διάλυσή του, το προκύπτον διάλυμα ογκομετρείται μέχρι το 1L (με χρήση της κατάλληλης ογκομετρικής φιάλης).
6. Το τελικό διάλυμα φυλάσσεται σε φιάλη σκούρου χρώματος, σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και ο χρόνος ζωής του είναι περίπου 6 μήνες.

#### 4.1.4.2 Κατασκευή καμπύλης αναφοράς γλυκόζης και ξυλόζης

1. Χρησιμοποιείται πρότυπο διάλυμα γλυκόζης συγκέντρωσης 2 g/L. Πραγματοποιούνται αραιώσεις του παραπάνω διαλύματος με απιονισμένο νερό έτσι ώστε να προκύψουν διαλύματα γλυκόζης τελικής συγκέντρωσης 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 και 2.0 g/L.
2. Σε δοκιμαστικούς σωλήνες προστίθενται 0,5 mL διαλύματος 3,5-δινιτροσαλικυλικού οξέος και 0,5 mL από το κάθε διάλυμα γλυκόζης (διπλά δείγματα). Τα προκύπτοντα διαλύματα αναμιγνύονται καλά σε συσκευή Vortex.
3. Σε δύο ακόμα δοκιμαστικούς σωλήνες προστίθενται 0,5 mL απιονισμένου νερού και 0,5 mL διαλύματος 3,5-δινιτροσαλικυλικού οξέος.
4. Όλοι οι δοκιμαστικοί σωλήνες τοποθετούνται σε νερό που βράζει. Μετά από ακριβώς 5 min απομακρύνονται οι δοκιμαστικοί σωλήνες από το νερό και προστίθενται σε κάθε ένα από αυτούς 4 mL απιονισμένο νερό.
5. Επιλέγεται στο φωτόμετρο το μήκος κύματος των 540 nm. Μηδενίζεται το όργανο με το διάλυμα που περιέχει το απιονισμένο νερό και μετρώνται οι απορροφήσεις των διαλυμάτων γνωστής συγκέντρωσης γλυκόζης.
6. Υπολογίζονται οι μέσοι όροι των λαμβανόμενων απορροφήσεων και κατασκευάζεται η καμπύλη αναφοράς της γλυκόζης (απορρόφηση ως προς την αντίστοιχη συγκέντρωση του πρότυπου διαλύματος). Υπολογίζεται η βέλτιστη ευθεία με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων.

Για τον προσδιορισμό της καμπύλης αναφοράς της ξυλόζης χρησιμοποιήθηκε διάλυμα ξυλόζης 2 g/L, και πραγματοποιήθηκαν αραιώσεις με απιονισμένο νερό, έτσι ώστε να προκύψουν διαλύματα γλυκόζης τελικής συγκέντρωσης 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 και 2.0 g/L.

#### 4.1.5 Προσδιορισμός Λιγνίνης

##### 4.1.5.1 Διαλυτή Λιγνίνη

Από το υπερκείμενο υγρό που προέκυψε μετά την όξινη υδρόλυση κατά τον προσδιορισμό της κυτταρίνης (βλ. [Κεφάλαιο 4.1.3](#)) λαμβάνονται 5 mL από κάθε δείγμα και στη συνέχεια τα δείγματα υφίστανται φωτομέτρηση σε μήκος κύματος 320 nm (Προτείνεται ανάλογη αραιώση στα δείγματα).

Στη συνέχεια με βάση τις σχέσεις που ακολουθούν προσδιορίζεται η συγκέντρωση λιγνίνης:

$$\text{Λιγνίνη (\% w/w)} = \left( \frac{ABS_{mean} \cdot D \cdot 0,08673}{\varepsilon \cdot \text{Initial Solid} \cdot \text{Pathlength}} \right) \cdot 100$$

ABS<sub>mean</sub>: ο μέσος όρος απορρόφησης

D: η αραίωση που έχει πραγματοποιηθεί στο διάλυμα

86,73 (mL): προκαθορισμένη τιμή συνολικού όγκου

Initial Solid (g): η μάζα του δείγματος που λήφθηκε από τα στερεά υπολείμματα που προέκυψαν κατά τον προσδιορισμό της κυτταρίνης

Pathlength (cm): το μήκος διαδρομής της ακτινοβολίας – μήκος κυψελίδας (1 cm)

ε: σταθερά που εξαρτάται από το είδος της πρώτης ύλης και το μήκος κύματος της φωτομέτρησης ( $\epsilon = 30L/(g \cdot cm)$ ) για οργανική ύλη στα 320 nm)

#### 4.1.5.1 Μη διαλυτή Λιγνίνη

Οι πορσελάνινες κάψες με τα στερεά υπολείμματα που έχουν προκύψει κατά τον προσδιορισμό της κυτταρίνης τοποθετούνται στο φούρνο ξήρανσης στους 105 °C για 24 ώρες. Μετά το πέρας των 24 ωρών αφήνονται στον αφυγραντήρα για περίπου 15 λεπτά και κατόπιν ζυγίζονται. Στη συνέχεια, τοποθετούνται στο φούρνο στους 575 °C για 24 ώρες. Μετά το πέρας των 24 ωρών αφήνονται στον αφυγραντήρα για περίπου 15 λεπτά και ξαναζυγίζονται. Από τη διαφορά των δυο μαζών που μετρήθηκαν προκύπτει το ποσοστό της μη διαλυτής λιγνίνης, όπως φαίνεται και στην παρακάτω εξίσωση:

$$\% \text{ Μη διαλυτή λιγνίνη} = \left( \frac{m_{105} - m_{575}}{\text{Initial Solid}} \right) \cdot 100$$

m<sub>575</sub>: η μάζα του δείγματος που βγήκε από το φούρνο στους 575 °C

m<sub>105</sub>: η μάζα του δείγματος που βγήκε από το φούρνο στους 105 °C

Initial Solid: η μάζα του δείγματος που λήφθηκε από τα στερεά υπολείμματα που προέκυψαν κατά τον προσδιορισμό της κυτταρίνης ( $\approx 300 \text{ mg}$ )

#### 4.1.6 Προσδιορισμός αιθανόλης

- Για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης της αιθανόλης σε διάλυμα χρησιμοποιείται kit Αιθανόλης.
- Σε δοκιμαστικούς σωλήνες λαμβάνετε και προστίθενται 0,1 mL δείγματος αφού πρώτα έχει γίνει η κατάλληλη αραίωση στο δείγμα.
- Στη συνέχεια προστίθενται 2 mL Reagent 1.
- Τα προκύπτοντα διαλύματα αναδεύονται στη συσκευή Vortex- Genie 2, της εταιρείας Scientific Industries και αφήνονται σε αναμονή για 3 λεπτά.

- Έπειτα, προστίθενται 0,5 mL Reagent 2
- Οι δοκιμαστικοί σωλήνες αναδεύονται στη συσκευή Vortex- Genie 2, της εταιρείας Scientific Industries και αφήνονται σε αναμονή για 7 λεπτά.
- Μετά το πέρας των 7 min, πραγματοποιείται φωτομέτρηση στο φωτόμετρο (Σχήμα 4-3) με τη μέθοδο 1001.

## 4.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΑΡΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ

Για να μπορούν τα αποτελέσματα να συγκριθούν και να βρεθεί ο βέλτιστος τρόπος παραγωγής γλυκόζης από τον πολτό βαμβακιού και αιθανόλης από την γλυκόζη είναι σημαντικό να υπολογισθεί η απόδοση της διεργασίας. Επομένως, είναι σημαντικό να υπολογισθούν η συνολική θεωρητική μάζα γλυκόζης που μπορεί να παραχθεί εάν όλη η κυτταρίνη που περιέχεται στην αρχική ξηρή βάση μετατραπεί σε αυτή.

$$\text{Θεωρητική κυτταρίνη (g)} = \text{Κυτταρίνη\%} \cdot \text{αρχικό στερεό κλάσμα (g)}$$

Θεωρητική γλυκόζη από την κυτταρίνη είναι η γλυκόζη που θα παραγόταν αν πραγματοποιούνταν πλήρης διάσπαση της κυτταρίνης. Βάση της θεωρίας προκύπτει ότι:

$$\begin{aligned} \text{Θεωρητική γλυκόζη (g)} \\ = \frac{\text{θεωρητική κυτταρίνη (g)}}{0.9} + \text{Ελεύθερη γλυκόζη (\%)} \cdot \text{αρχικό στερεό κλάσμα (g)} \end{aligned}$$

Όπου ο συντελεστής 0.9 προκύπτει με βάση τη στοιχειομετρία της αντίδρασης (1/1), καθώς και από τον λόγο των μοριακών βαρών της γλυκόζης και της κυτταρίνης ( $M_{w_{\text{cellulose}}}/M_{w_{\text{glucose}}} = 162/180 = 0.9$ ).

$$\text{Απόδοση σακχαροποίησης (\%)} = \frac{\text{Γλυκόζη που παράγεται στο πείραμα (g)}}{\text{Θεωρητική γλυκόζη (g)}} \cdot 100\%$$

Θεωρητική αιθανόλη (σε g) ορίζεται ως η αιθανόλη που θα παραγόταν εάν η συνολική θεωρητική γλυκόζη μετατρέπονταν πλήρως σε αιθανόλη. Πιο συγκεκριμένα, βάση θεωρίας προκύπτει ότι:

$$\text{Θεωρητική αιθανόλη (g)} = \text{θεωρητική γλυκόζη (g)} \cdot 0,511$$

Ο συντελεστής 0.511 προκύπτει με βάση τη στοιχειομετρία της αντίδρασης (Γλυκόζη:Αιθανόλη = 1:2), καθώς και από τον λόγο των μοριακών βαρών της αιθανόλης και της γλυκόζης ( $M_{w_{\text{ethanol}}}/M_{w_{\text{glucose}}} = 46/(180/2) = 0,511$ ).

$$\text{Απόδοση αιθανόλης (\%)} = \frac{\text{Αιθανόλη που παράχθηκε στο πείραμα (g)}}{\text{Θεωρητική αιθανόλη (g)}} \cdot 100\%$$

ενώ η απόδοση της ζύμωσης υπολογίζεται ως εξής:

$$\text{Απόδοση ζύμωσης (\%)} = \frac{\text{Αιθανόλη που παράχθηκε στο πείραμα (g)}}{\text{Γλυκόζη που ήταν διαθέσιμη (g)} \cdot 0,511} \cdot 100\%$$



## 5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ

Στην παρούσα έρευνα διεξήχθησαν πειράματα πάνω στις παρακάτω διαδικασίες επεξεργασίας.

### 5.1 ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΣ ΠΑΝΑΣ

Όπως προαναφέρθηκε στο [Κεφάλαιο 2](#), η πάνα έχει μια πολυστρωματική δομή. Το στάδιο του διαχωρισμού της πάνας πραγματοποιείται με το σκεπτικό ότι έχει προηγηθεί ο διαχωρισμός των οργανικών αποβλήτων και έχει γίνει η επεξεργασία τους όπως παρουσιάστηκε στο [Κεφάλαιο 2.4](#). Πρωταρχικό μέλημα λοιπόν για την επίτευξη της παραγωγής των δευτερογενών προϊόντων από την πάνα είναι ο διαχωρισμός της στα στρώματα αυτά. Για τον διαχωρισμό, πραγματοποιήθηκαν πειράματα με σκοπό τον βέλτιστο διαχωρισμό της πάνας αλλά και την προσπάθεια χρήσεως ενός πιο πράσινου διαλύτη όπως είναι η αιθανόλη.

Στη συγκεκριμένη πειραματική διεργασία ένα μικρό ορθογώνιο κομμάτι πάνας που περιείχε όλα τα στρώματα βυθίστηκε σε διαλύτη για 24 ώρες. Το πείραμα διεξάχθηκε και με στεγνό αλλά και ενυδατωμένο κομμάτι πάνας. Οι διαλύτες που δοκιμάστηκαν ήταν το νερό, η ακετόνη και η αιθανόλη. Όπως αναμενόταν όμως το νερό δεν κατάφερε να διαχωρίσει καθόλου τα στρώματα της πάνας και να αφαιρέσει την κολλητική ουσία.

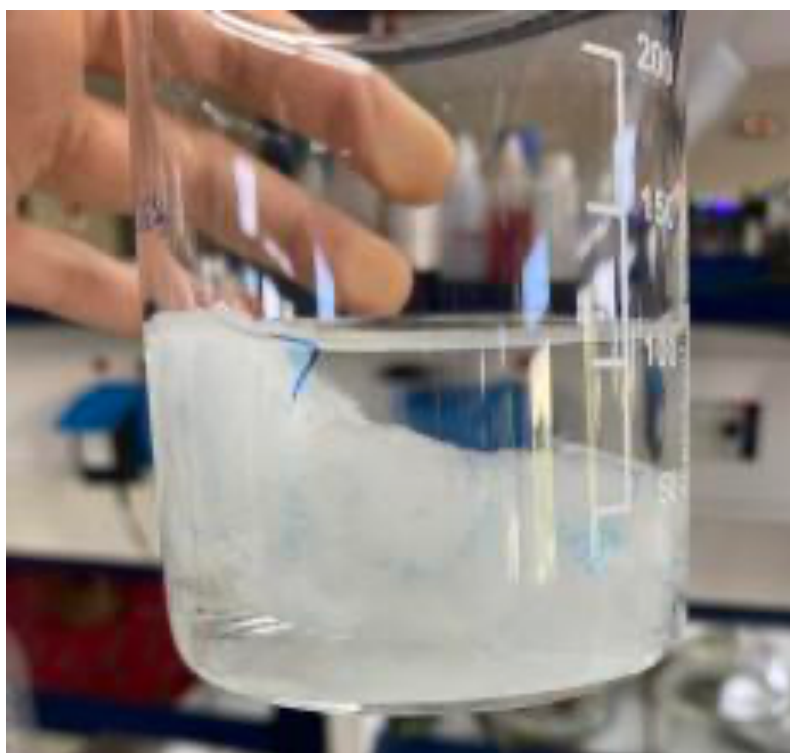
Στο πείραμα με την ενυδατωμένη πάνα το κομμάτι της πάνας αρχικά βυθίστηκε σε 200 mL απιονισμένο νερό και στην συνέχεια προστέθηκε ο διαλύτης μέχρι να καλύπτεται. Έπειτα από 5 λεπτά έγινε διαχωρισμός της πάνας στα στρώματα της και το SAP ανακτήθηκε με διήθηση. Το υγρό της διήθησης ανακτήθηκε και επαναχρησιμοποιήθηκε στον διαχωρισμό.



Σχήμα 5-1: Απεικόνιση των στρωμάτων της πάνας



Σχήμα 5-2: Στεγνό κομμάτι πάνας που βυθίστηκε σε ακετόνη



Σχήμα 5-3: Στεγνή πάνα βυθισμένη σε ακετόνη

## 5.2 ΑΦΥΔΑΤΩΣΗ ΤΟΥ SAP

### 5.2.1 Αφυδάτωση SAP χρησιμοποιώντας ολόκληρη την πάνα

Αρχικά πραγματοποιήθηκαν πειράματα, δοκιμάζοντας διαφορετικές συγκεντρώσεις αλατούχου διαλύματος NaCl με ενυδατωμένη πάνα, με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης διαδικασίας. Σε εργαστηριακή κλίμακα η πορεία που ακολουθήθηκε είναι η εξής:

*Εστω η χρήση διαλύματος NaCl 20% w/v:*

- Σε 8 falcon ζυγίζονται 10g NaCl.
- Τεμαχίζεται μια πάνα, προστίθενται περίπου 1,6mL απιονισμένου νερού και ομογενοποιείται καλά με ανάδευση.
- Γίνεται πλήρωση των falcon μέχρι τα 50mL με ενυδατωμένη πάνα και φυγοκεντρώνται για 10 λεπτά.
- Μετά το πέρας της φυγοκέντρωσης γίνεται καλή ανακίνηση μέχρι το διάλυμα να επιστρέψει στην υγρή φάση και φυγοκεντρώνται ξανά.
- Μετά τη φυγοκέντρωση, το falcon περιέχει 3 φάσεις: το πλαστικό της κορυφής, το υγρό και το κάτω μέρος που περιέχει στερεό και αλάτι. (βλ. Σχήμα 5-4)
- Αφαιρείται και συλλέγεται όλο το πλαστικό που βρίσκεται στην κορυφή και συλλέγεται το υπόλοιπο υγρό όπως και το στερεό.
- Τα πλαστικά και τα στερεά μπαίνουν στον φούρνο στους 105°C για μια μέρα.
- Μετά το φούρνο τα στερεά που βρίσκονται στο κάτω μέρος κοσκινίζονται για να προσδιοριστεί αν το πολυμερές στο κάτω μέρος της φυγοκέντρωσης περιέχει SAP.



Σχήμα 5-4:Ενυδατωμένη πάνα μέσα σε διάλυμα αλατιού μετά από φυγοκέντρηση

### 5.3 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΓΛΥΚΟΖΗΣ ΑΠΟ ΤΕΜΑΧΙΣΜΕΝΗ ΠΑΝΑ

Στο πείραμα αυτό δοκιμάστηκε η επίδραση του διαλύτη στη προσπάθεια της αποδέσμευσης της κυτταρίνης από τα κυτταρινούχα μέρη της πάνας.

Η υδρόλυση της τεμαχισμένης πάνας έγινε ως εξής:

- Αρχικά πραγματοποιείται τεμαχισμός μιας πάνας και προστίθενται περίπου 1,6 L νερό με σκοπό να ενυδατωθεί το SAP.
- Πραγματοποιείται καλή ανάμειξη της πάνας ώστε να υπάρχει ομοιογένεια (κομμάτια πλαστικού, βαμβακιού και SAP).
- Στη συνέχεια, προστίθενται 50mL από την ενυδατωμένη τεμαχισμένη πάνα και προστίθενται σε διάλυμα με φορτίο 20% με διαφορετικούς διαλύτες, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 5-1.
- Έπειτα, τα διαλύματα τοποθετούνται με ανάδευση σε αερόλουτρο σε θερμοκρασία 50 °C .
- Μετά το πέρας των 24h γίνεται διήθηση και το υπερκείμενο υγρό συλλέγεται, πραγματοποιείται ρύθμιση του pH ώστε να βρίσκεται κοντά στο 5,5 και γίνεται μέτρηση της γλυκόζης όπως αναφέρεται παραπάνω (βλ. Κεφ 4.1.2).
- Τέλος το διηθητικό χαρτί ξηραίνεται στους 50°C έως ότου φύγει η υγρασία ώστε να παρατηρηθεί αν το SAP έχει αφυδατωθεί.

Πίνακας 5-1: Συνθήκες πειραμάτων υδρόλυσης τεμαχισμένης πάνας

Πείραμα	Διαλύτης	Συγκέντρωση (M)	Όγκος διαλύματος	Φορτίο ενζύμου (μL/g κυτταρίνης)	Φορτίο ένυδρης πάνας (% v/v)	Θ (°C)	Χρόνος (h)
1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,3	250 mL	-	20	50	24
2	NaOH			-			
3	H <sub>2</sub> O			-			
4	H <sub>2</sub> O + κυτταρινάση	-		500			

#### 5.4 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΓΛΥΚΟΖΗΣ ΑΠΟ ΠΟΛΤΟ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ

Για τον σκοπό αυτό, πραγματοποιήθηκαν πειράματα δοκιμάζοντας διαφορετικές παραμέτρους με σκοπό την εύρεση της βέλτιστης διαδικασίας και της μεγαλύτερης απόδοσης. Στα πειράματα υδρόλυσης που πραγματοποιήθηκαν, εξετάστηκε η επίδραση διαφορετικών παραγόντων μεταξύ άλλων το είδος και η συγκέντρωση του διαλύτη, η επίδραση της προεπεξεργασίας (υδατόλουτρο ή autoclave), το φορτίο και ο χρόνος δράσης του ενζύμου.

Αρχικά η πάνα διαχωρίζεται και λαμβάνεται ο πολτός βαμβακιού από το ανάλογο στρώμα που περιέχεται.

##### 5.4.1 Υδρόλυση πολτού βαμβακιού χωρίς προεπεξεργασία

Στο πείραμα αυτό έγινε μια πρώτη εκτίμηση της επίδρασης του διαλύτη στη προσπάθεια της διάλυσης της κυτταρίνης από το ξεχωρισμένο πολτό βαμβακιού μέσω ήπιας υδρόλυσης.

Η εργαστηριακή μέθοδος που πραγματοποιήθηκε φαίνεται παρακάτω:

Πίνακας 5-2: Συνθήκες υδρόλυσης χωρίς προεπεξεργασία.

Πείραμα	Διαλύτης	Συγκέντρωση (M)	Φορτίο ενζύμου (μL/g κυτταρίνης)	Φορτίο βαμβακιού (% w/w)	Θ (°C)	Χρόνος (h)
1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,3	-	2	50	24
2	NaOH		-			
3	H <sub>2</sub> O		-			
4	H <sub>2</sub> O + κυτταρινάση	-	500			

#### 5.4.2 Υδρόλυση πολτού βαμβακιού με προεπεξεργασία και προσθήκη ενζύμου

Δοκιμάστηκε η παραγωγή της γλυκόζης με μια πιο ισχυρή μέθοδο υδρόλυσης με δυο τρόπους. Πραγματοποιήθηκε προεπεξεργασία σε υδατόλουτρο αλλά και σε autoclave με τις συνθήκες που φαίνονται παρακάτω (βλ [Πίνακας 5-3](#) και Πίνακας 5-4). Για κάθε μια από τις δυο μεθόδους πραγματοποιήθηκαν δοκιμές με προσθήκη ενζύμου κυτταρινάσης με σκοπό τη μελέτη της επίδρασης της προεπεξεργασίας, του διαλύτη αλλά και του ενζύμου στην απόδοση παραγωγής της γλυκόζης. Η προσθήκη του ενζύμου έγινε μετά από την προεπεξεργασία και την ρύθμιση του pH.

##### 5.4.2.1 Επίδραση του διαλύτη και του χρόνου δράσης του ενζύμου στην υδρόλυση

Η πειραματική πορεία φαίνεται παρακάτω. Σημαντικό είναι να τονιστεί ότι μετά από την προεπεξεργασία στο autoclave και το υδατόλουτρο, γίνεται διόρθωση pH πάνω από 5. Στην συνέχεια πραγματοποιείται η μέτρηση της γλυκόζης πριν και μετά την προσθήκη ενζύμου.

Πίνακας 5-3: Συνθήκες πειραμάτων για την υδρόλυση με προεπεξεργασία σε υδατόλουτρο

Πείραμα με Υδατόλουτρο	Διαλύτης	Συγκέντρωση διαλύτη	Φορτίο βαμβακιού (% w/w)	Θ (°C)	Χρόνος (min)
1	NaOH	0,2 M	3	90	75
2	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1% v/v			
3	H <sub>2</sub> O	-			

Πίνακας 5-4: Συνθήκες πειραμάτων για την υδρόλυση με προεπεξεργασία στο autoclave

Πείραμα με Autoclave	Διαλύτης	Συγκέντρωση διαλύτη	Φορτίο (% w/w)	Θ (°C)	Χρόνος (min)
1	NaOH	0,2 M	3	121	30
2	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1% v/v			
3	H <sub>2</sub> O	-			

Τέλος, προσδιορίστηκε ο βέλτιστος χρόνος που απαιτείται για την ενζυμική υδρόλυση. Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε ενζυμική υδρόλυση για 24 και 72 ώρες. Έγιναν μετρήσεις της γλυκόζης ανά 24h.

Πίνακας 5-5: Συνθήκες πειράματος με προσθήκη ενζύμου.

Πείραμα με ένζυμο	Ένζυμο	Φορτίο ενζύμου (μL/g κυτταρίνης)	Θ (°C)	Χρόνος (h)	rpm
1	Κυτταρινάση	500	50	24	150
2				48	
3				72	

#### 5.4.2.2 Επίδραση της συγκέντρωσης του διαλύτη με ενζυμική υδρόλυση σε 48h

Οι ίνες κυτταρίνης περιέχουν περιοχές υψηλής κρυσταλλικότητας που είναι λιγότερο επιρρεπείς στην ενζυμική υδρόλυση και ως εκ τούτου είναι απαραίτητο να διαταραχθούν οι ενδο- και οι ενδομοριακοί δεσμοί υδρογόνου. Η αλκαλική προεπεξεργασία είναι ικανή να διογκώσει αυτές τις κρυσταλλικές περιοχές ενισχύοντας έτσι την ενζυμική υδρόλυση μετέπειτα [44]. Με βάση τα παραπάνω, αλλά και τα αποτελέσματα που πάρθηκαν από την επίδραση του διαλύτη στην ενζυμική υδρόλυση δοκιμάστηκε η επίδραση της συγκέντρωσης του διαλύτη NaOH στην παραγόμενη ποσότητα γλυκόζης, καθώς και στην απόδοση της αντίδρασης πραγματοποιώντας δύο πειράματα ένα στο autoclave και ένα στο υδατόλουτρο με 3 διαφορετικές συγκεντρώσεις.

Πίνακας 5-6: Συνθήκες πειραμάτων για τον έλεγχο της επίδρασης της συγκέντρωσης του διαλύτη στο υδατόλουτρο

Πείραμα με Υδατόλουτρο	Συγκέντρωση NaOH (M)	Φορτίο βαμβακιού (% w/w)	Θ (°C)	Χρόνος (min)
1	0,1	3	90	75
2	0,2			
3	0,3			

Πίνακας 5-7: Συνθήκες πειραμάτων για τον έλεγχο της επίδρασης της συγκέντρωσης του διαλύτη στο autoclave.

Πείραμα με Autoclave	Συγκέντρωση NaOH (M)	Φορτίο βαμβακιού (% w/w)	Θ (°C)	Χρόνος (min)
1	0,1	3	121	30
2	0,2			
3	0,3			

#### 5.4.2.3 Επίδραση του φορτίου του ενζύμου με ενζυμική υδρόλυση σε 48h

Στον παρόν πείραμα επιλέχθηκε η συγκέντρωση της αλκαλικής προεπεξεργασίας ίση με 0,2M και 0,3M. Η πειραματική διαδικασία που ακολουθήθηκε όσον αφορά στην προσθήκη του ενζύμου είναι η παρακάτω. Το πείραμα πραγματοποιήθηκε με προεπεξεργασία και στο autoclave αλλά και στο υδατόλουτρο.

Πίνακας 5-8: Συνθήκες πειραμάτων για τον έλεγχο της επίδρασης της συγκέντρωσης του ενζύμου

Πείραμα	Φορτίο κυτταρινάσης (μL/g κυτταρίνης)	Θ (°C)	Χρόνος ενζυμικής υδρόλυσης (h)	rpm
1	200	50	48	150
2	400			
3	500			

#### 5.4 ΑΝΑΚΛΙΜΑΚΩΣΗ ΤΗΣ ΕΝΖΥΜΙΚΗΣ ΥΔΡΟΛΥΣΗΣ ΜΕ ΠΟΛΤΟ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ

Έγινε προσπάθεια ανακλιμάκωσης της ενζυμικής υδρόλυσης με αλκαλική προεπεξεργασία και προσθήκη κυτταρινάσης των βέλτιστων συνθηκών σε 4L αντιδραστήρα. Σκοπός του πειράματος ήταν να γίνει μια εκτίμηση των αποτελεσμάτων για την παραγωγή της γλυκόζης και της αιθανόλης σε μεγαλύτερη κλίμακα. Το πείραμα περιλαμβάνει προεπεξεργασία με αλκαλικό διάλυμα στο autoclave αλλά και προσθήκη ενζύμου σύμφωνα με το παρακάτω πειραματικό πρωτόκολλο. Η προεπεξεργασία πραγματοποιείται στο autoclave διότι αυτή ήταν η μέθοδος που έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα όσον αφορά την αποδόμηση του αποβλήτου.

Πίνακας 5-9: Συνθήκες πειράματος ανακλιμάκωσης για την προεπεξεργασία στο autoclave.

Πείραμα προεπεξεργασίας στο autoclave	Διαλύτης	Συγκέντρωση διαλύτη	Φορτίο βαμβακιού (% w/w)	Όγκος αντιδραστήρα (L)	Θ (°C)	Χρόνος (min)
1	NaOH	0,3 M	0,75	4	121	30

Πίνακας 5-10: Συνθήκες πειράματος ανακλιμάκωσης για την ενζυμική υδρόλυση.

Πείραμα ενζυμικής υδρόλυσης	Φορτίο κυτταρινάσης (μL/g κυτταρίνης)	Θ (°C)	Χρόνος (h)	rpm
1	400	50	24	150
2			48	

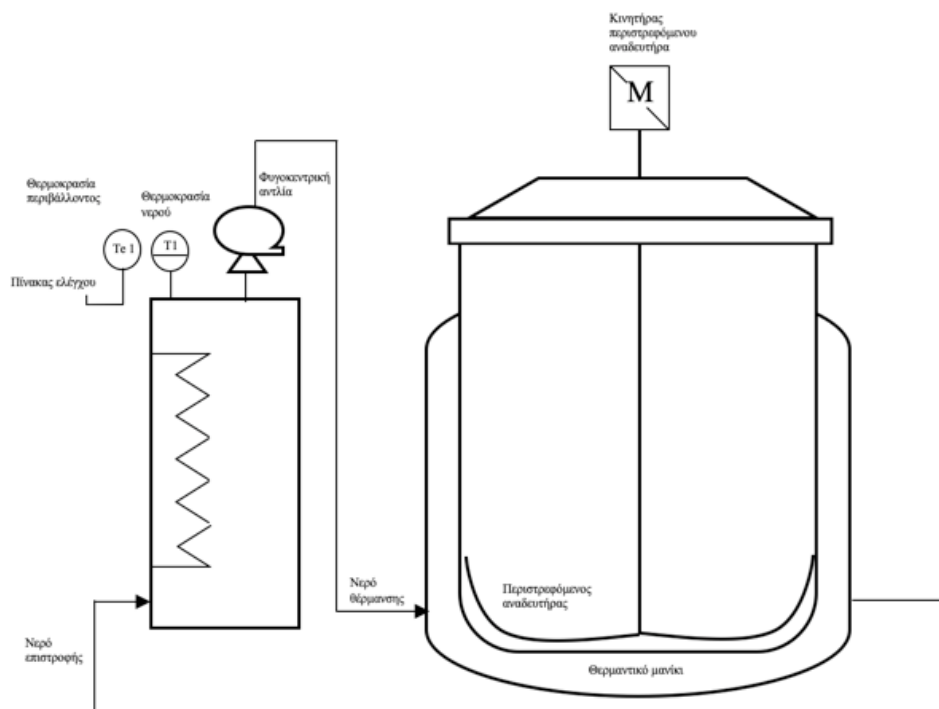
Ανά τακτά χρονικά διαστήματα μέχρι τις 48h γινόταν λήψη δείγματος, κλείνοντας τον αναδευτήρα και σηκώνοντας το αποσπώμενο καπάκι για τις μετρήσεις των συγκεντρώσεων



της γλυκόζης και μετέπειτα της αιθανόλης. Η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε και το διάγραμμα ροής της διαδικασίας απεικονίζεται παρακάτω (βλ. και [Σχήμα 5-6](#)). Περιλαμβάνει έναν εναλλάκτη νερού όπου θερμαίνεται νερό και το στέλνει με αντλία στα τοιχώματα του κυλινδρικού αντιδραστήρα όγκου 4L. Το διάλυμα τοποθετείται στον αντιδραστήρα αφού πρώτα έχει γίνει η προεπεξεργασία στο autoclave με τις συνθήκες που φαίνονται στον [Πίνακας 5-9](#).



Σχήμα 5-5: Διάταξη του πειράματος ανακλιμάκωσης



Σχήμα 5-6: Διάγραμμα ροής διεργασίας ανακλιμάκωσης

## 5.5 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ

Μετά το πέρας της διαδικασίας αποδέσμευσης της γλυκόζης πραγματοποιήθηκε παραγωγή βιοαιθανόλης. Για την παραγωγή της βιοαιθανόλης ακολουθήθηκε η παρακάτω εργαστηριακή διαδικασία:

- Γίνεται μέτρηση της αιθανόλης πριν την προσθήκη *Saccharomyces cerevisiae* (μαγιάς)
- Στη συνέχεια προστίθεται μαγιά και τα διαλύματα προστίθενται στο αερόλουτρο στους 35°C για 24h.
- Μετά από 24h πραγματοποιείται μέτρηση της αιθανόλης και της γλυκόζης με την μέθοδο που περιγράφεται στο [Κεφάλαιο 4.1](#).

Πίνακας 5-11: Συνθήκες πειράματος παραγωγής βιοαιθανόλης

Πείραμα	Φορτίο <i>Saccharomyces cerevisiae</i> (% w/w)	$\Theta$ (°C)	Χρόνος (h)	rpm
1	2	35	24	150

## 5.6 ΑΠΟΔΟΜΗΣΗ ΣΤΕΡΕΟΥ ΑΠΟΒΛΗΤΟΥ

Κρίθηκε σημαντική η μελέτη της αποδόμησης του στερεού πολτού βαμβακιού σε κάποια πειράματα έτσι ώστε να μελετηθεί τόσο η δράση της προεπεξεργασίας όσο και η δράση των ενζύμων, στην αποδόμηση του αποβλήτου και στην μείωση του όγκου του. Το πειραματικό πρωτόκολλο που ακολουθείται είναι:

- Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας παραγωγής βιοαιθανόλης, το υπολειπόμενο υγρό αντίδρασης διηθείται και το στερεό συλλέγεται και μεταφέρεται σε προζυγισμένο ποτήρι ζέσεως σε φούρνο στους 50°C για 24h.
- Μετά το πέρας των 24h, το ποτήρι ζέσεως ζυγίζεται και στη συνέχεια υπολογίζεται η ποσότητα πολτού βαμβακιού που έχει αποδομηθεί κατά την ενζυμική υδρόλυση.

## 6. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 6.1 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΥ ΠΟΛΤΟΥ ΒΑΜΒΑΚΙΟΥ

Εφαρμόζοντας και τις πειραματικές μεθόδους ανάλυσης προκύπτουν τα αποτελέσματα του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 6-1) για τη σύσταση του πολτού βαμβακιού.

Πίνακας 6-1: Χαρακτηρισμός πολτού βαμβακιού από βρεφική πάνα μιας χρήσης.

Χαρακτηρισμός	Τιμή (%)
Υδατοδιαλυτά στερεά (WS)	10,2
Ελεύθερη γλυκόζη (Free Sugars)	0,19
Κυτταρίνη (Cellulose)	74,3
Ημι-κυτταρίνη (Hemi-cellulose)	20,3
Λιγνίνη (Lignin)	0,34

Όπως παρατηρείται, τα πειραματικά αποτελέσματα χαρακτηρισμού της πρώτης ύλης δείχνουν να περιέχεται 74% κυτταρίνη στο πολτό του βαμβακιού της πάνας.

### 6.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΙΑΧΩΡΙΣΜΟΥ ΠΑΝΑΣ

#### 6.2.1 Χρήση ακετόνης για τον διαχωρισμό της πάνας

Η ακετόνη κατάφερε να διαχωρίσει κάθε στρώμα της αφυδατωμένης πάνας ενώ παρατηρήθηκε ότι το SAP είχε μορφή κρυστάλλου. Επίσης παρατηρήθηκε πως το SAP δεν απορρόφησε καθόλου την ακετόνη. Συνολικά η πάνα έχει 8 στρώσεις που φαίνονται στα σχήματα παρακάτω (βλ. Σχήμα 6-1 έως και Σχήμα 6-3).



Σχήμα 6-1: Εξωτερικό στρώμα της πάνας



Σχήμα 6-2: Στρώμα της πάνας που εμπεριέχει το SAP.



Σχήμα 6-3: Στρώμα της πάνας που εμπεριέχει τον πολτό βαμβακιού.

#### 6.2.2 Αποτελέσματα αιθανόλης στο διαχωρισμό της πάνας

Η αιθανόλη κατάφερε επίσης να διαχωρίσει αποτελεσματικά κάθε στρώμα αφυδατωμένης της πάνας όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6-5 και Σχήμα 6-4. Επίσης παρατηρήθηκε πως το SAP δεν απορρόφησε καθόλου αιθανόλη και παρέμεινε στην κρυσταλλική του μορφή.



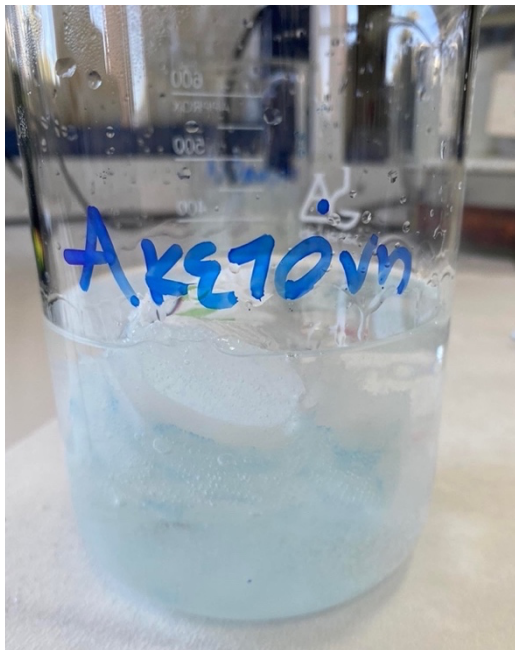
Σχήμα 6-4: Κομμάτι πάνας βυθισμένο σε αιθανόλη.



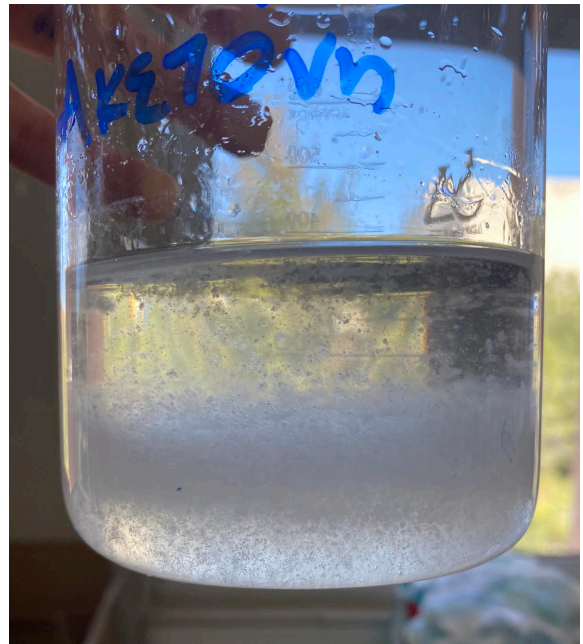
Σχήμα 6-5: Διαχωρισμένο κομμάτι πάνας μετά από την επίδραση της αιθανόλης.

### 6.2.3 Αποτελέσματα διαχωρισμού της ενυδατωμένης πάνας

Παρακάτω παρουσιάζονται σχηματικά τα αποτελέσματα διαχωρισμού της ενυδατωμένης πάνας με τους διαλύτες ακετόνη και αιθανόλη αντίστοιχα.



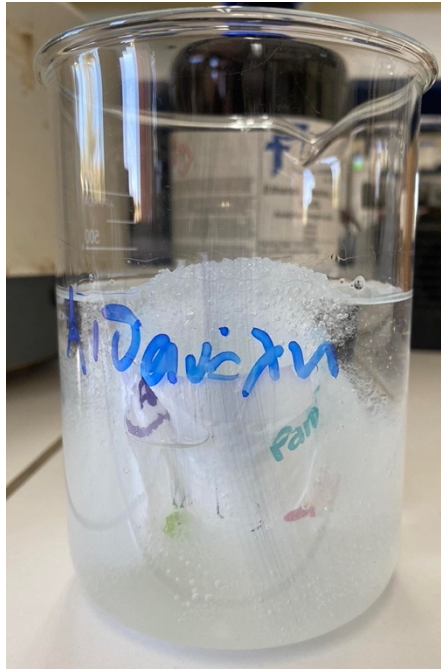
Σχήμα 6-6: Ενυδατωμένη πάνα βυθισμένη στην ακετόνη



Σχήμα 6-7: Υπολειπόμενο SAP στο διάλυμα της ακετόνης και του νερού



Σχήμα 6-8: Διαχωρισμένα στρώματα της ενυδατωμένης πάνας από την ακετόνη

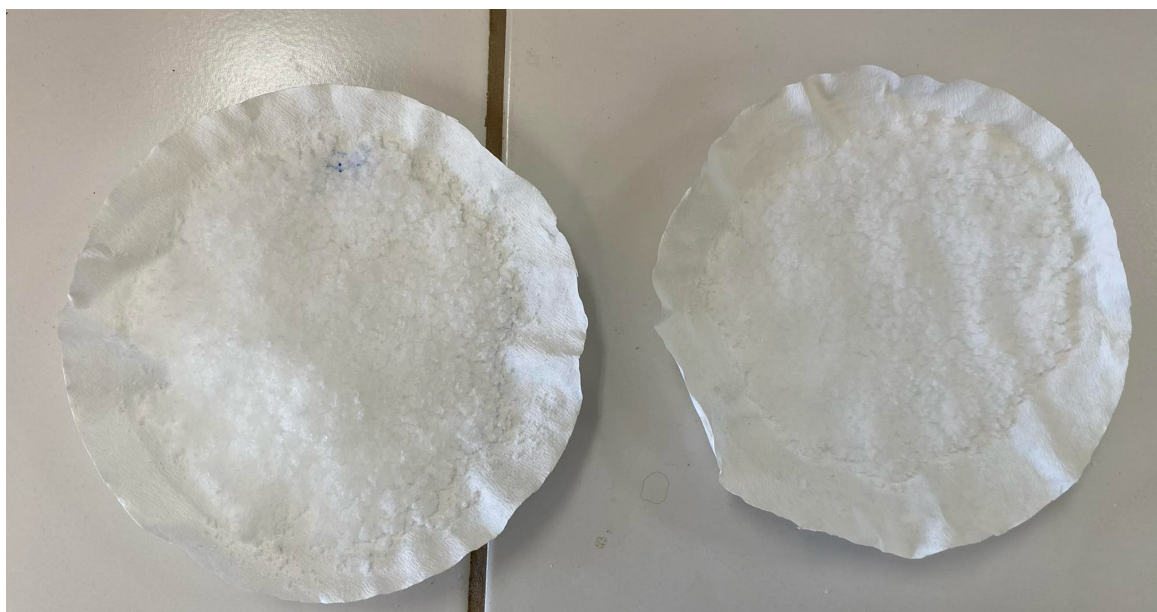


Σχήμα 6-9: Ενυδατωμένη πάνα βυθισμένη στην αιθανόλη.



Σχήμα 6-10: Διαχωρισμένα στρώματα της ενυδατωμένης πάνας από την αιθανόλη.





Σχήμα 6-11: Ανακτημένο SAP από τα διαλύματα της αιθανόλης και της ακετόνης μετά απο διήθηση.

Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6-8 και Σχήμα 6-10 και οι δυο διαλύτες διαχώρισαν αρκετά καλά τα διάφορα στρώματα που εμπεριέχονται στην ενυδατωμένη πάνα. Όπως στην ακετόνη έτσι και στην αιθανόλη το SAP εμπεριέχεται στο διάλυμα (βλ. Σχήμα 6-7). Έτσι επιτυγχάνεται η απομόνωση του SAP μέσω της διήθησης αλλά και η ξήραυσή του (βλ. Σχήμα 6-11). Τέλος, επιτυγχάνεται πολύ εύκολα η απομόνωση όλων των πολυμερικών στρωμάτων της πάνας αλλά και η ανάκτηση του υγρού διαλύτη με διήθηση με σκοπό την επαναχρησιμοποίησή του για τον διαχωρισμό.

### 6.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΦΥΔΑΤΩΣΗΣ ΤΟΥ SAP

#### 6.3.1 Αποτελέσματα αφυδάτωσης του SAP χρησιμοποιώντας τεμαχισμένη πάνα

Στο πείραμα αυτό έγινε προσπάθεια αφυδάτωσης του SAP που περιέχεται στη πάνα με διάλυμα αλατιού. Στο Σχήμα 6-13 παρατηρείται πως χωρίς την προσθήκη αλατιού η φυγοκέντρωση δεν καταφέρνει να διαχωρίσει το SAP από την υπόλοιπη πάνα και η σύστασή του μένει πρακτικά η ίδια. Αφού γίνει προσθήκη 20% w/v NaCl σε ενυδατωμένη τεμαχισμένη πάνα στη συνέχεια γίνεται φυγοκέντρωση και το αποτέλεσμα φαίνεται στο Σχήμα 6-12. Το falcon αποτελείται από τρεις διακριτές φάσεις (τα ελαφριά πλαστικά τα οποία επέπλεαν στην επιφάνεια, το διάλυμα αλατιού και ένα μείγμα του SAP του αλατιού και άλλων πλαστικών στο κάτω μέρος).

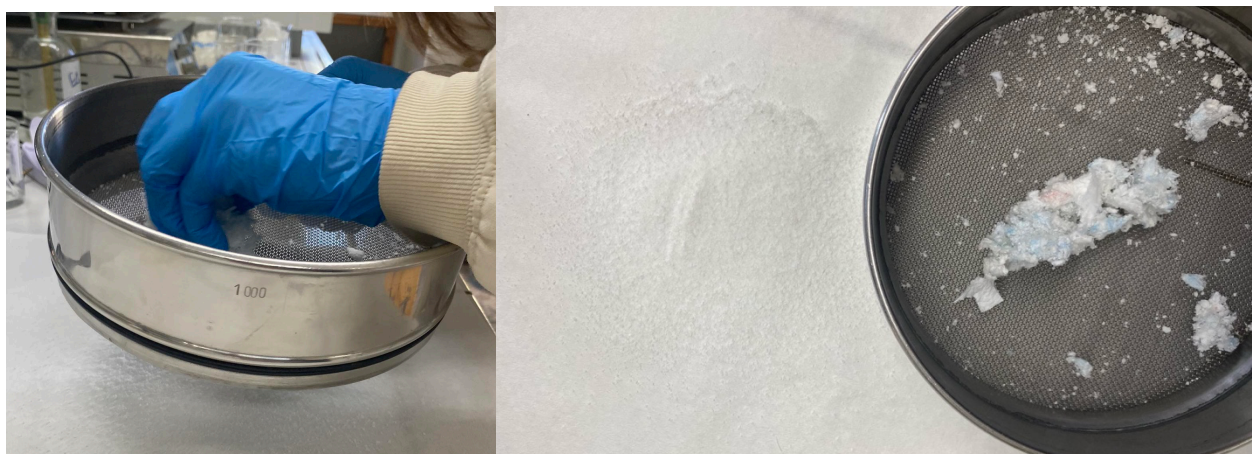


Σχήμα 6-13: Φυγοκέντρωση τεμαχισμένης πάνας χωρίς την προσθήκη NaCl



Σχήμα 6-12: Φυγοκέντρωση τεμαχισμένης πάνας με προσθήκη 20% w/v NaCl

Αφού συλλέχθηκαν τα πλαστικά και ξηράνθηκαν παρατηρήθηκε ότι λόγω της φύσης του αλατιού και του SAP όπου μοιάζουν δεν βρέθηκε τρόπος διαχωρισμού του SAP και του αλατιού μετά την αφυδάτωση του. Δοκιμάστηκε και κοσκίνισμα των στερεών του κάτω μέρους σε διαφορετική κοκκομετρία αλλά όπως φαίνεται και στο Σχήμα 6-14 το αλάτι με το SAP έχουν ακριβώς τα ίδια χαρακτηριστικά με αποτέλεσμα να καθίσταται δύσκολη μέχρι και η διάκριση τους.

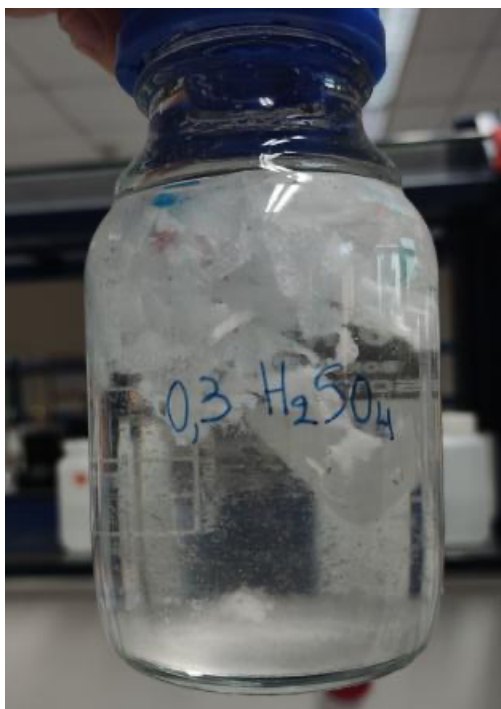


Σχήμα 6-14: Κοσκίνισμα των στερεών που βρίσκονταν στο κάτω μέρος

## 6.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΓΛΥΚΟΖΗΣ

### 6.4.1 Αποτελέσματα υδρόλυσης τεμαχισμένης πάνας

- *Όξινη Υδρόλυση*



Σχήμα 6-15: Όξινο διάλυμα πριν την υδρόλυση



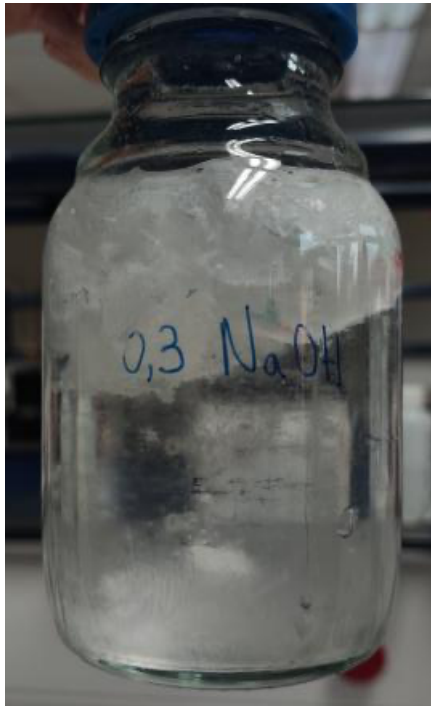
Σχήμα 6-16: Όξινο διάλυμα μετά την υδρόλυση στους 50.



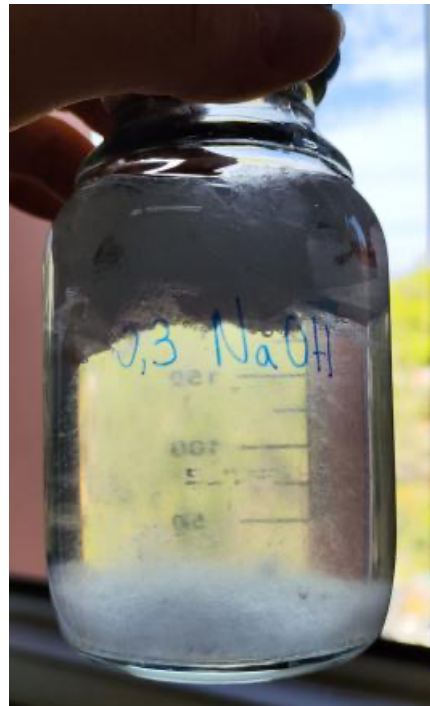
Σχήμα 6-17: Ξήρανση στους 50°C του στερεού μέρους της διήθησης του όξινου διαλύματος.

Στο Σχήμα 6-16 φαίνεται ότι επιτυγχάνεται ικανοποιητικός διαχωρισμός μεταξύ του SAP/πολτού βαμβακιού. Κατά τη διήθηση συλλέχθηκε μικρή ποσότητα στερεού και καθόλου SAP. Ακόμα από το Σχήμα 6-17 είναι φανερό ότι δεν παρατηρήθηκε καθόλου SAP στο διηθητικό χαρτί μετά την ξήρανση μιας και το οξύ κατάφερε να διασπάσει τους δεσμούς του SAP.

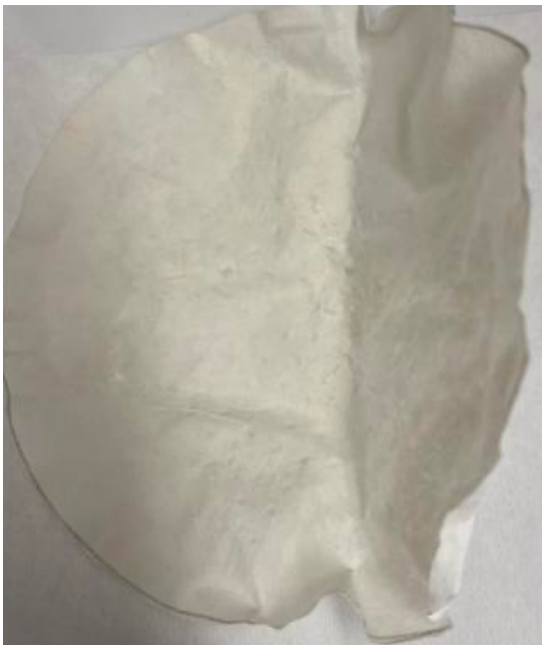
- Αλκαλική Υδρόλυση



Σχήμα 6-18: Αλκαλικό διάλυμα πριν αλκαλική υδρόλυση



Σχήμα 6-19: Αλκαλικό διάλυμα μετά την υδρόλυση στους 50°C.



Σχήμα 6-20: Ξήρανση στους 50°C του στερεού μέρους της διήθησης του αλκαλικού διαλύματος.

Στο Σχήμα 6-19 φαίνεται ότι επιτυγχάνεται ικανοποιητικός διαχωρισμός μεταξύ του SAP/ πολτού βαμβακιού. Κατά τη διήθηση συλλέχθηκε αρκετή ποσότητα στερεού και καθόλου SAP. Ακόμα από το Σχήμα 6-20 είναι φανερό ότι δεν παρατηρήθηκε καθόλου SAP στο διηθητικό χαρτί μετά την ξήρανση αφού παρόμοια με το οξύ το αλκαλικό διάλυμα συηνέβαλε στην αποδόμηση του SAP.

- Ενζυμική Υδρόλυση



Σχήμα 6-22: Ενζυμικό διάλυμα πριν την ενζυμική υδρόλυση



Σχήμα 6-21: Ενζυμικό διάλυμα μετά την υδρόλυση στους 50.



Σχήμα 6-23: Ξήρανση στους 50°C του στερεού μέρους της διήθησης του ενζυμικού διαλύματος.

Στο Σχήμα 6-22 φαίνεται ότι επιτυγχάνεται ικανοποιητικός διαχωρισμός μεταξύ του SAP/ πολτού βαμβακιού. Κατά τη διήθηση συλλέχθηκε αρκετή ποσότητα στερεού και μεγάλο ποσοστό SAP. Άρα δεν υπάρχει μείωση του όγκου του SAP. Ακόμα από το Σχήμα 6-23 είναι φανερό ότι παρατηρείται SAP πάνω στο διηθητικό χαρτί το οποίο όμως φαίνεται να είναι διαλυμένο μιας και στην προσπάθεια ενυδάτωσης του δεν συγκρατούσε καθόλου νερό.

- *Απλή Υδρόλυση*



Σχήμα 6-25: Υδατικό διάλυμα πριν την εισαγωγή στο αερόλουτρο.



Σχήμα 6-24: Υδατικό διάλυμα μετά τους 50°C στο αερόλουτρο.



Σχήμα 6-26: Ξήρανση στους 50°C του στερεού μέρους της διήθησης του υδατικού διαλύματος.

Στο Σχήμα 6-24 φαίνεται ότι δεν επιτυγχάνεται διαχωρισμός μεταξύ του SAP/ πολτού βαμβακιού. Κατά τη διήθηση συλλέχθηκε μεγάλη ποσότητα στερεού και μεγάλο ποσοστό SAP. Άρα δεν υπάρχει μείωση του όγκου SAP. Ακόμα από το Σχήμα 6-26 είναι φανερό ότι παρατηρείται μεγάλη ποσότητα ενυδατωμένου SAP ακόμα και μετά από ξήρανση στους 50°C για 24h.

Τα συνολικά αποτελέσματα από τις μετρήσεις παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 6-2: Αποτελέσματα υδρόλυσεων τεμαχισμένης πάνας

Πείραμα με βάση την προεπεξεργασία	Γλυκόζη (g/L)
Υδατική	0,003
Όξινη	<b>0,096</b>
Αλκαλική	0,026
Ενζυμική	0,005

Από τις παραπάνω εικόνες παρατηρείται ότι το SAP αφυδατώθηκε πλήρως με την αλκαλική και την όξινη υδρόλυση. Ωστόσο στην υδατική υδρόλυση παρατηρήθηκε ότι το διηθητικό χαρτί είχε υγρασία και το SAP δεν είχε αφυδατωθεί. Τα παραπάνω αποδεικνύουν ότι ακόμα κι αν προχωρήσει η διαδικασία σε ξήρανση της ενυδατωμένης πάνας, η ποσότητα υγρασίας που συγκρατεί είναι αρκετά σημαντική με αποτέλεσμα να χρειάζονται τεράστιες ποσότητες θερμότητας για την πλήρη ξήρανσή της. Παρόλο που στην ενζυμική υδρόλυση το SAP είχε αφυδατωθεί, τα αποτελέσματα είναι παρόμοια με αυτά της υδατικής υδρόλυσης όσον αφορά στην αποδέσμευση της γλυκόζης. Η όξινη υδρόλυση φαίνεται να έχει τα καλύτερα αποτελέσματα μεταξύ αυτών των μεθόδων στην παραγωγή της γλυκόζης όμως είναι απαραίτητο να διαχωριστούν τα κυτταρινούχα μέρη από τα πλαστικά και να γίνει κάποιου είδους προεπεξεργασία με σκοπό την αύξηση της συγκέντρωσης της παραγόμενης γλυκόζης.

#### 6.4.2 Αποτελέσματα υδρόλυσης πολτού βαμβακιού χωρίς προεπεξεργασία

Τα αποτελέσματα της αποδέσμευσης της γλυκόζης μέσω υδρόλυσης από τον πολτό βαμβακιού φαίνονται παρακάτω.

Πίνακας 6-3: Αποτελέσματα παραγωγής γλυκόζης από τον πολτό βαμβακιού χωρίς επεξεργασία

Πείραμα με βάση τον διαλύτη	Γλυκόζη (g/L)
H <sub>2</sub> O	0,02
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,068
NaOH	0,02
H <sub>2</sub> O + κυτταρινάση	0,291

Η χρήση του ενζύμου κυτταρινάση έχει την μεγαλύτερη απόδοση παραγωγής της γλυκόζης όμως παρόλα αυτά είναι ακόμα αρκετά χαμηλή. Θεωρείται απαραίτητη η αλκαλική προεπεξεργασία για την αύξηση της απόδοσης σύμφωνα με την βιβλιογραφία όπου πραγματεύεται την παραγωγή γλυκόζης από υφάσματα βαμβακερά και πολυεστέρα [43].

#### 6.4.3 Αποτελέσματα υδρόλυσης πολτού βαμβακιού με προεπεξεργασία και προσθήκη ενζύμου

##### 6.4.3.1 Αποτελέσματα επίδρασης του διαλύτη και του χρόνου ενζύμου

Πριν την προσθήκη ενζύμων πραγματοποιείται έλεγχος της παραγωγής γλυκόζης που έχει προκύψει κατά των μεθόδων του υδατόλουτρου και του autoclave ως προεπεξεργασία. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω.

Πίνακας 6-4: Αποτελέσματα πειράματος χωρίς προσθήκη ενζύμου αφού έχει προηγηθεί προεπεξεργασία με υδατόλουτρο και autoclave.

	Διαλύτης	Γλυκόζη (g/L)	Απόδοση (%)
<b>ΥΔΑΤΟΛΟΥΤΡΟ</b>	<b>H<sub>2</sub>O</b>	0,004 ± 0,001	0,02%
	<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	0,006 ± 0,003	0,02%
	<b>NaOH</b>	0,11 ± 0,18	0,5%
<b>AUTOCLAVE</b>	<b>H<sub>2</sub>O</b>	0,012 ± 0,005	0,05%
	<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	0,15 ± 0,044	0,6%
	<b>NaOH</b>	0,022 ± 0,015	0,09%

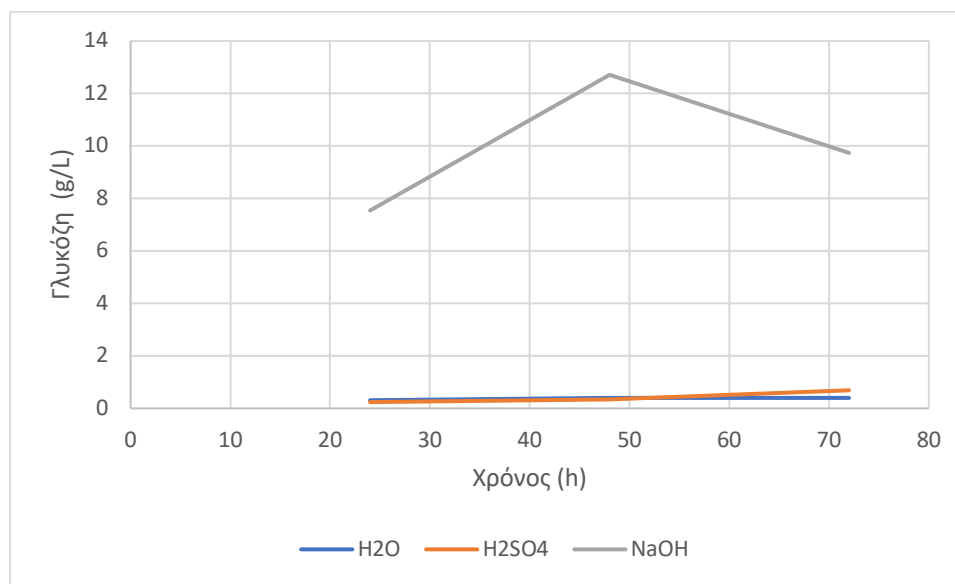
Στη συνέχεια, συνοψίζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων από την επίδραση των διαλυτών με διαφορετική διάρκεια δράσης του ενζύμου κυτταρινάσης ως προς την παραγωγή της γλυκόζης. Όπως φαίνεται στους παραπάνω πίνακες η όξινη υδρόλυση στο autoclave έχει την μεγαλύτερη απόδοση στην παραγωγή γλυκόζης πριν την προσθήκη ενζύμων.



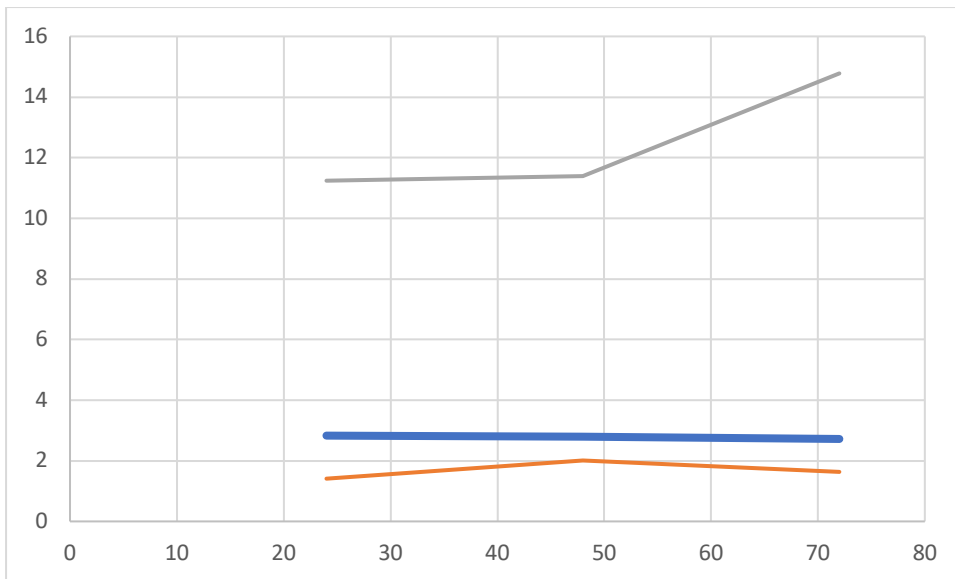
Πίνακας 6-5: Αποτελέσματα πειράματος χρόνου δράσης ενζύμου αφού έχει προηγηθεί προεπεξεργασία με υδατόλουτρο και autoclave

	Χρόνος σακχαροποίησης (h)	Γλυκόζη g/L					
		Με H <sub>2</sub> O	Απόδοση (%)	Με H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Απόδοση (%)	Με NaOH	Απόδοση (%)
<b>ΥΔΑΤΟΛΟΥΤΡΟ</b>	24	0,31	1%	0,24	1%	7,54	31%
	48	0,40	2%	0,35	1%	12,71 ± 1,61	52%
	72	0,40	2%	0,69	3%	9,73	40%
<b>AUTOClave</b>	24	2,83	12%	1,41	6%	11,24	46%
	48	2,80	11%	2,01	8%	11,40 ± 3,12	46%
	72	2,72	11%	1,64	7%	14,78	60%

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτει το Σχήμα 6-27 και το Σχήμα 6-28.



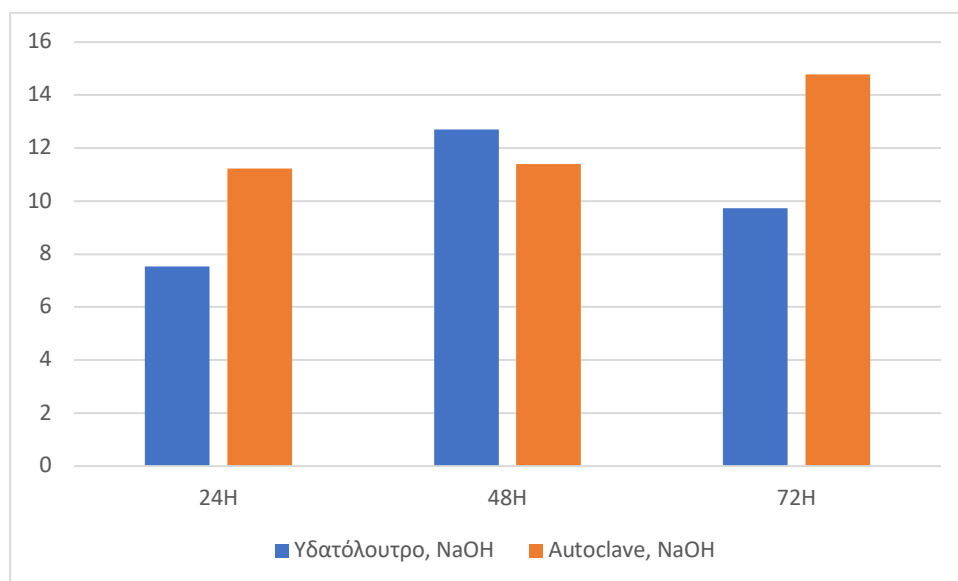
Σχήμα 6-27: Επίδραση χρόνου δράσης ενζύμου και διαλύτη στην παραγωγή γλυκόζης με χρήση υδατόλουτρου



Σχήμα 6-28: Επίδραση χρόνου δράσης ενζύμου και διαλύτη στην παραγωγή γλυκόζης με χρήση autoclave.

Από τα παραπάνω είναι ξεκάθαρο ότι η μέγιστη απόδοση στην παραγωγή της γλυκόζης παρατηρείται με τη χρήση του διαλύτη NaOH. Όσον αφορά στην μέθοδο του υδατόλουτρου η απόδοση φαίνεται να πέφτει μετά τις 48h για το NaOH. Ενώ αντιθέτως στο autoclave η απόδοση φαίνεται να είναι ανοδική και μετά από τις 72h.

Ακόμα στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 6-29) παρουσιάζεται η επίδραση της μεθόδου autoclave/υδατόλουτρου στην παραγωγή της γλυκόζης με βάση τον διαλύτη NaOH.



Σχήμα 6-29: Επίδραση χρόνου δράσης ενζύμου στην παραγωγή γλυκόζης στους δυο τρόπους προεπεξεργασίας

Συμπεραίνεται ότι η μέθοδος με το autoclave φαίνεται να αποδίδει καλύτερα ως προς την παραγωγή της γλυκόζης από το κυτταρινούχο περιεχόμενο του πολτού βαμβακιού.

Παρόλο που η απόδοση της γλυκόζης είναι μέγιστη όταν πραγματοποιείται ενζυμική υδρόλυση για 72h η διαφορά στην συγκέντρωση της είναι μόλις περίπου 3g/L. Οι μέγιστες αποδόσεις του κάθε πειράματος, καθώς και ο χρόνος στον οποίο επιτυγχάνονται παρουσιάζονται στον [Πίνακα 6-6](#).

Ως εκ τούτου, τα πειράματα στην παρούσα διπλωματική εργασία συνεχίζονται με καυστικό νάτριο και ενζυμική υδρόλυση που φαίνεται να δίνουν τις μεγαλύτερες αποδόσεις.

Πίνακας 6-6: Μέγιστες αποδόσεις πειραμάτων επίδρασης χρόνου ενζύμου κυτταρινάσης και διαλύτη.

Πείραμα	Διαλύτης	Χρόνος (ώρες)	Απόδοση (%)
Υδατόλουτρο	NaOH	48	52
Autoclave	NaOH	72	60

#### 6.4.3.2 Αποτελέσματα επίδρασης της συγκέντρωσης του διαλύτη NaOH

Πριν την προσθήκη ενζύμων πραγματοποιείται έλεγχος της παραγωγής γλυκόζης που έχει προκύψει κατά τη διάρκεια των μεθόδων προεπεξεργασίας στο υδατόλουτρο και στο autoclave. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω.

Πίνακας 6-7: Αποτελέσματα πειράματος χωρίς προσθήκης ενζύμου αφού έχει προηγηθεί προεπεξεργασία με υδατόλουτρο και autoclave με διαφορετικές συγκεντρώσεις NaOH.

	Συγκέντρωση NaOH (M)	Γλυκόζη g/L	Απόδοση (%)
ΥΔΑΤΟΛΟΥΤΡΟ	0,1	0,08 ± 0,08	0,3%
	0,2	0,03 ± 0,03	0,1%
	0,3	0,11 ± 0,18	0,3%
AUTOCLAVE	0,1	0,085 ± 0,122	0,3%
	0,2	0,012 ± 0,005	0,05%
	0,3	0,022 ± 0,015	0,09%

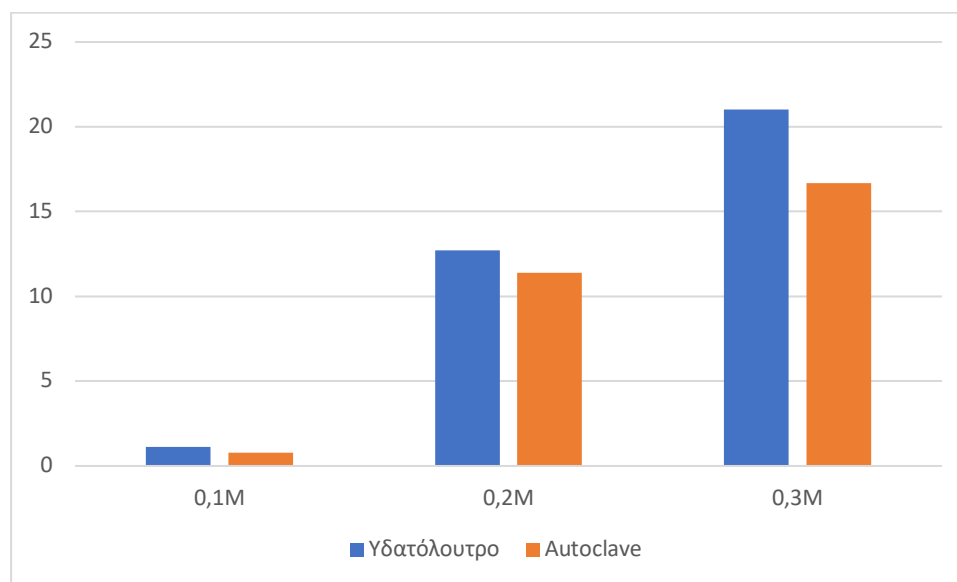
Στη συνέχεια, συνοψίζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων από την επίδραση της συγκέντρωσης του διαλύτη NaOH ως προς την παραγωγή της γλυκόζης με προσθήκη ενζύμου κυτταρινάσης (500μL/g κυτταρίνης).

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την μέθοδο παραγωγής γλυκόζης με το υδατόλουτρο.

Πίνακας 6-8: Αποτελέσματα πειράματος επίδρασης συγκέντρωσης NaOH με προεπεξεργασία σε υδατόλουτρο και autoclave.

	Συγκέντρωση NaOH (M)	Γλυκόζη g/L	Απόδοση (%)
ΥΔΑΤΟΛΟΥΤΡΟ	0,1	1,14 ± 0,18	5%
	0,2	12,71 ± 1,61	52%
	0,3	21,00 ± 3,95	85%
AUTOCLAVE	0,1	0,79 ± 0,12	3%
	0,2	11,40 ± 3,12	46%
	0,3	16,66 ± 1,59	68%

Από τον παραπάνω πίνακα κατασκευάζεται το Σχήμα 6-30.



Σχήμα 6-30: Επίδραση συγκέντρωσης του διαλύτη NaOH στην παραγωγή γλυκόζης με δύο μεθόδους προεπεξεργασίας

Η συγκέντρωση 0,3M NaOH με τη χρήση υδατόλουτρου έχει την μεγαλύτερη απόδοση στα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν. Στην συγκέντρωση 0,1M NaOH του διαλύτη

παρατηρούνται πολύ μικρές αποδόσεις για αυτό τα πειράματα συνεχίζουν με τις συγκεντρώσεις 0,2M και 0,3M NaOH.

Οι μέγιστες αποδόσεις του κάθε πειράματος, παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-9.

Πίνακας 6-9: Μέγιστες αποδόσεις πειραμάτων επίδρασης της συγκέντρωσης του διαλύτη.

Πείραμα	Συγκέντρωση (M)	Απόδοση (%)
Υδατόλουτρο	0,3	85%
Autoclave	0,3	68%

#### 6.4.3.2 Αποτελέσματα επίδρασης του φορτίου του ενζύμου στην ενζυμική υδρόλυση

Πριν την προσθήκη ενζύμων πραγματοποιείται έλεγχος της ενδεχόμενης παραγωγής της γλυκόζης που έχει προκύψει κατά των μεθόδων προεπεξεργασίας στο υδατόλουτρο και στο autoclave. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω.

Πίνακας 6-10: Αποτελέσματα πειράματος χωρίς προσθήκης ενζύμου αφού έχει προηγηθεί προεπεξεργασία με υδατόλουτρο και autoclave με NaOH.

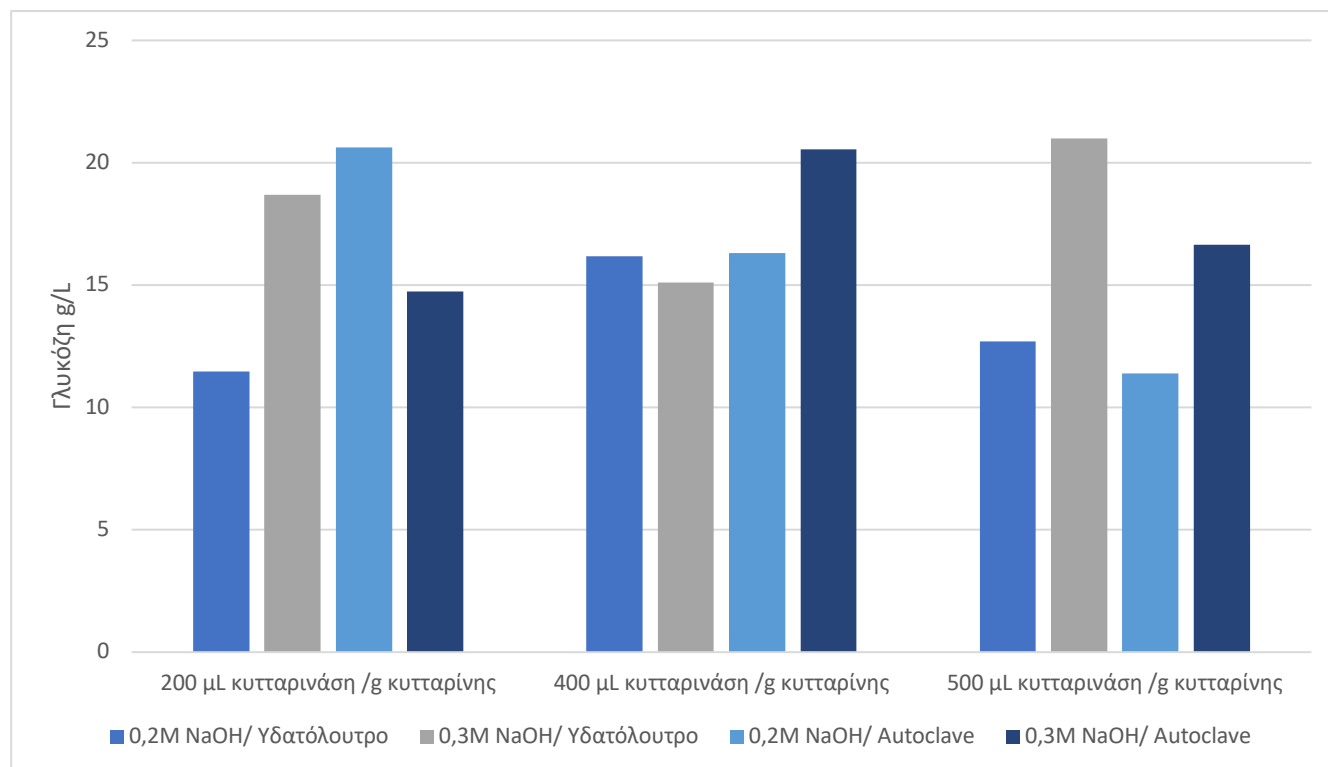
	Συγκέντρωση NaOH (M)	Γλυκόζη g/L	Απόδοση (%)
ΥΔΑΤΟΛΟΥΤΡΟ	0,2	0,03 ± 0,03	0,1%
	0,3	0,11 ± 0,18	0,3%
AUTOCLAVE	0,2	0,012 ± 0,005	0,05%
	0,3	0,022 ± 0,015	0,09%

Στη συνέχεια, συνοψίζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων από την επίδραση ποσότητας του ενζύμου κυτταρινάση ως προς την παραγωγή της γλυκόζης με τις μεθόδους προεπεξεργασίας υδατόλουτρο/autoclave.

Πίνακας 6-11: Αποτελέσματα πειραμάτων γλυκόζης μετά τη προσθήκη διαφόρων φορτίων ενζύμου.

	Συγκέντρωση NaOH (M)	Γλυκόζη g/L					
		Με 200 $\mu$ L κυτταρινάση /g κυτταρίνης	Απόδοση (%)	Με 400 $\mu$ L κυτταρινάση /g κυτταρίνης	Απόδοση (%)	Με 500 $\mu$ L κυτταρινάση /g κυτταρίνης	Απόδοση (%)
<b>ΥΔΑΤΟΛΟΥΤΡΟ</b>	0,2	11,48 $\pm$ 2,01	47%	16,19 $\pm$ 0,67	66%	12,71 $\pm$ 1,61	52%
	0,3	18,69 $\pm$ 1,77	76%	15,11 $\pm$ 2,67	61%	21,00 $\pm$ 3,95	85%
<b>AUTOCLAVE</b>	0,2	20,62 $\pm$ 1,04	84%	16,30 $\pm$ 4,43	66%	11,40 $\pm$ 3,12	46%
	0,3	14,75 $\pm$ 0,14	60%	20,54 $\pm$ 1,55	83%	16,66 $\pm$ 1,59	68%

Από τον παραπάνω πίνακα κατασκευάζεται το [Σχήμα 6-31](#).



Σχήμα 6-31: Επίδραση συγκέντρωσης του διαλύτη NaOH καθώς και του φορτίου του ενζύμου στην παραγωγή γλυκόζης με δυο τρόπους προεπεξεργασίας υδατόλουτρου/autoclave.

Από το παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι ως προς τις μεθόδους προεπεξεργασίας, το autoclave είχε τις βέλτιστες συνθήκες σακχαροποίησης σε φορτίο ενζύμου 200 και 400  $\mu\text{L}$  κυτταρινάση/g κυτταρίνης. Επίσης σε φορτίο ενζύμου 200  $\mu\text{L}$  κυτταρινάση/g κυτταρίνης και συγκέντρωση διαλύτη 0,2M το autoclave έδωσε απόδοση 84%, ενώ σε φορτίο ενζύμου 500  $\mu\text{L}$  κυτταρινάση/g κυτταρίνης και συγκέντρωση διαλύτη 0,3M το υδατόλουτρο είχε την μέγιστη απόδοση από όλα τα πειράματα με ποσοστό 85%.

Όσον αφορά τη συγκέντρωση του διαλύτη παρατηρούνται διακυμάνσεις. Σε φορτίο ενζύμου 200  $\mu\text{L}$  κυτταρινάση/g κυτταρίνης παρατηρούνται μεγαλύτερες αποδόσεις με την συγκέντρωση 0,2M όσον αφορά στην μέθοδο του autoclave και στο υδατόλουτρο σημειώθηκε μεγαλύτερη απόδοση σε συγκέντρωση 0,3M. Σε φορτίο ενζύμου 400 και 500  $\mu\text{L}$  κυτταρινάση/g κυτταρίνης καλύτερα αποτελέσματα φαίνεται να έχει η συγκέντρωση 0,3M του διαλύτη NaOH και ειδικότερα όσον αφορά στην μέθοδο του autoclave.

Οι μέγιστες αποδόσεις του κάθε πειράματος παρουσιάζονται στον Πίνακας 6-12.

Πίνακας 6-12: Μέγιστες αποδόσεις πειραμάτων επίδρασης φορτίου του ενζύμου

Πείραμα	Συγκέντρωση διαλύτη (M)	Φορτίο ενζύμου ( $\mu\text{L}$ )	Απόδοση (%)
Υδατόλουτρο	0,3	500	85
Autoclave	0,2	200	84

## 6.5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΝΑΚΛΙΜΑΚΩΣΗΣ

Με βάση τα πειράματα που έγιναν παραπάνω αλλά ειδικότερα λαμβάνοντας υπόψιν τα αποτελέσματα των πειραμάτων της αποδόμησης αποβλήτου τα οποία παρουσιάζονται στο [Κεφάλαιο 6.7](#) επιλέχθηκε το πείραμα της ανακλιμάκωσης να πραγματοποιηθεί με προεπεξεργασία στο autoclave. Τα αποτελέσματα μετά τη προεπεξεργασία αλλά πριν τη προσθήκη ενζύμου παρουσιάζονται παρακάτω (βλ. Πίνακας 6-13)

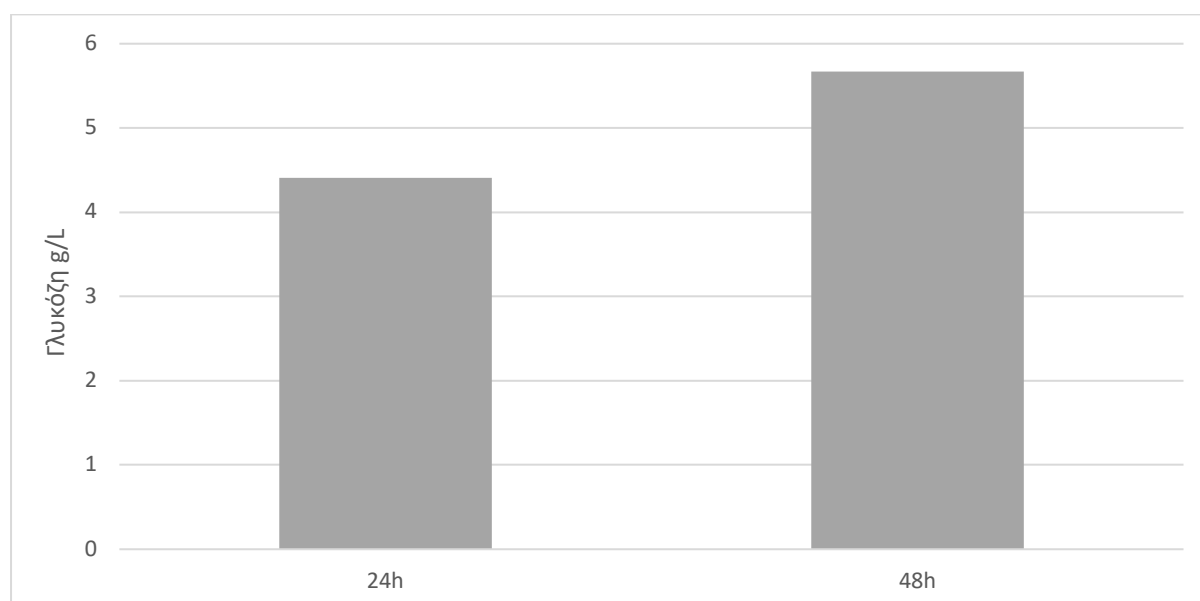
Πίνακας 6-13: Αποτελέσματα ανακλιμάκωσης μετά την προεπεξεργασία και πριν την προσθήκη ενζύμου.

Συγκέντρωση NaOH (M)	Γλυκόζη g/L	Απόδοση (%)
0,3	0,01 $\pm$ 0	0%

Στη συνέχεια, συνοψίζονται τα αποτελέσματα της ανακλιμάκωσης ως προς την παραγωγή γλυκόζης με ενζυμική υδρόλυση για φορτίο ενζύμου 400 μL/g κυτταρίνης. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στις 24h και τις 48h.

Πίνακας 6-14: Αποτελέσματα ανακλιμάκωσης για 24h και 48h ενζυμικής υδρόλυσης

Χρόνος ενζυμικής υδρόλυσης (h)	Γλυκόζη g/L	Απόδοση (%)
24	4,41 ± 0,6	71%
48	5,67 ± 0,1	91%



Σχήμα 6-32: Σχηματική αναπαράσταση των αποτελεσμάτων της ανακλιμάκωσης στην αποδέσμευση της γλυκόζης.

Όπως φαίνεται από τον [Πίνακα 6-14](#) και το [Σχήμα 6-32](#) η απόδοση της αποδέσμευσης της γλυκόζης στην ανακλιμάκωση αυξάνεται κατά 20% μέσα σε 24h. Γίνεται αντιληπτό ότι με την μείωση του στερεού φορτίου που εισάγεται αρχικά, επιτυγχάνονται ακόμα μεγαλύτερες αποδόσεις στην αποδέσμευση της γλυκόζης που φτάνουν το 90%. Επιπλέον σημαντικό ρόλο πιθανόν να έπαιξε και η ύπαρξη μηχανικής ανάδευσης η οποία είναι ισχυρότερη συγκριτικά με την ανάδευση στο αερόλουτρο.



## 6.6 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΒΙΟΑΙΘΑΝΟΛΗΣ

### 6.6.1 Αποτελέσματα επίδρασης της συγκέντρωσης του διαλύτη NaOH στην παραγωγή βιοαιθανόλης.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα παραγωγής βιοαιθανόλης με προεπεξεργασία στο υδατόλουτρο και στο autoclave με φορτίο ενζύμου 500  $\mu\text{L}$  κυτταρινάση/g κυτταρίνης. Ακόμα παρουσιάζεται και η υπολειπόμενη γλυκόζη στο διάλυμα.

Πίνακας 6-15: Αποτελέσματα πειράματος επίδρασης συγκέντρωσης NaOH στην παραγωγή αιθανόλης με προεπεξεργασία στο υδατόλουτρο και στο autoclave.

	Συγκέντρωση NaOH (M)	Αιθανόλη (g/L)	Γλυκόζη (g/L)	Απόδοση αιθανόλης (%)
ΥΔΑΤΟΛΟΥΤΡΟ	0,1	1,08 $\pm$ 0,07	1,99 $\pm$ 0,04	9%
	0,2	4,06 $\pm$ 0,73	4,84 $\pm$ 2,06	31%
	0,3	3,92 $\pm$ 1,15	11,54 $\pm$ 2,06	32%
AUTOCLAVE	0,1	4,81 $\pm$ 0,75	0,99 $\pm$ 0,82	39%
	0,2	4,81 $\pm$ 1,77	4,58 $\pm$ 1,55	39%
	0,3	4,78 $\pm$ 0,81	8,41 $\pm$ 0,80	39%

Με βάση τον Πίνακα 6-15 παρατηρείται ότι στο autoclave με βάση την απόδοση της θεωρητικής παραγωγής αιθανόλης, δηλαδή την συνολική αιθανόλη που παράχθηκε δια την θεωρητική γλυκόζη που περιμέναμε να έχει στο διάλυμα όλες οι συγκεντρώσεις του διαλύτη έχουν δώσει την μεγαλύτερη απόδοση ίση με 39%, ενώ στο υδατόλουτρο τη μεγαλύτερη απόδοση έχει δώσει η συγκέντρωση 0,3M του διαλύτη η οποία είναι ίση με 32%.

Στον παρακάτω πίνακα (βλ. Πίνακας 6-16) φαίνονται οι μέγιστες αποδόσεις για την παραγωγή της αιθανόλης λαμβάνοντας υπόψιν και τους δυο τρόπους υπολογισμού της αλλά και την συγκέντρωση της αιθανόλης που τελικά παράχθηκε. Τέλος αυτό που παρατηρείται στα αποτελέσματα είναι πως η παραγωγή της αιθανόλης φτάνει ένα μέγιστο κοντά στα 5g/L αιθανόλη. Αυτό μπορεί να οφείλεται στο γεγονός ότι μπορεί να απαιτείται περισσότερος

χρόνος ζύμωσης καθώς στο διάλυμα παρατηρείται ύπαρξη υπολειπόμενης γλυκόζης η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί.

Πίνακας 6-16: Μέγιστες αποδόσεις αιθανόλης πειραμάτων επίδρασης της συγκέντρωσης του NaOH.

Πείραμα	Συγκέντρωση διαλύτη (M)	Αιθανόλη (g/L)	Απόδοση αιθανόλης (%)
Autoclave	0,1	4,81 ± 0,75	38
Autoclave	0,2	4,81 ± 1,77	38

### 6.6.2 Αποτελέσματα επίδρασης της συγκέντρωσης του ενζύμου στην παραγωγή βιοαιθανόλης.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα παραγωγής βιοαιθανόλης με προεπεξεργασία στο υδατόλουτρο και στο autoclave στον Πίνακα 6-17 ενώ στον Πίνακα 6-18 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες αποδόσεις.

Πίνακας 6-17: Αποτελέσματα πειράματος επίδρασης φορτίου κυτταρινάσης στην παραγωγή αιθανόλης με προεπεξεργασία στο υδατόλουτρο και στο autoclave.

	Συγκέντρωση NaOH (M)	200 μL κυτταρινάση /g κυτταρίνης		400 μL κυτταρινάση /g κυτταρίνης		500 μL κυτταρινάση /g κυτταρίνης	
		Αιθανόλη (g/L)	Γλυκόζη (g/L)	Αιθανόλη (g/L)	Γλυκόζη (g/L)	Αιθανόλη (g/L)	Γλυκόζη (g/L)
<b>ΥΔΑΤΟΛΟΥΤΡΟ</b>	0,2	4,63 ± 1,24	4,53 ± 5,58	5,25 ± 2,47	6,67 ± 5,58	4,06 ± 0,73	4,84 ± 2,1
	0,3	4,25 ± 1,67	6,10 ± 3,01	3,81 ± 1,14	5,19 ± 3,11	3,92 ± 1,15	11,54 ± 2,1
<b>AUTOCCLAVE</b>	0,2	<b>5,38 ± 0,53</b>	7,43 ± 1,99	<b>6,25 ± 1,77</b>	7,16 ± 5,44	4,81 ± 1,77	4,58 ± 1,55
	0,3	4,33 ± 1,04	4,99 ± 1,67	4,56 ± 0,59	7,63 ± 0,53	4,78 ± 0,81	8,41 ± 0,80

Πίνακας 6-18:Αποδόσεις πειραμάτων επίδρασης φορτίου κυτταρινάσης στην παραγωγή αιθανόλης με προεπεξεργασία στο υδατόλουτρο και στο autoclave.

		200 $\mu$ L κυτταρινάση/g κυτταρίνης	400 $\mu$ L κυτταρινάση/g κυτταρίνης	500 $\mu$ L κυτταρινάση/g κυτταρίνης
	Συγκέντρωση NaOH (M)	Απόδοση αιθανόλης (%)	Απόδοση αιθανόλης (%)	Απόδοση αιθανόλης (%)
<b>ΥΔΑΤΟΛΟΥΤΡΟ</b>	<b>0,2</b>	38%	43%	33%
	<b>0,3</b>	35%	31%	32%
<b>AUTOCCLAVE</b>	<b>0,2</b>	44%	51%	39%
	<b>0,3</b>	35%	37%	39%

Από τους παραπάνω δυο πίνακες προκύπτει ότι η μέγιστη συγκέντρωση παραγόμενης αιθανόλης παρατηρείται για τη συγκέντρωση διαλύτη ίση με 0,2M και φορτίο ενζύμου 200 και 400 $\mu$ L/g κυτταρίνης. Η παραγόμενη αιθανόλη είναι 5,38g/L και 6,25g/L αντίστοιχα με την θεωρητική απόδοση να ξεπερνάει το 40%. Οι μέγιστες αποδόσεις φαίνονται και στον Πίνακας 6-19.

Πίνακας 6-19: Μέγιστες αποδόσεις πειραμάτων επίδρασης φορτίου κυτταρινάσης στην παραγωγή αιθανόλης με προεπεξεργασία στο υδατόλουτρο και στο autoclave.

Πείραμα	Συγκέντρωση διαλύτη (M)	Φορτίο ενζύμου ( $\mu$ L/g κυτταρίνης)	Αιθανόλη (g/L)	Απόδοση αιθανόλης (%)
<b>Autoclave</b>	0,2	200	5,38 $\pm$ 0,53	44
<b>Autoclave</b>	0,2	400	6,25 $\pm$ 1,77	51

### 6.6.3 Αποτελέσματα ανακλιμάκωσης ως προς την παραγωγή βιοαιθανόλης

Στον Πίνακας 6-20 παρουσιάζεται η συγκέντρωση αιθανόλης που παράχθηκε, η υπολειπόμενη γλυκόζη στο διάλυμα και τέλος η θεωρητική απόδοση της αιθανόλης.

Πίνακας 6-20: Αποτελέσματα παραγωγής βιοαιθανόλης στο πείραμα της ανακλιμάκωσης.

Αιθανόλη g/L	Γλυκόζη g/L	Απόδοση
0,6	4,12	20%

Η διεργασία της ανακλιμάκωσης αλλά και το φορτίο του εισαγόμενου στερεού φαίνεται πως επηρεάζει την παραγωγή της αιθανόλης. Ειδικότερα με φορτίου ενζύμου 400  $\mu\text{L/g}$  κυτταρίνης και συγκέντρωση NaOH 0,3M αναμενόταν απόδοση κοντά στο 45%. Συνεπώς η αύξηση του φορτίου κρίνεται σημαντική για την αύξηση της απόδοσης της αιθανόλης.

#### 6.6.4 Απόδοση ζύμωσης

Όπως αναλύθηκε στο [Κεφάλαιο 4.2](#) μπορεί να υπολογισθεί και η απόδοση της ζύμωσης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο πίνακα παρακάτω.

Πίνακας 6-21: Αποδόσεις πειραμάτων επίδρασης φορτίου κυτταρίνης στην παραγωγή αιθανόλης με προεπεξεργασία στο υδατόλουτρο και στο autoclave.

	Συγκέντρωση NaOH (M)	Απόδοση ζύμωσης (%)		
		200 $\mu\text{L}$ κυτταρίνη/g κυτταρίνης	400 $\mu\text{L}$ κυτταρίνη/g κυτταρίνης	500 $\mu\text{L}$ κυτταρίνη/g κυτταρίνης
<b>ΥΔΑΤΟΛΟΥΤΡΟ</b>	<b>0,1</b>	-	-	186%
	<b>0,2</b>	79%	63%	63%
	<b>0,3</b>	44%	49%	37%
<b>AUTOCLAVE</b>	<b>0,1</b>	-	-	1187%
	<b>0,2</b>	51%	75%	83%
	<b>0,3</b>	57%	43%	56%

Με βάση την απόδοση της διεργασίας τη μεγαλύτερη απόδοση έχει δώσει η συγκέντρωση 0,1M και στο autoclave αλλά και στο υδατόλουτρο. Η απόδοση αυτή είναι ίση με 1187% και 185% αντίστοιχα. Μια εξήγηση για τον λόγο που η απόδοση υπερβαίνει το 100% είναι ότι

καθ' όλη την διάρκεια όπου συμβαίνει η διαδικασία της παραγωγής της αιθανόλης το ένζυμο πιθανόν να συνεχίζει να δρα με αποτέλεσμα να συνεχίζει να παράγεται γλυκόζη από το υπόστρωμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παράγεται τελικά περισσότερη γλυκόζη από αυτή που υπήρχε πριν την προσθήκη της μαγιάς. Σε αυτή την περίπτωση η γλυκόζη συνεχίζεται να παράγεται και να καταναλώνεται από τη *Saccharomyces cerevisiae* προς την παραγωγή της αιθανόλης. Τέλος, λόγω όσων αναφέρθηκαν παραπάνω μπορεί να δικαιολογηθεί και χαμηλή απόδοση στο κομμάτι της παραγωγής της αιθανόλης η οποία φαίνεται πως με περαιτέρω έρευνα μπορεί να αυξηθεί.

## 6.7 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑ ΑΠΟΔΟΜΗΣΗΣ ΣΤΕΡΕΟΥ

Πραγματοποιήθηκε και έλεγχος της αποδόμησης του στερεού πολτού βαμβακιού στο πέρας της ενζυμικής υδρόλυσης με διαφορετική συγκέντρωση NaOH και ενζύμου. Τα αποτελέσματα συνοψίζονται στον Πίνακα 6-22.

Πίνακας 6-22: Αποτελέσματα αποδόμησης πολτού βαμβακιού (%) με προεπεξεργασία στο υδατόλουτρο και στο autoclave.

	Συγκέντρωση NaOH (M)	Αποδόμηση πολτού βαμβακιού (%)		
		200 $\mu$ L κυτταρινάση /g κυτταρίνης	400 $\mu$ L κυτταρινάση /g κυτταρίνης	500 $\mu$ L κυτταρινάση /g κυτταρίνης
ΥΔΑΤΟΛΟΥΤΡΟ	0,1	-	-	5% $\pm$ 3%
	0,2	74% $\pm$ 14%	81% $\pm$ 1%	66% $\pm$ 1%
	0,3	78% $\pm$ 5%	79% $\pm$ 8%	82% $\pm$ 6%
AUTOCLAVE	0,1	-	-	58% $\pm$ 8%
	0,2	90% $\pm$ 1%	92% $\pm$ 1%	87% $\pm$ 1%
	0,3	85% $\pm$ 1%	86% $\pm$ 3%	90% $\pm$ 1%

Από τα αποτελέσματα, συμπεραίνεται ότι η προσθήκη ενζύμων επηρεάζει αρκετά την αποδόμηση του πολτού βαμβακιού. Η τιμή της είναι αρκετά υψηλότερη στα πειράματα με την μέθοδο του autoclave καθώς εκεί παρατηρούνται και πιο υψηλές αποδόσεις της αποδόμησης του στερεού σε όλα τα πειράματα που πραγματοποιήθηκαν. Οι μέγιστες αποδόσεις του κάθε πειράματος, καθώς και η συγκέντρωση του διαλύτη και το φορτίο του ενζύμου όπου επιτυγχάνονται παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-23.

Πίνακας 6-23: Μέγιστες αποδόσεις πειραμάτων της αποδόμησης στερεού

Πείραμα	Συγκέντρωση διαλύτη (M)	Φορτίο κυτταρινάσης (μL/g κυτταρίνης)	Απόδοση (%)
Υδατόλουτρο	0,3	500	82
Autoclave	0,2	400	92

#### 6.7.1 Αποτελέσματα ανακλιμάκωσης ως προς την αποδόμηση αποβλήτου

Στον παρακάτω Πίνακας 6-24\_συνοψίζονται τα αποτελέσματα της αποδόμησης του πολτού βαμβακιού για τα πειράματα της ανακλιμάκωσης. Οι συνθήκες των πειραμάτων αυτών παρουσιάζονται στον [Πίνακας 5-9](#) και [Πίνακας 5-10](#).

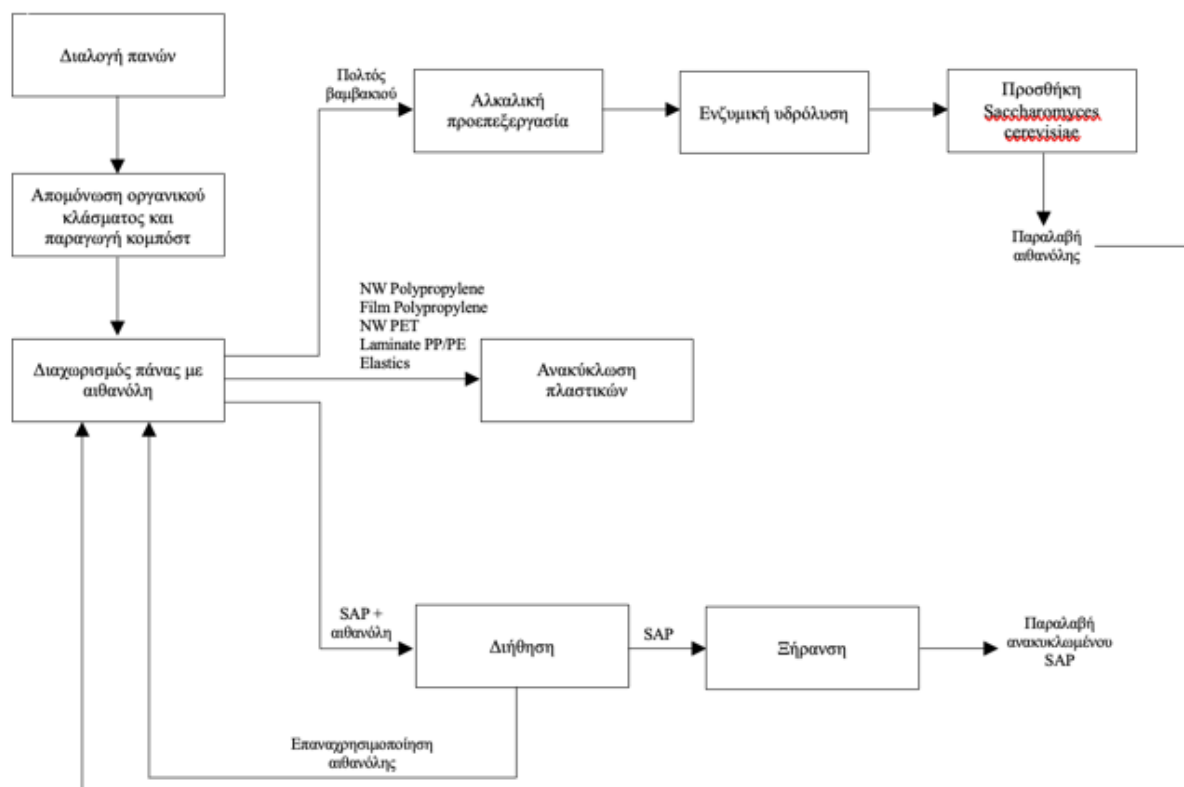
Πίνακας 6-24: Αποτελέσματα πειραμάτων ανακλιμάκωσης για την αποδόμηση αποβλήτου

Αποδόμηση πολτού βαμβακιού (%)
91% ± 1%

Από τον παραπάνω πίνακα φαίνεται ότι έχουμε μια πολύ υψηλή απόδοση αποδόμησης αποβλήτου με προεπεξεργασία στο autoclave ακόμα και με την ανακλιμάκωση της διεργασίας. Αυτό που παρατηρήθηκε κατά τη διάρκεια των πειραμάτων ήταν πως μετά από 24h ενζυμικής υδρόλυσης το στερεό είχε ήδη διαλυθεί σχεδόν τελείως μέσα στο διάλυμα.

## 6.8 ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΒΡΕΦΙΚΗΣ ΠΑΝΑΣ

Το προτεινόμενο διάγραμμα ροής της αξιοποίησης της βρεφικής πάνας σύμφωνα με την έρευνα που έχει διεξαχθεί φαίνεται παρακάτω (βλ. [Σχήμα 6-33](#)).



Σχήμα 6-33: Διάγραμμα ροής της αξιοποίησης της βρεφικής πάνας μιας χρήσης

Η αξιοποίηση της πάνας ξεκινάει με την διαλογή πανών η οποία θα αναλυθεί περαιτέρω παρακάτω (βλ. Κεφάλαιο [«Μελλοντικές Προτάσεις»](#)), στη συνέχεια γίνεται απομόνωση του οργανικού κλάσματος το οποίο μαζί με κατάλληλους μικροοργανισμούς π.χ. κοπριά αγελάδας και γαιοσκώληκες μετατρέπεται σε κομπόστ (βλ. [Κεφάλαιο 3.4](#)). Το κομπόστ αυτό είναι πιθανώς κατάλληλο και για την εφαρμογή τους ως λίπασμα καθώς περιέχει παραπάνω από 1% άζωτο. Αφού έχει απομονωθεί το οργανικό κλάσμα η βρεφική πάνα προχωράει στον διαχωρισμό των στρωμάτων της με αιθανόλη και ανακτώνται 3 ρεύματα. Το πρώτο ρεύμα αποτελείται από τα πλαστικά στρώματα της πάνας (φιλμ πολυπροπυλενίου, τερεφθαλικό πολυαιθυλένιο, πλαστικοποιημένο πολυπροπυλένιο και πολυαιθυλένιο και τα ελαστικά της πάνας) τα οποία πηγαίνουν προς τον περαιτέρω διαχωρισμό και ανακύκλωσή τους. Το δεύτερο ρεύμα αποτελείται από το διάλυμα SAP και αιθανόλης το οποίο με διήθηση διαχωρίζεται. Η αιθανόλη μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί στη διαδικασία του διαχωρισμού της πάνας ενώ το

SAP ξηραίνεται με αποτέλεσμα να παραλαμβάνεται ένα δευτερογενές SAP το οποίο μπορεί να βρει εφαρμογές σε ποικίλους τομείς (βλ. [Κεφάλαιο 4.3](#)). Το τρίτο ρεύμα το οποίο ανακτάται είναι ο πολτός του βαμβακιού όπου πραγματοποιείται αλκαλική προεπεξεργασία, ενζυμική υδρόλυση και ζύμωση.



## 7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία μελέτησε σε βάθος την προσπάθεια αξιοποίησης των βρεφικών πανών και ειδικότερα την παραγωγή δευτερογενών προϊόντων όπως η βιοαιθανόλη αλλά και η ανάκτηση/επαναχρησιμοποίηση των περιεχομένων πολυμερικών υλικών και κυρίως του υπερ-απορροφητικού πολυμερούς SAP. Τα αποτελέσματα που πάρθηκαν είναι πολύ σημαντικά για την μετέπειτα πορεία της διεργασίας αυτής. Ειδικότερα, αποδείχθηκε πως η παραγωγή γλυκόζης από τον κυτταρινούχο πολτό του βαμβακιού είναι τεχνικά εφικτή και έχει αρκετά υψηλές αποδόσεις επομένως το κρίσιμο σημείο πλέον είναι η αύξηση της απόδοσης της αιθανόλης και η ανάκτησή της. Ακόμα, η παραγωγή αιθανόλης κρίνεται εφικτή ωστόσο χρήζει περαιτέρω ανάλυσης.

Τα δευτερογενή προϊόντα που παράγονται δεν είναι δυνατό να επαναχρησιμοποιηθούν στη βιομηχανία των πανών μιας και απαιτούνται αποστειρωμένα υλικά για υγειονομικούς λόγους. Παρ' όλα αυτά όλα τα υλικά μπορούν να βρουν εφαρμογές σε άλλα πεδία όπως παρουσιάστηκε παραπάνω.

Επιπρόσθετα, με βάση το προτεινόμενο διάγραμμα ροής (βλ. Σχήμα 6-33) στο τρίτο ρεύμα, στον πολτό βαμβακιού, αρχικά πραγματοποιείται μια αλκαλική προεπεξεργασία στο autoclave ( $\Theta=121^{\circ}\text{C}$  για 30min) με NaOH σε συγκέντρωση 0,3M. Έπειτα με προσθήκη ενζύμου φορτίου 400  $\mu\text{L/g}$  κυτταρίνης πραγματοποιείται ενζυμική υδρόλυση ( $\Theta=50^{\circ}\text{C}$  για 48h) και τέλος γίνεται προσθήκη *Saccharomyces cerevisiae* με φορτίο 2% w/w ( $\Theta=35^{\circ}\text{C}$  για 24h) με σκοπό την παραγωγή της αιθανόλης.

Τέλος, κρίνεται σημαντικό να αναφερθεί πως με το προτεινόμενο σχήμα αξιοποίησης της πάνας μιας χρήσης μπορούν να παραληφθούν 4 δευτερογενή προϊόντα αλλά και να μειωθεί ο όγκος του αποβλήτου κατά 90%. Η αιθανόλη που παράγεται εκτός από την εφαρμογή στο προτεινόμενο σχήμα αξιοποίησης, θα μπορούσε να βρει εφαρμογές και στην αντικατάσταση των ορυκτών καυσίμων. Στον κλάδο των μεταφορών, για παράδειγμα, η αιθανόλη απελευθερώνει λιγότερες επιβλαβείς για το περιβάλλον εκπομπές σε σύγκριση με την παραδοσιακή βενζίνη και το ντίζελ.

## 8. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Οι βιοδιαλύτες πρόκειται να αποτελέσουν το μέλλον στη βιομηχανία, επομένως η ενίσχυση της έρευνας σε αυτόν το τομέα κρίνεται απαραίτητη. Έγινε μια προσπάθεια ανακλιμάκωσης της διεργασίας της αποδέσμευσης της γλυκόζης από τον κυτταρινούχο πολτό όμως κρίνεται απαραίτητο να συνεχιστεί η έρευνα προς αυτή την κατεύθυνση με σκοπό την βελτιστοποίηση των διεργασιών και ίσως της σύνταξης ενός πειραματικού πρωτοκόλλου για την αύξηση της απόδοσης της αιθανόλης έτσι ώστε να δοκιμαστεί και να ξεκινήσει η εφαρμογή του και σε ακόμα μεγαλύτερη κλίμακα.

Ακόμα κρίνεται σημαντικό να συνεχιστεί η έρευνα όσον αφορά την αφυδάτωση και ανακύκλωση του σύνθετου πολυμερούς SAP με το διάλυμα του αλατιού.

Σημαντική επίσης θα ήταν η δοκιμή και της παραμέτρου του χρόνου ζύμωσης στην παραγωγή της αιθανόλης ώστε να χρησιμοποιηθεί πλήρως το υπόστρωμα και να αυξηθούν οι αποδόσεις. Ακόμα θα ήταν ενδιαφέρον να γίνουν και κάποια πειράματα με άλλες θερμοκρασίες στην προεπεξεργασία με το υδατόλουτρο μήπως και επιτευχθούν υψηλότερες αποδόσεις αποδόμησης αποβλήτου.

Επιπρόσθετα όσον αφορά το γενικότερο σύνολο της ανακύκλωσης της πάνας σημαντική είναι η ανάπτυξη ενός νέου συστήματος διαλογής των πανών οργανωμένο από τους δήμους, με σκοπό τον διαχωρισμό τους από τα υπόλοιπα απόβλητα ώστε να μην καταλήγουν στα ΧΥΤΑ. Τέλος, στο στάδιο που έχει φτάσει η έρευνα, θα ήταν πραγματικά ενδιαφέρουσα η εκπόνηση μια έρευνας για τον κύκλο ζωής (LCA) της αιθανόλης έτσι ώστε να μελετηθούν και οι τεχνοοικονομικοί παράγοντες. Έτσι με αυτόν τον τρόπο, η παραγωγή πράσινων διαλυτών από οργανικά απόβλητα θα βρίσκεται ακόμα πιο κοντά στην υλοποίησή του σε βιομηχανική κλίμακα.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Geyer, R., Jambeck, J. R., & Law, K. L. (2017, Jul 19). *Science Advances*. Ανάκτηση από Production, use, and fate of all plastics ever made: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1700782>
- [2] Biodegradable waste. Retrieved February 14, 2024 [https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/biodegradable-waste\\_en](https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/biodegradable-waste_en).
- [3] Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. M. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 1275–1290. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>
- [4] Suthar, S., & Singh, P. (2015). Household solid waste generation and composition in different family size and socio-economic groups: A case study. *Sustainable Cities and Society*, 14, 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.07.004>
- [5] World Health Organization. (n.d.). Chapter 4. Solid waste.
- [6] C. Pandey, G. Gajić, P. Sharma, and M. Roy, “Soil and phytomanagement for adaptive phytoremediation practices,” *Adaptive Phytoremediation Practices*, pp. 135–179, Jan. 2022, doi: 10.1016/B978-0-12-823831-8.00002-5.
- [7] G. Twagirayezu, K. Huang, and H. Xia, “Effects of bio-contaminants in organic waste products on the soil environment, pp. 187–212, Jan. 2023, doi: 10.1016/B978-0-323-95998-8.00013-3
- [8] P. G. S. Arockiam JeyaSundar, A. Ali, di Guo, and Z. Zhang, “Waste treatment approaches for environmental sustainability,” *Microorganisms for Sustainable Environment and Health*, pp. 119–135, Jan. 2020, doi: 10.1016/B978-0-12-819001-2.00006-1.
- [9] R. Millati, R. B. Cahyono, Θ. Ariyanto, I. N. Azzahrani, R. U. Putri, and M. J. Taherzadeh, “Agricultural, industrial, municipal, and forest wastes: An overview,” *Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches*, pp. 1–22, Jan. 2019, doi: 10.1016/B978-0-444-64200-4.00001-3.
- [10] A. Sæbø and F. Ferrini, “The use of compost in urban green areas - A review for practical application,” *Urban for Urban Green*, vol. 4, no. 3–4, pp. 159–169, Apr. 2006, doi: 10.1016/j.ufug.2006.01.003
- [11] F. Xu, Y. Li, X. Ge, L. Yang, and Y. Li, “Anaerobic digestion of food waste – Challenges and opportunities,” *Bioresour Technol*, vol. 247, pp. 1047–1058, Jan. 2018, doi: 10.1016/J.BIORTECH.2017.09.020.

- [12] J. Hadj Saadoun *et al.*, “Fermentation of Agri-Food Waste: A Promising Route for the Production of Aroma Compounds,” *Foods*, vol. 10, no. 4, Mar. 2021, doi: 10.3390/FOODS10040707.
- [13] Aldag, R. J. (χ.χ.). Encyclopedia Britannica. Ανάκτηση από toxic waste: <https://www.britannica.com/science/toxic-waste>
- [14] Κυκλική Οικονομία,” Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, Accessed: Sep. 07, 2023. [Online]. Available: <https://ypen.gov.gr/perivallon/kykliki-oikonomia/>
- [15] “Κυκλική οικονομία - Βικιπαίδεια.” [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%85%CE%BA%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE\\_%CE%BF%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%AF%CE%B1](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CF%85%CE%BA%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%BF%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%BC%CE%AF%CE%B1) (accessed Sep. 07, 2023).
- [16] Θέματα Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο . (2024, 3 20). From Βιώσιμη διαχείριση αποβλήτων: τι κάνει η ΕΕ: <https://www.europarl.europa.eu/topics/el/article/20180328STO00751/viosimi-diacheirisi-apovliton-ti-kanei-i-ee>
- [17] *European Environment Agency*. (2021, march 25). Ανάκτηση από Municipal waste management across European countries: <https://www.eea.europa.eu/publications/municipal-waste-management-across-european-countries>
- [18] Interreg Europe. (2020, March). Ανάκτηση από Sustainable waste management in a circular economy: [https://www.interregeurope.eu/sites/default/files/inline/Policy\\_brief\\_on\\_waste\\_management.pdf](https://www.interregeurope.eu/sites/default/files/inline/Policy_brief_on_waste_management.pdf)
- [19] European Green Deal. (2022). Ανάκτηση από Wikipedia: [https://en.wikipedia.org/wiki/European\\_Green\\_Deal](https://en.wikipedia.org/wiki/European_Green_Deal)
- [20] Fetting, C. (2020, december). The european green deal. Ανάκτηση από ESDN office: [https://www.esdn.eu/fileadmin/ESDN\\_Reports/ESDN\\_Report\\_2\\_2020.pdf](https://www.esdn.eu/fileadmin/ESDN_Reports/ESDN_Report_2_2020.pdf)
- [21] European Commission. (2021). Ανάκτηση από Delivering the European Green Deal: [https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal\\_en](https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_en)
- [22] Demoulin, P., & Van Hulle, G. (2022, March 7). ITR. Retrieved from New European rules supporting businesses to achieve Green Deal objectives: <https://www.internationaltaxreview.com/article/b1x1r9g00hycqh/new-european-rules-supporting-businesses-to-achieve-green-deal-objectives>

- [23] ΣΕΒ. (2021). Η Ευρωπαϊκή Πράσινη Συμφωνία: Στόχοι και προκλήσεις για βιώσιμη ανάπτυξη Βασικά Ευρήματα. Οικονομία και επιχειρήσεις , Τεύχος 62 . Retrieved from [https://www.sev.org.gr/Uploads/Documents/53583/2021-01-28\\_SEV\\_SRGreenDeal\\_final.pdf](https://www.sev.org.gr/Uploads/Documents/53583/2021-01-28_SEV_SRGreenDeal_final.pdf)
- [24] P. Anastas and N. Eghbali, “Green Chemistry: Principles and Practice,” *Chem. Soc. Rev.*, vol. 39, no. 1, pp. 301–312, 2010, doi: 10.1039/B918763B
- [25] The Cloth Diaper: Its History and Dramatic Comeback. (n.d.). Retrieved February 1, 2024, from <https://www.kangacare.com/pages/the-cloth-diaper-its-history-and-dramatic-comeback>
- [26] Dyer, D. (2005). SEVEN DECADES OF DISPOSABLE DIAPERS A Record of Continuous Innovation and Expanding Benefit.
- [27] *Illustrated Guide to Recycling Unicharm Disposable Diapers*. (n.d.). Retrieved from <https://www.unicharm.co.jp/en/csr-eco/education/note-02.html>
- [28] ] Płotka-Wasyłka, J., Makoś-Chełstowska, P., Kurowska-Susdorf, A., Treviño, M. J. S., Guzmán, S. Z., Mostafa, H., & Cordella, M. (2022). End-of-life management of single-use baby diapers: Analysis of technical, health and environment aspects. *Science of The Total Environment*, 836, 155339. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155339>
- [29] Colón, J., Ruggieri, L., Sánchez, A., González, A., & Puig, I. (2011). Possibilities of composting disposable diapers with municipal solid wastes. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 29(3), 249–259. <https://doi.org/10.1177/0734242X10364684>
- [30] Εταιρικό Προφίλ. (n.d.). Retrieved March 3, 2024, from <https://megadis.gr/interia/eteriko-profil/>
- [31] Makoś-Chełstowska, P., Kurowska-Susdorf, A., & Płotka-Wasyłka, J. (2021). Environmental problems and health risks with disposable baby diapers: Monitoring of toxic compounds by application of analytical techniques and need of education. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 143, 116408. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116408>
- [32] Kosemund, K., Schlatter, H., Ochsenhirt, J. L., Krause, E. L., Marsman, D. S., & Erasala, G. N. (2009). Safety evaluation of superabsorbent baby diapers. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 53(2), 81–89. <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2008.10.005>
- [33] *Baby steps: How to reduce plastic nappy waste*. (2023, May). Ανάκτηση από UN Environment programme: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/baby-steps-how-reduce-plastic-nappy-waste>

- [34] Heacox, K. (2022, Aug). *This article is more than 1 year old Plastic can take hundreds of years to break down – and we keep making more.* Ανάκτηση από The Guardian: <https://www.theguardian.com/commentisfree/2022/aug/08/plastics-climate-crisis-environment-pollution-kim-heacox>
- [35] COMPLEX WASTE. (χ.χ.). Ανάκτηση από Enviroment Massif Central: <https://www.environnement48.fr/en/complex-waste-materials/>
- [36] Kim, K.-S., & Cho, H.-S. (2017). Pilot trial on separation conditions for diaper recycling. *Waste Management*, 67, 11–19. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.04.027>
- [37] “Βιοαπόβλητα Μαζί αναζωογονούμε τη Γη! ΟΟΗΓΟΣ ΠΡΟΣ ΤΟΥΣ ΗΜΟΥΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΜΕ ΜΕΤΡΑ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΛΗΦΘΟΥΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΘΙΕΡΡΗΣΗ ΤΗΣ ΧΧΡΙΣΤΗΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΒΙΟΑΠΟΒΛΗΤΤΝ.”
- [38] Ferronato, N., Nova Pinedo, M. L., & Torretta, V. (2020). Assessment of Used Baby Diapers Composting in Bolivia. *Sustainability*, 12(12), 5055. <https://doi.org/10.3390/su12125055>
- [39] “Οδηγός για τη χωριστή συλλογή αστικών αποβλήτων στην Ελλάδα Τελική έκθεση.”
- [40] Mignon, A., de Belie, N., Dubruel, P., & van Vlierberghe, S. (2019). Superabsorbent polymers: A review on the characteristics and applications of synthetic, polysaccharide-based, semi-synthetic and ‘smart’ derivatives. *European Polymer Journal*, 117, 165–178. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.04.054>
- [41] Carnegie Mellon University. (n.d.). *Super-Absorbing Polymer Powder*. Retrieved March 25, 2024, from <https://www.cmu.edu/gelfand/lgc-educational-media/polymers/polymer-and-absorption/super-absorb-powder.html>
- [42] *What is Super Absorbent Polymer & Answers to All of Your Questions.* (χ.χ.). Ανάκτηση από Gelok International : <https://gelok.com/super-absorbent-polymer-overview/>
- [43] FUNAMIZU, N. S.-s.-0., USHIJIMA, K. S.-s.-0., HIJKATA, N. S.-s.-0., YOSHIKAWA, H. S.-s.-0., & KONISHI, Θ. K.-s.-1. (2015). *Ευρεσιτεχνία Αρ. EP 2 829 320 A1*.
- [44] Gritsch, S. M., Mihalyi, S., Bartl, A., Ipsmiller, W., Jenull-Halver, U., Putz, R. F., Quartinello, F., & Guebitz, G. M. (2023). Closing the cycle: Enzymatic recovery of high purity glucose and polyester from textile blends. *Resources, Conservation and Recycling*, 188, 106701. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106701>