

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΓΕΝΙΚΟ ΤΜΗΜΑ ΛΑΡΙΣΑΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΕΡΓΩΝ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ»**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Καινοτόμα κεραμικά δομικά προϊόντα με ενσωμάτωση υπολειμμάτων
επεξεργασίας ξύλου»**

**Ματσουκά Μαρία
Δασολόγος, MSc**

ΛΑΡΙΣΑ, 2019

**UNIVERSITY OF THESSALY
DEPARTMENT OF APPLIED SCIENCES (LARISSA)**

**POSTGRADUATE STUDIES PROGRAM
“ADVANCED ENVIRONMENTAL MANAGEMENT
TECHNOLOGIES IN ENGINEERING WORKS”**

POSTGRADUATE MASTER’S THESIS

**« Innovative ceramic construction products incorporating wood
processing residues»**

**Matsouka Maria
Forest Engineer, MSc**

LARISSA, 2019

ΜΑΤΣΟΥΚΑ ΜΑΡΙΑ

Σ.Τ.Ε.Α.Π.

2019

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή:

1) Λαμπρακόπουλος Στυλιανός, Επιστημονικός Συνεργάτης, Τεχνολογία Υλικών - Δομικά Υλικά, Γενικό Τμήμα Λάρισας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Επιβλέπων**,

2) Σπηλιώτης Ξενοφών, Καθηγητής, Τεχνολογία Υλικών - Δομικά Υλικά, Γενικό Τμήμα Λάρισας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**,

3) Παπαπολυμέρου Γεώργιος, Καθηγητής, Διαχείριση Περιβάλλοντος - Βιοκαύσιμα - Τεχνολογία Υλικών, Γενικό Τμήμα Λάρισας, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, **Μέλος**.

*Στη μνήμη των γονιών μου
Αθανασίου και Βασιλικής*

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο Χημικής Τεχνολογίας, Επιστήμης και Μηχανικής Συμπεριφοράς Υλικών, του πρώην τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε. του ΤΕΙ Θεσσαλίας και νυν τμήματος Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες σε όλους όσους συνέβαλαν στο να φέρω σε πέρας την παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα της εργασίας αυτής, Δρ. Λαμπρακόπουλο Στυλιανό, για την πολύτιμη βοήθειά του, τη διαρκή υποστήριξή του, και το χρόνο που αφιέρωσε κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στους συμφοιτητές μου, του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών, Αστέριο Στραβοκώστα και Αναστασία Μπαλγκουράνου για την άψογη συνεργασία και το κλίμα ομαδικότητας στη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην εποχή μας, με τη δραματική μείωση των φυσικών πόρων να είναι πλέον δεδομένη, η μετάβαση από το γραμμικό, στο κυκλικό μοντέλο οικονομίας κρίνεται επιβεβλημένη. Το νέο αυτό μοντέλο εστιάζει στη μείωση της σπατάλης των πόρων που χρησιμοποιούνται στην παραγωγική διαδικασία, στην επαναχρησιμοποίηση των παραγόμενων προϊόντων και στη μείωση των αποβλήτων, προωθώντας τη βιώσιμη ανάπτυξη ακολουθώντας την αρχή της αειφορίας για τους φυσικούς πόρους.

Ο κατασκευαστικός κλάδος παίζει καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη των στόχων της κυκλικής οικονομίας επειδή μέχρι σήμερα, αφενός χρησιμοποιεί πρώτες ύλες από φυσικούς πόρους και αφετέρου μετά το τέλος κύκλου ζωής των προϊόντων του, συγκεντρώνονται τεράστιες ποσότητες αποβλήτων. Τμήμα του κατασκευαστικού κλάδου αποτελεί η παραγωγή και χρήση κεραμικών δομικών προϊόντων. Τα προϊόντα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δευτερογενείς πρώτες ύλες, μετά το τέλος του κύκλου ζωής τους, ενώ αντίστροφα στην παραγωγή νέων κεραμικών δομικών προϊόντων μπορούν να ενσωματωθούν διάφορες κατηγορίες αποβλήτων.

Το ξύλο αποτελεί ανανεώσιμη πρώτη ύλη, όταν προέρχεται από αειφορικά διαχειριζόμενα δάση. Η κατεργασία του ξύλου ως υλικού παράγει μεγάλες ποσότητες υπολειμμάτων, ενώ και τα προϊόντα που προκύπτουν είναι μελλοντικά απόβλητα μετά το τέλος του κύκλου ζωής. Μέσω του μοντέλου της κυκλικής οικονομίας αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή νέων καινοτόμων προϊόντων και κατασκευών.

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία παρασκευάστηκαν τρεις σειρές κεραμικών δοκιμίων: τα πρότυπα (100% πηλώδες χώμα), με προσθήκη 5% πριονιδιού από ξύλο και φλοιό υβριδογενούς ελάτης και με προσθήκη 5% πριονιδιού από ξύλο και φλοιό χαλεπίου πεύκης. Το πριονίδι αποτελούσε υπόλειμμα μηχανικής κατεργασίας ξυλείας. Η όπτησή τους πραγματοποιήθηκε στους 950°C και στους 1050°C και στη συνέχεια μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν, μεταξύ τους, οι φυσικές και μηχανικές τους ιδιότητες, ώστε να διαπιστωθεί η δυνατότητα χρήσης αποβλήτων ξύλου στην παραγωγή κεραμικών δομικών προϊόντων.

Λέξεις - κλειδιά: κυκλική οικονομία, απόβλητα ξύλου, κεραμικά δομικά προϊόντα, διαχείριση αποβλήτων

ABSTRACT

In now days, with the dramatic decline in natural resources taking place, the transition from linear to circular economy models is imperative. This new model focuses on reducing the waste of resources used in the production process, the re-use of produced products and the reduction of waste products, promoting sustainable development following the principle of sustainability for natural resources.

The construction sector plays a key role in achieving the objectives of the circular economy because up to date, it uses raw materials from natural resources and, on the other hand, after the end of its product life cycle, accumulates huge quantities of waste products. Manufacturing and use of ceramic construction products is part of the construction industry. These products can be used as secondary raw materials after the end of their lifecycle, while inversely in the production of new ceramic construction products can be incorporated various waste categories.

Wood is a renewable raw material when it comes from sustainably managed forests. Processing wood as a material produces large quantities of waste, and the produced products are future waste after the end of their lifecycle. Through the circular economy model they can be used to produce new innovative products and constructions.

In this postgraduate thesis, three series of ceramic specimens were prepared: the standards (100% clay), those with the addition of 5% sawdust and bark of *Abies borisii-regis* and the last series with the addition of 5% sawdust and bark of *Pinus halepensis*. The sawdust was a waste of woodworking. Their firing was carried out at 950 ° C and 1050 ° C and afterwards their physical and mechanical properties were studied and compared, in order to determine the feasibility of using wood waste in the production of ceramic construction products.

Key words: circular economy, waste products of wood, ceramic building products, waste products management

Περιεχόμενα

1. ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ.....	1
1.1. Γενικά.....	1
1.2. Βιώσιμη ανάπτυξη.....	1
1.3. Αρχή της αειφορίας.....	2
1.4. Ορισμός κυκλικής οικονομίας.....	3
1.5. Η κυκλική οικονομία στην Ευρώπη.....	5
1.6. Η κυκλική οικονομία στην Ελλάδα.....	13
1.7. Η κυκλική οικονομία στον κατασκευαστικό κλάδο.....	15
2. ΚΕΡΑΜΙΚΑ.....	18
2.1. Ορισμός.....	18
2.2. Πλεονεκτήματα των τεχνητών δομικών κεραμικών υλικών.....	18
2.3. Πρώτες ύλες για παρασκευή δομικών κεραμικών υλικών.....	19
2.4. Παρασκευή δομικών κεραμικών προϊόντων.....	20
2.4.1. Μορφοποίηση.....	20
2.4.2. Ξήρανση.....	21
2.4.3. Όπτηση.....	22
2.4.4. Ψύξη.....	23
2.5. Χαρακτηριστικά κεραμικών δομικών προϊόντων.....	23
2.5. Οπτόπλινθοι.....	24
2.5.1. Ιδιότητες των τούβλων.....	26
2.5.2. Ειδικές κατηγορίες οπτόπλινθων.....	26
2.5.2.1. Πυρίμαχα τούβλα ή πυρότουβλα.....	26
2.5.2.2. Τούβλα με γέμιση με θερμομονωτικό υλικό.....	27
2.5.2.3. Τούβλα για υπέρυθρα (Πρέκια).....	27
2.5.2.4. Διακοσμητικά τούβλα και τούβλα εμφανούς τοιχοποιίας.....	27
2.5.2.5. Τούβλα δαπέδων.....	28
2.5.2.6. Τούβλα οροφής.....	28
2.5.2.7. Ελαφρά ή πορώδη τούβλα.....	28
2.6. Κεραμίδια.....	29
2.7. Επαναχρησιμοποίηση δομικών κεραμικών προϊόντων.....	30
3. ΞΥΛΟ.....	33
3.1. Γενικά για το ξύλο.....	33

3.2. Δομή του ξύλου.....	34
3.3. Χημική σύσταση του ξύλου	35
3.3.1. Χημικά συστατικά του ξύλου.....	35
3.3.2. Επίδραση χημικών συστατικών στις ιδιότητες του ξύλου	37
3.3. Προϊόντα ξύλου και χρήσεις τους.....	38
3.3.1. Προϊόντα στα οποία διατηρείται η φυσική δομή του ξύλου	38
3.3.2. Προϊόντα στα οποία δεν διατηρείται η φυσική δομή του ξύλου.....	43
3.4. Αξιοποίηση χρησιμοποιημένου ξύλου	45
3.5. Έρευνα για νέους τρόπους αξιοποίησης του ανακτημένου ξύλου	47
3.6. Ανακτημένο ξύλο: χρήση στην παραγωγή κεραμικών δομικών προϊόντων	49
4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ.....	50
4.1. Πρώτες Ύλες.....	50
4.2. Συσκευές Εργαστηρίου για παραγωγή κεραμικών δοκιμίων	51
4.3. Παραγωγή κεραμικών δοκιμίων	55
4.3.1. Προεργασία	55
4.3.2. Παραγωγική διαδικασία κεραμικών δοκιμίων	56
4.4. Συσκευές εργαστηρίου ελέγχου ιδιοτήτων των κεραμικών δοκιμίων.....	62
4.5. Μελέτη των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των κεραμικών δοκιμίων.	65
4.5.1. Βάρος - διαστάσεις δοκιμίων	65
4.5.2. Μακροσκοπικά χαρακτηριστικά δοκιμίων.....	65
4.5.3. Πορώδες - Ανοιχτό πορώδες - Υδατοαπορροφητικότητα.....	65
4.5.4. Αντοχή στην κάμψη	67
4.5.5. Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας.....	69
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	71
5.1. Κατανάλωση ενέργειας κατά την όπτηση.....	71
5.2. Απώλεια βάρους και μεταβολή όγκου των δοκιμίων.....	72
5.3. Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας.....	74
5.4. Αντοχή σε κάμψη 3 σημείων (MOR).....	75
5.5. Υδατοαπορροφητικότητα - Πορώδες - Ανοιχτό πορώδες.....	76
6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	80
Βιβλιογραφία.....	82
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ.....	85

1. ΚΥΚΛΙΚΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ

1.1. Γενικά

Με το πέρασμα των χρόνων, έρευνες που πραγματοποιούνται, καταγράφουν μείωση των φυσικών πόρων της γης. Για την αποτροπή του γεγονότος αυτού, έχουν αναπτυχθεί από επιστήμονες διάφορες θεωρίες, αρχές ή μοντέλα, τα οποία έχουν ενστερνιστεί πολλά κράτη παγκοσμίως. Η βιώσιμη ανάπτυξη, η αρχή της αειφορίας, και η κυκλική οικονομία είναι τα πιο γνωστά, με κοινό τους χαρακτηριστικό, την προστασία του περιβάλλοντος με την παράλληλη ανάπτυξη και πρόοδο των κοινωνιών.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θεσπίσει κανονισμούς και έχει εκδώσει οδηγίες ώστε τα κράτη - μέλη της να μεταβούν στο μοντέλο της κυκλικής οικονομίας, περιορίζοντας με τον τρόπο αυτό την αλόγιστη χρήση φυσικών πόρων και αγαθών.

1.2. Βιώσιμη ανάπτυξη

Βιώσιμη Ανάπτυξη (Sustainable Development), ως έννοια ορίζεται «η ανάπτυξη που ικανοποιεί τις ανάγκες της παρούσας γενιάς χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να ικανοποιούν τις δικές τους ανάγκες» και προσδιορίστηκε για πρώτη φορά το 1987 στο Παγκόσμιο Συνέδριο της Μόσχας, από την πρωθυπουργό της Νορβηγίας και πρόεδρο της Παγκόσμιας Επιτροπής για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη, Gro Harlem Brundtland.

Η θέση της Ευρωπαϊκής Ένωσης, εστιάζει στο ότι η Βιώσιμη Ανάπτυξη δεν είναι μία στατική κατάσταση, αλλά μία συνεχής πορεία αλλαγής και προσαρμογής, με ισόρροπη και ισότιμη συμμετοχή και των τριών πυλώνων της: Οικονομία - Περιβάλλον - Κοινωνία.

Ο Οργανισμός Ηνωμένων Εθνών εξέφρασε την παγκόσμια θέση για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη στη Γενική του Συνέλευση το Σεπτέμβριο του 2015, στη Νέα Υόρκη, όπου περισσότεροι από 150 ηγέτες όλου του κόσμου, δεσμεύτηκαν σε μία ιστορική συμφωνία, την «Ατζέντα 2030 για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη». Πρόκειται για την υιοθέτηση των «17 Στόχων για τη Βιώσιμη Ανάπτυξη», με όραμα μέχρι το 2030, μέσα από τις αρχές της βιώσιμης ανάπτυξης, ο κόσμος θα μεριμνά για τις ανάγκες όχι μόνο της σημερινής γενιάς αλλά και των μελλοντικών γενεών, χωρίς φτώχεια, πείνα και

ανισότητες, με καλή εκπαίδευση και αξιοπρεπή εργασία για όλους, μέσα σε ένα περιβάλλον φιλικό για κάθε μορφή ζωής και προστατευτικό για την υγεία όλων.

1.3. Αρχή της αειφορίας

Η έννοια της αειφορίας προέρχεται από τη δασολογική ορολογία και στη βιβλιογραφία θεωρείται ως εφευρέτης της έννοιας ο σάξωνας δασολόγος Χανς Καρλ φον Κάρλοβιτς (Hans Carl von Carlowitz), ο οποίος το 1713 χρησιμοποίησε πρώτος την λέξη «αειφορία» στην ακόλουθη φράση: «Η τέχνη, η επιστήμη και το καθεστώς αυτής της χώρας βασίζεται στη δυνατότητα διατήρησης και ανάπτυξης του ξυλώδους κεφαλαίου με τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτευχθεί μια σταθερή, μόνιμη και αειφορική εκμετάλλευση του, διότι αυτό είναι μια απαραίτητη προϋπόθεση χωρίς την οποία δεν μπορεί η χώρα να υπάρξει». (<https://el.wikipedia.org/wiki>)

Με το πέρασμα των ετών, η αρχή της αειφορίας, πέρα από τη δασολογική επιστήμη βρήκε εφαρμογή σε όλες τις επιστήμες και τους κλάδους, που ασχολούνται με την εκμετάλλευση των φυσικών πόρων και των πρώτων υλών.

Για να καταστεί δυνατή η τήρηση της γενικής αρχής της αειφορίας, σύμφωνα με τον Δεκλερέρ 1996, γίνεται δεκτό ότι πρέπει να τηρούνται, κατά περίπτωση, οι ακόλουθες επιμέρους αρχές:

- η αρχή της δημόσιας οικολογικής τάξης
- η αρχή της βιωσιμότητας
- η αρχή της φέρουσας ικανότητας
- η αρχή της υποχρεωτικής αποκατάστασης των διαταραχθέντων οικοσυστημάτων
- η αρχή της βιοποικιλότητας
- η αρχή της κοινής φυσικής κληρονομιάς
- η αρχή της ήπιας ανάπτυξης ευπαθών οικοσυστημάτων
- η αρχή της χωρονομίας
- η αρχή της πολιτιστικής κληρονομιάς
- η αρχή του βιώσιμου αστικού περιβάλλοντος
- η αρχή του φυσικού κάλλους
- η αρχή της οικολογικής συνείδησης

έτσι ώστε να γίνει εφικτή η επίτευξη των στόχων της αειφορίας, που είναι σύμφωνα με τον Ευάγγελο Ακύλα:

- α. η προστασία του περιβάλλοντος
- β. η διατήρηση της οικονομικής ανάπτυξης στο διηνεκές
- γ. η δικαιότερη κατανομή των πόρων και
- δ. μια νέα προσέγγιση του τρόπου ζωής

Σταδιακά, με τη χρήση των όρων αειφορία και βιώσιμη ανάπτυξη, από όλες τις επιστήμες παγκοσμίως, δημιουργήθηκε ο ορισμός της αειφόρου ανάπτυξης, ο οποίος πλέον ταυτίζεται με εκείνον της βιώσιμης ανάπτυξης και αποτελεί την κυρίαρχη ιδέα πάνω στην οποία αναπτύσσεται το μοντέλο της κυκλικής οικονομίας.

1.4. Ορισμός κυκλικής οικονομίας

Μετά τη Βιομηχανική Επανάσταση η οικονομία βασίστηκε στο γραμμικό μοντέλο παραγωγής (εξαγωγή - κατασκευή - απόρριψη) (Εικόνα 1.1.), στο οποίο κάθε προϊόν αναπόφευκτα φτάνει στο "τέλος της ωφέλιμης ζωής" του.



Εικόνα1.1.: Μοντέλο γραμμικής οικονομίας
(πηγή: <http://getyourphx.com/building-a-circular-economy/linear-economy/>)

Ωστόσο, με τη μείωση των φυσικών πόρων παγκοσμίως, το μοντέλο αυτό παύει να είναι βιώσιμο και έρχεται να αντικατασταθεί από την κυκλική οικονομία (Εικόνα 1.2.), η οποία βασίζεται στην επαναχρησιμοποίηση, επισκευή, ανανέωση και ανακύκλωση υφιστάμενων υλικών και προϊόντων. Ότι προηγουμένως θεωρούνταν "απόβλητο" μπορεί να μετατραπεί σε πρώτη ύλη και να επαναχρησιμοποιηθεί (<https://www.blod.gr/lectures/kykliki-oikonomia-ena-oikonomiko-montelo-tou-mellontos>) και (https://www.efsyn.gr/nisides/179055_2019-prepei-na-einai-kataprasino)

Με την κυκλική οικονομία δεν γίνονται σπατάλες και διασφαλίζεται η αειφόρος διαχείριση των φυσικών πόρων και προωθείται η βιώσιμη ανάπτυξη των κοινωνιών. Τα προϊόντα σχεδιάζονται με στόχο να εντάσσονται σε κύκλους υλικών, με αποτέλεσμα τα

υλικά να μεταφέρονται με τέτοιον τρόπο, ώστε η προστιθέμενη αξία να διατηρείται όσο το δυνατόν περισσότερο, ενώ τα υπολειμματικά απόβλητα να προσεγγίζουν το μηδέν.



Εικόνα1.1.: Μοντέλο κυκλικής οικονομίας
(πηγή: <https://www.pna.gr/nea/panepistimio-peloponnissou/item/38121>)

Ο όρος επομένως κυκλική οικονομία χαρακτηρίζει το νέο μοντέλο βιώσιμης οικονομικής ανάπτυξης, το οποίο στηρίζεται σε νέους τρόπους παραγωγής και κατανάλωσης των αγαθών. Οι νέοι τρόποι αφορούν κυρίως την επιμήκυνση της χρήσης των αγαθών διαφυλάττοντας πολύτιμους πόρους έτσι ώστε να αξιοποιείται πλήρως η οικονομική αξία που ενέχουν τα αγαθά. Η κυκλική οικονομία συμβάλλει στην διατήρηση των προϊόντων και των πρώτων υλών πολύ περισσότερο χρόνο. Μειώνονται στο ελάχιστο τα απόβλητα αλλά και η χρήση των πρώτων υλών. Αρκετά προϊόντα συνεχίζουν τον κύκλο της ζωής τους με την επαναχρησιμοποίηση τους είτε εν μέρει, είτε ως σύνολο από την οικονομία (Παπαδάκος Αλέξανδρος,2017)

Κύριοι στόχοι της κυκλικής οικονομίας είναι:

- η επιμήκυνση του κύκλου ζωής των προϊόντων
- η εξοικονόμηση των μη ανανεώσιμων φυσικών πόρων
- η ανακύκλωση υλικών και του ενεργειακού τους περιεχομένου
- η ανθρώπινη δραστηριότητα με μηδενικά απόβλητα και ελάχιστη χρήση φυσικών πόρων
- η ανάκτηση και επαναχρησιμοποίηση των βιομηχανικών παραπροϊόντων ως πρώτων υλών

- η ανάκτηση ύλης και ενέργειας μέσω της συνεπεξεργασίας δευτερογενών καυσίμων
 - η ανακύκλωση τελικού προϊόντος και παραγωγή καινοτόμων υλικών
- (<https://www.blod.gr/lectures/kykliki-oikonomia-ena-stoihima-gia-tin-eksoikonomisi-fysikon-poron-kai-ti-diaheirisi-ton-apobliton-mia-eykairia-gia-oikonomiki-anaptyksi/>)

1.5. Η κυκλική οικονομία στην Ευρώπη

Τον Δεκέμβριο του 2015, στις Βρυξέλλες, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ανακοίνωσε στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών, ένα σχέδιο δράσης της ΕΕ για την κυκλική οικονομία με τίτλο "Το Κλείσιμο του Κύκλου". Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτού του σχεδίου δράσης περιγράφονται παρακάτω.

A. Σχεδιασμός

Η κυκλική οικονομία ξεκινά από την αρχή της ζωής ενός προϊόντος. Τόσο η φάση της σχεδίασης, όσο και οι μέθοδοι παραγωγής επηρεάζουν την προμήθεια πρώτων υλών, την κατανάλωση πόρων και την παραγωγή αποβλήτων καθ' όλη τη διάρκεια της ζωής του προϊόντος.

Η σωστή σχεδίαση ενός προϊόντος μπορεί να βελτιώσει την ανθεκτικότητά του ή να διευκολύνει την επισκευή, την αναβάθμιση ή την ανακατασκευή του. Μπορεί επίσης να διευκολύνει τους φορείς ανακύκλωσης να το αποσυναρμολογήσουν ώστε να ανακτήσουν πολύτιμα υλικά και εξαρτήματα. Γενικά, μπορεί να συμβάλει στην εξοικονόμηση πολύτιμων πόρων. Η Επιτροπή προτίθεται να ενθαρρύνει τη βελτίωση της σχεδίασης των προϊόντων, διαφοροποιώντας την οικονομική εισφορά που καταβάλλουν οι παραγωγοί στο πλαίσιο των συστημάτων διευρυμένης ευθύνης παραγωγών ανάλογα με το κόστος στο τέλος του κύκλου ζωής των προϊόντων που παράγουν. Αυτό μπορεί να προσφέρει ένα άμεσο οικονομικό κίνητρο υπέρ της σχεδίασης προϊόντων που ανακυκλώνονται ή επαναχρησιμοποιούνται ευκολότερα.

Ο κάθε βιομηχανικός τομέας παρουσιάζει διαφορές ως προς την κατανάλωση πόρων, την παραγωγή αποβλήτων και τη διαχείριση. Ως εκ τούτου, η Επιτροπή θα προωθήσει περαιτέρω τις βέλτιστες πρακτικές σε μια σειρά βιομηχανικών τομέων μέσω εγγράφων αναφοράς για τις βέλτιστες διαθέσιμες τεχνικές, τα οποία θα πρέπει να

ακολουθούν τα κράτη μέλη όταν θεσπίζουν απαιτήσεις αδειοδότησης για βιομηχανικές εγκαταστάσεις αλλά και προκειμένου να προωθήσουν τις βέλτιστες πρακτικές ως προς τα απόβλητα εξόρυξης.

Σημαντικό είναι επίσης να προωθηθούν καινοτόμες βιομηχανικές διαδικασίες. Για παράδειγμα, μέσω της βιομηχανικής συμβίωσης, τα απόβλητα ή τα υποπροϊόντα μιας βιομηχανίας μπορούν να δίνονται ως πρώτη ύλη σε κάποια άλλη. Στις αναθεωρημένες προτάσεις της σχετικά με τα απόβλητα, η Επιτροπή προτείνει στοιχεία που διευκολύνουν την πρακτική αυτή και θα απευθυνθεί στα κράτη μέλη προκειμένου να επιτευχθεί αμοιβαία κατανόηση των κανόνων για τα υποπροϊόντα.

B. Διαχείριση αποβλήτων

Η διαχείριση των αποβλήτων παίζει έναν κεντρικό ρόλο στην κυκλική οικονομία: καθορίζει τον τρόπο πρακτικής εφαρμογής της ιεράρχησης αποβλήτων στην ΕΕ. Η ιεράρχηση των αποβλήτων προσδιορίζει μια σειρά προτεραιότητας, που ξεκινά από την αποφυγή, προχωρά στην προετοιμασία για επαναχρησιμοποίηση, την ανακύκλωση και την ανάκτηση ενέργειας και καταλήγει στην απόρριψη, π.χ. με υγειονομική ταφή. Η αρχή αυτή έχει στόχο την προώθηση των εναλλακτικών δυνατοτήτων που προσφέρουν συνολικά το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα για το περιβάλλον.

Ο τρόπος συλλογής και διαχείρισης των αποβλήτων μας μπορεί να οδηγεί είτε σε ένα υψηλό ποσοστό ανακύκλωσης με επιστροφή πολύτιμων υλικών στην οικονομία, είτε σε ένα σύστημα χαμηλής απόδοσης με το οποίο το μεγαλύτερο μέρος των ανακυκλώσιμων αποβλήτων καταλήγουν σε χώρους υγειονομικής ταφής ή αποτεφρώνονται, ενδεχομένως με επιβλαβείς επιπτώσεις για το περιβάλλον και σημαντικές οικονομικές απώλειες.

Το 2015 ανακυκλώνονταν μόνο το 40% περίπου των αποβλήτων που παρήγαγαν τα νοικοκυριά στην ΕΕ. Πίσω από αυτή τη μέση τιμή κρύβονται μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ κρατών μελών και μεταξύ περιφερειών, αφού το ποσοστό φθάνει το 80% σε κάποιες περιοχές και είναι μόλις 5% σε κάποιες άλλες. Η Επιτροπή προτείνει νέες νομοθετικές προτάσεις για τα απόβλητα, με σκοπό να παράσχει ένα μακροπρόθεσμο όραμα για την αύξηση της ανακύκλωσης και τη μείωση της υγειονομικής ταφής των αστικών αποβλήτων, λαμβάνοντας υπόψη τις διαφορές μεταξύ των κρατών μελών. Αυτές οι προτάσεις ενθαρρύνουν επίσης την αύξηση της χρήσης οικονομικών

εργαλείων προκειμένου να επιτευχθεί συμφωνία με την ιεράρχηση αποβλήτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση.

Γ. Μετατροπή αποβλήτων σε πόρους

Σε μια κυκλική οικονομία, τα υλικά που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν επανεισάγονται στην οικονομία με τη μορφή νέων πρώτων υλών, αυξάνοντας έτσι την ασφάλεια του εφοδιασμού. Αυτές οι «δευτερογενείς πρώτες ύλες» μπορούν να πωληθούν και να μεταφερθούν όπως ακριβώς οι πρωτογενείς πρώτες ύλες από κλασικούς εξορυκτικούς πόρους.

Προς το παρόν, οι δευτερογενείς πρώτες ύλες αποτελούν ένα μικρό μόνο ποσοστό των υλικών που χρησιμοποιούνται στην ΕΕ. Οι πρακτικές διαχείρισης αποβλήτων έχουν άμεσο αντίκτυπο στην ποσότητα και την ποιότητα αυτών των υλικών, και συνεπώς οι δράσεις για τη βελτίωση αυτών των πρακτικών είναι κρίσιμης σημασίας. Ωστόσο, άλλα εμπόδια περιορίζουν την ανάπτυξη αυτής της σημαντικής αγοράς και την ομαλή κυκλοφορία των υλικών, και η Επιτροπή εκτελεί περαιτέρω αναλύσεις των κυριότερων εμποδίων που υπάρχουν σε αυτό το πλαίσιο. Οι δράσεις της ΕΕ είναι ιδιαίτερα σημαντικές σε αυτόν τον τομέα, δεδομένων των επιπτώσεων για την ενιαία αγορά και των συνδέσεων με την υφιστάμενη νομοθεσία της ΕΕ. Ένα από τα εμπόδια που αντιμετωπίζουν οι φορείς εκμετάλλευσης που επιθυμούν να χρησιμοποιούν δευτερογενείς πρώτες ύλες είναι η αβεβαιότητα ως προς την ποιότητά τους. Καθώς δεν υπάρχουν σχετικά πρότυπα σε επίπεδο ΕΕ, είναι συχνά δύσκολο να προσδιοριστούν τα επίπεδα των προσμείξεων ή η καταλληλότητα για ανακύκλωση υψηλού επιπέδου (π.χ. για τις πλαστικές ύλες). Η ανάπτυξη τέτοιων προτύπων αναμένεται να ενισχύσει την εμπιστοσύνη στις δευτερογενείς πρώτες ύλες και στα ανακυκλωμένα υλικά και να συμβάλει στη στήριξη της αγοράς. Ως εκ τούτου, η Επιτροπή θα ξεκινήσει εργασίες για την κατάρτιση προτύπων ποιότητας σε επίπεδο ΕΕ για τις δευτερογενείς πρώτες ύλες, όπου χρειάζεται, σε διαβούλευση με τις εμπλεκόμενες βιομηχανίες. Επιπλέον, οι αναθεωρημένες νομοθετικές προτάσεις σχετικά τα απόβλητα θεσπίζουν καλύτερα εναρμονισμένους κανόνες με τους οποίους καθορίζεται τότε μια δευτερογενής πρώτη ύλη δεν θεωρείται πια «απόβλητο» από νομικής άποψης, διευκρινίζοντας τους υφιστάμενους κανόνες περί αποχαρακτηρισμού αποβλήτων. Αυτό θα προσφέρει στις

επιχειρήσεις εκμετάλλευσης μεγαλύτερη εξασφάλιση και πιο ισότιμους όρους ανταγωνισμού.

Δ. Τομείς Προτεραιότητας

Ορισμένοι τομείς αντιμετωπίζουν ιδιαίτερες προκλήσεις στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας, λόγω των ιδιοτήτων των προϊόντων ή των αλυσίδων αξίας τους, του περιβαλλοντικού τους αποτυπώματος ή της εξάρτησης από ύλες προερχόμενες από χώρες εκτός Ευρώπης. Οι τομείς αυτοί πρέπει να αντιμετωπιστούν με στοχευμένο τρόπο, ώστε να εξασφαλιστεί ότι οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των διαφόρων φάσεων του κύκλου λαμβάνονται πλήρως υπόψη σε ολόκληρη την αξιακή αλυσίδα.

Οι πλαστικές ύλες, η σπατάλη τροφίμων, οι πρώτες ύλες κρίσιμης σημασίας και οι κατασκευές και κατεδαφίσεις είναι οι κύριοι τομείς προτεραιότητας.

Ε. Καινοτομία, Επενδύσεις και άλλα Οριζόντια Μέτρα.

Η μετάβαση σε μια κυκλική οικονομία είναι μια συστημική αλλαγή. Εκτός από τις στοχευμένες δράσεις που επηρεάζουν κάθε στάδιο της αξιακής αλυσίδας και των βασικών τομέων, είναι αναγκαίο να δημιουργηθούν οι συνθήκες υπό τις οποίες μια κυκλική οικονομία μπορεί να ανθεί και οι πόροι να κινητοποιηθούν. Η καινοτομία θα διαδραματίσει σημαντικό ρόλο σε αυτή τη συστημική αλλαγή. Προκειμένου να επανεξετάσουμε τους τρόπους παραγωγής και κατανάλωσης που ακολουθούμε και για να μετασχηματίσουμε τα απόβλητα σε προϊόντα υψηλής προστιθέμενης αξίας, θα χρειαστούμε νέες τεχνολογίες, διαδικασίες, υπηρεσίες και επιχειρηματικά μοντέλα που θα διαμορφώσουν το μέλλον της οικονομίας και της κοινωνίας μας. Ως εκ τούτου, η στήριξη της έρευνας και της καινοτομίας θα αποτελέσει σημαντικό παράγοντα για την προώθηση αυτής της μετάβασης· θα συμβάλει επίσης στην ανταγωνιστικότητα και τον εκσυγχρονισμό της βιομηχανίας της ΕΕ.

Η παγκόσμια διάσταση της κυκλικής οικονομίας και της αλυσίδας εφοδιασμού είναι σημαντική σε τομείς όπως των βιώσιμων μεθόδων προμήθειας πόρων, των θαλάσσιων απορριμμάτων, της σπατάλης τροφίμων, και μιας ολοένα και πιο παγκοσμιοποιημένης αγοράς δευτερογενών πρώτων υλών. Κατά την εφαρμογή του παρόντος σχεδίου δράσης, η Επιτροπή θα συνεργαστεί στενά με τους διεθνείς

οργανισμούς και άλλους ενδιαφερόμενους εταίρους στο πλαίσιο των παγκόσμιων προσπαθειών για την επίτευξη των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης 2030. Τέλος, η Επιτροπή θα επιδιώξει ενεργά τη συμμετοχή των ενδιαφερόμενων μερών στην υλοποίηση του παρόντος σχεδίου δράσης, ιδίως μέσω των υφιστάμενων τομεακών πλατφορμών. Αυτό θα συμπληρωθεί με περαιτέρω στήριξη για συμπράξεις δημόσιου και ιδιωτικού τομέα, οικειοθελείς επιχειρηματικές προσεγγίσεις και ανταλλαγή βέλτιστων πρακτικών μεταξύ των κρατών μελών και των περιφερειών και θα περιλαμβάνει διαβούλευση με τους κοινωνικούς εταίρους στις περιπτώσεις όπου οι αλλαγές ενδέχεται να έχουν σημαντικές κοινωνικές συνέπειες.

Στ. Παρακολούθηση της προόδου προς μία κυκλική οικονομία

Προκειμένου να αξιολογηθεί η πρόοδος προς μια πιο κυκλική οικονομία και η αποτελεσματικότητα της δράσης σε επίπεδο ΕΕ και σε εθνικό επίπεδο, είναι σημαντικό να υπάρχει μια σειρά αξιόπιστων δεικτών. Πολλά από τα σχετικά δεδομένα που έχουν ήδη συλλεγεί από τη Eurostat μπορούν να αποτελέσουν τη βάση για την παρακολούθηση αυτή. Επιπλέον, ο πίνακας αποτελεσμάτων της αποδοτικής χρήσης των πόρων και των πρώτων υλών περιέχει τους σχετικούς δείκτες αποτελεσμάτων και ανάλυση που θα είναι ιδιαίτερα χρήσιμα για την παρακολούθηση της προόδου.

Σε αυτή τη βάση, η Επιτροπή θα συνεργαστεί στενά με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος (ΕΟΠ) και σε διαβούλευση με τα κράτη μέλη, για να προτείνει ένα απλό και αποτελεσματικό πλαίσιο παρακολούθησης για την κυκλική οικονομία. Συμπληρωματικά στους δύο παραπάνω πίνακες αποτελεσμάτων, το πλαίσιο αυτό θα περιλαμβάνει ένα σύνολο βασικών, χρήσιμων δεικτών που να αποτυπώνουν τα κύρια στοιχεία της κυκλικής οικονομίας.

Έχοντας ως βάση τις παραπάνω προτάσεις, τα κράτη μέλη της ΕΕ, στις Βρυξέλλες, τον Μάιο του 2018, ενέκριναν μια δέσμη φιλόδοξων μέτρων για να καταστεί η νομοθεσία της ΕΕ για τα απόβλητα κατάλληλη για το μέλλον, στο πλαίσιο των ευρύτερων πολιτικών για την κυκλική οικονομία.

Οι νέοι κανόνες θα συμβάλλουν στην πρόληψη της παραγωγής αποβλήτων και, όταν αυτό δεν είναι εφικτό, στην αύξηση σημαντικά της ανακύκλωσης των αστικών

αποβλήτων και των απορριμμάτων συσκευασίας. Θα καταργηθεί σταδιακά η υγειονομική ταφή και θα προωθηθεί η χρήση των οικονομικών μέσων, όπως τα προγράμματα διευρυμένης ευθύνης του παραγωγού. Η νέα νομοθεσία ενισχύει την «ιεράρχηση των αποβλήτων», και συγκεκριμένα απαιτεί από τα κράτη μέλη να λάβουν ειδικά μέτρα που να δίνουν προτεραιότητα στην πρόληψη, στην επαναχρησιμοποίηση και στην ανακύκλωση, παρά στην υγειονομική ταφή και στην αποτέφρωση, καθιστώντας έτσι δυνατή την υλοποίηση της κυκλικής οικονομίας. (https://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3846_el.htm)

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρακολουθεί την υλοποίηση του σχεδίου δράσης για την κυκλική οικονομία των χωρών της Ε.Ε. και τον Μάρτιο του 2019, στις Βρυξέλλες, παρουσίασε την έκθεσή της, σχετικά με την πορεία του σχεδίου, στο Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο, το Συμβούλιο, την Ευρωπαϊκή Οικονομική και Κοινωνική Επιτροπή και την Επιτροπή των Περιφερειών. Συνοπτικά αναφερόταν ότι:

Οι 54 δράσεις του σχεδίου δράσης για την κυκλική οικονομία, που η Ευρωπαϊκή Επιτροπή ενέκρινε τον Δεκέμβριο του 2019, έχουν πλέον ολοκληρωθεί ή βρίσκονται στο στάδιο της υλοποίησης, αν και οι εργασίες για ορισμένες θα συνεχιστούν και μετά το 2019.

Το πλαίσιο παρακολούθησης της Ε.Ε. για την κυκλική οικονομία δείχνει ότι η μετάβαση συνέβαλε στην επιστροφή της Ε.Ε. σε πορεία δημιουργίας θέσεων εργασίας. Το 2016 οι τομείς που σχετίζονται με την κυκλική οικονομία απασχολούσαν περισσότερους από τέσσερα εκατομμύρια εργαζομένους, παρουσιάζοντας αύξηση της τάξης του 6% σε σύγκριση με το 2012. Κατά τα προσεχή έτη, πρόκειται να δημιουργηθούν πρόσθετες θέσεις εργασίας, προκειμένου να καλυφθεί η αναμενόμενη ζήτηση που δημιουργείται από πλήρως λειτουργικές αγορές δευτερογενών πρώτων υλών. Η κυκλικότητα δημιούργησε επίσης νέες επιχειρηματικές ευκαιρίες, ανέδειξε νέα επιχειρηματικά μοντέλα και ανέπτυξε νέες αγορές, τόσο εντός όσο και εκτός της Ε.Ε.. Στην Ευρώπη, η ανακύκλωση των αστικών αποβλήτων κατά την περίοδο 2008-2016 αυξήθηκε και η συνεισφορά των ανακυκλωμένων υλικών στη συνολική ζήτηση υλικών παρουσιάζει συνεχή βελτίωση. Ωστόσο, κατά μέσο όρο, τα ανακυκλωμένα υλικά καλύπτουν μόνο το 12% της ζήτησης υλικών στην Ε.Ε..

A. Διαδικασίες κυκλικού σχεδιασμού και παραγωγής

Τα προϊόντα και οι υπηρεσίες που έχουν σχεδιαστεί με κυκλικό τρόπο μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τη χρήση των πόρων και να προωθήσουν την επαναχρησιμοποίηση, την ανάκτηση και την ανακύκλωση των υλικών στο μέλλον. Διάφορες πολιτικές της ΕΕ αφορούν ήδη την αποδοτικότητα των πόρων: πέρα από την οδηγία για τον οικολογικό σχεδιασμό και τον κανονισμό για την ενεργειακή σήμανση, οι εν λόγω πολιτικές περιλαμβάνουν επίσης προαιρετικά εργαλεία, όπως τα κριτήρια χορήγησης του οικολογικού σήματος της ΕΕ ή τα κριτήρια για τις πράσινες δημόσιες συμβάσεις. Το έγγραφο εργασίας των υπηρεσιών της Επιτροπής για τις πολιτικές που σχετίζονται με τα προϊόντα, το οποίο δημοσιεύεται μαζί με την παρούσα έκθεση, εξετάζει τις επιλογές για την καλύτερη οργάνωση των διάφορων υφιστάμενων εργαλείων πολιτικής για τα προϊόντα σε επίπεδο ΕΕ και της συνεισφοράς τους στην κυκλική οικονομία. Τούτο περιλαμβάνει την εξέταση της επέκτασης της πολιτικής οικολογικού σχεδιασμού, η οποία υπήρξε επιτυχής για τα προϊόντα που σχετίζονται με την ενέργεια, στις ομάδες προϊόντων που δεν σχετίζονται με την ενέργεια και την περαιτέρω στήριξη του τομέα επισκευών στην ΕΕ. Το έγγραφο αναλύει επίσης τις πιθανές ευκαιρίες σε επιπλέον τομείς, όπως για παράδειγμα στις συσκευασίες, στα υφάσματα και στα έπιπλα. Οι εργασίες για την αναθεώρηση των βασικών απαιτήσεων για τη συσκευασία που βρίσκονται σε εξέλιξη θα αποσκοπούν στη βελτίωση του σχεδιασμού για την επαναχρησιμοποίηση και την υψηλής ποιότητας ανακύκλωση των συσκευασιών.

B. Ενίσχυση του ρόλου των καταναλωτών

Η μετάβαση προς μια πιο κυκλική οικονομία απαιτεί την ενεργό συμμετοχή των πολιτών στην αλλαγή των καταναλωτικών προτύπων. Προς τον σκοπό αυτό, το συνοδευτικό έγγραφο για τις πολιτικές που σχετίζονται με τα προϊόντα αναλύει μια στρατηγική προσέγγιση για την αύξηση της αποτελεσματικότητας του οικολογικού σήματος της ΕΕ ώστε να προσφέρει στους καταναλωτές ακριβείς περιβαλλοντικές πληροφορίες, σύμφωνα με τις συστάσεις του ελέγχου καταλληλότητας. Παρουσιάζει επίσης μια λεπτομερή αξιολόγηση της πιλοτικής φάσης του περιβαλλοντικού αποτυπώματος.

Γ. Μετατροπή των αποβλήτων σε πόρους

Η Επιτροπή έχει αποφασηθεί να τη σχέση και τη συνάφεια των διάφορων διαδικασιών παραγωγής ενέργειας από απόβλητα με σκοπό την αποφυγή περιττής απώλειας πολύτιμων πόρων μέσω της υγειονομικής ταφής και της αποτέφρωσης. Επιπλέον, τα κράτη μέλη έχουν ενθαρρυνθεί να εντοπίσουν αποδοτικές τεχνολογίες ανάκτησης ενέργειας και υλικών, να αξιοποιήσουν καλύτερα τα οικονομικά μέσα και να βελτιώσουν τον προγραμματισμό, ώστε να αποφευχθεί η πλεονάζουσα δυναμικότητα αποτέφρωσης.

Δ. Επιτάχυνση της μετάβασης

Προκειμένου να ενισχύσει περαιτέρω τις επενδύσεις, η Πλατφόρμα Υποστήριξης Χρηματοδότησης της Κυκλικής Οικονομίας έχει εκδώσει συστάσεις για τη βελτίωση του οικονομικού ενδιαφέροντος των έργων κυκλικής οικονομίας, για τον συντονισμό των δραστηριοτήτων χρηματοδότησης και την ανταλλαγή ορθών πρακτικών. Η πλατφόρμα θα συνεργαστεί με την Ευρωπαϊκή Τράπεζα Επενδύσεων για την παροχή οικονομικής βοήθειας και την εκμετάλλευση συνεργειών με το σχέδιο δράσης για τη χρηματοδότηση της βιώσιμης ανάπτυξης.

Η κυκλικότητα θα πρέπει να παραμείνει πυλώνας της πολιτικής συνοχής για την περίοδο προγραμματισμού 2021-2027. Η πρόταση της Επιτροπής για ένα νέο Ευρωπαϊκό Ταμείο Περιφερειακής Ανάπτυξης και Ταμείο Συνοχής θέτει την κυκλική οικονομία ως προτεραιότητα των προσπαθειών της ΕΕ για την επίτευξη μιας πιο πράσινης και έξυπνης Ευρώπης και αποκλείει τις επενδύσεις σε χώρους υγειονομικής ταφής και εγκαταστάσεις επεξεργασίας «υπολειμματικών» αποβλήτων, σύμφωνα με την ιεράρχηση των αποβλήτων.

Οι ενδιαφερόμενοι φορείς προωθούν τη μετάβαση σε διάφορους τομείς. Για παράδειγμα, η συμμετοχή της βιομηχανίας οδήγησε στην έγκριση του πρωτοκόλλου και των κατευθυντήριων γραμμών της ΕΕ για τη διαχείριση των αποβλήτων του τομέα των κατασκευών και των καταδηφίσεων, με τελικό στόχο την αύξηση της εμπιστοσύνης στη διαδικασία διαχείρισης αποβλήτων και στην ποιότητα των ανακυκλωμένων υλικών στον τομέα.

Ε. Ανοιχτές προκλήσεις

Η κυκλική οικονομία αποτελεί πλέον μια μη αναστρέψιμη μείζονα παγκόσμια τάση. Ωστόσο, εξακολουθούν να απαιτούνται πολλά βήματα για την κλιμάκωση της δράσης σε επίπεδο ΕΕ και παγκοσμίως, για το πλήρες κλείσιμο του κύκλου και για την αξιοποίηση του ανταγωνιστικού πλεονεκτήματος που προσφέρει στις επιχειρήσεις της ΕΕ. Από την αλληλεπίδραση με τους ενδιαφερόμενους φορείς προκύπτει ότι οι τομείς που δεν καλύπτονται ακόμη από το σχέδιο δράσης θα μπορούσαν να διερευνηθούν για την ολοκλήρωση του θεματολογίου για την κυκλική οικονομία.

Με την υποστήριξη της Επιτροπής, τα κράτη μέλη - ιδίως σε περιφέρειες που θεωρείται ότι κινδυνεύουν να μην επιτύχουν τους στόχους ανακύκλωσης για το 2020 ή που αντιμετωπίζουν ιδιαίτερες προκλήσεις - και οι επιχειρήσεις θα πρέπει να εντείνουν τις προσπάθειές τους για την εφαρμογή της αναθεωρημένης νομοθεσίας για τα απόβλητα και για την ανάπτυξη αγορών δευτερογενών πρώτων υλών. Ο στόχος είναι να διασφαλιστεί ότι τα υλικά τα οποία επιστρέφουν στην οικονομία είναι οικονομικά αποδοτικά και ασφαλή για τους πολίτες και το περιβάλλον.

Όπως επισημαίνεται στο μακροπρόθεσμο στρατηγικό όραμα για μια οικονομία με ευημερία, σύγχρονη, ανταγωνιστική και κλιματικά ουδέτερη έως το 2050, η μετάβαση προς μια αφενός κυκλική και αφετέρου κλιματικά ουδέτερη οικονομία θα πρέπει να επιδιωχθεί παράλληλα και στη βάση μεγάλων βιομηχανικών φιλοδοξιών, με στόχο την αξιοποίηση του πλεονεκτήματος των επιχειρήσεων της ΕΕ, που έχουν το προβάδισμα στους συγκεκριμένους τομείς.

1.6. Η κυκλική οικονομία στην Ελλάδα

Σύμφωνα με την, από τον Δεκέμβριο 2018, έντυπη εθνική στρατηγική για την κυκλική οικονομία του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας, η κυκλική οικονομία αποτελεί ευκαιρία και ανάγκη για την Ελλάδα, η οποία εντάσσεται στη σχετική Ευρωπαϊκή στρατηγική και ανταποκρίνεται στα ελληνικά χαρακτηριστικά της οικονομίας. Αποτελεί μια μείζονα και επιτακτική αναγκαιότητα εξαιτίας της μεγάλης καθυστέρησης που παρουσιάζει η Ελλάδα αλλά και των περιορισμένων διαθέσιμων πόρων και των ιδιαίτερων γεωγραφικών χαρακτηριστικών της χώρας.

Πυλώνες της Εθνικής Στρατηγικής Κυκλικής Οικονομίας και ταυτόχρονα στοιχεία αναπτυξιακού μετασχηματισμού και αλλαγής αναπτυξιακού προτύπου αποτελούν οι :

- η βιώσιμη διαχείριση πόρων
- η ενίσχυση της κυκλικής επιχειρηματικότητας και
- η κυκλική κατανάλωση

Στο πλαίσιο της στρατηγικής για την κυκλική οικονομία, οι κύριοι μακροπρόθεσμοι στόχοι στη χώρα μας, έως το 2030 είναι:

- 1) Ενσωμάτωση κριτηρίων οικολογικού σχεδιασμού και ανάλυση κύκλου ζωής των προϊόντων, αποφεύγοντας την εισαγωγή επικίνδυνων ουσιών στην παραγωγή τους και διευκολύνοντας την επιδιορθωσιμότητα και την επέκταση της διάρκειας ζωής. Η χρήση μη επικίνδυνων ουσιών βελτιώνει παράλληλα την ποιότητα των αποβλήτων κατά την παραγωγική διαδικασία, μειώνοντας και τις επιπτώσεις στο περιβάλλον
- 2) Αποτελεσματική εφαρμογή της ιεράρχησης της διαχείρισης των αποβλήτων, προωθώντας την πρόληψη της δημιουργίας και ενθαρρύνοντας την επανάχρηση και ανακύκλωση
- 3) Δημιουργία και προώθηση Οδηγών βελτίωσης ενεργειακής απόδοσης στις παραγωγικές διαδικασίες
- 4) Προώθηση καινοτόμων μορφών κατανάλωσης, όπως η χρήση υπηρεσιών αντί αγοράς προϊόντων ή η χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστών και ψηφιακών πλατφορμών
- 5) Προβολή ενός ορθολογικού μοντέλου κατανάλωσης, στη βάση της διαφάνειας της πληροφόρησης για τα χαρακτηριστικά αγαθών και υπηρεσιών, τη διάρκεια ζωής τους και την ενεργειακή τους απόδοση
- 6) Διευκόλυνση και δημιουργία κατάλληλων διαύλων ανταλλαγής πληροφοριών και συντονισμού μεταξύ των διοικήσεων, της επιστημονικής κοινότητας και των οικονομικών και κοινωνικών φορέων, ώστε να δημιουργηθούν συνέργειες συμβατές με τη μετάβαση στο κυκλικό μοντέλο
- 7) Προβολή της σημασίας της μετάβασης από τη γραμμική στην κυκλική οικονομία, προωθώντας διαφάνεια στις διαδικασίες, αναπτύσσοντας την ενημέρωση των πολιτών, την κατάρτιση και ευαισθητοποιώντας την κοινωνία
- 8) Επεξεργασία διαφανών και εφικτών δεικτών παρακολούθησης της υλοποίησης της μετάβασης

Ενώ, άμεσα για τη διετία 2019 - 2020, το σύνολο των δράσεων στην Ελλάδα, περιλαμβάνει παρεμβάσεις στα πεδία:

- Κανονιστικών και Νομοθετικών ρυθμίσεων για την ενίσχυση της κυκλικής οικονομίας και την άρση γραφειοκρατικών αγκυλώσεων
- Χρηματοδότησης και οικονομικών κινήτρων
- Βελτίωσης της γνώσης, των διαδικασιών διαχείρισης και ανταλλαγής της και σύνδεσής της με την παραγωγή, την οικονομία και την κοινωνία
- Ενίσχυσης της διακυβέρνησης της κυκλικής οικονομίας και της δικτύωσης

(<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=R7N5HFvj2dM%3D&tabid=37&language=el-GR>)

1.7. Η κυκλική οικονομία στον κατασκευαστικό κλάδο

Σύμφωνα με τον Ελληνικό Οργανισμό Ανακύκλωσης τα απόβλητα εκσκαφών, κατασκευών και κατεδαφίσεων (ΑΕΚΚ) είναι από τα πιο βαριά και ογκώδη απόβλητα που παράγονται στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Αντιπροσωπεύουν το 25% - 30% περίπου του συνόλου των παραγόμενων αποβλήτων και αποτελούνται από υλικά, όπως σκυρόδεμα, σίδηρο, τούβλα, γύψο, ξύλο, γυαλί, μέταλλα, πλαστικά, αμίαντο και χώμα, υλικά που μπορούν να ανακυκλωθούν.

Τα ΑΕΚΚ προκύπτουν από δραστηριότητες όπως η κατασκευή των κτιρίων και των δημοσίων υποδομών, ολική ή μερική κατεδάφιση κτιρίων και υποδομών, ανακαινίσεις κτηρίων ή διαμερισμάτων και η κατασκευή και συντήρηση των οδών.

Τα ΑΕΚΚ έχουν αναγνωριστεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση ως ένα ρεύμα αποβλήτων με προτεραιότητα διαχείρισης. Υπάρχει ένα υψηλό δυναμικό για την ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση των ΑΕΚΚ, δεδομένου ότι ορισμένα από τα υλικά αυτά έχουν μεγάλη αξία. Ειδικότερα, υπάρχει μια νέα αγορά για χρήση αδρανών υλικών που προέρχονται από ΑΕΚΚ για διάφορα κατασκευαστικά έργα. Επιπλέον, η τεχνολογία για το διαχωρισμό και την ανάκτηση των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων είναι καλά εδραιωμένη, εύκολα προσβάσιμη και γενικά χαμηλού κόστους.

(<https://www.eoan.gr/el/content/14/apovlita-ekskafon-kataskeuon-katedafiseon-aeek>)

Η ορθολογική διαχείριση των διαφόρων ποσοτήτων δομικών απορριμμάτων μέσω κατάλληλης στρατηγικής και τεχνολογιών ανακύκλωσης, μπορεί να συνεισφέρει θετικά στο περιβάλλον, ενάντια:

- στην ανεξέλεγκτη διάθεση των “μπάζων” ή στην υπέρμετρη διάθεσή τους σε Χ.Υ.Τ.Α., σε λατομεία ή παράνομους και ακατάλληλους χώρους απόθεσης,
- στην υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων - λόγω αντικατάστασης αυτών από «εναλλακτικά» υλικά.

(<https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS106/>)

Για να μπορέσουν να ελαχιστοποιηθούν τα οικοδομικά μεικτά απορρίμματα από κατεδαφίσεις, θα πρέπει να υιοθετηθεί το μοντέλο της προσεκτικής κατεδάφισης ή αποδόμησης.

Ως «αποδόμηση» ορίζεται η αποσυναρμολόγηση των κτιρίων για την ασφαλή και αποτελεσματική μεγιστοποίηση της επαναχρησιμοποίησης και της ανακύκλωσης των υλικών τους.

Η προσεκτική κατεδάφιση είναι μια από τις σημαντικότερες ενέργειες για τη μείωση οικοδομικών απορριμμάτων και η αρχική διαδικασία για τη διαμόρφωση και εγκαθίδρυση ροής ανακυκλωμένων και επαναχρησιμοποιημένων υλικών στην αγορά. Αν και ο χρόνος για τη προσεκτική κατεδάφιση ενός κτιρίου είναι μεγαλύτερος, η αύξηση του εργατικού δυναμικού που απαιτείται για μια τέτοια διαδικασία δημιουργεί αύξηση των ευκαιριών απασχόλησης και την ανάπτυξη των δεξιοτήτων του εργατικού δυναμικού.

Η προσεκτική κατεδάφιση περιλαμβάνει τις εξής ενέργειες:

- A) Επιλεκτική αφαίρεση υλικών με προφανή αξία πώλησης.
- B) Επιλεκτική αφαίρεση επικίνδυνων υλικών που αν δεν γίνει, θα μολύνουν το μείγμα των οικοδομικών απορριμμάτων.
- Γ) Επιλεκτική αφαίρεση υλικών τα οποία, αν δεν αφαιρεθούν, θα μειώσουν την αξία των υπόλοιπων οικοδομικών απορριμμάτων όταν συνθλίβονται.
- Δ) Η χημική επεξεργασία (in situ) επί τόπου εκτεθειμένων μερών της δομής του κτιρίου που έχουν μολυνθεί κατά τη διάρκεια της ζωής του κτιρίου, ακόμα και η απομάκρυνση των στοιχείων αν και εφόσον είναι σκόπιμο. (TEE, 2012)

Πέρα όμως από τη σωστή διαχείριση των αποβλήτων, επόμενη ενέργεια είναι η κατασκευή δομικών προϊόντων, τα οποία περιέχουν απόβλητα υλικά. Έρευνες έχουν ξεκινήσει

ώστε τέτοιου είδους καινοτόμα δομικά προϊόντα, με ανταγωνιστικές ιδιότητες να χρησιμοποιούνται, στο μέλλον, στον κατασκευαστικό τομέα.

2. ΚΕΡΑΜΙΚΑ

2.1. Ορισμός

Κεραμικό υλικό είναι κάθε ανόργανο μη μεταλλικό υλικό, το οποίο έχει υποστεί θερμική κατεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες (>1000°C) είτε κατά το στάδιο της επεξεργασίας του είτε κατά το στάδιο της εφαρμογής του. (<https://www.blod.gr/lectures/kykliki-oikonomia-ena-oikonomiko-montelo-tou-mellontos/>)

Τα κεραμικά υλικά που χρησιμοποιούνται ως δομικά υλικά κατατάσσονται, ανάλογα με την χρήση τους:

1. Τεχνητοί δομικοί λίθοι
2. Κεραμικά προϊόντα για εγκαταστάσεις και μονώσεις

Τεχνητοί λίθοι είναι τα δομικά προϊόντα από κεραμικά υλικά, με πρισματικό ή πλακοειδές σχήμα, τα οποία χρησιμοποιούνται εκεί που παλαιότερα χρησιμοποιούνταν οι ακατέργαστοι ή κατεργασμένοι φυσικοί λίθοι (π.χ. τοιχοποιίες). Τεχνητοί λίθοι θεωρούνται: οι ωμόπλινθοι και οπτόπλινθοι, τα κεραμίδια, οι κεραμικές πλάκες και τα πλακίδια, οι τσιμεντόλιθοι, τα πυρίμαχα λιθοσώματα, κ.α.

Κεραμικά προϊόντα για εγκαταστάσεις και μονώσεις είναι αυτά που χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις υδρεύσεως και αποχετεύσεως (π.χ. κεραμικοί σωλήνες) και προϊόντα που χρησιμοποιούνται για μόνωση ή διακοσμητικούς σκοπούς (π.χ. μονωτικές πλάκες). (https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/ARCH101/1223_3%20Ceramics.pdf)

2.2. Πλεονεκτήματα των τεχνητών δομικών κεραμικών υλικών

Τα κεραμικά δομικά υλικά παρουσιάζουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα σε σχέση με τα φυσικά δομικά υλικά:

1. Γενικά διατηρούν σταθερές τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες απέναντι σε εξωτερικές επιδράσεις
2. Καθώς παράγονται υπό ελεγχόμενες συνθήκες, η ποιότητα, μικροδομή, και σύσταση κάθε είδους τεχνικού δομικού υλικού είναι σε μεγάλο βαθμό ενιαία και ανεξάρτητη από τον χρόνο ή τον τόπο κατασκευής. Στους φυσικούς λίθους η χημική, η ορυκτολογική σύσταση και οι φυσικοχημικές τους ιδιότητες δεν είναι

σταθερές ακόμα και μεταξύ λίθων ακόμα και αν προέρχονται από το ίδιο πέτρωμα

3. Είναι δυνατόν να σχεδιαστούν οι ιδιότητες των κεραμικών δομικών υλικών έτσι ώστε να καλύπτουν συγκεκριμένες ανάγκες δόμησης
4. Γενικά είναι ελαφρύτερα από αντιστοίχου μεγέθους δομικούς λίθους
5. Είναι δυνατόν να αποκτηθούν δομικά στοιχεία κατασκευασμένα από κεραμικά οποιασδήποτε μορφής και διαστάσεων, καθώς συνήθως τα κεραμικά υλικά προ της πήξης τους βρίσκονται σε ρευστή κατάσταση και επομένως μέσω της χρήσης μητρών (καλουπιών) μπορούν να μορφοποιηθούν στα επιθυμητά σχήματα και διαστάσεις
6. Οι διαστάσεις τους είναι τυποποιημένες σε αντίθεση από τους δομικούς λίθους οι οποίοι συνήθως λαξεύονται στο επιθυμητό τελικό σχήμα και μέγεθος

(https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/ARCH101/1223_3%20Ceramics.pdf)

2.3. Πρώτες ύλες για παρασκευή δομικών κεραμικών υλικών

Η πρώτη ύλη – το πηλοκονίαμα ή πηλός είναι μίγμα με διάφορες αναλογίες τριών συστατικών (πηλοκονία, άμμος, νερό).

Το κύριο συστατικό είναι η πηλοκονία, που αποτελείται κυρίως από ένυδρο πυριτικό αργίλιο και άλλες ενώσεις όπως οξειδία του σιδήρου, του μαγνησίου, και του ασβεστίου, που με την σειρά τους επηρεάζουν ανάλογα τις ιδιότητες του τελικού κεραμικού. Η καθαρότερη μορφή αργίλου αποτελείται από καολινίτη.

Το δεύτερο συστατικό του πηλοκονιάματος είναι η άμμος, κυρίως χαλαζιακής προέλευσης. Η αναλογία πηλοκονίας και άμμου παίζει σημαντικό ρόλο στην εργασιμότητα και πλαστικότητα του πηλού. Με βάση το ποσοστό της πηλοκονίας στον πηλό, διακρίνονται οι εξής κατηγορίες:

- Παχιοί πηλοί, με μεγάλη περιεκτικότητα σε πηλοκονία
- Κανονικοί πηλοί, με ποσοστό πηλοκονίας ικανό να γεμίσουν μόνο τα κενά της άμμου
- Αδύνατοι πηλοί με μικρή περιεκτικότητα σε πηλοκονία

Το τρίτο συστατικό που απαιτείται είναι το νερό για να κάνει το πηλοκονίαμα εύπλαστο, η ποσότητα του οποίου εξαρτάται από την κατηγορία που ανήκει ο πηλός

(άρα και η πλαστικότητα του) και την μέθοδο παρασκευής του τελικού κεραμικού προϊόντος.

(https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/ARCH101/1223_3%20Ceramics.pdf)

2.4. Παρασκευή δομικών κεραμικών προϊόντων

Η παρασκευή κεραμικών δομικών προϊόντων πραγματοποιείται σε 4 στάδια:

1. την μορφοποίηση
2. την ξήρανση
3. την όπτηση και
4. την ψύξη

2.4.1. Μορφοποίηση

Η μορφοποίηση της πρώτης ύλης στο επιθυμητό σχήμα του τελικού προϊόντος γίνεται σε βιομηχανική και ημι-βιομηχανική κλίμακα, με κατάλληλες μηχανές και καλούπια. Εφαρμόζεται πίεση πάνω στην πρώτη ύλη για την διαμόρφωση του επιθυμητού σχήματος. Η πίεση αυτή εξαρτάται από την μέθοδο μορφοποίησης:

- Υγρή μέθοδος: Ο πηλός περιέχει αρκετή ποσότητα νερού ώστε να παρουσιάζεται εύπλαστος
- Ξηρή μέθοδος: Ο πηλός είναι σχεδόν στεγνός και απαιτείται ισχυρή πίεση για να μορφοποιηθεί στο επιθυμητό σχήμα.

Οι δύο μέθοδοι έχουν αντίστοιχα πλεονεκτήματα ή μειονεκτήματα:

- Στην υγρή μέθοδο εφαρμόζεται μεν μικρότερη πίεση κατά την μορφοποίηση άρα παρουσιάζεται μικρότερη κατανάλωση ενέργειας κατά το στάδιο αυτό σε σχέση με την ξηρή μέθοδο,
- Στην υγρή μέθοδο λόγω της περιεχόμενης υγρασίας το προϊόν απαιτεί μεγαλύτερης διάρκειας ξήρανση (άρα ίσως να αντισταθμίζεται το ενεργειακό πλεονέκτημα) ενώ παράλληλα τα ξηραμένα προϊόντα παρουσιάζουν γενικά μεγαλύτερο πορώδες (και μικρότερη πυκνότητα) σε σχέση με αυτά που έχουν μορφοποιηθεί με την ξηρή μέθοδο.

- Η ξήρανση αντικειμένων που έχουν μορφοποιηθεί με την υγρή μέθοδο παρουσιάζει συχνά προβλήματα ρηγματώσεων και παραμορφώσεων ανάλογα βέβαια με τον υπάρχοντα εξοπλισμό ξήρανσης και τις συνθήκες ξήρανσης.

2.4.2. Ξήρανση

Η μορφοποίηση έχει σκοπό την απομάκρυνση του νερού επεξεργασίας από την μάζα του προϊόντος. Είναι διαδικασία που πρέπει να έχει σχεδιαστεί σωστά για να αποφευχθούν αστοχίες και παραμορφώσεις. Η διάχυση του νερού από το εσωτερικό της μάζας προς την εξωτερική επιφάνεια και η εξάτμισή του πρέπει να γίνεται βαθμιαία και με ελεγχόμενη ταχύτητα ώστε να αποφευχθούν η δημιουργία εσωτερικών τάσεων και μικρορωγμών που μπορούν να οδηγήσουν ακόμα και στην αποκόλληση τμημάτων ή ανομοιόμορφες παραμορφώσεις.

Ανάλογα με το είδος του προϊόντος και της επιθυμητής ταχύτητας ξήρανσης διακρίνονται δύο βασικές μέθοδοι ξήρανσης:

- η φυσική ξήρανση
- η τεχνητή ξήρανση

Στην φυσική ξήρανση τα προϊόντα τοποθετούνται σε σκεπασμένους χώρους που επιτρέπουν την κυκλοφορία αέρα, ενώ όταν αυτά ξηρανθούν ικανοποιητικά, μπορούν στην συνέχεια να εκτεθούν και στον ήλιο για περαιτέρω ξήρανση. Η μη απευθείας έκθεση στον ήλιο κατά τα αρχικά στάδια ξήρανσης έχει ως σκοπό να αποφευχθούν μεγάλες ταχύτητες ξήρανσης που μπορούν να οδηγήσουν σε αστοχία.

Η τεχνητή ξήρανση γίνεται με δύο μεθόδους:

1. Ξήρανση με θερμό αέρα σε ειδικά χώρους/θαλάμους που ονομάζονται ξηραντήρια και που με την σειρά τους ανήκουν σε δύο γενικούς τύπους:

α. Ξηραντήρια με στοές: Έχουν σχήμα επίμηκες και η μεταφορά θερμότητας γίνεται με θερμά αέρια, θερμό ή ατμό που διοχετεύεται μέσω κατάλληλων οπών από το δάπεδο.

β. Ξηραντήρια με θερμαινόμενα τοιχώματα ή/και πατώματα όπου η θέρμανση των επιφανειών των ξηραντηρίων γίνεται με θερμά αέρια της καμίνου, διατηρώντας όμως σταθερή θερμοκρασία στο εσωτερικό τους, όχι μεγαλύτερη των 120°C.

2. Ξήρανση όπου χρησιμοποιείται η ίδια κάμινος που ψήνει τα κεραμικά και απαιτεί καμίνους συνεχούς λειτουργίας όπου λόγω σχεδίασης υπάρχουν στην κάμινο περιοχές χαμηλής θερμοκρασίας.

2.4.3. Όπτηση

Μετά την ξήρανση τα προϊόντα οδηγούνται σε καμίνους για να ψηθούν. Το ψήσιμο (όπτηση) έχει ως σκοπό την σταθεροποίηση του σχήματος και την απόκτηση συγκεκριμένων φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων όπως στεγανότητα, επιφανειακή σκληρότητα, μηχανική αντοχή κ.α.

Η όπτηση είναι διαδικασία που πρέπει να γίνεται μετά από προσεκτικό σχεδιασμό καθώς πραγματοποιούνται κατά την διάρκειά της διάφορες χημικές δράσεις που επιφέρουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά στο κεραμικό και του προσδίδουν τις επιθυμητές ιδιότητες και μικροδομή. Επομένως, παράλληλα με την κατάλληλα επιλογή των πρώτων υλών, το στάδιο του ψησίματος αποτελεί ουσιαστικό εργαλείο για τον σχεδιασμό και απόκτηση των επιθυμητών ιδιοτήτων του τελικού προϊόντος.

Ειδικότερα, μέχρι την θερμοκρασία των 700°C επιτυγχάνεται πλήρη αφυδάτωση, δηλαδή απομάκρυνση και του χημικά δεσμευμένου νερού των ένυδρων ενώσεων του πυριτίου και αργιλίου και για τον λόγο αυτό η άργιλος παύει να είναι πλαστική όταν ξαναβραχεί, ενώ παράλληλα παίζει τον ρόλο της ως συγκολλητική ύλη των κόκκων της άμμου. Επίσης καίγονται οι όποιες οργανικές ενώσεις βρίσκονται στο μίγμα.

Στη θερμοκρασία των 900°C συμπληρώνεται η οξείδωση διαφόρων ενώσεων του άνθρακα και του θείου και εκλύονται τα διοξείδια τους. Η οξείδωση πρέπει να ολοκληρωθεί προτού η θερμοκρασία ανέβει πάνω από τους 900°C, καθώς λόγω πυροσυσσωμάτωσης (sintering) στην υγρή φάση ορισμένων συστατικών, κλείνουν οι πόροι ή παύουν να είναι ανοικτοί και εγκλωβίζονται στην μάζα του υλικού τα αέρια δημιουργώντας κενά (που μπορεί να επηρεάσουν τις μηχανικές αντοχές του κεραμικού).

Σε θερμοκρασίες άνω των 900°C λαμβάνει χώρα η υάλωση. Οφείλεται στην τήξη εύτηκτων συστατικών της πηλοκονίας και της άμμου που διαποτίζουν όλη την μάζα του υλικού. Η υάλωση αυξάνει με την θερμοκρασία, αλλά στα συνηθισμένα δομικά η όπτηση διακόπτεται στο πρώτο στάδιο της υάλωσης, δηλαδή σε θερμοκρασίες μεταξύ

1220°C και 1400°C, ανάλογα με τις χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες. Η υάλωση παρέχει στιλπνότητα και υαλώδη όψη στο κεραμικό, στεγανότητα και σκληρότητα.

2.4.4. Ψύξη

Μετά το τέλος του ψησίματος τα κεραμικά πρέπει να ψύχονται αργά. Σε βιομηχανική κλίμακα, όπου η ποιότητα των κεραμικών είναι σημαντική παράμετρος, γίνεται ολοκληρωμένος σχεδιασμός του προφίλ θέρμανσης - ψύξης.

Ο σχεδιασμός συνήθως περιλαμβάνει διάφορους ρυθμούς θέρμανσης, θερμοκρασιακά πλατό στα οποία η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή για ορισμένο χρονικό διάστημα για να ολοκληρωθούν ορισμένες χημικές αντιδράσεις, ενώ κατά την διάρκεια της ψύξης, αυτή πραγματοποιείται με ελεγχόμενη πτώση της θερμοκρασίας σύμφωνα με τον επιθυμητό σχεδιασμό.

Σε ορισμένα δομικά υλικά ο συνολικός κύκλος όπτησης - ψύξης μπορεί να διαρκέσει αρκετές μέρες έως και εβδομάδα.

(https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/ARCH101/1223_3%20Ceramics.pdf)

2.5. Χαρακτηριστικά κεραμικών δομικών προϊόντων

Τα προϊόντα αργίλου, τούβλα, κεραμίδια κ.λ.π., τα οποία είναι καλής ποιότητας, παρουσιάζουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Αυτά είναι:

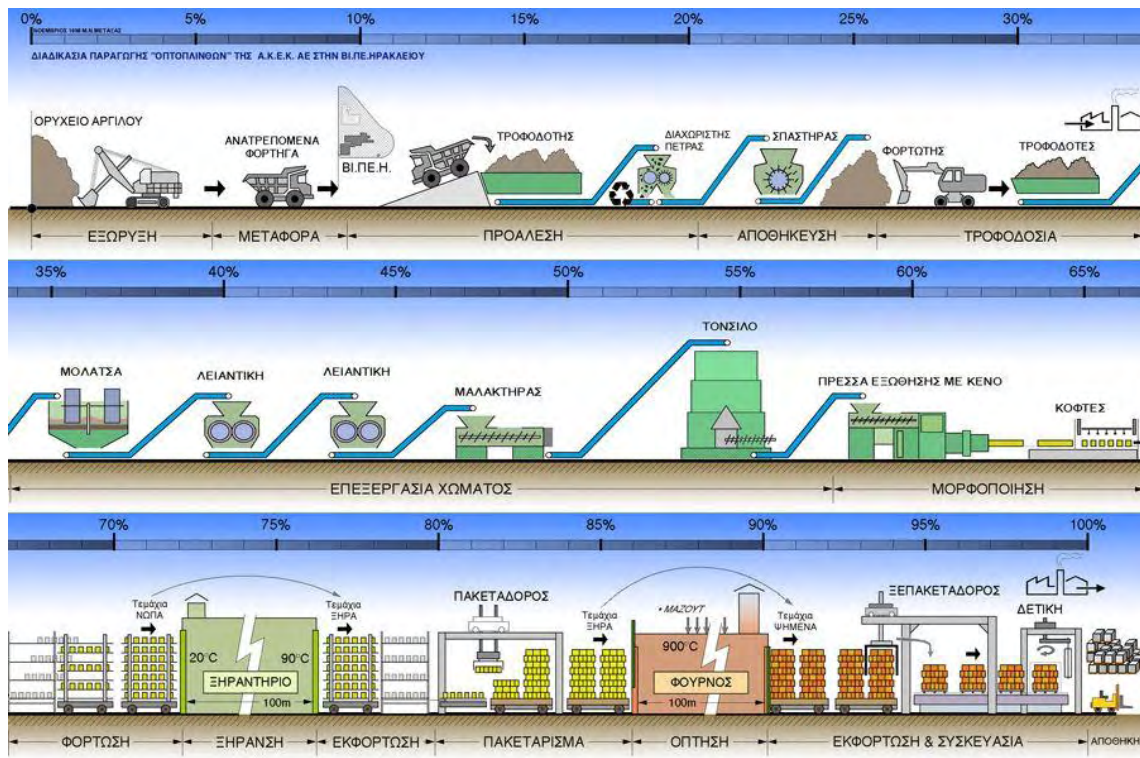
- ανθεκτικότητα στη θλίψη
- ανθεκτικότητα στις καιρικές συνθήκες
- ανθεκτικότητα στη φωτιά
- ανθεκτικότητα στις χημικές επιδράσεις
- έχουν μικρό συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας
- έχουν διαπερατότητα από τον αέρα
- ικανοποιούν τους όρους υγιεινής
- έχουν ωραίους χρωματισμούς
- επιθυμητές διαστάσεις
- είναι εύχρηστα σε κάθε έργο

(http://www.arch.ntua.gr/sites/default/files/resource/11141_tehnitoi-lithoi-simeioseis/4_texnhtoi_li8oi_web.pdf)

2.5. Οπτόπλινθοι

Οι οπτόπλινθοι (τούβλα) είναι τεχνητοί λίθοι από ψημένη άργιλο, σχήματος κυρίως πρισματικού. Το χρώμα τους εξαρτάται από την σύσταση της πρώτης ύλης και κυρίως από την περιεκτικότητα σε οξείδια του σιδήρου. Συνήθως έχουν κόκκινο χρώμα.

Η γραμμή παραγωγής τους στο εργοστάσιο παρουσιάζεται στην εικόνα 2.1.



Εικόνα 2.1.: Γραμμή παραγωγής τούβλων στο εργοστάσιο
(πηγή: <https://www.akek.gr/1/index.php/2012-04-12-10-00-34>)

Τα τούβλα διακρίνονται σε:

- Συμπαγή και
- Διάτρητα

Βασικές αιτίες για την παραγωγή διάτρητων τούβλων είναι το μεγάλο βάρος, η μεγάλη χρονική διάρκεια ξήρανσης και η κοπιαστική και χρονοβόρα εργασία δόμησης των συμπαγών τούβλων.

Τα συμπαγή τούβλα διακρίνονται σε (Εικόνα 2.2.):

- Συμπαγή πλήρη και

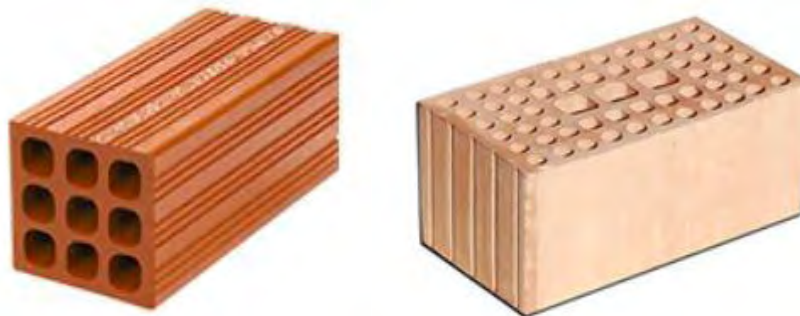
- Συμπαγή διάτρητα με κατακόρυφες οπές, με συνολικό όγκο μικρότερο ή ίσο του 25% του τούβλου και με πάχος τοιχωμάτων μεγαλύτερο από 20 mm ή με συνολική επιφάνεια οπών μικρότερη ή ίση με το 15% της επιφάνειας των τούβλων έδρασης.



Εικόνα 2.2.: Συμπαγές πλήρες και συμπαγές διάτρητο με κατακόρυφες οπές τούβλο

Τα διάτρητα τούβλα διακρίνονται σε (Εικόνα 2.3.):

- Διάτρητα με οπές κατά τη διεύθυνση του μήκους του τούβλου, δηλαδή οριζόντιες
- Διάτρητα με οπές κατά τη διεύθυνση του ύψους, τα οποία ονομάζονται ορθότρυπα



Εικόνα 2.3.: Διάτρητα τούβλα με οριζόντιες και κατακόρυφες οπές

Οι οπές έχουν συνολικό όγκο μεγαλύτερο από 25% και μικρότερο από 55% του όγκου του τούβλου και η συνολική επιφάνειά τους είναι μεγαλύτερη από το 15% της επιφάνειας έδρασης του τούβλου, πρέπει να είναι κατά το δυνατόν ομοιόμορφα κατανομημένες, ενώ σχετικά με το σχήμα και το πλήθος των οπών δεν υπάρχει κανένας περιορισμός.

Διάτρητα τούβλα με μεγάλες διαστάσεις, τα οποία ονομάζονται μπλόκια.

2.5.1. Ιδιότητες των τούβλων

Τα τούβλα, ως δομικά στοιχεία τοιχοποιίας, πρέπει να ικανοποιούν μια σειρά από επιθυμητές ιδιότητες και λειτουργικές απαιτήσεις (πίνακας 2.1.) (π.χ. υψηλές μηχανικές αντοχές, μικρή υδροαπορρόφηση και υδατοπερατότητα, καλή θερμομονωτική και ηχομονωτική συμπεριφορά, μικρές μεταβολές όγκου λόγω μεταβολής της υγρασίας και θερμοκρασίας, αντοχή στον παγετό και στη διάβρωση, ικανή αντίσταση στη φωτιά και ανθεκτικότητα στη χρήση και στο χρόνο).

Πίνακας 2.1.: Βασικές ιδιότητες οπτόπλινθων

Είδος τούβλου	Φαινόμενη πυκνότητα (Kg/m ³)	Ολικό πορώδες (% κ.ό.)	Υδροαπορρόφηση μετά από 24 h εμβάπτιση στο νερό (% κ.β.)	Συντελεστής θερμικής διαστολής (°C) × 10 ⁻⁶	Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας (W/m ² K)	Μέση αντοχή σε θλίψη (MPa)
Συμπαγές	1500÷2300 (= 1900)	10÷50	7÷15	4÷8	0,40÷0,70	15÷50
Διάτρητο	950÷1300 (ρ = 1100)				0,20÷0,35	A:≥5 B:≥4 και ελάχιστο 3,2
Μπλόκιο	750÷900 (ρ = 800)				0,17÷0,20	Γ:≥3 και ελαχ. 2,5 (για ελαφρά επένδυση 1,5)

2.5.2. Ειδικές κατηγορίες οπτόπλινθων

Πέρα από τα τούβλα που προαναφέρθηκαν και χρησιμοποιούνται για δόμηση υπάρχουν και ειδικές κατηγορίες, που χρησιμοποιούνται για ειδικές χρήσεις. Αυτά παρουσιάζονται στη συνέχεια:

2.5.2.1. Πυρίμαχα τούβλα ή πυρότουβλα

Τα πυρότουβλα κατασκευάζονται από ειδικά μίγματα πλούσια σε οξειδία του αργιλίου και του πυριτίου και τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι η μεγάλη αντοχή σε θερμοκρασίες πάνω από 1600°C και η αντοχή σε απότομες και μεγάλης διάρκειας μεταβολές θερμοκρασίας, χωρίς επίτηξη ή αλλοίωση υλικού.

Χρησιμοποιούνται κυρίως για εσωτερική επένδυση καμίνων, κλιβάνων, εστιών, καπνοδόχων κ.λ.π. και ανάλογα με τη σύστασή τους διακρίνονται σε: αργιλικά, χαλαζιακά και μαγνησιακά.

2.5.2.2. Τούβλα με γέμιση με θερμομονωτικό υλικό

Είναι κανονικά τούβλα, τα οποία έχουν ελεύθερο ενδιάμεσο χώρο, ο οποίος μετά την όπτηση καλύπτεται με θερμομονωτικό υλικό, όπως πολυουρεθάνη, διογκωμένη ή εξηλασμένη πολυστερίνη κ.ά.

2.5.2.3. Τούβλα για υπέρυθρα (Πρέκια)

Τα πρέκια είναι αργιλικά τούβλα ειδικής μορφής με αγκυρώσεις και προκατασκευασμένο οπλισμένο εφελκύόμενο τμήμα, το οποίο σε συνεργασία με τη θλιβόμενη ζώνη δίνουν στο υπέρυθρο την απαιτούμενη αντοχή. Χαρακτηρίζονται από καλή θερμομονωτική συμπεριφορά.

2.5.2.4. Διακοσμητικά τούβλα και τούβλα εμφανούς τοιχοποιίας

Τα χαρακτηριστικά των τούβλων αυτής της κατηγορίας είναι:

- Αργιλικά
- Συμπαγή ή διάτρητα με κατακόρυφες οπές
- Λεία, σαγρέ ή σκαλιστά
- Σε διάφορες διαστάσεις
- Σε διάφορους χρωματισμούς

Χρησιμοποιούνται για διακόσμηση τοίχων, δαπέδων, ή άλλων μελών της κατασκευής αλλά και για κατασκευή δεύτερης εξωτερικής εμφανούς τοιχοποιίας, με θερμομόνωση στον πυρήνα.

2.5.2.5. Τούβλα δαπέδων

Χαρακτηριστικά των τούβλων αυτών είναι ότι έχουν ποικίλα χρώματα, έχουν υποστεί καλή όπτηση, η υδροαπορρόφηση τους είναι μικρή, αντέχουν σε τριβή και έχουν μεγάλη σκληρότητα.

Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή δαπέδων εσωτερικού ή εξωτερικού χώρου, αλλά και οπλισμένων δαπέδων, όταν φέρουν οπλισμένες νευρώσεις.

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται για δάπεδα εξωτερικού χώρου, έχουν αντιολισθητική επίστρωση και υψηλή αντοχή στον παγετό.

2.5.2.6. Τούβλα οροφής

Τα χαρακτηριστικά τους είναι το μικρό κόστος και η καλή θερμομονωτική συμπεριφορά. Τοποθετούνται κυρίως στις οροφές των δωματίων. Ωστόσο ενώ στο παρελθόν η χρήση τους ήταν ευρύτατα διαδεδομένη, σήμερα χρησιμοποιούνται ελάχιστα.

2.5.2.7. Ελαφρά ή πορώδη τούβλα

Τα πορώδη τούβλα έχουν φαινόμενη πυκνότητα από 400 - 800 Kg/m³. Η παραγωγή τους πραγματοποιείται με ανάμιξη του πηλού με υλικά, τα οποία είναι δυνατόν να καούν, όπως πριονίδια, σκόνη ξυλάνθρακα, λιγνίτη ή γαιάνθρακα, διογκωμένη πολυστερίνη, κ.ά. Κατά τη διάρκεια της όπτησης καίγονται οι πρόσθετες ουσίες, οπότε δημιουργούνται κενά μέσα στην αργιλόμαζα. Επίσης μπορεί να προστεθεί στο κονίαμα αφρώδες υλικό, όπως χλωριούχο ασβέστιο, σκόνη αλουμινίου, κ.λ.π., το οποίο προκαλεί φυσαλίδες και τελικά δημιουργούνται πόροι.

Χρησιμοποιούνται σε φέρουσες και μη φέρουσες τοιχοποιίες, ενώ σε σχέση με τα κοινά τούβλα είναι ελαφρότερα και προσφέρουν καλύτερη θερμομόνωση.

(http://www.arch.ntua.gr/sites/default/files/resource/11141_tehnitoi-lithoioisimeioseis/4_texnhtoi_li8oi_web.pdf)

2.6. Κεραμίδια

Τα κεραμίδια είναι αργιλικά προϊόντα που χρησιμοποιούνται για την κάλυψη των στεγών με κλίση (κεραμοσκεπές). Για την παραγωγή τους απαιτείται πηλός καλής ποιότητας χωρίς κόκκους λίθων με σύσταση:

- Αμμώδη υλικά κατά 40 ÷ 80 % κατά βάρος
- Οξείδιο του αργιλίου κατά 10 ÷ 40 %
- Οξείδιο του σιδήρου μέχρι 7 %
- Ανθρακικό ασβέστιο μέχρι 10 %
- Ανθρακικό μαγνήσιο μέχρι 1 %
- Αλκάλια μέχρι 10 %.

Ο τρόπος παρασκευής τους έχει ως εξής:

Ο πηλός απλώνεται σε φύλλα με πάχος 10 mm, τα οποία τοποθετούνται στα κατάλληλα καλούπια. Ακολουθεί η ξήρανση και η όπτηση. Κατά τη διάρκεια της όπτησης πραγματοποιείται η εφυάλωση ή αλλιώς διαφανής επικάλυψη (με προσθήκη στην αργιλική μάζα, εύτηκτων υλικών, όπως γλωριούχο νάτριο ή οξείδια του πυριτίου, μολύβδου, κασσίτερου ή βαρίου). Η εφυάλωση ή διαφανής επικάλυψη προσφέρει βελτίωση της στεγανότητας των κεραμιδιών.

Στην Ελλάδα παράγονται κυρίως τέσσερις τύποι κεραμιδιών (Εικόνα 2.4.):

- Βυζαντινά
- Ρωμαϊκά
- Γαλλικά και
- Ολλανδικά



Εικόνα 2.4.: Βυζαντινό, ρωμαϊκό, γαλλικό και ολλανδικό κεραμίδι

2.7. Επαναχρησιμοποίηση δομικών κεραμικών προϊόντων

Η σημαντικότερη αρνητική περιβαλλοντική επίπτωση στη διάθεση των κεραμικών υλικών σε χωματερές, ως απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων, είναι η κατανάλωση του χώρου (γης). Βέβαια, πολλές φορές αυτού του είδους απορρίμματα είναι αναμειγμένα με ενδεχομένως μολυσμένα στοιχεία όπως μονωτικά υλικά, κονιάματα, τσιμέντο που ίσως περιέχουν βλαβερές ουσίες.

Η επαναχρησιμοποίηση τέτοιων οικοδομικών απορριμμάτων πρέπει να γίνεται μέσω της προσεκτικής κατεδάφισης υφιστάμενων κατασκευών. Παρόλο που τέτοια υλικά μπορούν να έχουν διάρκεια ζωής μεγαλύτερη των 100 χρόνων συνήθως κατεδαφίζονται σε πολύ λιγότερο διάστημα. Για την επαναχρησιμοποίηση τούβλων πλακιδίων και κεραμικών είναι σημαντικό να απομακρυνθεί οποιοδήποτε κονίαμα ή συνδετική κόλλα. Αυτό είναι ίσως μια από τις πιο δύσκολες και χρονοβόρες διαδικασίες που απαιτεί χειρονακτική εργασία. Επίσης, είναι δύσκολο να εκτιμηθεί η αντοχή και η φέρουσα ικανότητα της τοιχοποιίας που είναι κατασκευασμένη από ανακυκλωμένα τούβλα. Έτσι συνήθως προτιμείτε η επαναχρησιμοποίηση τους σε επικαλύψεις όψεων ή εσωτερικών τοίχων.

Η επαναχρησιμοποίηση των τούβλων και κεραμιδιών επιτρέπει να αποφευχθεί η κατανάλωση ενέργειας (έως και 30% του κόστους παραγωγής) καθώς και οι εκπομπές αερίων στην ατμόσφαιρα, που συνήθως εμφανίζονται κατά τη διαδικασία κατασκευής τους.

Τα οικοδομικά απορρίμματα από τούβλα, πλακάκια και κεραμικά από μια κατεδάφιση είναι σε αναμειγμένη μορφή. Αυτά μπορούν να θρυμματιστούν και να κοσκινιστούν αντικαθιστώντας την άμμο, χαλίκια ή πέτρες για διάφορες εργασίες.

Αν και τα τεχνικά κριτήρια για τη χρήση των κοκκωδών κεραμικών υλικών είναι λίγες, το μίγμα πρέπει να είναι απολύτως απαλλαγμένο από στοιχεία που μολύνουν, όπως ο πετροβάμβακας, το σκυρόδεμα, τα βαρέα μέταλλα και πολυκυκλικοί αρωματικοί υδρογονάνθρακες που μπορεί να διαφύγουν και να προκαλέσουν ρύπανση των υπογείων υδάτων. Έτσι για την περαιτέρω ανακύκλωση τους, ο καθαρισμός τους είναι το πρώτο και βασικό στάδιο.

Τρόποι επαναχρησιμοποίησης των κεραμικών δομικών προϊόντων είναι οι εξής:

- Άθραυστα, για τη συμπλήρωση και σταθεροποίηση μικρών δρόμων ιδιαίτερα σε υγρές περιοχές όπως δάση και πεδιάδες. Η πρακτική αυτή εφαρμόζεται ευρέως στη

Δανία όπου είναι δύσκολη η προμήθεια της πέτρας. Το μείγμα χρησιμοποιείται άθραυστο.

- Θρυμματισμένα, ως υλικά υπόβασης για την κατασκευή οδικών έργων. Η μέθοδος αυτή είναι διαδεδομένη και εφαρμόζεται στην Αγγλία, Γερμανία, Δανία, Ελβετία. Μόνο στη Γερμανία, η μέγιστη περιεκτικότητα σε τούβλο για τέτοια χρήση είναι 30%, λόγω των ποιοτικών απαιτήσεων για τον παγετό και την αντοχή σε κρούσεις. Το μείγμα αντικαθιστά φυσικά υλικά, όπως άμμος και τα χαλίκια, τα οποία χρησιμοποιούνται συνήθως σε μεγάλες ποσότητες για το σκοπό αυτό.
- Θρυμματισμένα, για την εξομάλυνση και πλήρωση χαντακιών για δίκτυα σωλήνων. Αντικαθιστά φυσικά υλικά όπως την άμμο.
- Θρυμματισμένα, αντικαθιστούν την άμμο στην παραγωγή σκυροδέματος. Αυτό συνήθως εφαρμόζεται στην Αυστρία, τη Δανία, την Ελβετία και ιδιαίτερα στην Ολλανδία.
- Θρυμματισμένα κόκκινα τούβλα και κεραμίδια για την κατασκευή άμμου για τένις. Το λεπτό επιφανειακό στρώμα διαστρώνεται πάνω από χονδρόκοκκα στρώματα που μπορούν να περιέχουν θρυμματισμένα τούβλα. Η διαδικασία είναι πιο αποτελεσματική όταν πραγματοποιείται σε εργοστάσια τούβλων ή κεραμιδιών, όπου υπάρχει περίσσεια ακατάλληλου υλικού.
- Θρυμματισμένα τούβλα και κεραμίδια ως υποστρώματα φυτών. Το υλικό μπορεί να αναμιχθεί με βιοδιασπώμενα οργανικά υλικά και είναι τέλειο για πράσινες στέγες: το πορώδες του υλικού που επιτρέπει τη διατήρηση νερού και βοηθά στη διατήρηση των φυτών κατά τη διάρκεια ξηρών περιόδων.

Παράγοντες προώθησης των δομικών κεραμικών που προέρχονται από κατασκευές και κατεδαφίσεις είναι:

- Σχεδιασμός για το τέλος του κύκλου ζωής τους (σχεδιασμός για προσεκτική κατεδάφιση (αποδόμηση) για επαναχρησιμοποίηση των τούβλων και κεραμιδιών.
- Αύξηση της διάρκειας ζωής των κτιρίων (> 100 έτη) για τη μείωση των ποσοτήτων των αποβλήτων που παράγονται.
- Φόροι ή καλύτερα απαγορεύσεις διάθεσης σε χωματερές ή χώρους υγειονομικής ταφής τέτοιων απορριμμάτων, για την προώθηση εναλλακτικών λύσεων.

- Συνεχής επιστημονική έρευνα για τη βελτίωση των τεχνικών διαχωρισμού και καθαρισμού των τούβλων από άλλα ανάμεικτα απόβλητα και ειδικά από μολυσματικούς παράγοντες. (ΤΕΕ, 2012)

3. ΞΥΛΟ

3.1. Γενικά για το ξύλο

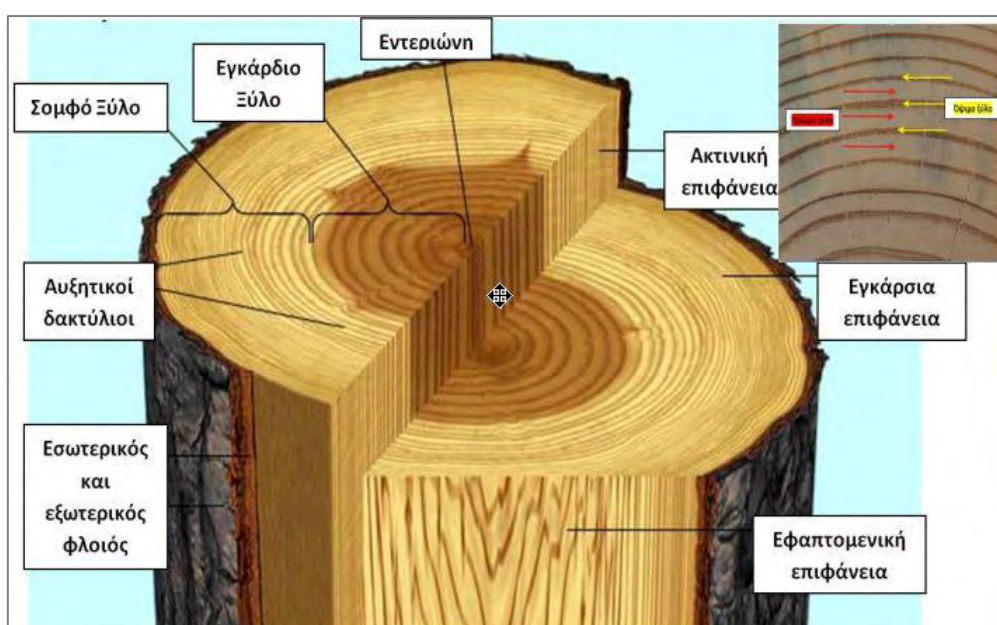
Το ξύλο αποτελεί την πρώτη ύλη που δίνουν τα δέντρα και είναι ένα πολύτιμο φυσικό αγαθό. Ο άνθρωπος από την εμφάνισή του στη γη χρησιμοποίησε το ξύλο για να ζεσταθεί και να μαγειρέψει, αλλά και ως πρώτη ύλη για την κατασκευή καταλυμάτων και εργαλείων. Σήμερα, συνεχίζει να το χρησιμοποιεί παράγοντας πολυάριθμα προϊόντα, τα οποία χρησιμοποιεί σε καθημερινή βάση και διευκολύνουν τη ζωή του.

Για τη σωστή αξιοποίηση του ξύλου σε διάφορα προϊόντα, αποτελεί βασική προϋπόθεση η λεπτομερής γνώση της αρχιτεκτονικής κατασκευής (δομής) του, και της συμπεριφοράς του σε κάθε επεξεργασία. Πρέπει, επίσης, να τονισθεί ότι η αξιοποίηση του ξύλου σε διάφορα προϊόντα αρχίζει από το δάσος και συγκεκριμένα από το υλοτόμιο, όπου γίνεται η ρίψη των δένδρων και η διαμόρφωσή τους σε βιομηχανική ξυλεία και σε καυσόξυλα. Από τη στιγμή της υλοτομίας ενός δένδρου και της παραγωγής των δασικών προϊόντων στο υλοτόμιο, μέχρι την επεξεργασία του ξύλου στο εργοστάσιο, μεσολαβεί, πολλές φορές, μεγάλο χρονικό διάστημα και έχει καθοριστική σημασία στο διάστημα αυτό το κάθε κορμοτεμάχιο ξύλου να μην έχει υποστεί υποβάθμιση της ποιοτικής του κατάστασης. (Βουλγαρίδης, 2007)

Η παραγόμενη ξυλεία χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: στα ξύλα κωνοφόρων και τα ξύλα πλατύφυλλων. Στο εμπόριο τα ξύλα αυτά είναι γνωστά με τις ονομασίες «μαλακή ξυλεία» (ξύλο κωνοφόρων, softwoods) και «σκληρή ξυλεία» (ξύλο πλατύφυλλων, hardwoods). Τα είδη των κωνοφόρων είναι γενικά μαλακά ή μέτρια είδη, με μέτριες ή χαμηλές πυκνότητες, κυρίως $<0,55-0,60 \text{ g/cm}^3$, με εξαίρεση λίγα είδη πεύκης, βλ. τραχεία, χαλέπιος, southern yellow pines. Τα είδη πλατύφυλλων είναι γενικά είδη ξύλου που έχουν μέτριες, υψηλές έως και εξαιρετικά υψηλές πυκνότητες: κυρίως $>0,55-0,60 \text{ g/cm}^3$ (με εξαίρεση λίγα είδη, π.χ. λεύκη, φλαμούρι, ιτιά, κλήθρα, ayous, balsa, paulownia κ.α.), γι' αυτό λέγονται και hardwoods. (Μαντάνης, 2019)

3.2. Δομή του ξύλου

Έχοντας μία εγκάρσια τομή ενός κορμοτεμαχίου είναι ορατά τα ακόλουθα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά του (Εικόνα 3.1). Ο κάθε κορμός δέντρου περιβάλλεται από τον φλοιό (εξωτερικό και εσωτερικό), στη συνέχεια φαίνεται το σομφό και το εγκάρδιο ξύλο, ενώ στο κέντρο του κορμού είναι ορατή η εντεριώνη. Το εγκάρδιο ξύλο αποτελείται από τους παλαιότερους αυξητικούς δακτύλιους, σε αντίθεση με το σομφό ξύλο που οι αυξητικοί δακτύλιοι είναι οι πιο πρόσφατοι. Σε ορισμένα δέντρα, το εγκάρδιο έχει σκουρότερο χρώμα.



Εικόνα 3.1.: Μακροσκοπικά χαρακτηριστικά ξύλου
(πηγή: <https://dasoponos.gr/wp-content/uploads/2018/04/.pdf>)

Το ξύλο δομείται από κύτταρα, τα οποία ονομάζονται ξυλώδη κύτταρα. Τα κύτταρα στο ξύλο κωνοφόρων διαφέρουν ως προς τη γενική μορφολογία από τα κύτταρα των πλατύφυλλων.

Τα στοιχεία δομής των κωνοφόρων διαχωρίζονται σε βασικά στοιχεία που συγκροτούν τον κύριο όγκο του ξύλου που είναι οι αξονικές τραχειίδες και το ακτινικό παρέγχυμα και σε μη βασικά στοιχεία, τα οποία εμφανίζονται μόνο σε ορισμένα είδη ξύλου και είναι οι ακτινικές τραχειίδες, το αξονικό παρέγχυμα και οι ρητινοφόροι αγωγοί.

Τα κύτταρα του ξύλου των πλατύφυλλων διακρίνονται σε μέλη αγγείων, ίνες και παρεγχυματικά κύτταρα. Τα μέλη αγγείων είναι κύτταρα σε μορφή σωλήνα, τα οποία ενώνονται στα άκρα και σχηματίζουν αγωγούς μεγάλου μήκους που ονομάζονται αγγεία. Οι ίνες είναι πολύ λεπτά κύτταρα, επιμήκη με κλειστά άκρα και συγκροτούν κυρίως στερεωτικούς ιστούς. (Μαντάνης, 2015)

3.3. Χημική σύσταση του ξύλου

Το ξύλο είναι προϊόν βιολογικών διεργασιών αποτελεί ένα σύνθετο και ετερογενές υλικό. Τα χημικά στοιχεία από τα οποία αποτελείται είναι άνθρακας 48-51%, οξυγόνο 43-45%, υδρογόνο 5-7%, άζωτο 0,1-0,3% και ανόργανες ουσίες 0,2-0,6%.

3.3.1. Χημικά συστατικά του ξύλου

Τα χημικά συστατικά του ξύλου είναι τα ακόλουθα:

Υδρογονάνθρακες: Στην κατηγορία αυτή (πολυσακχαρίτες) ανήκουν η κυτταρίνη, οι ημικυτταρίνες, το άμυλο και οι πηκτινικές ουσίες. Το συνολικό ποσοστό του ξύλου σε πολυσακχαρίτες είναι 65-75%. Ειδικότερα, η κυτταρίνη απαντάται σε ποσοστό 40-50% σε κωνοφόρα και πλατύφυλλα, οι ημικυτταρίνες σε ποσοστό περίπου 20% στα κωνοφόρα και 15- 35% στα πλατύφυλλα.

Φαινολικές ουσίες: Στην κατηγορία αυτή ανήκει η λιγνίνη, η οποία απαντάται σε ποσοστό 25- 35% στα κωνοφόρα και 17-25% στα πλατύφυλλα, καθώς και οι ταννίνες και τα στιλβένια (κατηγορίες εκχυλισμάτων).

Τερπένια: Στην κατηγορία αυτή ανήκουν το κολοφώνιο, το τερεβινθέλαιο και τα ρητινικά οξέα.

Οξέα: Στο ξύλο βρίσκονται κορεσμένα και ακόρεστα λιπαρά οξέα, κυρίως σε μορφή εστέρων με γλυκερίνη (λίπη, έλαια) ή με πολυαλκοόλες (κηροί). Από τα μη λιπαρά οξέα, σε σχετικά μεγάλη αναλογία (1-5%) υπάρχει στο ξύλο το οξικό οξύ (ενωμένο κυρίως με τις ημικυτταρίνες) και άλλα μονοβασικά και υδροξυβασικά οξέα.

Αλκοόλες: Στην κατηγορία αυτή υπάγονται αλιφατικές αλκοόλες και αρωματικές αλκοόλες, κυρίως στερόλες.

Πρωτεΐνες: Απαντώνται στο κάμβιο και τα παρεγγυματικά κύτταρα σε ποσοστό περίπου 1%.

Ανόργανες ουσίες: Το σύνολο των ανόργανων ενώσεων ονομάζεται τέφρα και απομένει ως υπόλειμμα μετά από την πλήρη καύση του ξύλου. Η τέφρα του ξύλου περιέχει κυρίως ασβέστιο, κάλιο, μαγνήσιο και σε πολύ μικρό ποσοστό νάτριο, μαγγάνιο, κ.ά.

Τα χημικά συστατικά που συγκροτούν τη δομή του ξύλου είναι η κυτταρίνη, οι ημικυτταρίνες και η λιγνίνη, και εξετάζονται παρακάτω:

Η κυτταρίνη είναι η σπουδαιότερη και αφθονότερη οργανική ουσία που βρίσκεται στη φύση. Απαντάται παντού σε μεγάλες ποσότητες και αποτελεί το σπουδαιότερο συστατικό των κυτταρικών τοιχωμάτων του ξύλου. Βρίσκεται στο ξύλο σε ποσοστό 40-50%. Η κυτταρίνη είναι πολυσακχαρίτης μακρομοριακής δομής, της οποίας η στοιχειώδης μονάδα δόμησης των μακρομορίων της είναι το μονοσάκχαρο γλυκόζη. Η κυτταρίνη διακρίνεται σε κρυσταλλική κυτταρίνη (που σχηματίζει κρυστάλους) και άμορφη κυτταρίνη. Ο εμπειρικός τύπος της κυτταρίνης είναι $(C_6H_{10}O_5)_n$ και προκύπτει από το μόριο της γλυκόζης ($C_6H_{12}O_6$) με την αφαίρεση ενός μορίου νερού. Η γλυκόζη είναι μονοσάκχαρο που σχηματίζεται από το CO_2 της ατμόσφαιρας με φωτοσύνθεση. Ο βαθμός πολυμερισμού της κυτταρίνης στο ξύλο εκτιμάται ότι είναι περίπου 12.000-15.000.

Οι ημικυτταρίνες διαφέρουν από την κυτταρίνη στο ότι (α) είναι άμορφες, (β) έχουν μικρότερο βαθμό πολυμερισμού (περίπου 150-200), (γ) διαλύονται σε αλκαλικά διαλύματα και (δ) υδρολύονται πολύ εύκολα με αραιά διαλύματα οξέων. Οι ημικυτταρίνες απαντώνται στη φύση σχεδόν πάντα μαζί με την κυτταρίνη και τη λιγνίνη. Ο όρος ημικυτταρίνες είναι συλλογικός και αναφέρεται σε μίγμα πολυσακχαριτών που έχουν ως βάση τα μονοσάκχαρα της γλυκόζης, της μαννόζης και της ξυλόζης, και σε μικρότερη αναλογία της γαλακτόζης, αραβινόζης και ραμνόζης. Οι ημικυτταρίνες είναι οι πλέον υδρόφιλες ουσίες του ξύλου. Ο διαχωρισμός τους από την κυτταρίνη βασίζεται στο ότι διαλύονται σε διάλυμα υδροξειδίου του νατρίου (NaOH) 17,5%, ενώ η κυτταρίνη παραμένει αδιάλυτη.

Η λιγνίνη είναι ουσία αρωματικής φύσης της οποίας η ακριβής δομή δεν είναι ακόμα γνωστή. Είναι το συστατικό που διακρίνει το ξύλο από τις άλλες κυτταρινικές ουσίες που παράγονται από τη φύση. Η λιγνίνη βρίσκεται πάντοτε μαζί με την

κυτταρίνη, ενώ η κυτταρίνη εμφανίζεται και χωρίς τη λιγνίνη, όπως λ.χ. στο βαμβάκι. Ο βιολογικός προορισμός της είναι η ενίσχυση της μηχανικής αντοχής των κυτταρικών τοιχωμάτων. Έτσι, τα λιγνοποιημένα κύτταρα μπορούν να παραλληλισθούν με τα πλαστικά που είναι ενισχυμένα με ίνες γυαλιού ή με το μπετόν που περιβάλλει το σκελετό του σιδήρου. Η λιγνίνη συγκεντρώνεται κυρίως στη μεσοκυττάρια στρώση, συγκρατεί τα μικροϊνίδια και βελτιώνει την αντοχή τους σε θλίψη. Η απόθεση της λιγνίνης (λιγνοποίηση) συμπληρώνεται μέχρι την πλήρη ανάπτυξη των κυττάρων. Η λιγνίνη είναι αδιάλυτη στους γνωστούς διαλύτες και δεν υδρολύεται. Οι ιδιότητες αυτές της λιγνίνης εξηγούν γιατί δεν είναι ακόμη γνωστή η ακριβής δομή της. Η λιγνίνη στερείται κρυσταλλικότητας, είναι δηλαδή άμορφη ουσία. Τα μοριακά βάρη της λιγνίνης είναι πολύ μεγάλα (100.000-300.000). Η λιγνίνη είναι πολύ λιγότερο υδρόφιλη από ότι οι πολυσακχαρίτες του ξύλου. Αυτό οφείλεται στο μικρότερο αριθμό υδροξυλίων (-OH) που περιέχει. (Βουλγαρίδης, 2015)

Εκτός από τις παραπάνω οργανικές ουσίες που συγκροτούν τη δομή του ξύλου (δομικά συστατικά), οι ιστοί του ξύλου περιέχουν και χημικές ουσίες που δεν συμμετέχουν στη δομή των κυτταρικών τοιχωμάτων (μη δομικά συστατικά) και συνήθως εκχυλίζονται από το ξύλο με νερό και ουδέτερους διαλύτες και ονομάζονται εκχυλίσματα. Τα εκχυλίσματα αποτίθενται στους κενούς χώρους και τις κυτταρικές κοιλότητες του ξύλου. Το ποσοστό των εκχυλισμάτων σε είδη ξύλου της εύκρατης ζώνης είναι μικρό, 0,5-2%, και είναι αυξημένο στις ρίζες και στους τραυματικούς ιστούς. Αντίθετα, το ποσοστό των εκχυλισμάτων σε ξύλο τροπικών ειδών μπορεί να φθάσει μέχρι και 10%. Τα σπουδαιότερα εκχυλίσματα είναι τα ακόλουθα: τερεβινθέλαιο, αιθέρια έλαια (λ.χ. καμφορά), ρητινικά οξέα (συστατικά του ρετςινιού των κωνοφόρων), ταννίνες, δεψικές ουσίες (βλ. επεξεργασία δερμάτων), λιπαρά οξέα, πρωτεΐνες (αζωτούχες ενώσεις) και άλλες ενώσεις. Η χημεία των εκχυλισμάτων είναι περίπλοκη και αποτελεί αντικείμενο ειδικής έρευνας και ανάλυσης. (Μαντάνης, 2003)

3.3.2. Επίδραση χημικών συστατικών στις ιδιότητες του ξύλου

Η χημική σύσταση του ξύλου και η κατανομή των χημικών συστατικών στα κυτταρικά τοιχώματα έχουν μεγάλη επίδραση στις ιδιότητες του ξύλου και ασκούν σημαντικό ρόλο στις τελικές χρήσεις του.

Η κυτταρίνη είναι το χημικό συστατικό του ξύλου που το καθιστά κατάλληλο για παραγωγή χαρτιού και εκατοντάδων άλλων προϊόντων. Στην κυτταρίνη οφείλεται η μεγάλη αντοχή του ξύλου σε εφελκυσμό παράλληλα προς τον κατά μήκος άξονα του κορμού.

Η λιγνίνη στο ξύλο παίζει το ρόλο της συγκολλητικής ουσίας, είναι η πλέον υδρόφοβη ουσία του και είναι πολύ ανθεκτική.

Η υψηλή αντοχή του ξύλου σε θλίψη, καθώς και η ελαστικότητά του, οφείλονται στην ύπαρξη των ημικυτταρινών και της λιγνίνης στη μεσοκυττάρια στρώση. Τα συστατικά αυτά είναι εκείνα που συνδέουν τα ξυλώδη κύτταρα μεταξύ τους. Η ιδιότητα του ξύλου να προσλαμβάνει υδρατμούς από την ατμόσφαιρα (υγροσκοπικότητα) οφείλεται στα ελεύθερα υδροξύλια (OH-) των μακρομορίων των ημικυτταρινών και των πηκτινικών ουσιών. (Μαντάνης, 2003)

3.3. Προϊόντα ξύλου και χρήσεις τους

Το ξύλο αποτελεί πρώτη ύλη διαφόρων προϊόντων πρωτογενούς βιομηχανικής κατεργασίας όπως στύλοι, πριστή ξυλεία, ξυλόφυλλα (καπλαμάδες), αντικολλητά (κόντρα-πλακέ), μοριοπλάκες, ινοπλάκες, ξυλοπολτός, κλπ., τα οποία αποτελούν υλικά για την παραγωγή άλλων προϊόντων δευτερογενούς κατεργασίας όπως π.χ. έπιπλα και χαρτί, πολυμερή κυτταρίνης, χημικά, ενέργεια. Τόσο τα πρωτογενή όσο και τα δευτερογενή προϊόντα μπορεί να παράγονται με μηχανικές, φυσικές και χημικές επεξεργασίες ή με συνδυασμό των παραπάνω κατεργασιών. Ιδιαίτερα για τα χημικά προϊόντα και τα βιοκαύσιμα, ο αριθμός των προϊόντων που παράγεται από το ξύλο είναι πολύ μεγάλος και υποστηρίζεται ότι είναι ίδιος με εκείνα τα προϊόντα που παράγονται από πετρέλαιο.

Τα προϊόντα του ξύλου διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν αυτά στα οποία διατηρείται η φυσική δομή του ξύλου και στη δεύτερη κατηγορία αυτά όπου δεν διατηρείται.

3.3.1. Προϊόντα στα οποία διατηρείται η φυσική δομή του ξύλου

α. Πριστή ξυλεία: Προκύπτει από πρίση (πρίονιση) στρόγγυλων κορμοτεμαχίων σε διάφορα πάχη, πλάτη και μήκη ανάλογα με τις απαιτήσεις της αγοράς (Εικόνα 3.2.). Η

πιστή ξυλεία χρησιμοποιείται ως έχει ή μετά από δευτερογενή μηχανική κατεργασία για διάφορα προϊόντα. Στρωτήρες, ξυλεία οικοδομών (σκαλωσιές, στέγες, αποθήκες, κ.ά.) και άλλα πριστά τεμάχια αποτελούν προϊόντα πρωτογενούς μηχανικής κατεργασίας του ξύλου. Άλλα προϊόντα (π.χ. έπιπλα) απαιτούν και δευτερογενή μηχανική κατεργασία. Η πρίση του ξύλου γίνεται με ταινιοπρίονα, πολυπρίονα και δισκοπρίονα.



Εικόνα 3.2.: Τρόπος πρίσης και παραγωγής πριστών από κορμοτεμάχιο
(πηγή: <http://users.auth.gr/ptsioras/pdf>)

β. Ξυλόφυλλα (καπλαμάδες) - Αντικολλητά (κόντρα-πλακέ) - Πηχοπλάκες (πλακάς): Τα ξυλόφυλλα παράγονται με εκτύλιξη (το κορμοτεμάχιο στρέφεται γύρω από τον άξονά του και ταυτόχρονα κόβεται με ένα μεγάλο μαχαίρι σε συνεχές φύλλο) και με παλινδρομική τομή (το μαχαίρι κάνει παλινδρομικές κινήσεις και κάθε φορά κόβει ένα φύλλο ξύλου συγκεκριμένων διαστάσεων). Τα ξυλόφυλλα χρησιμοποιούνται ευρύτατα ως επενδύματα μοριοπλακών για την επιπλοποιία, στην κατασκευή αντικολλητών και πηχοπλακών κ.ά. Η παραγωγή αντικολλητών προϋποθέτει την προετοιμασία ξυλοφύλλων με μηχανική κατεργασία και τη συγκόλλησή τους. Οι

πηχοπλάκες εκτός από την εξωτερική επένδυση με ξυλόφυλλα περιλαμβάνουν μεσαία στρώση από μικρά, πριστά τεμάχια ξύλου.

γ. Προϊόντα σε στρόγγυλη μορφή: Τα προϊόντα αυτά περιλαμβάνουν κυρίως στύλους τηλεπικοινωνίας (ΟΤΕ) και εξηλεκτρισμού (ΔΕΗ). Σε πολλές περιπτώσεις, προϊόντα σε στρόγγυλη μορφή χρησιμοποιούνται και ως ξυλεία μεταλλείων, πασσάλους, υποστηρίγματα, οικήματα, υπαίθριες κατασκευές, κ.ά.

δ. Συγκολλημένοι δοκοί (επικολητό ξύλο, laminated wood) - Ξυλουργικές κατασκευές: Οι συγκολλημένοι δοκοί αποτελούνται από πριστά τεμάχια ξύλου που προκύπτουν με μηχανική κατεργασία και τα οποία συγκολλούνται, για να παραχθούν δοκοί επιθυμητών διαστάσεων. Το επικολητό ξύλο μπορεί να υποστεί δευτερογενή μηχανική κατεργασία εφόσον υπάρχει τέτοια απαίτηση για την παραγωγή ορισμένων προϊόντων (π.χ. επίπλων, καθισμάτων, κ.ά.). Οι ξυλουργικές κατασκευές περιλαμβάνουν ποικιλία προϊόντων (π.χ. επενδύσεις, κάγκελα μπαλκονιών, κουφώματα, πόρτες, έργα τέχνης, οικήματα, υπαίθριες κατασκευές, σε πριστή μορφή, κ.ά.).

ε. Έπιπλα (furniture). Η επιπλοποιία είναι ένας μεγάλος και δυναμικός κλάδος, όπου χρησιμοποιούνται μεγάλες ποσότητες ξυλείας κάθε χρόνο. Στην κατασκευή επίπλων πέρα από την πρωτογενή μηχανική κατεργασία επικρατεί η εξαντλητική δευτερογενής μηχανική κατεργασία, επειδή μπορούν να αξιοποιηθούν και μικρά τεμάχια ξύλου.

στ. Μοριοπλάκες (μοριοσανίδες, νοβοπάν, particleboards). Οι μοριοπλάκες παράγονται σε μορφή πλάκας με συγκόλληση μικρών τεμαχιδίων ξύλου, τα οποία προκύπτουν με θρυμματισμό του ξύλου.

ζ. Άλλα προϊόντα. Εκτός από τα παραπάνω και σε πολλά άλλα προϊόντα η φυσική δομή του ξύλου διατηρείται, όπως κιβώτια, βαρέλια, σπίρτα, μουσικά όργανα, αθλητικά είδη, ξυλόγλυπτα, αγροτικά εργαλεία, τεχνητά μέλη (ανθρώπων), μαυροπίνακες, ξυλότυποι, μπαστούνια, παιχνίδια, τακούνια, οδοντογλυφίδες, φέρετρα, περιφράξεις, κορνίζες, μολύβια, καλούπια, παλλέτες, συνδετήρες, μοντέλα, σε συγκοινωνιακά μέσα (πλοία, βάρκες, βαγόνια τρένων, αυτοκίνητα, αεροπλάνα), κ.ά.

Ειδικότερα, τα προϊόντα δευτερογενούς μηχανικής κατεργασίας περιλαμβάνουν:

Έπιπλα (furniture) διαφόρων τύπων για την κατασκευή των οποίων χρησιμοποιούνται συμπαγές ξύλο από διαφορετικά δασοπονικά είδη, ξυλόφυλλα, αντικολλητά, επικολητό ξύλο, μοριοπλάκες, ινοπλάκες.

Ξυλουργικές κατασκευές: πόρτες, παράθυρα, κουφώματα, ξύλινα σπίτια, υπαίθριες κατασκευές, παιδικές χαρές, αποθήκες, σχολεία, θερμοκήπια, υπόστεγα, στέγες, οροφές, εξωτερικές ή εσωτερικές επενδύσεις σπιτιών, περιφράξεις εξωστών (κάγκελα μπαλκονιών), κ.ά.

Ξύλινα δάπεδα: υποδομή και ανωδομή.

Κιβώτια, βαρέλια και άλλα «δοχεία» συσκευασίας υγρών ή στερεών υλικών: Τα κιβώτια χρησιμοποιούνται για φρούτα, τρόφιμα, συσκευές, όπλα, πυρομαχικά, κ.ά.

Στρωτήρες σιδηροδρόμων: συνήθως μετά από προστατευτικό εμποτισμό.

Ξυλεία μεταλλείων: σε κυλινδρική ή πρισματική μορφή για υποστήριξη οροφών και πλευρών των στοών των μεταλλείων.

Συγκοινωνιακά μέσα: Σε πλοία, βάρκες, βαγόνια τρένων, αυτοκίνητα, αεροπλάνα, κ.ά. Σε ορισμένες περιπτώσεις το τελικό προϊόν είναι αποκλειστικά από ξύλο (π.χ. ξύλινες βάρκες ή ξύλινα πλοιάρια), ενώ σε άλλες περιπτώσεις ως εσωτερικές ή εξωτερικές επενδύσεις, δάπεδα, έπιπλα, οροφές, χώροι αναψυχής, σκεπές, πόρτες, καθίσματα, κ.ά.

Παλλέτες που χρησιμοποιούνται ευρέως ως βάσεις στοίβασης προϊόντων και εμπορευμάτων (τρόφιμα παντός είδους, λαχανικά, ποτά, αναψυκτικά, οικοδομικά υλικά, κ.ά.).

Σπίρτα, κυρίως από ξύλο λεύκης αλλά και από άλλα δασοπονικά είδη όπως ιτιά, σημύδα, ερυθρελάτη.

Μουσικά όργανα: έγχορδα, πνευστά, κρουστά.

Αθλητικά είδη, όπως τόξα, βέλη, ρακέτες τένις και πινγκ-πονγκ, σκι, κ.λπ.

Ξυλόγλυπτα (carvings).

Ξυλέριο: λωρίδες πάχους 0,03-0,5 χιλ., πλάτους 0,5-4 χιλ. και μήκους τουλάχιστο 80 χιλ. Χρησιμοποιείται κυρίως ως υλικό συσκευασίας και για την κατασκευή δομικών πλακών (πλάκες ξυλερίου-τσιμέντου).

Ξυλάλευρο (wood flour), σε τρία μεγέθη κόκκων με το μικρότερο να έχει διάμετρο 0,25 χιλ. Χρησιμοποιείται ως πρόσθετο υλικό για μείωση του κόστους σε πλαστικά, συνθετικά καλύμματα δαπέδων, μονωτικά τούβλα, πρεσσαριστά αντικείμενα. Επίσης, ως απορροφητικό ελαίων, στην παραγωγή δυναμίτη μαζί με άλλες χημικές ουσίες, στη σαπωνοποιία, ως ήπιο αποξεστικό, για τον καθαρισμό αργυρών αντικειμένων, κλπ.

Άλλα προϊόντα: Περιλαμβάνουν ποικίλα άλλα προϊόντα (Εικόνες 3.3., 3.4.), όπως αγροτικά εργαλεία, τόξα, τεχνητά μέλη ανθρώπων, μαυροπίνακες, ξυλότυποι, συνδετήρες («μανταλάκια»), μπαστούνια, μοντέλα και καλούπια, κουταλάκια παγωτού, μολύβια, επιστημονικά όργανα, τακούνια, έλκηθρα, υδατοδεξαμενές, οδοντογλυφίδες, φέρετρα, παιχνίδια, συνδετήρες, κουτιά τσιγάρων ή πούρων, βούρτσες, περιφράξεις, επίστρωση δαπέδων με εγκάρσιες τομές κορμοτεμαχίων, στροφεία, κορνίζες, εργαλεία σχεδίασης, ικρίωματα, ξύλινα «κεραμίδια» και λεπτές πλάκες εξωτερικής επίστρωσης ξύλινων σπιτιών.



Εικόνα 3.3.: Σπίρτα και ξύλινες παλέτες



Εικόνα 3.4.: Κατασκευή ξύλινου σκάφους

(Πηγή:https://www.fortunegreece.com/wp-content/uploads/2015/07/16/11096693_630925197039623_3603032030853925625_n.jpg)

Όλα τα παραπάνω προϊόντα παράγονται με τις βασικές μηχανικές ή άλλες κατεργασίες (πρίση για παραγωγή πριστής ξυλείας, τομή για παραγωγή ξυλοφύλλων ή τεμαχιδίων, ξήρανση, συγκόλληση, μερικές φορές εμποτισμό και στη συνέχεια με πρόσθετες κατεργασίες (μηχανικές, φυσικές) που περιλαμβάνουν:

- Επανάπριση των πριστών με πριόνια για παραγωγή μικρότερων διαστάσεων πριστών που είναι κατάλληλα για την παραγωγή του συγκεκριμένου προϊόντος.
- Πλάνιση με μηχανικό τρόπο (χειροκίνητες πλάνες ή ειδικά μηχανήματα) για παραγωγή λείων επιφανειών με τις οποίες τονίζεται η σχεδίαση του ξύλου και βελτιώνεται η αισθητική.
- Τόρνευση με ειδικά μηχανήματα για παραγωγή καμπύλων μορφών επιφάνειας. Διακόσμηση επιφανειών με ειδικά μηχανήματα («σβούρες») με τα οποία διαμορφώνονται οι παρυφές επίπλων, κορνιζών ή άλλων προϊόντων ώστε να βελτιωθεί η αισθητική τους.
- Διάτρηση με τρυπάνια.
- Σύνδεση ξύλινων μελών με μεταλλικούς συνδετήρες (συνήθως με καρφιά και βίδες).
- Κάμψη του ξύλου ύστερα από άτμιση ή μεταχείριση του ξύλου με αμμωνία, ουρία, κ.λπ. για να παραχθούν κυρτά ή κοίλα μέλη και να αξιοποιηθούν σε καθίσματα και άλλα προϊόντα.
- Λείανση της εξωτερικής επιφάνειας του ξύλου με ειδικά αποξεστικά μέσα ώστε να μειωθεί η τραχύτητα και να προετοιμασθεί η επιφάνεια για βαφή και στίλβωση με διάφορες βαφές και βερνίκια με σκοπό την προστασία ή/και τη διακόσμηση του ξύλου.

3.3.2. Προϊόντα στα οποία δεν διατηρείται η φυσική δομή του ξύλου

α. Ινοπλάκες (ινοσανίδες). Οι ινοπλάκες παράγονται σε μορφή πλάκας μετά από την εξής διαδικασία: θρυμματισμός ξύλου σε τεμαχίδια - αποϊνώση ξύλου - συγκόλληση ινών (κυττάρων) ξύλου με συγκολλητικές ουσίες, εφαρμογή πίεσης και θερμοκρασίας - κλιματισμός, παρύφωση και άλλες επεξεργασίες.

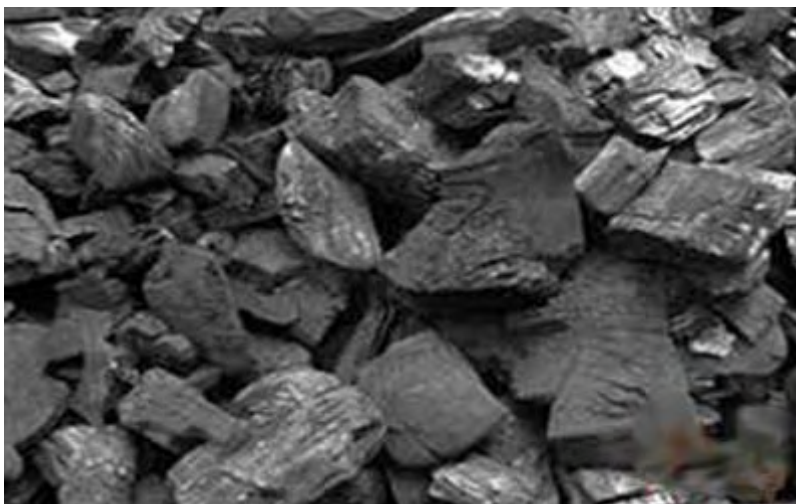
β. Ξυλοπολτός και χαρτί. Η παραγωγή του πολτού και χαρτιού βασίζεται κυρίως στο ξύλο, το οποίο είναι φυσική και ανανεώσιμη πηγή κυτταρίνης (Εικόνα 3.5.). Τα στάδια παραγωγής του είναι με τη σειρά: αποφλοΐωση ξύλου, θρυμματισμός, πολτοποίηση με

μηχανικό, ημιμηχανικό ή χημικό τρόπο, κατεργασία του πολτού (διήθηση, καθαρισμός, συμπύκνωση, λεύκανση, μηχανική κατεργασία ινών, χρωματισμό, προσθήκη διάφορων ουσιών), στρωμάτωση ινών και παραγωγή χαρτιού, τελικές κατεργασίες. Από τα προϊόντα ξύλου, το χαρτί θεωρείται ένα από τα είδη πρώτης ανάγκης.



Εικόνα 3.5.: Διάφορα είδη χαρτιού

γ. Προϊόντα χημικής αξιοποίησης. Εκτός από τον ξυλοπολτό (wood pulp) και το χαρτί, πολλά άλλα προϊόντα μπορούν να παραχθούν από το ξύλο με χημική τροποποίηση ή διαφοροποίηση. Τέτοια προϊόντα είναι: (1) τεχνητές ίνες ("συνθετικό μετάξι", rayon) που παράγονται από διαλύματα παραγώγων κυτταρίνης και χρησιμοποιούνται στην υφαντική, μικροκυτταρίνη και νανοκυτταρίνη, (2) φιλμ, (3) βερνίκια, (4) πλαστικά από διαλύματα κυτταρίνης επίσης, (5) εκρηκτικές ύλες από νιτρική κυτταρίνη, (6) λιγνίνη, η οποία αποτελεί πρώτη ύλη διαφόρων προϊόντων (π.χ. συνθετική βανίλια, φάρμακα, διαλυτικά, συνθετικές ίνες, συνδετικό υλικό στην οδοποιία, κεραμική, παραγωγή ζωοτροφών, παραγωγή ταννινών, παραγωγή συνθετικού καουτσούκ, κ.ά.), (7) ξυλάνθρακες (ξυλοκάρβουνο) με ανθρακοποίηση (Εικόνα 3.6.), (8) διάφορα υγρά και αέρια (π.χ. πίσσα, οξικό οξύ, μεθανόλη, ακετόνη, φαινόλες, κ.ά.) με καταστρεπτική απόσταξη (εφαρμογή υψηλής θερμοκρασίας 400-900 °C σε ειδικούς λέβητες), (9) καύσιμα υγρά και αέρια με υγροποίηση (π.χ. βιοέλαιο ή ξυλέλαιο), (10) αέρια (μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα, μεθάνιο, υδρογόνο, κ.ά.) με αεριοποίηση (εφαρμογή υψηλής θερμοκρασίας 1000 °C ή και περισσότερο και παρουσία οξυγόνου, αέρα ή ατμού), (11) σάκχαρα και άλλα προϊόντα (π.χ. γλυκερίνη, ζύμη, αιθανόλη, φουρφουρόλη, κ.ά.) με υδρόλυση.



Εικόνα 3.6.: Κάρβουνα φτιαγμένα από ξύλο

Το ξύλο είναι ένα θαυμάσιο βιολογικό υλικό και χρησιμεύει για την παραγωγή πολλών προϊόντων από τα οποία ένας αριθμός είναι είδη πρώτης ανάγκης. Παρουσιάζει πλεονεκτήματα που το κάνουν ασυναγώνιστο υλικό αλλά και μειονεκτήματα τα οποία πρέπει και μπορούν κατάλληλα να αντιμετωπισθούν. (Βουλγαρίδης, 2015)

3.4. Αξιοποίηση χρησιμοποιημένου ξύλου

Τα απορρίμματα ξύλου αποτελούν μια πολύτιμη δευτερεύουσα πρώτη ύλη και μπορούν να υποκαταστήσουν αποτελεσματικά τις πρωτογενείς πρώτες ύλες από τα δάση ή τα ορυκτά καύσιμα. Αυτό βέβαια προϋποθέτει κατάλληλα συστήματα διαχείρισης των απορριμμάτων ξύλου, που αξιοποιούν τις ενεργειακές και υλικές ιδιότητες του ανακτημένου ξύλου που υπάρχει σε αυτά και όχι πρακτικές οι οποίες δημιουργούν σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα (υγειονομική ταφή, καύση χωρίς παραγωγή ενέργειας). (Αδαμόπουλος κ.α. 2014)

Σύμφωνα με την Eurostat-Wrap το ξύλο αποτελεί κατά μέσο όρο το 32% των αποβλήτων κατασκευών και κατεδαφίσεων. Αν εξαιρεθεί το ξύλο που επαναχρησιμοποιείται χωρίς περαιτέρω επεξεργασία, η υπόλοιπη ξυλεία διατίθεται σε χωματερές σε ποσοστό 35%, ανακυκλώνεται σε ποσοστό 31% και χρησιμοποιείται για ανάκτηση ενέργειας το 34%.

Η καταλληλότητα των αποβλήτων για ανακύκλωση ξύλου εξαρτάται από το επίπεδο της μόλυνσης. Οι κατηγορίες διακρίνονται σε:

1. Μη επεξεργασμένη ξυλεία
2. Ξυλεία με επίστρωση που δεν περιέχει αλογονούχες οργανικές ενώσεις.
3. Ξυλεία με επίστρωση που περιέχει οργανικές ενώσεις.
4. Ξυλεία επεξεργασμένη με συντηρητικό ξύλου
5. Ξυλεία που περιέχει βλαβερές ουσίες (χαλκό -αρσενικό- χρώμιο κλπ.).

Προκειμένου να προχωρήσει η ανακύκλωση από μείγμα απορριμμάτων από απόβλητα κατασκευών και κατεδαφίσεων που περιέχουν ξύλο, πρέπει να υπάρξει μία προκαταρκτική επεξεργασία αυτών των απορριμμάτων. Αυτή περιλαμβάνει:

- Εφαρμογή τεχνικής δείκτη χρώματος (colour indicator technique) για την ανίχνευση της χημικής μόλυνσης των αποβλήτων ξύλου.
- Διαχωρισμός στο εργοτάξιο επεξεργασμένων ή μη επεξεργασμένων απορριμμάτων ξύλου.
- Χειρονακτική διαλογή για την απομάκρυνση προσμείξεων μετά από ένα, δύο ή τρία στάδια θραύσης.
- Διαχωρισμός των σιδηρούχων (χάλυβας-μαγνητικά μέταλλα) και μη σιδηρούχων μετάλλων (χαλκός-μόλυβδος-φύλλα αλουμινίου) με μαγνήτες ή κυκλώνες.
- Διαχωρισμός των ορυκτών (σκυρόδεμα) με κοσκίνισμα.
- Διαχωρισμός ελαφριών στοιχείων (πλαστικά) μέσα σε ένα ή πολλαπλά στάδια κοσκίνισματος με αέρα.

Τα τελευταία χρόνια, η ανακύκλωση ξύλου γνώρισε βελτιώσεις σε συνδυασμό με την ανάπτυξη εταιρειών που ασχολούνται με τη δραστηριότητα αυτή. (TEE, 2012)

Η ανακύκλωση του ξύλου με σκοπό την επαναχρησιμοποίηση του γίνεται σε ειδικά κέντρα, τα οποία λειτουργούν σύμφωνα με τις προδιαγραφές που θέτει η εγχώρια και η κοινοτική νομοθεσία, έχουν σύγχρονο τεχνολογικό εξοπλισμό και εξειδικευμένο προσωπικό. Αυτές οι εταιρείες παραλαμβάνουν τα ακόλουθα απόβλητα:

- Φθαρμένες παλέτες: παλέτες που έχουν φθαρεί, διαλυθεί ή σπάσει και δεν μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν
- Ξυλοκιβώτια συσκευασιών κάθε είδους

- Υλικά ξυλείας από οικοδομές και κυρίως από κατεδαφίσεις
- Κλαδιά δένδρων από κλαδέματα
- Υπολείμματα από εργαστήρια επίπλων, ξυλουργεία κ.α.
- Σύνθετη βιομηχανική ξυλεία

(<https://www.siakandaris.gr>)

Η ανάκτηση δομικών υλικών από ξυλεία μπορεί να είναι εφικτή μόνο εάν εφαρμοστούν μέθοδοι επιλεκτικής κατεδάφισης. Στις μεθόδους συμβατικής κατεδάφισης το ξύλο καταστρέφεται ή αναμιγνύεται με άλλα υλικά και είναι πολύ δύσκολη έως ανέφικτη η επαναχρησιμοποίηση του. Στις περιπτώσεις επιλεκτικής κατεδάφισης τα ξύλινα πλαίσια ανοιγμάτων, τα έπιπλα και γενικά οι ξύλινες κατασκευές αποθηκεύονται σε καλή κατάσταση και μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν. (<http://2ndchancetables.com.au/>)

Οι περισσότεροι συνήθεις χρήσεις που τα απορρίμματα ξύλου είναι:

- Άλλα προϊόντα ξυλείας, όπως οι ινοσανίδες (Fibreboard) που περιέχουν ίνες ξύλου, γνωστές με την εμπορική ονομασία MDF.
- Η ανακυκλωμένη ξυλεία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διαμόρφωση εξωτερικών χώρων και κήπων, σε επιφάνειες για ιπασία εξωτερικές και εσωτερικές αρένες, και για στρωμένη κτηνοτροφία.
- Ως εδαφοβελτιωτικό μετά από κομποστοποίηση.
- Για ανάκτηση ενέργειας χρησιμοποιώντας και, τα μολυσμένα με επικίνδυνες ουσίες απόβλητα ξύλου.

Τρόποι για την παραγωγή ενέργειας από απόβλητα ξύλου μπορεί να είναι:

- Σε μικρά συστήματα θέρμανσης. (pellets)
- Σε συστήματα θέρμανσης που απαιτούν έγκριση σε εγκαταστάσεις για την αεριοποίηση.
- Στις εγκαταστάσεις για την παραγωγή τσιμέντου και κλίνκερ τσιμέντου.
- Σε αποτεφρωτήρες αστικών αποβλήτων. (TEE, 2012)

3.5. Έρευνα για νέους τρόπους αξιοποίησης του ανακτημένου ξύλου

Έρευνα στο εθνικό αρχείο διδακτορικών διατριβών της χώρας μας, έδειξε ότι τα τελευταία είκοσι χρόνια πραγματοποιήθηκαν τέσσερα διδακτορικά που αφορούσαν θέματα γύρω από την αξιοποίηση του ξύλου ως απόβλητο προϊόν.

Το 2017, ο Παναγιώτου Γεώργιος, στο τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του ΑΠΘ, εκπόνησε διδακτορική διατριβή με θέμα: “Ανακύκλωση Μοριοσανίδων, Ινοσανίδων και Πλαστικών στην Ανάπτυξη και Παραγωγή Καινοτόμων, Φιλικών προς το Περιβάλλον Βιοαποικοδομήσιμων Σύνθετων Υλικών Ξύλου - Πλαστικών”. Σκοπός της διατριβής ήταν α) η ανάπτυξη και συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων καθαρισμού / απομάκρυνσης της κόλλας ουρίας – φορμαλδεΰδης από ανακυκλούμενες μοριοσανίδες και ινοσανίδες, και β) η αξιοποίηση των καθαρισμένων ινών και ξυλοτεμαχιδίων για την ανάπτυξη σύνθετων υλικών ξύλου πλαστικού (wood-plastic composites – WPC) με βιοαποικοδομήσιμη πολυμερική μήτρα αμύλου (MaterBi) και με μήτρα ανακυκλωμένων πολυμερών ευρείας κατανάλωσης πολυαιθυλενίου, πολυπροπυλενίου και πολυστερενίου.

Το 2017, ο Σιδεράς Αδαμάντιος, στο τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του ΑΠΘ, εκπόνησε διδακτορική διατριβή με θέμα: “Μελέτη αξιοποίησης ξύλου μικρών διαστάσεων για παραγωγή προϊόντων ξυλείας εσωτερικών χώρων με συγκόλληση”. Σε αυτή τη διδακτορική διατριβή ερευνήθηκε η δυνατότητα αξιοποίησης με συγκόλληση ξύλου μικρών διαστάσεων οξυάς (*Fagus sylvatica*), σκλήθρου (*Alnus glutinosa*) και δρυός (*Quercus petraea*) από την περιοχή της Δράμας, για την παραγωγή επίπλων και άλλων κατασκευών εσωτερικού χώρου.

Το 2008, ο Λυκίδης Χαράλαμπος μελέτησε τις δυνατότητες ανάκτησης (μέσω υδροθερμικών χειρισμών) υλικών που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή μοριοπλακών και ινοπλακών μέσης πυκνότητας και επανάχρησής τους για την κατασκευή νέων (ανακυκλωμένων) ξυλοπλακών, στο διδακτορικό του με θέμα “Ανακύκλωση πρώτων υλών ξυλοπλακών μετά την ανάκτησή τους από παλιές ξύλινες κατασκευές (έπιπλα) με χρήση υδροθερμικών χειρισμών” που πραγματοποιήθηκε στο τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του ΑΠΘ.

Το 2000, ο Βασίλειος Τάκας, στο τμήμα Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος του ΑΠΘ εκπόνησε τη διδακτορική διατριβή με θέμα: “Αξιοποίηση υπολειμμάτων κατεργασίας ξύλου για παραγωγή ενέργειας: συμβολή στο περιβάλλον”. Σκοπός της παρούσας διδακτορικής διατριβής ήταν να διερευνηθούν οι δυνατότητες αξιοποίησης των υπολειμμάτων κατεργασίας δύο βιομηχανιών, της βιομηχανίας ξύλου ΒΑΛΚΑΝ ΕΞΠΟΡΤ και της επιπλαβιομηχανίας ELDOOR, για την παραγωγή θερμικής ενέργειας μέσα στις επιχειρήσεις.

3.6. Ανακτημένο ξύλο: χρήση στην παραγωγή κεραμικών δομικών προϊόντων

Σύμφωνα με το Ελληνικό αρχείο διδακτορικών διατριβών, μέχρι σήμερα δεν έχει πραγματοποιηθεί κάποια έρευνα που να αφορά την παραγωγή κεραμικών δομικών προϊόντων με ενσωμάτωση ξύλινης πρώτης ύλης. Ωστόσο, στο εξωτερικό έχουν δημοσιευτεί κάποιες πειραματικές εργασίες με αυτή τη θεματολογία. Ενδεικτικά αναφέρονται οι παρακάτω:

Το 2014 οι Gilbert Ganga, Timothee Nsongo, Hilaire Elenga, Bernard Mabiala, Thomas Tamo Tatsiete, Nzonzolo δημοσίευσαν την εργασία με τίτλο “ Επίδραση της ενσωμάτωσης πριονιδιού και τεμαχιδίων ξύλου μαονιού στη μηχανική και ακουστική συμπεριφορά τούβλων από άργιλο” μελετώντας τις μηχανικές και ακουστικές ιδιότητες αυτών των τούβλων.

Το 2013 οι Halima Chemani και Bachir Chemani από την Αλγερία δημοσίευσαν τη εργασία με θέμα: “Αξιοποίηση ξύλου για την παραγωγή αργιλικού πορώδους τούβλου”. Το πριονίδι που ενσωμάτωσαν στην άργιλο ήταν από ξύλο ευκαλύπτου και σύμφωνα με τα συμπεράσματα της εργασίας το ελαφρύ δομικό προϊόν που προέκυψε, με περιεκτικότητα 9% σε ξύλο, είχε πολύ καλές ιδιότητες.

Το 2007 οι Raki Turgut και Murat Algin με δημοσίευσή του άρθρου με τίτλο: “Σκόνη ασβεστόλιθου και πριονίδι ως πρώτες ύλες για την παραγωγή τούβλων” απέδειξαν ότι ένα νέο δομικό προϊόν μπορεί να αξιοποιηθεί στον κατασκευαστικό τομέα.

Στην παρούσα ερευνητική εργασία, πριονίδι από ξύλο και φλοιό υβριδογενούς ελάτης και χαλεπίου πεύκης, θα ενσωματωθεί σε ποσοστό 5% (ξεχωριστά από το καθένα) με χώμα για να μελετηθούν οι μηχανικές ιδιότητες των παραγόμενων τούβλων. Το χώμα προέρχεται από την εταιρεία κεραμοποιίας “ΧΑΛΚΙΣ ΑΒΕΕ”, ενώ τα πριονίδια αποτελούν απόβλητο εταιρείας παραγωγής παλετών που εδρεύει στον Αμπελώνα Λάρισας. Η χρήση αποβλήτων ξύλου στην παραγωγή κεραμικών δομικών προϊόντων, συντελεί στη μείωση των απορριμμάτων, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη του μοντέλου της κυκλικής οικονομίας.

4. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ

4.1. Πρώτες Ύλες

Για την παρασκευή των κεραμικών δοκιμίων χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες πρώτες ύλες:

1. Πηλώδες χώμα από την εταιρεία ΧΑΛΚΙΣ ΑΒΕΕ (Εικόνα 4.1)



Εικόνα 4.1.: Χώμα της εταιρείας ΧΑΛΚΙΣ ΑΒΕΕ

2. Ξύλο και φλοιός υβριδογενούς ελάτης (*Abies borisii-regis*) ελληνικής προέλευσης, σε μορφή λεπτόκοκκου πριονιδιού, το οποίο αποτελεί υπόλειμμα μηχανικής κατεργασίας πιστής ξυλείας. (Εικόνα 4.2)



Εικόνα 4.2.: Ξύλο υβριδογενούς ελάτης σε μικρά τεμαχίδια

3. Ξύλο και φλοιός χαλεπίου πεύκης (*Pinus halepensis*) ελληνικής προέλευσης, σε μορφή λεπτόκοκκου πριονιδιού, το οποίο αποτελεί υπόλειμμα μηχανικής κατεργασίας πριστής ξυλείας. (Εικόνα 4.3)



Εικόνα 4.3.: Ξύλο χαλεπίου πεύκης σε μικρά τεμαχίδια

4. Νερό βρύσης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Με τις προαναφερθείσες πρώτες ύλες παρασκευάστηκαν 3 σειρές κεραμικών δοκιμίων, η σύσταση των οποίων είναι η ακόλουθη:

- α. Πρότυπα κεραμικά δοκίμια, τα οποία παρασκευάστηκαν αποκλειστικά με χώμα και νερό σε κατά βάρος αναλογία 9:1.
- β. Κεραμικά δοκίμια ελάτης, με αναλογία κατά βάρος, χώματος : πριονιδιού ελάτης : νερού ίση με 9,5 : 0,5 : 1,3 και
- γ. Κεραμικά δοκίμια πεύκης, με αναλογία κατά βάρος, χώματος : πριονιδιού πεύκης : νερού ίση με 9,5 : 0,5 : 1,3.

4.2. Συσκευές Εργαστηρίου για παραγωγή κεραμικών δοκιμίων

Για την παρασκευή των κεραμικών δοκιμίων χρησιμοποιήθηκαν συσκευές του εργαστηρίου “Χημικής Τεχνολογίας, Επιστήμης και Μηχανικής Συμπεριφοράς Υλικών” του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Στη συνέχεια περιγράφεται ο τρόπος λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά αυτών των συσκευών.

Αναμικτήρας ή συσκευή άλεσης

Ο αναμικτήρας ή συσκευή άλεσης (Εικόνα 4.4) ομογενοποιεί το μίγμα των πρώτων υλών. Αποτελείται από έναν κυλινδρικό μεταλλικό κάδο με στρόγγυλες οπές περιμετρικά, πριν τον πυθμένα και ένα ηλεκτρικό μοτέρ με κάθετο άξονα, στο κέντρο του κάδου, ο οποίος καταλήγει σε δύο ελικοειδείς ξύστρες. Οι ξύστρες αυτές εφάπτονται στον κάδο και με την περιστροφή τους επιτυγχάνεται η ομοιόμορφη μίξη των υλικών καθώς και η θραύση των συσσωματωμάτων (άνω των 3mm) του χώματος.



Εικόνα 4.4.: Αναμικτήρας ή συσκευή άλεσης

Θραυστήρας

Ο θραυστήρας (Εικόνα 4.5) αποτελείται από δύο ανεξάρτητα μοτέρ, τα οποία μέσω ιμάντων, δίνουν κίνηση σε δυο κυλίνδρους μέσω των οποίων περνάει το υλικό. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται διάμετρος σε όλους τους κόκκους του υλικού έως 1mm.



Εικόνα 4.5.: Θραυστήρας

Συσκευή εξώθησης

Η συσκευή εξώθησης (Εικόνα 4.6) αποτελείται από δύο μοτέρ, τα οποία δίνουν κίνηση σε δύο κοχλίες. Οι κοχλίες βρίσκονται σε διαφορετικό επίπεδο εντός της συσκευής. Ο πρώτος βρίσκεται στην αρχή, εκεί όπου εισάγεται το υλικό, με αποτέλεσμα την πλήρη αναμόχλευση του. Ο δεύτερος βρίσκεται σε συνθήκες υποπίεσης έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή συμπίεση του υλικού, πριν τον πλήρη σχηματισμό του, κατά την έξοδο του από την συσκευή. Ακριβώς πριν την έξοδο του υλικού, προσαρμόζεται στη συσκευή, ειδική μήτρα για τη μορφοποίηση του υλικού. Τέλος, το εξερχόμενο προϊόν, καθώς κινείται πάνω σε κυλινδρικά ράουλα, τεμαχίζεται κατά μήκος με το ειδικό εξάρτημα κοπής που αποτελείται από τρία λεπτά μεταλλικά σύρματα.



Εικόνα 4.6.: Συσκευή εξώθησης

Ξηραντήριο

Το ξηραντήριο (Εικόνα 4.7) χρησιμοποιεί την κυκλοφορία ατμοσφαιρικού αέρα για τη διάχυση της θερμότητας στα υλικά που βρίσκονται εντός του θαλάμου. Η μέγιστη θερμοκρασία είναι 200 °C, με τη δυνατότητα, αυτή να διατηρείται σε σταθερό επιθυμητό επίπεδο ανάλογα με τις ανάγκες του πειράματος.



Εικόνα 4.7.: Ξηραντήριο

Φούρνος όπτησης

Ο φούρνος όπτησης (Εικόνα 4.8) αποτελείται από διπλό περίβλημα γαλβανισμένης λαμαρίνας. Εσωτερικά είναι επενδεδυμένος με ελαφρύ πυρίμαχο τούβλο για ομοιόμορφη διάδοση της θερμότητας, καθώς επίσης και για την αποφυγή διαρροής υψηλών θερμοκρασιών στην εξωτερική του επιφάνεια. Ο φούρνος όπτησης συνδέεται με πίνακα ελέγχου μέσω του οποίου προγραμματίζεται η θερμοκρασία λειτουργίας του φούρνου, η οποία δύναται να φτάσει τους 1350°C, ενώ ακόμη ρυθμίζονται ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας, και ο χρόνος παραμονής σε σταθερή θερμοκρασία. Τέλος, ο φούρνος είναι συνδεδεμένος με ψηφιακό μετρητή καταγραφής της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος σε KWh.



Εικόνα 4.8.: Φούρνος όπτησης (εξωτερική και εσωτερική όψη)

4.3. Παραγωγή κεραμικών δοκιμίων

4.3.1. Προεργασία

Με τη βοήθεια των συσκευών που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 4.2. πραγματοποιήθηκε η παραγωγή των κεραμικών δοκιμίων, όπως αναλυτικά αναφέρεται στη συνέχεια.

Αρχικά σε τρεις μεγάλους πλαστικούς κάδους δημιουργήθηκαν τα μίγματα των στερεών υλικών, τα οποία αποτέλεσαν τη "βάση" για κάθε μία, από τις τρεις σειρές των κεραμικών δοκιμίων. Στον κάδο Α τοποθετήθηκε μόνο χώμα, από το οποίο

δημιουργήθηκαν τα πρότυπα κεραμικά δοκίμια. Στον κάδο Β τοποθετήθηκαν 9.500gr χώμα και 500gr πριονίδι υβριδογενούς ελάτης (Εικόνα 4.9), στα οποία πραγματοποιήθηκε χειρονακτική ανάδευση. Στον κάδο Γ τοποθετήθηκαν 9.500gr χώμα και 500gr πριονίδι χαλεπίου πεύκης (Εικόνα 4.10), στα οποία επίσης έγινε χειρονακτική ανάδευση.



Εικόνα 4.9. Μίγμα χώματος - υβριδογενούς ελάτης



Εικόνα 4.10. Μίγμα χώματος - χαλεπίου πεύκης

Η παραγωγική διαδικασία των κεραμικών δοκιμίων από κάθε μίγμα (Α: χώμα, Β: χώμα με ξύλο ελάτης και Γ: χώμα με ξύλο πεύκης) ήταν ανεξάρτητη και πραγματοποιήθηκε διαφορετικές ημέρες.

4.3.2. Παραγωγική διαδικασία κεραμικών δοκιμίων

Αρχικά το στερεό υλικό τοποθετείται στον αναμκτήρα και μετά την άλεσή του, σταδιακά προστίθεται το νερό (Εικόνα 4.11).



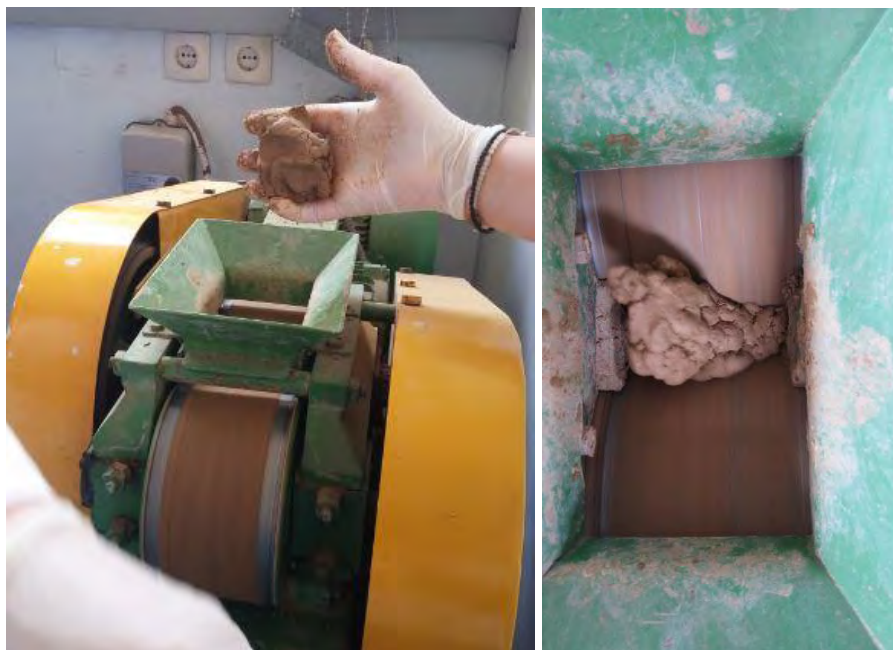
Εικόνα 4.11.: Άλεση υλικού και προσθήκη νερού στον αναμικτήρα

Το μίγμα εξέρχεται από τις σπές του αναμικτήρα (Εικόνα 4.12) και συλλέγεται σε πλαστικό δοχείο. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται τέσσερις με έξι φορές, έως ότου από το αρχικό μίγμα προκύψει μία πλαστική μάζα.



Εικόνα 4.12.: Εξερχόμενο υλικό από τις σπές του αναμικτήρα

Το υλικό αυτό, με συμπεριφορά πλαστικής μάζας, μεταφέρεται στον θραυστήρα (Εικόνα 4.8), τη συσκευή όπου επιτυγχάνει τη μείωση του μεγέθους των κόκκων του υλικού <math><1\text{mm}</math>.



Εικόνα 4.13.: Επεξεργασία υλικού στον θραυστήρα

Μετά τον θραυστήρα, το λεπτόκοκκο αυτό υλικό (Εικόνα 4.14) οδηγείται στη



Εικόνα 4.14.: Υλικό μετά τον θραυστήρα

συσκευή εξώθησης, όπου με την προσαρμογή κατάλληλης μήτρας παράγονται τα κεραμικά δοκίμια (Εικόνα 4.15) στις επιθυμητές διαστάσεις. Για το συγκεκριμένο πείραμα οι διαστάσεις των δοκιμίων είναι περίπου 23cm x 47cm x 74cm (ύψος x πλάτος x μήκος). Για τις ανάγκες του πειράματος ορισμένα δοκίμια κάθε σειράς κόβονται, με ειδικό καλούπι, σε στρόγγυλο σχήμα, διαμέτρου περίπου 5cm και πάχους περίπου 2,3cm.



Εικόνα 4.15.: Παραγωγή δοκιμίων στη συσκευή εξώθησης

Τα κεραμικά δοκίμια αφήνονται στον πάγκο του εργαστηρίου (Εικόνα 4.16) για φυσική ξήρανση σε θερμοκρασία περιβάλλοντος για περίπου 48 ώρες.



Εικόνα 4.16.: Δοκίμια για φυσική ξήρανση

Ακολουθεί η τοποθέτηση των δοκιμίων στο ξηραντήριο (Εικόνα 4.17) για 24 ώρες στους 110 °C - 120°C. Μετά το πέρας των 24 ωρών διακόπτεται η λειτουργία του ξηραντηρίου, ανοίγεται ελάχιστα η πόρτα και τα δοκίμια παραμένουν στο εσωτερικό του, έως ότου αποκτήσουν θερμοκρασία περιβάλλοντος.



Εικόνα 4.17.: Δοκίμια στο ξηραντήριο

Στη συνέχεια, τα δοκίμια βγαίνουν από το ξηραντήριο και τοποθετούνται στον πάγκο του εργαστηρίου, όπου πραγματοποιείται η μέτρηση και καταγραφή των διαστάσεών τους με τη βοήθεια ηλεκτρονικού παχυμέτρου (Εικόνα 4.18) ακρίβειας 0,001mm. Στη συνέχεια, με ζυγό ακριβείας 0,01gr (Εικόνα 4.19) λαμβάνεται το βάρος τους.



Εικόνα 4.18.: Μέτρηση με παχύμετρο



Εικόνα 4.19.: Ζύγιση δοκιμίου

Επόμενο στάδιο αποτελεί η όπτηση των κεραμικών δοκιμίων στον ειδικό φούρνο (Εικόνα 4.20). Κάθε σειρά κεραμικών δοκιμίων (πρότυπα - ελάτης - πεύκης) που παρήχθησαν αριθμεί 34 ορθογώνια και 6 στρόγγυλα δοκίμια. Ο αριθμός αυτός

χωρίζεται στη μέση, έτσι ώστε από κάθε παρτίδα τα 17 ορθογώνια και τα 3 στρόγγυλα δοκίμια να ψηθούν στους 950 °C και τα υπόλοιπα στους 1050 °C.



Εικόνα 4.20.: Κεραμικά δοκίμια στον φούρνο όπτησης

Η όπτηση των κεραμικών δοκιμίων στην επιθυμητή θερμοκρασία $T_{\text{sintering}}$ (950°C ή 1050°C) πραγματοποιείται με την εφαρμογή ενός πλήρως ελεγχόμενου προγράμματος, από κατάλληλο λογισμικό, που περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- α. Θέρμανση από θερμοκρασία περιβάλλοντος έως 700°C σε 420 λεπτά.
- β. Θέρμανση από 700°C μέχρι την επιλεγμένη, κάθε φορά, μέγιστη θερμοκρασία όπτησης $T_{\text{sintering}}$ (950°C ή 1050°C) με τάχιστο ρυθμό.
- γ. Παραμονή στη θερμοκρασία όπτησης $T_{\text{sintering}}$ για 180 λεπτά.
- δ. Σταδιακή ομαλή ψύξη των δοκιμίων, μέσα στο φούρνο, έως τη θερμοκρασία δωματίου.

Μετά την έξοδο των δοκιμίων από τον φούρνο όπτησης, και ενώ έχουν αποκτήσει ήδη τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, πραγματοποιείται εκ νέου μέτρηση και καταγραφή των διαστάσεων και του βάρους τους.

4.4. Συσκευές εργαστηρίου ελέγχου ιδιοτήτων των κεραμικών δοκιμίων

Για τον έλεγχο των ιδιοτήτων των κεραμικών δοκιμίων, η παρασκευή των οποίων παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθες συσκευές και όργανα του εργαστηρίου “Χημικής Τεχνολογίας, Επιστήμης και Μηχανικής Συμπεριφοράς Υλικών” του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Συσκευή θερμικής αγωγιμότητας

Η συσκευή θερμικής αγωγιμότητας (Εικόνα 4.21) αποτελείται από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή, που περιέχει το λογισμικό μέτρησης και λειτουργίας της συσκευής, τη συσκευή ψύξης του ύδατος (Εικόνα 4.22α), δύο φιάλες (Εικόνα 4.22β) οι οποίες περιέχουν αέρα υπό πίεση για την λειτουργία των εμβόλων, και αέριο ώστε να δημιουργείται πίεση στο θάλαμο για την επίτευξη υψηλών θερμοκρασιών. Για την ομοιόμορφη διάχυση της θερμότητας, μέσα από το δοκίμιο, απαιτείται επικάλυψη αυτού με θερμοαγώγιμη σιλικόνη. (Η μέτρηση της θερμικής αγωγιμότητας γίνεται κατά ASTM E1530).



Εικόνα 4.21.: Συσκευή θερμικής αγωγιμότητας



Εικόνα 4.22α: Συσκευή ψύξης **Εικόνα 4.22β:** Φιάλες με αέρα υπό πίεση

Συσκευή κάμψης 3 σημείων (MOR)

Η ηλεκτρική συσκευή για τον έλεγχο κάμψης 3 σημείων (Εικόνα 4.23) αποτελείται από δύο μέρη, το σταθερό και το κινούμενο. Στο επάνω μέρος (κινούμενο) είναι στερεωμένα δύο άγκιστρα τα οποία δημιουργούν τις στηρίξεις, ενώ στο κάτω μέρος (σταθερό) τοποθετείται το δοκίμιο. Με την κίνηση του εμβόλου υπάρχει εφαρμογή αυξανόμενης φόρτισης στα 3 αυτά σημεία. Τέλος, η συσκευή περιλαμβάνει μια βαθμονομημένη οδοντωτή κλίμακα από 0-10 kN με ηλεκτρικά κινούμενο δείκτη, στην οποία καταγράφεται το φορτίο αστοχίας κάθε δοκιμίου.



Εικόνα 4.23.: Συσκευή για τον έλεγχο κάμψης 3 σημείων

Μικροσυσκευές και όργανα

Το εργαστήριο είναι επίσης εξοπλισμένο με διάφορες μικροσυσκευές και όργανα (Εικόνα 4.24) τα οποία χρησιμοποιήθηκαν επικουρικά.

Ζυγοί ακριβείας ηλεκτρονικοί μέγιστου βάρους 4 και 30 κιλών.

Παχύμετρο ηλεκτρονικό ακριβείας 0,001mm και ικανότητας μέτρησης από 0-150mm.

Δοχεία νερού γυάλινα, ορθογωνικά και κυκλικά.

Πυρίμαχα σκεύη με καπάκι.

Φιάλες υγραερίου με προσαρμοσμένα στόμια για φλόγα.



Εικόνα 4.24. Διάφορες μικροσυσκευές και όργανα

4.5. Μελέτη των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των κεραμικών δοκιμίων.

Για κάθε σειρά κεραμικών δοκιμίων που παρήχθησαν (πρότυπα, με προσθήκη ξύλου ελάτης, με προσθήκη ξύλου πεύκης) μελετήθηκαν οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες τους, έτσι ώστε να είναι δυνατή η μεταξύ τους σύγκριση. Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατός ο προσδιορισμός της επίδρασης της προσθήκης των συγκεκριμένων υπολειμμάτων ξύλου στα κεραμικά δοκίμια. Στη συνέχεια περιγράφονται αναλυτικά οι ιδιότητες που μελετήθηκαν.

4.5.1. Βάρος - διαστάσεις δοκιμίων

Εξετάζεται η επίδραση της θερμοκρασίας όπτησης στο τελικό βάρος των δοκιμίων, σε σχέση με το αρχικό (βάρος μετά τον ξηραντήρα). Επίσης, μελετάται η διαφορά που παρουσιάζεται στο βάρος μετά την όπτηση, μεταξύ των κεραμικών δοκιμίων που περιέχουν ποσότητα ξύλου και των προτύπων. Για να πραγματοποιηθούν οι προαναφερθείσες συγκρίσεις όλα τα, υπό μελέτη, κεραμικά δοκίμια ζυγίστηκαν πριν και μετά την όπτηση και υπολογίστηκε η μεταβολή του βάρους τους. Επιπλέον, ταυτόχρονα με το βάρος μετρήθηκαν και οι διαστάσεις των δοκιμίων.

4.5.2. Μακροσκοπικά χαρακτηριστικά δοκιμίων

Με την όπτηση μεταβάλλονται, εκτός από τις διαστάσεις και το βάρος των δοκιμίων, και τα μακροσκοπικά χαρακτηριστικά αυτών, όπως το χρώμα και η υφή. Για το λόγο αυτό, μικρός αριθμός δοκιμίων μετά τον ξηραντήρα δεν τοποθετείται στον φούρνο όπτησης, ώστε να είναι δυνατή η μακροσκοπική σύγκριση.

4.5.3. Πορώδες - Ανοιχτό πορώδες - Υδατοαπορροφητικότητα

Το πορώδες (Porosity - P) ενός υλικού είναι ο λόγος του όγκου του συνόλου των πόρων του προς το συνολικό όγκο.

Το ανοιχτό πορώδες (Open Porosity-O.P.) περιλαμβάνει τους πόρους οι οποίοι συνδέονται με την επιφάνεια του υλικού. Είναι δηλαδή, ο όγκος των ανοικτών πόρων του δοκιμίου, ως ποσοστό % του φαινόμενου όγκου του. Το ανοιχτό πορώδες είναι αυτό που επιτρέπει τη διέλευση ενός υγρού και προσδιορίζεται με διάφορες τεχνικές, οι

οποίες βασίζονται στην πλήρωση των πόρων με υγρά όπως νερό, υδράργυρος κ.ά. Μία εκτίμηση του ανοικτού πορώδους μπορεί να γίνει μετρώντας την υδατοαπορροφητικότητα του δείγματος, δηλαδή, το βάρος του νερού που απορροφάται στην επιφάνεια του δείγματος.

Το πορώδες συσχετίζεται με την υδατοαπορροφητικότητα σε βραστό νερό (WA BOILED), ενώ το ανοιχτό πορώδες συσχετίζεται με την υδατοαπορροφητικότητα σε κρύο νερό (WA COLD).

Η υδατοαπορροφητικότητα (W.A) είναι η μάζα του νερού που συγκρατεί το κορεσμένο δοκίμιο, ως ποσοστό % της ξηρής μάζας του και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$W.A (\%) = \frac{W_{wet} - W_{dry}}{W_{dry}} \times 100 \quad (\text{τύπος 4.1.})$$

όπου : W_{wet} = το βάρος του κορεσμένου σε νερό κεραμικού δοκιμίου (gr)

W_{dry} = το βάρος του ξηρού κεραμικού δοκιμίου (gr)

Στο πείραμα, τα κεραμικά δοκίμια εμβαπτίζονται για 24 ώρες σε αποσταγμένο νερό (Εικόνα 4.25), θερμοκρασίας περιβάλλοντος και από τη μεταβολή του βάρους τους, υπολογίζεται το προσροφηθέν νερό. Στη συνέχεια, τα δοκίμια τοποθετούνται σε πυρίμαχα σκεύη και οδηγούνται με αποσταγμένο νερό, σε βρασμό για πέντε ώρες (Εικόνα 4.26). Μετά το πέρας των πέντε ωρών, σκουπίζονται και μετράται γρήγορα το βάρος τους, πριν χάσουν υγρασία.



Εικόνα 4.25.: Εμβαπτιση σε αποσταγμένο νερό



Εικόνα 4.26.: Βρασμός δοκιμίων

Με τη βοήθεια του τύπου 4.1 υπολογίζεται η υδατοαπορροφητικότητα των δοκιμίων, ενώ στη συνέχεια υπολογίζεται το ανοιχτό πορώδες και το πορώδες αντίστοιχα.

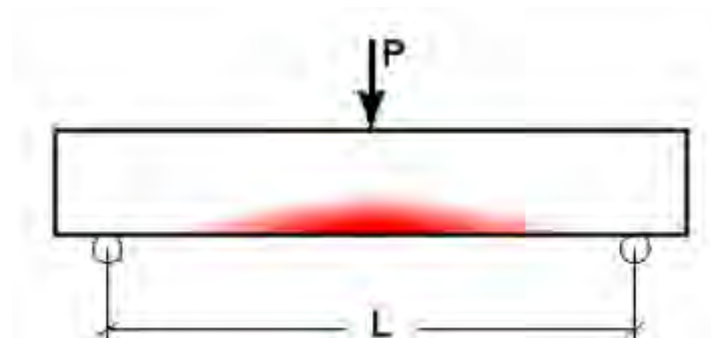
4.5.4. Αντοχή στην κάμψη

Αντοχή σε κάμψη ορίζεται ως η μέγιστη εφελκυστική τάση που υπολογίζεται σε δοκίμιο υπό κάμψη, υποθέτοντας γραμμική κατανομή των τάσεων καθ' ύψος της διατομής, κατά τη στιγμή της θραύσης του δοκιμίου. Χαρακτηριστικό στην κάμψη είναι ότι ο αρχικά ευθύγραμμος π.χ. άξονας του φορέα παίρνει καμπύλη μορφή με αποτέλεσμα να εμφανίζεται ταυτόχρονα εφελκυσμός και θλίψη στις κατώτερες και ανώτερες αντίστοιχα ίνες του φορέα. Υπάρχουν δύο δομικές κάμψης υλικών α) η δοκιμή κάμψης τριών σημείων (Εικόνα 4.27) και β) η δοκιμή κάμψης τεσσάρων σημείων.

Κατά τη διάρκεια της κάμψης λαμβάνουν χώρα τα εξής:

- Στη φορτιζόμενη (άνω) περιοχή του δοκιμίου αναπτύσσεται θλιπτική εντατική κατάσταση (βράχυνση μήκους, μέγιστη στην ακρότατη ίνα και βαθμιαία αυξανόμενη προς το εσωτερικό του δοκιμίου).
- Στην αφόρτιστη (κάτω) περιοχή του δοκιμίου αναπτύσσεται εφελκυστική εντατική κατάσταση (επιμήκυνση, μέγιστη στην ακρότατη ίνα και βαθμιαία μειούμενη προς το εσωτερικό του δοκιμίου).
- Στον διαμήκη ουδέτερο άξονα του δοκιμίου (διάμηκες επίπεδο συμμετρίας) δεν παρατηρείται μεταβολή (επιμήκυνση ή βράχυνση) μήκους.

Η πιο επικίνδυνη περιοχή ως προς την πιθανότητα αστοχίας (θραύση) του υλικού είναι η εφελκυστική περιοχή.



Εικόνα 4.27.: Κάμψη τριών σημείων

Η κάμψη είναι ευρύτατα δημοφιλής ως μηχανική δοκιμή αφού:

- Η γεωμετρία του δοκιμίου είναι η απλούστερη δυνατή,
- Η διάταξη της δοκιμής είναι εύκολα υλοποιήσιμη (ειδικά για κάμψη τριών σημείων)

Η διαδικασία υπολογισμού της αντοχής σε κάμψη, στο εργαστήριο, ακολουθεί τα εξής βήματα: Αρχικά, με το εργαστηριακό παχύμετρο, μετρώνται οι διαστάσεις δώδεκα κεραμικών δοκιμίων (ύψος και πλάτος σε mm) κάθε σειράς, έξι δοκίμια για κάθε θερμοκρασία όπτησης (950°C ή 1050°C). Στη συνέχεια τα δοκίμια, ένα - ένα, τοποθετούνται στη συσκευή μέτρησης της αντοχής σε κάμψη 3 σημείων του εργαστηρίου (Εικόνα 4.28) .



Εικόνα 4.28.: Δοκίμια στη συσκευή για μέτρηση της αντοχής σε κάμψη

Μετά την αστοχία του δοκιμίου καταγράφεται το φορτίο αστοχίας όπως αυτό φαίνεται στη συσκευή (σε kN) (Εικόνα 4.29).



Εικόνα 4.29.: Ένδειξη φορτίου αστοχίας (σε kN) κεραμικού δοκιμίου

Η αντοχή στην κάμψη (Modulus Of Rapture, MOR) τριών σημείων των κεραμικών δοκιμίων υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$MOR = \frac{3PL}{2BW^2} \text{ (MPa)}$$

όπου : P= εφαρμοζόμενη δύναμη (N)

L= πλάτος ανοίγματος (36 mm)

B=πλάτος δοκιμίου (mm)

W = πάχος δοκιμίου (mm)

1Pa=1N/m²

Τέλος, υπολογίζεται ο μέσος όρος της αντοχής σε κάμψη, από τα έξι κεραμικά δοκίμια κάθε παρτίδας και θερμοκρασίας όπτησης.

4.5.5. Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

Θερμική αγωγιμότητα είναι η ιδιότητα ενός υλικού να επιτρέπει τη διάδοση της θερμότητας μέσα από τη μάζα του.

Ο Συντελεστής Θερμικής Αγωγιμότητας εκφράζει το ποσό της θερμότητας που περνά από τη μάζα ενός υλικού επιφανείας 1m² και πάχους 1m στη μονάδα του χρόνου, όταν η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο επιφανειών του σώματος είναι 1°C.

Όσο μικρότερος είναι ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας ενός δομικού υλικού, τόσο καλύτερες είναι οι θερμομονωτικές του ιδιότητες.

Οι μονάδες μέτρησης του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας είναι σε kcal/hm^oC ή σε W/m K.

Η μετατροπή των μονάδων έχει ως εξής: 1 kcal/h m ^oC = 1,16 W/m K

Ο συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας εξαρτάται από:

- Το είδος του υλικού
- Το πορώδες του
- Το είδος και το μέγεθος των πόρων του
- Την υγρασία και
- Τη θερμοκρασία του υλικού

Ο υπολογισμός του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, των κεραμικών δοκιμίων του πειράματος πραγματοποιήθηκε με τη συσκευή θερμικής αγωγιμότητας του εργαστηρίου. Σε κάθε στρόγγυλο κεραμικό δοκίμιο καλύφθηκαν οι επίπεδες επιφάνειες του με την ειδική θερμοαγώγιμη σιλικόνη (Εικόνα 4.30), ώστε η διάχυση της θερμότητας να γίνεται ομοιόμορφα μέσα από το δοκίμιο. Στη συνέχεια αυτό τοποθετήθηκε στην ειδική θέση της συσκευής. Μετά τη ρύθμιση της συσκευής ψύξης στους 6^oC και τη ρύθμιση της πίεσης του αέρα στις φιάλες, συμπληρώθηκαν τα χαρακτηριστικά του δοκιμίου στο λογισμικό του υπολογιστή. Έπειτα από την πάροδο περίπου 45 λεπτών λειτουργίας του προγράμματος αναγραφόταν στην οθόνη του υπολογιστή η τιμή του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας



Εικόνα 4.30.: Δοκίμιο με θερμοαγώγιμη σιλικόνη

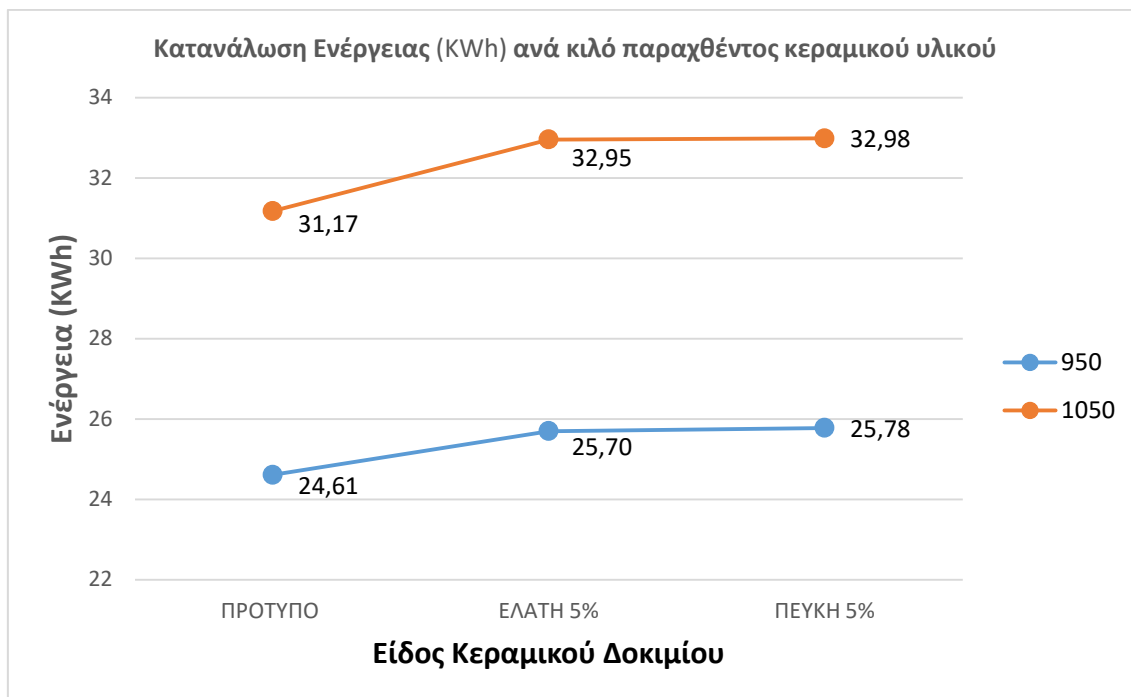
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1. Κατανάλωση ενέργειας κατά την όπτηση

Κατά την όπτηση κάθε σειράς κεραμικών δοκιμίων σε θερμοκρασία 950°C ή 1050°C μετρήθηκε η κατανάλωση ενέργειας, με τον ψηφιακό μετρητή καταγραφής της κατανάλωσης ηλεκτρικού ρεύματος, σε KWh. Η καταγραφή της κατανάλωσης ενέργειας, καθώς και η αναγωγή αυτής ανά κιλό κεραμικής ύλης πριν την όπτηση, παρουσιάζονται στον πίνακα 1 του παραρτήματος.

Στον πίνακα αυτό φαίνεται η κατανάλωση ενέργειας κατά την όπτηση των κεραμικών δοκιμίων σε θερμοκρασίες 950°C και 1050°C. Στην τελευταία στήλη του πίνακα γίνεται αναγωγή της κατανάλωσης ενέργειας (KWh), που απαιτείται για την όπτηση ενός κιλού κεραμικού υλικού (πρότυπο, με προσθήκη ελάτης, με προσθήκη πεύκης) ζυγισμένο μετά την τοποθέτησή του στον ξηραντήρα για 24ώρες στους 120 °C περίπου.

Από το σχήμα 5.1. που ακολουθεί, διαπιστώνεται αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας με την αύξηση της θερμοκρασίας όπτησης, σε όλες τις σειρές δοκιμίων. Επίσης παρατηρείται ότι, για την όπτηση των δοκιμίων που περιέχουν ποσότητα ξύλου, απαιτείται μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας, σε σχέση με τα πρότυπα δοκίμια και για τις δύο θερμοκρασίες όπτησης 950°C και 1050°C. Τέλος, οι τιμές της καταναλωμένης ενέργειας για την όπτηση των κεραμικών δοκιμίων με περιεκτικότητα ξύλου ελάτης είναι περίπου ίσες με τις αντίστοιχες που απαιτούνται για την όπτηση των κεραμικών δοκιμίων με περιεκτικότητα ξύλου πεύκης, τόσο στους 950°C όσο και στους 1050°C.



Σχήμα 5.1.: Κατανάλωση ενέργειας ανά κιλό κεραμικού υλικού

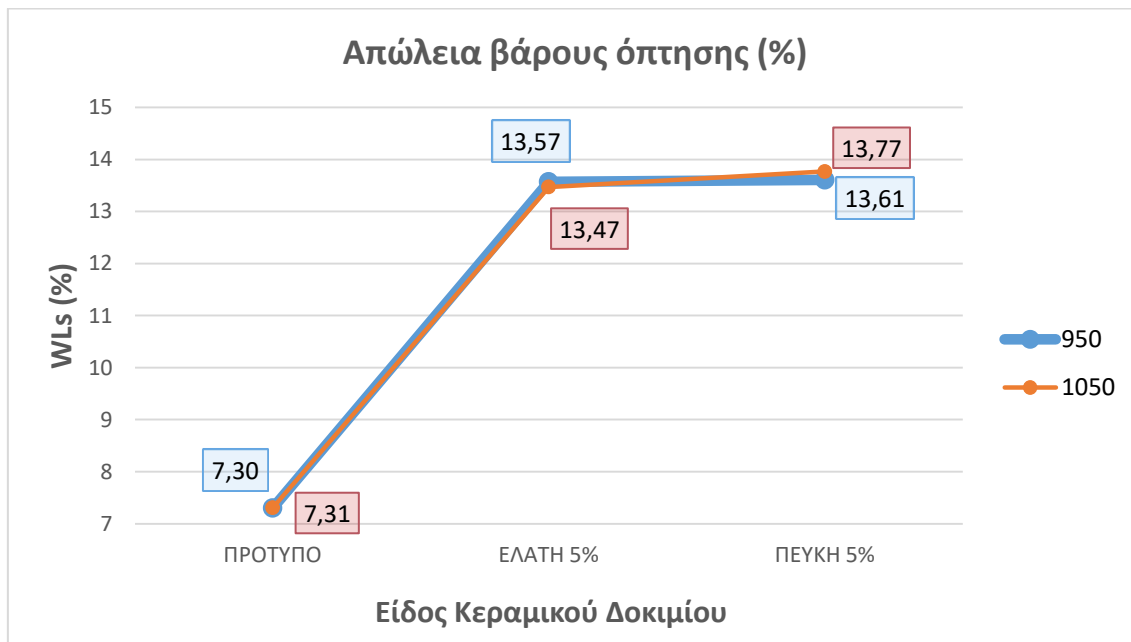
5.2. Απώλεια βάρους και μεταβολή όγκου των δοκιμίων

Οι διαστάσεις και το βάρος, κάθε κεραμικού δοκιμίου μετρήθηκαν πριν και μετά την όπτηση στους 950°C ή 1050°C. Από τις μετρήσεις αυτές προέκυψαν η μεταβολή του βάρους και του όγκου τους. Στους πίνακες 2 έως 7 του παραρτήματος παρουσιάζεται η καταγραφή των μετρήσεων και του υπολογισμού της μεταβολής του βάρους και του όγκου.

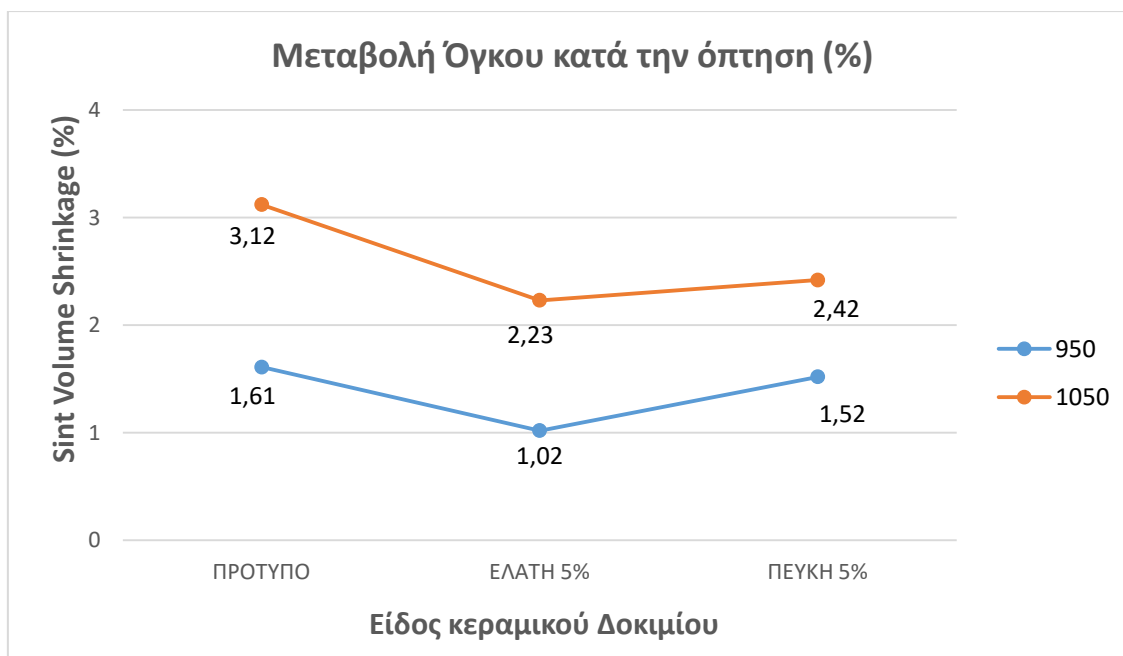
Στα σχήματα 5.2. και 5.3. στη συνέχεια, παρουσιάζονται η απώλεια βάρους και η μεταβολή όγκου των κεραμικών δοκιμίων μετά την όπτηση στους 950 °C ή 1050°C.

Από το σχήμα 5.2. είναι εμφανές ότι, το ποσοστό απώλειας βάρους των κεραμικών δοκιμίων είναι το ίδιο και για τις δύο θερμοκρασίες όπτησης 950°C και 1050°C. Επομένως, η αύξηση της θερμοκρασίας όπτησης από τους 950°C στους 1050°C δεν επηρεάζει το βάρος των οπτόπλινθων. Συγκρίνοντας τώρα την απώλεια βάρους των τριών ειδών κεραμικών δοκιμίων κατά την όπτηση, παρατηρείται ότι, η απώλεια βάρους μεταξύ των δοκιμίων που περιέχουν ελάτη και πεύκη διαφέρει ελάχιστα, ενώ σε σχέση με τα πρότυπα δοκίμια, οι οπτόπλινθοι ελάτης και πεύκης έχουν περίπου 6%

μεγαλύτερη απώλεια βάρους. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην καύση του περιεχόμενου ξύλου των κεραμικών δοκιμίων.



Σχήμα 5.2.: Απώλεια βάρους των κεραμικών δοκιμίων κατά την όπτηση.



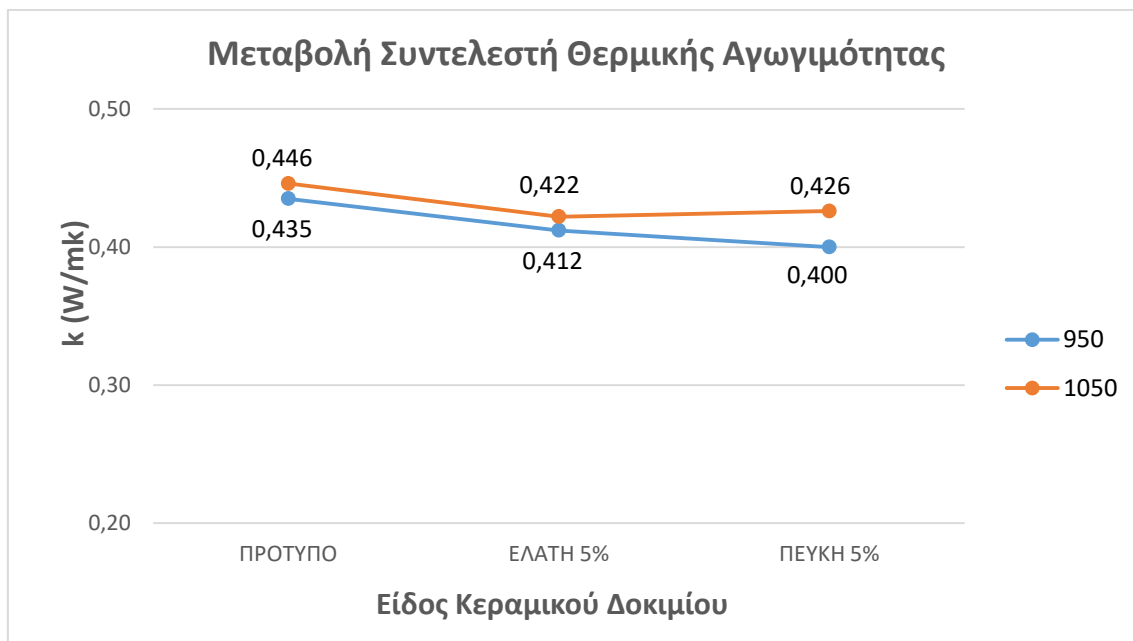
Σχήμα 5.3.: Μεταβολή όγκου κεραμικών δοκιμίων κατά την όπτηση

Στο σχήμα 5.3. παρατηρείται η ποσοστιαία μεταβολή του όγκου που παρουσιάζουν τα τρία είδη κεραμικών δοκιμίων για θερμοκρασίες όπτησης 950°C και 1050°C. Η αύξηση της θερμοκρασίας όπτησης των δοκιμίων από 950°C στους 1050°C αυξάνει τη ρίκνωση των δοκιμίων. Όσον αφορά την επίδραση του ξύλου, φαίνεται ότι η μεταβολή του όγκου, λόγω όπτησης, των δοκιμίων με περιεκτικότητα σε ελάτη και πεύκη είναι μικρότερη σε σχέση με τα πρότυπα δοκίμια. Μεταξύ οπτόπλινθων ελάτης και πεύκης, τώρα, οι οπτόπλινθοι ελάτης παρουσιάζουν μικρότερο βαθμό ρίκνωσης και στις δύο θερμοκρασίες όπτησης.

5.3. Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

Στον πίνακα 8 του παραρτήματος, παρουσιάζονται οι τιμές του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, όπως καταγράφηκαν, στη συσκευή μέτρησης θερμικής αγωγιμότητας, για κάθε σειρά κεραμικών δοκιμίων, μετά την όπτηση τους σε θερμοκρασία 950°C ή 1050°C.

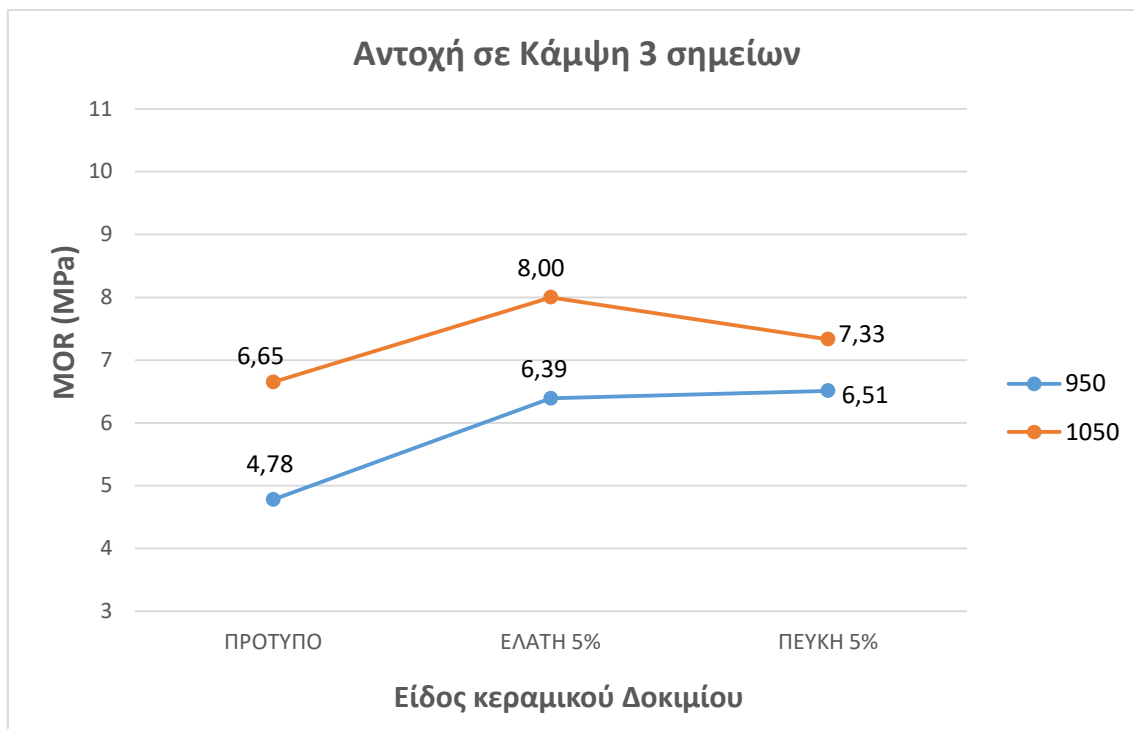
Στο σχήμα 5.4., το οποίο είναι βασισμένο στον πίνακα 8 του παραρτήματος, φαίνεται η μεταβολή της θερμικής αγωγιμότητας για τους μελετώμενους οπτόπλινθους. Διαπιστώνεται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας όπτησης, από 950°C στους 1050°C, αυξάνει τον συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας για όλες τις σειρές κεραμικών δοκιμίων, με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμομονωτικότητας τους. Τα δοκίμια που περιέχουν ξύλο ελάτης ή ξύλο πεύκης εμφανίζουν παρόμοιο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας με τις τιμές αυτού να είναι σαφώς μικρότερες από εκείνες των προτύπων.



Σχήμα 5.4.: Μεταβολή συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας των κεραμικών δοκιμίων

5.4. Αντοχή σε κάμψη 3 σημείων (MOR)

Στους πίνακες 9 έως 11 του παραρτήματος εμφανίζεται αναλυτικά ο υπολογισμός της αντοχής σε κάμψη τριών σημείων των κεραμικών δοκιμίων που μελετήθηκαν. Βάσει αυτών των πινάκων δημιουργήθηκε το σχήμα 5.5. στο οποίο παρουσιάζεται η μεταβολή της αντοχής σε κάμψη μετά από όπτηση στους 950°C ή 1050°C και για τις τρεις σειρές δοκιμίων.



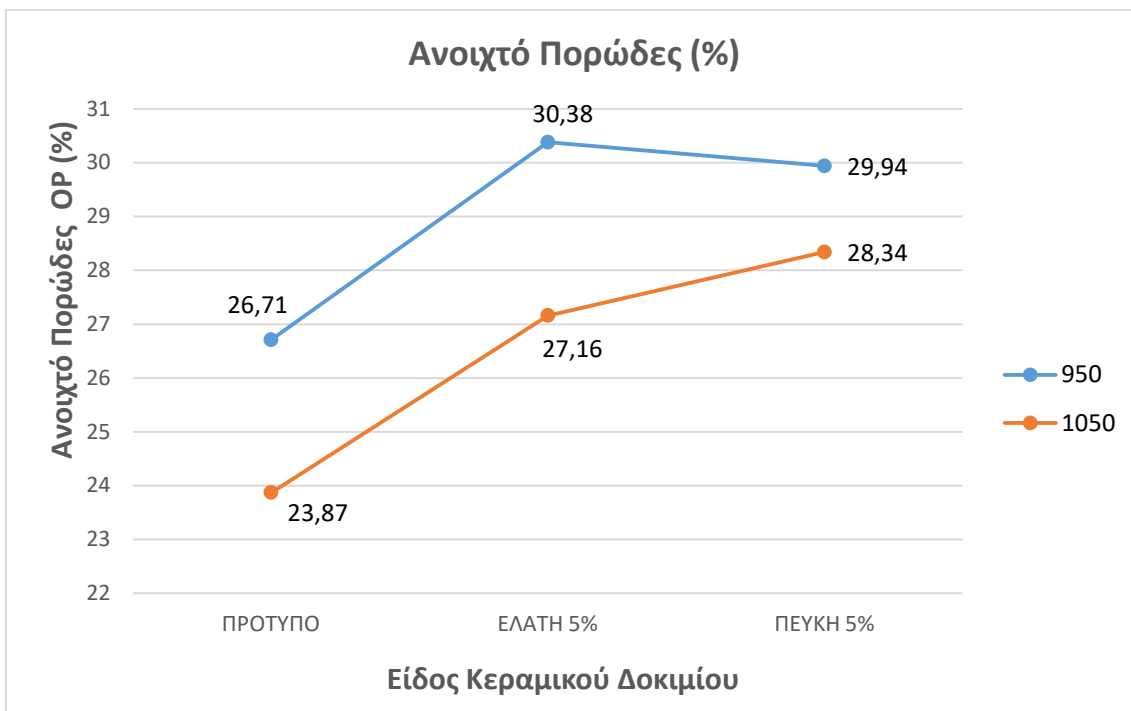
Σχήμα 5.5.: Αντοχή σε κάμψη 3 σημείων (MOR) των κεραμικών δοκιμίων.

Διαπιστώνεται ότι η αύξηση της θερμοκρασίας όπτησης (1050°C αντί 950°C) αυξάνει την αντοχή σε κάμψη 3 σημείων (MOR) και για τις τρεις σειρές οπτόπλινθων. Επίσης, παρατηρείται ότι η αντοχή σε κάμψη 3 σημείων (MOR) είναι μεγαλύτερη στα κεραμικά δοκίμια που περιέχουν 5% ποσότητα ξύλου ελάτης ή πεύκης, σε σύγκριση με τα πρότυπα κεραμικά δοκίμια.

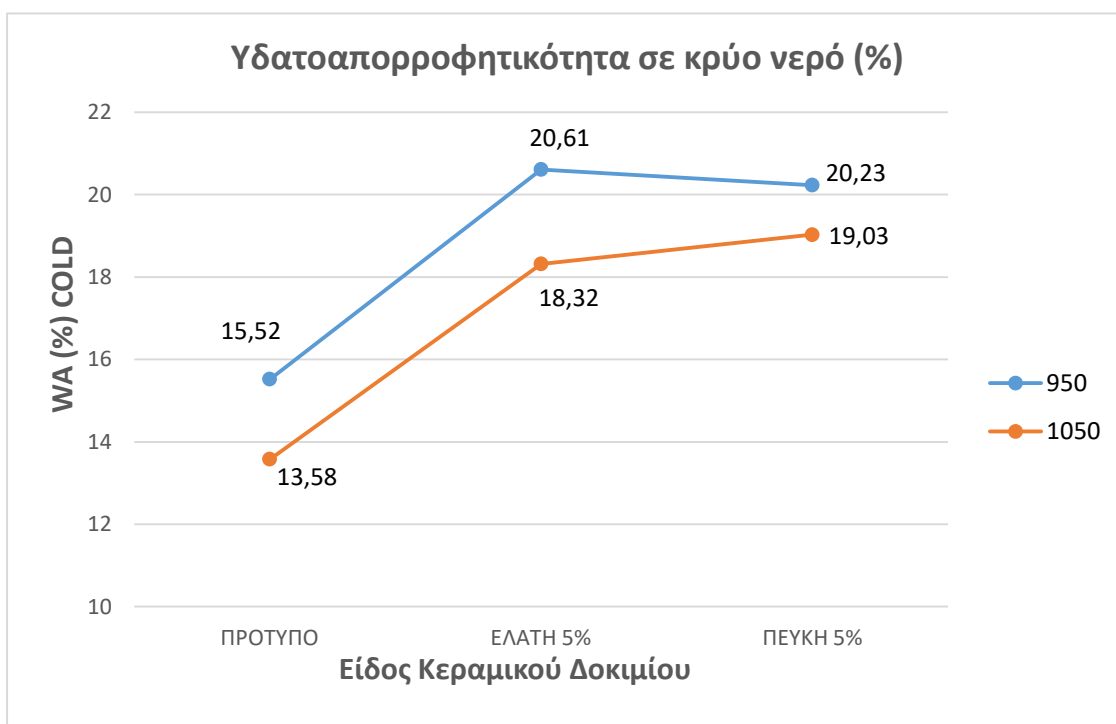
5.5. Υδατοαπορροφητικότητα - Πορώδες - Ανοιχτό πορώδες

Στον πίνακα 12 του παραρτήματος που ακολουθεί αναγράφεται το συνολικό βάρος των δοκιμίων κάθε παρτίδας μετά την όπτηση, μετά την εμβάπτιση σε κρύο νερό για 24 ώρες και έπειτα από τον βρασμό για 5 ώρες. Με βάση τις τιμές αυτές υπολογίζονται η υδατοαπορροφητικότητα σε ζεστό και κρύο νερό, όπως επίσης το πορώδες και το ανοιχτό πορώδες των κεραμικών δοκιμίων του πειράματος.

Στα σχήματα 5.6. και 5.7. φαίνεται το ανοιχτό πορώδες και η υδατοαπορροφητικότητα σε κρύο νερό, αντίστοιχα, των κεραμικών δοκιμίων του πειράματος έπειτα από όπτηση στους 950°C ή 1050°C.



Σχήμα 5.6.: Ποσοστό ανοιχτού πορώδους κεραμικών δοκιμίων

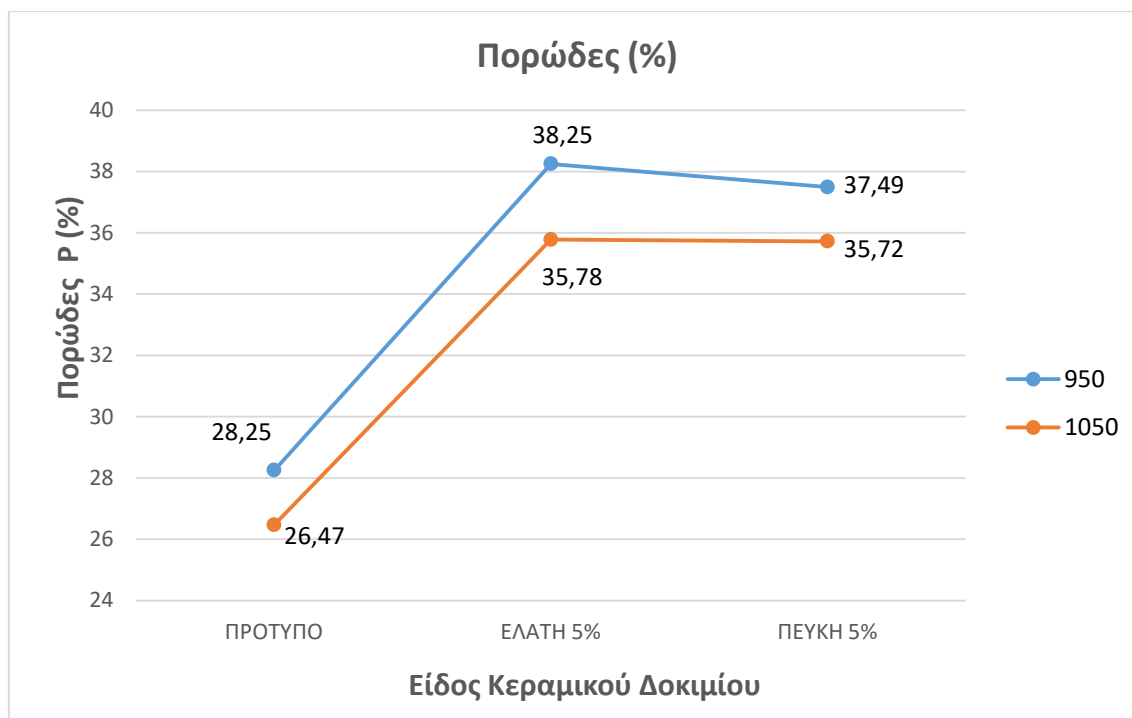


Σχήμα 5.7.: Ποσοστό υδατοαπορροφητικότητας, κεραμικών δοκιμίων, σε κρύο νερό

Από το σχήμα 5.6. διαπιστώνεται ότι τα δοκίμια έπειτα από θερμοκρασία όπτησης 1050°C έχουν ποσοστό ανοιχτού πορώδους μικρότερο σε σύγκριση με εκείνο των δοκιμίων που δέχτηκαν όπτηση στους 950°C. Επίσης, το ποσοστό του ανοιχτού πορώδους των πρότυπων οπτόπλινθων είναι πιο μικρό, σε σχέση με τους οπτόπλινθους που περιέχουν ξύλο ελάτης ή πεύκης.

Από το σχήμα 5.7. επιβεβαιώνεται ότι η υδατοαπορροφητικότητα σε κρύο νερό ενός υλικού είναι ανάλογη του ανοιχτού πορώδους αυτού. Τα κεραμικά δοκίμια όπτησης στους 1050°C παρουσιάζουν μικρότερο ποσοστό υδατοαπορροφητικότητας, σε σχέση με εκείνα με θερμοκρασία όπτησης 950°C, ενώ τα πρότυπα κεραμικά δοκίμια εμφανίζουν μικρότερο ποσοστό υδατοαπορροφητικότητας σε σχέση με εκείνα που περιέχουν ποσότητα ξύλου και για τις δύο θερμοκρασίες όπτησης.

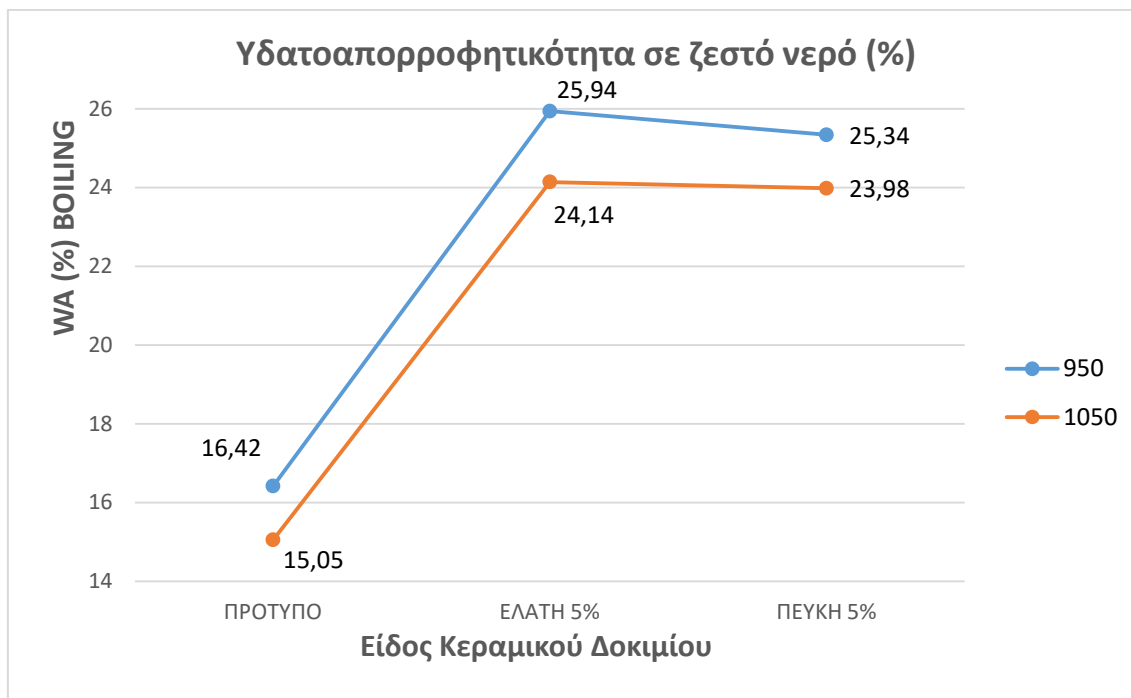
Στα σχήματα 5.8. και 5.9. καταγράφεται το ποσοστό του πορώδους και της υδατοαπορροφητικότητας σε ζεστό νερό, αντίστοιχα, των τριών σειρών κεραμικών δοκιμίων που παρασκευάστηκαν στο εργαστήριο σε θερμοκρασία όπτησης 950°C και 1050°C.



Σχήμα 5.8.: Ποσοστό πορώδους κεραμικών δοκιμίων

Από το σχήμα 5.8. είναι εμφανές ότι το ποσοστό του πορώδους, όλων των σειρών δοκιμίων (πρότυπα, με ελάτη, με πεύκη), μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας

όπτησης από τους 950°C στους 1050°C. Επίσης τα κεραμικά δοκίμια που περιέχουν ξύλο έχουν μεγαλύτερο ποσοστό πορώδους σε σχέση με τα πρότυπα δοκίμια και των δύο θερμοκρασιών όπτησης.



Σχήμα 5.9.: Ποσοστό υδατοαπορροφητικότητας, κεραμικών δοκιμίων, σε ζεστό νερό

Από το σχήμα 5.9. προκύπτει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας όπτησης των δοκιμίων από τους 950°C στους 1050°C μειώνει το ποσοστό της υδατοαπορροφητικότητας τους σε ζεστό νερό. Ακόμη, η περιεκτικότητα των δοκιμίων με ξύλο ελάτης ή πεύκης προκαλεί αύξηση στο ποσοστό της υδατοαπορροφητικότητας τους σε ζεστό νερό, σε σχέση με τα πρότυπα δοκίμια.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η μελέτη αξιοποίησης υπολειμμάτων ξύλου από μηχανική κατεργασία πριστής ξυλείας ελάτης και πεύκης σε δομικά υλικά απέδειξε πως, η ενσωμάτωση τους σε παραδοσιακά κεραμικά είναι μία εναλλακτική λύση αξιοποίησής τους δίνοντας υλικά φιλικά προς το περιβάλλον και χαμηλότερου κόστους, λόγω της εξοικονόμησης πρωτογενών πρώτων υλών.

Παρατηρήθηκε ότι τα δοκίμια που περιέχον 5% ξύλο ελάτης έχουν ακριβώς την ίδια συμπεριφορά με εκείνα που περιέχουν 5% ξύλο πεύκης, ως προς τις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες που μελετήθηκαν, σε σύγκριση με τα πρότυπα δοκίμια. Αυτό προφανώς οφείλεται στο γεγονός ότι και τα δύο είδη ξύλου προέρχονται από κωνοφόρα δέντρα, η ξυλεία των οποίων έχει παρόμοια χημική σύσταση και δομή.

Η όπτηση των κεραμικών δοκιμίων ελάτης και πεύκης, τόσο στους 950°C όσο και στους 1050°C απαιτεί μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας σε σύγκριση με τα πρότυπα δοκίμια. Η καύση του ενσωματωμένου ξύλου απαιτεί πρόσθετη ποσότητα ενέργειας, ενώ δεν απελευθερώνει κατάλληλα ποσά ενέργειας τα οποία θα χρησιμοποιηθούν κατά την όπτηση, μειώνοντας τις συνολικές απαιτήσεις ενέργειας.

Το ποσοστό απώλειας βάρους των κεραμικών δοκιμίων ελάτης και πεύκης είναι περίπου 6% μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό των προτύπων και στις δύο θερμοκρασίες όπτησης, ενώ η ποσοστιαία μείωση του όγκου των οπτόπλινθων με ξύλο είναι κάτω του 1% συγκριτικά με τους πρότυπους οπτόπλινθους.

Αύξηση της θερμοκρασίας όπτησης από τους 950°C στους 1050°C, προκαλεί αύξηση του συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας. Ωστόσο, τα κεραμικά δοκίμια ελάτης και πεύκης παρουσιάζουν μικρότερο συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας, από αυτόν των προτύπων. Η ενσωμάτωση επομένως ξύλου ελάτης ή πεύκης σε κεραμικά δοκίμια επιφέρει αύξηση της θερμομονωτικότητας τους και βελτίωση της ενεργειακής τους συμπεριφοράς.

Αξιοσημείωτη είναι η αύξηση στην αντοχή σε κάμψη 3 σημείων, που παρατηρήθηκε για τα κεραμικά δοκίμια που περιείχαν ποσοστό ξύλου στη μάζα τους σε σχέση με τα πρότυπα δοκίμια. Η καλύτερη αυτή μηχανική ιδιότητα παρατηρήθηκε στα δοκίμια ελάτης και πεύκης και για τις δύο θερμοκρασίες όπτησης (950°C και 1050°C).

Τέλος, το πορώδες, το ανοιχτό πορώδες καθώς και η υδατοαπορροφητικότητα σε ζεστό και κρύο νερό, αυξάνονται όταν τα κεραμικά δοκίμια περιέχουν ποσότητα ξύλου ελάτης ή πεύκης.

Συνοψίζοντας, η παραγωγή κεραμικών δομικών προϊόντων, με χρήση υπολειμμάτων ξυλείας ελάτης και πεύκης σε μίξη με πηλώδη χώματα, οδηγεί σε μείωση του κόστους παραγωγής των κεραμικών υλικών δίνοντας στο εμπόριο ανταγωνιστικά προϊόντα από πλευράς μηχανικών ιδιοτήτων, ενώ παράλληλα προσφέρει καλύτερη διαχείριση των αποβλήτων συμβάλλοντας στην υλοποίηση πολιτικών κυκλικής οικονομίας με όρους βιομηχανικής συμβίωσης.

Βιβλιογραφία

Βιβλία και Διδακτορικές Διατριβές

Βουλαγαρίδης Ηλίας (2015). Ποιότητα και Χρήσεις του Ξύλου, Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Αθήνα

Βουλαγαρίδης Ηλίας (2007). Ποιότητα Ξύλου, πανεπιστημιακές παραδόσεις, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη

Δεκλερής Μιχαήλ (1996). Ο δωδεκάδελτος του περιβάλλοντος, εγκόλπιο βιωσίμου αναπτύξεως, τ. 1, εκδόσεις Αντ. Ν. Σακκουλά, Αθήνα -Κομοτηνή

Μαντάνης Γεώργιος (2019). Αναγνώριση ξύλου, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Καρδίτσα.

Μαντάνης Γεώργιος (2015). Δομή ξύλου, ΤΕΙ Θεσσαλίας, Καρδίτσα.

Μαντάνης Γεώργιος (2003). Δομή και ιδιότητες ξύλου, Μέρος II: Ιδιότητες, ΤΕΙ Θεσσαλίας, Καρδίτσα.

Λυκίδης Χαράλαμπος (2008). Ανακύκλωση πρώτων υλών ξυλοπλακών μετά την ανάκτηση τους από παλιές ξύλινες κατασκευές (έπιπλα) με χρήση υδροθερμικών χειρισμών, Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Παναγιώτου Γεώργιος (2017). Ανακύκλωση μοριοσανίδων, ινοσανίδων και πλαστικών στην ανάπτυξη και παραγωγή καινοτόμων, φιλικών προς το περιβάλλον βιοαποικοδομήσιμων σύνθετων υλικών ξύλου-πλαστικών, Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Παπαδάκος Αλέξανδρος (2017). Εφαρμογές και πρακτικές της κυκλικής οικονομίας στον κατασκευαστικό τομέα, Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Σιδεράς Αδαμάντιος (2011). Μελέτη αξιοποίησης ξύλου μικρών διαστάσεων για παραγωγή προϊόντων ξυλείας εσωτερικών χώρων με συγκόλληση, Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Τάκας Βασίλειος (2000). Αξιοποίηση υπολειμμάτων κατεργασίας ξύλου για παραγωγή ενέργειας: συμβολή στο περιβάλλον, Διδακτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

Άρθρα

Chemani Halima and Chemani Bachir Chemani (2013). Valorization of wood sawdust in making porous clay brick, Academic Journals, Scientific Research and Essays.

Turgut Paki και Algin Murat (2007). Limestone dust and wood sawdust as brick material, Building and Environment 42(9):3399-3403.

Gilbert Ganga et al (2014). Effect of Incorporation of Chips and Wood Dust Mahogany on Mechanical and Acoustic Behavior of Brick Clay, Journal of Building Construction and Planning Research, 2014, 2, 198-208.

Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (2018). Εθνική Στρατηγική για τη Κυκλική Οικονομία

Διαδικτυακή έρευνα

http://www.arch.ntua.gr/sites/default/files/resource/11141_tehnitoi-lithoi-simeioseis/4_texnhtoi_li8oi_web.pdf

https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/ARCH101/1223_3%20Ceramics.pdf

<http://getyourphx.com/building-a-circular-economy/linear-economy/>

<https://www.blod.gr/lectures/kyklicki-oikonomia-ena-oikonomiko-montelo-tou-mellontos>

<https://www.pna.gr/nea/panepistimio-peloponnisou/item/38121>

<https://www.blod.gr/lectures/kyklicki-oikonomia-ena-stoihima-gia-tin-eksoikonomisi-fysikon-poron-kai-ti-diaheirisi-ton-apobliton-mia-eykairia-gia-oikonomiki-anaptyksi/>

https://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3846_el.htm

<http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=R7N5HFvj2dM%3D&tabid=37&language=el-GR>

<https://www.eoan.gr/el/content/14/apovlita-ekskafon-kataskeuon-katedafiseon -aekk>

<https://opencourses.auth.gr/modules/document/file.php/OCRS106/>

<https://www.akek.gr/1/index.php/2012-04-12-10-00-34>

<http://users.auth.gr/ptsioras/pdf>

https://www.fortunegreece.com/wp-content/uploads/2015/07/16/11096693_630925197039623_3603032030853925625_n.jpg

<http://2ndchancetables.com.au/>

<https://dasoponos.gr/wp-content/uploads/2018/04/.pdf>

http://evangelosakylas.weebly.com/uploads/8/7/3/4/8734654/pom215_1.pdf

<https://ocw.aoc.ntua.gr/modules/document/file.php/CHEMENG116/Lab/Lab%206.pdf>

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/DOC/?uri=CELEX:52015DC0614&from=el>

<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2019:0190:FIN:EL:PDF>

https://europa.eu/rapid/press-release_IP-18-3846_el.htm

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 5.1.: Κατανάλωση ενέργειας όπτησης στους 950°C και 1050 °C

Tsint (°C)	Συνταγή	Αριθ. Παραλ - ληλογρ Δοκιμ.	Αριθ. Στρογγ · Δοκιμ.	Ένδειξη πριν την όπτηση (KWh)	Ένδειξη μετά την όπτηση (KWh)	Κατανόλωση Ενέργειας (KWh)	Συνολικό βάρος δοκιμίων πριν την όπτηση Κιλά	Αναγωγή ανά Κιλό
950	Πρότυπα	17	3	14.826,05	14.891,51	65,46	2,66	24,61
1050	Πρότυπα	17	3	14.891,58	14.974,50	82,92	2,66	31,17
950	Ελάτη 5%	17	3	14.974,85	15.040,12	65,27	2,54	25,70
1050	Ελάτη 5%	17	3	15.040,29	15.124,32	84,03	2,55	32,95
950	Πεύκη 5%	17	3	15.126,82	15.192,81	65,99	2,56	25,78
1050	Πεύκη 5%	17	3	15.192,82	15.276,92	84,10	2,55	32,98

Πίνακας 2. Βάρος και διαστάσεις προτύπων δοκιμών όπτησης 950°C

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				V πριν	V μετά	Vshrinkage (%)	απόλεια βάρους
	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ Wo,dry (gr)	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ Wo,dry (gr)				
1	22,85	46,91	74,67	148,22	22,76	46,64	74,54	137,48	80,04	79,13	1,14	7,25
2	23,06	47,45	75,73	150,28	22,97	47,28	75,19	139,36	82,86	81,66	1,45	7,27
3	22,99	47,28	72,36	146,58	22,85	46,89	72,17	135,96	78,65	77,33	1,69	7,25
4	23,10	47,16	72,61	146,50	22,99	46,94	72,55	135,82	79,10	78,29	1,02	7,29
5	23,30	46,84	75,24	149,82	23,13	46,66	75,05	138,96	82,11	81,00	1,36	7,25
6	23,03	47,20	72,57	146,28	22,99	46,85	72,32	135,67	78,88	77,89	1,26	7,25
7	23,01	46,87	74,98	146,91	22,81	46,79	74,64	136,21	80,86	79,66	1,49	7,28
8	23,67	47,10	72,61	145,26	22,97	47,02	72,57	134,61	80,95	78,38	3,18	7,33
9	22,86	48,06	73,53	147,40	22,82	47,18	72,93	136,69	80,78	78,52	2,80	7,27
10	22,86	46,94	72,68	145,11	22,84	46,78	72,20	134,51	77,99	77,14	1,09	7,30
11	22,92	47,21	74,47	148,10	22,76	46,74	74,02	137,28	80,58	78,74	2,28	7,31
12	22,96	47,01	72,84	145,94	22,79	46,66	72,35	135,26	78,62	76,94	2,14	7,32
13	22,87	46,88	73,23	145,30	22,78	46,72	73,17	134,71	78,51	77,87	0,81	7,29
14	23,07	47,01	72,86	144,71	22,75	46,82	72,68	134,13	79,02	77,42	2,03	7,31
15	22,82	46,99	73,09	144,69	22,81	46,92	72,93	134,12	78,38	78,05	0,41	7,31
16	23,00	46,92	74,46	146,68	22,91	46,74	73,77	135,95	80,35	78,99	1,69	7,32
17	23,00	47,02	73,00	145,00	22,74	46,88	72,96	134,41	78,95	77,78	1,48	7,30
18				54,62				50,60				7,36
19				54,78				50,74				7,37
20				54,11				50,09				7,43
ΣΥΝΟΛΟ				2656,29				2462,56				
M.O.	23,02	47,11	73,58	132,81	22,86	46,85	73,30	123,13	79,80	78,52	1,61	7,30

Πίνακας 3. Βάρος και διαστάσεις προτύπων δοκιμών όπτησης 1050°C

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				V πριν	V μετά	Vshrinkage (%)	απόλεια βάρους
	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ Wo,dry (gr)	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ Wo,dry (gr)				
1	22,95	46,95	72,39	145,60	22,61	46,63	72,12	134,98	78,00	76,04	2,52	7,29
2	23,43	47,24	73,36	147,34	22,68	46,99	72,96	136,62	81,20	77,76	4,24	7,28
3	22,94	46,88	72,77	146,14	22,68	46,67	72,66	135,48	78,26	76,91	1,73	7,29
4	22,76	46,97	72,96	144,83	22,68	46,59	72,61	134,30	78,00	76,72	1,63	7,27
5	23,33	46,90	72,66	145,34	22,69	46,46	72,32	134,77	79,50	76,24	4,11	7,27
6	22,99	46,95	72,60	146,17	22,74	46,68	72,55	135,57	78,36	77,01	1,72	7,25
7	22,86	46,72	74,73	147,56	22,73	46,35	74,31	136,79	79,81	78,29	1,91	7,30
8	23,18	46,88	74,68	147,13	22,53	46,23	74,07	136,39	81,15	77,15	4,93	7,30
9	23,12	47,06	75,14	149,96	22,74	46,58	74,24	139,05	81,75	78,64	3,81	7,28
10	23,07	47,45	74,82	149,86	22,71	47,14	74,46	138,93	81,90	79,71	2,67	7,29
11	23,21	47,20	75,02	150,62	22,78	46,70	74,86	139,63	82,19	79,64	3,10	7,30
12	22,95	47,02	72,60	146,64	22,58	46,55	72,50	135,97	78,34	76,20	2,73	7,28
13	23,44	47,08	72,61	145,18	22,93	46,59	72,09	134,54	80,13	77,01	3,89	7,33
14	22,86	47,05	72,40	145,05	22,64	46,52	71,85	134,52	77,87	75,67	2,82	7,26
15	23,37	46,87	72,82	145,98	22,57	46,71	72,34	135,30	79,76	76,26	4,39	7,32
16	23,05	46,90	74,86	145,20	22,64	46,60	74,15	134,60	80,93	78,23	3,33	7,30
17	23,15	47,24	73,03	147,10	22,80	46,66	72,62	136,39	79,87	77,26	3,27	7,28
18				54,87				50,82				7,38
19				54,66				50,58				7,46
20				55,89				51,74				7,43
ΣΥΝΟΛΟ				2661,12				2466,97				
M.O.	23,10	47,02	73,50	133,06	22,69	46,63	73,10	123,35	79,83	77,34	3,11	7,31

Πίνακας 4. Βάρος και διαστάσεις δοκιμίων ελάτης 5% όπτησης 950°C

Α/Α ΔΟΚΙ ΜΙΟΥ	ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				V πριν	V μετά	Vshrinkage (%)	απόλεια βάρους
	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ Wo,dry (gr)	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ Wo,dry (gr)				
1	23,08	47,55	74,84	138,62	23,02	47,46	74,63	119,74	82,13	81,54	0,73	13,62
2	23,22	47,54	74,62	138,35	23,09	47,52	74,50	119,51	82,37	81,74	0,76	13,62
3	23,09	47,55	74,59	139,04	23,03	47,48	74,38	120,03	81,89	81,33	0,69	13,67
4	22,99	47,57	76,64	141,28	22,80	47,40	76,51	121,94	83,82	82,69	1,35	13,69
5	23,16	47,65	74,36	138,89	22,99	47,52	74,25	120,05	82,06	81,12	1,15	13,56
6	22,96	47,64	74,87	138,34	22,93	47,56	74,79	119,64	81,89	81,56	0,40	13,52
7	23,26	47,82	76,46	141,97	22,99	47,72	76,31	122,57	85,05	83,72	1,56	13,66
8	23,42	47,59	76,34	142,07	22,99	47,48	76,18	122,72	85,09	83,16	2,27	13,62
9	23,12	47,57	76,50	141,25	23,04	47,52	76,43	121,86	84,14	83,68	0,54	13,73
10	23,03	47,73	74,18	138,56	22,98	47,68	73,90	120,31	81,54	80,97	0,70	13,17
11	23,01	47,72	76,54	142,41	22,93	47,63	76,48	123,23	84,04	83,53	0,61	13,47
12	23,08	47,73	74,18	137,29	22,96	47,62	74,14	118,44	81,72	81,06	0,80	13,73
13	23,18	47,74	76,08	143,02	22,96	47,72	75,99	124,11	84,19	83,26	1,11	13,22
14	23,53	47,63	76,28	142,01	23,27	47,57	76,24	122,74	85,49	84,39	1,28	13,57
15	23,22	47,78	74,60	138,57	23,02	47,68	74,56	119,74	82,77	81,84	1,12	13,59
16	23,24	47,58	76,46	140,55	23,06	47,55	76,42	121,24	84,55	83,79	0,89	13,74
17	23,15	47,68	76,62	142,89	22,94	47,56	76,53	123,49	84,57	83,50	1,27	13,58
18				51,84				44,74				13,70
19				52,15				45,09				13,54
20				52,15				45,12				13,48
ΣΥΝ ΟΛΟ				2541,25				2196,31				
MT=	23,16	47,65	75,54	127,06	23,00	47,57	75,43	109,82	83,37	82,52	1,01	13,57

Πίνακας 5. Βάρος και διαστάσεις δοκιμών ελάτης 5% όπτησης 1050°C

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				V πριν	V μετά	Vshrinkage (%)	απόλεια βάρους
	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ Wo,dry (gr)	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ Wo,dry (gr)				
1	23,18	47,58	77,13	140,58	22,91	47,29	76,62	121,38	85,07	83,01	2,42	13,66
2	22,89	47,80	76,38	141,54	22,77	47,63	76,24	122,20	83,57	82,68	1,06	13,66
3	22,92	47,53	76,52	142,68	22,81	47,42	76,43	123,64	83,36	82,67	0,83	13,34
4	23,18	47,76	76,48	141,68	22,81	47,39	76,07	122,27	84,67	82,23	2,88	13,70
5	23,03	47,56	74,31	138,80	22,77	47,43	73,96	119,94	81,39	79,88	1,86	13,59
6	23,48	47,57	76,04	143,16	23,10	47,40	75,82	124,17	84,93	83,02	2,25	13,26
7	23,14	47,63	74,49	139,59	22,87	47,54	74,10	120,66	82,10	80,56	1,87	13,56
8	23,34	47,66	76,06	142,59	22,89	47,49	75,80	123,91	84,61	82,40	2,61	13,10
9	22,95	47,91	74,33	138,33	22,82	47,33	73,94	119,32	81,73	79,86	2,29	13,74
10	23,04	47,58	76,55	142,08	22,75	47,22	76,43	122,55	83,92	82,11	2,16	13,75
11	22,98	47,56	74,16	138,87	22,79	47,25	73,87	120,24	81,05	79,55	1,86	13,42
12	22,89	47,78	74,56	139,13	22,77	47,47	73,84	120,74	81,55	79,81	2,12	13,22
13	23,03	47,71	74,02	138,00	22,85	47,41	73,58	119,49	81,33	79,81	1,87	13,41
14	23,28	47,48	76,51	141,70	22,76	47,19	76,28	122,31	84,57	79,71	5,75	13,68
15	23,33	47,61	74,78	139,33	23,01	47,52	74,36	120,19	83,06	81,93	1,36	13,74
16	23,02	47,63	76,75	142,12	22,84	47,40	76,26	122,75	84,15	81,31	3,38	13,63
17	23,01	47,66	76,27	142,15	22,72	47,14	75,90	123,19	83,64	82,56	1,29	13,34
18				50,42				43,87				12,99
19				50,46				43,84				13,12
20				53,03				45,87				13,50
ΣΥΝΟΛΟ				2546,24				2202,53				
M.O.	23,10	47,65	75,61	127,31	22,84	47,38	75,26	110,13	83,22	81,36	2,23	13,47

Πίνακας 6. Βάρος και διαστάσεις δοκιμίων πεύκης 5% όπτησης 950°C

Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				V πριν	V μετά	Vshrinkage (%)	απόλεια βάρους
	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ Wo,dry (gr)	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ Wo,dry (gr)				
1	23,28	47,83	75,48	141,40	23,23	47,54	75,42	122,18	84,05	83,29	0,90	13,59
2	23,28	47,53	75,02	140,67	23,21	47,42	74,86	121,44	83,01	82,39	0,74	13,67
3	23,46	47,64	76,82	143,27	23,12	47,42	76,53	123,55	85,86	83,90	2,27	13,76
4	23,18	47,52	75,14	141,28	23,05	47,46	74,99	121,64	82,77	82,04	0,88	13,90
5	23,45	47,62	76,50	142,87	23,27	47,46	76,34	123,49	85,43	84,31	1,31	13,56
6	23,27	47,58	74,52	140,89	23,15	47,41	74,28	121,76	82,51	81,53	1,19	13,58
7	23,14	47,79	74,36	138,88	23,02	47,48	74,22	120,01	82,23	81,12	1,35	13,59
8	23,24	47,79	75,27	140,79	22,98	47,41	75,19	121,71	83,60	81,92	2,01	13,55
9	23,25	47,72	76,44	142,33	23,12	47,51	76,25	122,94	84,81	83,76	1,24	13,62
10	23,54	47,56	74,71	140,80	23,22	47,41	74,38	121,57	83,64	81,88	2,10	13,66
11	23,31	47,65	75,10	140,94	23,05	47,46	74,93	121,83	83,42	81,97	1,73	13,56
12	23,12	47,85	76,64	142,21	22,94	47,52	76,25	122,82	84,79	83,12	1,96	13,63
13	23,09	47,58	74,68	140,19	22,96	47,37	74,52	121,11	82,05	81,05	1,21	13,61
14	23,19	47,63	76,29	143,16	23,04	47,49	76,27	123,48	84,27	83,45	0,96	13,75
15	23,29	47,59	74,72	139,26	23,04	47,42	74,56	120,02	82,82	81,46	1,64	13,82
16	23,60	47,62	74,99	139,55	23,14	47,38	74,65	120,31	84,28	81,84	2,89	13,79
17	23,18	47,55	76,43	141,67	22,95	47,43	76,30	122,54	84,24	83,05	1,41	13,50
18				52,59				45,52				13,44
19				51,73				44,80				13,40
20				52,09				45,16				13,30
ΣΥΝΟΛΟ				2556,57				2207,88				
M.O.	23,29	47,65	75,48	127,83	23,09	47,45	75,29	110,39	83,75	82,48	1,52	13,61

Πίνακας 7. Βάρος και διαστάσεις δοκιμών πεύκης 5% όπτησης 1050°C

Α/Α ΔΟΚΙ ΜΙΟΥ	ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΟΠΤΗΣΗ				V πριν	V μετά	Vshrinkage (%)	απώλεια βάρους
	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ Wo,dry (gr)	ΥΨΟΣ (mm)	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΜΗΚΟΣ (mm)	ΒΑΡΟΣ Wo,dry (gr)				
1	23,27	47,52	76,16	142,65	23,23	47,22	75,19	122,84	84,22	82,48	2,07	13,89
2	23,04	47,54	74,52	140,45	22,77	47,16	74,31	120,84	81,62	79,80	2,24	13,96
3	23,37	47,59	75,99	142,67	22,90	47,21	75,76	122,80	84,51	81,90	3,09	13,93
4	23,19	47,58	76,38	143,20	22,87	47,31	76,21	123,27	84,28	82,46	2,16	13,92
5	23,33	47,64	75,04	139,81	22,86	47,38	74,53	120,67	83,40	80,72	3,21	13,69
6	23,04	47,58	74,63	139,48	22,80	47,30	74,24	120,27	81,81	80,06	2,14	13,77
7	23,22	47,75	76,22	142,32	22,92	47,20	76,15	122,69	84,51	82,38	2,52	13,79
8	23,13	47,60	74,52	139,98	22,87	47,51	74,39	120,89	82,05	80,83	1,48	13,64
9	23,16	47,62	74,54	139,86	22,90	47,42	74,24	120,60	82,21	80,62	1,93	13,77
10	23,28	47,73	74,53	140,02	22,94	47,23	74,28	120,80	82,81	80,48	2,82	13,73
11	23,28	47,67	76,78	143,73	22,86	47,36	76,48	123,87	85,21	82,80	2,82	13,82
12	23,30	47,58	74,83	140,18	22,86	47,19	74,64	120,89	82,96	80,52	2,94	13,76
13	23,28	47,63	74,68	139,89	22,98	47,38	74,24	120,56	82,81	80,83	2,39	13,82
14	23,31	47,61	74,93	139,18	22,94	47,26	74,42	119,86	83,16	80,68	2,98	13,88
15	23,04	47,59	74,50	139,46	22,84	47,20	74,20	120,56	81,69	79,99	2,08	13,55
16	23,22	47,74	76,27	142,40	23,00	47,52	75,88	122,68	84,55	82,93	1,91	13,85
17	23,36	47,60	76,47	142,48	23,04	47,29	76,18	122,65	85,03	83,00	2,38	13,92
18				51,69				44,63				13,66
19				51,87				44,87				13,50
20				52,25				45,16				13,57
ΣΥΝ ΟΛΟ				2553,57				2201,40				
M.O.	23,22	47,62	75,35	127,68	22,92	47,30	75,02	110,07	83,34	81,32	2,42	13,77

Πίνακας 8: Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας

ΕΙΔΟΣ ΚΕΡΑΜΙΚΟΥ ΔΙΚΙΜΙΟΥ	ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΟΠΤΗΣΗΣ	Α/Α ΔΟΚΙΜΙΟΥ	ΠΑΧΟΣ ΔΙΚΙΜΙΟΥ (mm)	ΘΕΡΜ. ΛΗΨΗΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ (C)	K (W/mk)	k_{ave}
ΠΡΟΤΥΠΑ	950°C	18	22,98	25,82	0,429	0,435
		19	22,84	25,91	0,444	
		20	22,54	25,87	0,431	
	1050°C	18	22,78	25,84	4,441	0,446
		19	22,65	25,93	0,440	
		20	22,82	25,92	0,457	
ΕΛΑΤΗ 5%	950°C	18	22,80	25,90	0,412	0,412
		19	23,02	25,73	0,404	
		20	22,84	25,75	0,421	
	1050°C	18	22,24	25,82	0,415	0,422
		19	22,05	25,89	0,430	
		20	22,86	25,86	0,421	
ΠΕΥΚΗ 5%	950°C	18	22,98	25,81	0,402	0,400
		19	23,04	25,72	0,394	
		20	23,14	25,81	0,405	
	1050°C	18	22,90	25,96	0,410	0,426
		19	22,98	25,83	0,444	
		20	22,64	25,88	0,424	

Πίνακας 9: Αντοχή σε κάμψη 3 σημείων για τα πρότυπα κεραμικά δοκίμια

ΣΥΣΤΑΣΗ: ΠΡΟΤΥΠΑ					ΣΥΣΤΑΣΗ: ΠΡΟΤΥΠΑ				
T = 950°C					T = 1050°C				
Α/Α Δοκμίου	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΥΨΟΣ (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN)	MOR	Α/Α Δοκμίου	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΥΨΟΣ (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN)	MOR
2	47,45	23,06	2,74	5,86	1	46,95	22,95	2,38	5,20
3	47,28	22,99	2,10	4,54	2	47,24	23,43	4,69	9,77
4	47,16	23,10	2,58	5,54	4	46,97	22,76	4,22	9,37
5	46,84	23,30	1,69	3,59	5	46,90	23,33	2,28	4,82
7	46,87	23,01	2,32	5,05	6	46,95	22,99	2,60	5,66
9	48,06	22,86	1,92	4,13	7	46,72	22,86	2,30	5,09
4,78					6,65				

Πίνακας 10: Αντοχή σε κάμψη 3 σημείων για τα κεραμικά δοκίμια με περιεκτικότητα 5% ξύλου ελάτης

ΣΥΣΤΑΣΗ: ΕΛΑΤΗ 5%					ΣΥΣΤΑΣΗ: ΕΛΑΤΗ 5%				
T = 950°C					T = 1050°C				
Α/Α Δοκμίου	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΥΨΟΣ (mm)	ΔΥΝΑΜΗ H (kN)	MOR	Α/Α Δοκμίου	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΥΨΟΣ (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN)	MOR
3	47,55	23,09	2,94	6,26	2	47,80	22,89	3,65	7,87
4	47,57	22,99	3,02	6,49	4	47,76	23,18	3,72	7,83
5	47,65	23,16	3,06	6,47	5	47,56	23,03	3,74	8,01
6	47,64	22,96	3,04	6,54	6	47,57	23,48	4,24	8,73
7	47,82	23,26	3,19	6,66	7	47,63	23,14	3,87	8,19
8	47,59	23,42	2,87	5,94	8	47,66	23,34	3,54	7,36
6,39					8,00				

Πίνακας 11: Αντοχή σε κάμψη 3 σημείων για τα κεραμικά δοκίμια με περιεκτικότητα 5% ξύλου πεύκης

ΣΥΣΤΑΣΗ: ΠΕΥΚΗ 5%					ΣΥΣΤΑΣΗ: ΠΕΥΚΗ 5%				
T = 950°C					T = 1050°C				
Α/Α Δοκμίου	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΥΨΟΣ (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN)	MOR	Α/Α Δοκμίου	ΠΛΑΤΟΣ (mm)	ΥΨΟΣ (mm)	ΔΥΝΑΜΗ (kN)	MOR
1	47,83	23,28	3,24	6,75	1	47,52	23,27	3,57	7,49
2	47,53	23,28	3,04	6,37	2	47,54	23,04	3,49	7,47
3	47,64	23,46	2,56	5,27	4	47,58	23,19	3,42	7,22
5	47,62	22,45	3,45	7,11	5	47,64	23,33	3,60	7,50
7	47,79	23,14	3,05	6,44	6	47,58	23,04	3,48	7,44
8	47,79	23,24	3,40	7,11	7	47,75	23,22	3,26	6,84
6,51					7,33				

Πίνακας 12: Υπολογισμός υδατοαπορροφητικότητας, πορώδους και ανοιχτού πορώδους κεραμικών δοκιμίων

T όπτησης (°C)	ΣΥΝΤΑΓΗ	W ΠΡΙΝ την εμβάπτιση (gr)	W ΜΕΤΑ την εμβάπτιση C (gr)	WA C (gr)	W ΜΕΤΑ τον βρασμό B (gr)	WA B (gr)	WA C (%)	WA B (%)	OP (%)	P
950	Πρότυπα	675,50	780,37	104,87	786,40	110,90	15,52	16,42	26,71	28,25
1050	Πρότυπα	679,96	772,28	92,32	782,32	102,36	13,58	15,05	23,87	26,47
950	Ελάτη 5%	608,26	733,61	125,35	766,07	157,81	20,61	25,94	30,38	38,25
1050	Ελάτη 5%	602,97	713,44	110,47	748,54	145,57	18,32	24,14	27,16	35,78
950	Πεύκη 5%	610,17	733,62	123,45	764,78	154,61	20,23	25,34	29,94	37,49
1050	Πεύκη 5%	605,74	720,99	115,25	751,00	145,26	19,03	23,98	28,34	35,72