

Πανεπιστήμιο  
Δυτικής Αττικής



University  
of West Attica

Τμήμα γραφιστικής και οπτικής επικοινωνίας

Πτυχιακή εργασία

Τεχνικές προδιαγραφές για χαρτοκιβώτια συσκευασίας  
αντικειμένων μεγάλου φορτίου (βάρους).



ΜΑΛΤΕΖΟΥ ANNA  
2021-2022

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Μαλτέζου Άννα του Γεωργίου με αριθμό μητρώου 13046 φοιτήτρια του πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της σχολής Εφαρμοσμένων Τεχνών και Πολιτισμού του τμήματος Γραφιστικής και Οπτικής επικοινωνίας, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

<< Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/δηλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολο τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί αποκλειστικά από εμένα και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου.>>

Εισηγητής καθηγητής

Δρ. Μάριος Τσιγώνιας

Μέλη τριμελούς επιτροπής

Σταματία Γώγου

Δρ. Αναστάσιος Πολίτης

## Περίληψη

Ένα από τα πιο διάχυτα και χρησιμοποιημένα υλικά συσκευασίας είναι το κυματοειδές χαρτόνι. Ένας μεγάλος αριθμός εμπορευμάτων και προϊόντων, που πρέπει να αποσταλούν, συσκευάζονται σε κουτιά από κυματοειδές χαρτόνι. Αυτό το υλικό έχει φτάσει σε τόσο μεγάλη χρήση, χάρη στα χαρακτηριστικά του όπως ότι αποτελεί ένα ελαφρύ υλικό ικανό να εξασφαλίσει την απαραίτητη προστασία για το περιεχόμενο του. Επομένως, η αντοχή του κυματοειδούς χαρτονιού είναι η πιο σημαντική προδιαγραφή, όπου στην πραγματικότητα, λόγω των τεχνικών αναγκών, κατά τη διάρκεια της αποστολής και της αποθήκευσης των εμπορευμάτων, τα κιβώτια στοιβάζονται, επομένως κάθε κουτί πρέπει να αποτρέψει την καταστροφή του περιεχομένου του και των υποστηριζόμενων κουτιών. Το κυματοειδές χαρτόνι προσφέρει χιλιάδες πιθανούς συνδυασμούς τύπων χαρτονιού, μεγεθών κυματιστού σχήματος, βασικού βάρους, κολλών, επεξεργασίας και επικαλύψεων, συμπεριλαμβανομένης της προστασίας από επιβραδυντικό υλικό και υλικό για τον στατικό έλεγχο. Είναι το μόνο άκαμπτο χαρτόνι και μέσο συσκευασίας που μπορεί να κοπεί και να διπλωθεί σε μια άπειρη ποικιλία σχημάτων και μεγεθών και να εκτυπωθεί απευθείας με έγχρωμα γραφικά υψηλής ανάλυσης. Επιπλέον, το κυματοειδές χαρτόνι δεν είναι μόνο για κουτιά. Άλλες χρήσεις περιλαμβάνουν ανακυκλώσιμες παλέτες χαμηλού κόστους, κυματοειδές χαρτόνι μονής κατεύθυνσης, κλπ. Παρακάτω πρόκειται να γίνει μια εκτενή αναφορά σχετικά με τις τεχνικές προδιαγραφές χαρτοκιβωτίων για την μεταφορά μεγάλου όγκου και βάρους. Σε συνδυασμό με την βιβλιογραφική ανασκόπηση, θα παρουσιαστούν αρκετές απεικονίσεις των χαρτοκιβωτίων από την διαδικασία παραγωγής τους έως την διαδικασία συσκευασίας τους, έτσι ώστε ο αναγνώστης να έχει μια πλήρη εικόνα της συνολικής διαδικασίας.

Λέξεις κλειδιά :

Κυματοειδές, χαρτόνι, κουτί, σχήμα, βάρος.

## **Abstract**

One of the most pervasive and used packaging materials is corrugated board. A large number of goods and products to be shipped are packed in corrugated cardboard boxes. This material has reached such great use, thanks to its characteristics where it is a lightweight material capable of providing the necessary protection for its contents. Therefore, the durability of corrugated board is the most important requirement, where in fact, due to logistical needs, during the shipment and storage of goods, the boxes are stacked, so each box must prevent the destruction of its contents and supported boxes. Corrugated paper offers thousands of possible combinations of cardboard types, corrugated paper sizes, base weight, adhesives, processing and coatings, including protection against retarder and static control material. It is the only rigid cardboard and packaging medium that can be cut and folded into an infinite variety of shapes and sizes and printed directly with high resolution color graphics. In addition, corrugated cardboard is not just for boxes. Other uses include low cost recyclable pallets, unidirectional corrugated board, etc. Below is a comprehensive overview of carton technical specifications for heavy and heavy transport. In conjunction with the literature review, several illustrations of the cartons from their production process to their packaging process will be presented, so that the reader has a complete picture of the overall process.

**Keywords:** Corrugated, cardboard, box, shape, weight.

# Περιεχόμενα

Περίληψη.....	4
Abstract .....	5
Περιεχόμενα .....	6
Περιεχόμενα εικόνων.....	7
Περιεχόμενα πινάκων .....	9
Εισαγωγή .....	10
Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup> : Ο ορισμός και τα χαρακτηριστικά του κυματοειδούς χαρτονιού .....	11
1.1 Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κυματοειδούς χαρτονιού και συσκευασιών .....	11
1.1.1 Το χαρτί .....	11
1.1.2 Οι κυματοειδείς κόλλες και τα μελάνια.....	13
1.2 Ο ορισμός και τα χαρακτηριστικά του κυματοειδούς χαρτονιού.....	16
1.3 Η τεχνολογική διαδικασία παραγωγής του κυματοειδούς χαρτονιού .....	20
1.4 Η ταξινόμηση των συσκευασιών από κυματοειδής χαρτόνι.....	26
1.4.1 Η ταξινόμηση ανάλογα με την κατασκευή της συσκευασίας.....	26
1.4.2 Η ταξινόμηση FEFCO.....	27
1.4.4 Οι ειδικές συσκευασίες SRP (Self Ready Packaging) .....	30
Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup> : Οι τεχνικές προδιαγραφές και ιδιότητες χαρτοκιβωτίων για την μεταφορά μεγάλου όγκου και βάρους.....	34
2.1 Η διαδικασία παραγωγής συσκευασιών από κυματοειδές χαρτόνι .....	34
2.1.1 Η διαδικασία παραγωγής κουτιών με σχισμή (RSC) .....	34
2.1.2 Η παραγωγή κομμένων συσκευασιών .....	38
2.2 Οι βασικές ιδιότητες και οι παράμετροι του κυματοειδούς χαρτονιού .....	47
2.3 Οι βασικές ιδιότητες και παράμετροι των συσκευασιών .....	53
2.4 Τα πρότυπα συσκευασίας, αποθήκευσης και μεταφοράς συσκευασιών μεγάλου όγκου και βάρους .....	58
Επίλογος .....	63
Βιβλιογραφία.....	64

## Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1 : Κυματοειδές χαρτόνι μονής όψης .....	17
Εικόνα 2 : Κυματοειδές χαρτόνι διπλής όψης .....	17
Εικόνα 3 : Διπλό κυματοειδές χαρτόνι με πέντε φύλλα .....	18
Εικόνα 4 : Ενισχυμένο κυματοειδές χαρτόνι με επτά φύλλα .....	18
Εικόνα 5 : Προφίλ των αυλακώσεων .....	19
Εικόνα 6 : Διαδικασία παραγωγής αυλακώσεων μονής όψης σε χαρτόνι .....	22
Εικόνα 7 : Διαδικασία παραγωγής αυλακώσεων μονής όψης σε χαρτόνι με ιμάντα πίεσης .....	22
Εικόνα 8 : Διαδικασία παραγωγής αυλακώσεων μονής όψης σε χαρτόνι με ρολό πίεσης ...	23
Εικόνα 9 : Μηχάνημα αυλακώσεων «υγρού άκρου» .....	25
Εικόνα 10 : Μηχάνημα αυλακώσεων «ξηρού άκρου» .....	25
Εικόνα 11 : Φύλλα από κυματοειδές χαρτόνι .....	27
Εικόνα 12 : Κουτιά με σχισμή .....	28
Εικόνα 13 : Κουτιά τύπου τηλεσκοπίου .....	28
Εικόνα 14 : Κουτιά αναδιπλούμενου τύπου .....	29
Εικόνα 15 : Συρόμενα κουτιά .....	29
Εικόνα 16 : Άκαμπτα κιβώτια .....	29
Εικόνα 17 : Έτοιμα κολλημένα κιβώτια .....	30
Εικόνα 18 : Τα εσωτερικά μέρη ενός κιβωτίου .....	30
Εικόνα 19 : Συσκευασίες Bag-in-Box .....	32
Εικόνα 20 : Συσκευασίες προβολής και σημεία πώλησης .....	33
Εικόνα 21 : Διάγραμμα του φλεξογραφικού εκτυπωτή με το μελάνι και το θάλαμο λεπίδων .....	36
Εικόνα 22 : Διάγραμμα φλεξογραφικού εκτυπωτή με ελαστικό κύλινδρο .....	36
Εικόνα 23 : Μηχάνημα παραγωγής κουτιών με σχισμή – inliner (FFG) .....	38
Εικόνα 24 : Φλεξογραφικός εκτυπωτής εκτός σύνδεσης .....	39
Εικόνα 25 : Inline φλεξογραφικός εκτυπωτής .....	40
Εικόνα 26 : Επίπεδες στάτζες, κοπής και πίκμανσης κοπής .....	41
Εικόνα 27 : Περιτροφικές στάτζες, κοπής και πίκμανσης κοπής .....	42
Εικόνα 28 : Μηχάνημα κολλητών πολλαπλών σημείων .....	44
Εικόνα 29 : Διάγραμμα της εκτυπωτικής μηχανής offset .....	46
Εικόνα 30 : Η δοκιμή αντοχής των ακρών .....	48
Εικόνα 31 : Επίπεδη δοκιμή αντοχής .....	49
Εικόνα 32 : Δοκιμή θραύσης .....	50
Εικόνα 33 : Δοκιμή ακαμψίας 4 σημείων .....	51
Εικόνα 34 : Δοκιμή απορρόφησης νερού .....	52
Εικόνα 35 : Κάμψη κυματοειδούς χαρτονιού .....	53
Εικόνα 36 : Δοκιμή συμπίεσης κουτιού .....	54
Εικόνα 37 : Διαστάσεις ενός κιβωτίου .....	56
Εικόνα 38 : Διακυμάνσεις του χαρτονιού (fishtail) .....	57
Εικόνα 39 : Κιβώτιο για την συσκευή του ψυγείου .....	55
Εικόνα 40 : Κιβώτιο για την συσκευή του πλυντηρίου .....	56
Εικόνα 41 : Κιβώτιο για την συσκευή της ηλεκτρικής κουζίνας .....	58
Εικόνα 42 : Κιβώτια για όλες τις ηλεκτρικές συσκευές του σπιτιού .....	59





## **Περιεχόμενα πινάκων**

Πίνακας 1 : Σύθεση των μελανιών τύπου offset (σε ποσοστό) .....	16
Πίνακας 2 : Παράμετροι του προφίλ αυλακώσεων .....	20

## Εισαγωγή

Το κυματοειδές χαρτόνι είναι ουσιαστικά ένα κομμάτι από χαρτί που αποτελείται από κυματοειδές στρώμα χαρτιού που απλώνεται μεταξύ της εσωτερικής και της εξωτερικής επένδυσης του χαρτονιού. Σε έναν εξωτερικό τοίχωμα, που αποτελεί τη μία πλευρά της βάσης από κυματοειδές χαρτόνι, υπάρχουν δύο στρώματα όπου το ένα είναι το προστατευτικό φύλλο και το άλλο το κυματοειδές χαρτί. Η κυματοειδής κατασκευή χαρτιού αποτελείται από τρία στρώματα όπου είναι 2 στρώματα τοιχωμάτων και 1 στρώμα κυματοειδές χαρτιού. Περίπου το 80% του κυματοειδούς χαρτονιού κατασκευάζεται ως χαρτόνι μονού τοιχώματος. Τα κυματοειδείς χαρτόνια με 2 και 3 τοιχώματα αποτελούνται από πέντε και επτά στρώματα, αντίστοιχα. Το κυματοειδές χαρτόνι κατασκευάζεται με βάση πολλά προφίλ αυλακώσεων όπου μπορούν να ομαδοποιηθούν ως τύποι αυλακώσεων A, B, C, E ή F.

Οι σχεδιαστές χαρτονιών ανακάλυψαν πριν από πολύ καιρό ότι ένα τόξο με την κατάλληλη καμπύλη είναι ο ισχυρότερος τρόπος για να επεκταθεί ένας δεδομένος χώρος. Οι παραγωγικές μονάδες χαρτονιών έχουν εξελίξει τα κυματοειδή φύλλα έχοντας κατά νου αυτή τη βασική αρχή. Το αυλακωτό μέρος συγκολλείται με μια κόλλα αμύλου. Μετά τη συγκόλληση, το κολλημένο χαρτόνι είναι ανθεκτικό στην κάμψη. Οι αυλακώσεις στοχεύουν στην απορρόφηση των κραδασμών όταν ασκείται πίεση από τα πλάγια και όταν γίνεται τοποθέτηση στην άκρη σχηματίζονται άκαμπτα μέρη ικανά να υποστηρίξουν μεγάλο βάρος. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα χαρτόνια είναι αυτά με τις αυλακώσεις τύπου C και B. Άλλα περιλαμβάνουν αυλακώσεις τύπου A, E και F. Ειδικά χαρτόνια με μικρο-αυλακώσεις δημιουργήθηκαν πρόσφατα για να σχηματίσουν εξειδικευμένες και ικανές λύσεις να ανταγωνιστούν την αγορά συσκευασιών (από χαρτόνια). Γενικά, τα μεγαλύτερα χαρτόνια με τις αντίστοιχες αυλακώσεις προσφέρουν μεγαλύτερη αντοχή σε κατακόρυφη συμπίεση και μεγαλύτερη προστασία κατά των κραδασμών. Τα μικρότερα χαρτόνια με τις αντίστοιχες αυλακώσεις προσφέρουν πλεονεκτήματα στην διαδικασία της εκτύπωσης καθώς και δομικά πλεονεκτήματα για συσκευασίες στο τομέα της λιανικής.

# Κεφάλαιο 1<sup>ο</sup> : Ο ορισμός και τα χαρακτηριστικά του κυματοειδούς χαρτονιού

## 1.1 Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κυματοειδούς χαρτονιού και συσκευασιών

### 1.1.1 Το χαρτί

Το κύριο συστατικό για την παραγωγή κυματοειδούς χαρτονιού είναι το χαρτί. Ανάλογα με τον τύπο της εφαρμογής και τις ιδιότητες του, το χαρτί που χρησιμοποιείται για την παραγωγή κυματοειδούς χαρτονιού μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες (Gajewski et al., 2021) :

- Χαρτί με επίπεδη στρώση – επένδυση.
- Χαρτί με κυματοειδείς στρώσεις – αυλακώσεις.

Οι κυματοειδείς επενδύσεις είναι ανάλογες με τη διαδικασία κατασκευής και τη σύνθεση των συστατικών τους και ανήκουν σε μία από τις δύο κύριες κατηγορίες (Gajewski et al., 2021) :

- Η επένδυση χαρτιού kraftliners.
- Η επένδυση χαρτιού testliners.

Η επένδυση χαρτιού kraftliner έχει τις καλύτερες παραμέτρους αντοχής μεταξύ όλων των επενδύσεων. Αποτελείται από τον πολτό κυτταρίνης με μια ελαφρά προσθήκη της ανακυκλωμένης ίνας. Συνήθως το προστατευτικό στρώμα είναι καλύτερα κολλημένο και έχει μεγαλύτερη απαλότητα. Η επένδυση χαρτιού topliner (λευκή επένδυση χαρτιού kraftliner) είναι μια κατηγορία επένδυσης χαρτιού kraftliner. Το προστατευτικό στρώμα του στις περισσότερες περιπτώσεις είναι από λευκασμένο πολτό kraft, ενώ το κάτω στρώμα είναι από μη λευκασμένο πολτό. Για τις πιο προηγμένες επιγραφές χρησιμοποιούνται επενδύσεις χαρτιού kraftliner με λευκή επίστρωση, όπου το προστατευτικό στρώμα είναι κυρίως επικαλυμμένο με χρώμα

επίστρωσης χρωστικών ουσιών. Η επένδυση χαρτιού testliner είναι η επένδυση χαρτιού δύο στρώσεων, που κατασκευάζονται συχνότερα από 100% επαναχρησιμοποιούμενο χαρτί. Η επένδυση χαρτιού testliner είναι ένας συνδυασμός δύο στρώματων. Μια τέτοια κατασκευή επιτρέπει τη χρήση πολτού kraft για το προστατευτικό στρώμα και της ανακυκλωμένης ίνας για το κάτω στρώμα. Λόγω της σχέσης τιμής μεταξύ της ακριβής μάζας κυτταρίνης και του φθηνότερου χαρτιού, παρατηρείται η συνεχή ανάπτυξη του φθηνότερου χαρτιού στις δοκιμές που πραγματοποιούνται. Το συγκεκριμένο είδος κατασκευάζεται όλο και περισσότερο εξ' ολοκλήρου από ανακυκλωμένες ίνες. Σε τέτοιες περιπτώσεις το προστατευτικό στρώμα(επάνω στρώση) βάφεται για να μοιάσει στο χρώμα του πολτού kraft. Ομοίως με την επένδυση χαρτιού kraftliner, το testliner κατασκευάζεται με το λευκό προστατευτικό στρώμα παρόμοιας λευκότητας. Για τις πιο προηγμένες επιγραφές παράγεται η επικαλυμμένη επένδυση χαρτιού testliner, όπου το προστατευτικό στρώμα επικαλύπτεται συχνότερα με το χρώμα επίστρωσης χρωστικών (Boacaetal., 2021).

Εκτός από τα προαναφερθέντα κανονικά είδη χαρτιού υπάρχουν και οι ειδικοί τύποι χαρτιού με συγκεκριμένες ιδιότητες. Οι ειδικοί τύποι χαρτιού περιλαμβάνουν μεταξύ άλλων (Mrówczyńskietal., 2022a) :

- Χαρτί υγρής αντοχής : Όπου χρησιμοποιείται για να διασφαλίσει τη διατήρηση των ιδιοτήτων αντοχής μετά την υγροποίηση του (PN-P-50000:1992).
- Παχύ χαρτί : Όπου είναι χαρτί υψηλής αντοχής σε λίπος και γράσο. Μερικά από αυτά τα χαρτιά είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά στη διείσδυση των παραπάνω ουσιών (PN-P-50000:1992).
- Χαρτί με ενίσχυση : Όπου έχει προστατευτική στρώση [π.χ. από πολυαιθυλένιο (PE)], που καλύπτει τη μία ή και τις δύο πλευρές του χαρτιού (PN-EN 26590-1:1993).

- Πυρίμαχο χαρτί : Όπου είναι ανθεκτικό στη φωτιά και/ή στην ανάφλεξη (PN-P-50000:1992).

Το χαρτί με αυλακώσεις χωρίζεται σε δύο κατηγορίες(Mrówczyński et al., 2022b) :

- Το χαρτί με αυλακώσεις βασισμένο στα απόβλητα (WBF).
- Το χαρτί με ημιχημικές αυλακώσεις (SC).

Το χαρτί με αυλακώσεις βασισμένο στα απόβλητα κατασκευάζεται αποκλειστικά από ανακυκλωμένες ίνες. Προκειμένου να βελτιωθούν οι μηχανικές ιδιότητες των αυλακώσεων στο χαρτί, προστίθεται άμυλο στη βάση του. Αυτή η διαδικασία περιγράφεται ευρέως ως συγκόλληση. Μπορεί να πραγματοποιηθεί στο χοντρό χαρτί (δηλαδή να γίνει κολλάρισμα όπου θα εισαχθεί άμυλο στον πολτό του χαρτιού) ή μπορεί να εφαρμοστεί επιπλέον άμυλο στην επιφάνεια του χαρτιού (μεγέθυνση επιφάνειας). Το χαρτί με ημιχημικές αυλακώσεις περιέχει περίπου το 70% του ημιχημικού πολτού, που κατασκευάζεται από σκληρό ξύλο (κυρίως σημύδα) κατά τη διαδικασία πολτοποίησης. Το υπόλοιπο μέρος αυτού του πολτού αποτελείται κυρίως από επαναχρησιμοποιούμενο χαρτί (Sales et al., 2018).

### **1.1.2 Οι κυματοειδείς κόλλες και τα μελάνια**

Οι πιο δημοφιλείς κόλλες για τη συγκόλληση των στρώσεων του κυματοειδούς χαρτονιού είναι οι κόλλες αμύλου. Τα δυνατά τους σημεία είναι η βιο-αποικοδόμηση και η ανανεώσιμη πηγή προέλευσης τους. Τα βασικά συστατικά της κόλλας αμύλου είναι τα εξής (Dekker, 2012) :

- Το μεταποιημένο ή εγγενές άμυλο όπου προέρχεται κυρίως από καλαμπόκι ή από σιτάρι.
- Η καυστική σόδα.
- Ο βόρακας.
- Το νερό.

Στη παραγωγική διαδικασία συσκευασιών εφαρμόζονται διάφορες τεχνικές εκτύπωσης (μεταξοτυπία, μέθοδος offset), ωστόσο η πιο δημοφιλής μέθοδος είναι η φλεξογραφία όπου γίνεται με τη χρήση μελανιών φλεξογραφίας . Τα τυπικά φλεξογραφικά μελάνια περιλαμβάνουν(Dekker, 2012) :

- Χρωστικές ουσίες.
- Συνδετικές ουσίες.
- Ρητίνες γαλακτώματος.
- Ρητίνες διάλυσης.
- Άλλα πρόσθετα.
- Νερό ως διαλύτης.

Οι χρωστικές ουσίες σχηματίζονται περίπου με το 10% της μάζας μελανιού και δίνουν χρώμα στα μελάνια εκτύπωσης. Για την παραγωγή των φλεξογραφικών μελανιών χρησιμοποιούνται κυρίως οργανικές χρωστικές ουσίες. Το διοξείδιο του τιτανίου είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη λευκή χρωστική ουσία. Οι συνδετικές ουσίες αποτελούν περίπου το 20% της μάζας του μελανιού. Οι ακρυλικές ρητίνες (παράγωγα ακρυλικού οξέος) χρησιμοποιούνται ως συνδετικοί παράγοντες σε μελάνια με βάση το νερό. Οι συνδετικές ουσίες του μελανιού είναι υπεύθυνες για τη χρησιμότητα του μελανιού καθώς και για το πεδίο εφαρμογής του. Χρησιμοποιούνται συνθέσεις δύο τύπων ακρυλικών - γαλακτωμάτων και διαλυτικών ουσιών. Οι ρητίνες γαλακτώματος είναι μαλακές, εύκαμπτες, δεν έχουν γυαλάδα και χρησιμοποιούνται σε μελάνια για τα μη επικαλυμμένα χαρτιά. Οι ρητίνες διάλυσης είναι σκληρές, εύθραυστες, γυαλιστερές και στεγνώνουν γρήγορα, επομένως χρησιμοποιούνται σε μελάνια για επικαλυμμένα χαρτιά. Τα πρόσθετα υλικά σχηματίζουν περίπου το 5% της μάζας μελανιού. Ανάλογα με τον σκοπό της εφαρμογής υπάρχουν(Gaikwadetal., 2016) :

- Κερία.
- Επιφανειοδραστικοί παράγοντες.
- Αντιαφριστικοί παράγοντες.
- Επιβραδυντικά ή επιταχυντικά στεγνώματος.

Τα κεριά χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της αντοχής στο τρίψιμο του μελανιού, μειώνοντας την επαφή και βελτιώνοντας την ολίσθηση. Στα φλεξογραφικά μελάνια χρησιμοποιούνται συνθετικά κεριά (πολυαιθυλένιο). Οι επιφανειοδραστικοί είναι διαβρεκτικοί παράγοντες, που εισάγονται στα μελάνια για να μειώσουν την επιφανειακή πίεση. Αυτό αποτρέπει προβλήματα διαβροχής κατά τη διανομή και την εκτύπωση της χρωστικής ουσίας. Οι αντιαφριστικοί παράγοντες στην πλειοψηφία τους είναι αντιαφριστικά υλικά με βάση τη σιλικόνη και τα λιπαρά οξέα. Τα επιβραδυντικά ή τα επιταχυντικά στεγνώματος είναι γλυκόλες ή ανώτερες αλκοόλες που καθυστερούν το στέγνωμα του μελανιού και βελτιώνουν τη σύνδεση των σωματιδίων του πολυμερούς (Garbowskietal., 2021a).

#### Μελάνια τύπου offset

Τα μελάνια τύπου offset λόγω της τεχνολογίας εκτύπωσης μπορούν να χωριστούν στις ακόλουθες τρεις βασικές κατηγορίες(Garbowskietal., 2021b) :

- Μελάνια για εκτύπωση σε φύλλα.
- Μελάνια για εκτύπωση μέσω διαδικτύου και στερέωση με απορρόφηση (τύπου ψυχρής ρύθμισης).
- Μελάνια για εκτύπωση μέσω διαδικτύου και στερέωση με εξάτμιση του διαλύτη διαμέσου υψηλού βρασμού που θερμαίνεται με ζεστό αέρα ή φωτιά (τύπος θερμότητας).

Ο Πίνακας 1 δείχνει τις μέσες συνθέσεις (σε ποσοστό) των προαναφερθέντων μελανιών τύπου offset.

Στοιχεία μελανιού	Φύλλα μελανιού	Μελάνες ψυχρής ρύθμισης	Μελάνες θερμής ρύθμισης
Χρωστικές	15-25	20-25	15-25
Ρητίνες	25-20	8-12	25-35
Αλκυδικές ρητίνες/ξηραντικά λάδια	20-30	0-12	5-15
Ορυκτέλαιο	20-25	60	25-40
Πρόσθετα	5-10	1-5	5-10

**Πίνακας 1 :** Σύνθεση των μελανιών τύπου offset (σε ποσοστό)

(πηγή : Ίδια επεξεργασία)

Τα μελάνια τύπου offset, λόγω της ειδικής τεχνολογίας εκτύπωσης (μεταφορά μελάνης μέσω ενδιάμεσου κυλίνδρου) και χαμηλού πάχους μελανιού σε μια εκτύπωση (1-2 χιλιοστά), πρέπει να έχουν υψηλή αντοχή χρώματος και σημαντική αντοχή στο φως. Αυτά τα μελάνια πρέπει επίσης να έχουν ορισμένες υδρόφοβες ιδιότητες, τα εκτυπωτικά και τα μη εκτυπωτικά στοιχεία των πλακών της εκτυπωτικής μηχανής offset τοποθετούνται στο ίδιο επίπεδο. Τα εκτυπωτικά στοιχεία έχουν υδρόφοβες ιδιότητες ενώ τα μη εκτυπωτικά στοιχεία έχουν υδρόφιλες ιδιότητες. Έτσι, για να ενεργοποιηθεί η διαδικασία εκτύπωσης, το μελάνι δεν πρέπει να διαβρέχει τα μη εκτυπωτικά στοιχεία της φόρμας και θα πρέπει να αναλαμβάνεται μόνο από τα στοιχεία εκτύπωσης (Chenetal., 2011).

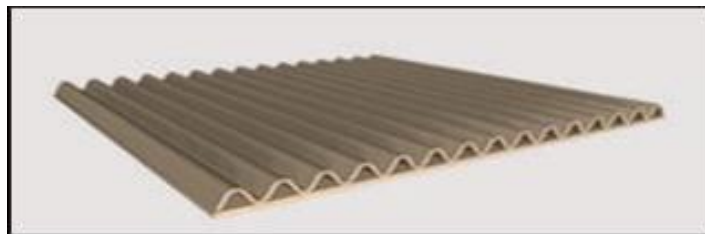
## **1.20 ορισμός και τα χαρακτηριστικά του κυματοειδούς χαρτονιού**

Οι τύποι κυματοειδών χαρτονιών

Το κυματοειδές χαρτόνι αποτελείται από ένα ή περισσότερα στρώματα χαρτιού με αυλακώσεις, εναλλάξ με ένα ή περισσότερα στρώματα χαρτιού. Ανάλογα με τον αριθμό των στρώσεων στο κυματοειδές χαρτόνι υπάρχουν (Bögöcz, 2015) :



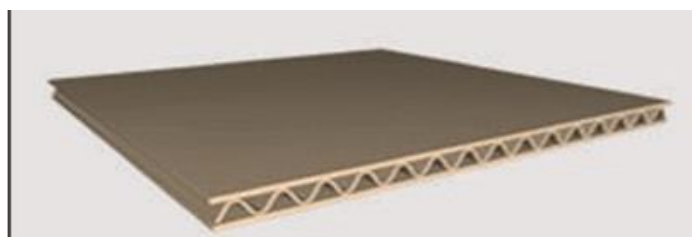
- Κυματοειδές χαρτόνι μονής όψης : Όπου αποτελείται από μία στρώση ενισχυμένου χαρτιού με αυλακώσεις σε συνδυασμό με μια στρώση χαρτιού απλής επένδυσης (PN-P-50000:1992).



**Εικόνα 1 :** Κυματοειδές χαρτόνι μονής όψης

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

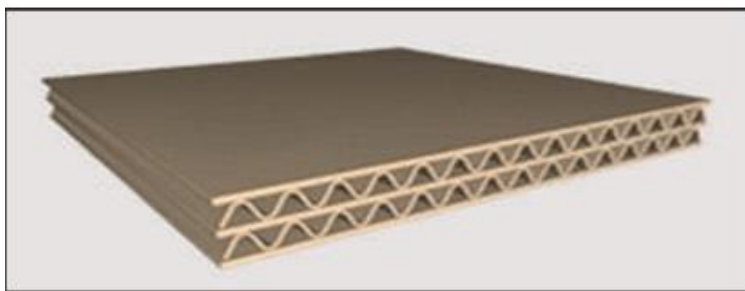
- Κυματοειδές χαρτόνι διπλής όψης : Όπου αποτελείται από τρία στρώματα. Μία στρώση ενισχυμένου χαρτιού με αυλακώσεις ανάμεσα σε δύο στρώσεις χαρτιού απλής επένδυσης (PN-P-50000:1992).



**Εικόνα 2 :** Κυματοειδές χαρτόνι διπλής όψης

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

- Διπλό κυματοειδές χαρτόνι: Όπου αποτελείται από πέντε φύλλα. Δύο στρώσεις ενισχυμένου χαρτιού με αυλακώσεις σε συνδυασμό με εναλλασσόμενες στρώσεις χαρτιού απλής επένδυσης (PN-P-50000:1992).



**Εικόνα 3 :** Διπλό κυματοειδές χαρτόνι με πέντε φύλλα

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

- Ενισχυμένο κυματοειδές χαρτόνι : Όπου αποτελείται από επτά φύλλα. Τρεις στρώσεις ενισχυμένου χαρτιού με αυλακώσεις σε συνδυασμό με εναλλασσόμενες στρώσεις χαρτιού απλής επένδυσης(PN-P-50000:1992).



**Εικόνα 4 :** Ενισχυμένο κυματοειδές χαρτόνι με επτά φύλλα

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

Δεν είναι τόσο συγχοί όσο οι προαναφερθέντες τύποι, αλλά εξακολουθούν να είναι διαθέσιμα και τα χαρτόνια τεσσάρων και εννέα φύλλων. Επιπλέον, υπάρχουν τα παρακάτω χαρτόνια για ειδικούς σκοπούς(Böröcz, 2015) :

- Υδρόφοβα χαρτόνια (χαρτόνια ανθεκτικά στην υγρασία, με αδιάβροχη κόλλα).
- Χαρτόνια με ταινία (ταινίες αποκοπής ή ενίσχυσης).

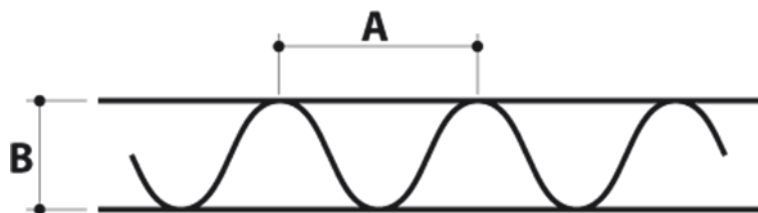
- Χαρτόνια φραγμού όπου αποτελούνται από αδιάβροχα ή μη φιλικά προς τα λιπαντικά (PN-P 50000:1992) και άλλα υλικά.
- Προεκτυπωτικά χαρτόνια.
- Πυρίμαχα χαρτόνια.

#### Προφίλ αυλακώσεων

Το προφίλ αυλακώσεων εξαρτάται από τον τύπο των αυλακώσεων που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή και είναι ένας χαρακτηριστικός δείκτης του κυματοειδούς χαρτονιού. Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα προφίλ αυλακώσεων περιλαμβάνουν αυλακώσεις τύπου B, C και E. Επιπλέον, υπάρχουν κυματοειδές χαρτόνια με αυλακώσεις τύπου D, K, A, F, G, N, O. Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των προαναφερθέντων προφίλ αυλακώσεων περιλαμβάνουν (Parketal., 2020) :

- Ύψος και βάθος αυλακώσεων.
- Δείκτης απορρόφησης.

Το ύψος των αυλακώσεων (B) είναι η κατακόρυφη απόσταση βάσης έως την κορυφή μιας αυλακώσης, ενώ το βάθος των αυλακώσεων (A) είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ των γειτονικών κορυφών των αυλακώσεων που προσκολλώνται στο ίδιο φύλλο (Parketal., 2020).



**Εικόνα 5 :** Προφίλ των αυλακώσεων

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

Ο δείκτης απορρόφησης είναι η σχέση μεταξύ της ποσότητας μεσαίου τύπου χαρτιού και χαρτιού απλής επένδυσης που χρησιμοποιείται από μία μόνο επιφάνεια για την παραγωγή κυματοειδούς χαρτονιού. Αυτές οι παράμετροι είναι χαρακτηριστικές για συγκεκριμένους τύπους χαρτιών και μπορεί να διαφέρουν μεταξύ των διαφόρων κατασκευαστών. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι παράμετροι βρίσκονται εντός των ορίων που παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα(Gurpta&Shri, 2016).

Προφίλ	Δείκτης πρόσληψης	Ύψος (σε χιλιοστά)	Βάθος (σε χιλιοστά)
O	1.14	0.3	1.2
N	1.11–1.8	0.4–0.5	1.8
G	1.17	0.5	1.8
F	1.19–1.28	0.7–0.8	2.4–2.5
E	1.20–1.35	1.1–1.4	3.2–3.7
B	1.26–1.48	2.3–2.8	6.1–6.6
C	1.36–1.56	3.4–4.0	7.4–8.3
A	1.37–1.53	4.1–4.7	8.7–9.5
K	1.50	5.94	11.7
D	1.48	7.38	15.0

**Πίνακας 2 :** Παράμετροι του προφίλ αυλακώσεων

(πηγή : Ίδια επεξεργασία)

### **1.3Η τεχνολογική διαδικασία παραγωγής του κυματοειδούς χαρτονιού**

Το κυματοειδές χαρτόνι παράγεται σε μηχανήματα που είναι ειδικό στις πυκνότητες , το οποίο είναι μια εξελιγμένη γραμμή παραγωγής 100-140 μέτρων, που αποτελείται από έναν αριθμό ζευγαριών υποσυστημάτων και εγκαταστάσεων. Ένα μηχανήματος αυλακώσεων έχει τα ακόλουθα κύρια υποσυστήματα(Suarezetal., 2021) :

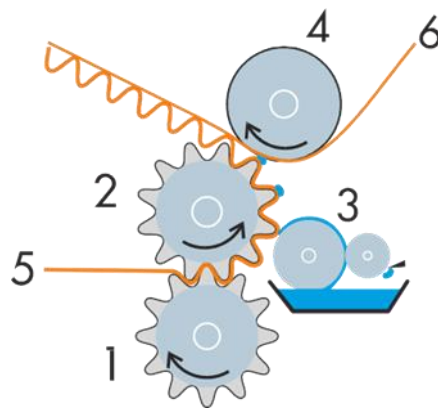
- Υποσύστημα διπλής όψης.

- Υποσύστημα διπλής υποστήριξης.
- Υποσύστημα τμήματος θέρμανσης και στεγνώματος.
- Υποσύστημα διαμήκους στάτζες, κοπής και πίκμανσης.
- Υποσύστημα σταυροκοπτικού,
- Υποσύστημα στοίβαξης.

Για να ξεκινήσει η παραγωγή κυματοειδούς χαρτονιού, είναι απαραίτητο, εκτός από τα τυπικά μέσα, όπως ηλεκτρική ενέργεια, το νερό, ο πεπιεσμένος αέρας, κλπ, να παρέχεται επίσης θερμότητα που απαιτείται για τη διαδικασία κολλαρίσματος. Γενικά χρησιμοποιούνται λέβητες (αεριογεννήτριες ατμού ή πετρελαίου), οι οποίοι μπορούν να παράγουν ατμό σε πιέσεις έως και 18 bar περίπου. Ένας τέτοιος ατμός επιτρέπει τη ρύθμιση και τον έλεγχο της θέρμανσης πολλών στοιχείων του συστήματος σε εύρος θερμοκρασιών που φτάνουν ακόμη και τους 200 βαθμούς κελσίου. Ένα άλλο συστατικό, απαραίτητο για τη συγκόλληση των στρώσεων χαρτιού, είναι μια κόλλα αμύλου. Η διαδικασία παραγωγής χαρτονιών ξεκινά από τη μονή όψη, όπου είναι στο υγρό άκρο του μηχανήματος για τις αυλακώσεις. Τα προετοιμασμένα ρολά χαρτιού με αυλακώσεις και με απλή επένδυση, τροφοδοτούνται στην μονή όψη, όπου τα δύο πρώτα στρώματα χαρτονιών έχουν αρκετό πάχος (Hansonetal., 2010).

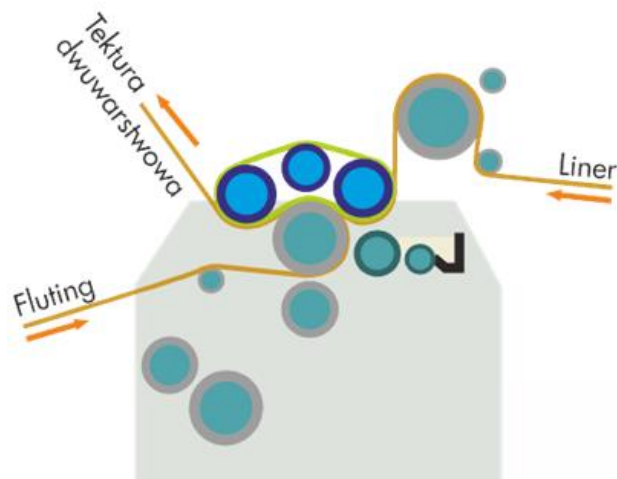
Αφού γίνει η θέρμανση και υπάρξει πίεση μεταξύ των αυλακώσεων, τότε πραγματοποιούνται οι τελικές αυλακώσεις. Ο τύπος των αυλακώσεων, δηλαδή το σχήμα των αυλακώσεων (συγκεκριμένων παραμέτρων όπως το βήμα και το ύψος της αυλάκωσης) είναι καθοριστικός για τον τύπο του παραγόμενου κυματοειδούς χαρτονιού και της χρησιμότητας του. Στη συνέχεια, οι κορυφές καλύπτονται επιμελώς με μια μικρή ποσότητα κόλλας αμύλου. Στο επόμενο βήμα, η θερμαινόμενη απλή επένδυση χαρτιού διαστασιοποιείται με τις αυλακώσεις. Λόγω της πίεσης που ασκείται στα χαρτόνια κατά τη μεταφορά μεταξύ του κυλίνδρου πίεσης και της διαδικασίας των αυλακώσεων, και ως αποτέλεσμα της θερμοκρασίας που δημιουργείται από τους κυλίνδρους που θερμαίνονται με ατμό, η κολλητική σύνδεση δένει τα δύο χαρτόνια. Το αποτέλεσμα που προκύπτει από αυτή τη διαδικασία είναι το κυματοειδές χαρτόνι μονής όψης. Στη συνέχεια το συγκεκριμένο χαρτόνι χρησιμοποιείται ως συστατικό για περαιτέρω επεξεργασία ή ως τελικό προϊόν. Ένα κυματοειδές χαρτόνι μονής όψης είναι ένα εύκαμπτο υλικό που μπορεί να τυλιχτεί

και είναι το απλούστερο προϊόν που χρησιμοποιείται για παράδειγμα ως προστατευτικό περιτύλιγμα ή απλή επένδυση για διάφορες επιφάνειες και προϊόντα. Ένα άλλο σημαντικό πεδίο εφαρμογής είναι η διαδικασία πλαστικοποίησης. Ένα διάγραμμα της διαδικασίας παραγωγής αυλακώσεων μονής όψης σε χαρτόνι παρουσιάζεται στην εικόνα 6, ενώ οι εικόνες 7 και 8 παρουσιάζουν την διαδικασία παραγωγής αυλακώσεων μονής όψης σε χαρτόνι με ιμάντα πίεσης και με κύλινδρο πίεσης αντίστοιχα (Popil&Hojjatie, 2010).



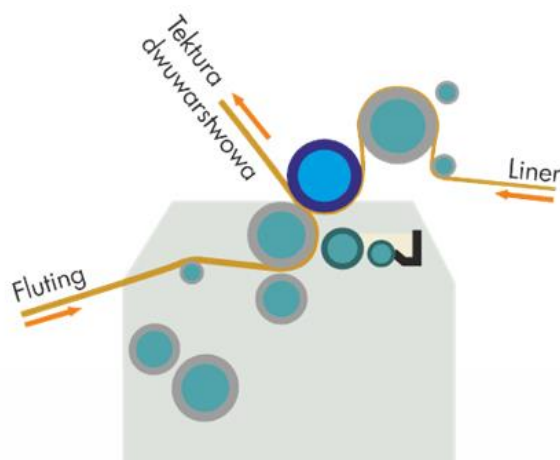
**Εικόνα 6 :** Διαδικασία παραγωγής αυλακώσεων μονής όψης σε χαρτόνι

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)



**Εικόνα 7 :** Διαδικασία παραγωγής αυλακώσεων μονής όψης σε χαρτόνι με ιμάντα πίεσης

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)



**Εικόνα 8 :** Διαδικασία παραγωγής αυλακώσεων μονής όψης σε χαρτόνι με ρολό πίεσης

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

Το επόμενο στάδιο στην παραγωγή του κυματοειδούς χαρτονιού είναι το μέγεθος της δεύτερης επένδυσης. Το κυματοειδές χαρτόνι μονής όψης που παράγεται, μεταφέρεται κατά μήκος της ειδικής γέφυρας προς τη διπλή όψη. Αυτό το τμήμα της κόλλας εφαρμόζεται στο κυματοειδές μέσο, και στη συνέχεια ο προετοιμασμένος ιστός του κυματοειδούς χαρτονιού μονής όψης φεύγει από το «υγρό άκρο» του αυλακωτού και τροφοδοτείται στη διπλή επιφάνεια, η οποία ανήκει στο «ξηρό άκρο». Ταυτόχρονα, η επένδυση τροφοδοτείται κάτω από τον ιστό του κυματοειδούς χαρτονιού. Η διαδικασία της τελικής συγκόλλησης πραγματοποιείται στη διπλή επιφάνεια. Ο ιστός από κυματοειδές χαρτόνι αναπτύσσεται μεταξύ της επιφάνειας της θερμαινόμενης επιφάνειας και ενός κινητού μάντα πίεσης, που συνήθως ονομάζεται "μάντας στεγνώματος", όπου η υπερβολική υγρασία εξατμίζεται (ατμός). Η διαδικασία μέσω της διπλής όψης εξασφαλίζει επίσης επαρκή ρύθμιση των συγκολλητικών αρμών (Mrówczyński et al., 2021).

Για να παραχθεί ένα κυματοειδές χαρτόνι πολλαπλών επιπέδων, το κυματοειδές χαρτόνι πρέπει να είναι εξοπλισμένο με πολλές μονές επιφάνειες, δύο για το πεντάφυλλο χαρτόνι και τρεις για το χαρτόνι επτά στρωμάτων. Στη συνέχεια, το

κυματοειδές χαρτόνι πηγαίνει στο τμήμα κοπής. Το πρώτο στάδιο είναι η διαμήκης κοπή ιστού όπου αυτό γίνεται στο μηχάνημα της στάτζες, κοπής και πίκμανσης/ του καλουπιού κοπής. Ο ιστός του χαρτονιού κόβεται κάθετα στον προσανατολισμό της αυλάκωσης στα απαιτούμενα πλάτη (μεγέθη). Ταυτόχρονα, το πλευρικό άκρο κόβεται για να παρέχει ευθείες άκρες των εξωτερικών φύλλων (όπου παράγεται μια επένδυση). Το πίκμανση είναι επίσης δυνατό κατά τη διαμήκης κοπή (για μελλοντικές πτυχώσεις) του φύλλου χαρτονιού. Το τσακισμένο φύλλο είναι εξάρτημα για την παραγωγή των πλευρών σε κουτιά από χαρτόνια. Το επόμενο βήμα είναι η εγκάρσια τομή του ιστού, δηλαδή παράλληλα με τον προσανατολισμό της αυλάκωσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις περιέχει δύο (μερικές φορές και τρία) ανεξάρτητα σετ ρολών με μαχαίρια κοπής. Αυτό επιτρέπει την ταυτόχρονη παραγωγή ενός, δύο ή και τριών μεγεθών φύλλου από τον ίδιο τύπο κυματοειδούς χαρτονιού (Ran&Liu, 2019).

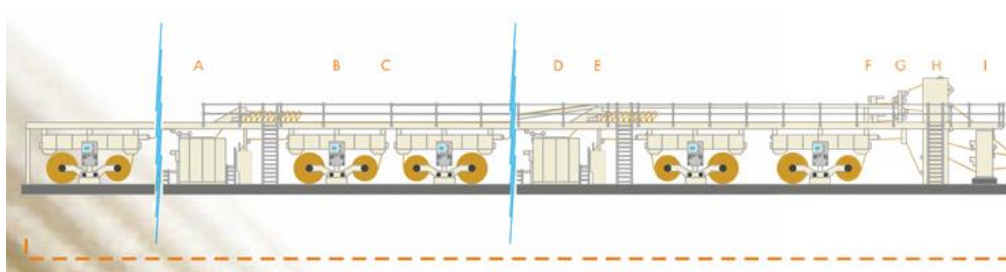
Τα φύλλα χαρτονιού, τα οποία έχουν κοπεί στα απαιτούμενα μεγέθη, μεταφέρονται στη συνέχεια με ιμάντα μεταφοράς σε μια μηχανή που τα στοιβάζει σε ομοιόμορφες διατεταγμένες στοίβες του ζητούμενου αριθμού φύλλων. Τέτοια παρασκευασμένα φύλλα μπορούν να στοιβάζονται στις παλέτες για άμεση πώληση ή μπορούν να μεταποιηθούν περαιτέρω σε συσκευασίες. Ο πιο δημοφιλής και εφαρμοσμένος εξοπλισμός κυματοειδών αυλακώσεων που παρέχει προστιθέμενη αξία είναι (Mrówczyński et al., 2022a) :

- Συστήματα κοπής προεκτύπωσης: Όπου επιτρέπουν τη σύγχρονη εγκάρσια κοπή του προεκτυπωμένου αυλακωτού ιστού στη σχεδιασμένη θέση. Το τυπωμένο χαρτόνι (συνήθως με πολύχρωμη επιγραφή υψηλής ποιότητας) χρησιμοποιείται κυρίως για παραγωγή μεγάλου όγκου και συστήματα εφαρμογής ταινίας όπως ταινίες αποκοπής, ενίσχυσης και σφράγισης, που προσθέτουν νέες λειτουργίες σε συσκευασίες από κυματοειδές χαρτόνι. Αυτά περιλαμβάνουν γρήγορο και εύκολο άνοιγμα, τοπική ενίσχυση αποτροπής θραύσης (π.χ. λαβή ενισχυτικών ταινιών ή προστασία από μη εξουσιοδοτημένο άνοιγμα, συστήματα επίστρωσης για χαρτόνι όπου μπορεί να έχει επίστρωση με κερί, λάκα, μελάνια ή άλλα παρασκευάσματα, τα οποία αυξάνουν την αντοχή του χαρτονιού στην υγρασία, το γράσο και άλλες ουσίες).



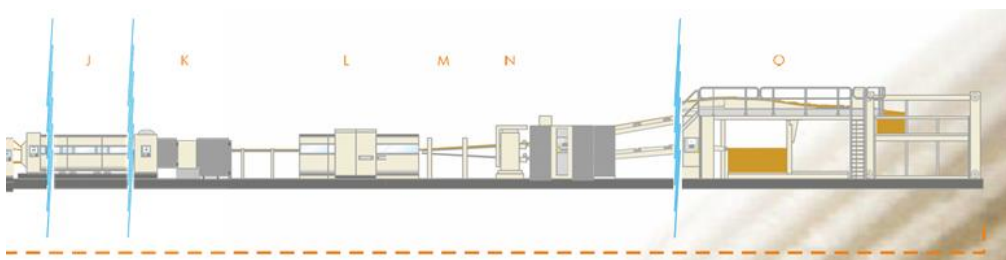
- Τα συστήματα σύγχρονων αυλακώσεων : Όπου στην παραγωγή κυματοειδούς χαρτονιού διπλής όψης φθάνουν σε ταχύτητες άνω των 300 μέτρων ανά λεπτό και είναι εξοπλισμένα με συστήματα αυτόματης σύνδεσης. Συνδυάζονται με το ξετύλιγμα ρολού χαρτιού και επιτρέπουν την αλλαγή του καρουλιού χωρίς να σταματά ή να επιβραδύνει σημαντικά το μηχάνημα και να μειώνουν επίσης σημαντικά την ποσότητα του σκραπ.

Επιπλέον, τα σύγχρονα μηχανήματα διαθέτουν πρόσθετα συστήματα που βελτιώνουν την αποτελεσματικότητά τους και διευκολύνουν τη συντήρηση και τον έλεγχο, γεγονός που βελτιώνει την ποιότητα του προϊόντος. Τα εγκατεστημένα συστήματα υπολογιστών επιτρέπουν έναν εκτεταμένο αυτοματισμό διεργασιών, εξασφαλίζουν τη μέγιστη αναπαραγωγικότητα, μειώνουν το σκραπ και την κατανάλωση ενέργειας. Συχνά συνδέονται με τα ολοκληρωμένα συστήματα διαχείρισης της εταιρείας, τα οποία επιτρέπουν την επίτευξη και υπέρβαση της ετήσιας παραγωγικής ικανότητας (100-200 εκατομμύρια τετραγωνικά μέτρα)(Wu&Li, 2021).



**Εικόνα 9 :** Μηχάνημα αυλακώσεων «υγρού άκρου»

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)



**Εικόνα 10 :** Μηχάνημα αυλακώσεων «ξηρού άκρου»

## **1.4 Η ταξινόμηση των συσκευασιών από κυματοειδής χαρτόνι**

Η μετατροπή είναι ένας όρος που χρησιμοποιείται παραδοσιακά για μια ομάδα διεργασιών όπου το κυματοειδές χαρτόνι μεταποιείται σε συσκευασίες. Οι συσκευασίες από κυματοειδές χαρτόνι μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με την κατασκευή, τη διαδικασία κατασκευής και την εφαρμογή τους (Pereiraetal., 2020).

### **1.4.1 Η ταξινόμηση ανάλογα με την κατασκευή της συσκευασίας**

Οι πιο συνηθισμένες συσκευασίες από κυματοειδές χαρτόνι είναι τα flapboxes, γνωστά και ως παραδοσιακά, American box, American standard, RSC (RegularSlottedContainer) ή FEFCO 201. Αυτές είναι μονοκόμματα συσκευασίες, οι οποίες μπορούν να παραχθούν από όλους τους τύπους κυματοειδούς χαρτονιού. Κατασκευάζονται σε αυτοματοποιημένες γραμμές, όπου σε ένα μόνο πέρασμα ενός σωστά προετοιμασμένου κυματοειδούς φύλλου πραγματοποιούνται οι διαδικασίες εκτύπωσης, κοπής, διπλώματος, κόλλησης και στοίβαξης. Αυτές οι συσκευασίες, χάρη στην εφαρμογή του προαιρετικού εξοπλισμού, μπορούν να τροποποιηθούν χρησιμοποιώντας πρόσθετα στοιχεία κοπής. Επιπλέον, η διαμόρφωση μπορεί να ενισχυθεί με συνδετήρες ή ταινία. Οι συσκευασίες με πτερύγια μπορούν επίσης να παράγονται σε απλούστερες αυτόνομες μηχανές που εκτελούν μεμονωμένες λειτουργίες. Τέτοιες διαδικασίες είναι λιγότερο αποτελεσματικές και απαιτούν μεγαλύτερη ένταση εργασίας (Pereiraetal., 2020).

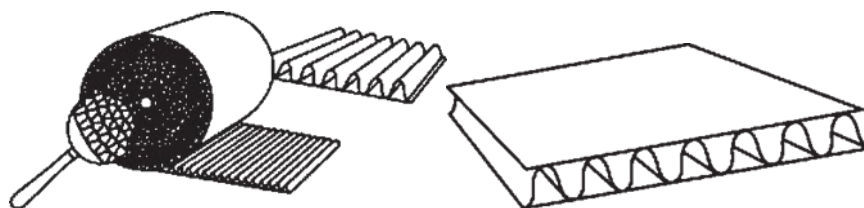
Ένας άλλος τύπος συσκευασιών είναι τα κομμένα κουτιά, γνωστά και ως διαμορφωμένες ή εξελεγμένες συσκευασίες. Παράγονται ως συσκευασίες μεγέθους και ως κενά κουτιά. Αυτή η ομάδα περιέχει πολλά και διάφορα σχέδια κλειστών συσκευασιών (κουτιά) και ανοιχτών συσκευασιών (δίσκοι). Αυτές οι συσκευασίες σχηματίζουν επόμενες υποομάδες, ανάλογα με το γέμισμα τους, ή τη χειροκίνητη ή αυτοματοποιημένη διαμόρφωση κ.λπ. Το κοινό χαρακτηριστικό αυτής της διαφοροποιημένης ομάδας είναι η κατασκευή τους με καλούπι. Η στάτσα κοπή είναι ένα κόντρα πλακέ κομμένο με λείζερ, καλυμμένο με λαστιγένιους αποσβεστήρες και

εκτοξευτές, με μαχαίρια με σχισμές, πτυχώσεις και διάτρηση. Ένα τέτοιο εργαλείο μπορεί να πραγματοποιήσει την πλήρη επεξεργασία του κυματοειδούς φύλλου. Ανάλογα με την κατασκευή του μηχανήματος, η κοπή με την χρήση της στάτζας, κοπής και πίκμανσης μπορεί να γίνει είτε σε πρέσες επίπεδης βάσης είτε σε περιστροφικές πρέσες (Köstneretal., 2017).

#### 1.4.2 Η ταξινόμηση FEFCO

Υπάρχουν πολλές τυπικές ταξινομήσεις συσκευασιών. Τις περισσότερες φορές χρησιμοποιείται ο κατάλογος FEFCO (Ευρωπαϊκή Ομοσπονδία Κατασκευαστών Κυματοειδών Χαρτονιών). Ο κωδικός FEFCO είναι ένα τετραψήφιο σύμβολο (π.χ. 0201), που προσδιορίζει το σχέδιο μιας συσκευασίας. Η ταξινόμηση FEFCO είναι οι εξής (Mrówczyński et al., 2021b) :

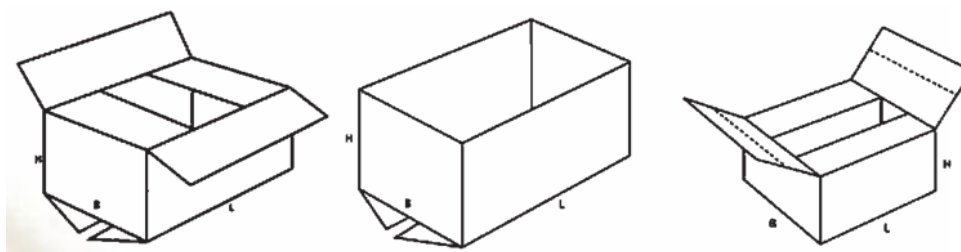
- Τα ρολά και τα φύλλα του εμπορίου φέρουν τον κωδικό 0100.



**Εικόνα 11 :** Φύλλα από κυματοειδές χαρτόνι

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

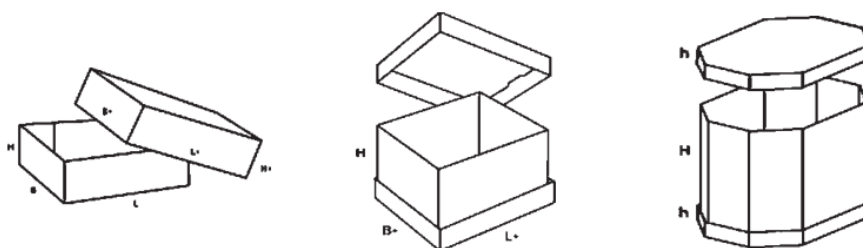
- Τα κιβώτια με σχισμή (κωδικός 0200) αποτελούνται συνήθως από ένα ενισχυμένο κομμάτι όπου είναι ραμμένο ή δεμένο με ταινία και περιέχει επάνω και κάτω πτερύγια.



## Εικόνα 12 : Κουτιά με σχισμή

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

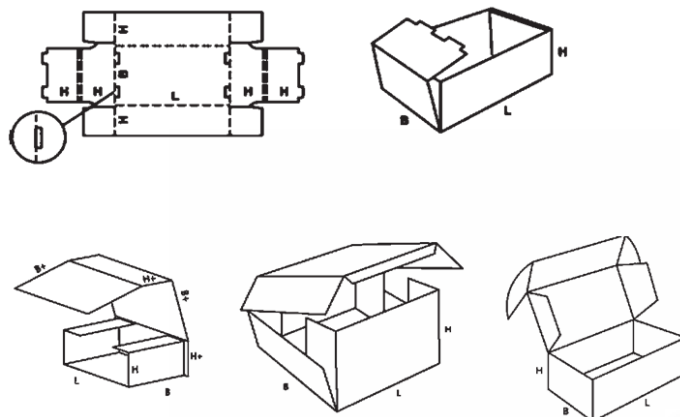
- Τα κιβώτια τύπου τηλεσκοπίου (κωδικός 0300) αποτελούνται συνήθως από δύο ή περισσότερα τεμάχια και αποτελούνται από ένα επάνω κομμάτι (καπάκι) που εφαρμόζει και στο κάτω μέρος του κουτιού ή και τα δύο εφαρμόζουν σε ένα ξεχωριστό σώμα κουτιού.



## Εικόνα 13 : Κουτιά τύπου τηλεσκοπίου

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

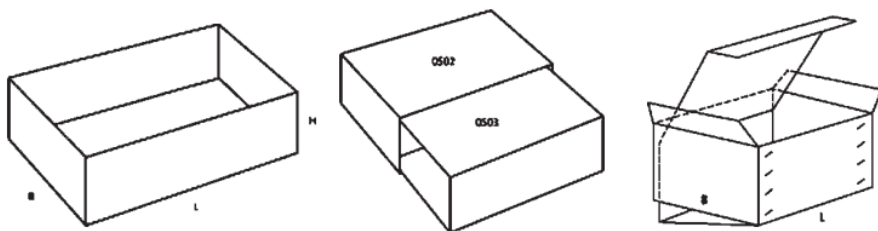
- Τα κιβώτια αναδιπλούμενου τύπου (κωδικός 0400) αποτελούνται συνήθως από ένα μόνο κομμάτι χαρτονιού. Το κάτω μέρος του κουτιού είναι αρθρωτό για να σχηματίσει δύο ή όλα τα πλευρικά τοιχώματα καθώς και το καπάκι. Σε αυτό το σχέδιο μπορούν να ενσωματωθούν γλωττίδες κλειδώματος, λαβές, πάνελ οθόνης κ.λπ.



#### Εικόνα 14 : Κουτιά αναδιπλούμενου τύπου

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

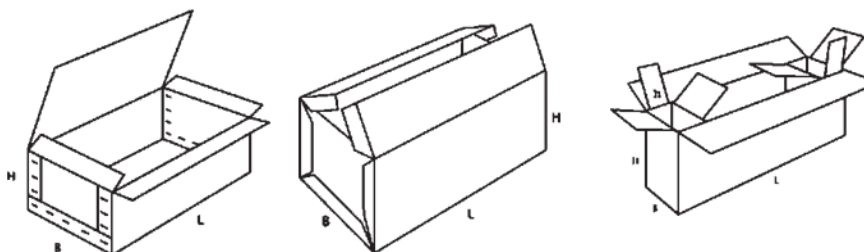
- Τα συρόμενα κιβώτια (κωδικός 0500) αποτελούνται από πολλά κομμάτια που γλιστρούν σε διαφορετικές κατευθύνσεις το ένα μέσα στο άλλο. Αυτή η ομάδα περιλαμβάνει επίσης εξωτερικά κομμάτια για άλλες περιπτώσεις.



#### Εικόνα 15 : Συρόμενα κουτιά

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

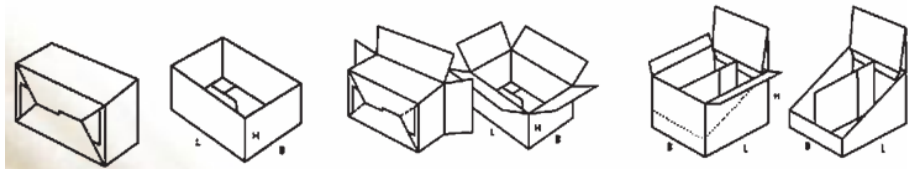
- Τα άκαμπτα κιβώτια (κωδικός 0600) αποτελούνται από δύο πλευρικά στοιχεία και ένα μεσαίο τμήμα που βρίσκεται στο κάτω μέρος καθώς και το καπάκι. Αυτά τα κουτιά μπορούν να παραδοθούν ως μεμονωμένα στοιχεία και πρέπει να ενωθούν με τη βοήθεια σφιγκτήρων.



#### Εικόνα 16 : Άκαμπτα κιβώτια

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

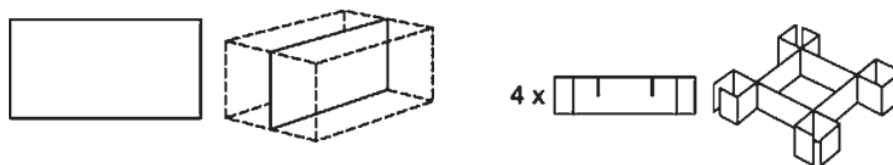
- Τα έτοιμα κολλημένα κιβώτια (κωδικός 0700) είναι μονοκόμματα κουτιά που αποστέλλονται επίπεδα και έτοιμα για χρήση με απλή εγκατάσταση. Τα κουτιά μπορούν να εφοδιαστούν με πτυσσόμενο πάτο (αναδιπλούμενο κάτω μέρος) ή με διαγώνια κάμψη (ανορθωμένο μέρος).



**Εικόνα 17 :** Έτοιμα κολλημένα κιβώτια

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

- Τα εσωτερικά μέρη (0900) όπως πρόσθετα, διαχωριστικά και διαχωριστικά τοιχώματα μπορούν να στερεωθούν στο κουτί. Ο αριθμός των στοιχείων είναι μεταβλητός.



**Εικόνα 18 :** Τα εσωτερικά μέρη ενός κιβωτίου

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

#### 1.4.4 Οι ειδικές συσκευασίες SRP (SelfReady Packaging)

SRP (SelfReady Packaging)

Οι συσκευασίες SRP κατασκευάζονται για χρήση στα ράφια των καταστημάτων. Οι συσκευασίες SRP έχουν γίνει ένα σημαντικό στοιχείο της αγοράς και ένα όλο και πιο συχνά χρησιμοποιούμενο εργαλείο στο μάρκετινγκ επωνυμίας. Οι συσκευασίες SRP πρέπει να πληρούν τα ακόλουθα κριτήρια(Chenetal., 2011) :

- Άμεση αναγνώριση : Η οποία επιτρέπει την άμεση αναγνώριση του περιεχομένου. Η συσκευασία παρέχει βασικές πληροφορίες που είναι απαραίτητες για το προϊόν (π.χ. όνομα προϊόντος, γραμμωτό κώδικα, αριθμό μονάδων, βάρος και εγκυρότητα). Έτσι η μάρκα και το προϊόν παρουσιάζονται με ορθά δομημένο τρόπο.
- Εύκολο άνοιγμα : Η οδηγία ανοίγματος συσκευασιών SRP πρέπει να τοποθετείται σε εμφανές σημείο και σε γραφική μορφή. Το εύκολο άνοιγμα διευκολύνει την εργασία του προσωπικού που είναι υπεύθυνο για την παρουσίαση των εμπορευμάτων σε ένα κατάστημα. Δεν είναι απαραίτητο κάποιου είδους μαχαίρι ή άλλα αιχμηρά εργαλεία για το άνοιγμα της συσκευασίας. Μπορεί επίσης να έχει λαβές ή τρύπες για την μεταφορά του.
- Εύκολη διάταξη στα ράφια :Οι συσκευασίες SRP έχουν τυποποιημένες διαστάσεις, οι οποίες είναι σχετιζόμενες με το μέγεθος του ραφιού όπου τοποθετούνται. Αυτό επιτρέπει την αποτελεσματική χρήση του χώρου του ραφιού, ενώ η διαδικασία τακτοποίησης του προϊόντος είναι απλή και εύκολη. Η συσκευασία SRP, ακόμα και μετά την αφαίρεση μέρους του περιεχομένου της, διατηρεί σταθερότητα και επιτρέπει την αισθητική εμφάνιση των προϊόντων.
- Εύκολες πωλήσεις : Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της συσκευασίας SRP είναι η αισθητική και η άνεση της. Οι συσκευασίες έχουν σχεδιαστεί για να προσελκύουν την προσοχή των πελατών και να ενθαρρύνουν τους ανθρώπους να αγοράζουν τα προϊόντα που διαφημίζονται. Πρέπει όχι μόνο να προστατεύουν το προϊόν, αλλά και να εκτελούν τη λειτουργία μάρκετινγκ. Η συσκευασία SRP θα πρέπει επίσης να προσφέρει εύκολη πρόσβαση σε μεμονωμένα προϊόντα, τα οποία με τη σειρά τους θα πρέπει να δημιουργήσουν την πίστη των πελατών.
- Εύκολη απόρριψη : Οι συσκευασίες SRP είναι επίσης σχεδιασμένες για εύκολη απόρριψη. Εάν είναι μίας χρήσης, συνήθως κατασκευάζονται από

έναν μόνο τύπο υλικού. Συχνά, οι συσκευασίες SRP είναι επαναχρησιμοποιήσιμες.

### Συσκευασίες Bag-in-Box

Οι συσκευασίες Bag-in-Box χρησιμοποιούνται στους τομείς των τροφίμων, της φαρμακευτικής και της οικιακής χημείας, για τη συσκευασία υγρών και ημιρευστών, κυρίως μεταξύ 2 και 1000 λίτρων. Το Bag-in-Box αποτελείται από μια εσωτερική συσκευασία, όπου συνήθως είναι μια τσάντα πολυεπίπεδου πολυαιθυλενίου με κλείσιμο και μια εξωτερική συσκευασία, και ένα κουτί από κυματοειδές χαρτόνι. Αυτά τα συστήματα χρησιμοποιούνται στους τομείς των τροφίμων και της βιομηχανίας, όπου η παρατεταμένη διάρκεια ισχύος και η συντήρηση του προϊόντος είναι απαραίτητη (Salesetal., 2018).



**Εικόνα 19 :** Συσκευασίες Bag-in-Box

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

### Συσκευασίες προβολής και POS (σημείο πώλησης)

Οι συσκευασίες προβολής ή POS (Point of Sales) παίζουν κυρίως ρόλο μάρκετινγκ και διαφήμισης. Η εφαρμογή μιας αποτελεσματικής κατασκευής σε συνδυασμό με τα ελκυστικά γραφικά αυξάνει την αξιοπιστία του προϊόντος στο σημείο πώλησης (Salesetal., 2018).





**Εικόνα 20 :** Συσκευασίες προβολής και σημεία πώλησης

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

## **Κεφάλαιο 2<sup>ο</sup> : Οι τεχνικές προδιαγραφές και ιδιότητες χαρτοκιβωτίων για την μεταφορά μεγάλου όγκου και βάρους**

### **2.1 Η διαδικασία παραγωγής συσκευασιών από κυματοειδές χαρτόνι**

#### **2.1.1 Η διαδικασία παραγωγής κουτιών με σχισμή (RSC)**

Τα μηχανήματα για την παραγωγή κουτιών με σχισμή είναι κατασκευασμένα από αρθρωτά τμήματα, διαμορφωμένα σύμφωνα με τις προσδοκίες των επιμέρους τμημάτων της αγοράς, για παράδειγμα, σχετικά με τον αριθμό των χρωμάτων ενός αποτυπώματος ή άλλες τροποποιήσεις του πτερυγίου του κουτιού, όπως σχισμές μεταφοράς ή αερισμού, κ.λπ.(Zhangetal., 2014).

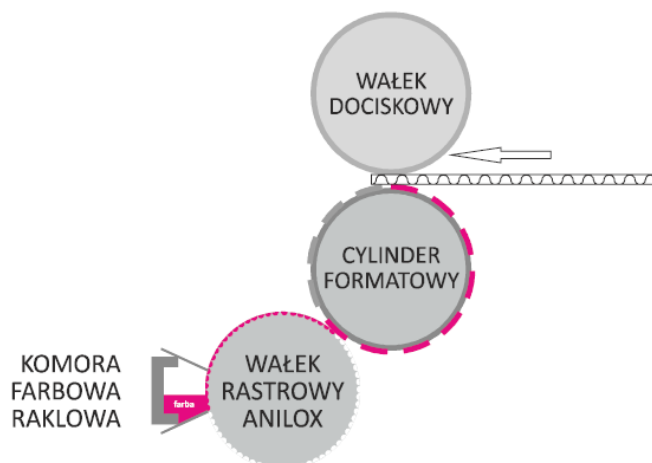
Μια τυπική κατασκευή ενός κουτιού με σχισμή περιέχει τα παρακάτω (Wu&Li, 2021) :

- Τροφοδότης : Είναι ένα τμήμα που είναι υπεύθυνο για τη σύγχρονη τροφοδοσία ενός φύλλου χαρτονιού στο μηχάνημα. Στις μηχανές με ενιαία κίνηση, η βασική μηχανή κίνησης βρίσκεται επίσης σε αυτό το μέρος. Συνήθως πριν από τον τροφοδότη προηγείται ο προ-τροφοδότης, δηλαδή μια περιφερειακή συσκευή που περνά αυτόματα φύλλα στον τροφοδότη. Ο προ-τροφοδότης επιτρέπει υψηλότερη παραγωγικότητα και εξαλείφει τη χειρωνακτική εργασία.
- Μηχανές φλεξογραφικής εκτύπωσης : Συνήθως υπάρχουν αρκετοί φλεξογραφικοί εκτυπωτές στη σειρά. Ο καθένας μπορεί να εκτυπώσει ένα μόνο χρώμα. Για να πραγματοποιηθεί ένα πολύχρωμο αποτύπωμα χρειάζονται τουλάχιστον τρία χρώματα (κυανό, ματζέντα και κίτρινο). Οι εκτυπωτές εκτός από μελάνια μπορούν επίσης να εφαρμόζουν γυαλιστερά, αντιολισθητικά και άλλα βερνίκια. Ωστόσο, για μια τέτοια εφαρμογή, χρειάζονται επιπλέον μονάδες. Το κύριο μέρος του μηχανήματος είναι υπεύθυνο για την ομοιόμορφη κατανομή μελανιού στα κυρτά μέρη της φόρμας της

φλεξογραφικής εκτύπωσης, που ονομάζεται μήτρα εκτύπωσης ή φιλμ, η οποία τοποθετείται στον κύλινδρο εκτύπωσης. Οι φόρμες εκτύπωσης κατασκευάζονται από φωτοπολυμερή, τα οποία κατά τη διαδικασία της φωτομηχανικής-χημικής επεξεργασίας τοποθετούνται στο φιλμ και στις λαβές, εξασφαλίζοντας ασφαλή και ακριβή συναρμολόγηση στο μηχάνημα. Κατά την περιστροφή η μεμβράνη συναντά το οριζόντια διερχόμενο φύλλο χαρτονιού, αφήνοντας την εντύπωση των κυρτών στοιχείων, ενώ τα κοίλα μέρη αφήνουν το υπόλοιπο φύλλο ατύπωτο. Το Anilox (ένας κύλινδρος ράστερ) είναι υπεύθυνη για την ομοιόμορφη κατανομή του μελανιού στο φιλμ. Το Anilox συνήθως περιλαμβάνει τη κάλυψη με ένα κεραμικό στρώμα το οποίο είναι χαραγμένο με λέιζερ. Το Anilox είναι ένα διαχωριστικό με τις ακόλουθες παραμέτρους:

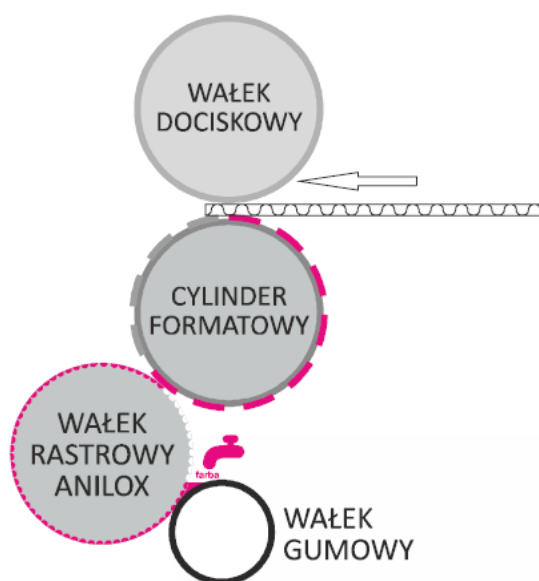
- Αριθμός γραμμών ανά 1 εκατοστό ή 1 ίντσα.
- Γωνία ράστερ.
- Όγκος ράστερ (κυβικό εκατοστό/τετραγωνικό μέτρο).

Το μελάνι γεμίζει τους φορείς μελανιού ράστερ, ενώ το υπερβολικό μελάνι αφαιρείται από τις λεπίδες του ελαστικού κυλίνδρου. Ο εκτυπωτής είναι εξοπλισμένος με μια μονάδα μελάνης που είναι υπεύθυνη για τη συνεχή κυκλοφορία του μελανιού κατά τη διάρκεια της εργασίας του μηχανήματος και τους μηχανικούς μεταφορείς ή τους μεταφορείς υπό πίεση που περνούν πάνω από το φύλλο του χαρτονιού κατά τη διαδικασία εκτύπωσης. Όλα τα στοιχεία που είναι υπεύθυνα για τον έλεγχο των απαιτούμενων παραμέτρων, όπως η πίεση, ο παραλληλισμός ή η ευθυγράμμιση των κυλίνδρων, διαθέτουν μηχανικά ή ηλεκτρονικά ελεγχόμενα χειριστήρια με ανεξάρτητους κινητήρες (Suarezetal., 2021).



**Εικόνα 21 :** Διάγραμμα του φλεξογραφικού εκτυπωτή με το μελάνι και το θάλαμο  
λεπίδων

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)



**Εικόνα 22 :** Διάγραμμα φλεξογραφικού εκτυπωτή με ελαστικό κύλινδρο

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

Το slotter είναι μια μονάδα που τοποθετείται στο κενό κουτί του φύλλου κυματοειδούς χαρτονιού χρησιμοποιώντας τις ρυθμιζόμενες κεφαλές κοπής και κάμψης. Στοιχεία αυτής της μονάδας κόβουν υποδοχές, κολλάνε πτερύγια και

τσακίζουν το φύλλο σταυρωτά. Ο περιστροφικός κόφτης είναι μια μονάδα η οποία χρησιμοποιώντας μια περιστροφική μήτρα κοπής, δηλαδή ένα εργαλείο ειδικά σχεδιασμένο για μια συγκεκριμένη συσκευασία, μπορεί να κόψει τα επόμενα στοιχεία του κουτιού. Τέτοια στοιχεία περιλαμβάνουν λαβές, κεκλιμένες ή στρογγυλεμένες γωνίες των πτερυγίων κλεισίματος, εύκολα αναδιπλούμενο κάτω μέρος (τύπος φακέλου) ή σχιζόμενες διατρήσεις (Salesetal., 2018).

Η μήτρα είναι ένα μισό στρογγυλό κόντρα πλακέ, με χαλύβδινα μαχαίρια, λάστιχα και άλλα ειδικά στοιχεία για τη μετατροπή κυματοειδούς χαρτονιού και την εξασφάλιση της εκτίναξης του σκραπ. Ο φάκελο-κολλητής είναι μια μονάδα όπου το προηγούμενο κομμένο και κολλημένο κομμάτι διπλώνεται και κολλάτε ξανά. Το κολλημένο κομμάτι τροφοδοτείται σε ένα ρομπότ με κινούμενες ζώνες, όπου διπλώνεται σε κλειστή μορφή. Στο αρχικό στάδιο της διαδικασίας αναδίπλωσης, απλώνεται κόλλα (διασπορά οξικού πολυβινυλίου) στα σημεία που πρόκειται να διαστασιοποιηθούν, από την κόλλα. Προαιρετικά, μπορεί να υπάρχει ο αντίστοιχος εξοπλισμός με μονάδα ραφής ή ταινίας (Ran&Liu, 2019).

Η μονάδα δεματοποίησης, είναι υπεύθυνη για τη συσσώρευση των συσκευασιών στις δέσμες. Αυτό είναι το τελευταίο τμήμα του μηχανήματος, συγχρονισμένο με την ταχύτητα των προηγούμενων μονάδων. Ακολουθούν συσκευές που δένουν τις δέσμες με ταινία για να εξασφαλίσουν σταθερότητα και να στερεώσουν τους αρμούς της κόλλας. Στο τέλος υπάρχουν απλές συσκευές ή ρομπότ για τη παλετοποίηση. Συνήθως οι μηχανές συνδέονται με το εσωτερικό σύστημα χειρισμού, το οποίο με τη χρήση ιμάντα ή ρολού μεταφοράς, παραδίδει στοίβες κυματοειδούς χαρτονιού στο μηχανήμα και μεταφέρει τα τελικά προϊόντα. Τα σύγχρονα μηχανήματα διαθέτουν εξελιγμένα συστήματα ελέγχου, τα οποία, με χρήση τεχνολογίας υπολογιστών, διασφαλίζουν την επαναληψιμότητα των επόμενων σειρών του ίδιου προϊόντος, χρησιμοποιώντας τη βάση δεδομένων του μηχανήματος (Popil, 2012).



**Εικόνα 23 :** Μηχάνημα παραγωγής κουτιών με πίκμανση – inliner (FFG)

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

### **2.1.2 Η παραγωγή κομμένων συσκευασιών**

Στις αυτοματοποιημένες γραμμές παραγωγής υπάρχουν οι στάτζες, κοπής και πίκμανσης κιβωτίων, όπου λόγω της μεθόδου κοπής χωρίζονται σε επίπεδα περιστροφικά κοπτικά. Δεδομένου ότι οι κομμένες συσκευασίες μπορούν να παραδοθούν στους πελάτες τόσο σε διπλωμένη μορφή όσο και ως αναδιπλούμενα μέρη, η διαδικασία παραγωγής είναι επιπλέον εξοπλισμένη με κολλητές φακέλων. Στις γραμμές για την κατασκευή των κουτιών κοπής, υπάρχουν δύο κύριοι τύποι μηχανών όπου είναι οι εκτυπωτές και οι στάτζες, κοπής και πίκμανσης, όπου μπορεί να λειτουργούν μαζί (εντός γραμμής) ή μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα (εκτός γραμμής) (Pereiraetal., 2020).

#### **Εκτυπωτές**

Οι φλεξογραφικοί εκτυπωτές εκτυπώνουν στο χαρτόνι (μετα-εκτύπωση), όπου στη συνέχεια περνάει στις στάτζες, κοπής και πίκμανσης. Αυτά τα μηχανήματα διαθέτουν τροφοδότη, τμήματα εκτύπωσης και στοίβαξης. Προκειμένου να διασφαλιστεί η

υψηλή ποιότητα και η παραγωγικότητα του τελικού αποτελέσματος, τέτοια μηχανήματα συνήθως ορίζονται ως σταθερά μη κινούμενα τμήματα εκτύπωσης. Στα σύγχρονα μηχανήματα είναι δυνατό να οριστεί ένα μεμονωμένο τμήμα όταν το μηχάνημα λειτουργεί. Επιπλέον, τα υψηλής ποιότητας εκτυπωτικά μηχανήματα (HQP) πρέπει να είναι εξοπλισμένα με συμπληρωματικές συσκευές, όπως (Popil&Hojjatje, 2010) :

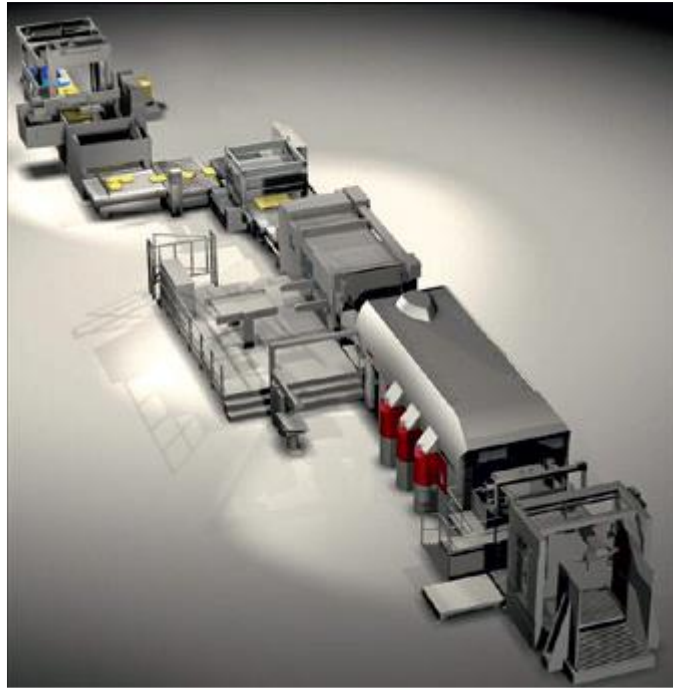
- Στεγνωτήριο με αέρα ή με υπέρυθρες για στέγνωμα των τυπωμένων επιφανειών.
- Μονάδα μεταφοράς υπό πίεση με ανεξάρτητους κινητήρες.
- Συστήματα καθαρισμού επιφανειών στην είσοδο του εκτυπωτή.
- Διαδικτυακό σύστημα ποιοτικού ελέγχου, με κάμερες και σαρωτές.

Προαιρετικά, μπορεί να υπάρχουν συστήματα για γρήγορη και αυτοματοποιημένη αλλαγή του anilox, παρέχοντας διανομή μελανιού που απαιτείται από ένα συγκεκριμένο σχέδιο (Parketal., 2020).



**Εικόνα 24 :** Φλεξογραφικός εκτυπωτής εκτός σύνδεσης

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)



**Εικόνα 25 :** Inline φλεξογραφικός εκτυπωτής

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

#### Επίπεδες στάτζες, κοπής και πίκμανσης κοπής

Οι επίπεδες στάτζες, κοπής και πίκμανσης κόβουν και λυγίζουν φύλλα χαρτονιού, προσφέροντας συχνά πολλά κενά ανάμεσα από ένα φύλλο. Το μηχάνημα κόβει τα φύλλα χτυπώντας μια επιμεταλλωμένη πρέσα κάτω από μια κενή μήτρα. Κάθε μήτρα είναι αφιερωμένη σε ένα συγκεκριμένο προϊόν δηλαδή μια συσκευασία. Μια κενή μήτρα σε ένα τέτοιο μηχάνημα αποτελείται από τα ακόλουθα εξαρτήματα(Nicaetal., 2020) :

- Μια κατάλληλη μήτρα κοπής, κατασκευασμένη από κόντρα πλακέ κομμένη με λέιζερ με τα τοποθετημένα μαχαίρια κοπής, κάμψης και διάτρησης, καλυμμένα με λάστιχα ώθησης.
- Σετ βιδών και λαβών για ακριβή και γρήγορη τοποθέτηση.
- Μονάδα καθαρισμού όπου αποτελείται από δύο μέρη ,το πάνω και το κάτω μέρος, που είναι υπεύθυνο για την αφαίρεση του εσωτερικού και του



εξωτερικού υπολείμματος του κενού μέρους (το εξωτερικό θραύσμα εμφανίζεται σε όλες τις πλευρές του κενού μέρους).

- Κόντρα πλακέ, που στην καθομιλουμένη ονομάζεται γκιλοτίνα, που κόβει το μετωπιαίο μέρος.

Η κοπή στην επίπεδη μήτρα παρέχει πολύ υψηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα του κενού μέρους, χωρίς σημαντική πτώση ποιότητας με τη φθορά της μήτρας. Αυτή η τεχνική κοπής επιτρέπει διαφοροποιημένα και πολύπλοκα σχήματα συσκευασίας, ενώ η λεγόμενη πίκμανση παρέχει με ακρίβεια αναδιπλούμενα κενά, για επεξεργασία σε αναδιπλούμενα αυτοματοποιημένα μηχανήματα. Οι επίπεδες στάτζες, κοπής και πίκμανσης είναι επίσης εξοπλισμένες με προ-τροφοδότες, διακόπτες και διαχωριστές τεμαχίων χαρτοκιβωτίων (Mrówczyński et al., 2022b).



**Εικόνα 26 :** Επίπεδες στάτζες, κοπής και πίκμανσης κοπής

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

Περιστροφικές στάτζες, κοπής και πίκμανσης κοπής

Αυτές οι γραμμές συνήθως αποτελούνται από έναν τροφοδότη, εκτυπωτές και περιστροφικές στάτζες, κοπής και πίκμανσης . Η κοπή με περιστροφική μήτρα μπορεί

να κόψει μεγαλύτερα κενά μέρη ή περισσότερα κενά μέρη από την επίπεδη μήτρα κοπής, γεγονός που οδηγεί σε υψηλότερη παραγωγικότητα και ευελιξία του προϊόντος. Ωστόσο, αυτός ο τύπος έχει χαμηλότερη ακρίβεια κοπής φύλλου (μεγαλύτερη ανοχή μεγέθους), η οποία περιορίζει σε κάποιο βαθμό τη μετέπειτα χρήση των αυτοματοποιημένων μηχανών αναδίπλωσης. Το τμήμα που είναι υπεύθυνο για την απομάκρυνση των απορριμμάτων από τα κενά είναι το τμήμα καθαρισμού, κατασκευασμένο από μονάδα δονούμενων ζωνών και βουρτσών με φυσητήρες και αφυγραντήρες . Αυτός ο σχεδιασμός δεν απαιτεί πρόσθετες συσκευές για τον καθαρισμό. Η επόμενη μονάδα είναι μια μονάδα στοιβάξης. Υπάρχουν δύο κατηγορίες στοιβάγματος όπου στην πρώτη κατηγορία τα χαρτόνια διαμορφώνονται απευθείας σε στοίβες, ολοκληρώνοντας έτσι τη διαδικασία παραγωγής. Στη δεύτερη κατηγορία σχηματίζονται δέσμες από πολλά χαρτόνια, τα οποία στη συνέχεια πηγαίνουν στη μονάδα διαχωρισμού χαρτονιών και στοιβάζονται (Marinellietal., 2021).



**Εικόνα 27 :** Περιστροφικές στάτζες, κοπής και πίκμανσης

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

## Φάκελο-κολλητές

### Κολλητές πολλαπλών σημείων

Αυτά τα μηχανήματα έχουν εκτεταμένα συστήματα κόλλησης και διπλώματος. Αυτό επιτρέπει την κόλληση σε ένα ή περισσότερα σημεία. Τα χαρτόνια κατασκευάζονται κυρίως σε επίπεδες στάτζες, κοπής και πίκμανσης και αφού περάσουν τον τροφοδότη πηγαίνουν στη μονάδα αναδίπλωσης. Στη συγκεκριμένη μονάδα λυγίζουν και διπλώνουν τα χαρτόνια ενώ απλώνεται κόλλα στις αντίστοιχες περιοχές. Στη συνέχεια, τα διπλωμένα κουτιά πηγαίνουν στη μονάδα πίεσης, όπου, κατά τη διάρκεια ενός περάσματος κάτω από τον ιμάντα πίεσης (εντός 10 δευτερολέπτων), στερεώνεται η κόλλα. Στη συνέχεια οι συσκευασίες γίνονται δέματα (χειροκίνητα ή αυτόματα) και στοιβάζονται. Οι κολλητές πολλαπλών σημείων χρησιμοποιούνται συνήθως για την παραγωγή των κολλημένων κουτιών τριών ή τεσσάρων σημείων. Αυτές οι συσκευασίες χρησιμοποιούνται συνήθως για τη διαδικασία μαζικής συσκευασίας. Η κατασκευή και η μέθοδος κόλλησης τους επιτρέπουν τη γρήγορη και εύκολη διαμόρφωση τους (Mrówczyński et al., 2022a).

### Κολλητές μονού σημείου

Οι κολλητές μονού σημείου είναι συνήθως συμπαγείς, ημιαυτόματοι και κατασκευασμένοι σε ένα μόνο πλαίσιο μηχανής και ο σκοπός τους είναι η συγκόλληση των τεμαχίων με κόλλες ψυχρής ή/και θερμής πήξης. Μπορούν επίσης να κολλήσουν δύο μέρη μιας συσκευασίας. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περίπτωση των κουτιών μεγάλου μεγέθους, τα οποία (λόγω των απαιτούμενων διαστάσεων) δεν μπορούν να παραχθούν από ένα φύλλο χαρτονιού. Μια άλλη επιλογή είναι ο εξοπλισμός των μηχανών με μονάδα ραφής και κόλλησης ή διαχωριστή (Köstner et al., 2017).



**Εικόνα 28 :** Μηχάνημα κολλητών πολλαπλών σημείων

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

Εκτύπωση συσκευασιών μέσω της μεθόδου offset

Η μέθοδος "offset" είναι μια τεχνική επίπεδης εκτύπωσης, δηλαδή τα στοιχεία εκτύπωσης και τα μη εκτυπωτικά στοιχεία βρίσκονται στο ίδιο ύψος σε σχέση με την πλάκα. Η εικόνα μεταφέρεται από τη φόρμα εκτύπωσης στο υπόστρωμα με έναν ενδιάμεσο κύλινδρο καλυμμένο με καουτσούκ, ο λεγόμενος «κύλινδρος εκτύπωσης». Υπάρχουν δύο μέθοδοι εκτύπωσης όπου είναι η εκτύπωση μέσω της μεθόδου offset από το διαδίκτυο και σε φύλλα. Στην περίπτωση που το χαρτί τροφοδοτείται σε κυλίνδρους, η διαδικασία εκτύπωσης μπορεί να χρησιμοποιήσει ένα θερμοστάτη για να στερεώσει τα μελάνια με διείσδυση και εξάτμιση των διαλυτών. Αυτό επιτρέπει την εκτύπωση επικαλυμμένων χαρτιών. Μια άλλη επιλογή είναι η «ψυκτική συσκευή», όπου το μελάνι στερεώνεται με διείσδυση του χαρτιού. Η εκτύπωση μέσω της μεθόδου offset επιτρέπει την τελειοποίηση, όταν το κομμάτι χαρτιού περνάει ανάμεσα σε δύο ενδιάμεσα ρολά. Τα μηχανήματα αυτού του τύπου είναι συνήθως εξοπλισμένα με μονάδες κοπής και δίπλωσης χαρτιού (Mrówczyński et al., 2021).

Στο φύλλο προς εκτύπωση μέσω της μεθόδου offset, τα φύλλα χαρτιού χρησιμεύουν ως βάση εκτύπωσης. Είναι μια από τις πιο δημοφιλείς τεχνικές εκτύπωσης, που επιτρέπει την αποδοχή ακόμη και πολύ μικρών ποσοτήτων. Συνήθως οι μηχανές εκτύπωσης φύλλων εκτυπώνουν τη μία όψη του χαρτιού, ωστόσο είναι δυνατό και ένα δεύτερο πέρασμα του χαρτιού. Μπορεί επίσης να εγκατασταθεί ειδικός εξοπλισμός, ο λεγόμενος τελειοποιητής, ο οποίος επιτρέπει την αυτόματη αντιστροφή και τελειοποίηση των φύλλων. Το φύλλο μεταφέρεται με ιμάντες μεταφοράς, όπου συγκρατούν το μπροστινό άκρο και μεταφέρουν το φύλλο κατά

μήκος όλων των μονάδων εκτύπωσης, μέχρι το τμήμα παράδοσης του φύλλου (Johnson&Popil, 2015).

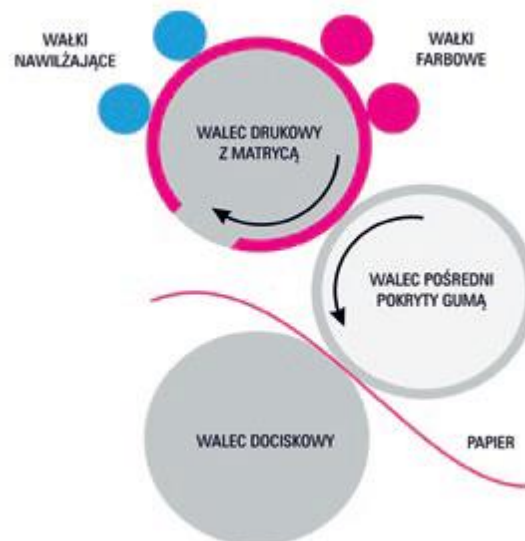
Μια φόρμα εκτύπωσης που χρησιμοποιεί την μέθοδο offset, γνωστή ως πλάκα, είναι ένα λεπτό φύλλο αλουμινίου με υδρόφιλα στοιχεία διαβρεγμένα με υγραντικό παράγοντα και υδρόφοβα ή ελαιόφιλα στοιχεία, διαβρεγμένα με μελάνι εκτύπωσης. Το υγραντικό διάλυμα αποτελείται κυρίως από νερό και πρόσθετα που μειώνουν την επιφανειακή τριβή, καθώς και σταθεροποιητές, διατηρώντας το κατάλληλο εύρος του pH του διαλύματος. Η ισοπροπυλική αλκοόλη (IPA), μια ουσία επιβλαβής τόσο για το περιβάλλον όσο και για τους εργαζόμενους, είναι ένα σημαντικό συστατικό του διαλύματος. Επί του παρόντος γίνονται προσπάθειες κατάργησης της ισοπροπυλικής αλκοόλης με την εφαρμογή ειδικών προσωρινών αποσβέσεων (Kaushaetal., 2021).

Πρώτα, μια πλάκα υγραίνεται με νερό και μετά με μελάνι. Υπάρχει μια διαδικασία αμοιβαίας απόθησης του μελανιού και του διαβρεκτικού παράγοντα. Το μελάνι παραμένει μόνο στις ελαιόφιλες περιοχές της πλάκας και μέσω του ενδιάμεσου κυλίνδρου, καλυμμένο με τον κύλινδρο εκτύπωσης, μεταφέρεται στη βάση εκτύπωσης (γι' αυτό η τεχνική αυτή ονομάζεται έμμεση εκτύπωση). Υπάρχει επίσης μια ειδική παραλλαγή που ονομάζεται μέθοδος dryoffset, όπου μια φόρμα εκτύπωσης πυριτίου δεν διαβρέχεται με ένα ενυδατικό διάλυμα. Αυτή η μέθοδος εφαρμόζεται κυρίως σε μη απορροφητικά υποστρώματα. Με αυτόν τον τρόπο, όπως και η φλεξογραφία, παράγεται ένα μονόχρωμο αντίγραφο από μία μονάδα εκτύπωσης (Kalitaetal., 2021).

Με υψηλή ποιότητα και δυνατότητα αναπαραγωγής εικόνων υψηλής ανάλυσης, για πολύχρωμες εικόνες, αρκεί η χρήση των βασικών χρωμάτων (κυανό, ματζέντα και κίτρινο). Προστίθενται επιπλέον χρώματα προκειμένου να δημιουργηθούν εφέ που υπερβαίνουν την τυπική «τριάδα» χρωμάτων ή ειδικά εφέ (π.χ. μεταλλικά, δεσμευμένα εταιρικά χρώματα, κ.λπ.). Ειδικό αποτέλεσμα μπορεί επίσης να αποκτηθεί με την εφαρμογή μελανιών UV, που στερεώνονται με πολυμερισμό που ξεκινά από τις ακτίνες UV. Αυτή η μέθοδος επιτρέπει την εκτύπωση εντελώς μη απορροφητικών επιφανειών, όπως πλαστικά, φιλμ κ.λπ. Στην εκτύπωση μέσω της μεθόδου offset, είναι επίσης δυνατή η εφαρμογή βερνικιών υψηλής στιλπνότητας και άλλων επικαλύψεων που βελτιώνουν την αισθητική χρησιμότητα μιας συσκευασίας.

Το βερνίκι εφαρμόζεται σε χαρτί μέσω της μονάδας εκτύπωσης (βερνίκια με βάση το λάδι) ή με πύργο βερνικιού (βερνίκια με βάση το νερό και τις ακτίνες UV), χρησιμοποιώντας φλεξογραφική εκτύπωση (Hansonetal., 2010).

Η δυναμική ανάπτυξη αυτής της τεχνικής τα τελευταία χρόνια προκύπτει από την ψηφιακή ρύθμιση εικόνας, η οποία μειώνει το χρόνο και βελτιώνει την ποιότητα της πλάκας μέσω της μεθόδου offset και κατά συνέπεια μειώνει σημαντικά το κόστος παραγωγής. Στην τεχνική που ονομάζεται CtP (Computer toPlate), η εικόνα μεταφέρεται από τους ρυθμιστές εικόνας απευθείας στην πλάκα εκτύπωσης και μετά την ανάπτυξη της εικόνας η φόρμα εκτύπωσης είναι έτοιμη. Οι ρυθμιστές εικόνας CtP χρησιμοποιούνται συνήθως ακόμη και σε μικρές εκτυπωτικές μονάδες, καθώς το χαμηλό κόστος της ρύθμισης εικόνας επιτρέπει σύντομες εκτυπώσεις (Böröcz, 2015).



**Εικόνα 29 :** Διάγραμμα της εκτυπωτικής μηχανής offset

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

## Πλαστικοποίηση

Η ανεπαρκής αντιστάθμιση της ανομοιόμορφης επιφάνειας του κυματοειδούς χαρτονιού κατά την εκτύπωση μέσω της μεθόδου offset εμποδίζει την εφαρμογή της

μεθόδου για απευθείας εκτύπωση. Η απευθείας εκτύπωση μέσω της μεθόδου offset είναι δυνατή μόνο σε κυματοειδές χαρτόνι με χαμηλό ύψος αυλακώσεων. Ωστόσο, η τεχνολογία παραγωγής συσκευασιών προσφέρει λύσεις που επιτρέπουν την εκτύπωση μέσω της μεθόδου offset. Τέτοια ευρέως χρησιμοποιούμενη λύση είναι η πλαστικοποίηση, δηλαδή η επικόλληση του προηγούμενου τυπωμένου φύλλου χαρτιού στο κυματοειδές χαρτόνι. Τα τυπωμένα φύλλα χαρτιού στερεώνονται στο χαρτόνι με κόλλα, συνήθως με διασπορά οξικού πολυβινυλίου, σε μηχανήματα που ονομάζονται πλαστικοποιητές. Το χαρτί είναι κολλημένο στο κυματοειδές χαρτόνι μονής όψης σε ρολά ή στα φύλλα του χαρτονιού με τρία ή περισσότερα φύλλα. Τα επόμενα στάδια επεξεργασίας του ενδιάμεσου προϊόντος εξαρτώνται από τον σχεδιασμό της συσκευασίας και είναι ανάλογα με την μήτρα κοπής των μετατυπωμένων κουτιών (Gupta&Shri, 2016).

## **2.2 Οι βασικές ιδιότητες και οι παράμετροι του κυματοειδούς χαρτονιού**

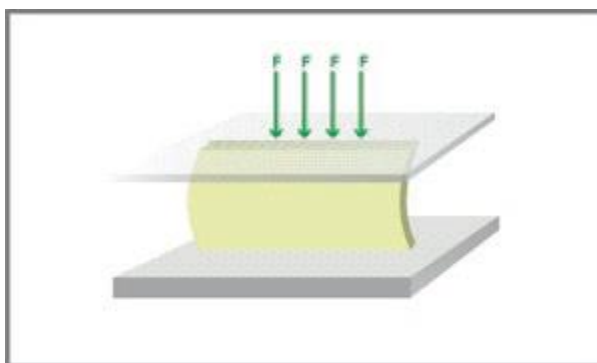
Το βάρος της βάσης

Ο προσδιορισμός του βάρους της βάσης στηρίζεται στο πρότυπο PN-ISO 536:1996. Είναι μια μάζα κυματοειδούς φύλλου ενός τετραγωνικού μέτρου όπου εκφράζεται σε [g/m<sup>2</sup>]. Το εμβαδόν ενός φύλλου δείγματος δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 100 τετραγωνικά εκατοστά και δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 1000 τετραγωνικά εκατοστά. Αυτό είναι ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του προϊόντος χαρτιού (συμπεριλαμβανομένου του κυματοειδούς χαρτονιού). Επί του παρόντος, όταν χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερα διαφοροποιημένα χαρτιά, για να προσδιοριστεί η ποιότητα του χαρτονιού είναι απαραίτητο να ελέγχονται άλλες παράμετροι (π.χ. η δοκιμή της πίκμανσης των ακρών). Το διάστημα ανοχής για το βασικό βάρος είναι  $\pm 4\%$  (Chenetal., 2011).

## Δοκιμή αντοχής των ακρών (Edgecrashtest)

Η δοκιμή αντοχής των ακρών πραγματοποιείται σύμφωνα με το πρότυπο PN-EN ISO 3037:2000. Αναμφίβολα η αντίσταση στην αντοχή είναι ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά του κυματοειδούς χαρτονιού. Η δοκιμή της αντοχής των άκρων εκφράζεται σε [kN/m]. Σε διάφορα μέρη του πλανήτη πραγματοποιούνται διαφορετικές δοκιμές αντοχής των ακρών, ωστόσο η πιο κοινή είναι η παρακάτω περιγραφόμενη μέθοδος όπου ονομάζεται «μέθοδος μη κερωμένων ακρών» (Garbowski&Andrzejak, 2022).

Μέθοδος: Ένα ορθογώνιο δείγμα κυματοειδούς χαρτονιού (25 χιλιοστά  $\pm 0,5$  χιλιοστά παράλληλα με τις αυλακώσεις 100 χιλιοστών ( $\pm 0,5$  χιλιοστά) κάθετα στον προσανατολισμό της αυλάκωσης) τοποθετείται μεταξύ δύο πλακών και υποβάλλεται σε δοκιμή πίεσης μέχρι να σκιστεί το δείγμα. Μετριέται η μέγιστη πίεση που αντέχει το δείγμα. Αυτή η παράμετρος είναι συνήθως ένα σημαντικό πρόσθετο χαρακτηριστικό που παρουσιάζεται στις προδιαγραφές του κυματοειδούς χαρτονιού σε εμπορικές προσφορές και στις προδιαγραφές των συσκευασιών (Διάστημα ανοχής  $\pm 10\%$ ) (Garbowski&Andrzejak, 2022).



**Εικόνα 30 :** Η δοκιμή αντοχής των ακρών

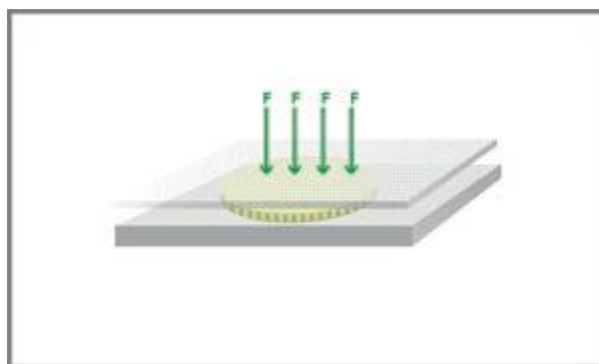
(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)



## Επίπεδη δοκιμή αντοχής (FCT)

Η επίπεδη δοκιμή αντοχής πραγματοποιείται με βάση το πρότυπο PN-EN 23035:1999. Αυτή η μέθοδος επίπεδης δοκιμής αντοχής είναι κατάλληλη για κυματοειδές χαρτόνια δύο ή τριών στρώσεων. Δεν χρησιμοποιείται για χαρτόνια με περισσότερες στρώσεις (Dekker, 2012).

Μέθοδος: Ένα δείγμα, κομμένο από κυματοειδές χαρτόνι, υπόκειται σε αυξανόμενη πίεση, εφαρμόζεται κάθετα στην επιφάνεια, μέχρι να συντριβεί το κυματοειδές χαρτόνι. Μετράται η μέγιστη δύναμη που αντέχει το δείγμα. Η αντίσταση αντοχής εκφράζεται σε [kPa] (μέγιστη πίεση στην επιφάνεια του δείγματος). Τα αποτελέσματα της δοκιμής εξαρτώνται από τον τύπο των αυλακώσεων και τις ιδιότητες του κυματοειδούς χαρτονιού. Η δοκιμή είναι εφαρμόσιμη οπουδήποτε είναι σημαντικό να γίνουν γνωστά τα χαρακτηριστικά αυτής της πτυχής του κυματοειδούς χαρτονιού. Το διάστημα αντοχής για αυτήν την παράμετρο είναι  $\pm 10\%$  (Dekker, 2012).



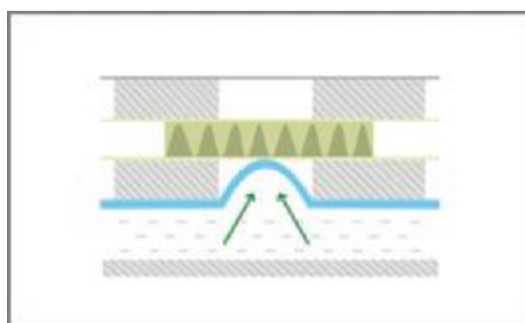
**Εικόνα 31 :** Επίπεδη δοκιμή αντοχής

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

## Δοκιμή θραύσης

Η δοκιμή πραγματοποιείται σύμφωνα με το πρότυπο PN-EN ISO 2759:2005. Η δοκιμή θραύσης καθορίζει τη μέγιστη πίεση που παράγεται από το υδραυλικό σύστημα που πιέζει ένα άκαμπτα συσφιγμένο εύκαμπτο στρογγυλό διάφραγμα στο δείγμα, προκαλώντας τη σύσπαση του. Η δοκιμή θραύσης εκφράζεται σε [kPa]. Ο

δείκτης θραύσης, είναι ο λόγος της αντοχής σε θραύση του χαρτονιού προς το βασικό βάρος του χαρτονιού, που προσδιορίζεται σύμφωνα με το ISO 536:1996. Αυτή η παράμετρος εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον τύπο χαρτιού που χρησιμοποιείται για τις επενδύσεις του χαρτονιού. Τα χαρτιά από πρωτεύοντες ίνες έχουν πολύ υψηλότερο δείκτη θραύσης από τα χαρτιά και τα χαρτόνια από δευτερεύοντες ίνες (ανακτημένα χαρτιά). Το διάστημα αντοχής είναι  $\pm 10\%$ . Συχνά, καθορίζεται και η ελάχιστη τιμή (Garbowski et al., 2021c).



**Εικόνα 32 :** Δοκιμή θραύσης

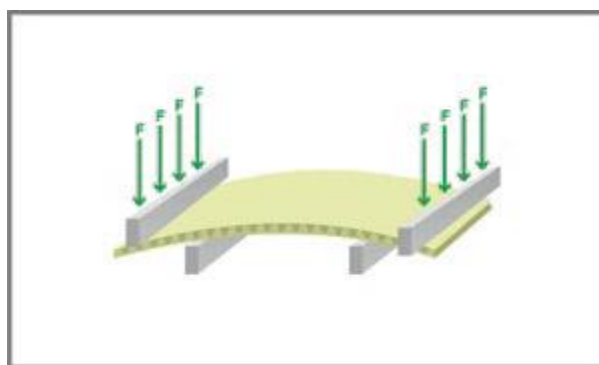
(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

#### Δοκιμή αντοχής διάτρησης (PET)

Η δοκιμή αντοχής διάτρησης βασίζεται στο πρότυπο ISO 3036:1975. Η δοκιμή αντοχής διάτρησης συνίσταται στη μέτρηση της ενέργειας που απαιτείται για μια αποτελεσματική διάτρηση ενός δείγματος χαρτονιού με κεφαλή, η οποία θα πρέπει να είναι μια τριγωνική πυραμίδα. Αυτή η μέθοδος ισχύει για όλους τους τύπους κυματοειδούς χαρτονιού. Το δείγμα δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 175 χιλιοστά \* 175 χιλιοστά. Η δοκιμή αντοχής διάτρησης εκφράζεται σε [J]. Αυτή η δοκιμή είναι ένα τέλειο εργαλείο για την αξιολόγηση των κινδύνων στους οποίους μπορεί να υπόκειται μια συσκευασία στην εφοδιαστική αλυσίδα. Το διάστημα αντοχής για τις παραμέτρους είναι  $\pm 10\%$  (Garbowski et al., 2021a).

### Δοκιμή ακαμψίας 4 σημείων

Η συγκεκριμένη δοκιμή πραγματοποιείται σύμφωνα με το πρότυπο ISO 5628:1995. Καθορίζει τη ροπή κάμψης ανά μονάδα πλάτους, που φαίνεται από το κυματοειδές χαρτόνι όταν κάμπτεται εντός των ορίων της ελαστικής τάσης. Η δοκιμή ακαμψίας 4 σημείων εκφράζεται σε  $[N \cdot m]$ . Αυτή είναι μια από τις πολύ λίγες μεθόδους για τη μέτρηση της φθοράς της αντοχής του χαρτονιού στη διαδικασία μετατροπής. Το διάστημα αντοχής για την παράμετρο είναι  $\pm 10\%$  (Gajewski et al., 2021).



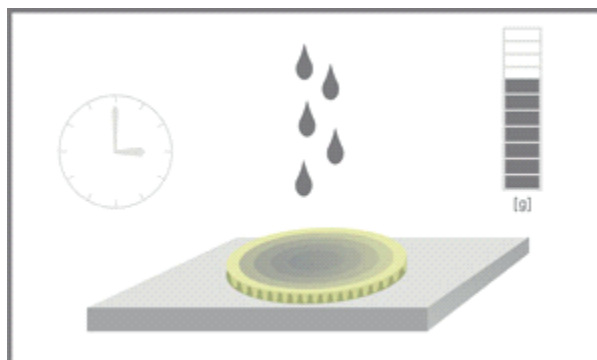
**Εικόνα 33 :** Δοκιμή ακαμψίας 4 σημείων

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

### Δοκιμή απορρόφησης νερού (δοκιμή Cobb)

Η συγκεκριμένη δοκιμή πραγματοποιείται σύμφωνα με το πρότυπο PN-EN 20535:1996. Η δοκιμή επιτρέπει την αξιολόγηση της απορρόφησης νερού από το κυματοειδές χαρτόνι. Η μάζα του νερού που απορροφάται εντός καθορισμένου χρόνου από 1 τετραγωνικό μέτρο χαρτονιού σε συγκεκριμένες συνθήκες, όπου αποτελεί ένα μέτρο απορρόφησης νερού σε μονάδες Cobb. Ο χρόνος δοκιμής εξαρτάται από τον τύπο της πλακέτας και είναι εντός του εύρους μεταξύ 30 – 1800 δευτερολέπτων, ενώ το αποτέλεσμα παρουσιάζεται με δείκτη χρόνου. Η απορρόφηση νερού καθορίζει τη δυνατότητα εφαρμογής σε ορισμένες διαδικασίες μετατροπής (π.χ. εκτύπωση) και ιδιότητες (π.χ. αντίσταση στις μεταβαλλόμενες ατμοσφαιρικές συνθήκες). Στις περισσότερες περιπτώσεις καθορίζεται η μέγιστη αποδεκτή ανοχή

παραμέτρων. Συνήθως είναι εντός 30-60 γραμμαρίων ανά τετραγωνικό μέτρο (Garbowskietal., 2021b).



**Εικόνα 34 :** Δοκιμή απορρόφησης νερού

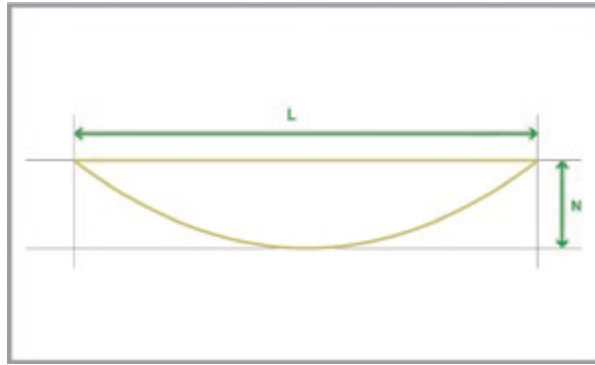
(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

#### Περιεκτικότητα σε υγρασία

Η περιεκτικότητα σε υγρασία ελέγχεται σύμφωνα με το πρότυπο PN-EN ISO 287:2009 χρησιμοποιώντας ένα στεγνωτήριο θαλάμου. Η περιεκτικότητα σε υγρασία στο χαρτόνι προσδιορίζεται ως ο λόγος της μείωσης της μάζας του δείγματος μετά την ξήρανση προς την αρχική μάζα του δείγματος, συνήθως εκφρασμένη σε [%]. Αυτή είναι μια βασική παράμετρος για τη μέτρηση. Η περιεκτικότητα σε υγρασία του κυματοειδούς χαρτονιού μεταφράζεται άμεσα στις ιδιότητες αντοχής του και στην εφαρμογή του στην επεξεργασία. Επηρεάζει τη σταθερότητα των διαστάσεων του χαρτονιού και των συσκευασιών του. Το διάστημα αντοχής για την παράμετρο είναι  $\pm 2\%$  της ονομαστικής τιμής (Frank, 2013).

#### Κάμψη κυματοειδούς χαρτονιού (επιπεδότητα)

Η κάμψη κυματοειδούς χαρτονιού ορίζεται ως ο λόγος του ύψους κάμψης του φύλλου (N) προς το μήκος του φύλλου (L) και εκφράζεται σε [%]. Δεν πρέπει να υπερβαίνει το 4%. Αυτός ο παράγοντας είναι ιδιαίτερα σημαντικός στην περίπτωση (κενών) κουτιών για τις μηχανές συσκευασίας (Garbowskietal., 2020).



**Εικόνα 35 :** Κάμψη κυματοειδούς χαρτονιού

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

### Χρώμα κυματοειδούς χαρτονιού

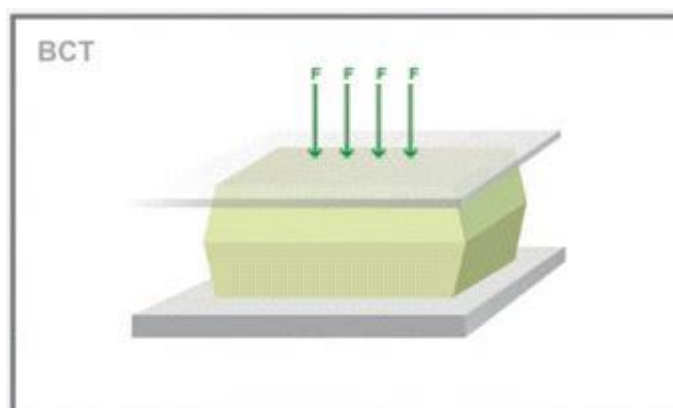
Το χρώμα του κυματοειδούς χαρτονιού δεν προσδιορίζεται κατηγορηματικά. Θεωρείται ως «χαρακτηριστικό για προϊόντα χαρτιού» και θα πρέπει να είναι το ίδιο τουλάχιστον σε μία μόνο σειρά παραγωγής (Gaikwadetal., 2016).

## 2.3Οι βασικές ιδιότητες και παράμετροι των συσκευασιών

### Παράμετροι αντοχής

Το βασικό και πιο συχνά χρησιμοποιούμενο μέτρο αντοχής της συσκευασίας από κυματοειδές χαρτόνι είναι η δοκιμή συμπίεσης κουτιού (BCT). Η παράμετρος προσδιορίζεται για να μετρηθεί η αντίσταση του κιβωτίου σε φορτία που προκαλούνται από συμπίεση και στοίβαξη. Η δοκιμή συνίσταται στη συμπίεση ενός κουτιού ανάμεσα σε δύο παράλληλες πλάκες, μέχρι να συντριβούν τα τοιχώματα του χαρτονιού. Η δοκιμή πραγματοποιείται σε άδεια δοχεία, αφού έχουν σχηματιστεί και κολληθεί σωστά. Η αντίσταση ελέγχεται για κάθετη, πλευρική και διαμήκη συμπίεση. Το επίπεδο αντίστασης στην περίπτωση της πλευρικής και διαμήκους συμπίεσης δεν είναι τόσο υψηλό όσο για την κατακόρυφη συμπίεση (PN – EN ISO 12048:2002). Τα κουτιά από κυματοειδές χαρτόνι πρέπει να διασφαλίζουν επαρκή προστασία του περιεχομένου καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου συσκευασίας και διανομής. Η

εκπλήρωση αυτής της εργασίας εξαρτάται από την ποιότητα του χρησιμοποιούμενου χαρτονιού και την κατασκευή (Dominicetal., 2014).



**Εικόνα 36 :** Δοκιμή συμπίεσης κουτιού

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

#### Άλλες δοκιμές συσκευασίας

Άλλες δοκιμές εφαρμόζονται για παράδειγμα στην περίπτωση ειδικών προγραμμάτων δοκιμών που ισχύουν για συσκευασίες για επικίνδυνα υλικά. Τα επικίνδυνα υλικά πρέπει να αποθηκεύονται και να μεταφέρονται σε συσκευασίες ειδικής ποιότητας, ώστε να αντέχουν τους κραδασμούς και τις εργασίες φόρτωσης κατά τη μεταφορά τους. Οι συσκευασίες πρέπει να κατασκευάζονται και να κλείνονται με τρόπο που να αποτρέπει τυχόν απώλεια του περιεχομένου τους κατά τη μεταφορά, λόγω κραδασμών, μεταβολών θερμοκρασίας, υγρασίας ή πίεσης. Κάθε επικίνδυνο υλικό θα πρέπει να συσκευάζεται σε τέτοιου τύπου συσκευασία που να είναι πιστοποιημένη από ισχύουσα οδηγία συσκευασίας και να ορίζεται στους σχετικούς κανονισμούς. Το βασικό πρόγραμμα δοκιμών για πιστοποιημένες συσκευασίες (νομική απαίτηση για συσκευασίες επικίνδυνων υλικών) περιλαμβάνει(Boacaetal., 2021) :

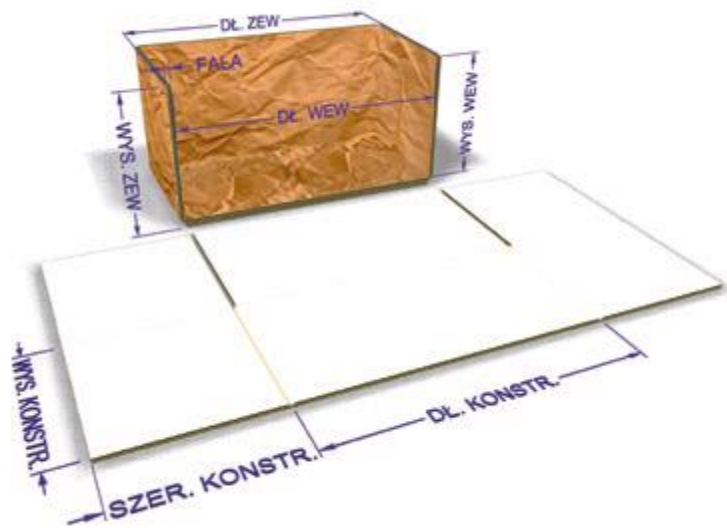
- Πιλοτική δοκιμή.
- Οριζόντια κρούση.
- Στατική πίεση.

## Διαστάσεις

Υπάρχουν τρεις τύποι διαστάσεων για τις συσκευασίας (Boacaetal., 2021) :

- Εσωτερικός τύπος διάστασης
- Εξωτερικός τύπος διάστασης
- Κατασκευαστικός τύπος διάστασης.

Οι διαστάσεις δίνονται πάντα με την ακόλουθη σειρά όπου είναι μήκος, πλάτος, ύψος και κατά κανόνα ισχύουν για το εσωτερικό του κουτιού. Αυτές είναι οι εσωτερικές διαστάσεις χρησιμότητας. Οι εσωτερικές διαστάσεις μιας συσκευασίας (μήκος και πλάτος) είναι οι αποστάσεις μεταξύ δύο απέναντι τοιχωμάτων του διαμορφωμένου κουτιού. Το ύψος είναι μια απόσταση μεταξύ των εσωτερικών πτερυγίων που σχηματίζουν το κάτω και το πάνω μέρος (καπάκι). Πρέπει να τονιστεί ότι οι μετρήσεις πρέπει να γίνονται στα πλησιέστερα σημεία (πράγμα που εγγυάται ότι οι εσωτερικές διαστάσεις είναι τουλάχιστον ίσες με τις διαστάσεις του συσκευασμένου προϊόντος). Εάν δίνονται άλλες διαστάσεις εκτός από τις εσωτερικές, θα πρέπει να αναφέρονται σαφώς και ρητά, για παράδειγμα εξωτερικές διαστάσεις, που είναι οι συνολικές διαστάσεις της συσκευασίας. Επιπλέον, υπάρχουν οι κατασκευαστικές διαστάσεις, που εμφανίζονται σε σχέδια (2D), που αποστέλλονται για έγκριση. Αυτός ο τύπος διαστασιολόγησης δεν περιλαμβάνει το πάχος του υλικού και είναι πανομοιότυπος με τον άξονα των δομικών τοιχωμάτων του κιβωτίου (Allaouietal., 2011).



**Εικόνα 37 :** Διαστάσεις ενός κιβωτίου

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

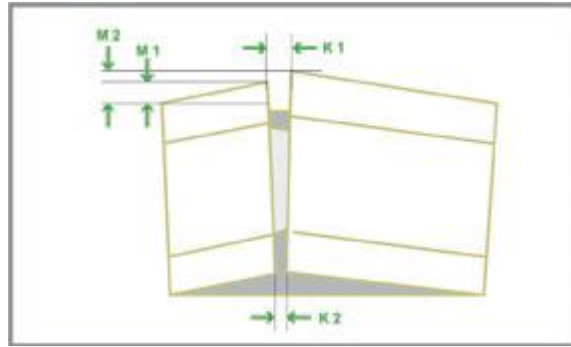
Οι αντοχές που προκύπτουν από τις τεχνικές δυνατότητες των μηχανών μετατροπής είναι οι εξής (Zhangetal., 2014) :

- Αντοχή δοκιμής συμπίεσης κουτιού  $\pm 10\%$  της ονομαστικής τιμής.
- Αντοχή εσωτερικών διαστάσεων  $\pm 2$  χιλιοστά.
- Διάταξη λωρίδας αποκοπής  $\pm 2$  χιλιοστά.
- Απόσταση πτυχών  $\pm 2$  χιλιοστά.
- Διακυμάνσεις (fishtail).

Ο όρος "Fishtail" χρησιμοποιείται λόγω έλλειψης παραλληλισμού μεταξύ των άκρων στην πλευρά της άρθρωσης / στο κολλημένο πτερύγιο. Οι διακυμάνσεις απόστασης (K1-K2), που παρουσιάζονται στην εικόνα 38, εξαρτώνται από τον τύπο των αυλακώσεων και δεν πρέπει να υπερβαίνουν (Suarezetal., 2021) :

- Αυλακώσεις τύπου B : 4,5 χιλιοστά.
- Αυλακώσεις τύπου C-A: 6,5 χιλιοστά.
- Αυλακώσεις τύπου AB-CB: 8 χιλιοστά.





**Εικόνα 38 :** Διακυμάνσεις του χαρτονιού (fishtail)

(πηγή : Association of Polish Papermakers, 2020)

### Χρώμα συσκευασίας

Για συσκευασίες με λευκή επένδυση είναι δυνατό να καθοριστεί η λευκότητα. Για τις λεγόμενες «καφέ» συσκευασίες δεν προσδιορίζεται το χρώμα και θα πρέπει να αντιμετωπίζεται ως χαρακτηριστικό για τα προϊόντα της βιομηχανίας χαρτιού. Πιθανές χρωματικές παραλλαγές είναι αποδεκτές (Parketal., 2020).

### Αντοχή όγκου – αριθμός συσκευασιών ή φύλλων

Ένας αγοραστής θα πρέπει να αποδεχτεί τις παραδοθείσες συσκευασίες, σύμφωνα με τις ακόλουθες αντοχές (Johnson&Popil, 2015) :

- $\pm 20\%$  για κάτω από 500 τεμάχια συσκευασιών.
- $\pm 10\%$  για 501 έως 2000 τεμάχια συσκευασιών.
- $\pm 5\%$  για 2001 έως 4000 τεμάχια συσκευασιών.
- $\pm 2\%$  για πάνω από 4000 τεμάχια συσκευασιών.

### Εγγύηση

Η εγγύηση μπορεί να καλύπτει ένα έτος τόσο για συσκευασίες από χαρτί κυτταρίνης όσο και για ανακτημένο χαρτί, που υπολογίζονται από την ημερομηνία παραγωγής, εξαιρουμένου του αποτυπώματος, με την επιφύλαξη της τήρησης κατάλληλων συνθηκών αποθήκευσης και μεταφοράς (Gajewskietal., 2021).

## 2.4Τα πρότυπα συσκευασίας, αποθήκευσης και μεταφοράς συσκευασιών μεγάλου όγκου και βάρους

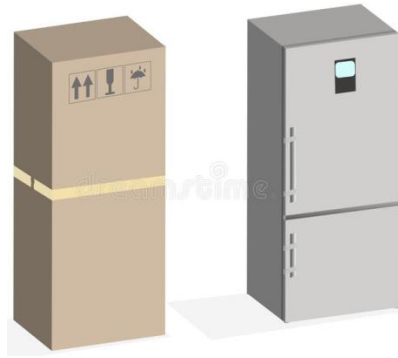


**Εικόνα 39 :** Κιβώτια για όλες τις ηλεκτρικές συσκευές του σπιτιού

(πηγή : <https://www.timesofisrael.com/startup-wants-to-make-it-affordable-to-buy-large-items-from-overseas/>)

### Συσκευασία

Οι προμήθειες συσκευασιών σε εξωτερικές αποθήκες ή αποθήκες πελατών θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη το κλίμα και τις συνθήκες μεταφοράς, οι οποίες μπορεί να επηρεάσουν την ποιότητα των προϊόντων (συσκευασία, κυματοειδές χαρτόνι, κλπ). Πρέπει να χρησιμοποιούνται επαρκείς παλέτες για την αποθήκευση και τη μεταφορά των συσκευασιών. Η συσκευασία πρέπει να τοποθετείται σε στεγνή παλέτα, προστατευμένη με ένα επιπλέον φύλλο χαρτονιού. Το ύψος της παλέτας πρέπει να προσαρμόζεται στις απαιτήσεις αποθήκευσης και μεταφοράς. Ένα τυπικό ύψος εμπορευμάτων με παλέτα κυμαίνεται από 1800 έως 2200 χιλιοστά, ανάλογα με τις συνθήκες του παραγωγού ή/και του πελάτη. Προκειμένου να αποτραπεί η ζημία κατά τη μεταφορά, χρησιμοποιούνται ταινίες παλετών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, εκτός από ταινίες, είναι επίσης δυνατή η χρήση συρρικνωμένων καλυμμάτων παλετών. Για τη διατήρηση της ποιότητας της συσκευασίας, απαιτείται η κατάλληλη προστασία των εμπορευμάτων για μεταφορά (Beck&Fischerauer, 2022).



**Εικόνα 40 :** Κιβώτιο για την συσκευή του ψυγείου

(πηγή : <https://bit.ly/3REbubu>)

### Αποθήκευση

Για να διατηρηθεί η ποιότητα των συσκευασιών σε σταθερό επίπεδο, θα πρέπει να αποθηκεύονται σύμφωνα με τις γενικές συστάσεις για την αποθήκευση συσκευασιών από κυματοειδές χαρτόνι. Οι κύριες συστάσεις περιλαμβάνουν(Nicaet al., 2020) :

- Αποθήκευση των συσκευασιών σε κατάλληλα αεριζόμενους χώρους, όπου η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία είναι 5–30°C και 30-70% αντίστοιχα. Πρέπει να αποτρέπονται οι γρήγορες αλλαγές θερμοκρασίας ή υγρασίας στα καταστήματα.
- Αποθήκευση όχι απευθείας στο πάτωμα αλλά σε παλέτες ή πλατφόρμες, με καθαρή και στεγνή επιφάνεια.
- Προστασία της συσκευασίας από νερό (βροχή, συμπύκνωση, διαρροές) και υπερβολική άμεση ηλιακή ακτινοβολία. Οι συσκευασίες δεν πρέπει να διαβρέχονται με νερό κατά τον χειρισμό.

- Προστασία από τη σκόνη, η οποία μπορεί να είναι επιβλαβής για τις μηχανές συσκευασίας.
- Προστασία από τη θερμότητα και τις γρήγορες αλλαγές των κλιματικών συνθηκών (συχνά ανοιχτές πόρτες, δυσμενείς επιπτώσεις των συστημάτων εξαερισμού, κ.λπ.).
- Εξασφάλιση της κατάλληλης μετακίνησης των συσκευασιών (η αρχή FIFO).
- Διατήρηση των συσκευασιών στην κατάσταση στην οποία έφτασαν, χωρίς αφαίρεση προστατευτικών ταινιών μέχρι το άνοιγμα τους.
- Στερέωση της προστατευτικής μεμβράνης και των ιμάντων μετά την αφαίρεση μέρους των συσκευασιών από την παλέτα. Κατά την επανατοποθέτηση της συσκευασίας, πρέπει να δίνεται προσοχή ώστε να αποφευχθεί η καταστροφή των συσκευασιών. Οι κατεστραμμένες συσκευασίες μπορεί να χάσουν τη λειτουργικότητά τους καθώς και να μπλοκάρουν τον εξοπλισμό συσκευασιών.
- Αποφυγή υψηλής κατακόρυφης αποθήκευσης παλετών. Σε ορισμένες περιπτώσεις αυτό μπορεί να καταστρέψει τις συσκευασίες που βρίσκονται στην κάτω παλέτα.
- Προσεκτική χρήση αιχμηρών αντικειμένων (μαχαίρια κ.λπ.) για το άνοιγμα παλετών ή την αφαίρεση περιτυλίγματος. Αυτό μπορεί να καταστρέψει τις συσκευασίες.
- Διατήρηση όλων των εγγράφων στην παλέτα μέχρι να χρησιμοποιηθούν όλες οι συσκευασίες.

Η εφαρμογή των παραπάνω συστάσεων έχει θετικό αντίκτυπο στη χρησιμότητα των προϊόντων (Nicaetal., 2020).



**Εικόνα 41 :** Κιβώτιο για την συσκευή του πλυντηρίου

(πηγή : <https://bit.ly/3RHqIwk>)

## Μεταφορά

Η επαρκής μεταφορά των συσκευασιών των χαρτονιών σε εξωτερικό μέρος επηρεάζει σημαντικά την ποιότητα τους. Υπάρχουν οι εξής τύποι μεταφοράς(Ran& Liu, 2019) :

- Οδική μεταφορά.
- Μεταφορά με τρένο.
- Μεταφορά από το νερό (θαλάσσια μεταφορά).
- Μεταφορά από τον αέρα.

Η ασφάλεια θα πρέπει να προσαρμόζεται στον τύπο μεταφοράς. Σε περίπτωση οδικής μεταφοράς (σιδηροδρομικών ή αεροπορικών μεταφορών), θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην προστασία από μηχανικές βλάβες. Στη μεταφορά από το νερό

υπάρχει ένας επιπλέον κίνδυνος που προκύπτει από την υγρασία στον αέρα και τη διαβροχή της συσκευασίας. Επίσης, σημαντική είναι η καθαριότητα των μέσων μεταφοράς (οσμή, σκόνη). Σε όλες τις προαναφερθείσες περιπτώσεις θα πρέπει να εφαρμόζονται ακριβώς οι ίδιες διασφαλίσεις όπως και στην αποθήκευση (Ran&Liu, 2019).



**Εικόνα 42 :** Κιβώτιο για την συσκευή της ηλεκτρικής κουζίνας  
(πηγή : <https://bit.ly/3zdCCXu>)

## Επίλογος

Παραδοσιακά, το κυματοειδές χαρτόνι είναι περισσότερο γνωστό για τη δομική της αντοχή του και προσφέρει προστασία σε συσκευασμένα προϊόντα καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου μεταφοράς. Ωστόσο, έχει εξελιχθεί με την πάροδο του χρόνου και σήμερα αποτελεί ένα πολύ πιο ευέλικτο προϊόν. Χωρίς το κυματοειδές χαρτόνι, ο κόσμος της συσκευασίας θα δυσκολευόταν να διανείμει, να αποθηκεύσει και να προστατεύσει το προϊόν μέχρι να φτάσει στη λειτουργικότητα για την οποία σχεδιάστηκε. Για να χρησιμοποιηθεί το κυματοειδές χαρτόνι και οι αντίστοιχες συσκευασίες από αυτό το υλικό, είναι πολύ σημαντικό να γίνουν γνωστές οι μηχανικές ιδιότητες του κυματοειδούς χαρτονιού. Συνήθως, ο αριθμός των στρώσεων σε ένα κυματοειδές χαρτόνι εξαρτάται από τις απαιτήσεις κάθε συσκευασίας.

Λόγω των προστατευτικών ιδιοτήτων, της χαμηλής τιμής παραγωγής και του βαθμού οικολογίας, το κυματοειδές χαρτόνι είναι ένα από τα πιο δημοφιλή υλικά που χρησιμοποιούνται. Δεδομένων αυτών των σημαντικών ιδιοτήτων για τη διαδικασία συσκευασίας, το κυματοειδές χαρτόνι έχει υιοθετηθεί για πολλούς τύπους συσκευασιών, αντικαθιστώντας μεταλλικές ή ξύλινες συσκευασίες με την πάροδο των ετών, συμβάλλοντας έτσι στην οικονομική βελτιστοποίηση των προϊόντων με παράλληλη μείωση του βάρους μεταφοράς (στην περίπτωση των ξύλινων συσκευασιών ή των μεταλλικών ένα μεγάλο μέρος του μεταφερόμενου φορτίου, αντιπροσωπεύεται από το βάρος της συσκευασίας) και την αποτελεσματικότητα των τεχνολογικών διαδικασιών κατασκευής της συσκευασίας (το υλικό αυτό δεν απαιτεί μεγάλη πρόοδο επεξεργασίας σε σύγκριση με τις ξύλινες ή μεταλλικές συσκευασίες). Στην περίπτωση του κυματοειδούς χαρτονιού, η μηχανική αντοχή επηρεάζεται από τη κυματοειδή ιδιότητα, πιο συγκεκριμένα την ιδιότητα που προσδίδει μια ακαμψία, αλλά ειδικά η αντοχή στοίβαξης για κυματοειδείς συσκευασίες. Τέλος, το πιο ενδιαφέρον πράγμα είναι ο κενός χώρος, που προκύπτει από το ημιτονοειδές σχήμα της αυλάκωσης του χαρτονιού και του εξωτερικού χαρτονιού στα τοιχώματα, όπου αυτό το διάκενο αέρα επιτρέπει τη μόνωση της συσκευασίας.

## Βιβλιογραφία

Allaoui, S., Aboura, Z., & Benzeggagh, M. (2011). Contribution to the Modelling of the Corrugated Cardboard Behaviour. *arXiv*, 1(6), 12-26.

Association of Polish Papermakers, (2020). *General issues and the recommended standards for corrugated board and corrugated board packaging*. Ανακτήθηκε στις 1/6/2022 από <https://bit.ly/3x84eee>

Beck, M., & Fischerauer, G. (2022). Modeling Warp in Corrugated Cardboard Based on Homogenization Techniques for In-Process Measurement Applications. *Applied Sciences*, 12(3), 16-34.

Boaca, F. I., Cananau, S., Prisecaru, D., Stoica, M., & Cucu, L. (2021). Mechanical design of corrugated packaging box. *Journal of Research and Innovation for Sustainable Society*, 3(2), 132–139.

Böröcz, P. (2015). Measurement and Analysis of Deformation Shapes on Corrugated Cardboard Logistical Boxes Under Static and Dynamic Compression. *Acta Technica Jaurinensis*, 8(4), 32-50.

Chen, J., Zhang, Y. L., & Sun, J. (2011). An Overview of the Reducing Principle of Design of Corrugated Box Used in Goods Packaging. *Procedia Environmental Sciences*, 1(5), 992–998.

Dekker, A. (2012). Corrugated fibreboard packaging. *Handbook of Paper and Paperboard Packaging Technology*, 313–339.

Dominic, C., Östlund, S., Buffington, J., & Masoud, M. M. (2014). Towards a Conceptual Sustainable Packaging Development Model : A Corrugated Box Case Study. *Packaging Technology and Science*, 28(5), 397–413.



Frank, B. (2013). Corrugated Box Compression-A Literature Survey. *Packaging Technology and Science*, 27(2), 105–128.

Gaikwad, K. K., Singh, S., & Lee, Y. S. (2016). Functional Corrugated Board with Organic and Inorganic Materials in Food Packaging Applications : A Review. *Korean Journal of Packaging Science and Technology*, 22(3), 49–58.

Gajewski, T., Garbowski, T., Staszak, N., & Kuca, M. (2021). Crushing of Double-Walled Corrugated Board and Its Influence on the Load Capacity of Various Boxes. *Energies*, 14(14), 4321.

Garbowski, T., Gajewski, T., & Grabski, J. K. (2020). The Role of Buckling in the Estimation of Compressive Strength of Corrugated Cardboard Boxes. *Materials*, 13(20), 45-78.

Garbowski, T., Gajewski, T., Mrówczyński, D., & Jędrzejczak, R. (2021a). Crushing of Single-Walled Corrugated Board during Converting: Experimental and Numerical Study. *Energies*, 14(11), 3203.

Garbowski, T., Grabski, J. K., & Marek, A. (2021b). Full-Field Measurements in the Edge Crush Test of a Corrugated Board – Analytical and Numerical Predictive Models. *Performance of Corrugated Materials*, 4(5), 1-11.

Garbowski, T., Knitter-Piątkowska, A., & Mrówczyński, D. (2021c). Numerical Homogenization of Multi-Layered Corrugated Cardboard with Creasing or Perforation. *Materials*, 14(14), 3786.

Garbowski, T., & Andrzejak, K. (2022). Relationship between SCT of paper and ECT of single-wall corrugated board. *Przegląd Papierniczy*, 1(4), 34–40.

Gupta, M., & Shri, C. (2016). Modeling of Changes: A Case Study on Corrugated Packaging Firm. *International Journal of Advanced Packaging Technology*, 4(1), 226–245.

Hanson, J. L., Yesiller, N., Singh, J., Stone, G. M., & Stephens, A. (2010). Beneficial Reuse of Corrugated Board in Slurry Applications. *Geoenvironmental Engineering and Geotechnics*, 159-168.

Johnson, S., & Popil, R. (2015). Corrugated board bonding defect visualization and characterization. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 5(9), 105–114.

Kalita, N., Saxena, P., & Talha, M. (2021). Influence of Stiffeners for Improving the Compressive Strength of Ventilated Corrugated Packages Using Finite Element Modelling Technique. *Sustainability*, 13(24), 13-26.

Kaushal, M., Sirohiya, V., & Rathore, R. (2021). A Review of Corrugated Board Structure. *International Journal of Application of Engineering and Technol*, 2(3), 1-7.

Köstner, V., Ressel, J., Sadlowsky, B., & Böröcz, P. (2017). Individual Test Rig for Measuring the Creep Behaviour of Corrugated Board for Packaging. *Acta Technica Jaurinensis*, 10(2), 14-28.

Marinelli, A., Diamanti, M. V., Lucotti, A., Pedefferri, M. P., & delCurto, B. (2021). Evaluation of Coatings to Improve the Durability and Water-Barrier Properties of Corrugated Cardboard. *Coatings*, 12(1), 10-23.

Mrówczyński, D., Garbowski, T., & Knitter-Piątkowska, A. (2021). Estimation of the Compressive Strength of Corrugated Board Boxes with Shifted Creases on the Flaps. *Materials*, 14(18), 51-81.

Mrówczyński, D., Knitter-Piątkowska, A., & Garbowski, T. (2022a). Optimal Design of Double-Walled Corrugated Board Packaging. *Materials*, 15(6), 21-49.

Mrówczyński, D., Knitter-Piątkowska, A., & Garbowski, T. (2022b). Non-Local Sensitivity Analysis and Numerical Homogenization in Optimal Design of Single-Wall Corrugated Board Packaging. *Materials*, 15(3), 72-90.

Nica, W., Chalmet, R., Roman, J., & Juwet, M. (2020). Inline corrugated board creasing. *Procedia Manufacturing*, 51, 501–504.

Park, J., Chang, S., & Jung, H. M. (2020). Numerical Prediction of Equivalent Mechanical Properties of Corrugated Paperboard by 3D Finite Element Analysis. *Applied Sciences*, 10(22), 79-93.

Pereira, T., Neves, A., Silva, F., Godina, R., Morgado, L., & Pinto, G. (2020). Production Process Analysis and Improvement of Corrugated Cardboard Industry. *Procedia Manufacturing*, 1395–1402.

Popil, R. E., & Hojjatie, B. (2010). Effects of component properties and orientation on corrugated container endurance. *Packaging Technology and Science*, 23(4), 189–202.

Popil, R. (2012). Overview of Recent Studies at Ipst on Corrugated Board Edge Compression Strength: Testing Methods and Effects of Interflute Buckling. *BioResources*, 7(2), 1-18.

Ran, J., & Liu, C. (2019). Modeling of the Stiffness of Corrugated Cardboard Considering Material Non-linear Effect. *Journal of Physics: Conference Series*, 1187(3), 1-11.

Sales, R. B. C., Franco, A. G., Mohallem, N. D. S., & Paulino Aguilar, M. T. (2018). Study of Double Walled Corrugated Cardboard as an Alternative Material for Eco-Friendly Designed Furniture. *Materials Science Forum*, 9(3), 195–200.

Suarez, B., Muneta, L. M., Romero, G., & Sanz-Bobi, J. D. (2021). Efficient Design of Thin Wall Seating Made of a Single Piece of Heavy-Duty Corrugated Cardboard. *Materials*, 14(21), 6645.

Wu, S., & Li, P. (2021). Study on the cardboard behavior during the vacuum picking process in automatic pantyhose packaging machine. *SN Applied Sciences*, 3(8), 38-49.

Zhang, Z., Qiu, T., Song, R., & Sun, Y. (2014). Nonlinear Finite Element Analysis of the Fluted Corrugated Sheet in the Corrugated Cardboard. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2(4), 1–8.

