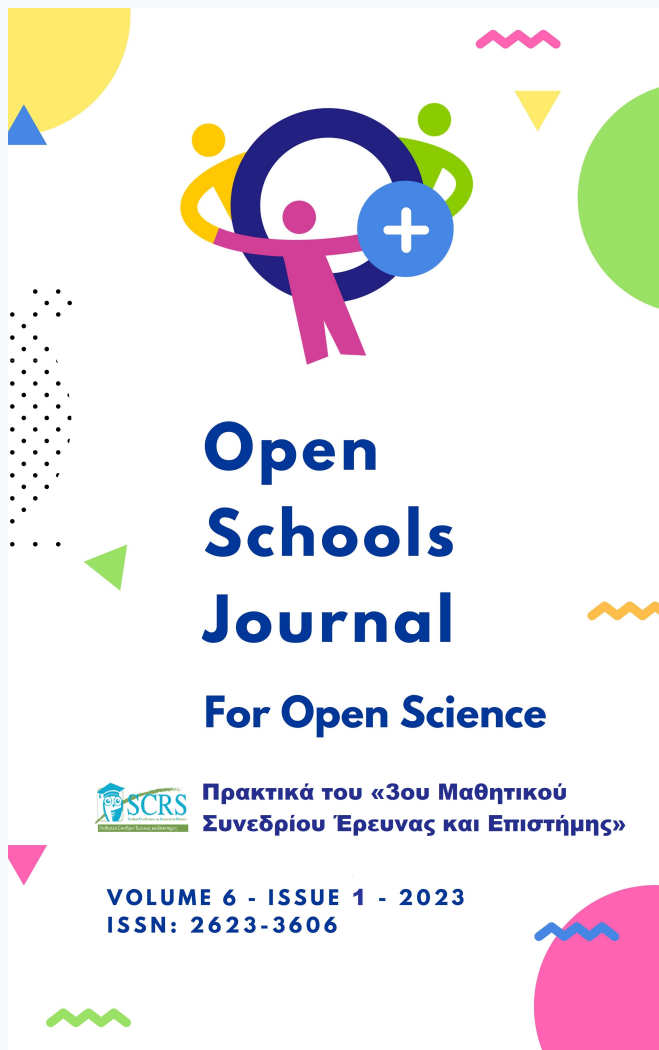


Open Schools Journal for Open Science

Τόμ. 6, Αρ. 1 (2023)

Open Schools Journal for Open Science - Special Issue -Πρακτικά του «3ου Μαθητικού Συνεδρίου Έρευνας και Επιστήμης»



Αντοχή Μακαρονιών- Γέφυρα από Μακαρόνια

Ναταλία Κιρμιζή , Μαρία Κλεισιώτη , Βαρβάρα Μπατσή, Θεόδωρος Σαρρής , Κλαίρη Αχιλλέως, Νικόλαος Δίντσιος, Σταύρος Παπαδόπουλος

doi: [10.12681/osj.32451](https://doi.org/10.12681/osj.32451)

Copyright © 2023, Ναταλία Κιρμιζή , Μαρία Κλεισιώτη , Βαρβάρα Μπατσή, Θεόδωρος Σαρρής , Κλαίρη Αχιλλέως, Νικόλαος Δίντσιος, Σταύρος Παπαδόπουλος



Άδεια χρήσης [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

Βιβλιογραφική αναφορά:

Κιρμιζή Ν., Κλεισιώτη Μ., Μπατσή Β., Σαρρής Θ., Αχιλλέως Κ., Δίντσιος Ν., & Παπαδόπουλος Σ. (2023). Αντοχή Μακαρονιών- Γέφυρα από Μακαρόνια. *Open Schools Journal for Open Science*, 6(1). <https://doi.org/10.12681/osj.32451>

Αντοχή Μακαρονιών- Γέφυρα από Μακαρόνια

(Φυσική, Προφορική παρουσίαση)

Κιρμιζή Ναταλία¹, Κλεισιώτη Μαρία², Μπατσή Βαρβάρα³, Σαρρής Θεόδωρος⁴

1^ο Πρότυπο Λύκειο Θεσσαλονίκης «Μανόλης Ανδρόνικος»

¹natalikirm@gmail.com, ²kleitsiotimaria@gmail.com, ³barbara.batsi@gmail.com,

⁴theosar04@gmail.com

Επιβλέποντες καθηγητές/τριες

Κλαίρη Αχιλλέως¹, Σταύρος Παπαδόπουλος², Νικόλαος Δίντσιος³

^{1,2} Δρ. Φυσικοί ΠΕ04.01, 1^ο Πρότυπο Λύκειο Θεσσαλονίκης «Μανόλης Ανδρόνικος»

³ Δρ. Φυσικός ΠΕ04.01, Πειραματικό Λύκειο Πανεπιστημίου Μακεδονίας

¹cachilleosa@gmail.com, ²stpapado@sch.gr, ³nikos.dintsios@gmail.com

Περίληψη

Σε πολλά πανεπιστήμια, διοργανώνουν διαγωνισμούς «spaghetti bridge». Πρόκειται για την κατασκευή μίας γέφυρας από μακαρόνια με περιορισμένες διαστάσεις και βάρος. Το βραβείο κερδίζει η γέφυρα που αντέχει το μεγαλύτερο φορτίο. Η επινόηση μίας τέτοιας γέφυρας βασίζεται στην αντοχή των μακαρονιών σε μεγάλα βάρη. Στην εργασία αυτή ερευνάται η αντοχή των μακαρονιών σε φορτίο, καθώς και η εξάρτηση του φορτίου αυτού από το πλήθος των μακαρονιών που το σηκώνουν. Η μελέτη της κάμψης των μακαρονιών έγινε με απλά υλικά αλλά και με μια απλή συσκευή που κατασκευάστηκε με 3D εκτύπωση. Μετά τη μελέτη της κάμψης των μακαρονιών έγινε προσπάθεια σχεδιασμού και κατασκευής δύο πλατφόρμων από μακαρόνια. Οι πλατφόρμες έχουν ίδιο βάρος αλλά διαφορετική δομή. Μελετάται το μέγιστο βάρος που μπορούν να σηκώσουν.

Λέξεις κλειδιά: Αντοχή υλικών, Spaghetti Bridge, Κάμψη, Μηχανικές τάσεις, 3D σχεδίαση-εκτύπωση

Εισαγωγή

Είναι γεγονός, πως η μελέτη των φυσικών φαινομένων αποτελεί μία συναρπαστική και ατέρμονη αναζήτηση, γεμάτη συνεχείς ανακαλύψεις. Η αξία της πειραματικής διαδικασίας σε αυτό το ταξίδι εξερεύνησης, αναγνωρίστηκε ανά τους αιώνες από τον Ερατοσθένη έως και τον Νεύτωνα, που μέσω ιδιοφυϊών



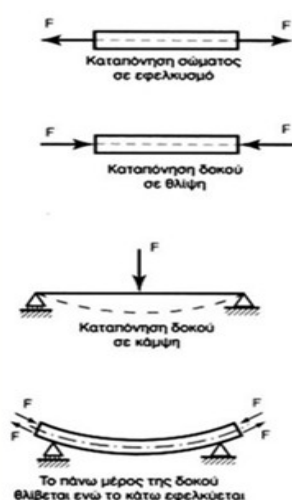
<https://images.app.goo.gl/3GcgLfmHCdjmXne8>

Σχήμα 1: Κάμψη στο ανθρώπινο χέρι

πειραμάτων κατέληξαν σε επαναστατικά συμπεράσματα.

Στην εργασία που ακολουθεί, μελετούμε την αντοχή των μακαρονιών με τη βοήθεια ενός δημιουργικού πειράματος. Με τον όρο «δημιουργικά πειράματα» αναφερόμαστε σε πειράματα που σχεδιάζονται και εκτελούνται από τους ίδιους τους μαθητές, χρησιμοποιώντας αποκλειστικά απλά, καθημερινά υλικά. Οι μαθητές-ερευνητές μελετούν ένα σενάριο (μια ιστορία) μέσα στο οποίο περιγράφεται μια κατάσταση και τίθεται το ερευνητικό ερώτημα. Η όλη διαδικασία οξύνει την φαντασία, την εφευρετικότητα και την συνδυαστική σκέψη των μαθητών, ενώ παράλληλα εμπλουτίζουν τις γνώσεις τους σχετικά με τις φυσικές επιστήμες και καλλιεργούν τις πειραματικές τους δεξιότητες.

Με το συγκεκριμένο πείραμα επιχειρούμε να μελετήσουμε την αντοχή των



<https://fdocument.org/document/>

Σχήμα 2: Εφελκυσμός, θλίψη, κάμψη

μακαρονιών και να κατανοήσουμε το φαινόμενο της κάμψης. Γενικότερα η μελέτη της αντοχής των υλικών έχει μεγάλη σημασία καθώς μόνον βάσει αυτής είμαστε σε θέση να αξιοποιούμε στον βέλτιστο βαθμό κάθε υλικό. Μελετώντας την αντοχή ενός υλικού εξασφαλίζεται ταυτόχρονα η ανθεκτικότητα, η λειτουργικότητα και πρωτίστως η ασφάλεια των έργων και των εργαλείων στα οποία θα χρησιμοποιηθεί. Επιπλέον, το φαινόμενο της κάμψης συναντάται παντού τριγύρω μας, λόγω χάρη στις οδικές γέφυρες και τα μπαλκόνια κτιρίων. Πρόκειται για το αποτέλεσμα των ασκούμενων κάθετων δυνάμεων σε κάποιο μακρόστενο σώμα. Καθώς το σώμα τείνει να καμπυλωθεί, στη μία πλευρά του προκαλείται θλίψη, δηλαδή συμπίεση, ενώ στην άλλη εφελκυσμός, δηλαδή «τράβηγμα». Η κάμψη μπορεί να προκαλέσει την παραμόρφωση ή ακόμα και την θραύση του σώματος.

Έμπνευση για το πείραμα που ακολουθεί, αποτέλεσαν οι γνωστοί διαγωνισμοί “Spaghetti bridge contest”, που διοργανώνονται από διάφορα σχολεία και πανεπιστήμια ανά τον κόσμο. Σκοπός των διαγωνιζομένων είναι να κατασκευάσουν μία γέφυρα, χρησιμοποιώντας μόνο ωμά μακαρόνια και κόλλα, που να αντέχει όσο μεγαλύτερο φορτίο γίνεται, για μικρό χρονικό διάστημα. Η γέφυρα πρέπει να μην ξεπερνά ορισμένες διαστάσεις, ούτε και ένα συγκεκριμένο όριο μάζας.

Σκοπός του πειράματος

Η έρευνά μας στοχεύει, στη διερεύνηση της αντοχής των μακαρονιών σε φορτίο, καθώς και της εξάρτησης του φορτίου αυτού από το πλήθος των μακαρονιών που το σηκώνουν. Για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς του μακαρονιού στην ανάρτηση συγκεκριμένης μάζας μελετάται αν η κάμψη του/των μακαρονιών υπακούει στο Νόμο του Hook (Γιαννακόπουλος, 2011) και γίνεται προσπάθεια να εντοπιστούν περιορισμοί που να διαταράσσουν την πιθανή κάμψη. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιώντας το ελεύθερο πρόγραμμα τρισδιάστατης σχεδίασης Tinkercad, σχεδιάστηκε η διάταξη στήριξης και μέτρησης της κάμψης ενός ή περισσότερων

μακαρονιών τύπου spaghetti No 6. Σε συνεργασία με το Εργαστήριο Διδακτικής της Φυσικής & Εκπαιδευτικής Τεχνολογίας του ΑΠΘ, η διάταξη εκτυπώθηκε σε 3d εκτυπωτή.



[The Strength Of Pasta - Spaghetti Bridge Building World Championship 2016](#)
Σχήμα 3: Παγκόσμιος Διαγωνισμός spaghetti Bridge στην Ουγγαρία, 2016

Σφάλματα μέτρησης

Πριν τη παρουσίαση της πειραματικής διαδικασίας και των αποτελεσμάτων πρέπει να γίνει μια αναφορά στα σφάλματα μέτρησης. Όπως είναι γνωστό καμιά πειραματική μέτρηση δεν είναι απόλυτα ακριβής. Η διαφορά του αποτελέσματος της μέτρησης από την πραγματική τιμή που έχει το μέγεθος ονομάζεται σφάλμα μέτρησης ή αβεβαιότητα.

Τα σφάλματα μέτρησης οφείλονται σε τρεις παράγοντες: α. στη μέθοδο της μέτρησης, β. στην ατέλεια των οργάνων και γ. στον παρατηρητή. Χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: α. στα τυχαία και β. στα συστηματικά.

Τα τυχαία σφάλματα δεν είναι μόνιμα και επηρεάζουν κάποιες μετρήσεις μόνο. Τέτοια σφάλματα είναι το σφάλμα παράλλαξης που οφείλεται στη λανθασμένη θέση παρατήρησης του ματιού του παρατηρητή, τα ακούσια λάθη παρατήρησης ή τα ακούσια λάθη γραφής των μετρήσεων. Τα τυχαία σφάλματα περιορίζονται αν γίνουν πολλές μετρήσεις για ένα φυσικό μέγεθος και μετά υπολογίσουμε τη μέση τιμή του. Έτσι έχουμε μια πολύ καλή προσέγγιση στη πραγματική τιμή.

Τα συστηματικά σφάλματα οφείλονται σε μόνιμη αιτία όπως είναι η βλάβη ενός οργάνου μέτρησης ή η ατέλεια ενός οργάνου ή μια συσκευής στη πειραματική διάταξη. Τα συστηματικά σφάλματα επηρεάζουν όλες τις μετρήσεις κατά τον ίδιο τρόπο (Βλάχος κ.α., 2007).

Πειραματική διαδικασία

Τα υλικά

- 1.Μακαρόνια spaghetti
3. Διάταξη στήριξης
5. Μετροταινία
- 7.Υγρή κόλλα



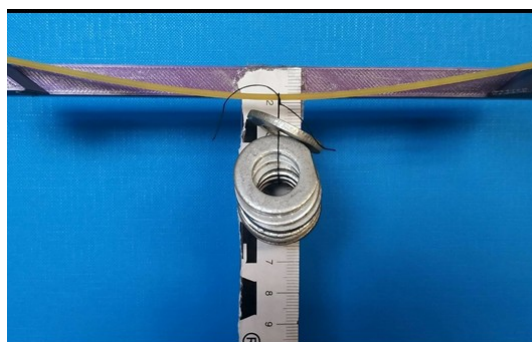
2. Μεταλλικά βαρίδια
4. Ένα κομμάτι κλωστή
6. Έναν χάρακα.

Σχήμα 4: Τα υλικά μας

Φάση 1^η: Η αντοχή των μακαρονιών

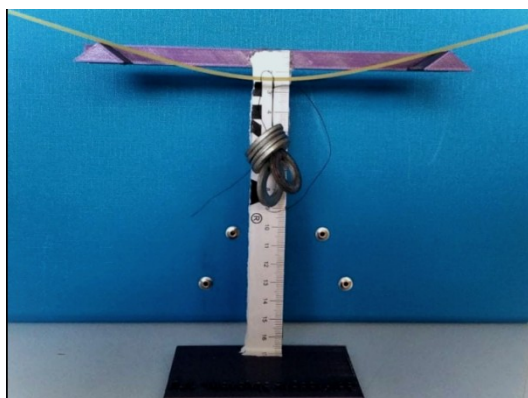
Το πείραμα

Τοποθετούμε ένα σπαγγέτι πάνω στη διάταξη στήριξης και μέτρησης με τρόπο τέτοιο ώστε τα άκρα του να ισαπέχουν από τις δύο βάσεις. Δένουμε με μία κλωστή μία ροδέλα (μάζας 5,6g), την κρεμάμε από το μέσο του σπαγγέτι και με μία μετροταινία μετράμε την κατακόρυφη μετατόπιση του (Σχήμα 5). Στη συνέχεια κρεμάμε δύο ροδέλες από το μέσο του σπαγγέτι και ξανά μετράμε την κάμψη του. Συνεχίζουμε την παραπάνω διαδικασία, αυξάνοντας το βάρος που κρεμάμε από το μέσο του σπαγγέτι έως ότου αυτό να σπάσει. Στόχος μας είναι να διαπιστώσουμε πώς μεταβάλλεται η κάμψη του μακαρονιού σε σχέση με το βάρος που αναρτάται σε αυτό.

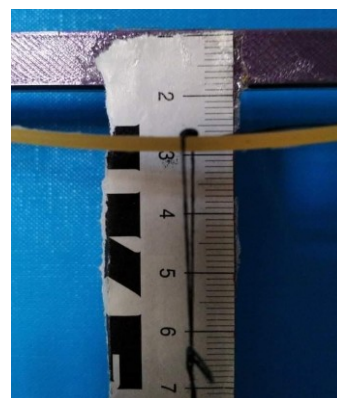


Σχήμα 5: Μετρήσεις

Επαναλαμβάνουμε τις μετρήσεις μας 3-4 φορές έτσι ώστε να βγάλουμε τον μέσο όρο της κατακόρυφης μετατόπισης του σπαγγέτι. Στη συνέχεια κολλάμε δύο μακαρόνια σπαγγέτι μεταξύ τους, τα κρεμάμε από την συσκευή στήριξης και μέτρησης και επαναλαμβάνουμε την παραπάνω πειραματική διαδικασία (Σχήμα 6). Με τον ίδιο τρόπο βρίσκουμε και την κατακόρυφη μετατόπιση σε συνάρτηση με το βάρος που αναρτάται, των τριών σπαγγέτι, κολλημένων μεταξύ τους.



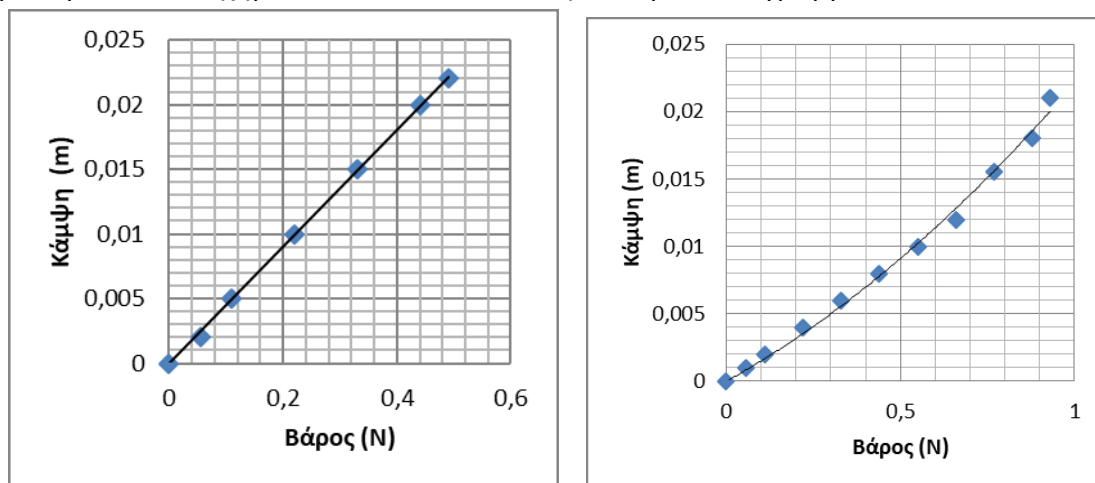
Σχήμα 6: Κάμψη των 2 σπαγγέτι



Σχήμα 7: Η κάμψη 3 σπαγγέτι

Μετρήσεις-Πειραματικά αποτελέσματα

Στο σχήμα 8 φαίνεται σε διάγραμμα η μεταβολή της κάμψης σε συνάρτηση με το βάρος του φορτίου που αναρτήθηκε σε ένα μακαρόνι(αριστερά) και σε δύο μακαρόνια (δεξιά). Στο σχήμα 9 φαίνεται αντίστοιχο διάγραμμα για τρία κολλημένα μακαρόνια.. Το σχήμα 10 αποτελεί σύνθεση των τριών διαγραμμάτων.

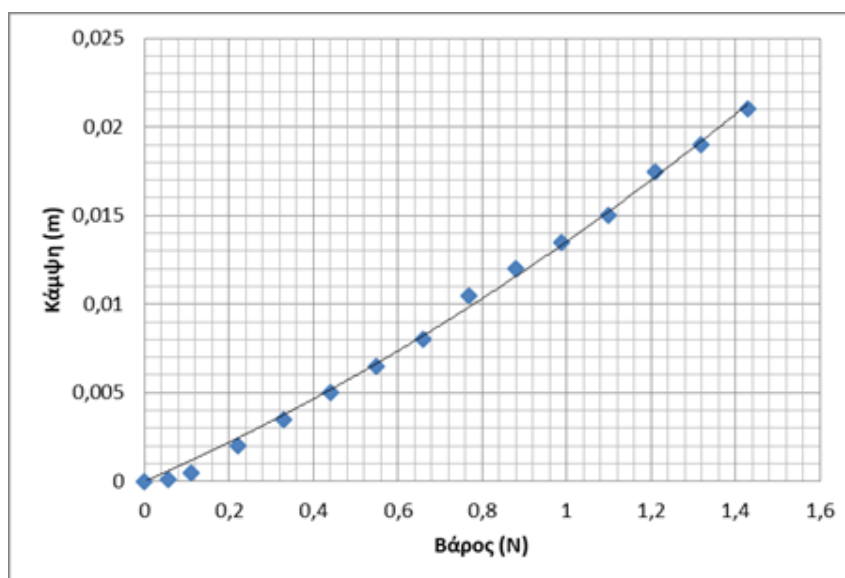


Σχήμα 8: Η μεταβολή της κάμψης ενός μακαρονιού (αριστερά) και δύο μακαρονιών (δεξιά) σε συνάρτηση με το βάρος του φορτίου

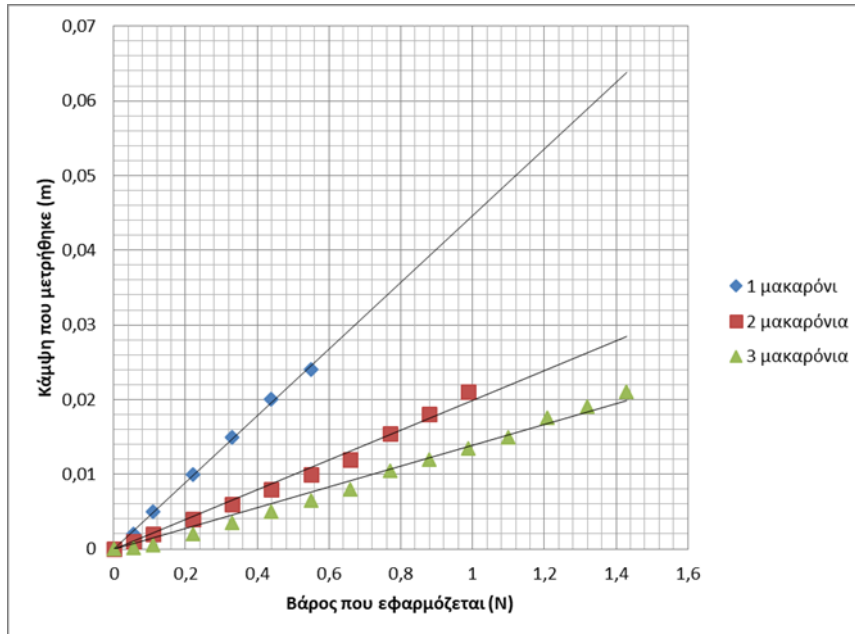
Μετρήσεις - Υπολογισμοί

Ανεξάρτητα από τον αριθμό των μακαρονιών που κολλάμε, η μέγιστη κάμψη των μακαρονιών είναι περίπου 21,3mm

Από τα διαγράμματα φαίνεται ότι τα μακαρόνια υπακούν στο Νόμο του Hooke (Βλαχος κ.α., 2020). Η εξάρτηση της κάμψης από το αναρτώμενο φορτίο είναι γραμμική. Από την κλίση των ευθειών στα διαγράμματα υπολογίζουμε τη σταθερά αναλογίας k για το ένα (k_1) για τα δύο (k_2) και για τα τρία (k_3) μακαρόνια.



Σχήμα 9: Η μεταβολή της κάμψης τριών μακαρονιών σε συνάρτηση με το βάρος του φορτίου



Σχήμα 10: Η μεταβολή της κάμψης σε συνάρτηση με το βάρος του φορτίου για ένα, δύο και τρία μακαρόνια

$k_1 = 1/\epsilon\phi \phi_1$ Επομένως $\epsilon\phi\phi_1 = 0,02/0,44$ και $k_1 = 0,44/0,02$ άρα $k_1 = 22,22 \text{ N/m}$
 $k_2 = 1/\epsilon\phi\phi_2$ Επομένως $\epsilon\phi\phi_2 = 0,007/0,4$ και $k_2 = 0,4/0,007$ άρα $k_2 = 57,14 \text{ N/m}$
 $k_3 = 1/\epsilon\phi\phi_3$ Επομένως $\epsilon\phi\phi_3 = 0,015/1,08$ και $k_3 = 1,08/0,015$ άρα $k_3 = 71,43 \text{ N/m}$
 Ακόμα υπολογίζουμε τους λόγους : k_1/k_2 και k_2/k_3 για να διαπιστώσουμε αν υπάρχει κάποια κανονικότητα με την αύξηση των μακαρονιών στη μεταβολή της σταθεράς k .
 $k_1/k_2 = 2,57$ $k_2/k_3 = 1,25$

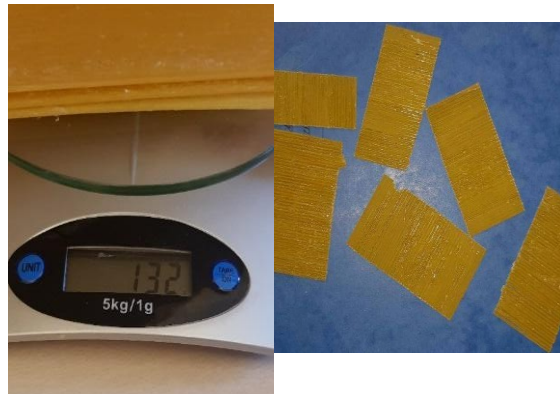
Φάση 2^η: «Γέφυρα»- Πλατφόρμα

Το πείραμα και η μέτρηση

Αρχικά φτιάξαμε 6 πλάκες μακαρονιών (σχήμα 11), η κάθε μία αποτελούνταν από 44 σπαγγέτι κολλημένα μεταξύ τους συνολικής μάζας περίπου 132g (σχήμα 12).



Σχήμα 11: Πλάκες μακαρονιών



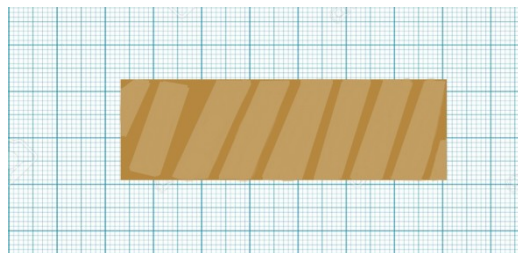
Σχήμα 12: Ζύγιση πλάκας **Σχήμα 13:** πλάκα σε κομμάτια

Στην συνέχεια πήραμε την μία από τις έξι (6) πλάκες και την κόψαμε σε μικρότερα κομμάτια (σχήμα 13). Με αυτόν τον τρόπο δημιουργήσαμε δύο (2) πλατφόρμες διαφορετικής δομής η κάθε μία. Ειδικότερα, για την πρώτη πλατφόρμα κολλήσαμε

μεταξύ τους τρεις (3) πλάκες σπαγγέτι (σχήμα 14) .Για την δεύτερη πλατφόρμα κολλήσαμε σε μία πλάκα διαγώνια τα κομμάτια (σχήμα 13) και κολλήσαμε από πάνω μία άλλη πλάκα (σχήμα 15).



Σχήμα 14: Πλατφόρμα Νο1



Σχήμα 15: Πλατφόρμα Νο2

Μεριμνήσαμε τα κομμάτια του σχήματος 13 που περίσσεψαν να τα κόψουμε σε μικρότερα και να τα κολλήσουμε στα κενά που είχαν δημιουργηθεί. Και οι δύο πλατφόρμες ζύγιζαν ακριβώς 396g. Με αυτόν τον τρόπο θέλαμε να εξετάσουμε το κατά πόσο η δομή της πλατφόρμας επηρεάζει και την αντοχή της.

Τοποθετήσαμε την κάθε πλατφόρμα σε ύψος όπως φαίνεται στο σχήμα 14 και αναρτήσαμε φορτίο το οποίο αυξάναμε μέχρι να σπάσει. Τελικά, η πλατφόρμα νο1 άντεξε μέχρι 2,68 kg ενώ η πλατφόρμα νο2 μέχρι 2,87 kg.

Αποτελέσματα-Συζήτηση

Φαίνεται η παραμόρφωση των μακαρονιών να υπακούει στο νόμο του Hooke και από τα πειραματικά διαγράμματα μας μπορέσαμε να υπολογίσουμε τη σταθερά k για ένα, δύο και τρία μακαρόνια. Ο νόμος του Hooke ισχύει σε πολλά υλικά τα οποία εμφανίζουν μια περιοχή αναλογίας κάμψης – φορτίου. Η περιοχή αυτή παύει να υπάρχει όταν η τάση που εφαρμόζεται στο υλικό γίνει μεγαλύτερη της οριακής τάσης P (Γιαννακόπουλος, σελ.8). Πρέπει επίσης να αναφέρουμε ότι στα υλικά γενικά προσδιορίζεται και το όριο ελαστικότητας E . Αυτό ορίζεται ως η μέγιστη τάση στην οποία μπορεί να υποβληθεί ένα υλικό χωρίς να υποστεί μόνιμη παραμόρφωση
Ισχύει ότι: $E \geq P$

Επομένως θα πρέπει να γίνουν πιο λεπτομερείς και εκτεταμένες μετρήσεις ώστε να προσδιοριστούν το όριο αναλογίας P και το όριο ελαστικότητας E για κάθε περίπτωση αριθμού μακαρονιών.

Από τις μετρήσεις μας φαίνεται ότι η σταθερά k αυξάνεται, σε συνάρτηση με τον αριθμό των μακαρονιών. Ο λόγος των διαδοχικών k μειώνεται και ίσως υποδιπλασιάζεται. Για να ισχυριστούμε κάτι τέτοιο με βεβαιότητα πρέπει να γίνουν και άλλες μετρήσεις με τέσσερα κολλημένα μακαρόνια , πέντε ,έξι κλπ. Πιστεύουμε έχει ενδιαφέρον να διαπιστώσουμε το είδος της μεταβολής του λόγου των διαδοχικών σταθερών με την αύξηση των μακαρονιών. Η διαπίστωση αυτή μαζί με τον προσδιορισμό του ορίου αναλογίας P και του ορίου ελαστικότητας E θα μας δώσουν πληροφορίες ίσως για την κατασκευή μιας πλατφόρμας με τη βέλτιστη αναλογία βάρους και αντοχής.

Επί πλέον πρέπει να αναφέρουμε ότι οι μετρήσεις για τα δύο μακαρόνια έγιναν από διαφορετικό ερευνητή/τρια- μαθητή/τρια (λόγω περιορισμών πανδημίας) με αποτέλεσμα να υπάρχει κάποιο συστηματικό σφάλμα μέτρησης (αλλαγή παρατηρητή).

Οι δύο πλατφόρμες που κατασκευάστηκαν είχαν διαφορετική δομή. Διαπιστώσαμε ότι η δεύτερη πλατφόρμα είχε μεγαλύτερο όριο αντοχής από την πρώτη επομένως συμπεραίνουμε ότι η δομή της γέφυρας παίζει ρόλο στην αντοχή της. Η κατασκευή περισσότερων γεφυρών και ο περαιτέρω πειραματισμός και σε συνδυασμό και με την έρευνα που πρέπει να συνεχιστεί για την 1^η φάση θα μας οδηγήσει σε πιο ασφαλή συμπεράσματα.

Ευχαριστίες:

Ευχαριστούμε ιδιαίτερα τον κύριο Χαρίτων Πολάτογλου, Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και Πρόεδρο του Επιστημονικού, Εποπτικού μας Συμβουλίου, για την συνεχή υποστήριξη του αλλά και για την προμήθεια της συσκευής στήριξης και μέτρησης. Ευχαριστούμε τον Διευθυντή μας κ. Κωνσταντίνο Κεραμιδά την διαρκή υποστήριξη που μας προσφέρει. Ευχαριστούμε ιδιαίτερα τον κύριο Χαρίτων Πολάτογλου, Καθηγητή του Τμήματος Φυσικής του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης και Πρόεδρο του Επιστημονικού, Εποπτικού μας Συμβουλίου, για την συνεχή υποστήριξη του αλλά και για την προμήθεια της συσκευής στήριξης και μέτρησης. Ευχαριστούμε τον Διευθυντή μας κ. Κωνσταντίνο Κεραμιδά την διαρκή υποστήριξη που μας προσφέρει.

Βιβλιογραφία:

Βλάχος Ι, Γραμματικάκης Ι, Καραπαναγιώτης Β., Κόκκοτας Π., Περιστερόπουλος Π., Τιμοθέου Γ. 2020. *Φυσική Γενικής Παιδείας Α Λυκείου*, Υ.ΠΑΙ.Θ- Ι.Ε.Π. Αθήνα: Εκδόσεις Διόφαντος.

Βλάχος Ι, Γραμματικάκης Ι, Καραπαναγιώτης Β., Κόκκοτας Π., Περιστερόπουλος Π., Τιμοθέου Γ. 2007. *Εργαστηριακός Οδηγός Φυσικής Α Λυκείου*, Ο.Ε.Δ.Β, Αθήνα: Εκδόσεις Διόφαντος.

Γιαννακόπουλος Κ, Αθήνα 2011

[http://eclass.teipir.gr/openeclass/modules/document/file.php/MECH104/Σημειώσεις Πειραματικής Αντοχής Υλικών.pdf](http://eclass.teipir.gr/openeclass/modules/document/file.php/MECH104/Σημειώσεις_Πειραματικής_Αντοχής_Υλικών.pdf)

Γιαννακόπουλος Κ, Αθήνα 2011

Γενική Μηχανολογία Κεφ.3 Καταπονήσεις <https://fdocument.org/document/-55720b96497959fc0b8c28cb.html>

The Strength Of Pasta - Spaghetti Bridge Building World Championship 2016 At Obuda University

[The Strength Of Pasta - Spaghetti Bridge Building World Championship 2016 At Óbuda University - Hungary Today](#)

Spaghetti Bridge

https://en.wikipedia.org/wiki/Spaghetti_bridge