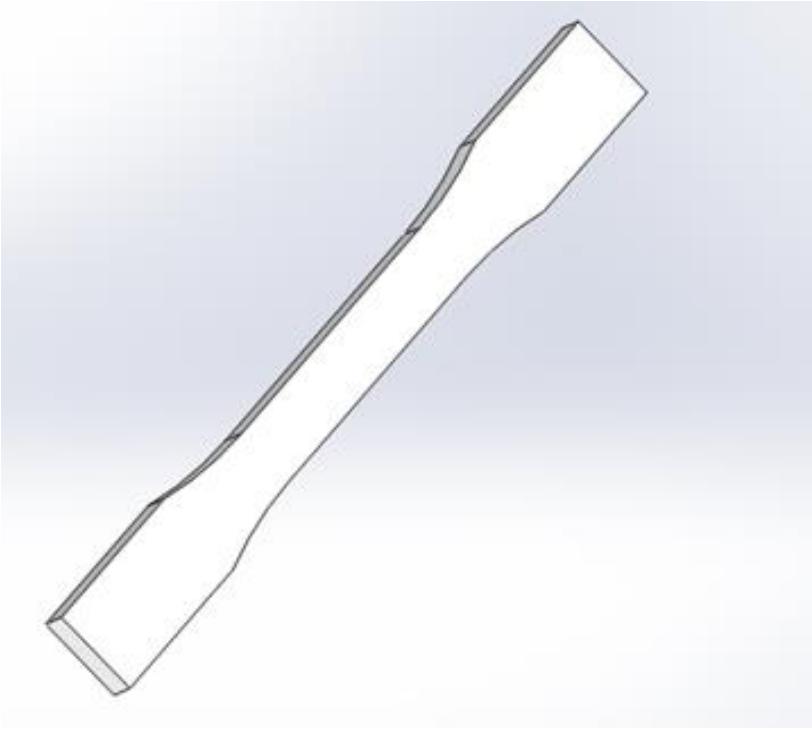
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΕΛΕΤΗ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΣΥΜΠΟΛΥΜΕΡΟΥΣ ABS ΚΑΙ ABSPLUS

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



ΦΟΙΤΗΤΗΣ: ΑΓΓΕΛΟΣ ΚΑΖΑΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΩΣΤΑΣ ΣΑΒΒΑΚΗΣ

ΗΡΑΚΛΕΙΟ
[05/05/2015]

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την περάτωση της πτυχιακής μου εργασίας, η οποία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Τεχνολογίας Υλικών του Τ.Ε.Ι Κρήτης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους οι οποίοι με βοήθησαν και μου συμπαραστάθηκαν.

Κατά κύριο λόγο, οφείλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. ΚΩΣΤΑ ΣΑΒΒΑΚΗ για την ανάθεση του θέματος αλλά και για τις συμβουλές του και την αδιάλειπτη παρακολούθηση της εργασίας μου καθ' όλη τη διάρκεια υλοποίησης της.

Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω το κ. Δρ Μάρκο Πετούση Επιστημονικό Συνεργάτη του ΤΕΙ Κρήτης και Καθηγητή μου από το Εργαστήριο Ρομποτικής για τη βοήθεια του, τις συμβουλές για την εκτύπωση των δοκιμίων και τη καθοδήγηση του κατά τη εκπόνηση της εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλο το προσωπικό του εργαστηρίου Τεχνολογίας υλικών για τη βοήθεια κατά τη παραμονή μου στο εργαστήριο και τη χρήση του εξοπλισμού του εργαστηρίου για να πραγματοποιηθούν οι απαιτούμενες μηχανικές δοκιμασίες.

Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου και τους φίλους μου που με στήριξαν στην διάρκεια υλοποίησης της εργασίας προσφέροντας μου ψυχολογική υποστήριξη και κατανόηση.

Άγγελος Κάζας

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην πτυχιακή αυτή εξετάζεται η επίδραση της ταχύτητας εφελκυσμού στις μηχανικές ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν. Η ταχύτητα εφελκυσμού αντιστοιχεί σε ταχύτητα παραμόρφωσης εφελκυσμού. Συνεπώς εξετάζεται η μεταβολή των τιμών των μηχανικών παραμέτρων όπως η Αντοχή Διαρροής (σ_y), η Αντοχή Εφελκυσμού (σ_{TS}) και το Μέτρο Ελαστικότητας (E). Οι δοκιμασίες έγιναν σε δοκίμια ABS και ABSPLUS με βάση το πρότυπο ASTM D 638 (Type I). Η κατασκευή των δοκιμίων έγινε με τη μέθοδο εκτύπωσης «rapid prototype» σε διάφορα πάχη εκτύπωσης και προσανατολισμό 45° (οριζόντια) ως προς τη διεύθυνση προσανατολισμού.

Παρατηρήθηκε γενικά ότι η αύξηση της ταχύτητας παραμόρφωσης είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση των τιμών των μηχανικών παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Οι τιμές των τιμών των μηχανικών παραμέτρων δοκιμίων ABSPLUS ήταν διπλάσιες των τιμών των δοκιμίων ABS. Το πάχος εκτύπωσης δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά τις τιμές μεταξύ των δοκιμίων για το ίδιο υλικό και το εύρος μεταβολής της ταχύτητας που χρησιμοποιήθηκε.

Επίσης παρατηρήθηκε ότι οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων οι οποίες μετρήθηκαν ήταν χαμηλότερες εκείνων που δίνονται στη βιβλιογραφία για μορφοποίηση των δοκιμίων με τη κλασσική μέθοδο χύτευσης διέλασης.

Στην πτυχιακή αυτή γίνεται επίσης μια ανασκόπηση της βιβλιογραφίας όσο αναφορά τον τρόπο παραγωγής τις εφαρμογές και την ανακύκλωση και των μεθόδων μορφοποίησης των υλικών ABS και ABSPLUS.

ABSTRACT

This thesis deals with the influence of tensile rate on the mechanical properties of the materials used. The tensile rate corresponds to strain rate. Therefore it is examined the change of values of the vfollowing mechanical parameters: Yield strength (σ_y), Tensile strength (σ_{TS}) and Elasticity modulus (E). The tensile tests on sample were made of ABS and ABSPLUS materials according to ASTM D 638 (Type I) standard. The construction of test samples were made with “rapid prototype printing method” using different printing thickness and the same deposition orientation 45° to the tensile direction.

Our results saw that the increasing of strain rate has as results thw icreasing of mechanical parameters σ_y, $\sigma_{TS,}$ E.

Additionally the values of these parameters for ABSPLUS samples had double price that of ABS samples. The printing thickness does not to seem to give any significant difference in the value of that parameters for each material and within the scale of strain rate deference that used.

Besides, the values of the mechanical parameters measured were lower to the corresponding values, that referred to bibliography for the same sample of materials constructed with the classical “extruding molding casting method”

In this thesis is made also an overview of bibliography concerning the methods of production, their applications and recycling of ABS and ABSPLUS materials.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ 1

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 2

ABSTRACT 3

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ 6

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 8

1.1. ΣΥΜΠΟΛΥΜΕΡΕΣ ΑΚΡΥΛΟΝΙΤΡΙΛΙΟ-ΒΟΥΤΑΔΙΕΝΙΟ-ΣΤΥΡΕΝΙΟ (ABS) –ΧΗΜΙΚΗ ΔΟΜΗ-ΠΑΡΑΓΩΓΗ. 8

1.2 ΣΤΥΡΕΝΙΟ. 12

1.2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ. 13

1.3. ΑΚΡΥΛΟΝΙΤΡΙΛΙΟ. 15

1.3.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ. 15

1.4 ΒΟΥΤΑΔΙΕΝΙΟ 17

1.4.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ 18

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 20

2.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ABS 20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 25

3.1 ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΑΡΑΓΩΓΑ ABS 25

3.1.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ABS (ΣΥΜΠΟΛΥΜΕΡΕΣ ΑΚΡΥΛΟΝΙΤΡΙΛΙΟΥ - ΒΟΥΤΑΔΙΕΝΙΟΥ- ΣΤΥΡΟΛΙΟΥ). 26

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 29

4.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ ABS, RAPID PROTOTYPE. 29

4.1.1 ΧΥΤΕΥΣΗ ΜΕ ΕΓΧΥΣΗ. 29

4.1.2 ΧΥΤΕΥΣΗ ΜΕ ΕΜΦΥΣΗΣΗ 30

4.1.3 ΧΥΤΕΥΣΗ ΜΕ ΣΥΜΠΙΕΣΗ. 31

4.1.4 ΕΞΩΘΗΣΗ. 32

4.1.5 ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ. 33

4.1.5.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΕ ΚΕΝΟ ΑΕΡΟΣ. 33

4.1.5.2 ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ. 34

4.1.5.3 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ 35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 36

5.1 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ABS 36

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 41

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ 41

6.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ 41

6.2 ΥΛΙΚΑ 43

6.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ 45

6.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ 52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 56

7.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ 56

7.2 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ 61

7.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ 72

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ- REFERENCES 73

8 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΕΣ & ΠΗΓΕΣ ΑΠΟ ΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ : 73

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I 76

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II 90

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III 96

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

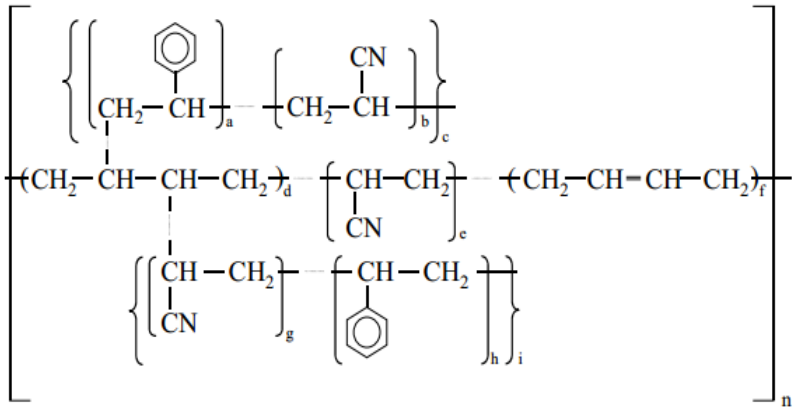
Σχήμα 1: 1.1.1 Συντακτικός τύπος του ABS. 8
Σχήμα 2: 1.1.2 Διαγραμματική απεικόνιση παραγωγής ABS με μέθοδο συνεχούς μάζας. 9
Σχήμα 3: 1.1.3 Διαγραμματική απεικόνιση παραγωγής ABS με μέθοδο 10
Σχήμα 4: 1.1.4 Διαγραμματική απεικόνιση παραγωγής ABS με μέθοδο αιωρήματος. 11
Σχήμα 5: 1.1.5 Χημικών μοριακών τύπων των μονομερών του (ABS). 11
Σχήμα 6: 1.2.1 Πίνακας με χαρακτηριστικά του Στυρενίου. 13
Σχήμα 7: 1.2.1.1 Διαγραμματική απεικόνιση παραγωγής Στυρενίου. 14
Σχήμα 8: 1.3.1 Χημικές ενώσεις που παράγονται από προπυλένιο. 15
Σχήμα 9: 1.3.1.1: Παραγωγή πετροχημικών προϊόντων. 16
Σχήμα 10: *1.3.1.2 Διαγραμματική απεικόνιση παραγωγής Ακρυλονιτριλίου.* 16
Σχήμα 11: 1.4.1 Πίνακας με χαρακτηριστικά του Βουταδιένιου. 17
Σχήμα 12: 1.4.1.1 Διαγραμματική παράσταση παραγωγής Βουταδιενίου. 19
Σχήμα 13:2.1.1 Φυσικές & Μηχανικές ιδιότητες ABS. 21
Σχήμα 14:2.1.2 Διαγραμματικές απεικονίσεις όλων των πολυμερών: δύναμη προς επιμήκυνση, δύναμη προς το κόστος, δύναμη προς μέγιστη θερμοκρασία, δύναμη προς πυκνότητα και δύναμη προς σκληρότητα. 22
Σχήμα 15:2.1.3 Πίνακας με ιδιότητες ABSPLUS. 23
Σχήμα 16: *2.1.4 Πίνακες με ιδιότητες ABS.* 24
Σχήμα 17:*3.1.1 Ζήτηση πλαστικών για το 2001* (Freedonia Industry Study, 2002).. 25
Σχήμα 18:*3.1.2 Εμπορικά παράγωγα ABS* 26
Σχήμα 19:*3.1.1.1 Α) Ταμπλό αυτοκινήτου Β) Προφυλακτήρας αυτοκινήτου C) Φτερά αυτοκινήτου από ABS.* 27
Σχήμα 20:*3.1.1.2 Κράνος ασφαλείας από ABS.* 27
Σχήμα 21:3.1.1.3 Σωλήνας και εξαρτήματα σωλήνα από ABS. 28
Σχήμα 22:*4.1.1.1 Διαγραμματική απεικόνιση της μεθόδου μορφοποίησης χύτευση με έγχυση.* 30
Σχήμα 23:*4.1.2.1 Διαγραμματική απεικόνιση με μέθοδο μορφοποίησης χύτευση με εμφύσηση.* 31
Σχήμα 24:*4.1.3.1 Διαγραμματική απεικόνιση με μέθοδο μορφοποίησης χύτευση με συμπίεση.* 32
Σχήμα 25:*4.1.4.1 Διαγραμματική απεικόνιση με μέθοδο μορφοποίησης χύτευση με εξώθηση.* 32
Σχήμα 26:*4.1.4.2 Γεωμετρικά μεγέθη.* 33
Σχήμα 27:*4.1.5.1.1 Διαγραμματική απεικόνιση με θερμική διαμόρφωση σε κενό αέρος.* 34
Σχήμα 28:*4.1.5.2.1 Διαγραμματική απεικόνιση της μεθόδου με θερμική διαμόρφωση υπό πίεση αέρα.* 35
Σχήμα 29:*4.1.5.3.1 Διαγραμματική απεικόνιση της μεθόδου με μηχανική θερμική διαμόρφωση.* 35
Σχήμα 30:*5.1.1 Ανακυκλώσιμα υλικά.* 36
Σχήμα 31:*5.1.2 Ανακύκλωση πλαστικών.* 37
Σχήμα 32:*5.1.3 Πίνακας στοιχείων ανακύκλωσης ABS.* 38
Σχήμα 33:*5.1.4 Διαγραμματική απεικόνιση ανακύκλωσης ABS.* 38
Σχήμα 34:*5.1.5 Διαγραμματική απεικόνιση ανακύκλωσης ABS.* 39
Σχήμα 35:*5.1.6 Στάδια ανακύκλωσης ABS.* 40
Σχήμα 36:*6.1.1 Σχεδιαστικός χώρος του προγράμματος Solidworks.* 41
Σχήμα 37:*6.1.2 Εισαγωγή του δοκιμίου στο πρόγραμμα dimension.* 42

Σχήμα 38:*6.1.3 Εισαγωγή του δοκιμίου στο πρόγραμμα dimension όπου καθορίζει τον χώρο που καταλαμβάνει, αλλά και το υλικό το οποίο καταναλώνει.* 42
Σχήμα 39:*6.1.4 Σχηματική απεικόνιση δοκιμίου με βάση τον προσανατολισμό της μακροσκοπικής δομής του.* 43
Σχήμα 40:*6.2.1 (Α) Βλέπουμε την συσκευασία η οποία περιβάλει την κασέτα, (Β) μια πλευρά τις κασέτας από την οποία πρέπει να αφαιρεθεί το κόκκινο πλαστικό το οποίο είναι η ασφάλεια πριν τοποθετηθεί στον εκτυπωτή, (C, D) κασέτες με support & mode.* 44
Σχήμα 41:*6.2.2 (A, B) Support & Model για elite, αντίστοιχα στις (C, D) support & model για BST 768.* 45
Σχήμα 42:6.2.3 Πίνακας καταγραφής του υλικού το οποίο καταναλώθηκε. 45
Σχήμα 43:*6.3.1 Μεθόδοι τρισδιάστατης εκτύπωσης.* 47
Σχήμα 44:*6.3.2 Διαγραμματική απεικόνιση μεθόδου **FDM**.* 47
Σχήμα 45:*6.3.3 (Α) Αριστερά elite & δεξιά bst768 και (Β) οι υποδοχές που τοποθετούνται support & mode.* 48
Σχήμα 46:6.3.4 Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών elite. 48
Σχήμα 47:*6.3.5 Θάλαμος εκτύπωσης (εσωτερικά).* 49
Σχήμα 48:*6.3.6 Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών bst768.* 50
Σχήμα 49:6.3.7 Συσκευή εφελκυσμού όπου πραγματοποιήθηκε το πείραμα. 50
Σχήμα 50:6.3.8 *Τυπολόγιο το οποίο χρησιμοποιήθηκε.* 51
Σχήμα 51:6.3.9 *Διαγραμματική παράσταση σ-ε.* 52
Σχήμα 52:*6.4.1 (A, C) Αρχή και τέλος εκτύπωσης για elite και (B, D) αρχή και τέλος εκτύπωσης για bst768.* 52
Σχήμα 53:6.4.2 (Α) Δοκίμια ABS (μαύρο) & ABSPLUS (γκρι) και (Β) το αντίστοιχο support για το κάθε δοκίμιο. 53
Σχήμα 54:*6.4.3 (Α) Δοκίμια abs & absplus, (Β) Δοκίμιο κατά την ολοκλήρωση του πειράματος πριν αποσυνδεθεί από την μηχανή εφελκυσμού, (C) Δοκίμια absplus, (D) Δοκίμια abs.* 53
Σχήμα 55:6.4.4 Πειραματικά αποτελέσματα σε μορφή γραφημάτων. 54
Σχήμα 56:*6.4.5 Επεξεργασία πειραματικών δεδομένων στο OriginPro 8 .* 54
Σχήμα 57:*6.4.6 Επεξεργασία πειραματικών δεδομένων στο AutoCAD.* 55
Σχήμα 58:*7.1.1 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων ABS 0,25.* 58
Σχήμα 59:*7.1.2 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων ABS 0,33.* 59
Σχήμα 60:*7.1.3 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων ABSPLUS 0,17.* 60
Σχήμα 61:*7.1.4 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων ABSPLUS 0,25.* 61
Σχήμα 62:*7.2.1 Απεικόνιση διαγραμμάτων εφελκυσμού φορτίου ως προς μεταβολή μήκους του δοκιμίου(α) για ABS 0,25(β) για ABS 0,33(γ) ABSPLUS 0,17(δ) ABSPLUS 0,25.* 62
Σχήμα 63:*7.2.2 Δοκίμιο ABS 0,25.* 63
Σχήμα 64:*7.2.3 Δοκίμιο ABS 0,33.* 63
Σχήμα 65:*7.2.4 Δοκίμιο ABSPLUS 0,17.* 64
Σχήμα 66:*7.2.5 Δοκίμιο ABSPLUS 0,25.* 64
Σχήμα 67:*7.2.6 Δοκίμια ABS 0,33 και ABS 0,25.* 65
Σχήμα 68:*7.2.7 Δοκίμια ABSPLUS 0,25 και ABSPLUS 0,17.* 66
Σχήμα 69:*7.2.8 Δοκίμια ABS 0,33 και ABS 0,25.* 67
Σχήμα 70:*7.2.9 Δοκίμια ABSPLUS 0,25 και ABSPLUS 0,17.* 67
Σχήμα 71:*7.2.10 Δοκίμια ABS 0,33 και ABS 0,25.* 68
Σχήμα 72:*7.2.11 Δοκίμια ABS PLUS 0,25 και 0,17.* 68
Σχήμα 73:*7.2.12 Διάγραμμα απεικόνισης της % αύξησης των τιμών των παραμέτρων E,* σ_y,σ_{TS} *με την αύξηση της ταχύτητας παραμόρφωσης για όλα τα δοκίμια. (α) % αύξηση του μέτρου ελαστικότητας (E), (β) % αύξηση της αντοχής διαρροής* σ_y, *(γ) % αύξηση της αντοχής εφελκυσμού* σ_{TS}. 69

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1. ΣΥΜΠΟΛΥΜΕΡΕΣ ΑΚΡΥΛΟΝΙΤΡΙΛΙΟ-ΒΟΥΤΑΔΙΕΝΙΟ-ΣΤΥΡΕΝΙΟ (ABS) –ΧΗΜΙΚΗ ΔΟΜΗ-ΠΑΡΑΓΩΓΗ.

Με συνδυασμό acrylonitrile – butadiene – styrene καταλήγουμε σε ένα άμορφο συμπολυμερές το οποίο αναφέρεται στη βιβλιογραφία ως ABS.



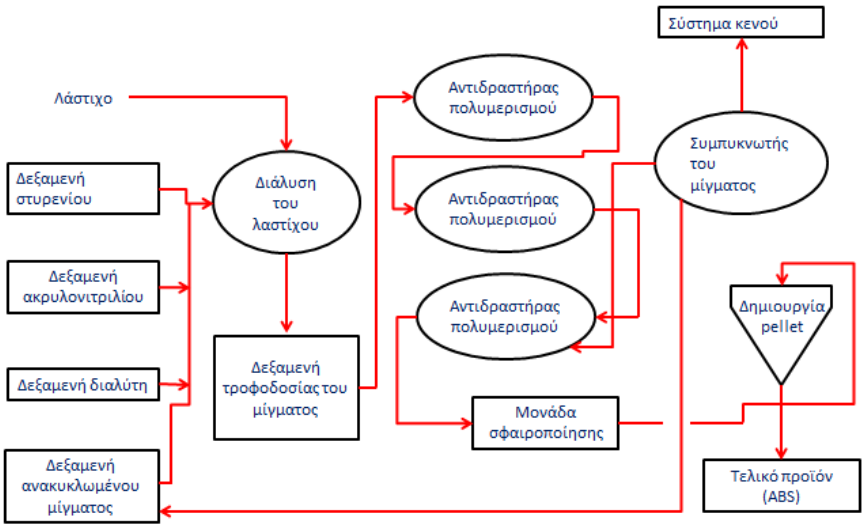
Σχήμα 1: 1.1.1 Συντακτικός τύπος του ABS.

Το ABS κατοχυρώθηκε με πατέντα το 1948 και μπήκε σε εμπορική χρήση από Borg–Warner το 1954. Για τη παραγωγή του εφαρμόζονται τρεις κύριες μέθοδοι:

(1) Η μέθοδος γαλακτώματος με διαλυτικό μέσο το νερό (Emulsion process). Είναι η αρχαιότερη μέθοδος και η ολιγότερη καθαρή καθόσον παράγονται απόβλητα.

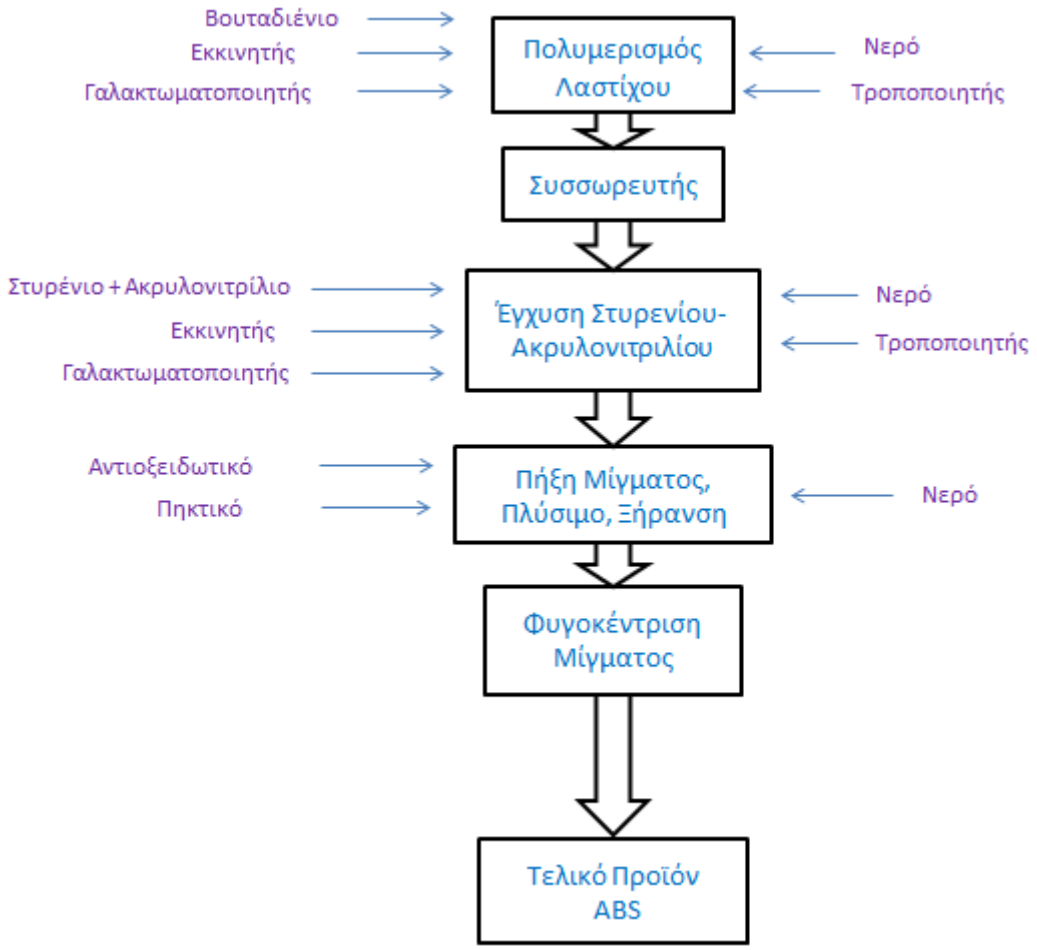
(2) Η μέθοδος αιωρήματος όπου η ανάμειξη γίνεται σε μέσο που περιέχει ελαστομερές με SAN (Στυρένιο - ακρυλονιντρίλιο).

(3) Η μέθοδος συνεχούς μάζας (Continuous mass). Η μέθοδος είναι αποδοτική, χαμηλού κόστους αλλά δεν έχει ευελιξία.



Σχήμα 2: 1.1.2 Διαγραμματική απεικόνιση παραγωγής ABS με μέθοδο συνεχούς μάζας.

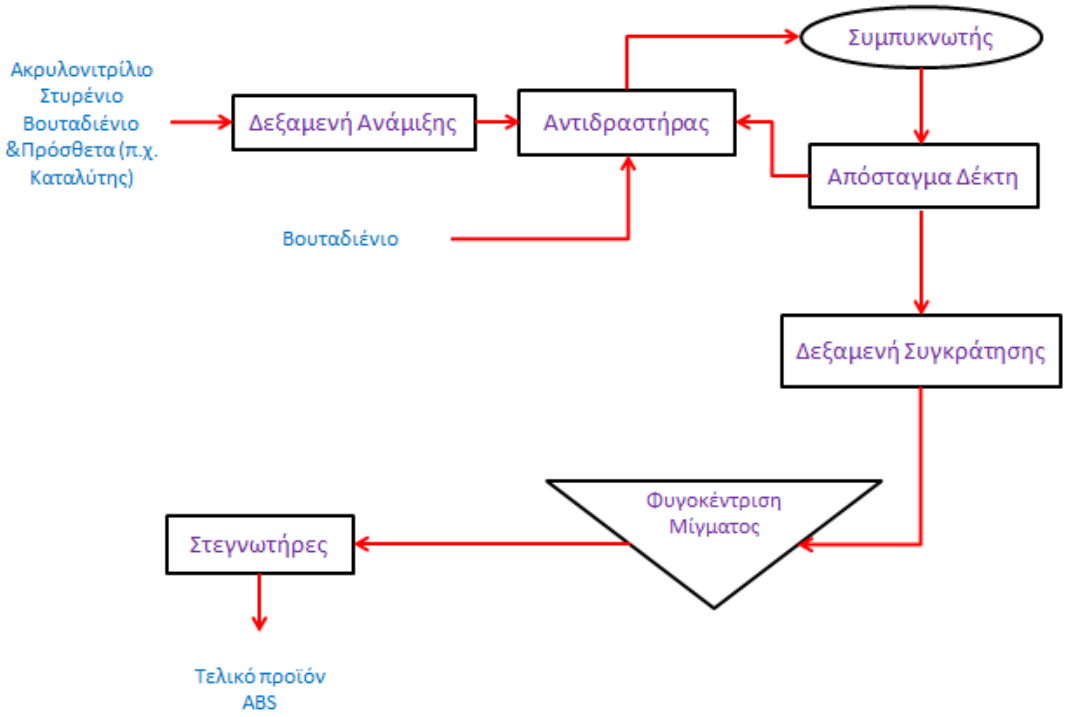
Η μέθοδος συνεχούς μάζας θεωρείται ως η προτιμώμενη μέθοδος, επειδή η αντίδραση δεν λαμβάνει χώρα σε υδατική φάση. Παράγονται μικρές ποσότητες αποβλήτων για διάθεση και οι ενεργειακές απαιτήσεις της μεθόδου είναι χαμηλότερες. Με τη βελτίωση της τεχνολογίας παράγεται η ρητίνη εμπλουτισμένη στο κατάλληλο χρώμα (Χρωματισμένη) και έτσι δεν απαιτείται επεξεργασία χρωματισμού κατά τις εφαρμογές.



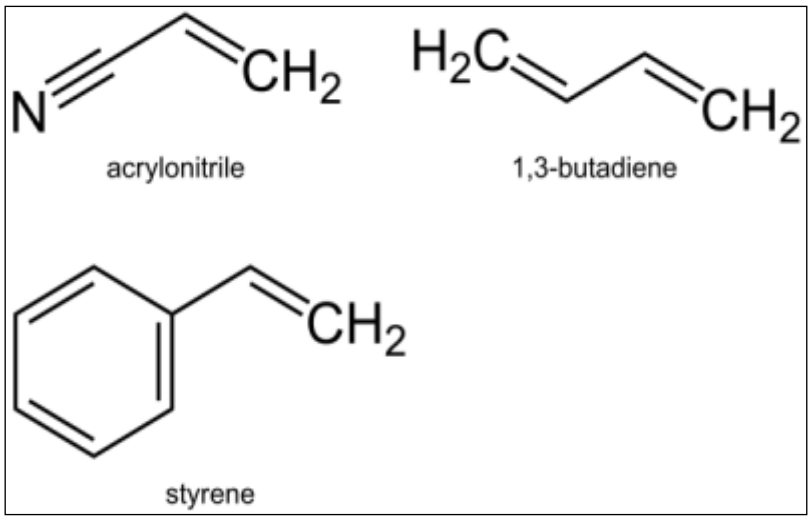
Σχήμα 3: 1.1.3 Διαγραμματική απεικόνιση παραγωγής ABS με μέθοδο γαλακτώματος με διαλυτικό μέσο το νερό.

Ωστόσο, η διαδικασία πολυμερισμού γαλακτώματος, η όποια χρησιμοποιείται ευρέως στα εργοστάσια που έχουν κατασκευαστεί πριν από τα μέσα της δεκαετίας του 1980, παρέχει μεγαλύτερη ευελιξία στην γκάμα των προϊόντων της, από τη διαδικασία της μάζας.

Επίσης έχει αναπτυχθεί μια υβριδική μέθοδος γαλακτώματος και μάζας. Συνδυάζει τα χαρακτηριστικά της διαδικασίας γαλακτώματος, η όποια σχηματίζει λατέξ πολυβουταδιένιο (polybutadiene latex) στο όποιο συνενώνεται το στυρένιο και το ακρυλονιτρίλιο, και η μέθοδος μάζας, η οποία συνθέτει το στυρενίο - ακρυλονιτριλίο. Αυτή η προσέγγιση επιτρέπει την παραγωγή ενός ευρέος φάσματος προϊόντων ABS. Οι πρόοδοι στην τεχνολογία περιλαμβάνουν τις απαιτήσεις από τη BASF για τη βελτίωση της απόδοσης και της παραγωγής. Η LG Χημικών ισχυρίζεται ότι έχει αναπτύξει μια νέα διαδρομή υψηλής παραγωγικότητας και η EniChem έχει επενδύσει σε μια νέα ευέλικτη διαδικασία.



Σχήμα 4: 1.1.4 Διαγραμματική απεικόνιση παραγωγής ABS με μέθοδο αιωρήματος.



Σχήμα 5: 1.1.5 Χημικών μοριακών τύπων των μονομερών του (ABS).

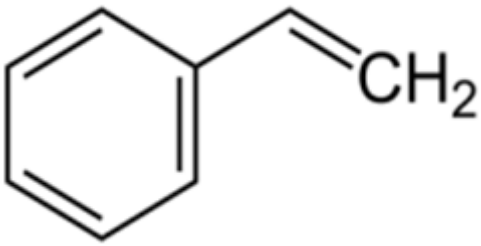
Η ποικιλία χρήσεων του (ABS) σχετίζεται με τα συστατικά του. Το Στυρένιο έχει σαν σκοπό να διευκολύνει τη σύνδεση των άλλων μονομερών κατά τη σύνθεση του ABS. Το Ακρυλονιτρίλιο έχει την ιδιότητα να προσδίδει χημική αντίσταση και αύξηση της επιφανειακής σκληρότητας του και τέλος το Βουταδιένιο συμβάλλει στην αντοχή σε κρούση και εν γένει στη μηχανική αντοχή του τελικού υλικού.

Οι συνδυασμοί ποικίλουν ανάλογα με την χρήση π.χ 15 έως 35% ακρυλονιτριλίο, 5-30% βουταδιενίου και 40-60% στυρένιο. Ας δούμε το καθένα ξεχωριστά όσον αφορά την χημική δομή τους καθώς και τον τρόπο που παράγονται.

1.2 ΣΤΥΡΕΝΙΟ.

Αρχικά το στυρένιο έχει τα εξής χαρακτηριστικά: Είναι άχρωμο, υγρό, χαρακτηριστική οσμή, σε σχετικά μικρές συγκέντρωσης είναι μονομερές των πολυστυρολίων καθώς και πολλών συμπολυμερών. Μπορεί να το συναντήσουμε και με άλλες ονομασίες η οποίες είναι Στυρόλιο, Βινυλοβενζόλιο και Φαινυλαιθένιο.

Ο χημικός του τύπος είναι: C_8H_8 (Μοριακός τύπος)



Μοριακή μάζα	104,15 amu	**Δομή**	
Σύντομος συντακτικός τύπος	$C_6H_5CH{=}CH_2$	Διπολική ροπή	0,13D
		Μοριακή γεωμετρία	Επίπεδη
Συντομογραφίες	PhVi	**Ισομέρεια**	
Αριθμός CAS	100-42-5	Ισομερή θέσης	>6
SMILES	C=Cc1ccccc1	**Φυσικές ιδιότητες**	
Αριθμός RTECS	WL3675000	Σημείο τήξης	−30 °C
Αριθμός UN	44LJ2U959V	Σημείο βρασμού	145 °C
PubChem CID	7501	Πυκνότητα	909 kg/m^3
ChemSpider ID	7220	Διαλυτότητα στο νερό	0,20 kg/m^3 (25 °C)
Δομή			
Διπολική ροπή	0,13D	Ιξώδες	0,762 cP (20 °C)
Μοριακή γεωμετρία	Επίπεδη	Δείκτης διάθλασης Nd	1,5469

Τάση ατμών	~4,5 mm Hg (20 °C)	Επικινδυνότητα	Φράσεις ασφαλείας	S38 S20 S23
Εμφάνιση	Άχρωμο ελαιώδες υγρό	Τοξικό (T)	Κίνδυνοι κατά NFPA 704	3
Χημικές ιδιότητες				2
Ελάχιστη θερμοκρασία ανάφλεξης	31 °C	Εύφλεκτο (F)		2
			Εκτός αν σημειώνεται διαφορετικά, τα δεδομένα αφορούν υλικά υπό κανονικές συνθήκες (25 °C, 100 kPa)	

Σχήμα 6: 1.2.1 Πίνακας με χαρακτηριστικά του Στυρενίου.

Μίγματα που περιέχουν στυρένιο προέρχονται από την πυρόλυση πετρελαίου ή βενζίνης η οποία είναι πλούσια σε αρωματικούς υδρογονάνθρακες.

1.2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.

Το καθαρό στυρένιο παράγεται με τις ακόλουθες χημικές διεργασίες:

• **Καταλυτική αφυδρογόνωση αιθυλοβενζολίου.**

Είναι βιομηχανική εφαρμογή του αιθυλοβενζολίου, από όπου παράγεται στυρένιο:

$$PhCH_2CH_3 \xrightarrow[Pd,Pt]{\triangle} PhCH = CH_2 + H_2$$

• **Μέθοδος Fitting.**

Η μέθοδος αυτή πραγματοποιείται σε πρώτο στάδιο με αφυδραλογόνωση του φαινυλαλογονιδίου παρουσία νατρίου και στη συνέχεια γίνεται η προσθήκη του βινυλαλογονίδιο με απομάκρυνση NaX:

$$PhX + 2Na \xrightarrow{-NaX} PhNa \xrightarrow{+ViX} PhCH = CH_2 + NaX$$

• **Μέθοδος Grignard.**

Η μέθοδος αυτή ανάλογη της μεθόδου Fitting όπου χρησιμοποιείται μαγνήσιο Mg αντί νατρίου:

$$\mathrm{PhX} + \mathrm{Mg} \xrightarrow{|\mathrm{Et_2O}|} \mathrm{PhMgX} \xrightarrow{+\mathrm{ViX}} \mathrm{PhCH} = \mathrm{CH_2} + \mathrm{MgX_2} \downarrow$$

• **Μέθοδος Friedel-Crafts.**

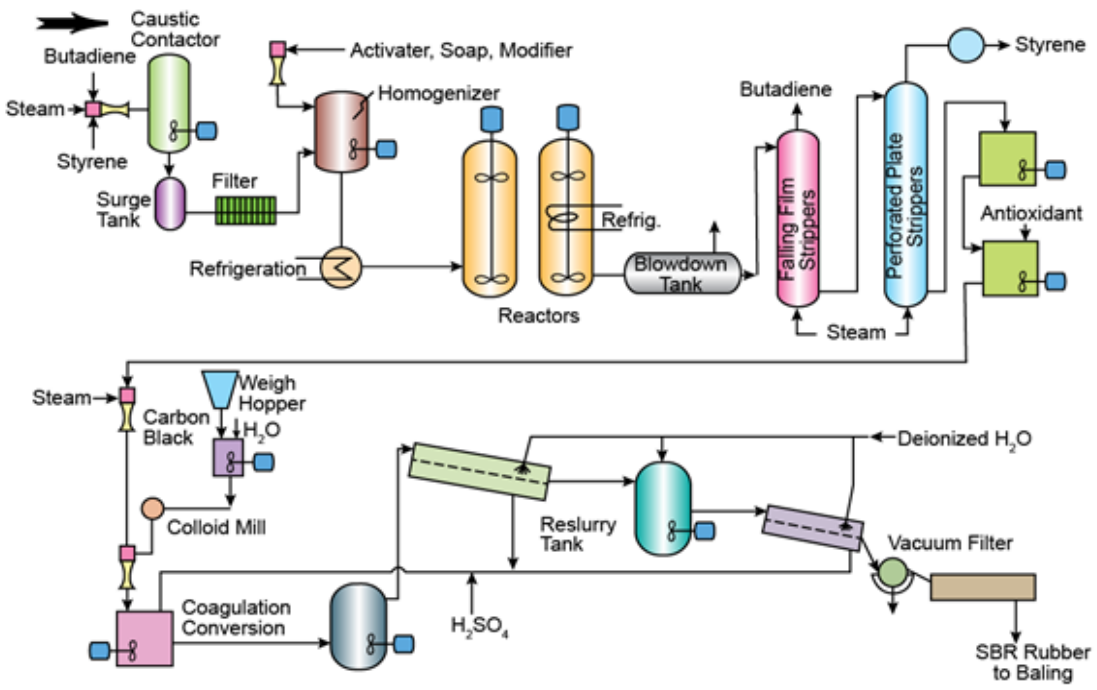
Η μέθοδος αυτή γίνεται με βινυλίωση κατά Friedel-Crafts:

$$\mathrm{PhH} + \mathrm{ViX} \xrightarrow{\mathrm{AlX_3}} \mathrm{PhCH} = \mathrm{CH_2} + \mathrm{HX}$$

• **Προσθήκη βενζολίου σε ακετυλένιο.**

Η μέθοδος αυτή γίνεται με προσθήκη βενζολίου σε ακετυλένιο:

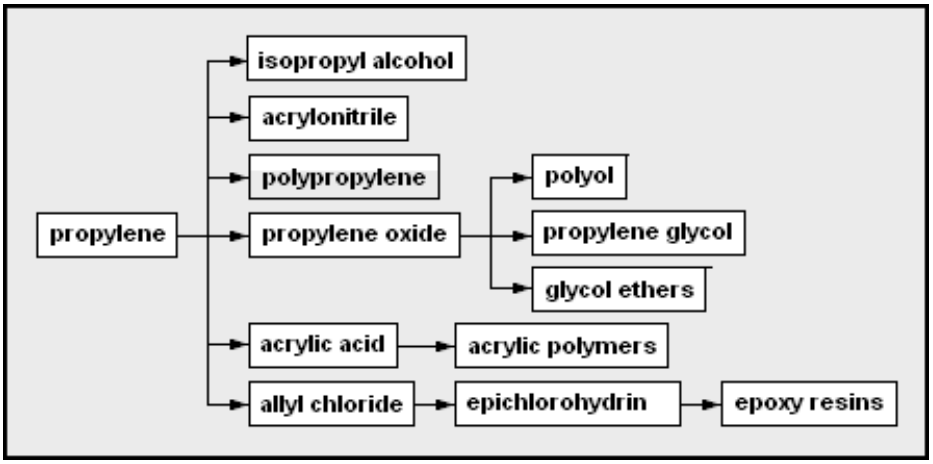
$$\mathrm{PhH} + \mathrm{HC} \equiv \mathrm{CH} \rightarrow \mathrm{PhCH} = \mathrm{CH_2}$$



Σχήμα 7: 1.2.1.1 Διαγραμματική απεικόνιση παραγωγής Στυρενίου.

1.3. ΑΚΡΥΛΟΝΙΤΡΙΛΙΟ.

Το ακρυλονιτρίλιο είναι πετρελαιοχημικό προϊόν παράγωγο του προπυλαινίου (propylene). Ανήκει στην μία από τις δυο συνηθισμένες κατηγορίες πετροχημικών που ονομάζονται αλκένια.



Σχήμα 8: 1.3.1 Χημικές ενώσεις που παράγονται από προπυλένιο.

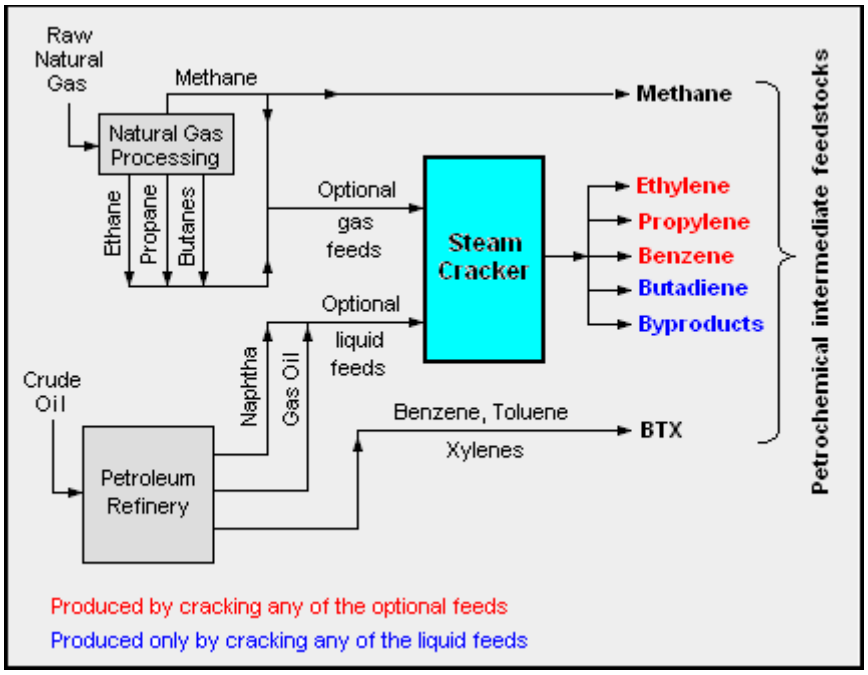
Ο χημικός του τύπος είναι:

C_3H_3N (μοριακός τύπος).

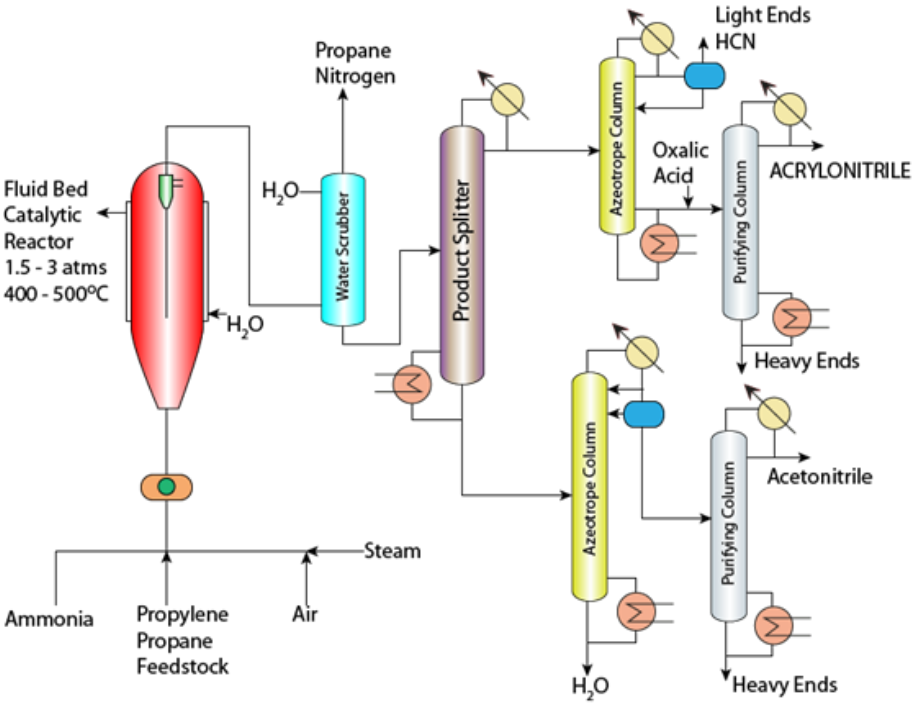
1.3.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ.

Η παραγωγή του προπυλενίου γίνεται σε διυλιστήρια πετρελαίου με ρευστή καταλυτική πυρόλυση κλασμάτων του πετρελαίου, αλλά μπορεί να γίνει και σε χημικές εγκαταστάσεις με τη διαφορά ότι αλλάζει ο τρόπος της διαδικασίας παραγωγής. Η παραγωγή του γίνεται με ατμοπυρόλυση των υδρογονανθρακων ή του φυσικού αερίου όπως αιθάνιο και προπάνιο κλπ.

Τα πολυμερή και ολιγομερή, τα αλκένια είναι η βάση για εφαρμογές όπως σε πλαστικά, ρητίνες, ελαστομερή, λιπαντικά.



Σχήμα 9: 1.3.1.1: Παραγωγή πετροχημικών προϊόντων.



Σχήμα 10: *1.3.1.2 Διαγραμματική απεικόνιση παραγωγής Ακρυλονιτριλίου.*

1.4 ΒΟΥΤΑΔΙΕΝΙΟ

Το βουταδιένιο-1,3 το οποίο ονομάζεται και διβινύλιο είναι ένας ακόρεστος, άκυκλος υδρογονάνθρακας με δύο διπλούς δεσμούς και ανήκει στην σειρά των αλκαδιενίων. Είναι άχρωμο αέριο το οποίο χρησιμοποιείται για τη σύνθεση άλλων οργανικών ενώσεων με ιδιαίτερη χρησιμότητα στο να παραχθεί το πολυβινύλιο, όπως και το συνθετικό καουτσούκ ακόμη και το νάϋλον.

Ο χημικός του τύπος είναι:

C_4H_6 (μοριακός τύπος), $CH_2{=}CHCH{=}CH_2$

Μοριακή μάζα	54.091 amu	**Φυσικές ιδιότητες**	
Σύντομος συντακτικός τύπος	$CH_2{=}CHCH{=}CH_2$	Σημείο τήξης	-108,9 °C
		Σημείο βρασμού	-4,4 °C
Συντομογραφίες	Vi_2	Πυκνότητα	640 kg/m^3 (-6 °C)
Αριθμός CAS	106-99-0	Διαλυτότητα στο νερό	735 ppm
SMILES	C=CC=C		
Αριθμός RTECS	EI9275000	Ιξώδες	0,25 cP (0 °C)
Αριθμός UN	1010	**Εμφάνιση**	Άχρωμο αέριο
PubChem CID	7845	**Χημικές ιδιότητες**	
Δομή		**Θερμότητα πλήρους καύσης**	2.381 kJ
Μήκος δεσμού	C-H: 106 pm		
Είδος δεσμού	C-H: σ (2sp^2-1s)	**Ελάχιστη θερμοκρασία ανάφλεξης**	-85 °C
Πόλωση δεσμού	C$^-$-H$^+$: 3%		
Μοριακή γεωμετρία	Επίπεδη	**Επικινδυνότητα**	
Ισομέρεια		Φράσεις ασφαλείας S45 & S53	
Ισομερή θέσης	8	Φράσεις κινδύνου	R45, R46 & R12
Εκτός αν σημειώνεται διαφορετικά, τα δεδομένα αφορούν υλικά υπό κανονικές συνθήκες (25°C, 100 kPa).			

Σχήμα 11: 1.4.1 Πίνακας με χαρακτηριστικά του Βουταδιένιου.

1.4.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Η μέθοδοι που μπορεί να παραχθεί είναι οι εξής:

- **Με πυρόλυση κλασμάτων πετρελαίου με ατμό.**

Η διαδικασία είναι να θερμαίνονται υδρογονάνθρακες σε υψηλές θερμοκρασίες για μικρό χρονικό διάστημα που τις περισσότερες φορές ξεπερνούν τους 900°C. Στην περίπτωση αυτή πολλοί αλειφατικοί υδρογονάθρακες δίνουν υδρογόνο και ένα πολύπλοκο μίγμα κορεσμένων και ακόρεστων υδρογονανθράκων, που περιλαμβάνουν και βουταδιένιο-1,3.

Η ποσότητα που θα παραχθεί εξαρτάται από το αρχικό μίγμα που υπόκειται σε πυρόλυση. Εν συνεχεία διαχωρίζεται από το κλάσμα των υδρογονανθράκων. Ο τρόπος διαχωρισμού γίνεται με απόσταξη.

- **Καταλυτική αφυδρογόνωση βουτανίου.**

$$CH_3CH_2CH_2CH_3 \xrightarrow[Pt]{\Delta} CH_2 = CHCH = CH_2 + 2H_2$$

- **Από αιθανόλη.**

Η παραγωγή από αιθανόλη δεν είναι οικονομική, αλλά είναι βιώσιμη λύση για μικρές μονάδες παραγωγής που έχουν πρόσβαση στο να αγοράσουν με χαμηλό κόστος αιθανόλη. Η μέθοδοι παραγωγής είναι δύο και είναι οι ακόλουθες:

- Θερμαίνοντας αιθανόλη στους 400–450°C πάνω από οξείδια μετάλλων που λειτουργούν ως καταλύτες.

$$2CH_3CH_2OH \xrightarrow[M_xO_y]{400-450^oC} CH_2 = CHCH = CH_2 + 2H_2O + H_2$$

- Μια άλλη μέθοδος είναι με χρήση ακεταλδεύδης (CH_3CHO) η όποια αντιδρά με αιθανόλη σε θερμοκρασία 325–350°C πάνω από ταντάλιο και πορώδες πυρίτιο που λειτουργούν ως καταλύτες.

$$CH_3CH_2OH + CH_3CHO \xrightarrow[Ta,\ Si]{325-350^oC} CH_2 = CHCH = CH_2 + 2H_2O$$

- **Από πρώτες ύλες με μικρότερη ανθρακική αλυσίδα.**

Με τη μέθοδο Würtz, από βινυλυλαλογονίδιο και νάτριο με απόδοση περίπου 60%.

$$2CH_2 = CHX + 2Na \rightarrow CH_2 = CHCH = CH_2 + 2NaX$$

- **Με αντίδραση (εναλλακτική μέθοδος).**

$$CH_2 = CHX + CH_2 = CHLi \rightarrow CH_2 = CHCH = CH_2 + LiX$$

- **Με αφυδάτωση.**

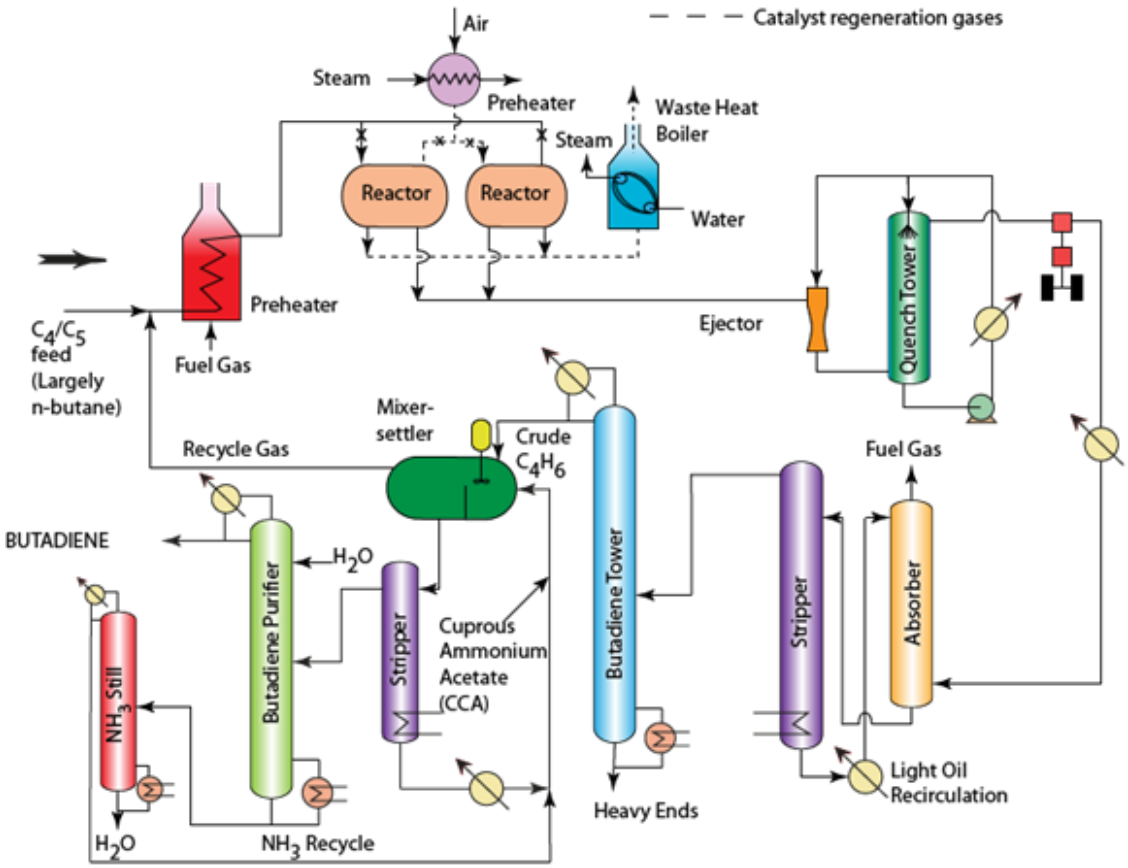
$$HOCH_2CH_2CH_2CH_2OH \xrightarrow[>150^o C]{\pi.H_2SO_4} CH_2 = CHCH = CH_2 + 2H_2O$$

- **Με απόσπαση υδραλογόνου.**

$$XCH_2CH_2CH_2CH_2X + 2NaOH \xrightarrow[\triangle]{ROH} CH_2 = CHCH = CH_2 + 2NaX + 2H_2O$$

- **Με απόσπαση αλογόνου.**

$$X_2CHCH_2CH_2CHX_2 + 2Zn \rightarrow CH_2 = CHCH = CH_2 + 2ZnX_2$$



Σχήμα 12: 1.4.1.1 Διαγραμματική παράσταση παραγωγής Βουταδιενίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ABS

Το ABS ανήκει στην κατηγορία τον θερμοπλαστικών των πολυμερών υλικών όπου έχει την ικανότητα με τη βοήθεια της θερμότητας να τήκεται και στην συνέχεια να σταθεροποιείται με τη ψύξη.

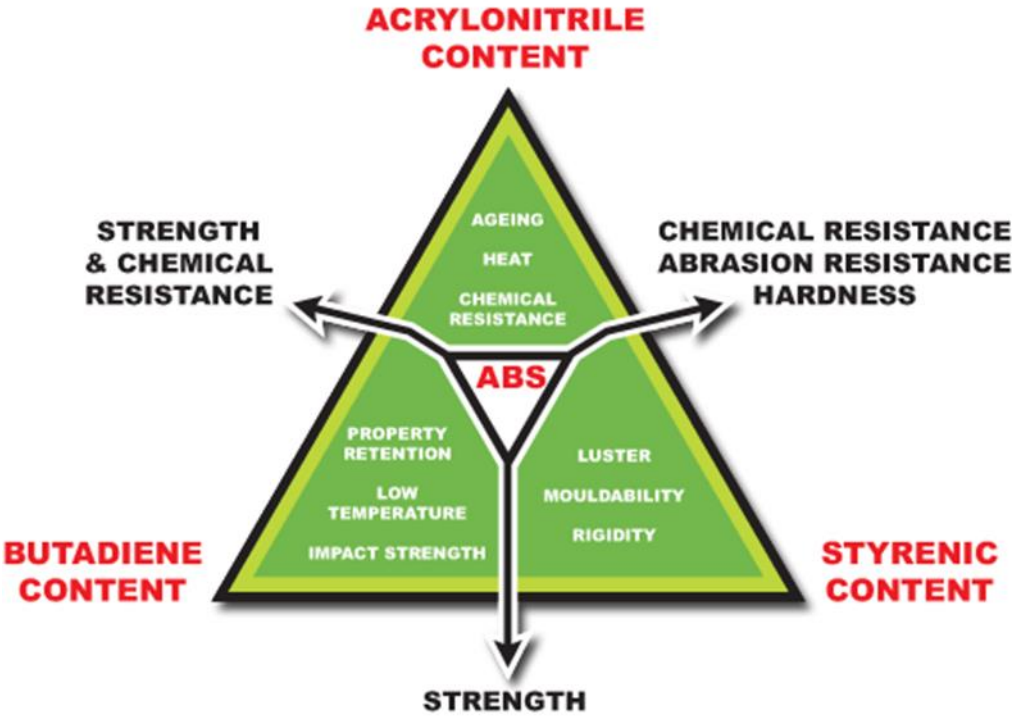
Τα πολυμερή υλικά έχουν τα εξής πλεονεκτήματα :

1) Είναι ελαφριά.
2) Είναι ανθεκτικά.
3) Έχουν χαμηλό κόστος.
4) Όσο αναφορά τη βιομηχανική παραγωγή τους, έχουν εύκολη επεξεργασία η όποια συνεπάγεται ευκολία της παραγωγής τους.
5) Έχουν αντίσταση στη διάβρωση.
6) Είναι μονωτικά υλικά.

Τα παραπάνω πλεονεκτήματα δεν σημαίνει ότι δεν έχουν και κάποια μειονεκτήματα σε μικρότερο βαθμό όπως:

1) Είναι εύφλεκτα.
2) Έχουν χαμηλό σημείο τήξεως.
3) Συμβάλουν στην περιβαλλοντική ρύπανση.

Το ABS ως πλαστικό υλικό έχει πολλά θετικά και αρνητικά. Τα σημαντικότερα θετικά του είναι ότι έχει μεγάλη αντοχή σε ερπυσμό (θερμοκρασία), αντοχή σε κρούση και μέτριες μηχανικές ιδιότητες.

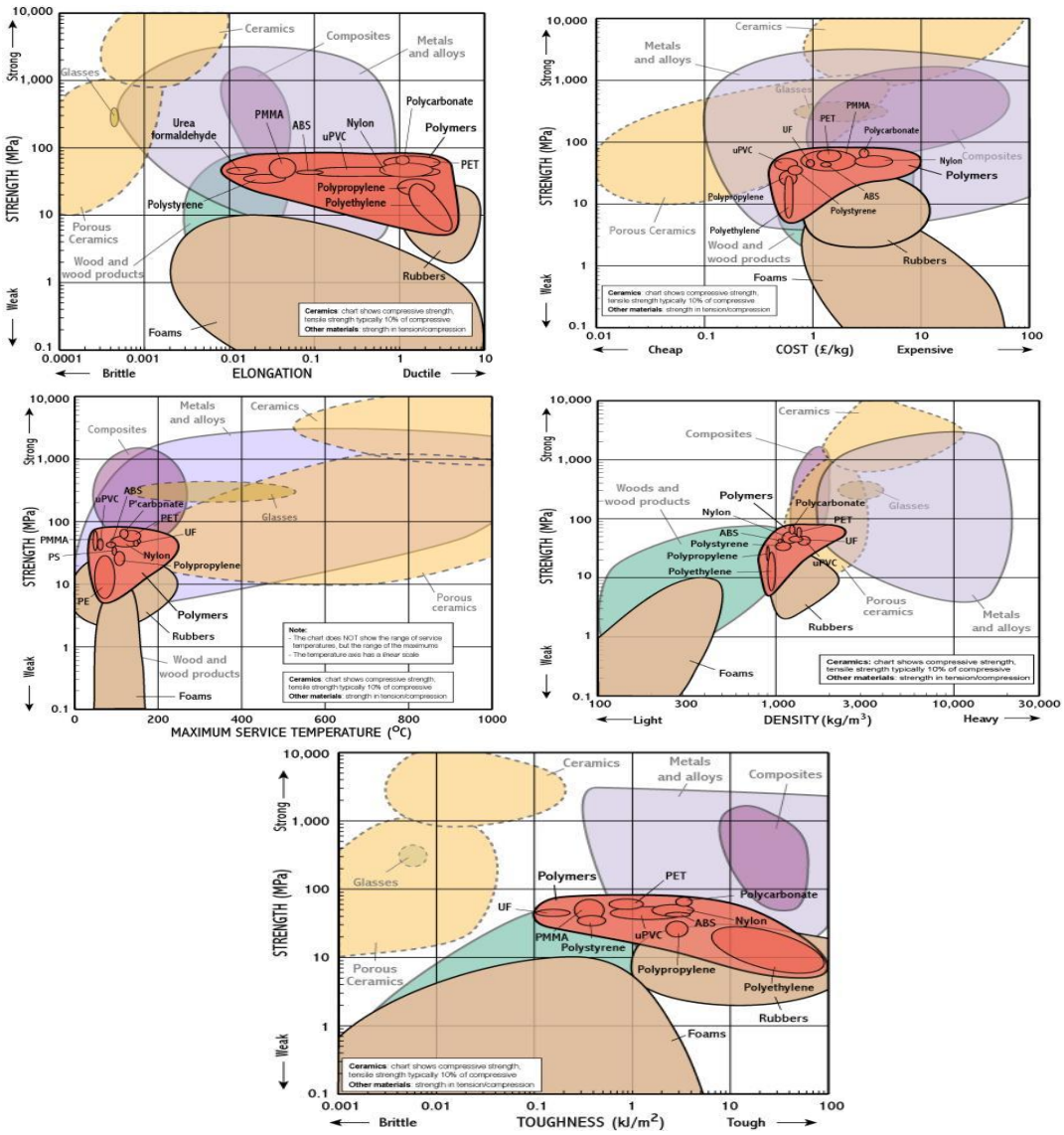


Σχήμα 13:2.1.1 Φυσικές & Μηχανικές ιδιότητες ABS.

Κάποια πλεονεκτήματα ακόμα που παρέχει το ABS είναι τα παρακάτω:

- Υψηλή ολκιμότητα σε συνδυασμό με την υψηλή αντοχή σε κρούση.
- Υψηλή αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία.
- Είναι ανακυκλώσιμο.
- Υψηλή αντίσταση στη τριβή.
- Υψηλή σκληρότητα.
- Εύκολη συγκόλληση.
- Είναι ελαφρύ.
- Το χρώμα του είναι φυσικό.
- Αντοχή σε δραστικά χημικά αντιδραστήρια.
- Η επιφάνεια του είναι αρκετά λεία.
- Μέσω του δαχτυλιδιού καουτσούκ όπου επιτρέπονται πολλές συμβατές μέθοδοι συναρμολόγησης σωληνώσεων.
- Είναι μη τοξικό και δεν έχει οσμές.
- Υψηλές ανοχές παραμόρφωσης για υπόγειες εφαρμογές (High strain tolerance for buried applications).

Πλεονεκτήματα ακόμα μπορούν να βρεθούν αναλύοντας εις βάθος τα συστατικά από τα όποια και αποτελείται το ABS. Ποιο συγκεκριμένα αναλύοντας τη δομή του βλέπουμε ότι το στυρένιο παρέχει καλή επεξεργασιμότητα, το ακρυλονιτρίλιο έχει την ιδιότητα να έχει αντοχή στην θερμότητα αλλά και χημική αντίσταση και τέλος το βουταδιένιο έχει την ικανότητα να παρέχει στο προϊόν περισσότερη σκληρότητα και ανθεκτικότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες.



Σχήμα 14:2.1.2 Διαγραμματικές απεικονίσεις όλων των πολυμερών: δύναμη προς επιμήκυνση, δύναμη προς το κόστος, δύναμη προς μέγιστη θερμοκρασία, δύναμη προς πυκνότητα και δύναμη προς σκληρότητα.

Η προσθήκη διαφόρων πρόσθετων ουσιών που μπορεί να είναι ενισχυτικά, άλλα πολυμερή, χρωστικές ύλες, σταθεροποιητές για την εμπόδιση της φθοράς από το φως τους περιβαλλοντικούς παράγοντες και τη θερμοκρασία, λιπαντικά για την βελτιωμένη μορφοποίηση και μείωση του ιξώδους έχουν σαν σκοπό να βελτιώσουν της μηχανικές τους ιδιότητες, να αυξήσουν την αντοχή τους στην ακαμψία και την επίτευξη καλύτερου συνδυασμού ιδιοτήτων. Ο γραμμικός συντελεστής του ABS είναι 10,1x10^-5m/m °C, η πυκνότητα του είναι 1.04-1.08 g cm^-3, το Ph ανέρχεται 8.0-9.5, Tensile strength 41-45 Mpa, Young's modulus 2,1-2,4 Gpa.

Mechanical Properties[1]	Test Method	English	Metric
Tensile Strength (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	5,300 psi	37 MPa
Tensile Modulus (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	330,000 psi	2,320 MPa
Tensile Elongation (Type 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	3%	3%
Flexural Delamination	ASTM D790	4,500 psi	31 MPa
Flexural Strength (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	7,600 psi	53 MPa
Flexural Modulus (Method 1, 0.05"/min)	ASTM D790	320,000 psi	2,250 MPa
IZOD Impact, notched (Method A, 23°C)	ASTM D256	2.0 ft-lb/in	106 J/m

Thermal Properties[2]	Test Method	English	Metric
Heat Deflection (HDT) @ 66 psi	ASTM D648	204°F	96°C
Heat Deflection (HDT) @ 264 psi	ASTM D648	180°F	82°C
Glass Transition Temperature (Tg)	DMA (SSYS)	226°F	108°C
Melt Point	---------	Not Applicable[3]	Not Applicable[3]
Coefficient of Thermal Expansion	ASTM E831	4.90E-05 in/in/°F	---------

Electrical Properties[4]	Test Method	Value Range
Volume Resistivity	ASTM D257	3.0x10e14 - 6.0x10e13 ohms
Dielectric Constant	ASTM D150-98	2.9 - 2.6
Dissipation Factor	ASTM D150-98	.0053 - .0046
Dielectric Strength	ASTM D149-09, Method A	320 - 100 V/mm
Dielectric Strength	IEC 60112	28.0 kV/mm

Σχήμα 15:2.1.3 Πίνακας με ιδιότητες ABSPLUS.

Ακόμα το ABS έχει ισχυρή ανθεκτικότητα σε πάρα πολλά χημικά μέσα όπως είναι σε υδατικά οξέα, συμπυκνωμένα υδροχλωρικά και φωσφορικά οξέα, αλκάλια, αλκοόλες και ζωϊκά, φυτικά και ορυκτά έλαια, αλλά προσβάλλεται από συμπυκνωμένα θειϊκά και νιτρικά οξέα. Επίσης είναι διαλυτό σε διχλωριούχο αιθυλένιο, εστέρες, κετόνες ή ακετόνη.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω υπάρχουν και ορισμένα αρνητικά τα οποία είναι τα παρακάτω.

- Κακές μηχανικές ιδιότητες.
- Γήρανση.
- Υψηλό κόστος.
- Χαμηλή αντοχή στης καιρικές συνθήκες.

Ακόμα, ένα μεγάλο πρόβλημα για το ABS και τη χρήση του είναι η υγρασία. Σε κάθε χρήση του θα πρέπει να έχει προβλεφθεί η όσο είναι το δυνατό η 'απομόνωση' της υγρασίας από το ABS γιατί αν εισχωρήσει μέσα σε αυτό τις περισσότερες φορές του προκαλεί σημαντικές φθορές και υποβάθμιση της δομής του.

Άξιο αναφοράς επίσης είναι η έκθεση του σε UV. Αν γίνει αυτή για μεγάλο χρονικό διάστημα σε παρατεταμένη χρήση δημιουργείται πρόβλημα στη σύσταση του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παρουσιάσει χημικά και μηχανικά προβλήματα που είναι αποτέλεσμα της σταδιακής αλλοίωσης της σύστασης του.

Ιδιότητες με βάση τον τρόπο εκτύπωσης ABS:

Η θερμοκρασία την ώρα της εκτύπωσης του τεμαχίου έχει καθοριστικό ρόλο στις ιδιότητες και συνεπώς στη χρήση του. Συγκεκριμένα εκτυπώνοντας το ABS με χαμηλή θερμοκρασία έχουμε σαν αποτέλεσμα την αύξηση τις αντοχής του σε κρούση, καθώς και σε σκληρότητα. Αντίθετα αν η εκτύπωση πραγματοποιηθεί σε υψηλότερη θερμοκρασία το υλικό θα έχει μεγαλύτερη αντοχή στη θερμοκρασία.

Mechanical Properties[1]	Test Method	Imperial	Metric
Tensile Strength, Type 1, 0.125	ASTM D638	3,200 psi	22 MPa
Tensile Modulus, Type 1, 0.125	ASTM D638	236,000 psi	1,627 Mpa
Tensile Elongation, Type 1, 0.125	ASTM D638	6 %	6 %
Flexural Strength	ASTM D790	6,000 psi	41 MPa
Flexural Modulus	ASTM D790	266,000 psi	1,834 MPa
IZOD Impact, notched	ASTM D256	2 ft-lb/in	106.78 J/a
IZOD Impact, un-notched	ASTM D256	4 ft-lb/in	213.56 J/a

Thermal Properties	Test Method	Imperial	Metric
Heat Deflection Temperature @ 66 psi	ASTM D648	195° F	90° C
Heat Deflection Temperature @ 264 psi	ASTM D648	169° F	76° C
Glass Transition Temperature (Tg)	DMA (SSYS)	219° F	104° C
Coefficient of Thermal Expansion	ASTM D696	5.60E-05 in/in/F	- - - - -
Melt Point	- - - - - - - - -	Not Applicable[2]	Not Applicable[2]

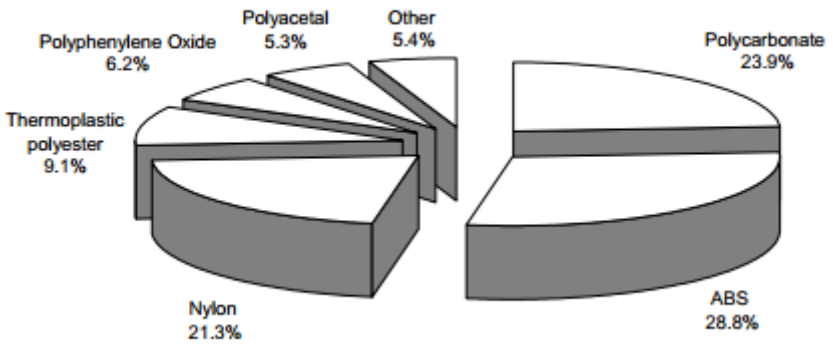
Other	Test Method	Value
Specific Gravity	ASTM D792	1.05
Flame Classification	UL 94	HB
Rockwell Hardness	ASTM D785	R105
Dielectric Strength kV/mm	IEC 60112	32
Dielectric Constant @ 60Mhz	IEC 60250	2.4

Σχήμα 16: *2.1.4 Πίνακες με ιδιότητες ABS.*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΑΡΑΓΩΓΑ ABS

Το ABS στην εμπορική ταξινόμηση θερμοπλαστικών ανήκει στην ενδιάμεση χρήση μαζί με το PMMA.



Σχήμα 17:*3.1.1 Ζήτηση πλαστικών για το 2001* (Freedonia Industry Study, 2002).

Μελέτη που έγινε σε ευρωπαϊκές χώρες δείχνει ότι το ABS είναι πιο ευρέος χρησιμοποιούμενο στον τομέα των εξαρτημάτων του αυτοκινήτου αλλά όχι μόνο.
Η χρήση του σε διάφορους τομείς είναι:

1) Αυτοκίνητα 26%
2) Συσκευές 18%
3) Ηλεκτρονικό & Ηλεκτρικό τομέα 18%
4) Ψυχαγωγικά αντικείμενα 7%
5) Έπιπλα 2%
6) Σωλήνες & Εξαρτήματα 2%
7) Διάφορα άλλα 27%

Σχήμα 18:*3.1.2 Εμπορικά παράγωγα ABS*
A) Παιχνίδια B) Ηλεκτρικές συσκευές C)Καλούπια όπου στο εσωτερικό τους εισέρχονται ηλεκτρονικές πλακέτες για διάφορες χρίσης D) Βαλίτσες αποσκευών.

3.1.1 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ABS (συμπολυμερές ακρυλονιτριλίου - βουταδιενίου- στυρολίου).

Το ABS έχει αρκετές εφαρμογές όπως σε παιχνίδια, αλλά όχι μονό. Χρησιμοποιείται και σε εφαρμογές που έχουν να κάνουν με τον τομέα τις ασφάλειας π.χ. κράνη ασφαλείας. Ακόμη χρησιμοποιείται και στην αυτοκινητοβιομηχανία, δηλαδή εσωτερικά επί το πλείστον σε πίνακες οργάνων (ταμπλό) αλλά και εξωτερικά σαν περίβλημα του καθρέφτη.

Άλλη χρήση που μπορεί να έχει είναι σε οικιακές συσκευές όπως το περίβλημα ηλεκτρικής σκούπας και άλλων συσκευών ακόμα και εσωτερικά τμήματα συσκευών.

Η εφαρμογές του ABS μπορούν να χωριστούν ως εξής:

1) Κατηγορία υψηλής χρήσης αντίκτυπου που μπορεί να είναι ταξιδιωτικές τσάντες, κράνη, έπιπλα, αθλητικά προϊόντα, εξαρτημάτων αυτοκινήτων κ.α.

Σχήμα 19:*3.1.1.1 Α) Ταμπλό αυτοκινήτου Β) Προφυλακτήρας αυτοκινήτου C) Φτερά αυτοκινήτου από ABS.*

Σχήμα 20:*3.1.1.2 Κράνος ασφαλείας από ABS.*

2) Κατηγορία μέσης χρήσης σε οικιακές συσκευές, πίνακες ελέγχου κ.α.
3) Ηλεκτρική Κατηγορία π.χ. σε πόμολα τηλεοράσεων και ραδιοφώνων, εξαρτήματα μπάνιου, λαβές ψυγείων, καλύμματα τροχών, δακτύλιοι ρολογιών (Clockrings), Τέντες, όπλα , φώτα ,δάδες (torch)κ.λπ.

4) Κατηγορίες Υψηλής χρήσης για περιβλήματα οικιακών συσκευών και τον εξοπλισμό γραφείων, κουτιά τηλεοράσεων και ραδιόφωνων, κασετόφωνα και στερεοφωνικά αυτοκινήτου.
5) Κατηγορία Υψηλής αντίστασης στη θερμότητα (Heat Resistant) για εξαρτήματα αυτοκινήτων, καλύμματα για ηλεκτρικούς θερμοσίφωνες και στεγνωτήρια.
6) Διαφανής κατηγορίες όπου χρησιμοποιείται σε περιοχές όπου απαιτείται υψηλή διαφάνεια & καλή αντοχή σε κρούση.
7) Ενισχυμένα με ίνες γυαλιού όπου χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτούν πολύ υψηλή καμπτική αντοχή, ακαμψία, αντοχή σε ιδιότητες.
8) Κατηγορίες διέλασης όπου έχει χρήση σε επενδύσεις ψυγείων και βαλίτσες.

Το ABS δεν υπόκειται σε φθορές και για αυτό χρησιμοποιείται σε μεταφορές μπύρας, νερού, αλκοολούχων ποτών, αναψυκτικών, κρασιών, σοκολάτας, παγωτών και γενικά παρόμοιων προϊόντων. Η χρήση του ABS δεν είναι μόνο σε αντικείμενα ή εξαρτήματα αλλά και σε σωληνώσεις. Είναι πιστοποιημένο ως θερμοπλαστικό για εφαρμογές στη περιοχή θερμοκρασιών από -30° C έως +60° C.

Σχήμα 21:3.1.1.3 Σωλήνας και εξαρτήματα σωλήνα από ABS.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗΣ ABS, Rapid Prototype.

Το ABS ως θερμοπλαστικό μπορεί να τήκεται με θέρμανση και εν συνεχεία να στερεοποιείται με ψύξη και να έχει την ικανότητα να επαναποτίθεται με επαναληψιμότητα.

Οι μέθοδοι μορφοποίησης ποικίλουν και είναι οι ακόλουθες:

1) Χύτευση με έγχυση (Injection molding).
2) Χύτευση με εμφύσηση (blow molding).
3) Χύτευση με συμπίεση (Compression Moulding).
4) Εξώθηση (Extrusion).
5) Θερμική διαμόρφωση (Heat configuration).

a) Θερμική διαμόρφωση σε κενό αέρος (thermoforming in vacuo).
b) Θερμική διαμόρφωση υπό πίεση (thermoforming under pressure).
c) Μηχανική θερμική διαμόρφωση (Mechanical thermoforming).

Για τις τέσσερεις πρώτες μεθόδους αξίζει να αναφερθεί ότι μπορούν να χρησιμοποιήσουν ως ύλη ανακυκλώσιμα υλικά με την προϋπόθεση να είναι αγνά και καθαρά.

4.1.1 ΧΥΤΕΥΣΗ ΜΕ ΕΓΧΥΣΗ.

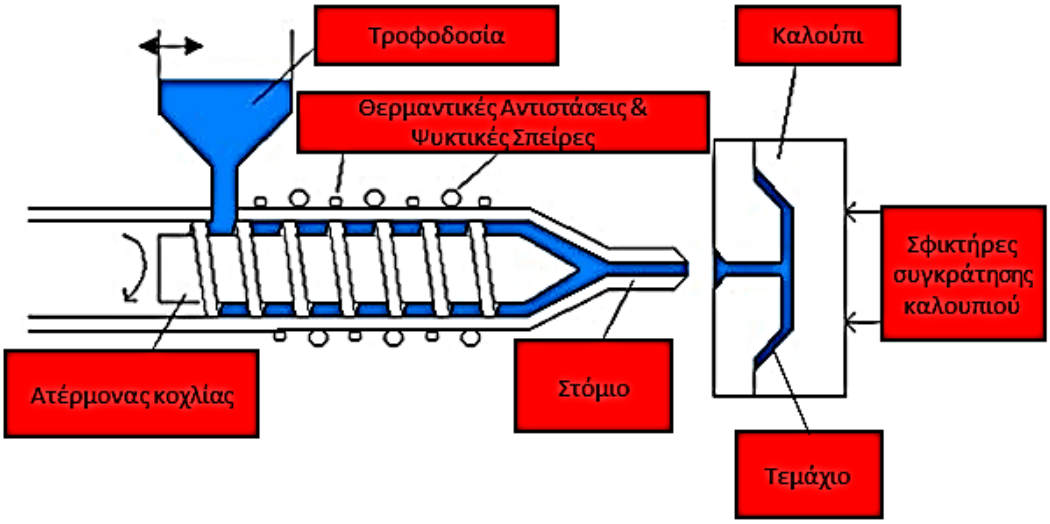
Η χύτευση με έγχυση είναι η μέθοδος η οποία τροφοδοτείται με πρώτη ύλη που μπορεί να είναι σφαιρίδια ή σκόνη η οποία μεταφέρεται στη χοάνη που τροφοδοτεί τη μηχανή έγχυσης.

Στη συνέχεια με την περιστροφή του κοχλία εκτός ότι μεταφέρεται προς το ακροφύσιο παράλληλα το υλικό θερμαίνεται με τη βοήθεια θερμικών αντιστάσεων και ψηκτρών αυξάνοντας την πίεση του.

Το τελικό στάδιο είναι η εξαγωγή του από ένα ειδικά διαμορφωμένο ακροφύσιο στο καλούπι το οποίο ψύχεται για να διατηρείται δροσερό για την γρήγορη στερεοποίηση του τεμαχίου.

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας το τεμάχιο που έχει παραχθεί δεν χρειάζεται μεγάλη επεξεργασία και έχει αρκετές χρήσεις στην αυτοκινητοβιομηχανία (Ταμπλό, Προφυλακτήρες κ.α), οικιακή χρήση (Περιβλήματα από ηλεκτρικές συσκευές, πλαστικές καρέκλες κ.α) ακόμα και για την χρήση ηλεκτρονικών κουτιών (Περιβλήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών κ.α).

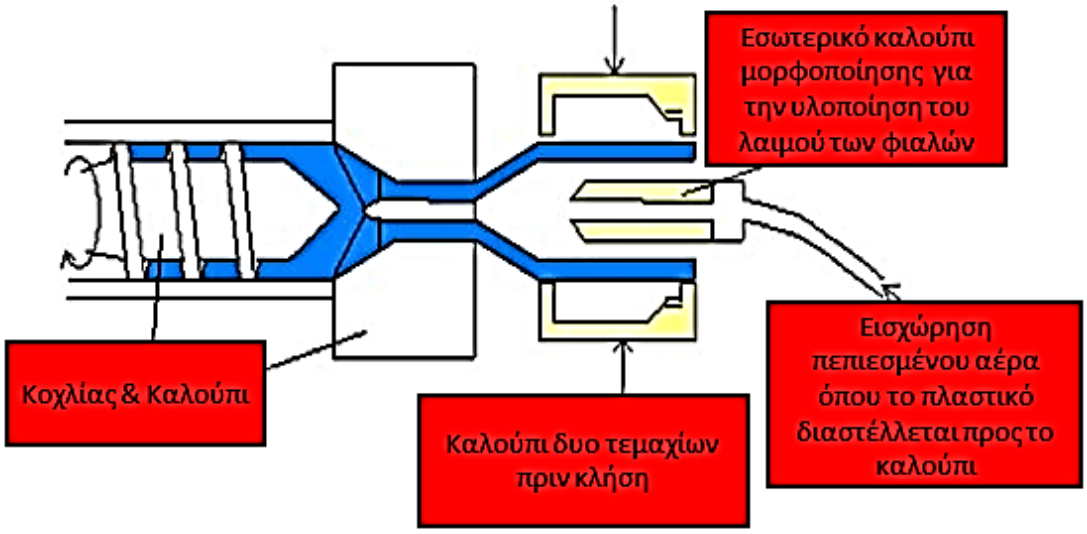
Σαν πλεονέκτημα μπορεί να αναφερθεί ότι είναι χαμηλού κόστους μέθοδος, αλλά με βασική προϋπόθεση τη μαζική παραγωγή τεμαχίων. Ως επένδυση σε σχέση με το κόστος είναι μεγάλη και αυτό μπορούμε να το θεωρήσουμε ένα μειονέκτημα της μεθόδου.



Σχήμα 22:*4.1.1.1 Διαγραμματική απεικόνιση της μεθόδου μορφοποίησης χύτευση με έγχυση.*

4.1.2 ΧΥΤΕΥΣΗ ΜΕ ΕΜΦΥΣΗΣΗ

Η χύτευση με εμφύσηση είναι ίδια όσο αναφορά την τροφοδοσία και τον ατέρμονα κοχλία καθώς και το σύστημα θέρμανσης-ψύξης με τη διαφορά του ότι το υλικό εισέρχεται σε ένα καλούπι το οποίο ψύχεται και στο εσωτερικό του υπάρχει ένα άλλο καλούπι το οποίο μορφοποιεί το λαιμό των φιαλών με την εισαγωγή πεπιεσμένου αέρα το οποίο το εξωθεί προς το εξωτερικό καλούπι. Έχει ευρεία εφαρμογή στην κατασκευή μπουκαλιών για οποιαδήποτε χρήση και εφαρμογή (νερών, τροφίμων, καυσίμων).

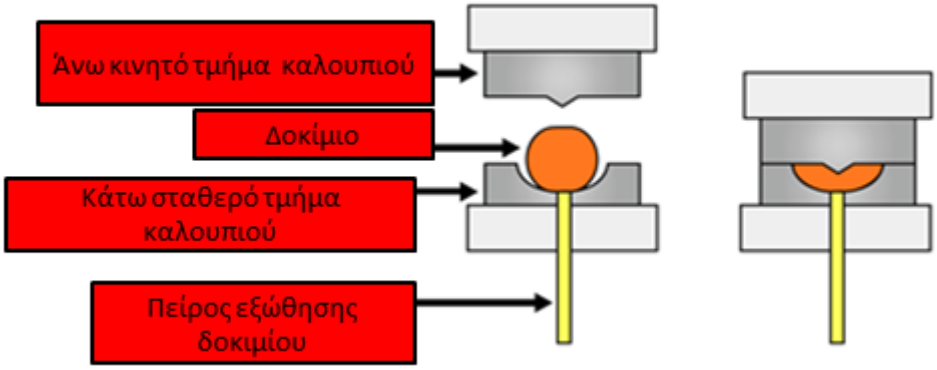


Σχήμα 23:*4.1.2.1 Διαγραμματική απεικόνιση με μέθοδο μορφοποίησης χύτευση με εμφύσηση.*

4.1.3 ΧΥΤΕΥΣΗ ΜΕ ΣΥΜΠΙΕΣΗ.

Μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η χύτευση με συμπίεση. Το θερμαινόμενο καλούπι που χρησιμοποιείται αποτελείται από δυο μέρη όπου το κάτω τμήμα του έχει διαμορφωμένη μια κοιλότητα και ακολούθως το πάνω έχει μια αντίστοιχη προεξοχή (Αρσενική μήτρα–Θετική μήτρα). Η διαδικασία έχει ως εξής: το πολυμερές υλικό τοποθετείται στην κοιλότητα του κάτω καλουπιού και στη συνέχεια το επάνω κινητό τμήμα του καλουπιού κατεβαίνει συμπιέζοντας το υλικό. Η μέθοδος όσον αναφορά την εφαρμογή στα θερμοπλαστικά έχει το μειονέκτημα ότι είναι αργή λόγω της θερμοκρασίας που απαιτείται για να φτάσει σε σημείο επεξεργασιμότητας του τεμαχίου και αυτό συνεπάγεται μεγαλύτερο κόστος παραγωγής.

Τα υλικά που παράγονται με τη μέθοδο αυτή βρίσκουν εφαρμογή στην αυτοκινητοβιομηχανία, οικιακή χρίση κ.α.



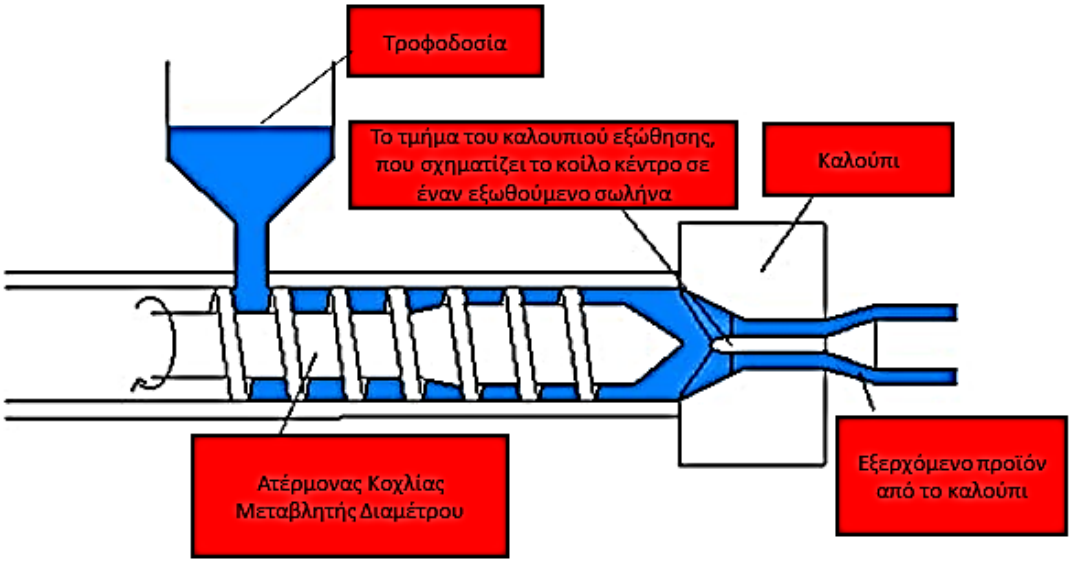
Σχήμα 24:*4.1.3.1 Διαγραμματική απεικόνιση με μέθοδο μορφοποίησης χύτευση με συμπίεση.*

4.1.4 ΕΞΩΘΗΣΗ.

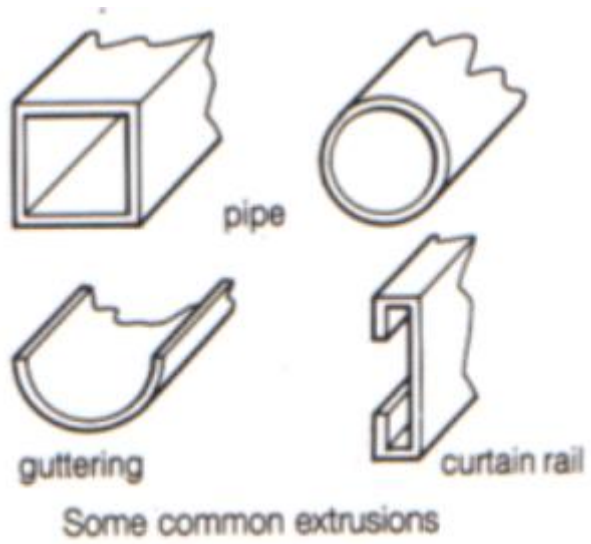
Η διαδικασία εξώθησης μοιάζει με τη διαδικασία έγχυσης, αλλά με τη διαφορά ότι δεν υπάρχει καλούπι για την παρασκευή δοκιμίου.

Έχει αντικατασταθεί με ένα ακροφύσιο δια μέσου μιας μήτρας όπου καθορίζεται το σχήμα του πλαστικού με συνεχή έγχυση.

Και στη συνέχεια ψύχεται με αέρα, υδατόλουτρο ή σε ένα παγωμένο τύμπανο και τέλος τυλίγεται σε ένα καλούπι ή κόβεται σε ίσα μήκη.



Σχήμα 25:*4.1.4.1 Διαγραμματική απεικόνιση με μέθοδο μορφοποίησης χύτευση με εξώθηση.*



Σχήμα 26:*4.1.4.2 Γεωμετρικά μεγέθη.*

Το πλεονέκτημα όπως βλέπουμε (Σχήμα 4.1.4.2) είναι ότι μπορούν να παραχθούν διαφόρων ειδών τεμάχια ως προς την γεωμετρία και χωρίς περιορισμό στο μήκος τους.

4.1.5 ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ.

Η σημασία τον μεθόδων αυτόν είναι ότι για να υλοποιηθούν χρειάζεται πάντα τα φύλα πλαστικού να έχουν θερμανθεί πριν υποστούν την οποιαδήποτε επεξεργασία όποια και αν είναι αυτή είτε είναι μηχανική (εφαρμόζοντας κάποια δύναμη) ή τεχνητή (προσθέτοντας πεπιεσμένο αέρα όπου αφαιρείται με μια αντλία κενού από το κάτω καλούπι ή αφαιρώντας τον αέρα που ήδη υπάρχει χωρίς να προστεθεί περίσσιος αέρας).

Η πρώτη μέθοδος η οποία εφαρμόστηκε ήταν η θερμοδιαμόρφωση υπό κενό (αναπτύχθηκε στη δεκαετία του 1950).

Στην συνέχεια αναλύετε η κάθε μέθοδος διαγραμματικά και εξηγούνται για την πλήρη κατανόηση τα είδη των θερμικών διαμορφώσεων και ο τρόπος λειτουργίας τους.

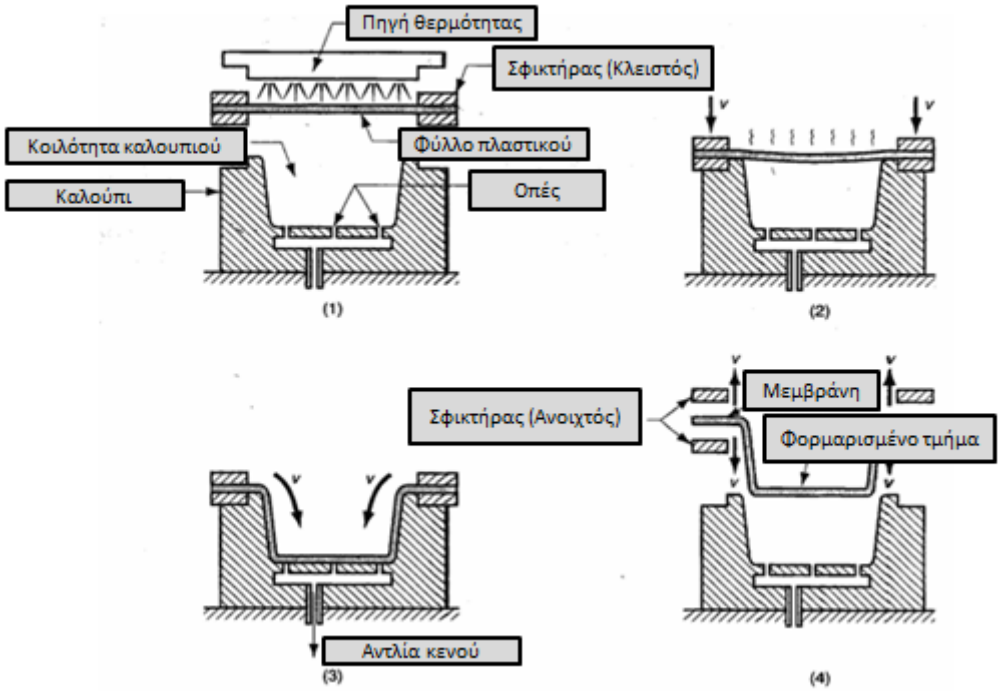
4.1.5.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΕ ΚΕΝΟ ΑΕΡΟΣ.

Η αρχή λειτουργίας είναι η εξής: αρχικά το φύλο πλαστικού προσαρμόζεται στους σφικτήρες οι οποίοι εν συνεχεία κλείνουν. Το φύλο θερμαίνεται από μια πηγή θερμότητας και τοποθετείται στο πάνω μέρος του καλουπιού όπου στο εσωτερικό

έχει μια κοιλότητα. Ενώ θερμαίνεται η ατμοσφαιρική πίεση κάνει το φύλο πλαστικού να παραμορφωθεί, εν συνεχεία εφάπτεται στα τοιχώματα με την απαίτηση κάποιου χρονικού διαστήματος και ψύχεται.

Τέλος στο κάτω μέρος του καλουπιού υπάρχει μια αντλία κενού η οποία ρουφώντας αφαιρεί τον αέρα για τη διαμόρφωση του τεμαχίου.

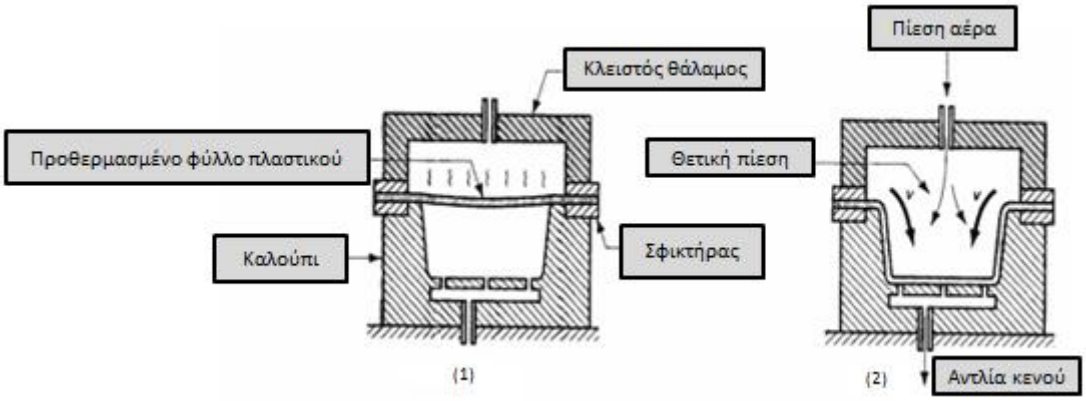
Ένα χαρακτηριστικό της μεθόδου αυτής ως προς τη χρήση είναι ότι μπορεί να παράγει τεμάχια τα οποία να έχουν μεγάλο όγκο καθώς και επιφάνεια και έχει εφαρμογή στην αυτοκινητοβιομηχανία ακόμη και για οικιακή χρήση.



Σχήμα 27:*4.1.5.1.1 Διαγραμματική απεικόνιση με θερμική διαμόρφωση σε κενό αέρος.*

4.1.5.2 ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΥΠΟ ΠΙΕΣΗ.

Μια εναλλακτική μέθοδος είναι υπό πίεση όπου αρχικά το φύλο θερμαίνεται και το οποίο στη συνέχεια τοποθετείται πάνω στο καλούπι αλλά η διαφορά με την διαμόρφωση σε κενό αέρος είναι ότι στο επάνω μέρος τοποθετείται ένα άλλο καλούπι (κλειστός θάλαμος) όπου στο επάνω μέρος του έχει μια είσοδο αέρα. Η εισαγωγή αέρα έχει ως αποτέλεσμα να μην έχει επαφή το ένα με το άλλο. Έτσι προσδίδοντας πίεση αέρα επάνω στο θερμαινόμενο φύλο και με την βοήθεια της αντλίας κενού έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα. Ο σκοπός χρήσης είναι ίδιος με την προηγούμενη μέθοδο με τη διαφορά τα τεμάχια τα οποία παράγονται να έχουν λεπτομέρειες και καλύτερη αισθητική.

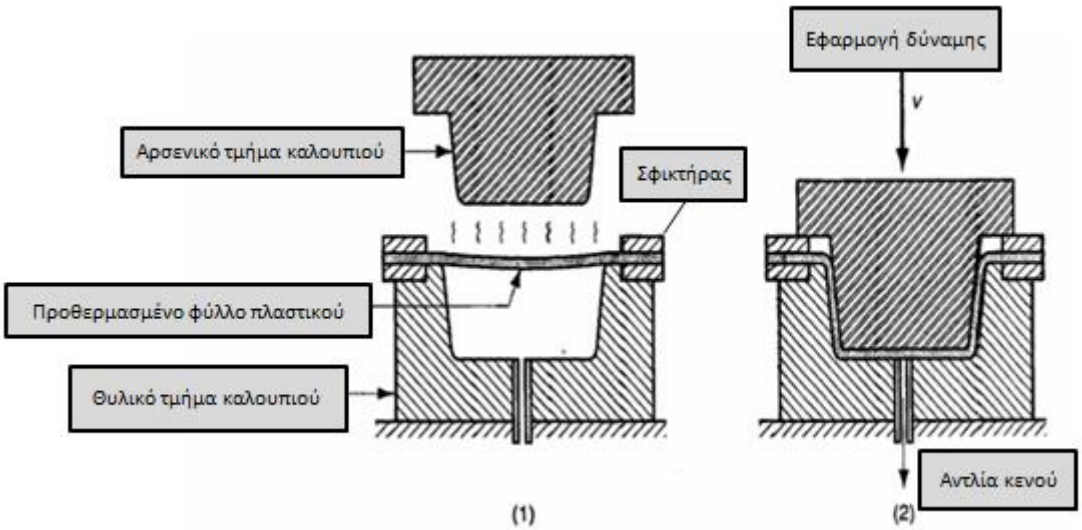


Σχήμα 28:*4.1.5.2.1 Διαγραμματική απεικόνιση της μεθόδου με θερμική διαμόρφωση υπό πίεση αέρα.*

4.1.5.3 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ.

Η μηχανική θερμική διαμόρφωση είναι η μέθοδος η οποία αποτελείται από δυο καλούπια όπου τα οποία ενώνονται το ένα με το άλλο καθώς το κάτω καλούπι στο εσωτερικό του έχει μια κοιλότητα έτσι ώστε όταν το πάνω καλούπι κατέβει εφόσον αυτό έχει το κατάλληλο εξόγκωμα να εφάπτονται (Αρσενικό–θηλυκό). Το φύλο πλαστικού βρίσκεται στην μέση στο επάνω μέρος του κάτω καλουπιού και είναι πάλι προθερμασμένο.

Το πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι μπορούμε να έχουμε τον καλύτερο έλεγχο διαστάσεων των τεμαχίων και την καλύτεροι επιφανειακή λεπτομέρεια και από τις δυο πλευρές του τεμαχίου.



Σχήμα 29:*4.1.5.3.1 Διαγραμματική απεικόνιση της μεθόδου με μηχανική θερμική διαμόρφωση.*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗ ΥΛΙΚΩΝ ABS

Στις «δυτικές» χώρες, η κατανάλωση πλαστικού έχει αυξηθεί με τεράστιο ρυθμό κατά τις τελευταίες δύο ή τρεις δεκαετίες. Στις καταναλωτικές κοινωνίες της Ευρώπης και της Αμερικής, οι σπάνιοι πόροι πετρελαίου που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μιας τεράστια ποικιλίας πλαστικών και παράγωγων προϊόντων τους. Πολλές από τις εφαρμογές είναι για προϊόντα με κύκλο ζωής λιγότερο από ένα έτος και στη συνέχεια η μεγάλη πλειοψηφία αυτών των πλαστικών απορρίπτονται. Στις περισσότερες περιπτώσεις η ανάκτηση των απορριπτόμενων πλαστικών δεν είναι οικονομικά βιώσιμη.

Στον τομέα της βιομηχανίας (η αυτοκινητοβιομηχανία για παράδειγμα) υπάρχει μια αυξανόμενη κίνηση προς την κατεύθυνση της επαναχρησιμοποίησης και της πολυεπεξεργασίας των πλαστικών για οικονομικούς, καθώς και περιβαλλοντικούς λόγους, με πολλά αξιέπαινα παραδείγματα εταιρειών οι οποίες αναπτύσσουν τεχνολογίες και στρατηγικές για την ανακύκλωση των πλαστικών.

Σχήμα 30:*5.1.1 Ανακυκλώσιμα υλικά.*

Τα πλαστικά παράγονται από μη ανανεώσιμους πόρους, και είναι γενικά μη-βιοαποικοδομήσιμα (ή η διαδικασία βιοδιάσπασης είναι πολύ αργή). Αυτό σημαίνει ότι τα πλαστικά απορρίμματα είναι συχνά το πιο δυσάρεστο είδος των απορριμμάτων και θα είναι ορατά για εβδομάδες ή μήνες, και όταν αποτεθούν σε χώρους υγειονομικής ταφής για χρόνια.

Τα πλαστικά απορρίμματα δημιουργούν περαιτέρω σοβαρά προβλήματα υγείας και οικολογικά προβλήματα.

Καθώς πλένονται με την βροχή και εισέρχονται σε αποχετεύσεις και σωληνώσεις με συνέπεια να προκαλούν πλημμύρες, ακόμη καταλήγοντας στη θάλασσα όπου τα πουλιά και τα ψάρια τα τρώνε, ή παρασέρνονται σε χιλιάδες μικρά κομμάτια και σιγά-σιγά απελευθερώνονται χημικές ουσίες στο νερό.

Περισσότερες από 20.000 πλαστικές φιάλες απαιτούνται για να ληφθεί 1 τόνος πλαστικό. Εκτιμάται ότι 100 εκατομμύρια τόνοι πλαστικών παράγονται κάθε χρόνο.

Ο μέσος Ευρωπαίος πετάει 36kg πλαστικών κάθε χρόνο. Το 4% της κατανάλωσης πετρελαίου στην Ευρώπη χρησιμοποιείται για την κατασκευή πλαστικών προϊόντων. Κάποιοι πλαστικοί σάκοι απορριμμάτων κατασκευάζονται από 64% ανακυκλώσιμο πλαστικό. Πλαστικές συσκευασίες ανέρχονται στο 42% της συνολικής κατανάλωσης και πολύ λίγο από αυτό ανακυκλώνεται.

Αν και υπάρχει επίσης μια ταχεία ανάπτυξη σε κατανάλωση πλαστικών στον αναπτυσσόμενο κόσμο, η κατά κεφαλήν κατανάλωση πλαστικών στις αναπτυσσόμενες χώρες είναι πολύ χαμηλότερη από ότι στις βιομηχανικές χώρες. Τα πλαστικά αυτά, ωστόσο, συχνά παράγονται από ακριβά εισαγόμενες πρώτες ύλες. Υπάρχει ένα πολύ ευρύτερο πεδίο εφαρμογής για την ανακύκλωση στις αναπτυσσόμενες χώρες η όποια οφείλεται σε διάφορους παράγοντες όπως:

Σχήμα 31:*5.1.2 Ανακύκλωση πλαστικών.*

- ✓ Τα εργατικά κόστη είναι χαμηλότερα.
- ✓ Η υπάρχουσα κουλτούρα της επαναχρησιμοποίησης και της ανακύκλωσης
- ✓ Ευκαιρίες για να κερδίσουν ένα μικρό εισόδημα τα μέλη πόλεων όπου το βιοτικό επίπεδο τους είναι χαμηλό.
- ✓ Το θεσμικό πλαίσιο είναι εξαιρετικά ελαστικό.
- ✓ Κόστος συλλογής και μεταφοράς χαμηλό.
- ✓ Χαμηλό κόστος των πρώτων υλών.

Γενικά στις αναπτυσσόμενες χώρες, το πεδίο εφαρμογής για την ανακύκλωση των πλαστικών αυξάνεται με συνέπεια η ποσότητα των πλαστικών που καταναλώνονται να αυξάνεται.

Δεν είναι όλα τα πλαστικά ανακυκλώσιμα. Υπάρχουν 4 τύποι πλαστικών, τα οποία συνήθως ανακυκλώνονται:

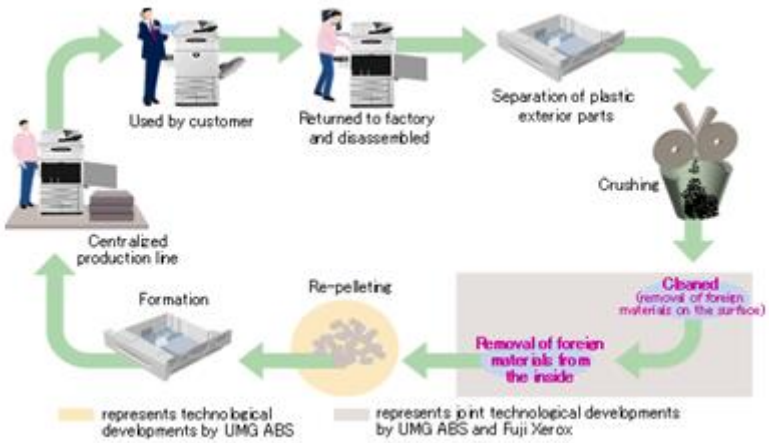
1) Πολυαιθυλένιο (PE) - υψηλής πυκνότητας και χαμηλής πυκνότητας σε πολυαιθυλένιο.
2) Πολυπροπυλένιο (PP).
3) Πολυστυρένιο (PS).
4) Χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC).

Κωδικός αναγνώρισης πλαστικού	Τύπος πλαστικού πολυμερούς	Ιδιότητες	Κοινές εφαρμογές συσκευασίας	Σημείο υάλου και θερμοκρασία τήξης	Young's Modulus (Gpa)
07	Άλλα (συχνά πολυανθρακικά ή ABS:πολυμερή ακριλονιτριλίου-βουταδιενίου-στυρενίου)	Χαρακτηριστικά εξαρτώμενα ή τον συνδυασμό των πολυμερών	Φιάλες διάφορων ποτών, μπιμπερό, περίβλημα ηλεκτρονικών συσκευών, είδη από μελαμίνη κ.α.	Πολυκαρβονικά: Tg=145 °C Tm=225 °C	Πολυκαρβονικά: 2,6 ABS: 2,1-2,4

Σχήμα 32:*5.1.3 Πίνακας στοιχείων ανακύκλωσης ABS.*

Ένα κοινό πρόβλημα με την ανακύκλωση πλαστικών είναι ότι τα πλαστικά είναι συχνά κατασκευασμένα από περισσότερα από ένα είδος του πολυμερούς ή μπορεί να υπάρχει κάποιο είδος ινών που προστίθενται στο πλαστικό (σύνθετο) για να δώσουν πρόσθετη μηχανική αντοχή.

Το πλεονέκτημα τις ανακύκλωσης είναι ότι δημιουργούνται θέσεις απασχόλησης.



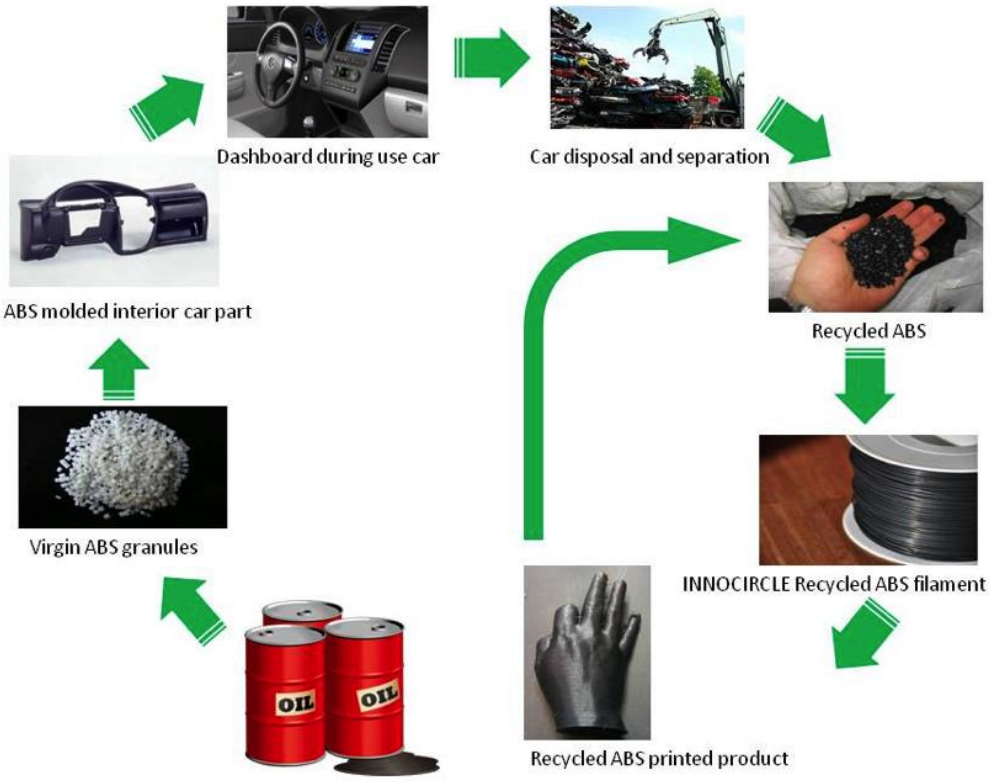
Σχήμα 33:*5.1.4 Διαγραμματική απεικόνιση ανακύκλωσης ABS.*

Η ποσότητα των πλαστικών απορριμμάτων είναι αρκετά μεγάλη. Μετά τη συλλογή τους ακολουθεί ο διαχωρισμός και η επεξεργασία τους στο εργοστάσιο για την επανένταξη τους σε διαφορετική μορφή σε ένα δεύτερο κύκλο ζωής.

Οικονομικά ορισμένες δραστηριότητες ανακύκλωσης δεν είναι κερδοφόρες. Σε γενικές γραμμές οι πιο κερδοφόρες είναι εκείνες που ασχολούνται με υλικά υψηλής αξίας.

Για παράδειγμα, η ανακύκλωση των απορριμμάτων χαρτιού υψηλής ποιότητας, όπως χαρτί υπολογιστών, είναι συνήθως πολύ πιο επικερδής και λιγότερο προβληματική από εκείνη της εφημερίδας και χαρτονιού τα οποία έχουν χαμηλή αξία. Πλαστικά υλικά λόγω προέλευσης τους από το πετρέλαιο, είναι υλικά υψηλής αξίας.

Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να ανακυκλώνονται επικερδώς, όμως ένας παράγοντας που μπορεί να επιβαρύνει το κόστος της ανακύκλωσης είναι ότι το κόστος μεταφοράς μπορεί να παίζει σημαντικό ρόλο τις περισσότερες φορές.



Σχήμα 34:*5.1.5 Διαγραμματική απεικόνιση ανακύκλωσης ABS.*

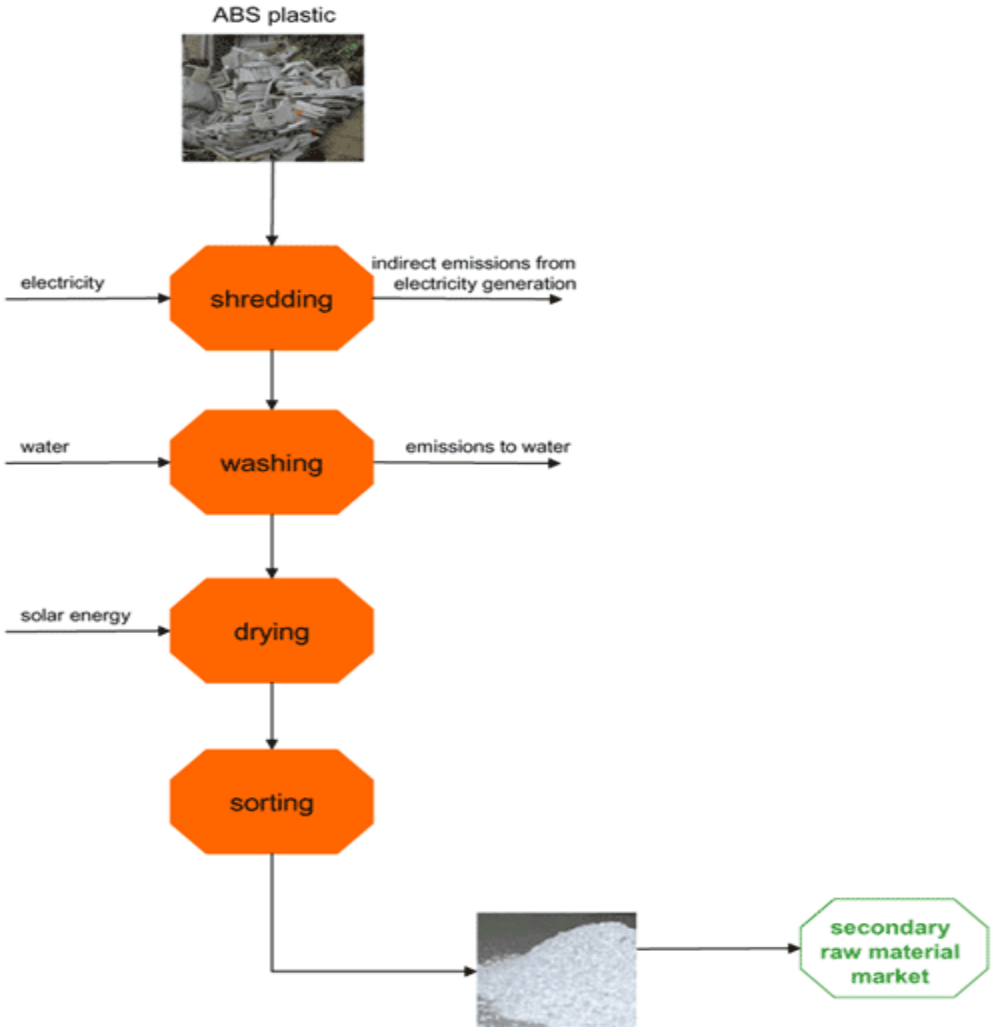
Όπως αναφέρθηκε και ποιο πάνω η ανακύκλωση στην σημερινή κοινωνία είναι συνώνυμο τις υποχρέωσης προς αυτήν. Αυτό γιατί βοηθά να εξοικονομήσουμε κυρίως πρώτες ύλες και ενέργεια.

Η κατηγορία τον πλαστικών, ABS, με τις προσμίξεις που έχει καθιστά την ανακύκλωση του ιδιαίτερα δύσκολη. Όμως λόγω του ότι η ανακύκλωση τους είναι χαμηλού κόστους κάνει την περίπτωση της ανακύκλωσης αρκετά προσιτή.

Ο τρόπος ανακύκλωσης του είναι ο εξής:

1. Κοπή του υλικού.
2. Διαχωρισμός υλικού.
3. Ανάλυση τον κομματιών.
4. Συνδυασμός καθαρού ABS με τα παραπάνω κομμάτια.
5. Τελική (καινούργια) μορφή ABS.

Στο σχήμα (5.1.6) δίνεται η διαγραμματική παράσταση της διεργασίας ανακύκλωσης υλικών ABS.



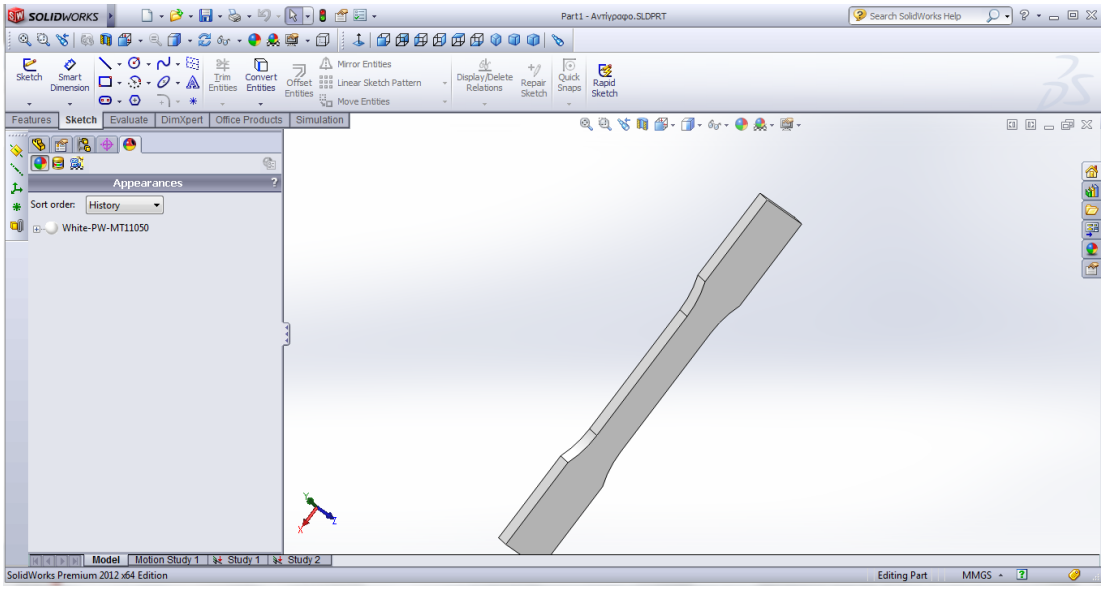
Σχήμα 35:*5.1.6 Στάδια ανακύκλωσης ABS.*

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

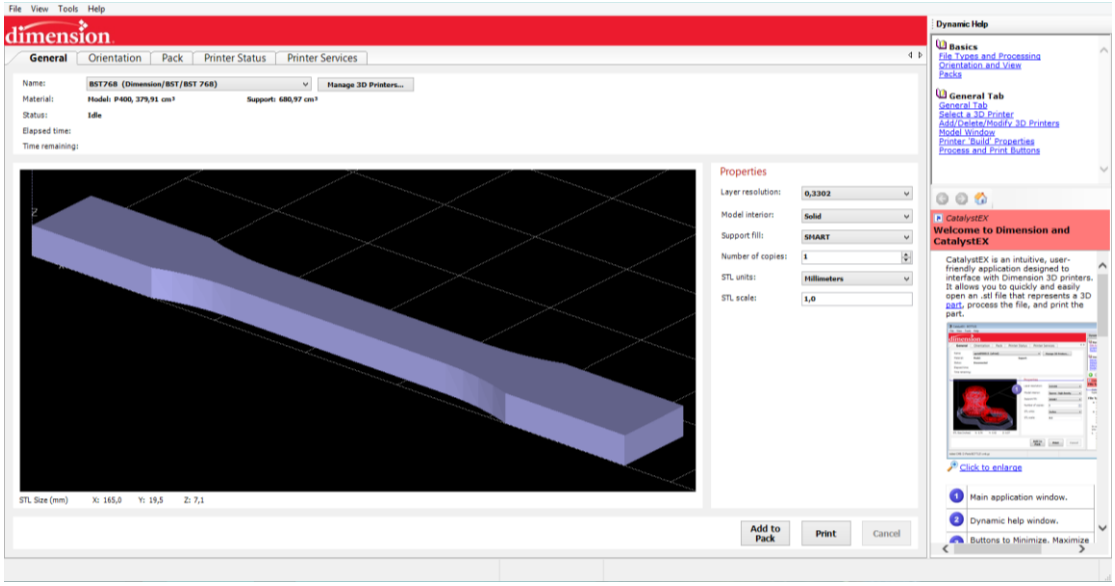
6.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Αρχικά σχεδιάστηκαν τα δοκίμια με βάση το πρότυπο **D 638 (Type I)** στο σχεδιαστικό πρόγραμμα **Solidworks**.



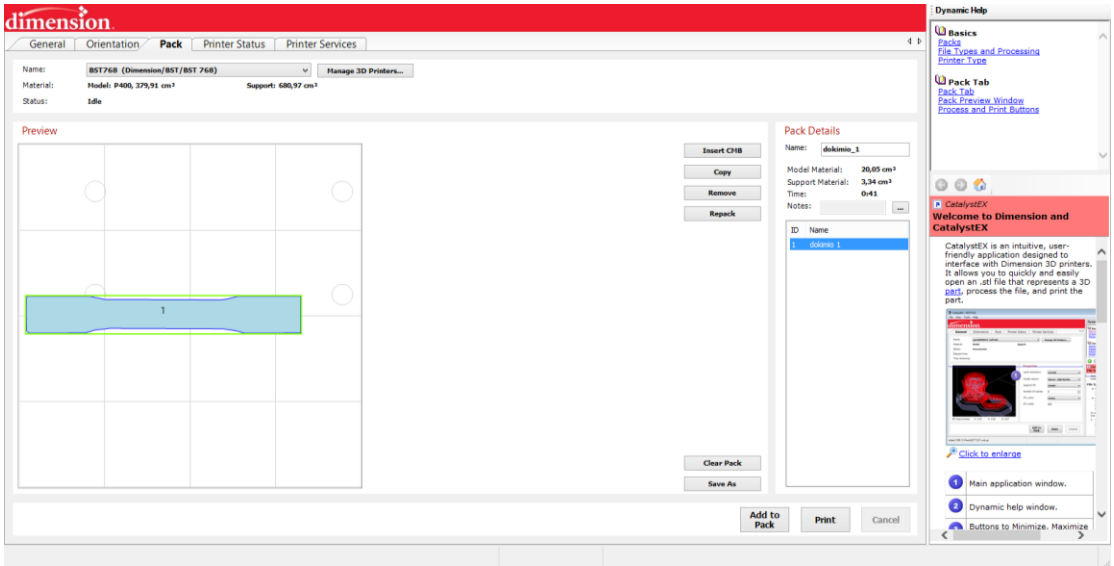
Σχήμα 36:*6.1.1 Σχεδιαστικός χώρος του προγράμματος Solidworks.*

Έπειτα μετατράπηκαν σε **STL** αρχείο το οποίο μεταφέρθηκε στο λογισμικό **Catalyst EX** για να γίνει η εκτύπωση των δοκιμίων.

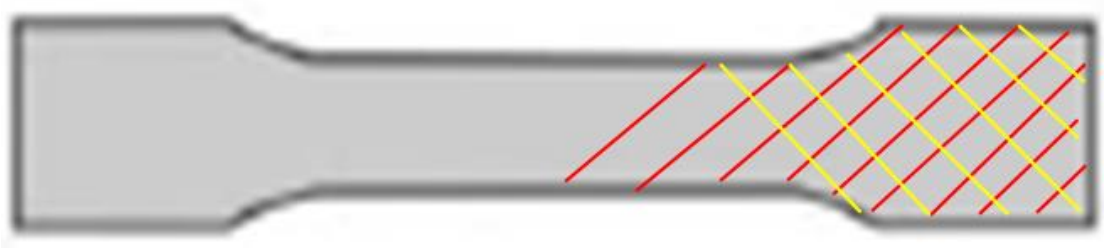


Σχήμα 37:*6.1.2 Εισαγωγή του δοκιμίου στο πρόγραμμα dimension.*

Η τοποθέτηση των δοκιμίων ως προς την πλάκα εναπόθεσης του υλικού από την κεφαλή του εκτυπωτή είναι οριζόντια και η κίνηση που κάνει η κεφαλή είναι 45° (στον άξονα χ,y) προς την πλάκα η οποία παραμένει σταθερή.



Σχήμα 38:*6.1.3 Εισαγωγή του δοκιμίου στο πρόγραμμα dimension όπου καθορίζει τον χώρο που καταλαμβάνει, αλλά και το υλικό το οποίο καταναλώνει.*



Σχήμα 39:*6.1.4 Σχηματική απεικόνιση δοκιμίου με βάση τον προσανατολισμό της μακροσκοπικής δομής του.*

Για την ποιο εύκολη κατανόηση όσο αναφορά την κατασκευή τους παρατίθεται το σχήμα (6.1.4) όπου η δόμηση του γίνεται από κάτω προς τα πάνω μέχρι να φτάσει στο πάχος το οποίο έχει καθοριστεί. Οι γραμμές που φαίνονται μας δείχνουν το πώς κτίζεται το δοκίμιο. Αρχικά δημιουργείται μια στρώση με προσανατολισμό απόθεσης 45° ως προς τη διεύθυνση εφελκυσμού (κόκκινες γραμμές) και αφού ολοκληρωθεί αυτή η στρώση υλικού τοποθετείται η άλλη στρώση με ανάλογο προσανατολισμό (κίτρινες γραμμές). Η αλληλουχία αυτή απόθεσης στρώσεων του υλικού συνεχίζεται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο μέχρι να ολοκληρωθεί η εκτύπωση του δοκιμίου με πάχος το οποίο έχει προκαθοριστεί. Το πάχος τον γραμμών απόθεσης του υλικού καθορίζεται από τους εκτυπωτές (Layer Resolution).

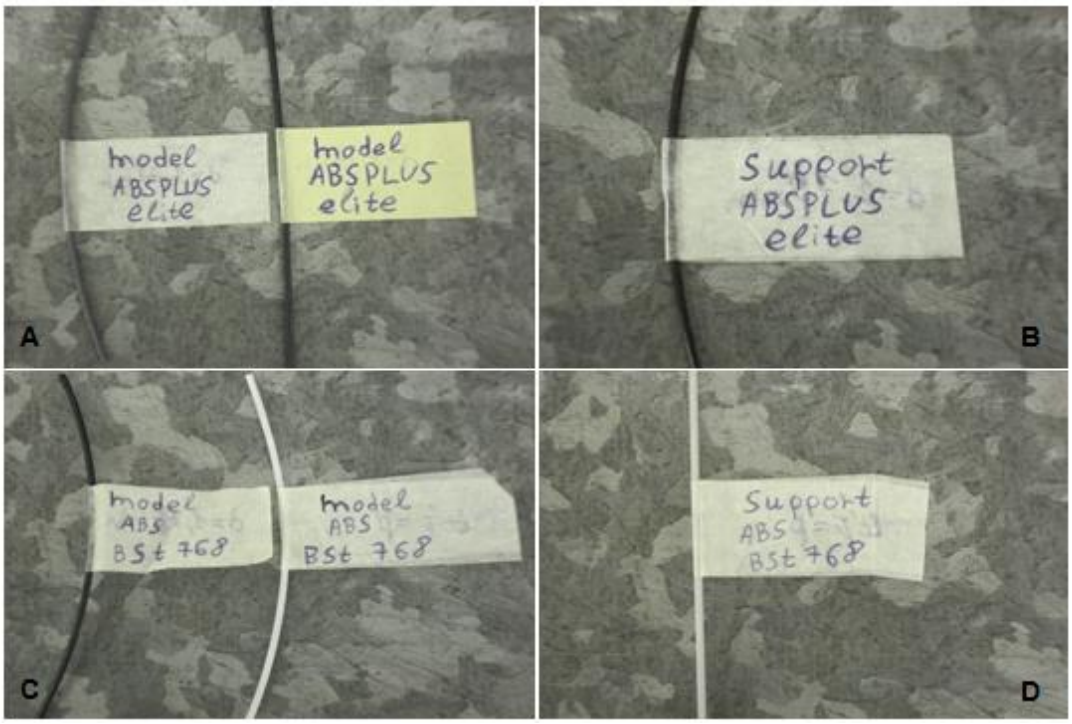
6.2 ΥΛΙΚΑ

Τα υλικά που καταναλώθηκαν είναι 15 πλάκες εκτύπωσης και το υλικό εναπόθεσης που βρίσκεται πάνω είναι Model & Support το οποίο βρίσκεται σε κασέτες.

Το Support είναι η βάση όπου εναποτίθεται το Model για την υλοποίηση του κάθε δοκιμίου. Η κάθε μια περιέχει ποσότητα υλικού που αντιστοιχεί σε 922 cm^3.

Σχήμα 40:*6.2.1 (A) Βλέπουμε την συσκευασία η οποία περιβάλει την κασέτα, (B) μια πλευρά τις κασέτας από την οποία πρέπει να αφαιρεθεί το κόκκινο πλαστικό το οποίο είναι η ασφάλεια πριν τοποθετηθεί στον εκτυπωτή, (C, D) κασέτες με support & mode.*

Επάνω στις κασέτες υπάρχουν οι αντίστοιχοι κωδικοί για τα δυο υλικά για το ABS p400 & για το ABSPLUS p430. Όσο αναφορά το χρώμα του υλικού ποικίλει και είναι τα εξής: Μαύρο, Λευκό, Κόκκινο, Μπλε, Κίτρινο, Πράσινο, Καφέ, Πορτοκαλί, Ασημί, Ροζ, Μωβ, Διαφανές, Γκρι και όχι μόνο.



Σχήμα 41:*6.2.2 (A, B) Support & Model για elite, αντίστοιχα στις (C, D) support & model για BST 768.*

Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν σε σχέση με το χρωματισμό που διατίθενται στο εμπόριο είναι καφέ (D=1,78 mm) support για την elite και αντίστοιχα ασημί (D=1,77mm) για την bst 768. Το model για την elite γκρι (D=1,78 mm) και μαύρο (D=1,78 mm) αντίστοιχα για την bst 768 λευκό (D=1,77mm) και μαύρο (D=1,77 mm).

Υλικά δοκιμίων	ABS 0,25	ABS 0,33	ABS PLUS 0,17	ABS PLUS 0,25	Σύνολο	-	Υλικό που χρησιμοποιήθηκε	-
Model	407,19	414,12	406,91	404,25	1632,47	cm^3	177,0574837	%
Support	60,48	69,09	56,7	63	249,27	cm^3	27,03579176	%

Σχήμα 42:6.2.3 Πίνακας καταγραφής του υλικού το οποίο καταναλώθηκε.

6.3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΚΕΥΩΝ

Πριν αναφερθούμε στις συσκευές εκτύπωσης που χρησιμοποιήθηκαν θα είναι ποιό κατανοητό να μιλήσουμε για τις αρχές που λειτουργούν οι συσκευές αυτές και είναι οι εξής:

Η κατασκευή των αντικειμένων γίνεται με εναπόθεση υλικού (Μέθοδος ταχείας προτυποποίησης) δηλαδή το αντικείμενο δημιουργείται με αλλεπάλληλες στρώσεις εναπόθεσης υλικού από κάτω μέχρι το πάνω μέρος που απαιτείται για την ολοκλήρωση του αντικειμένου.

Ακόμη έχει ένα πολύ σημαντικό προτέρημα ότι δεν έχει κανέναν περιορισμό στην μορφή και στην γεωμετρία ως προς την υλοποίηση αντικείμενων και ακόμη να είναι αίτημα για χρήση μετά το πέρας της εκτύπωσης.

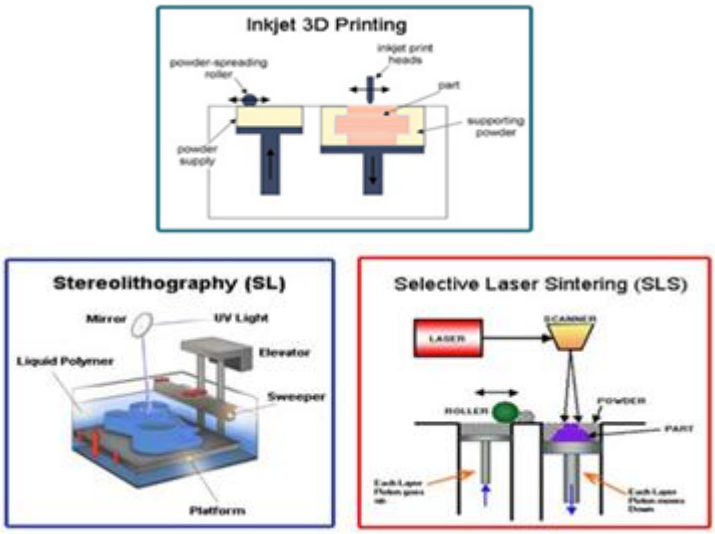
Επίσης έχει την ικανότητα να εκτυπώνει σύνθετα αντικείμενα, δηλαδή αντικείμενα τα οποία αποτελούνται από άλλα μικρότερα ή μεγαλύτερα αντικείμενα πολλή γρήγορα και να είναι λειτουργικά μεταξύ τους.

Όσο αναφορά στους τομείς που έχει εφαρμογή είναι αρκετοί και είναι οι εξής:

- Στην εκπαίδευση για την παρουσίαση μηχανισμών.
- Στην ιατρική για τον σχεδιασμό μοντέλων προεγχειρητικού σχεδιασμού.
- Στην αρχαιολογία για αντίγραφα αρχαιοτήτων για εμπορική χρήση ή μελέτη.
- Στην αρχιτεκτονική για την χρήση εκτύπωσης μακέτας.
- Στην ψυχαγωγία για την χρήση εκτύπωσης παιχνιδιών, μοντελισμός, φιγούρες, χαρακτήρες.
- Ανάγλυφα χαρτών.
- Στη μηχανολογία για μοντέλα παρουσίασης, Έλεγχο λειτουργικότητας.
- Για τέχνη-κοσμήματα δηλαδή καλούπια κοσμημάτων, πρωτότυπα μοντέλα σε πλαστικό, γλυπτά.
- Στο βιομηχανικό σχεδιασμό για πρωτότυπα, αντικείμενα καταναλωτικών αναγκών, έπιπλα.
- Στην οδοντιατρική για προχειρουργικούς νάρθηκες τοποθέτησης εμφυτευμάτων, συσκευές συγκράτησης για ορθοδοντική χρήση.

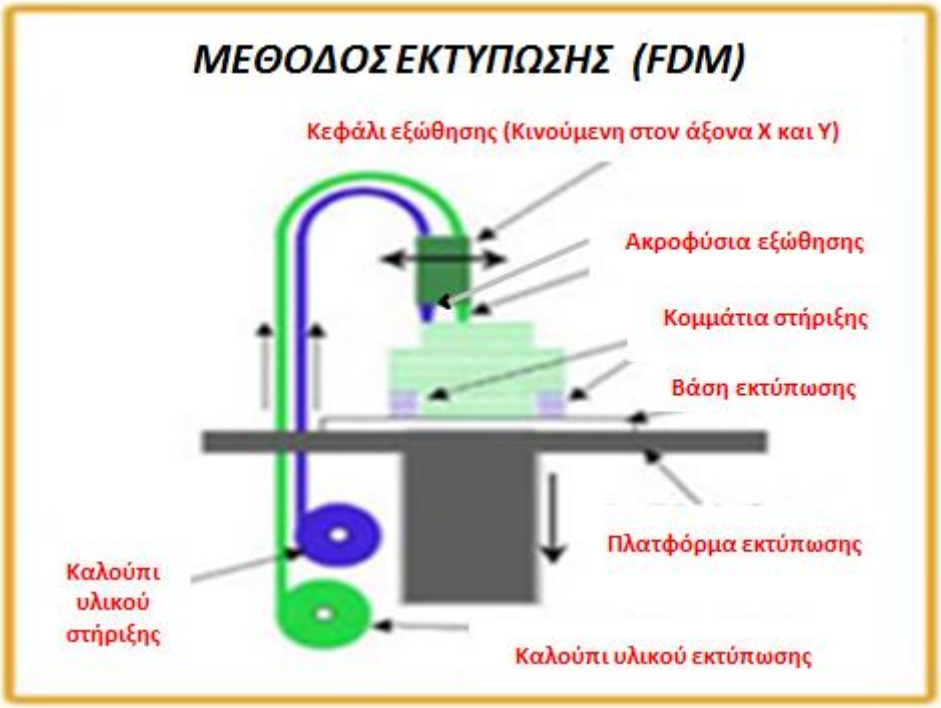
Η Μέθοδοι 3D εκτύπωσης (Τρισδιάστατης εκτύπωσης) είναι :

1) Inkjet 3D Printing.
2) Fused Deposition Modeling (FDM).
3) Stereolithography (SL).
4) Celective Laser Sintering (SLS).



Σχήμα 43:*6.3.1 Μεθόδοι τρισδιάστατης εκτύπωσης.*

Όσο αναφορά την μέθοδο με την οποία λειτουργούν οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν είναι η **FDM** (σχήμα 6.3.2) στην οποία καθώς εισέρχεται το υλικό στήριξης και το υλικό εναπόθεσης στην κεφαλή και τα ακροφύσια στην κατάλληλη θερμοκρασία τότε γίνεται η εναπόθεση στην βάση εκτύπωσης.



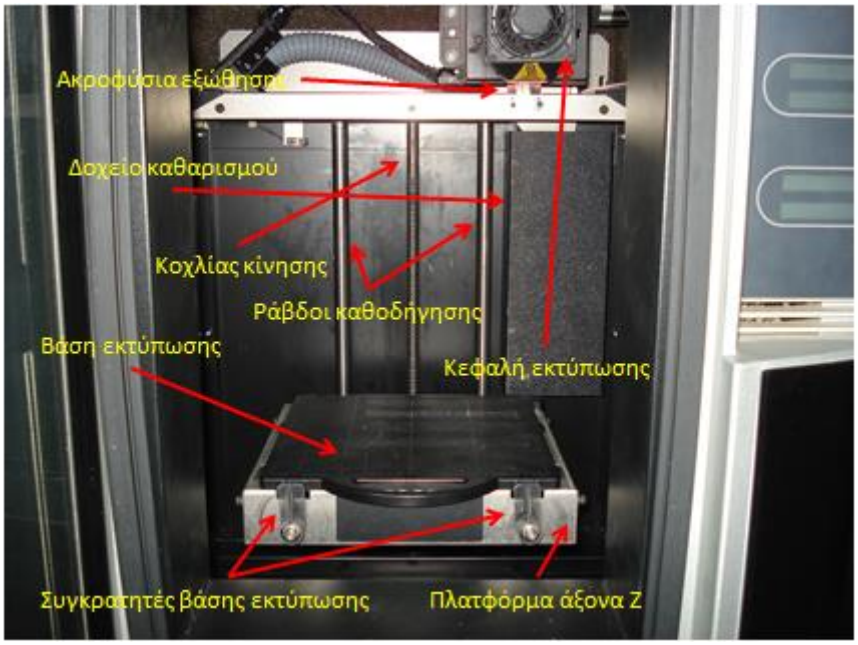
Σχήμα 44:*6.3.2 Διαγραμματική απεικόνιση μεθόδου **FDM**.*

Οι συσκευές όπου εκτυπώθηκαν τα δοκίμιο είναι δυο η μια είναι Dimension elite p07813 (ABSPLUS) και αντίστοιχα η δεύτερη είναι η Dimension BST 768 (ABS).

Σχήμα 45:*6.3.3 (A) Αριστερά elite & δεξιά bst768 και (B) οι υποδοχές που τοποθετούνται support & mode.*

Product Specifications (elite)	
Model material:	**Network connectivity:**
ABSplus in ivory, white, black, red,	Ethernet TCP/IP 10/100Base-T
olive green, nectarine, fluorescent	**Size and weight:**
yellow, blue or gray	686 x 914 x 1041 mm (27 x 36 x 41 in)
Support material:	136kg (300 lbs)
Soluble Support Technology (SST)	**Power requirements:**
Build size:	110–120 VAC, 60 Hz, minimum 15A
203 x 203 x 305 mm (8 x 8 x 12 in)	dedicated circuit; or 220–240 VAC
Layer thickness:	50/60 Hz, minimum 7A dedicated circuit
.178 mm (.007 in) or .254 mm (.010 in)	**Regulatory compliance:** CE/ETL
of precisely deposited ABSplus model	**Special facility requirements:** None
and support material	
Workstation compatibility:	
Windows Vista®	

Σχήμα 46:6.3.4 Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών elite.



Σχήμα 47:*6.3.5 Θάλαμος εκτύπωσης (εσωτερικά).*

Product Specifications (bst768)
Network Connectivity
TCP/IP 100/10 base T
Workstation Compatibility
Windows XP
Windows Vista
Build Size
Maximum size 203 x 203 x 305mm (8 x 8 x 12in)
Materilas
ABS plastic in standard white, blue, yellow, black, red, green or steel gray colors. Custom colors can be used.
Support Structures and Removal
Catalyst EX software automatically creates any needed support.
Two support removal processes.
Breakaway Support Technology - simply break away the part.
Material Cartridges
One autoload cartridge with 922 cu. cm. (56.3 cu. in.) ABS material.
One autoload cartridge with 922 cu. cm. (56.3 cu. in.) support material.
Layer Thickness
.010in or .013in of precisely deposited ABS and support material.
Size and Power Requirements
Size: 27 x 36 x 41in.
Weight: 300lbs.

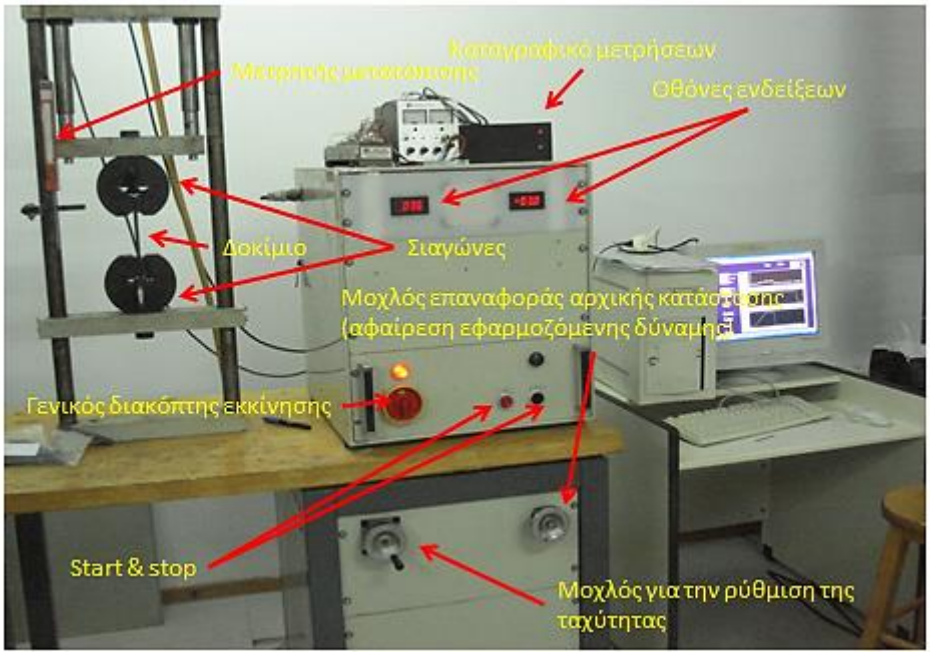
Power:
110-120 VAC, 60 Hz minimum.
15A dedicated cidcuit or 220-240 VAC. 50/60Hz, minimum 7A dedicated circuit.
Regulatory Compliance: CE/ETL
Special Facility Requirements: None

Σχήμα 48:*6.3.6 Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών bst768.*

Μηχανή εφελκυσμού: Ορίζεται η διάταξη η οποία μπορεί να εφαρμόσει δυνάμεις εφελκυσμού σε ένα δοκίμιο. Η ταχύτητα εφαρμογής της δύναμης (φορτίο) μπορεί να ρυθμίζεται με κατάλληλο χειρισμό της μηχανής.

Οι μηχανές εφελκυσμού ανάλογα με την αρχή λειτουργίας τους διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

1) Ηλεκτρομηχανικές.
2) Σερβουδραυλικές.



Σχήμα 49:6.3.7 Συσκευή εφελκυσμού όπου πραγματοποιήθηκε το πείραμα.

Άξιο αναφοράς για τη συνέχεια της πτυχιακής και την υλοποίηση της είναι οι παρακάτω τύποι που θα αναφερθούν καθώς και το διάγραμμα «τάσης-παραμόρφωσης» (σ-ε) πριν την περιγραφή του πειράματος ώστε να γίνει η τεκμηρίωση τον αποτελεσμάτων υπό σωστές βάσεις.

Εφελκυσμός: Είναι η εφαρμογή δυνάμεων στα δυο άκρα του δοκιμίου οι οποίες είναι ίσες και αντίθετης κατεύθυνσης μεταξύ τους.

σ (Αντοχή εφελκυσμού)	$\sigma = \frac{F}{A}\left[\frac{Nt}{m^2}\right]$	**σθρ.** (Τάση Θραύσης)	$\sigma\theta\rho. = \frac{F\theta\rho.}{A}\left[\frac{Nt}{m^2}\right]$
ε (Ειδική επιμήκυνση)	$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}\left[\frac{m}{m}\right]$	**σμεγ** (Όριο Θραύσης)	$\sigma\mu\varepsilon\gamma. = \frac{F\mu\varepsilon\gamma.}{A}\left[\frac{Nt}{m^2}\right]$
Ε (Μέτρο Ελαστικότητας)	$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}[Nt/m^2]$		

Σχήμα 50:6.3.8 *Τυπολόγιο το οποίο χρησιμοποιήθηκε.*

Τάση (Stress): Είναι το πηλίκο της δύναμης που ασκείται κάθετα στη διατομή του δοκιμίου προς την επιφάνεια της διατομής του δοκιμίου.

Παραμόρφωση (Strain): Είναι το πηλίκο της επιμήκυνσης προς το αρχικό του μήκος.

Μετρό ελαστικότητας (Modulus of elasticity) : Είναι το πηλίκο της Τάσης προς την παραμόρφωση στην ελαστική περιοχή του δοκιμίου και αντιστοιχεί ποιο αντιπροσωπευτικά στην κλίση του ευθύγραμμου τμήματος του διαγράμματος «σ-ε»

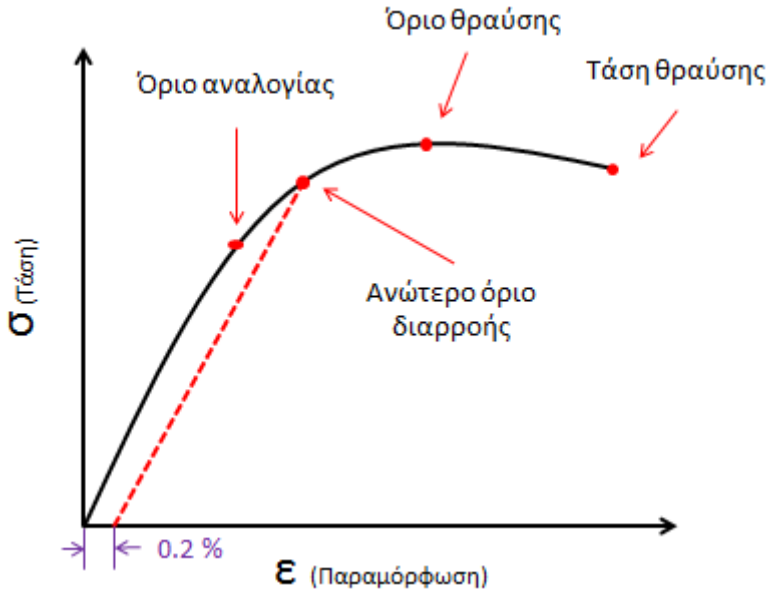
Αντοχή διαρροής (ή παραμόρφωσης) (Yield strength): Είναι η Τάση πέραν της οποίας το υλικό εισέρχεται στην πλαστική περιοχή δηλαδή είναι η μεγίστη τάση που αντέχει το υλικό πριν την έναρξη της πλαστικής (μόνιμης) του παραμόρφωσης.

Ανοχή εφελκυσμού (Tensile Strength): Η μέγιστη τάση στην όποια αντέχει το υλικό πριν την θραύση του. Αντιστοιχεί στο υψηλότερο σημείο της καμπύλης «σ-ε»

Τάση θραύσης: Είναι το πηλίκο της δύναμης όπου το δοκίμιο θραύεται προς την αρχική επιφάνεια της διατομής του δοκιμίου.

Όριο θραύσης: Είναι το σημείο της καμπύλης «σ-ε» το οποίο αντιστοιχεί στην αντοχή εφελκυσμού.

Όριο Διαρροής: Είναι το σημείο της καμπύλης «σ-ε» το οποίο αντιστοιχεί στην αντοχή διαρροής.

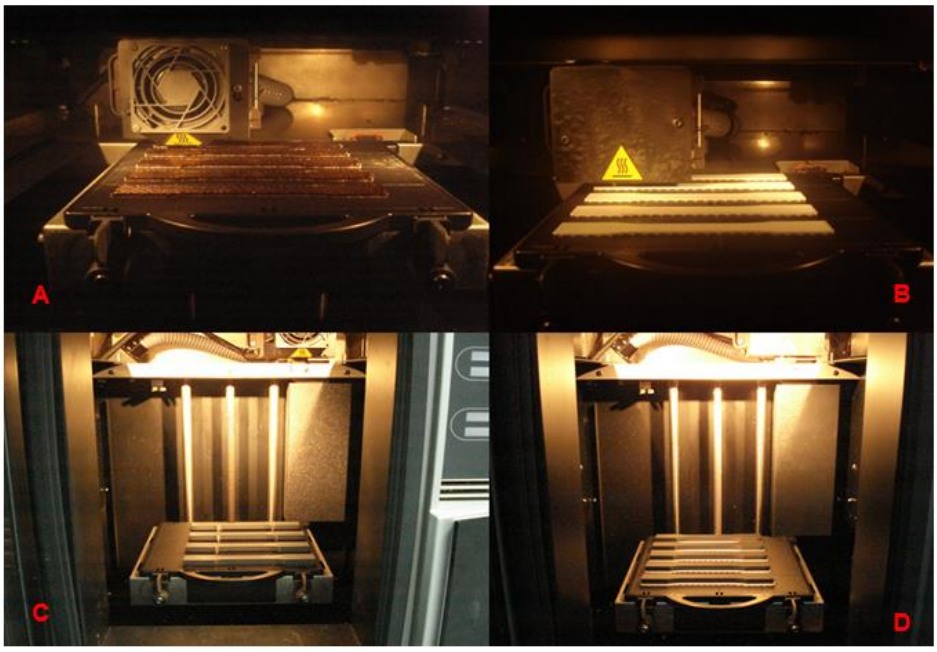


Σχήμα 51:6.3.9 *Διαγραμματική παράσταση σ-ε.*

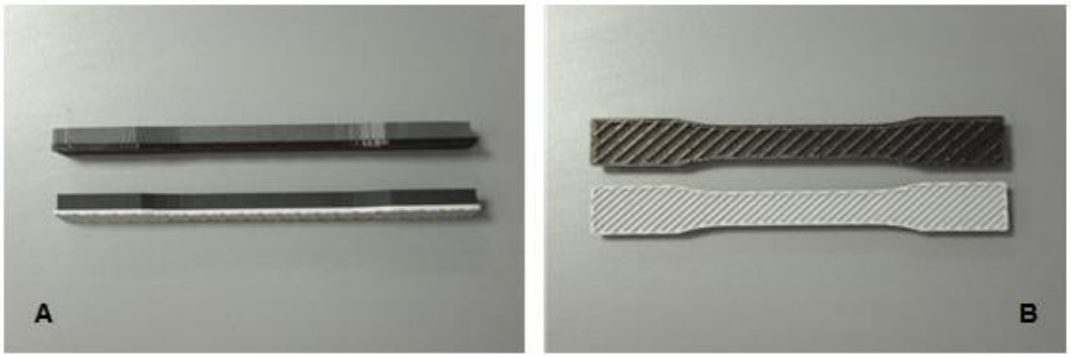
6.4 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στις κεφαλές των δυο εκτυπωτών για να αρχίσουν να εναποθέτουν υλικό είναι BST 270 °C και στην elite 280 °C.

Έπειτα γίνεται η εκτύπωση των δοκιμίων τοποθετώντας την πλάκα στον θάλαμο του εκτυπωτή.

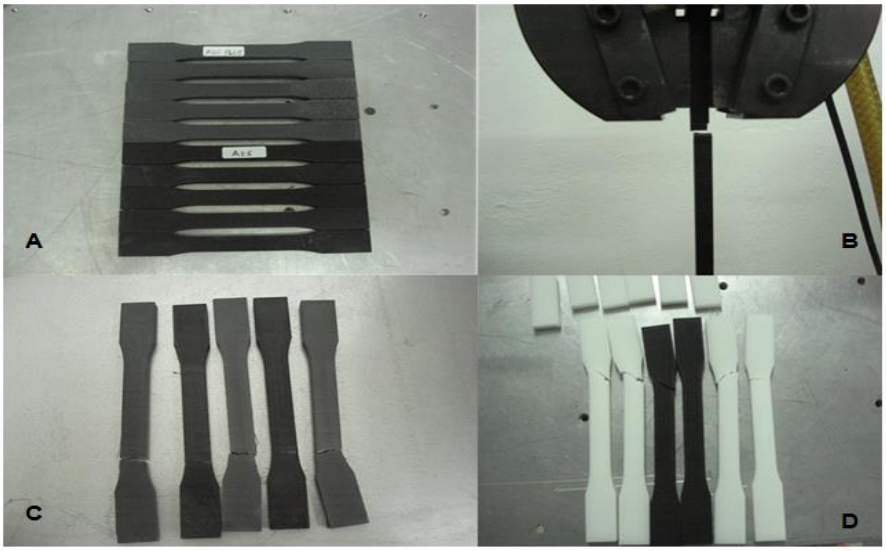


Σχήμα 52:*6.4.1 (A, C) Αρχή και τέλος εκτύπωσης για elite και (B, D) αρχή και τέλος εκτύπωσης για bst768.*



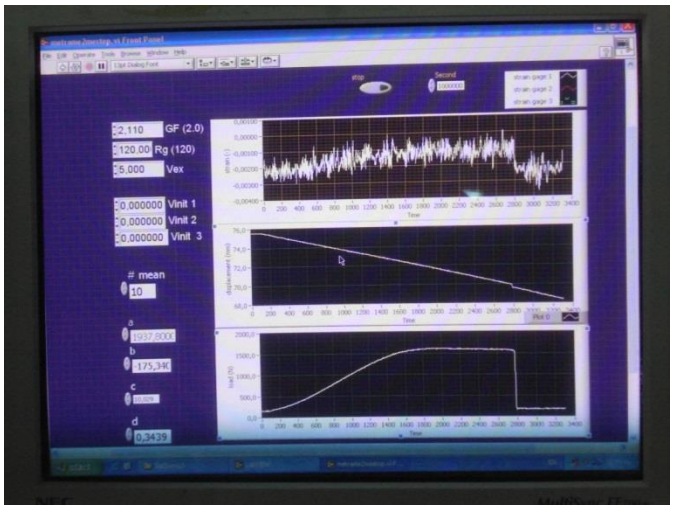
Σχήμα 53:6.4.2 (A) Δοκίμια ABS (μαύρο) & ABSPLUS (γκρι) και (B) το αντίστοιχο support για το κάθε δοκίμιο.

Μετά την εκτύπωση και ετοιμασία όλων των δοκιμίων, ακολουθεί η δοκιμασία εφελκυσμού στην μηχανή που περιγράφηκε παραπάνω.



Σχήμα 54:*6.4.3 (A) Δοκίμια abs & absplus, (B) Δοκίμιο κατά την ολοκλήρωση του πειράματος πριν αποσυνδεθεί από την μηχανή εφελκυσμού, (C) Δοκίμια absplus, (D) Δοκίμια abs.*

Οι αισθητήρες μέτρησης της μηχανής εφελκυσμού: Load cell και extensometer συνδέονται με κατάλληλη κάρτα σε ηλεκτρονικό υπολογιστή για τη μεταφορά των δεδομένων μέτρησης που είναι το φορτίο και η μεταβολή του μήκους. Στον υπολογιστή είναι εγκατεστημένο το πρόγραμμα **LabVew** για την καταγραφή των δεδομένων. Μετά το τέλος κάθε πειράματος παίρνουμε στην οθόνη του υπολογιστή τα εξής τρία διαγράμματα τα όποια δίνει το πρόγραμμα **LabVew**.

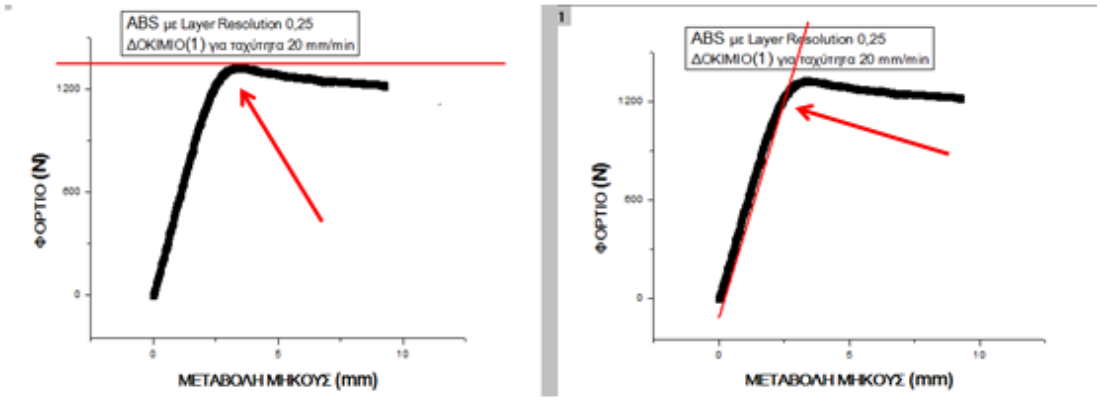


Σχήμα 55:6.4.4 Πειραματικά αποτελέσματα σε μορφή γραφημάτων.

Η πρώτη γραφική παράσταση είναι το φορτίο ως προς χρόνο η δεύτερη είναι μεταβολή μήκους του δοκιμίου προς χρόνο και τέλος η τρίτη γραφική παράσταση που είναι φορτίο προς τον χρόνο.

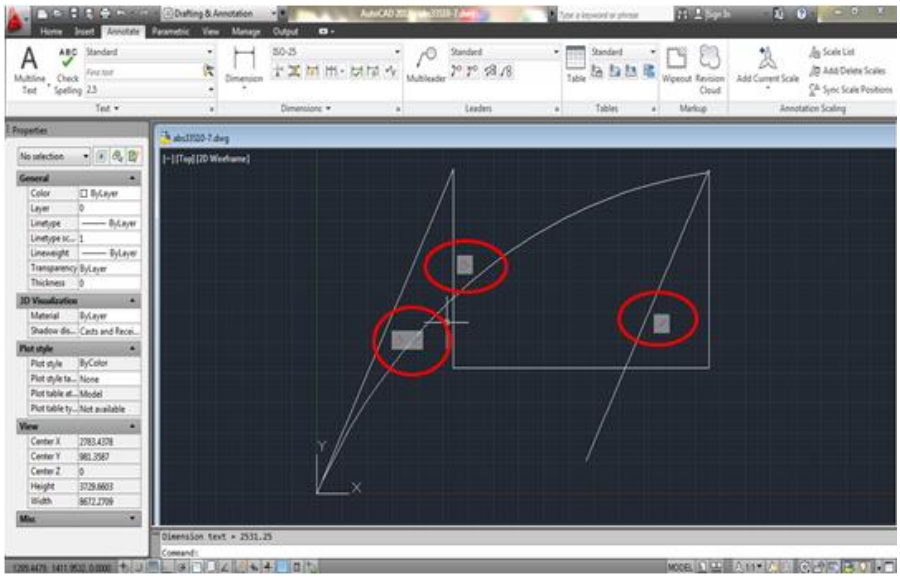
Οι μετρήσεις καταγράφονται με τη μορφή αρχείων **txt** τα όποια για διευκόλυνση μεταφέρονται πρώτα στο **Excel** όπου γίνεται κατάλληλη επεξεργασία τον δεδομένων. Στη συνέχεια οι τιμές φορτίο ως προς την μεταβολή του μήκους του δοκιμίου μεταφέρονται για κάθε δοκίμιο στο πρόγραμμα **OriginPro8** για την τελική επεξεργασία τον δεδομένων και την δημιουργία τον απαιτούμενων διαγραμμάτων.

Στο σχήμα (6.3.5) δίνεται τυπικό διάγραμμα «Φορτίου(N)-Μεταβολή μήκους (mm)» για ένα δοκίμιο και δείχνεται ο τρόπος υπολογισμού του φορτίου διαρροής και μέγιστου φορτίου εφελκυσμού.



Σχήμα 56:*6.4.5 Επεξεργασία πειραματικών δεδομένων στο OriginPro 8 .*

Τα βέλη τα οποία έχουν σχηματιστεί μας δείχνουν το όριο διαρροής (Με βάση τις τιμές μέχρι αυτό το σημείο γίνεται ο υπολογισμός της κλίσης του ευθύγραμμου κομματιού της καμπύλης) και το όριο θραύσης με την βοήθεια της γραμμής που σχεδιάστηκε για την εύρεση των αντιστοίχων αριθμών που χρησιμοποιούνται στους τύπους.



Σχήμα 57:*6.4.6 Επεξεργασία πειραματικών δεδομένων στο AutoCAD.*

Το **ΔΙ** βρίσκεται με το σχεδιαστικό πρόγραμμα **AutoCAD** με τη βοήθεια των ευθύγραμμων γραμμών όπου η μία είναι εφαπτόμενη από την αρχή τον αξόνων (0,0) προς την καμπύλη και η άλλη γραμμή παράλληλη προς αυτήν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

7.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Επιδίωξη της εργασίας μου ήταν να μελετήσω την αντοχή σε δοκιμασία εφελκυσμού δοκίμια από τα υλικά ABS και ABSPLUS τα οποία κατασκευάστηκαν στο εργαστήριο Ρομποτικής - Μηχατρονικής με τη μέθοδο η οποία περιγράφεται στο κεφάλαιο 6 της πτυχιακής.

Τα δοκίμια κατασκευάστηκαν συμφώνα με το πρότυπο **ASTM D 638 (Type I)**. Οι διαστάσεις του δοκιμίου απεικονίζονται στο παράρτημα ΙΙ (Σχήμα 1). Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό η προτεινόμενη ταχύτητα εφαρμογής του φορτίου εφελκυσμού δηλαδή της τάσης εφελκυσμού είναι 5 mm/min. Για να μελετήσουμε την επίδραση της ταχύτητας αυτής στις μηχανικές ιδιότητες των υλικών ABS και ABSPLUS που μελετήσαμε επιλέξαμε επί πλέον δυο ταχύτητες.

Οι ταχύτητες αυτές ήταν 10 mm/min και 20 mm/min. Η ταχύτητα εφαρμογής της τάσης εφελκυσμού καθορίζει τη **Ταχύτητα Παραμόρφωσης (Strain Rate).** Στη βιβλιογραφία για της αντίστοιχες μελέτες χρησιμοποιείται η ταχύτητα παραμόρφωσης η οποία υπολογίζεται ως ο λόγος της ταχύτητας εφελκυσμού προς το μήκος του δοκιμίου.

Στην περίπτωση της πτυχιακής αυτής το μήκος του δοκιμίου ήταν 57 mm και συνεπώς οι ταχύτητες παραμόρφωσης που εφαρμόστηκαν είναι:

1) 0,088 min^-1 (Για ταχύτητα εφελκυσμού 5 mm/min)
2) 0,175 min^-1 (Για ταχύτητα εφελκυσμού 10 mm/min)
3) 0,351 min^-1 (Για ταχύτητα εφελκυσμού 20 mm/min)

Οι δοκιμασίες εφελκυσμού έγιναν στην μηχανή εφελκυσμού του εργαστηρίου τεχνολογίας υλικών. Η συσκευή εφελκυσμού αποτελείται από ένα υδραυλικό σύστημα της εταιρείας Schenck Trebel. Για την μέτρηση του φορτίου χρησιμοποιεί load cell (Τύπου GLG-2B) δυνατότητας 2t, με ευαισθησία ±1kp, ακρίβεια ±0,5% και αισθητήρας μήκους (Τύπου SDP-100C) δυνατότητας 100mm, με ακρίβεια ±0,01 mm και μη γραμμικότητα 0,2%RO.

Οι τιμές του φορτίου σε Newton και της επιμήκυνσης σε χιλιοστά (mm) του μέτρου καταγράφονται σε υπολογιστή με τη μορφή αρχείου txt με το πρόγραμμα LabVew.

Τα δεδομένα της κάθε δοκιμασίας εφελκυσμού με τη χρήση του προγράμματος origin απεικονίζονται σε διάγραμμα F(Φορτίο σε N) vs, Δl(mm, Μεταβολή μήκους του δοκιμίου λόγω επιμήκυνσης).

Για κάθε ταχύτητα παραμόρφωσης χρησιμοποιήθηκαν 7 δοκίμια για να εξασφαλιστεί ή επαναληψιμότητα των αποτελεσμάτων. Τα διαγράμματα F,Vs, Δl που παρήχθησαν φαίνονται στο παράρτημα III της πτυχιακής.

Από κάθε διάγραμμα σύμφωνα με τη μεθοδολογία του σχήματος και της επεξήγησης υπολογιστήκαν τα εξής μεγέθη:

a) Η κλίση (F/Δl)(N/mm) από το ευθύγραμμο τμήμα του διαγράμματος φορτίο-επιμήκυνσης. Σε όλες της περιπτώσεις ο συντελεστής συσχέτισης της ευθείας γραμμής ήταν >0,998.

   Από την κλήση υπολογιζόταν στη συνέχεια το μέτρο ελαστικότητας (Modulus of elasticity) του υλικού σε GPa ως εξής:

$$\boldsymbol{\sigma = E * \varepsilon} \quad => \left(\frac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{Ao}}\right) = \boldsymbol{E}\left(\frac{\boldsymbol{\Delta l}}{\boldsymbol{lo}}\right) => E = \left(\frac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{\Delta l}}\right)\left(\frac{\boldsymbol{lo}}{\boldsymbol{Ao}}\right)$$

   όπου:

   E= Μέτρο ελαστικότητας (Modulus of elasticity).

   σ= Τάση εφελκυσμού.

   ε= Παραμόρφωση.

   Δl= Μεταβολή μήκους δοκιμίου.

   l_o= Αρχικό μήκος δοκιμίου.

   A_o= Αρχικοί διατομή δοκιμίου.

   (F/Δl)= Κλίση.

b) Το φορτίο **Fy (N)** το οποίο αντιστοιχεί στο φορτίο αντοχής διαρροής. Το φορτίο **Fy** διαιρούμενο με την επιφάνεια διατομής μας δίνει την **σ_y (MPa),** (Αντοχή διαρροής του δοκιμίου).

c) Το μέγιστο φορτίο αντοχής **F_{TS} (N)** πριν από τη θραύση του δοκιμίου το οποίο αντιστοιχεί στο φορτίο αντοχής εφελκυσμού του δοκιμίου, το οποίο διαιρούμενο με την επιφάνεια διατομής μας δίνει την αντοχή εφελκυσμού **σ_{TS} (MPa).**

d) Το φορτίο **F_θ (N)** στο οποίο συμβαίνει η θραύση του δοκιμίου το οποίο διαιρούμενο με την επιφάνεια διατομής μας δίνει την αντοχή **σ_θ (MPa)** στο σημείο θραύσης.

Στους πινάκες 1 έως 4 που ακολουθούν παρουσιάζονται τα συγκεντρωτικά αποτελέσματα της αρχικής επεξεργασίας των δεδομένων των διαγραμμάτων, του παραρτήματος (ΙΙΙ) για καθεμία από τις τέσσερεις κατηγορίες δοκιμίων που υποβλήθηκαν στη δοκιμασία εφελκυσμού σε τρεις διαφορετικές ταχύτητες παραμόρφωσης. Παρουσιάζονται επίσης τα παράγωγα μεγέθη σύμφωνα με τα αναφερθέντα στην παράγραφο αυτή.

		ΠΙΝΑΚΑΣ	1						
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ABS 0,25									
Ταχύτητα Εφελκυσμού(Tensile rate) :5mm/min									
Ταχύτητα παραμόρφωσης (Strain Rate):0,088min ^-1									
		Δοκίμιο 1	Δοκίμιο 2	Δοκίμιο 3	Δοκίμιο 4	Δοκίμιο 5	Δοκίμιο 6	Δοκίμιο 7	ΜΟ
Κλίση (Slope)	< N/mm>	475,66989	512,32	486,2173	492,717	479,5928	531,3*	510,199	**489**
Φορτίο διαρροής (Yielding load)	< N>	1023	925	980	923	1008	1043*	859	**939**
Φορτίο αντοχής εφελκυσμού (Tensile Load)	< N>	1251,558	1219,47	1381*	1172,57	1256,99	1238,72	1226,38	**1227**
Φορτίο Θραύσης (Fracture Load)	<N>	1193,794	1148,37	1317*	1114,8	1209,594	1137,02	1148,87	**1158**
Διαστάσεις δοκιμίων σύμφωνα με το ASTM		Μήκος(mm)	57	Πλάτος(mm)	7,23	Πάχος (mm)	12,93		
Μέτρο Ελαστικότητας (Elastic modulus)	GPa	**0,3**							
Αντοχή Διαρροής(Yield Strength)	M Pa	**10,0**							
Αντοχή εφελκυσμού(Tensile Strength)	MPa	**13,1**							
Αντοχή Θραύσης(Fracture Strength)	MPa	**12,4**							
Ταχύτητα Εφελκυσμού(Tensile rate) :10mm/min									
Ταχύτητα παραμόρφωσης (Strain Rate):0,175min ^-1									
		Δοκίμιο 1	Δοκίμιο 2	Δοκίμιο 3	Δοκίμιο 4	Δοκίμιο 5	Δοκίμιο 6	Δοκίμιο 7	ΜΟ
Κλίση (Slope)	< N/mm>	499,6	484*	538	442*	510,2	512,2	519,2	**516**
Φορτίο διαρροής (Yielding load)	< N>	1009	1178	1226	722*	1054	1188	1170	**1138**
Φορτίο αντοχής εφελκυσμού (Tensile Load)	< N>	1138	1262	1324	810*	1207	1310	1344	**1290**
Φορτίο Θραύσης (Fracture Load)	<N>	1071,354	1160,72	1221,442	734*	1104,433	1231,81	1270,32	**1198**
Διαστάσεις δοκιμίων σύμφωνα με το ASTM		Μήκος(mm)	57	Πλάτος(mm)	7,23	Πάχος (mm)	12,93		
Μέτρο Ελαστικότητας (Elastic modulus)	GPa	**0,315**							
Αντοχή Διαρροής(Yield Strength)	M Pa	**12,2**							
Αντοχή εφελκυσμού(Tensile Strength)	MPa	**13,8**							
Αντοχή Θραύσης(Fracture Strength)	MPa	**12,8**							
Ταχύτητα Εφελκυσμού(Tensile rate) :20mm/min									
Ταχύτητα παραμόρφωσης (Strain Rate):0,35min ^-1									
		Δοκίμιο 1	Δοκίμιο 2	Δοκίμιο 3	Δοκίμιο 4	Δοκίμιο 5	Δοκίμιο 6	Δοκίμιο 7	ΜΟ
Κλίση (Slope)	< N/mm>	537,6	503	534,2	548,5	533,5	566	556	**546**
Φορτίο διαρροής (Yielding load)	< N>	1214*	1295	1250	1308	1219	1310	1294	**1291**
Φορτίο αντοχής εφελκυσμού (Tensile Load)	< N>	1332	1385	1.373	1425	1367	1517	1381	**1401**
Φορτίο Θραύσης (Fracture Load)	<N>	1227,367	1277,726	1245,634	1350,301	1282,662	1423,371	1266,864	**1296**
Διαστάσεις δοκιμίων σύμφωνα με το ASTM		Μήκος(mm)	57	Πλάτος(mm)	7,23	Πάχος (mm)	12,93		
Μέτρο Ελαστικότητας (Elastic modulus)	GPa	**0,33**							
Αντοχή Διαρροής(Yield Strength)	M Pa	**13,8**							
Αντοχή εφελκυσμού(Tensile Strength)	MPa	**15,0**							
Αντοχή Θραύσης(Fracture Strength)	MPa	**13,9**							

Σχήμα 58:*7.1.1 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων ABS 0,25.*

* ***Τιμές οι οποίες δεν συμπεριλήφθηκαν στο υπολογισμό των μέσων όρων.***

		ΠΙΝΑΚΑΣ	2						
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ABS 0,33									
Ταχύτητα Εφελκυσμού(Tensile rate) :5mm/min									
Ταχύτητα παραμόρφωσης (Strain Rate):0,088min ^-1									
		Δοκίμιο 1	Δοκίμιο 2	Δοκίμιο 3	Δοκίμιο 4	Δοκίμιο 5	Δοκίμιο 6	Δοκίμιο 7	ΜΟ
Κλίση (Slope)	< N/mm>	479	436,4	481,4	438,299	446,2	449	455,7	**455**
Φορτίο διαρροής (Yielding load)	< N>	896	914	887	863	864	908	884	**888**
Φορτίο αντοχής εφελκυσμού (Tensile Load)	< N>	1093	1096,04	1106	979	1033	1073	1081	**1066**
Φορτίο Θραύσης (Fracture Load)	<N>	1063	1036	1034	940	982	1035	1027	**1017**
Διαστάσεις δοκιμίων σύμφωνα με το ASTM		Μήκος(mm)	57	Πλάτος(mm)	7,38	Πάχος (mm)	12,92		
Μέτρο Ελαστικότητας (Elastic modulus)	GPa	**0,27**							
Αντοχή Διαρροής(Yield Strength)	M Pa	**9,3**							
Αντοχή εφελκυσμού(Tensile Strength)	MPa	**11,2**							
Αντοχή Θραύσης(Fracture Strength)	MPa	**10,7**							
Ταχύτητα Εφελκυσμού(Tensile rate) :10mm/min									
Ταχύτητα παραμόρφωσης (Strain Rate):0,175min ^-1									
		Δοκίμιο 1	Δοκίμιο 2	Δοκίμιο 3	Δοκίμιο 4	Δοκίμιο 5	Δοκίμιο 6	Δοκίμιο 7	ΜΟ
Κλίση (Slope)	< N/mm>	502,3	532,3	455*	490	449*	464	546,7	**507**
Φορτίο διαρροής (Yielding load)	< N>	1032	978	885	978	969	932	1032	**987**
Φορτίο αντοχής εφελκυσμού (Tensile Load)	< N>	1190	1113	1044	1138,01	1101	1062	1221	**1120**
Φορτίο Θραύσης (Fracture Load)	<N>	1110	1073	999	1112	1080	1034	1172	**1096**
Διαστάσεις δοκιμίων σύμφωνα με το ASTM		Μήκος(mm)	57	Πλάτος(mm)	7,38	Πάχος (mm)	12,92		
Μέτρο Ελαστικότητας (Elastic modulus)	GPa	**0,3**							
Αντοχή Διαρροής(Yield Strength)	M Pa	**10,4**							
Αντοχή εφελκυσμού(Tensile Strength)	MPa	**11,7**							
Αντοχή Θραύσης(Fracture Strength)	MPa	**11,5**							
Ταχύτητα Εφελκυσμού(Tensile rate) :20mm/min									
Ταχύτητα παραμόρφωσης (Strain Rate):0,35min ^-1									
		Δοκίμιο 1	Δοκίμιο 2	Δοκίμιο 3	Δοκίμιο 4	Δοκίμιο 5	Δοκίμιο 6	Δοκίμιο 7	ΜΟ
Κλίση (Slope)	< N/mm>	544	508,5	505,6	464,2	507	512	500	**515**
Φορτίο διαρροής (Yielding load)	< N>	1096,039	1052,1	1116,282	1104,93	1098,015	1084,68	1135,54	**1098**
Φορτίο αντοχής εφελκυσμού (Tensile Load)	< N>	1249,09	1270,81	1256,003	1287,11	1.202	1231,81	1300,44	**1257**
Φορτίο Θραύσης (Fracture Load)	<N>	1220	1222	1223	1266	1151	1161	1254	**1214**
Διαστάσεις δοκιμίων σύμφωνα με το ASTM		Μήκος(mm)	57	Πλάτος(mm)	7,38	Πάχος (mm)	12,92		
Μέτρο Ελαστικότητας (Elastic modulus)	GPa	**0,31**							
Αντοχή Διαρροής(Yield Strength)	M Pa	**11,5**							
Αντοχή εφελκυσμού(Tensile Strength)	MPa	**13,2**							
Αντοχή Θραύσης(Fracture Strength)	MPa	**12,7**							

Σχήμα 59:*7.1.2 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων ABS 0,33.*

* ***Τιμές οι οποίες δεν συμπεριλήφθηκαν στο υπολογισμό των μέσων όρων.***

		ΠΙΝΑΚΑΣ	3						
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ABS PLUS 0,17									
Ταχύτητα Εφελκυσμού(Tensile rate) :5mm/min									
Ταχύτητα παραμόρφωσης (Strain Rate):0,088min ^-1									
		Δοκίμιο 1	Δοκίμιο 2	Δοκίμιο 3	Δοκίμιο 4	Δοκίμιο 5	Δοκίμιο 6	Δοκίμιο 7	ΜΟ
Κλίση (Slope)	< N/mm>	837,8	817,295	748,7	847,5	835	836,4	779,6	**814**
Φορτίο διαρροής (Yielding load)	< N>	2095	1933	1673	2220	1623	1667	2114	**1798**
Φορτίο αντοχής εφελκυσμού (Tensile Load)	< N>	2364*	2313,04	1818	2441*	1906	1991	2288	**2063**
Φορτίο Θραύσης (Fracture Load)	<N>	2200	2155	1716	2336*	1792	1882,03	2125	**1978**
Διαστάσεις δοκιμίων σύμφωνα με το ASTM		Μήκος(mm)	57	Πλάτος(mm)	7,14	Πάχος (mm)	13,06		
Μέτρο Ελαστικότητας (Elastic modulus)	GPa	**0,495**							
Αντοχή Διαρροής(Yield Strength)	M Pa	**19,3**							
Αντοχή εφελκυσμού(Tensile Strength)	MPa	**22,1**							
Αντοχή Θραύσης(Fracture Strength)	MPa	**21,2**							
Ταχύτητα Εφελκυσμού(Tensile rate) :10mm/min									
Ταχύτητα παραμόρφωσης (Strain Rate):0,175 min ^-1									
		Δοκίμιο 1	Δοκίμιο 2	Δοκίμιο 3	Δοκίμιο 4	Δοκίμιο 5	Δοκίμιο 6	Δοκίμιο 7	ΜΟ
Κλίση (Slope)	< N/mm>	823	851	889,4*	843,6	852	814	861	**836**
Φορτίο διαρροής (Yielding load)	< N>	2162	2226	1933	1852	1973	1921,03	2210	**2040**
Φορτίο αντοχής εφελκυσμού (Tensile Load)	< N>	2386	2428	2235	2190	2225	2292	2422	**2311**
Φορτίο Θραύσης (Fracture Load)	<N>	2241	2258	2020	2027	2045	2170	2297	**2151**
Διαστάσεις δοκιμίων σύμφωνα με το ASTM		Μήκος(mm)	57	Πλάτος(mm)	7,14	Πάχος (mm)	13,06		
Μέτρο Ελαστικότητας (Elastic modulus)	GPa	**0,51**							
Αντοχή Διαρροής(Yield Strength)	M Pa	**21,9**							
Αντοχή εφελκυσμού(Tensile Strength)	MPa	**24,8**							
Αντοχή Θραύσης(Fracture Strength)	MPa	**23,1**							
Ταχύτητα Εφελκυσμού(Tensile rate) :20mm/min									
Ταχύτητα παραμόρφωσης (Strain Rate):0,35min ^-1									
		Δοκίμιο 1	Δοκίμιο 2	Δοκίμιο 3	Δοκίμιο 4	Δοκίμιο 5	Δοκίμιο 6	Δοκίμιο 7	ΜΟ
Κλίση (Slope)	< N/mm>	825,77881	851	836,99889	844	825	822	822	**840**
Φορτίο διαρροής (Yielding load)	< N>	2420	2328	2677	2606	2330	2431	2717	**2501**
Φορτίο αντοχής εφελκυσμού (Tensile Load)	< N>	2606	2642	2889	2782	2522	2612	2810	**2695**
Φορτίο Θραύσης (Fracture Load)	<N>	2541	2467	2753	2630	2395	2472	2661	**2560**
Διαστάσεις δοκιμίων σύμφωνα με το ASTM		Μήκος(mm)	57	Πλάτος(mm)	7,14	Πάχος (mm)	13,06		
Μέτρο Ελαστικότητας (Elastic modulus)	GPa	**0,515**							
Αντοχή Διαρροής(Yield Strength)	M Pa	**26,8**							
Αντοχή εφελκυσμού(Tensile Strength)	MPa	**28,9**							
Αντοχή Θραύσης(Fracture Strength)	MPa	**27,5**							

Σχήμα 60:*7.1.3 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων ABSPLUS 0,17.*

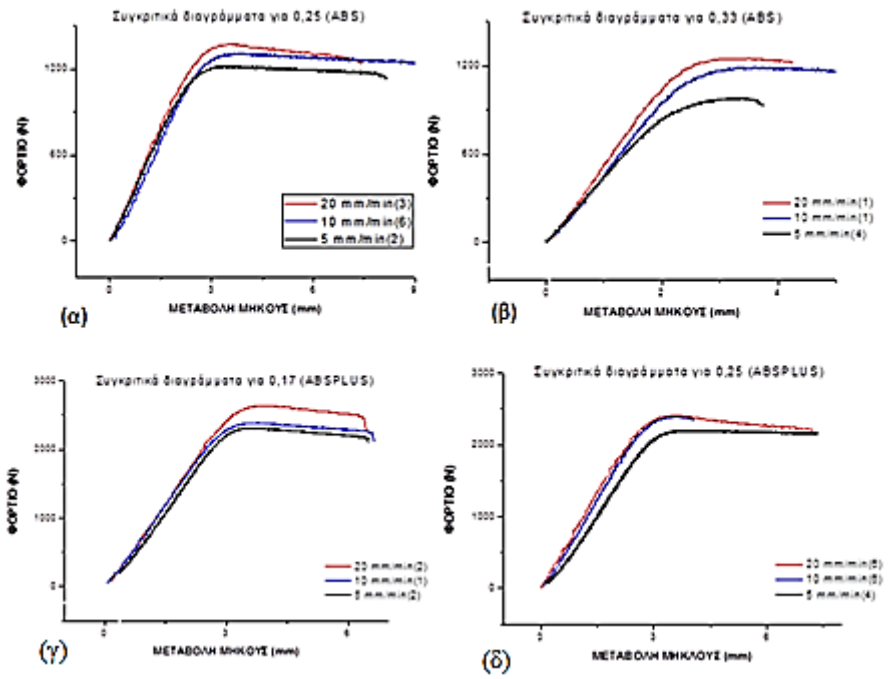
* ***Τιμές οι οποίες δεν συμπεριλήφθηκαν στο υπολογισμό των μέσων όρων.***

		ΠΙΝΑΚΑΣ	4						
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ABS PLUS 0,25									
Ταχύτητα Εφελκυσμού(Tensile rate) :5mm/min									
Ταχύτητα παραμόρφωσης (Strain Rate):0,088min ^-1									
		Δοκίμιο 1	Δοκίμιο 2	Δοκίμιο 3	Δοκίμιο 4	Δοκίμιο 5	Δοκίμιο 6	Δοκίμιο 7	ΜΟ
Κλίση (Slope)	< N/mm>	744,6	792	806	789	762	772	715	**769**
Φορτίο διαρροής (Yielding load)	< N>	1794	1706	1753	1888	1859	1877	2081	**1851**
Φορτίο αντοχής εφελκυσμού (Tensile Load)	< N>	1917	1985	2154	2200	2398	2221	2468	**2192**
Φορτίο Θραύσης (Fracture Load)	<N>	1857	1929	2108	2184	2324	2179	2444	**2146**
Διαστάσεις δοκιμίων σύμφωνα με το ASTM		Μήκος(mm)	57	Πλάτος(mm)	7,1	Πάχος (mm)	13,02		
Μέτρο Ελαστικότητας (Elastic modulus)	GPa	**0,47**							
Αντοχή Διαρροής(Yield Strength)	M Pa	**20,0**							
Αντοχή εφελκυσμού(Tensile Strength)	MPa	**23,7**							
Αντοχή Θραύσης(Fracture Strength)	MPa	**23,2**							
Ταχύτητα Εφελκυσμού(Tensile rate) :10mm/min									
Ταχύτητα παραμόρφωσης (Strain Rate):0,175min ^-1									
		Δοκίμιο 1	Δοκίμιο 2	Δοκίμιο 3	Δοκίμιο 4	Δοκίμιο 5	Δοκίμιο 6	Δοκίμιο 7	ΜΟ
Κλίση (Slope)	< N/mm>	784,8	845,8	815	835,6	800	865	795	**820**
Φορτίο διαρροής (Yielding load)	< N>	2066	2106	2000	2148	2193	2157	1892	**2080**
Φορτίο αντοχής εφελκυσμού (Tensile Load)	< N>	2295	2338	2328	2389	2406	2394,99	2210	**2337**
Φορτίο Θραύσης (Fracture Load)	<N>	2226	2234	2297	2231	2313	2318,96	2119,998	**2249**
Διαστάσεις δοκιμίων σύμφωνα με το ASTM		Μήκος(mm)	57	Πλάτος(mm)	7,1	Πάχος (mm)	13,02		
Μέτρο Ελαστικότητας (Elastic modulus)	GPa	**0,51**							
Αντοχή Διαρροής(Yield Strength)	M Pa	**22,5**							
Αντοχή εφελκυσμού(Tensile Strength)	MPa	**25,3**							
Αντοχή Θραύσης(Fracture Strength)	MPa	**24,3**							
Ταχύτητα Εφελκυσμού(Tensile rate) :20mm/min									
Ταχύτητα παραμόρφωσης (Strain Rate):0,35min ^-1									
		Δοκίμιο 1	Δοκίμιο 2	Δοκίμιο 3	Δοκίμιο 4	Δοκίμιο 5	Δοκίμιο 6	Δοκίμιο 7	ΜΟ
Κλίση (Slope)	< N/mm>	826	873	857	766	829	892	878	**846**
Φορτίο διαρροής (Yielding load)	< N>	2355	2340	2161	2053	2316	1851	1952	**2147**
Φορτίο αντοχής εφελκυσμού (Tensile Load)	< N>	2632	2631	2499	2330	2579	2412	2349	**2490**
Φορτίο Θραύσης (Fracture Load)	<N>	2585	2437	2455	2270	2514	2207	2265	**2390**
Διαστάσεις δοκιμίων σύμφωνα με το ASTM		Μήκος(mm)	57	Πλάτος(mm)	7,1	Πάχος (mm)	13,02		
Μέτρο Ελαστικότητας (Elastic modulus)	GPa	**0,52**							
Αντοχή Διαρροής(Yield Strength)	M Pa	**23,2**							
Αντοχή εφελκυσμού(Tensile Strength)	MPa	**26,9**							
Αντοχή Θραύσης(Fracture Strength)	MPa	**25,9**							

Σχήμα 61:*7.1.4 Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων ABSPLUS 0,25.*

7.2 ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

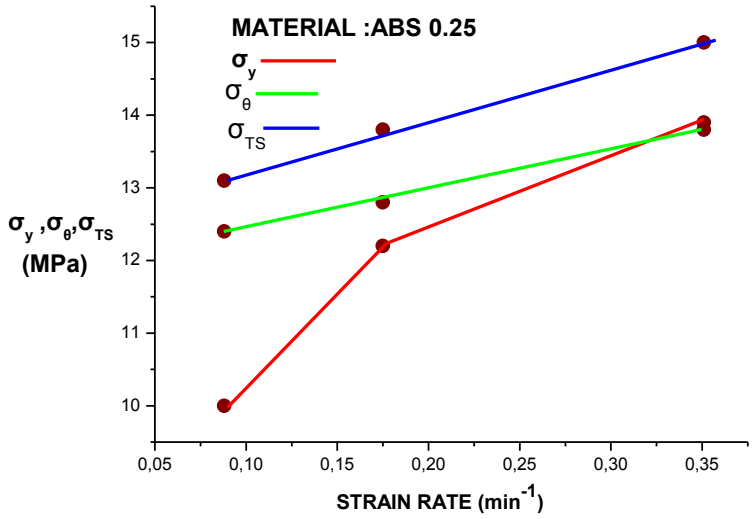
Οι μορφές των διαγραμμάτων για όλα τα δοκίμια και για όλες τις ταχύτητες παραμόρφωσης δείχνουν να προσομοιάζουν με τα διαγράμματα μετάλλων παρά με τα κλασικά διαγράμματα των θερμοπλαστικών υλικών.



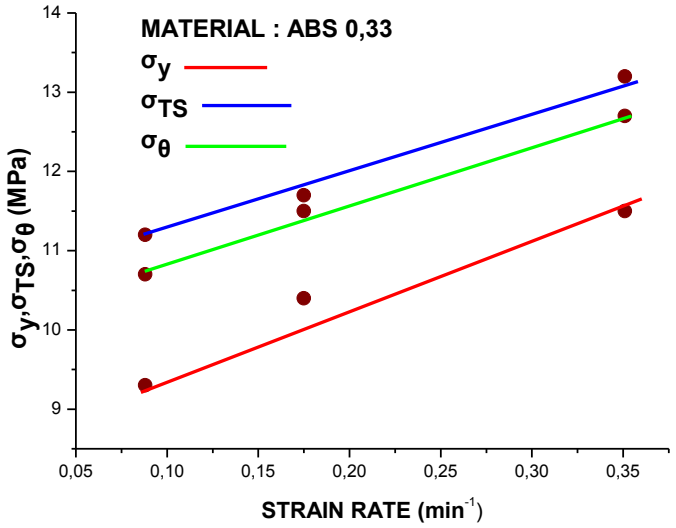
Σχήμα 62:*7.2.1 Απεικόνιση διαγραμμάτων εφελκυσμού φορτίου ως προς μεταβολή μήκους του δοκιμίου(α) για ABS 0,25(β) για ABS 0,33(γ) ABSPLUS 0,17(δ) ABSPLUS 0,25.*

Τα υλικά δεν παρουσιάζουν εκτεταμένη πλαστική περιοχή μετά το όριο διαρροής. Παρατηρείται σε όλες τις δοκιμασίες που κάναμε ότι $\sigma_y<\sigma_{TS}$ **και** $\sigma_\theta<\sigma_{TS}$.

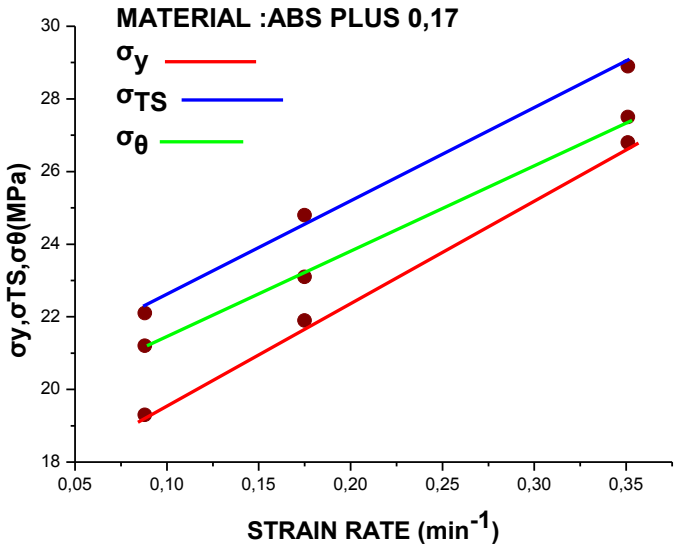
Αυτό σημαίνει ότι, η δομή που απέκτησε το υλικό με τη μορφοποίηση με τη μέθοδο εκτύπωσης (rapid prototype) δείχνει μια συνεκτικότητα η οποία προσομοιάζει με εκείνη των μετάλλων και των ενισχυμένων πολυμερών. Στα διαγράμματα που ακολουθούν απεικονίζεται η ιεραρχία των τιμών σ_y, σ_{TS} και σ_θ για όλα τα δοκίμια και τις ταχύτητες παραμόρφωσης.



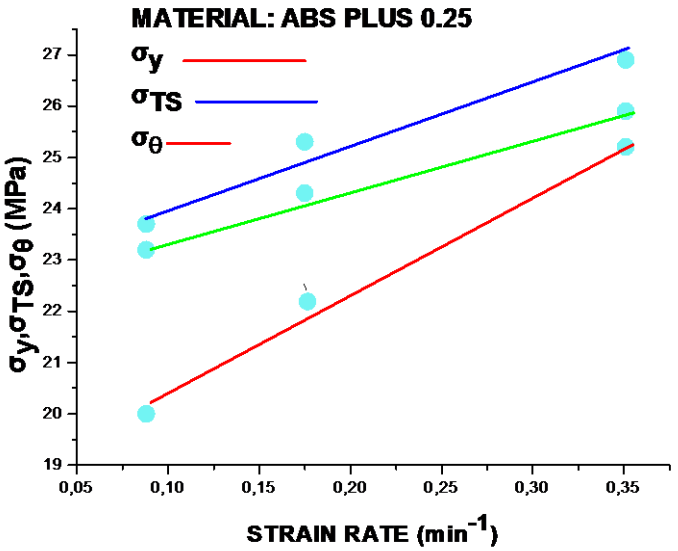
Σχήμα 63:*7.2.2 Δοκίμιο ABS 0,25.*
Συγκριτική παρουσίαση των τιμών των παραμέτρων **σ_y, σ_{TS}, σ_θ** για τις τρεις ταχύτητες παραμόρφωσης που χρησιμοποιήθηκαν.



Σχήμα 64:*7.2.3 Δοκίμιο ABS 0,33.*
Συγκριτική παρουσίαση των τιμών των παραμέτρων **σ_y, σ_{TS}, σ_θ** *για τις τρεις ταχύτητες παραμόρφωσης που χρησιμοποιήθηκαν.*



Σχήμα 65:*7.2.4 Δοκίμιο ABSPLUS 0,17.*
Συγκριτική παρουσίαση των τιμών των παραμέτρων σ_y, σ_{TS}, σ_θ *για τις τρεις ταχύτητες παραμόρφωσης που χρησιμοποιήθηκαν.*



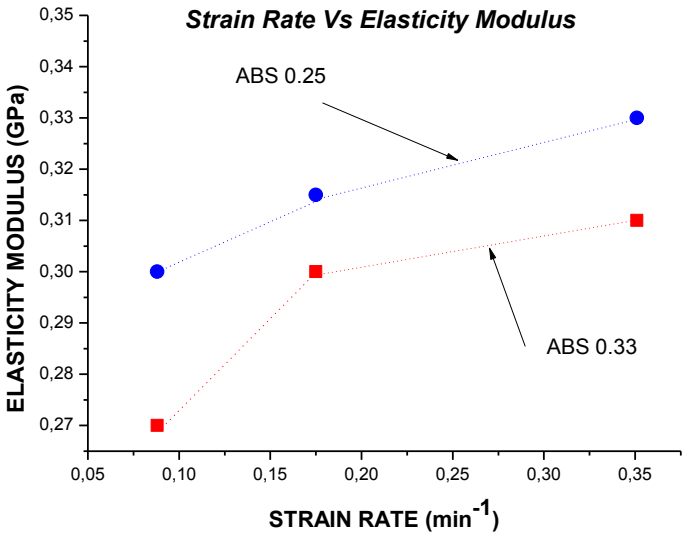
Σχήμα 66:*7.2.5 Δοκίμιο ABSPLUS 0,25.*
Συγκριτική παρουσίαση των τιμών των παραμέτρων σ_y, σ_{TS}, σ_θ *για τις τρεις ταχύτητες παραμόρφωσης που χρησιμοποιήθηκαν.*

Τα αποτελέσματα του μέτρου ελαστικότητας για όλα τα δοκίμια έδειξαν μια τάση αύξησης του με την αύξηση της ταχύτητας παραμόρφωσης. Η αύξηση αυτή είναι της τάξης του 10% για τα δοκίμια ABS 0,25 και ABS 0,33 για αύξηση της ταχύτητας

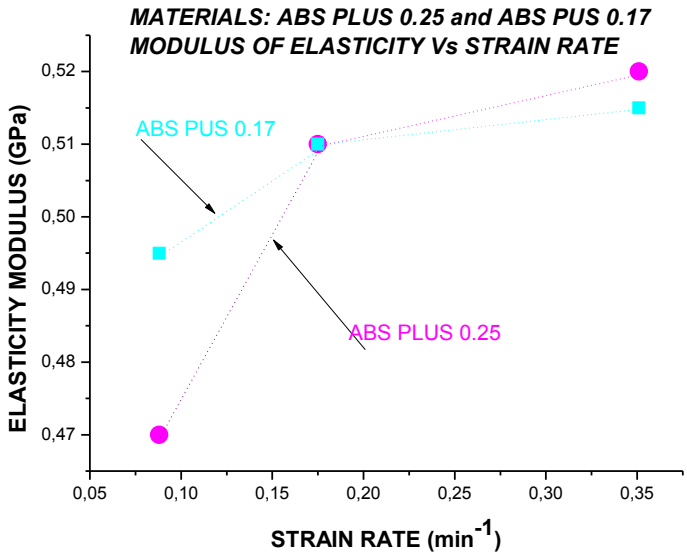
παραμόρφωσης (Stain Rate) 75%. Ενώ τα δοκίμια ABSPLUS 0,17 και ABSPLUS 0,25 αύξηση του μέτρου ελαστικότητας για αύξηση 75% της ταχύτητας παραμόρφωσης είναι 4-10%.

Αντίστοιχα αποτελέσματα από τη βιβλιογραφία (Ref36) δείχνουν για δοκίμια πολυπροπυλενίου αύξηση του μέτρου ελαστικότητας 9% για αύξηση της ταχύτητας παραμόρφωσης 95%.

Οι τιμές του μέτρου ελαστικότητας (Elasticity modulus) κυμαίνεται για τα υλικά ABS 0,25 και ABS 0,33 από **0,27-0,33 GPa** και ενώ στα ABSPLUS 0,17 και ABSPLUS 0,25 από **0,47-0,52 GPa**.



Σχήμα 67:*7.2.6 Δοκίμια ABS 0,33 και ABS 0,25.*
Απεικόνιση των τιμών του μέτρου ελαστικότητας ως προς τη ταχύτητα παραμόρφωσης.



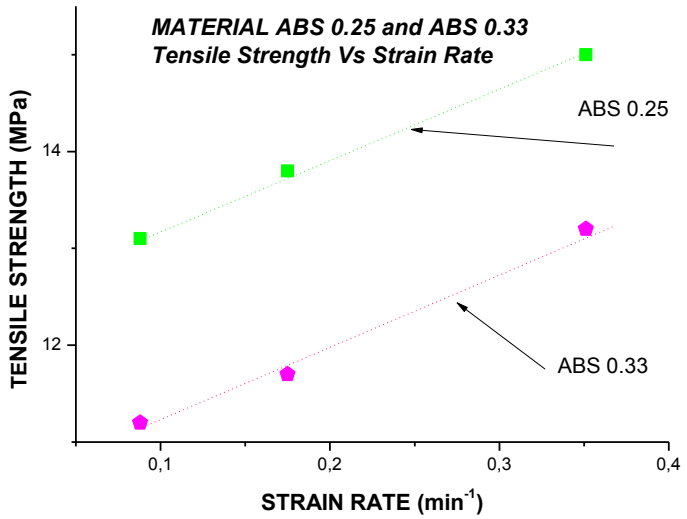
Σχήμα 68:*7.2.7 Δοκίμια ABSPLUS 0,25 και ABSPLUS 0,17. Απεικόνιση των τιμών του μέτρου ελαστικότητας ως προς τη ταχύτητα παραμόρφωσης.*

Η αντοχή διαρροής (Yielding strength) αυξάνεται για όλα τα δοκίμια με την αύξηση της ταχύτητας παραμόρφωσης (Strain Rate).

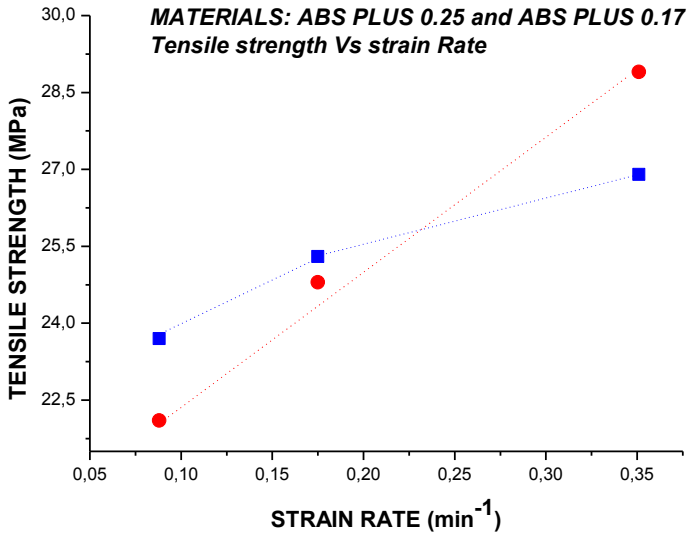
Για αύξηση της ταχύτητας παραμόρφωσης 75%, το ABS 0,25 δείχνει **αύξηση της σ_y 38%** αντίστοιχα για το ABS 0,33 η **αύξηση είναι 23%.** Για το ABSPLUS 0,17 είναι **38%** και το ABSPLUS 0,25 αντίστοιχα είναι **15%**.

Αντίστοιχη εικόνα δείχνει και η αντοχή εφελκυσμού (Tensile Strength). Το ABS 0,25 δείχνει **αύξηση της σ_{TS} 15%** αντίστοιχα για το ABS 0,33 είναι **17%,** για το ABSPLUS 0,17 είναι **30%** και αντίστοιχα για το ABSPLUS 0,25 είναι **15%** για αύξηση της ταχύτητας παραμόρφωσης 75%.

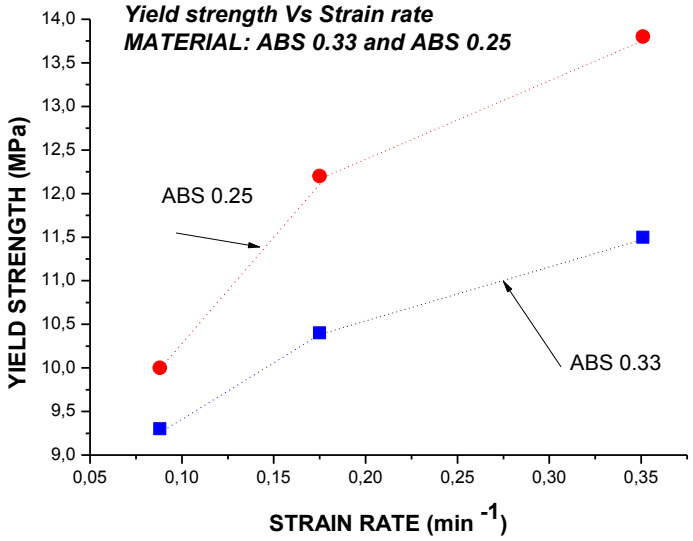
Οι τιμές της αντοχής διαρροής σ_y για τα δοκίμια ABS 0,25 και 0,33 κυμαίνονται στο εύρος **10-14 MPa**, ενώ της **σ_{TS} 11-15 MPa**. Αντίστοιχα οι τιμές της **σ_y** για ABSPLUS 0,17 και 0,25 από **19-27 MPa** ενώ της **σ_{TS}** από **22-29 MPa**.



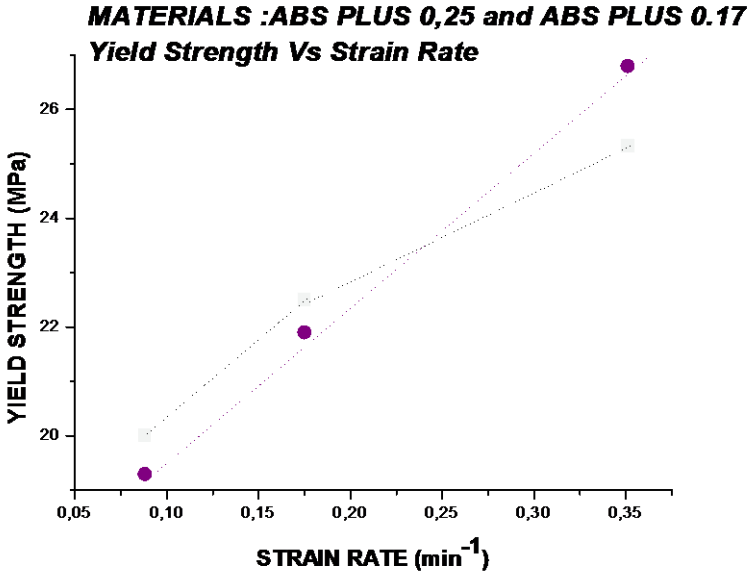
Σχήμα 69:*7.2.8 Δοκίμια ABS 0,33 και ABS 0,25.*
Απεικόνιση των τιμών σ_{TS} ως προς τη ταχύτητα παραμόρφωσης.



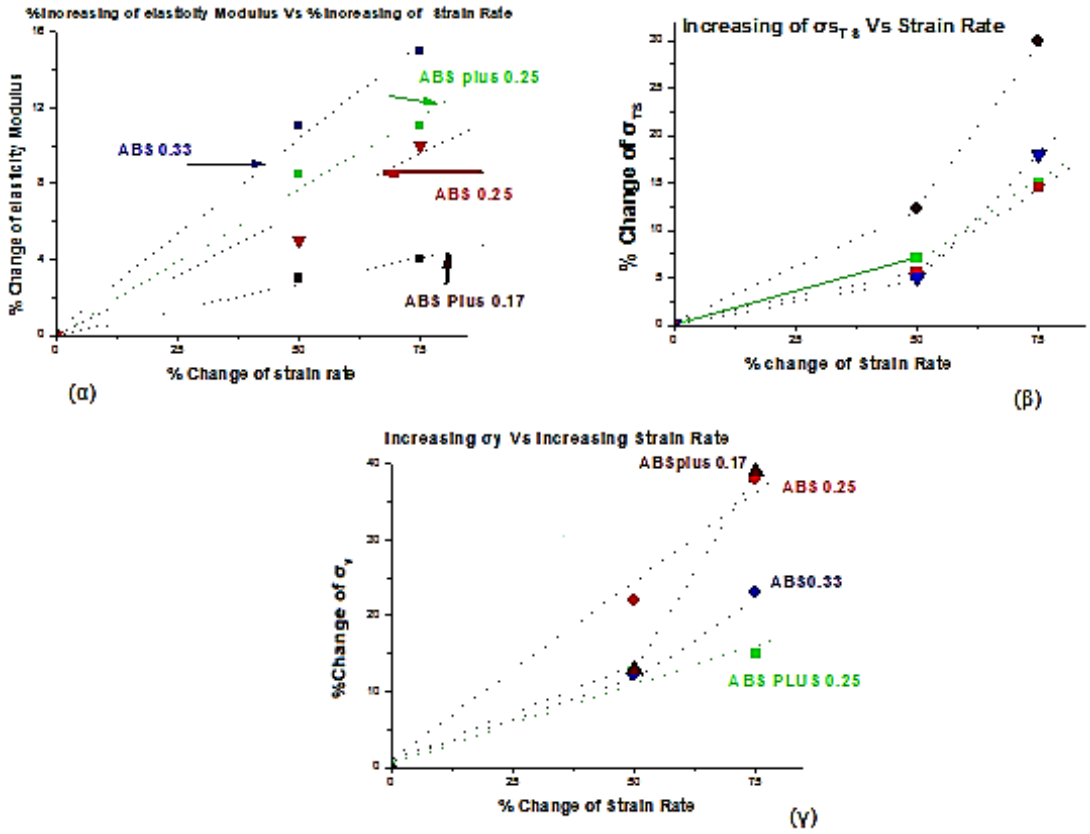
Σχήμα 70:*7.2.9 Δοκίμια ABSPLUS 0,25 και ABSPLUS 0,17.*
Απεικόνιση των τιμών σ_{TS} ως προς τη ταχύτητα παραμόρφωσης.



Σχήμα 71:*7.2.10 Δοκίμια ABS 0,33 και ABS 0,25.*
Απεικόνιση των τιμών σ_y ως προς τη ταχύτητα παραμόρφωσης.



Σχήμα 72:*7.2.11 Δοκίμια ABS PLUS 0,25 και 0,17.*
Απεικόνιση των τιμών σ_y ως προς τη ταχύτητα παραμόρφωσης.



Σχήμα 73:*7.2.12 Διάγραμμα απεικόνισης της % αύξησης των τιμών των παραμέτρων E,* σ_y,σ_{TS} *με την αύξηση της ταχύτητας παραμόρφωσης για όλα τα δοκίμια. (α) % αύξηση του μέτρου ελαστικότητας (E), (β) % αύξηση της αντοχής διαρροής* σ_y*, (γ) % αύξηση της αντοχής εφελκυσμού* σ_{TS}.

Παρατηρούμε ότι το Μέτρο Ελαστικότητας του ***ABSPLUS 0,17*** επηρεάζεται από την ταχύτητα παραμόρφωσης λιγότερο από τα άλλα δοκίμια, ενώ αντίθετα δείχνει τη μεγαλύτερη επίδραση στις τιμές των $\boldsymbol{\sigma_{TS}}$ και $\boldsymbol{\sigma_y}$.

Τα ***ABS 0,25*** και του ***ABSPLUS 0,25*** δείχνουν ίδια επίδραση της ταχύτητας παραμόρφωσης στο Μέτρο Ελαστικότητας, ενώ η συμπεριφορά τους στην επίδραση της ταχύτητας παραμόρφωσης στην $\boldsymbol{\sigma_y}$ είναι εντελώς διαφορετική.

Η $\boldsymbol{\sigma_y}$ του ***ABSPLUS 0,25*** δείχνει να επηρεάζεται λιγότερο από όλα τα υλικά που εξετάστηκαν. Το μέτρο ελαστικότητας του ***ABS 0,33*** δείχνει να επηρεάζεται περισσότερο από τα άλλα υλικά δηλαδή να παρουσιάζει την μεγαλύτερη αύξηση ενώ αντίθετα η $\boldsymbol{\sigma_y}$ δείχνει μικρότερη μεταβολή.

Η τιμές του μέτρου ελαστικότητας των υλικών ***ABSPLUS*** έχουν την ίδια τάξη μεγέθους και είναι περίπου διπλάσιες των τιμών των υλικών ***ABS***. Το ίδιο παρατηρούμε και για τις τιμές $\boldsymbol{\sigma_y}$ και $\boldsymbol{\sigma_{TS}}$ οι οποίες για τα υλικά ***ABSPLUS*** είναι διπλάσιες των αντίστοιχων τιμών των υλικών ***ABS***.

Η παρατήρηση αυτή είναι συμβατή με τα αναφερόμενα στη βιβλιογραφία για υλικά που μορφοποιούνται με τις παραδοσιακές μεθόδους μορφοποίησης των θερμοπλαστικών (π.χ. χύτευση με έγχυση (injection molding), χύτευση διέλασης κλπ). Συνεπώς η μορφοποίηση με την μέθοδο rapid prototype που χρησιμοποιήσαμε δεν διαφοροποιεί αυτή τη συσχέτιση των τιμών E, σ_y, σ_{TS} των υλικών ABS και ABSPLUS.

Παρατηρούμε όμως ότι οι τιμές **E**, $\boldsymbol{\sigma_y}$ και $\boldsymbol{\sigma_{TS}}$ που δίνονται στην βιβλιογραφία είναι πολύ μεγαλύτερες αυτών που δίνουν τα υλικά αυτά όταν μορφοποιούνται με τη μέθοδο rapid prototype.

Για τα υλικά ABS που μορφοποιούνται με την μέθοδο injection molding μετρημένα με το ίδιο πρότυπο δίνουν αντοχή παραμόρφωσης από **22-40 MPa** και μέτρο ελαστικότητας από **1,6-2,5 GPa**.

Η μορφοποίηση με τη μέθοδο rapid prototype δείχνει να δίνει υλικά με δομές περισσότερο ελαστικές (E ≈ 0,3 GPa) και λιγότερο άκαμπτες **σy** ≈ 10 MPa. Η συμπεριφορά αυτή μπορεί να ακολουθεί στη διαφορετική δομή που αποκτά το υλικό από τη μορφοποίηση του.

Είναι γνωστό ότι η δομή των θερμοπλαστικών αποτελείται από μακρομόρια τα όποια στα άμορφα πολυμερή έχουν τυχαίο προσανατολισμό στη δομή. Κατά τη μορφοποίηση των υλικών με τη μέθοδο injction molding τα μακρομόρια προσανατολίζονται σε μεγάλο βαθμό προς την μια διεύθυνση και αυτό έχει ως αποτέλεσμα η δομή αυτή υλικών των ***ABS και ABS PLUS*** να δίνει μεγαλύτερη αντοχή και μικρότερη ελαστικότητα.

Σε αντίθεση η μορφοποίηση με τη μέθοδο rapid prototype μας παρέχει περισσότερο ανισότροπες δομές (σχήμα 5.2.4) ανάλογα με τον τρόπο δόμησης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι δομές αυτές να είναι ποιο ελαστικές και να εμφανίζουν μικρότερη αντοχή διαρροής και αντοχή εφελκυσμού. Τα παρακάτω βιβλιογραφικά στοιχεία επιβεβαιώνουν τα αποτελέσματα των πειραμάτων της πτυχιακής:

"Μηχανικές Ιδιότητες του ABS μορφοποιημένου με την τεχνική FDM (Ref 33,34)

Στη βιβλιογραφία αναφέρονται ανάλογες διαφοροποιήσεις στις μηχανικές ιδιότητες ABS μορφοποιημένο με τη μέθοδο Fused Deposition Modeling η οποία αποτελεί μια εφαρμογή της μεθόδου rapid prototype.

Οι ιδιότητες του ABS που αποτίθεται με την τεχνική FDM διαφέρουν από εκείνες του ABS που είναι μορφοποιημένο με τη μέθοδο injection molding λόγω της διαδικασίας εναπόθεσης. [] Η τεχνική FDM αποθέτει στοιβάδες με ημιτηγμένο υλικό οπότε η δομή που λαμβάνεται σε αντίθεση με αυτή του υλικού της χύτευσης είναι ανισότροπη. Ο προσανατολισμός των στοιβάδων

υλικού απόθεσης, το πάχος των στοιβάδων και η απόσταση μεταξύ των γειτονικών στοιβάδων (κενά αέρος) επηρεάζουν τις μηχανικές ιδιότητες. Οι μηχανικές δοκιμασίες σε δείγματα υλικού P400 ABS τα όποια μορφοποιήθηκαν με τη μέθοδο rapid ptototype FDM (μοντέλο 1998 Stratasys) με διάφορους προσανατολισμούς ως προς τη διεύθυνση εφελκυσμού και πάχη στοιβάδων έδειξαν σημαντικές διαφορές σε σχέση με δοκίμια που μορφοποιήθηκαν με την κλασική μέθοδο χύτευσης των θερμοπλαστικών. Τα μορφοποιημένα δοκίμια ABS με injection molding δίνουν αντοχή εφελκυσμού περίπου 26 MPa ενώ τα δοκίμια ABS μορφοποιημένα με FDM ανάλογα με τον προσανατολισμό των στοιβάδων απόθεσης έδωσαν τις παρακάτω τιμές αντοχής εφελκυσμού. Με προσανατολισμό απόθεσης κατά τη διεύθυνση εφελκυσμού 20 MPa, ενώ με εναλλασσόμενο προσανατολισμό των στοιβάδων + 45 ° και -45 °, η αντοχή εφελκυσμού μειώθηκε σε περίπου 12 MPa. Η χαμηλότερη αντοχή σε εφελκυσμό παρατηρήθηκε σε προσανατολισμό των στοιβάδων κάθετα στη διεύθυνση εφελκυσμού (90 ° ως προς τη διεύθυνση του φορτίου) περίπου 3 MPa."

7.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

1) Οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων που μετρήθηκαν, **E**, $\boldsymbol{\sigma_y}$, $\boldsymbol{\sigma_{TS}}$ μεταβάλλονται ανάλογα με τον τρόπο δόμησης των υλικών.
2) Οι τιμές των μηχανικών παραμέτρων για τα υλικά ***ABSPLUS*** ανεξάρτητα του τρόπου δόμησης είναι διπλάσιες έως και υπερδιπλάσιες από αυτές των υλικών ABS.
3) Σε όλες τις περιπτώσεις η αύξηση της ταχύτητας παραμόρφωσης έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των μηχανικών παραμέτρων **E**, $\boldsymbol{\sigma_y}$, $\boldsymbol{\sigma_{TS}}$.
4) Τα αποτελέσματα μας είναι συμβατά με αυτά της βιβλιογραφίας για άλλα θερμοπλαστικά, όμως οι μεταβολές των παραμέτρων **E**, $\boldsymbol{\sigma_y}$, $\boldsymbol{\sigma_{TS}}$ είναι μικρές γιατί οι μεταβολές των ταχυτήτων που επιλέχτηκαν δεν ήταν μεγάλες.

   Στη βιβλιογραφία εφαρμόζεται αύξηση της ταχύτητας παραμόρφωσης από 50-500%. Συνεπώς απαιτούνται πειράματα σε ποιο υψηλότερες ταχύτητες για να δώσουν ποιο ξεκάθαρα αποτελέσματα για την επίδραση της ταχύτητας παραμόρφωσης στη μηχανική συμπεριφορά των υλικών που μελετήθηκαν.
5) Η αύξηση των μηχανικών παραμέτρων με την αύξηση της ταχύτητας παραμόρφωσης μπορεί να αποδοθεί στη μικροσκοπική συμπεριφορά της δομής. Συγκεκριμένα τα θερμοπλαστικά παραμορφώνονται ελαστικά και πλαστικά λόγω έκτασης (ευθυγράμμισης) και διολίσθησης των μακρομορίων στη διεύθυνση του εφελκυσμού. Οι αλλαγές αυτές στη δομή απαιτούν απορρόφηση ενέργειας από το υλικό το οποίο είναι ένα φαινόμενο χρονικά εξαρτώμενο. Όταν η ταχύτητα παραμόρφωσης είναι χαμηλή το υλικό έχει τα χρονικά περιθώρια να γίνουν αυτές οι αλλαγές στη δομή του. Όταν η ταχύτητα παραμόρφωσης είναι μεγάλη οι μεταβολές της δομής δεν μπορεί να ακολουθήσουν και το υλικό να συμπεριφέρεται σαν ποιο «άκαμπτη δομή» . Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το ***E*** και οι παράμετροι $\boldsymbol{\sigma_y}$, $\boldsymbol{\sigma_{TS}}$ να αυξάνονται και η δομή να συμπεριφέρεται σαν περισσότερο ψαθυρή και άκαμπτη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ- REFERENCES

8 Βιβλιογραφίες & πηγές από το διαδίκτυο :

1 http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%84%CF%85%CF%81%CE%AD%CE%BD%CE%B9%CE%BF
Στυρένιο.

2 http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B5%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%87%CE%B7%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AC
Πετροχημικά.

3 http://el.wikipedia.org/wiki/1,3-%CE%B2%CE%BF%CF%85%CF%84%CE%B1%CE%B4%CE%B9%CE%AD%CE%BD%CE%B9%CE%BF
1,3-βουταδιένιο.

4 http://steinwall.le8.getliveedit.com/pages/Acrylonitrile-ButadieneStyrene%28ABS%29
Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS).

5 http://www.dynalabcorp.com/technical_info_abs.asp
Plastic Properties of Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS).

6 http://plastics.ulprospector.com/generics/1/acrylonitrile-butadiene-styrene-abs
Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) Plastic.

7 http://www.resinex.gr/typon-polymeroy/abs.html
Distribution of Plastics & Elastomers.

8 http://www.plasticseurope.org/what-is-plastic/types-of-plastics-11148/engineering-plastics/abs.aspx
Acrylonitrile-Butadiene-Styrene (ABS).

9 http://ewasteguide.info/plastic_recycling_abs_regranulating
Plastic Recycling: ABS Regranulating.

10 http://www.ebay.com/itm/Dimension-BST-768-Automated-3D-Model-Printer-/230644293196
Dimension BST 768 3D Automated Model Printer.

11 http://www.stratasys.com/~/media/Main/Secure/System_Spec_Sheets-SS/DimensionProductSpecs/DimEliteSellSheet-INTL-ENG-10-13%20WEB.pdf
Dimension Elite.

12 https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2464.pdf
Stuttgart University UFOPLAN project FKZ: 298 94 313/05 Resource-sparing production of polymer materials.

13 http://www.toyo-eng.com/jp/en/products/petrochmical/ps/
Styrenics Resin (GPPS, HIPS, SAN, ABS).

14 http://eprints.utm.my/2710/1/71820.pdf
MECHANICAL, CHEMICAL AND FLAMMABILITY PROPERTIES OF ABS/PVC BLENDS JABATAN KEJ. POLIMER FAK. KEJ. KIMIA DAN KEJ. SUMBER ASLI UTM SKUDAI, JOHOR.

15 www.epa.gov/ttnatw01/pr4/1 1h.pdf
General Process Flow Diagram for ABS via Suspension Polymerization Process.

16 Vogler, Jon, Small-scale recycling of plastics. Intermediate Technology Publications 1984. A book aimed at small-scale plastics recycling in developing countries.

17 http://en.howtopedia.org/wiki/How_to_Recycle_Plastics
How to Recycle Plastics.
18 http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/203856/203856.pdf
New styrenic materials, a natural alternative to B in ABS Industrial Materials Recycling Department of Chemical and Biological Engineering CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY Gothenburg, Sweden 2014.
19 http://www.dsir.gov.in/reports/techreps/tsr087.pdf
EXECUTIVE SUMMARY.
20 http://chimikoergastirio.blogspot.gr/2010/12/injection-molding.html
21 http://www.metal.ntua.gr/uploads/3456/390/Chap1gr.pdf
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ.
22 http://solid3dprint.com/gr/%CE%B5%CF%86%CE%B1%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%AD%CF%82
Solid3Dprint-Εφαρμογές.
23 http://xahax.com/subory/Spec_ABS.pdf
EURAPIPE ABS Materia.l
24 POLYMER ANALYSIS, Barbara H.Stuart,University of Tehnology,Sydney,Australia.
25 Δρ Π.Α. Βουθούνης τεχνική μηχανική ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ.
26 http://www.moldex3d.com/en/products/solution-addons/compression-molding
Compression Molding.
27 http://elblogdelplastico.blogs.upv.es/2011/12/21/1370/
thermoforming.
28 www-materials.eng.cam.ac.uk
29 Dan Andrei S¸ Glenn Weber , Liviu Mars¸ Vadim V. Silberschmidt Werner Hufenbach.
"Tensile properties of semi-crystalline thermoplastic polymers: Effects of temperature and strain rates"
Polymer Testing 32 (2013) 413–425
30 Shashank Shekhar, Jiazhao Cai, Saurabh Basu, Sepideh Abolghasem, M. Ravi Shankar
" Effect of Strain-rate in Severe Plastic Deformation on Microstructure Refinement and Stored Energies"
School of Engineering, 3700 O"Hara Street, University of Pittsburgh, Pittsburgh, PA, 15261, USA
31 **Amol Jadhav**
"HIGH STRAIN RATE PROPERTIES OF POLYMER MATRIX COMPOSITES"
B. S., University of Pune, 2003
32 Marcus Schoßig, Christian Bierögel, Wolfgang Grellmann, Reinhard Bardenheier,Thomas
"Effect of Strain Rate on Mechanical Properties of Reinforced Polyolefins"
33 Rebecca A. Strzelec (Division of Arts and Humanities.Pennsylvania State University. Altoona CollegeAndrew N. Vavreck(Division of Business and Engineering.Pennsylvania State University.Altoona College
"An Interdisciplinary Approach: Rapid Prototyping at Penn State Altoona"
Proceedings of The 2006 IJME - INTERTECH Conference

34 Vavreck, Andrew N. Project Management Applied to Student Design Projects. 2002 ASEE Annual Conference & Exposition, Montréal, Quebec, Canada, June 16-19, 2002.

Low to High Strain Rate Deformation of Amorphous Polymers: Experiments and Modeling.

by Adam Dustin Mulliken, Bachelor of Engineering, Thayer School of Engineering at Dzrtmouth College, 2002, Bachelor of Arts, Engineering Sciences, Dartmuth College, 2002.

Submitted to the Department of Mechanical Engineering in partial fulfillment of the requirements for the degree of MASTER OF SCIENCE IN MECHANICAL ENGINEERING at the MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY.

35 George C. Jacob,J. Michael Starbuck, John F. Fellers, Srdan Simunovic,Raymond G. Boeman2

Published online in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com).

"Strain Rate Effects on the Mechanical Properties of Polymer Composite Materials"

36 YUANXIN **ZHOU** *and* P. K. MALLICK

Center for Lightweighting Automotive Materials and Processing

University of Michigan-Dearborn

Dearborn, Michigan ***481 28***

"Effects of Temperature and Strain Rate

on the Tensile Behavior of Unfilled and Talc-Filled

Polypropylene. Part I: Experiments"

POLYMER ENGINEERING AND SCIENCE, DECEMBER 2002, Vol. 42, No. 72

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Designation: D 638 – 02a

Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics[1]

This standard is issued under the fixed designation D 638; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope *

1.1 This test method covers the determination of the tensile properties of unreinforced and reinforced plastics in the form of standard dumbbell-shaped test specimens when tested under defined conditions of pretreatment, temperature, humidity, and testing machine speed.

1.2 This test method can be used for testing materials of any thickness up to 14 mm (0.55 in.). However, for testing specimens in the form of thin sheeting, including film less than 1.0 mm (0.04 in.) in thickness, Test Methods D 882 is the preferred test method. Materials with a thickness greater than 14 mm (0.55 in.) must be reduced by machining.

1.3 This test method includes the option of determining Poisson's ratio at room temperature.

NOTE 1—This test method and ISO 527-1 are technically equivalent.

NOTE 2—This test method is not intended to cover precise physical procedures. It is recognized that the constant rate of crosshead movement type of test leaves much to be desired from a theoretical standpoint, that wide differences may exist between rate of crosshead movement and rate of strain between gage marks on the specimen, and that the testing speeds specified disguise important effects characteristic of materials in the plastic state. Further, it is realized that variations in the thicknesses of test specimens, which are permitted by these procedures, produce variations in the surface-volume ratios of such specimens, and that these variations may influence the test results. Hence, where directly comparable results are desired, all samples should be of equal thickness. Special additional tests should be used where more precise physical data are needed.

NOTE 3—This test method may be used for testing phenolic molded resin or laminated materials. However, where these materials are used as electrical insulation, such materials should be tested in accordance with Test Methods D 229 and Test Method D 651.

NOTE 4—For tensile properties of resin-matrix composites reinforced with oriented continuous or discontinuous high modulus >20-GPa (>3.0 × 10^6-psi) fibers, tests shall be made in accordance with Test Method D 3039/D 3039M.

1.4 Test data obtained by this test method are relevant and appropriate for use in engineering design.

1.5 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*

D 229 Test Methods for Rigid Sheet and Plate Materials Used for Electrical Insulation[2]

D 412 Test Methods for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Elastomers—Tension[3]

D 618 Practice for Conditioning Plastics for Testing[4]

D 651 Test Method for Tensile Strength of Molded Electrical Insulating Materials[5]

D 882 Test Methods for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting[4]

D 883 Terminology Relating to Plastics[4]

D 1822 Test Method for Tensile-Impact Energy to Break Plastics and Electrical Insulating Materials[4]

D 3039/D 3039M Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials[6]

D 4000 Classification System for Specifying Plastic Materials[7]

D 4066 Classification System for Nylon Injection and Extrusion Materials[7]

D 5947 Test Methods for Physical Dimensions of Solid Plastic Specimens[8]

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines[9]

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometer[9]

E 132 Test Method for Poisson's Ratio at Room Temperature[9]

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to

[1] This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved November 10, 2002. Published January 2003. Originally approved in 1941. Last previous edition approved in 2002 as D 638 – 02.

[2] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 10.01.

[3] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 09.01.

[4] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.01.

[5] Discontinued; see *1994 Annual Book of ASTM Standards*, Vol 10.01.

[6] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 15.03.

[7] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.02.

[8] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 08.03.

[9] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

***A Summary of Changes section appears at the end of this standard.**

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

Determine the Precision of a Test Method[10]

2.2 *ISO Standard:*

ISO 527-1 Determination of Tensile Properties[11]

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Definitions of terms applying to this test method appear in Terminology D 883 and Annex A2.

4. Significance and Use

4.1 This test method is designed to produce tensile property data for the control and specification of plastic materials. These data are also useful for qualitative characterization and for research and development. For many materials, there may be a specification that requires the use of this test method, but with some procedural modifications that take precedence when adhering to the specification. Therefore, it is advisable to refer to that material specification before using this test method. Table 1 in Classification D 4000 lists the ASTM materials standards that currently exist.

4.2 Tensile properties may vary with specimen preparation and with speed and environment of testing. Consequently, where precise comparative results are desired, these factors must be carefully controlled.

4.2.1 It is realized that a material cannot be tested without also testing the method of preparation of that material. Hence, when comparative tests of materials per se are desired, the greatest care must be exercised to ensure that all samples are prepared in exactly the same way, unless the test is to include the effects of sample preparation. Similarly, for referee purposes or comparisons within any given series of specimens, care must be taken to secure the maximum degree of uniformity in details of preparation, treatment, and handling.

4.3 Tensile properties may provide useful data for plastics engineering design purposes. However, because of the high degree of sensitivity exhibited by many plastics to rate of straining and environmental conditions, data obtained by this test method cannot be considered valid for applications involving load-time scales or environments widely different from those of this test method. In cases of such dissimilarity, no reliable estimation of the limit of usefulness can be made for most plastics. This sensitivity to rate of straining and environment necessitates testing over a broad load-time scale (including impact and creep) and range of environmental conditions if tensile properties are to suffice for engineering design purposes.

NOTE 5—Since the existence of a true elastic limit in plastics (as in many other organic materials and in many metals) is debatable, the propriety of applying the term "elastic modulus" in its quoted, generally accepted definition to describe the "stiffness" or "rigidity" of a plastic has been seriously questioned. The exact stress-strain characteristics of plastic materials are highly dependent on such factors as rate of application of stress, temperature, previous history of specimen, etc. However, stress-strain curves for plastics, determined as described in this test method, almost always show a linear region at low stresses, and a straight line drawn tangent to this portion of the curve permits calculation of an elastic modulus of the usually defined type. Such a constant is useful if its arbitrary nature and dependence on time, temperature, and similar factors are realized.

4.4 *Poisson's Ratio*—When uniaxial tensile force is applied to a solid, the solid stretches in the direction of the applied force (axially), but it also contracts in both dimensions lateral to the applied force. If the solid is homogeneous and isotropic, and the material remains elastic under the action of the applied force, the lateral strain bears a constant relationship to the axial strain. This constant, called Poisson's ratio, is defined as the negative ratio of the transverse (negative) to axial strain under uniaxial stress.

4.4.1 Poisson's ratio is used for the design of structures in which all dimensional changes resulting from the application of force need to be taken into account and in the application of the generalized theory of elasticity to structural analysis.

NOTE 6—The accuracy of the determination of Poisson's ratio is usually limited by the accuracy of the transverse strain measurements because the percentage errors in these measurements are usually greater than in the axial strain measurements. Since a ratio rather than an absolute quantity is measured, it is only necessary to know accurately the relative value of the calibration factors of the extensometers. Also, in general, the value of the applied loads need not be known accurately.

5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—A testing machine of the constant-rate-of-crosshead-movement type and comprising essentially the following:

5.1.1 *Fixed Member*—A fixed or essentially stationary member carrying one grip.

5.1.2 *Movable Member*—A movable member carrying a second grip.

5.1.3 *Grips*—Grips for holding the test specimen between the fixed member and the movable member of the testing machine can be either the fixed or self-aligning type.

5.1.3.1 Fixed grips are rigidly attached to the fixed and movable members of the testing machine. When this type of grip is used extreme care should be taken to ensure that the test specimen is inserted and clamped so that the long axis of the test specimen coincides with the direction of pull through the center line of the grip assembly.

5.1.3.2 Self-aligning grips are attached to the fixed and movable members of the testing machine in such a manner that they will move freely into alignment as soon as any load is applied so that the long axis of the test specimen will coincide with the direction of the applied pull through the center line of the grip assembly. The specimens should be aligned as perfectly as possible with the direction of pull so that no rotary motion that may induce slippage will occur in the grips; there is a limit to the amount of misalignment self-aligning grips will accommodate.

5.1.3.3 The test specimen shall be held in such a way that slippage relative to the grips is prevented insofar as possible. Grip surfaces that are deeply scored or serrated with a pattern similar to those of a coarse single-cut file, serrations about 2.4 mm (0.09 in.) apart and about 1.6 mm (0.06 in.) deep, have been found satisfactory for most thermoplastics. Finer serrations have been found to be more satisfactory for harder plastics, such as the thermosetting materials. The serrations

[10] *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

[11] Available from American National Standards Institute, 25 W. 43rd St., 4th Floor, New York, NY 10036.

should be kept clean and sharp. Breaking in the grips may occur at times, even when deep serrations or abraded specimen surfaces are used; other techniques must be used in these cases. Other techniques that have been found useful, particularly with smooth-faced grips, are abrading that portion of the surface of the specimen that will be in the grips, and interposing thin pieces of abrasive cloth, abrasive paper, or plastic, or rubber-coated fabric, commonly called hospital sheeting, between the specimen and the grip surface. No. 80 double-sided abrasive paper has been found effective in many cases. An open-mesh fabric, in which the threads are coated with abrasive, has also been effective. Reducing the cross-sectional area of the specimen may also be effective. The use of special types of grips is sometimes necessary to eliminate slippage and breakage in the grips.

5.1.4 *Drive Mechanism*—A drive mechanism for imparting to the movable member a uniform, controlled velocity with respect to the stationary member, with this velocity to be regulated as specified in Section 8.

5.1.5 *Load Indicator*—A suitable load-indicating mechanism capable of showing the total tensile load carried by the test specimen when held by the grips. This mechanism shall be essentially free of inertia lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy of ±1 % of the indicated value, or better. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with Practices E 4.

NOTE 7—Experience has shown that many testing machines now in use are incapable of maintaining accuracy for as long as the periods between inspection recommended in Practices E 4. Hence, it is recommended that each machine be studied individually and verified as often as may be found necessary. It frequently will be necessary to perform this function daily.

5.1.6 The fixed member, movable member, drive mechanism, and grips shall be constructed of such materials and in such proportions that the total elastic longitudinal strain of the system constituted by these parts does not exceed 1 % of the total longitudinal strain between the two gage marks on the test specimen at any time during the test and at any load up to the rated capacity of the machine.

5.1.7 *Crosshead Extension Indicator*—A suitable extension indicating mechanism capable of showing the amount of change in the separation of the grips, that is, crosshead movement. This mechanism shall be essentially free of inertial lag at the specified rate of testing and shall indicate the crosshead movement with an accuracy of ±10 % of the indicated value.

5.2 *Extension Indicator* (extensometer)—A suitable instrument shall be used for determining the distance between two designated points within the gage length of the test specimen as the specimen is stretched. For referee purposes, the extensometer must be set at the full gage length of the specimen, as shown in Fig. 1. It is desirable, but not essential, that this instrument automatically record this distance, or any change in it, as a function of the load on the test specimen or of the elapsed time from the start of the test, or both. If only the latter is obtained, load-time data must also be taken. This instrument shall be essentially free of inertia at the specified speed of testing. Extensometers shall be classified and their calibration periodically verified in accordance with Practice E 83.

5.2.1 *Modulus-of-Elasticity Measurements*—For modulus-of-elasticity measurements, an extensometer with a maximum strain error of 0.0002 mm/mm (in./in.) that automatically and continuously records shall be used. An extensometer classified by Practice E 83 as fulfilling the requirements of a B-2 classification within the range of use for modulus measurements meets this requirement.

5.2.2 *Low-Extension Measurements*—For elongation-at-yield and low-extension measurements (nominally 20 % or less), the same above extensometer, attenuated to 20 % extension, may be used. In any case, the extensometer system must meet at least Class C (Practice E 83) requirements, which include a fixed strain error of 0.001 strain or ±1.0 % of the indicated strain, whichever is greater.

5.2.3 *High-Extension Measurements*—For making measurements at elongations greater than 20 %, measuring techniques with error no greater than ±10 % of the measured value are acceptable.

5.2.4 *Poisson's Ratio*—Bi-axial extensometer or axial and transverse extensometers capable of recording axial strain and transverse strain simultaneously. The extensometers shall be capable of measuring the change in strains with an accuracy of 1 % of the relevant value or better.

NOTE 8—Strain gages can be used as an alternative method to measure axial and transverse strain; however, proper techniques for mounting strain gages are crucial to obtaining accurate data. Consult strain gage suppliers for instruction and training in these special techniques.

5.3 *Micrometers*—Suitable micrometers for measuring the width and thickness of the test specimen to an incremental discrimination of at least 0.025 mm (0.001 in.) should be used. All width and thickness measurements of rigid and semirigid plastics may be measured with a hand micrometer with ratchet. A suitable instrument for measuring the thickness of nonrigid test specimens shall have: *(1)* a contact measuring pressure of 25 ± 2.5 kPa (3.6 ± 0.36 psi), *(2)* a movable circular contact foot 6.35 ± 0.025 mm (0.250 ± 0.001 in.) in diameter, and *(3)* a lower fixed anvil large enough to extend beyond the contact foot in all directions and being parallel to the contact foot within 0.005 mm (0.0002 in.) over the entire foot area. Flatness of the foot and anvil shall conform to Test Method D 5947.

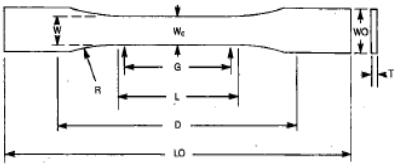
5.3.1 An optional instrument equipped with a circular contact foot 15.88 ± 0.08 mm (0.625 ± 0.003 in.) in diameter is recommended for thickness measuring of process samples or larger specimens at least 15.88 mm in minimum width.

6. Test Specimens

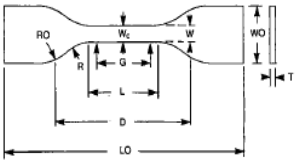
6.1 *Sheet, Plate, and Molded Plastics*:

6.1.1 *Rigid and Semirigid Plastics*—The test specimen shall conform to the dimensions shown in Fig. 1. The Type I specimen is the preferred specimen and shall be used where sufficient material having a thickness of 7 mm (0.28 in.) or less is available. The Type II specimen may be used when a material does not break in the narrow section with the preferred Type I specimen. The Type V specimen shall be used where only limited material having a thickness of 4 mm (0.16 in.) or less is available for evaluation, or where a large number of

D 638 – 02a



TYPES I, II, III & V



TYPE IV

Specimen Dimensions for Thickness, *T*, mm (in.)[A]

Dimensions (see drawings)	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl	4 (0.16) or under		Tolerances
	Type I	Type II	Type III	Type IV[B]	Type V[C,D]	
W—Width of narrow section[E,F]	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02)[B,C]
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02)[C]
WO—Width overall, min[G]	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)
WO—Width overall, min[G]	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO—Length overall, min[H]	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G—Gage length[I]	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010)[C]
G—Gage length[I]	...	...	...	25 (1.00)	...	±0.13 (±0.005)
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5)[J]	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04)[C]
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	±1 (±0.04)

[A] Thickness, *T*, shall be 3.2± 0.4 mm (0.13 ± 0.02 in.) for all types of molded specimens, and for other Types I and II specimens where possible. If specimens are machined from sheets or plates, thickness, *T*, may be the thickness of the sheet or plate provided this does not exceed the range stated for the intended specimen type. For sheets of nominal thickness greater than 14 mm (0.55 in.) the specimens shall be machined to 14 ± 0.4 mm (0.55 ± 0.02 in.) in thickness, for use with the Type III specimen. For sheets of nominal thickness between 14 and 51 mm (0.55 and 2 in.) approximately equal amounts shall be machined from each surface. For thicker sheets both surfaces of the specimen shall be machined, and the location of the specimen with reference to the original thickness of the sheet shall be noted. Tolerances on thickness less than 14 mm (0.55 in.) shall be those standard for the grade of material tested.

[B] For the Type IV specimen, the internal width of the narrow section of the die shall be 6.00 ± 0.05 mm (0.250± 0.002 in.). The dimensions are essentially those of Die C in Test Methods D 412.

[C] The Type V specimen shall be machined or die cut to the dimensions shown, or molded in a mold whose cavity has these dimensions. The dimensions shall be:

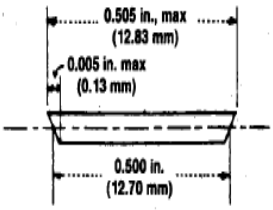
W = 3.18 ± 0.03 mm (0.125 ± 0.001 in.),
L = 9.53 ± 0.08 mm (0.375 ± 0.003 in.),
G = 7.62 ± 0.02 mm (0.300 ± 0.001 in.), and
R = 12.7 ± 0.08 mm (0.500 ± 0.003 in.).

The other tolerances are those in the table.

[D] Supporting data on the introduction of the L specimen of Test Method D 1822 as the Type V specimen are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1038.

[E] The width at the center W_c shall be +0.00 mm, −0.10 mm (+0.000 in., −0.004 in.) compared with width *W* at other parts of the reduced section. Any reduction in *W* at the center shall be gradual, equally on each side so that no abrupt changes in dimension result.

[F] For molded specimens, a draft of not over 0.13 mm (0.005 in.) may be allowed for either Type I or II specimens 3.2 mm (0.13 in.) in thickness, and this should be taken into account when calculating width of the specimen. Thus a typical section of a molded Type I specimen, having the maximum allowable draft, could be as follows:



[G] Overall widths greater than the minimum indicated may be desirable for some materials in order to avoid breaking in the grips.

[H] Overall lengths greater than the minimum indicated may be desirable either to avoid breaking in the grips or to satisfy special test requirements.

[I] Test marks or initial extensometer span.

[J] When self-tightening grips are used, for highly extensible polymers, the distance between grips will depend upon the types of grips used and may not be critical if maintained uniform once chosen.

FIG. 1 Tension Test Specimens for Sheet, Plate, and Molded Plastics

specimens are to be exposed in a limited space (thermal and environmental stability tests, etc.). The Type IV specimen should be used when direct comparisons are required between materials in different rigidity cases (that is, nonrigid and

D 638 – 02a

semirigid). The Type III specimen must be used for all materials with a thickness of greater than 7 mm (0.28 in.) but not more than 14 mm (0.55 in.).

6.1.2 *Nonrigid Plastics*—The test specimen shall conform to the dimensions shown in Fig. 1. The Type IV specimen shall be used for testing nonrigid plastics with a thickness of 4 mm (0.16 in.) or less. The Type III specimen must be used for all materials with a thickness greater than 7 mm (0.28 in.) but not more than 14 mm (0.55 in.).

6.1.3 *Reinforced Composites*—The test specimen for reinforced composites, including highly orthotropic laminates, shall conform to the dimensions of the Type I specimen shown in Fig. 1.

6.1.4 *Preparation*—Test specimens shall be prepared by machining operations, or die cutting, from materials in sheet, plate, slab, or similar form. Materials thicker than 14 mm (0.55 in.) must be machined to 14 mm (0.55 in.) for use as Type III specimens. Specimens can also be prepared by molding the material to be tested.

NOTE 9—Test results have shown that for some materials such as glass cloth, SMC, and BMC laminates, other specimen types should be considered to ensure breakage within the gage length of the specimen, as mandated by 7.3.

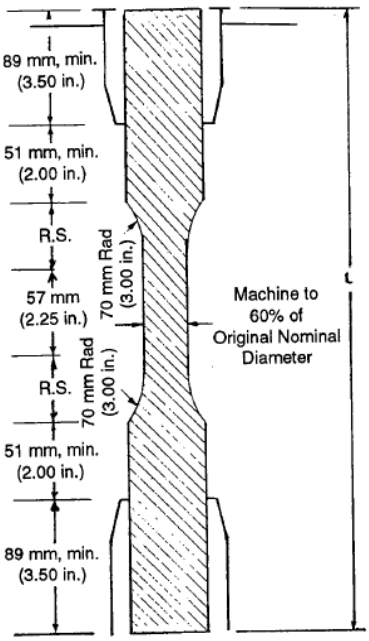
NOTE 10—When preparing specimens from certain composite laminates such as woven roving, or glass cloth, care must be exercised in cutting the specimens parallel to the reinforcement. The reinforcement will be significantly weakened by cutting on a bias, resulting in lower laminate properties, unless testing of specimens in a direction other than parallel with the reinforcement constitutes a variable being studied.

NOTE 11—Specimens prepared by injection molding may have different tensile properties than specimens prepared by machining or die-cutting because of the orientation induced. This effect may be more pronounced in specimens with narrow sections.

6.2 *Rigid Tubes*—The test specimen for rigid tubes shall be as shown in Fig. 2. The length, *L*, shall be as shown in the table in Fig. 2. A groove shall be machined around the outside of the specimen at the center of its length so that the wall section after machining shall be 60 % of the original nominal wall thickness. This groove shall consist of a straight section 57.2 mm (2.25 in.) in length with a radius of 76 mm (3 in.) at each end joining it to the outside diameter. Steel or brass plugs having diameters such that they will fit snugly inside the tube and having a length equal to the full jaw length plus 25 mm (1 in.) shall be placed in the ends of the specimens to prevent crushing. They can be located conveniently in the tube by separating and supporting them on a threaded metal rod. Details of plugs and test assembly are shown in Fig. 2.

6.3 *Rigid Rods*—The test specimen for rigid rods shall be as shown in Fig. 3. The length, *L*, shall be as shown in the table in Fig. 3. A groove shall be machined around the specimen at the center of its length so that the diameter of the machined portion shall be 60 % of the original nominal diameter. This groove shall consist of a straight section 57.2 mm (2.25 in.) in length with a radius of 76 mm (3 in.) at each end joining it to the outside diameter.

6.4 All surfaces of the specimen shall be free of visible flaws, scratches, or imperfections. Marks left by coarse machining operations shall be carefully removed with a fine file or abrasive, and the filed surfaces shall then be smoothed with abrasive paper (No. 00 or finer). The finishing sanding strokes shall be made in a direction parallel to the long axis of the test specimen. All flash shall be removed from a molded specimen, taking great care not to disturb the molded surfaces. In machining a specimen, undercuts that would exceed the dimensional tolerances shown in Fig. 1 shall be scrupulously avoided. Care shall also be taken to avoid other common machining errors.



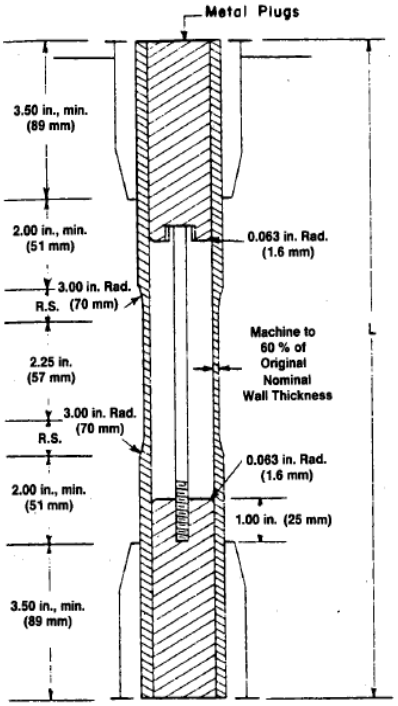
DIMENSIONS OF ROD SPECIMENS

Nominal Diameter	Length of Radial Sections, 2R.S.	Total Calculated Minimum Length of Specimen	Standard Length, *L*, of Specimen to Be Used for 89-mm (3½-in.) Jaws[A]
mm (in.)			
3.2 (⅛)	19.6 (0.773)	356 (14.02)	381 (15)
4.7 (1/16)	24.0 (0.946)	361 (14.20)	381 (15)
6.4 (¼)	27.7 (1.091)	364 (14.34)	381 (15)
9.5 (⅜)	33.9 (1.333)	370 (14.58)	381 (15)
12.7 (½)	39.0 (1.536)	376 (14.79)	400 (15.75)
15.9 (⅝)	43.5 (1.714)	380 (14.96)	400 (15.75)
19.0 (¾)	47.6 (1.873)	384 (15.12)	400 (15.75)
22.2 (⅞)	51.5 (2.019)	388 (15.27)	400 (15.75)
25.4 (1)	54.7 (2.154)	391 (15.40)	419 (16.5)
31.8 (1¼)	60.9 (2.398)	396 (15.65)	419 (16.5)
38.1 (1½)	66.4 (2.615)	403 (15.87)	419 (16.5)
42.5 (1¾)	71.4 (2.812)	408 (16.06)	419 (16.5)
50.8 (2)	76.0 (2.993)	412 (16.24)	432 (17)

[A] For other jaws greater than 89 mm (3.5 in.), the standard length shall be increased by twice the length of the jaws minus 178 mm (7 in.). The standard length permits a slippage of approximately 6.4 to 12.7 mm (0.25 to 0.50 in.) in each jaw while maintaining the maximum length of the jaw grip.

FIG. 3 Diagram Showing Location of Rod Tension Test Specimen in Testing Machine

D 638 – 02a



DIMENSIONS OF TUBE SPECIMENS

Nominal Wall Thickness	Length of Radial Sections, 2R.S.	Total Calculated Minimum Length of Specimen	Standard Length, *L*, of Specimen to Be Used for 89-mm (3.5-in.) Jaws[A]
mm (in.)			
0.79 (1/32)	13.9 (0.547)	350 (13.80)	381 (15)
1.2 (3/64)	17.0 (0.670)	354 (13.92)	381 (15)
1.6 (1/16)	19.6 (0.773)	356 (14.02)	381 (15)
2.4 (3/32)	24.0 (0.946)	361 (14.20)	381 (15)
3.2 (1/8)	27.7 (1.091)	364 (14.34)	381 (15)
4.8 (3/16)	33.9 (1.333)	370 (14.58)	381 (15)
6.4 (1/4)	39.0 (1.536)	376 (14.79)	400 (15.75)
7.9 (5/16)	43.5 (1.714)	380 (14.96)	400 (15.75)
9.5 (3/8)	47.6 (1.873)	384 (15.12)	400 (15.75)
11.1 (7/16)	51.3 (2.019)	388 (15.27)	400 (15.75)
12.7 (1/2)	54.7 (2.154)	391 (15.40)	419 (16.5)

[A] For other jaws greater than 89 mm (3.5 in.), the standard length shall be increased by twice the length of the jaws minus 178 mm (7 in.). The standard length permits a slippage of approximately 6.4 to 12.7 mm (0.25 to 0.50 in.) in each jaw while maintaining the maximum length of the jaw grip.

FIG. 2 Diagram Showing Location of Tube Tension Test Specimens in Testing Machine

6.5 If it is necessary to place gage marks on the specimen, this shall be done with a wax crayon or India ink that will not affect the material being tested. Gage marks shall not be scratched, punched, or impressed on the specimen.

6.6 When testing materials that are suspected of anisotropy, duplicate sets of test specimens shall be prepared, having their long axes respectively parallel with, and normal to, the suspected direction of anisotropy.

7. Number of Test Specimens

7.1 Test at least five specimens for each sample in the case of isotropic materials.

7.2 Test ten specimens, five normal to, and five parallel with, the principle axis of anisotropy, for each sample in the case of anisotropic materials.

7.3 Discard specimens that break at some flaw, or that break outside of the narrow cross-sectional test section (Fig. 1, dimension "L"), and make retests, unless such flaws constitute a variable to be studied.

NOTE 12—Before testing, all transparent specimens should be inspected in a polariscope. Those which show atypical or concentrated strain patterns should be rejected, unless the effects of these residual strains constitute a variable to be studied.

8. Speed of Testing

8.1 Speed of testing shall be the relative rate of motion of the grips or test fixtures during the test. The rate of motion of the driven grip or fixture when the testing machine is running idle may be used, if it can be shown that the resulting speed of testing is within the limits of variation allowed.

8.2 Choose the speed of testing from Table 1. Determine this chosen speed of testing by the specification for the material being tested, or by agreement between those concerned. When the speed is not specified, use the lowest speed shown in Table 1 for the specimen geometry being used, which gives rupture within ½ to 5-min testing time.

8.3 Modulus determinations may be made at the speed selected for the other tensile properties when the recorder response and resolution are adequate.

TABLE 1 Designations for Speed of Testing[A]

Classification[B]	Specimen Type	Speed of Testing, mm/min (in./min)	Nominal Strain[C] Rate at Start of Test, mm/mm· min (in./in.-min)
Rigid and Semirigid	I, II, III rods and tubes	5 (0.2) ± 25 %	0.1
		50 (2) ± 10 %	1
		500 (20) ± 10 %	10
	IV	5 (0.2) ± 25 %	0.15
		50 (2) ± 10 %	1.5
		500 (20) ± 10 %	15
	V	1 (0.05) ± 25 %	0.1
		10 (0.5) ± 25 %	1
		100 (5) ± 25 %	10
Nonrigid	III	50 (2) ± 10 %	1
		500 (20) ± 10 %	10
	IV	50 (2) ± 10 %	1.5
		500 (20) ± 10 %	15

[A] Select the lowest speed that produces rupture in ½ to 5 min for the specimen geometry being used (see 8.2).

[B] See Terminology D 883 for definitions.

[C] The initial rate of straining cannot be calculated exactly for dumbbell-shaped specimens because of extension, both in the reduced section outside the gage length and in the fillets. This initial strain rate can be measured from the initial slope of the tensile strain-versus-time diagram.

8.4 Poisson's ratio determinations shall be made at the same speed selected for modulus determinations.

9. Conditioning

9.1 *Conditioning*—Condition the test specimens at 23 ± 2°C (73.4 ± 3.6°F) and 50 ± 5 % relative humidity for not less than 40 h prior to test in accordance with Procedure A of Practice D 618, unless otherwise specified by contract or the relevant ASTM material specification. Reference pre-test conditioning, to settle disagreements, shall apply tolerances of ±1°C (1.8°F) and ±2 % relative humidity.

9.2 *Test Conditions*—Conduct the tests at 23 ± 2°C (73.4 ± 3.6°F) and 50 ± 5 % relative humidity, unless otherwise specified by contract or the relevant ASTM material specification. Reference testing conditions, to settle disagreements, shall apply tolerances of ±1°C (1.8°F) and ±2 % relative humidity.

10. Procedure

10.1 Measure the width and thickness of rigid flat specimens (Fig. 1) with a suitable micrometer to the nearest 0.025 mm (0.001 in.) at several points along their narrow sections. Measure the thickness of nonrigid specimens (produced by a Type IV die) in the same manner with the required dial micrometer. Take the width of this specimen as the distance between the cutting edges of the die in the narrow section. Measure the diameter of rod specimens, and the inside and outside diameters of tube specimens, to the nearest 0.025 mm (0.001 in.) at a minimum of two points 90° apart; make these measurements along the groove for specimens so constructed. Use plugs in testing tube specimens, as shown in Fig. 2.

TABLE 2 Modulus, 10^6 psi, for Eight Laboratories, Five Materials

	Mean	S_r	S_R	I_r	I_R
Polypropylene	0.210	0.0089	0.071	0.025	0.201
Cellulose acetate butyrate	0.246	0.0179	0.035	0.051	0.144
Acrylic	0.481	0.0179	0.063	0.051	0.144
Glass-reinforced nylon	1.17	0.0537	0.217	0.152	0.614
Glass-reinforced polyester	1.39	0.0894	0.266	0.253	0.753

10.2 Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the specimen and the grips with an imaginary line joining the points of attachment of the grips to the machine. The distance between the ends of the gripping surfaces, when using flat specimens, shall be as indicated in Fig. 1. On tube and rod specimens, the location for the grips shall be as shown in Fig. 2 and Fig. 3. Tighten the grips evenly and firmly to the degree necessary to prevent slippage of the specimen during the test, but not to the point where the specimen would be crushed.

10.3 Attach the extension indicator. When modulus is being determined, a Class B-2 or better extensometer is required (see 5.2.1).

NOTE 13—Modulus of materials is determined from the slope of the linear portion of the stress-strain curve. For most plastics, this linear portion is very small, occurs very rapidly, and must be recorded automatically. The change in jaw separation is never to be used for calculating modulus or elongation.

10.3.1 *Poisson's Ratio Determination:*

10.3.1.1 When Poisson's ratio is determined, the speed of testing and the load range at which it is determined shall be the same as those used for modulus of elasticity.

10.3.1.2 Attach the transverse strain measuring device. The transverse strain measuring device must continuously measure the strain simultaneously with the axial strain measuring device.

TABLE 3 Tensile Stress at Yield, 10^3 psi, for Eight Laboratories, Three Materials

	Mean	S_r	S_R	I_r	I_R
Polypropylene	3.63	0.022	0.161	0.062	0.456
Cellulose acetate butyrate	5.01	0.058	0.227	0.164	0.642
Acrylic	10.4	0.067	0.317	0.190	0.897

TABLE 4 Elongation at Yield, %, for Eight Laboratories, Three Materials

	Mean	S_r	S_R	I_r	I_R
Cellulose acetate butyrate	3.65	0.27	0.62	0.76	1.75
Acrylic	4.89	0.21	0.55	0.59	1.56
Polypropylene	8.79	0.45	5.86	1.27	16.5

10.3.1.3 Make simultaneous measurements of load and strain and record the data. The precision of the value of Poisson's ratio will depend on the number of data points of axial and transverse strain taken.

10.4 Set the speed of testing at the proper rate as required in Section 8, and start the machine.

10.5 Record the load-extension curve of the specimen.

10.6 Record the load and extension at the yield point (if one exists) and the load and extension at the moment of rupture.

NOTE 14—If it is desired to measure both modulus and failure properties (yield or break, or both), it may be necessary, in the case of highly extensible materials, to run two independent tests. The high magnification extensometer normally used to determine properties up to the yield point may not be suitable for tests involving high extensibility. If allowed to remain attached to the specimen, the extensometer could be permanently damaged. A broad-range incremental extensometer or hand-rule technique may be needed when such materials are taken to rupture.

11. Calculation

11.1 Toe compensation shall be made in accordance with Annex A1, unless it can be shown that the toe region of the curve is not due to the take-up of slack, seating of the specimen, or other artifact, but rather is an authentic material response.

11.2 *Tensile Strength*—Calculate the tensile strength by dividing the maximum load in newtons (or pounds-force) by the original minimum cross-sectional area of the specimen in square metres (or square inches). Express the result in pascals (or pounds-force per square inch) and report it to three significant figures as tensile strength at yield or tensile strength at break, whichever term is applicable. When a nominal yield or break load less than the maximum is present and applicable, it may be desirable also to calculate, in a similar manner, the corresponding tensile stress at yield or tensile stress at break and report it to three significant figures (see Note A2.8).

11.3 Elongation values are valid and are reported in cases where uniformity of deformation within the specimen gage length is present. Elongation values are quantitatively relevant and appropriate for engineering design. When non-uniform deformation (such as necking) occurs within the specimen gage length nominal strain values are reported. Nominal strain values are of qualitative utility only.

shall be calculated whenever possible. However, for materials where no proportionality is evident, the secant value shall be calculated. Draw the tangent as directed in A1.3 and Fig. A1.2, and mark off the designated strain from the yield point where the tangent line goes through zero stress. The stress to be used in the calculation is then determined by dividing the load-extension curve by the original average cross-sectional area of

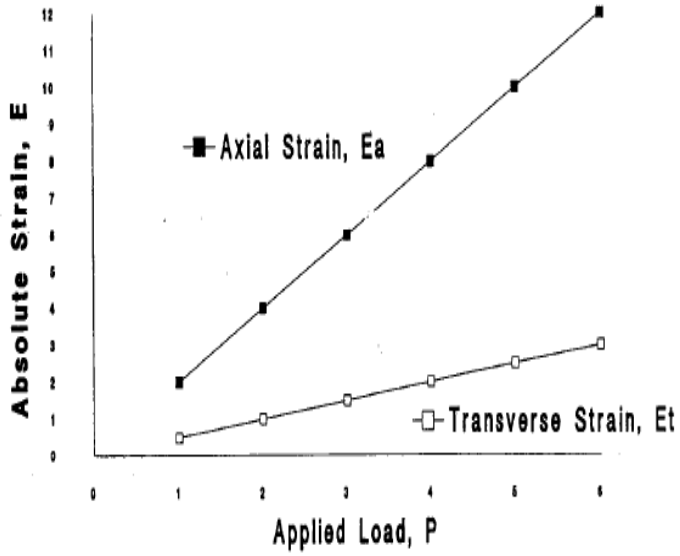


FIG. 4 Plot of Strains Versus Load for Determination of Poisson's Ratio

11.3.1 *Percent Elongation*—Percent elongation is the change in gage length relative to the original specimen gage length, expressed as a percent. Percent elongation is calculated using the apparatus described in 5.2.

11.3.1.1 *Percent Elongation at Yield*—Calculate the percent elongation at yield by reading the extension (change in gage length) at the yield point. Divide that extension by the original gage length and multiply by 100.

11.3.1.2 *Percent Elongation at Break*—Calculate the percent elongation at break by reading the extension (change in gage length) at the point of specimen rupture. Divide that extension by the original gage length and multiply by 100.

11.3.2 *Nominal Strain*—Nominal strain is the change in grip separation relative to the original grip separation expressed as a percent. Nominal strain is calculated using the apparatus described in 5.1.7.

11.3.2.1 *Nominal strain at break*—Calculate the nominal strain at break by reading the extension (change in grip separation) at the point of rupture. Divide that extension by the original grip separation and multiply by 100.

11.4 *Modulus of Elasticity*—Calculate the modulus of elasticity by extending the initial linear portion of the load-extension curve and dividing the difference in stress corresponding to any segment of section on this straight line by the corresponding difference in strain. All elastic modulus values shall be computed using the average initial cross-sectional area of the test specimens in the calculations. The result shall be expressed in pascals (pounds-force per square inch) and reported to three significant figures.

11.5 *Secant Modulus*—At a designated strain, this shall be calculated by dividing the corresponding stress (nominal) by the designated strain. Elastic modulus values are preferable and

the specimen.

11.6 *Poisson's Ratio*—The axial strain, ϵ_a, indicated by the axial extensometer, and the transverse strain, ϵ, indicated by the transverse extensometers, are plotted against the applied load, P, as shown in Fig. 4. A straight line is drawn through each set of points, and the slopes, $d\epsilon_a / dP$ and $d\epsilon_t / dP$, of these lines are determined. Poisson's ratio, μ, is then calculated as follows:

$$\mu = -(d\epsilon_t / dP)/(d\epsilon_a / dP) \quad (1)$$

where:
$d\epsilon_t$ = change in transverse strain,
$d\epsilon_a$ = change in axial strain, and
dP = change in applied load;
or

$$\mu = -(d\epsilon_t) / (d\epsilon_a) \quad (2)$$

11.6.1 The errors that may be introduced by drawing a straight line through the points can be reduced by applying the method of least squares.

11.7 For each series of tests, calculate the arithmetic mean of all values obtained and report it as the "average value" for the particular property in question.

11.8 Calculate the standard deviation (estimated) as follows and report it to two significant figures:

$$s = \sqrt{(\Sigma X^2 - n\bar{X}^2) / (n - 1)} \quad (3)$$

where:
s = estimated standard deviation,
X = value of single observation,

n = number of observations, and
$\bar{X}$ = arithmetic mean of the set of observations.

11.9 See Annex A1 for information on toe compensation.

TABLE 5 Tensile Strength at Break, 10^3 psi, for Eight Laboratories, Five Materials[A]

	Mean	S_r	S_R	I_r	I_R
Polypropylene	2.97	1.54	1.65	4.37	4.66
Cellulose acetate butyrate	4.82	0.058	0.180	0.164	0.509
Acrylic	9.09	0.452	0.751	1.27	2.13
Glass-reinforced polyester	20.8	0.233	0.437	0.659	1.24
Glass-reinforced nylon	23.6	0.277	0.698	0.784	1.98

[A] Tensile strength and elongation at break values obtained for unreinforced propylene plastics generally are highly variable due to inconsistencies in necking or "drawing" of the center section of the test bar. Since tensile strength and elongation at yield are more reproducible and relate in most cases to the practical usefulness of a molded part, they are generally recommended for specification purposes.

TABLE 6 Elongation at Break, %, for Eight Laboratories, Five Materials[A]

	Mean	S_r	S_R	I_r	I_R
Glass-reinforced polyester	3.68	0.20	2.33	0.570	6.59
Glass-reinforced nylon	3.87	0.10	2.13	0.283	6.03
Acrylic	13.2	2.05	3.65	5.80	10.3
Cellulose acetate butyrate	14.1	1.87	6.62	5.29	18.7
Polypropylene	293.0	50.9	119.0	144.0	337.0

[A] Tensile strength and elongation at break values obtained for unreinforced propylene plastics generally are highly variable due to inconsistencies in necking or "drawing" of the center section of the test bar. Since tensile strength and elongation at yield are more reproducible and relate in most cases to the practical usefulness of a molded part, they are generally recommended for specification purposes.

TABLE 7 Tensile Yield Strength, for Ten Laboratories, Eight Materials

Material	Test Speed, in./min	Values Expressed in psi Units				
		Average	S_r	S_R	r	R
LDPE	20	1544	52.4	64.0	146.6	179.3
LDPE	20	1894	53.1	61.2	148.7	171.3
LLDPE	20	1879	74.2	99.9	207.8	279.7
LLDPE	20	1791	49.2	75.8	137.9	212.3
LLDPE	20	2900	55.5	87.9	155.4	246.1
LLDPE	20	1730	63.9	96.0	178.9	268.7
HDPE	2	4101	196.1	371.9	549.1	1041.3
HDPE	2	3523	175.9	478.0	492.4	1338.5

12. Report

12.1 Report the following information:

12.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code numbers, form, principal dimensions, previous history, etc.,

12.1.2 Method of preparing test specimens,

12.1.3 Type of test specimen and dimensions,

12.1.4 Conditioning procedure used,

12.1.5 Atmospheric conditions in test room,

12.1.6 Number of specimens tested,

12.1.7 Speed of testing,

12.1.8 Classification of extensometers used. A description of measuring technique and calculations employed instead of a minimum Class-C extensometer system,

12.1.9 Tensile strength at yield or break, average value, and standard deviation,

12.1.10 Tensile stress at yield or break, if applicable, average value, and standard deviation,

12.1.11 Percent elongation at yield, or break, or nominal strain at break, or all three, as applicable, average value, and standard deviation,

12.1.12 Modulus of elasticity, average value, and standard deviation,

12.1.13 Date of test, and

12.1.14 Revision date of Test Method D 638.

13. Precision and Bias [12]

13.1 *Precision*—Tables 2-6 are based on a round-robin test conducted in 1984, involving five materials tested by eight laboratories using the Type I specimen, all of nominal 0.125-in. thickness. Each test result was based on five individual determinations. Each laboratory obtained two test results for each material.

TABLE 8 Tensile Yield Elongation, for Eight Laboratories, Eight Materials

Material	Test Speed, in./min	Values Expressed in Percent Units				
		Average	S_r	S_R	r	R
LDPE	20	17.0	1.26	3.16	3.52	8.84
LDPE	20	14.6	1.02	2.38	2.86	6.67
LLDPE	20	15.7	1.37	2.85	3.85	7.97
LLDPE	20	16.6	1.59	3.30	4.46	9.24
LLDPE	20	11.7	1.27	2.88	3.56	8.08
LLDPE	20	15.2	1.27	2.59	3.55	7.25
HDPE	2	9.27	1.40	2.84	3.91	7.94
HDPE	2	9.63	1.23	2.75	3.45	7.71

TABLE 9 Tensile Break Strength, for Nine Laboratories, Six Materials

Material	Test Speed, in./min	Values Expressed in psi Units				
		Average	S_r	S_R	r	R
LDPE	20	1592	52.3	74.9	146.4	209.7
LDPE	20	1750	66.6	102.9	186.4	288.1
LLDPE	20	4379	127.1	219.0	355.8	613.3
LLDPE	20	2840	78.6	143.5	220.2	401.8
LLDPE	20	1679	34.3	47.0	95.96	131.6
LLDPE	20	2660	119.1	166.3	333.6	465.6

13.1.1 Tables 7-10 are based on a round-robin test conducted by the polyolefin subcommittee in 1988, involving eight polyethylene materials tested in ten laboratories. For each material, all samples were molded at one source, but the individual specimens were prepared at the laboratories that tested them. Each test result was the average of five individual determinations. Each laboratory obtained three test results for each material. Data from some laboratories could not be used for various reasons, and this is noted in each table.

13.1.2 In Tables 2-10, for the materials indicated, and for test results that derived from testing five specimens:

[12] Supporting data are available from ASTM Headquarters. Request RR:D20-1125 for the 1984 round robin and RR:D20-1170 for the 1988 round robin.

TABLE 10 Tensile Break Elongation, for Nine Laboratories, Six Materials

Material	Test Speed, in./min	Values Expressed in Percent Units				
		Average	S_r	S_R	r	R
LDPE	20	567	31.5	59.5	88.2	166.6
LDPE	20	569	61.5	89.2	172.3	249.7
LLDPE	20	890	25.7	113.8	71.9	318.7
LLDPE	20	64.4	6.68	11.7	18.7	32.6
LLDPE	20	803	25.7	104.4	71.9	292.5
LLDPE	20	782	41.6	96.7	116.6	270.8

13.1.2.1 S_r is the within-laboratory standard deviation of the average; $I_r = 2.83\ S_r$. (See 13.1.2.3 for application of I_r.)

13.1.2.2 S_R is the between-laboratory standard deviation of the average; $I_R = 2.83\ S_R$. (See 13.1.2.4 for application of I_R.)

13.1.2.3 *Repeatability*—In comparing two test results for the same material, obtained by the same operator using the same equipment on the same day, those test results should be judged not equivalent if they differ by more than the I_r value for that material and condition.

13.1.2.4 *Reproducibility*—In comparing two test results for the same material, obtained by different operators using different equipment on different days, those test results should be judged not equivalent if they differ by more than the I_R value for that material and condition. (This applies between different laboratories or between different equipment within the same laboratory.)

13.1.2.5 Any judgment in accordance with 13.1.2.3 and 13.1.2.4 will have an approximate 95 % (0.95) probability of being correct.

13.1.2.6 Other formulations may give somewhat different results.

13.1.2.7 For further information on the methodology used in this section, see Practice E 691.

13.1.2.8 The precision of this test method is very dependent upon the uniformity of specimen preparation, standard practices for which are covered in other documents.

13.2 *Bias*—There are no recognized standards on which to base an estimate of bias for this test method.

14. Keywords

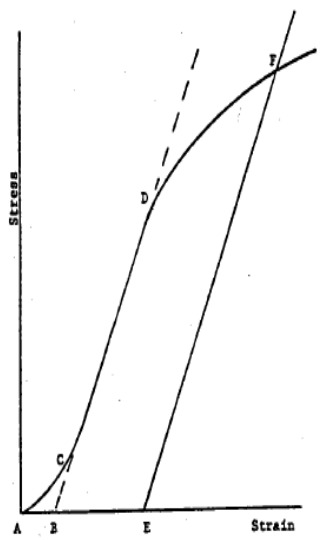
14.1 modulus of elasticity; percent elongation; plastics; tensile properties; tensile strength

ANNEXES

(Mandatory Information)

A1. TOE COMPENSATION

A1.1 In a typical stress-strain curve (Fig. A1.1) there is a toe region, *AC*, that does not represent a property of the material. It is an artifact caused by a takeup of slack and alignment or seating of the specimen. In order to obtain correct values of such parameters as modulus, strain, and offset yield point, this artifact must be compensated for to give the corrected zero point on the strain or extension axis.

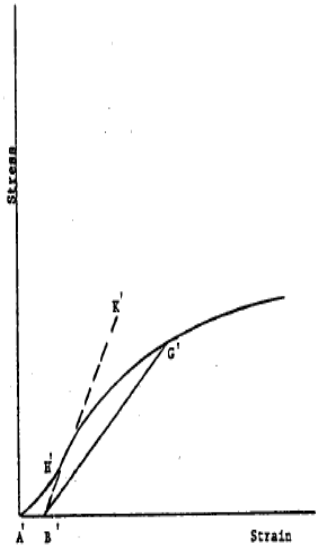


NOTE 1—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.

FIG. A1.1 Material with Hookean Region

A1.2 In the case of a material exhibiting a region of Hookean (linear) behavior (Fig. A1.1), a continuation of the linear (*CD*) region of the curve is constructed through the zero-stress axis. This intersection (*B*) is the corrected zero-strain point from which all extensions or strains must be measured, including the yield offset (*BE*), if applicable. The elastic modulus can be determined by dividing the stress at any point along the line *CD* (or its extension) by the strain at the same point (measured from Point *B*, defined as zero-strain).

A1.3 In the case of a material that does not exhibit any linear region (Fig. A1.2), the same kind of toe correction of the zero-strain point can be made by constructing a tangent to the maximum slope at the inflection point (H'). This is extended to intersect the strain axis at Point B', the corrected zero-strain point. Using Point B' as zero strain, the stress at any point (G') on the curve can be divided by the strain at that point to obtain a secant modulus (slope of Line $B'\ G'$). For those materials with no linear region, any attempt to use the tangent through the inflection point as a basis for determination of an offset yield point may result in unacceptable error.



NOTE 1—Some chart recorders plot the mirror image of this graph.

FIG. A1.2 Material with No Hookean Region

A2. DEFINITIONS OF TERMS AND SYMBOLS RELATING TO TENSION TESTING OF PLASTICS

A2.1 *elastic limit*—the greatest stress which a material is capable of sustaining without any permanent strain remaining upon complete release of the stress. It is expressed in force per unit area, usually pounds-force per square inch (megapascals).

NOTE A2.1—Measured values of proportional limit and elastic limit vary greatly with the sensitivity and accuracy of the testing equipment, eccentricity of loading, the scale to which the stress-strain diagram is plotted, and other factors. Consequently, these values are usually replaced by yield strength.

A2.2 *elongation*—the increase in length produced in the gage length of the test specimen by a tensile load. It is expressed in units of length, usually inches (millimetres). (Also known as *extension*.)

NOTE A2.2—Elongation and strain values are valid only in cases where uniformity of specimen behavior within the gage length is present. In the case of materials exhibiting necking phenomena, such values are only of qualitative utility after attainment of yield point. This is due to inability to ensure that necking will encompass the entire length between the gage marks prior to specimen failure.

A2.3 *gage length*—the original length of that portion of the specimen over which strain or change in length is determined.

A2.4 *modulus of elasticity*—the ratio of stress (nominal) to corresponding strain below the proportional limit of a material. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch). (Also known as *elastic modulus* or *Young's modulus*).

NOTE A2.3—The stress-strain relations of many plastics do not conform to Hooke's law throughout the elastic range but deviate therefrom even at stresses well below the elastic limit. For such materials the slope of the tangent to the stress-strain curve at a low stress is usually taken as the modulus of elasticity. Since the existence of a true proportional limit in plastics is debatable, the propriety of applying the term "modulus of elasticity" to describe the stiffness or rigidity of a plastic has been seriously questioned. The exact stress-strain characteristics of plastic materials are very dependent on such factors as rate of stressing, temperature, previous specimen history, etc. However, such a value is useful if its arbitrary nature and dependence on time, temperature, and other factors are realized.

A2.5 *necking*—the localized reduction in cross section which may occur in a material under tensile stress.

A2.6 *offset yield strength*—the stress at which the strain exceeds by a specified amount (the offset) an extension of the initial proportional portion of the stress-strain curve. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch).

NOTE A2.4—This measurement is useful for materials whose stress-strain curve in the yield range is of gradual curvature. The offset yield strength can be derived from a stress-strain curve as follows (Fig. A2.1):

On the strain axis lay off *OM* equal to the specified offset.

Draw *OA* tangent to the initial straight-line portion of the stress-strain curve.

Through *M* draw a line *MN* parallel to *OA* and locate the intersection of *MN* with the stress-strain curve.

The stress at the point of intersection *r* is the "offset yield strength." The specified value of the offset must be stated as a percent of the original gage length in conjunction with the strength value. *Example:* 0.1 % offset yield strength = ... MPa (psi), or yield strength at 0.1 % offset ... MPa (psi).

A2.7 *percent elongation*—the elongation of a test specimen expressed as a percent of the gage length.

A2.8 *percent elongation at break and yield:*

A2.8.1 *percent elongation at break*—the percent elongation at the moment of rupture of the test specimen.

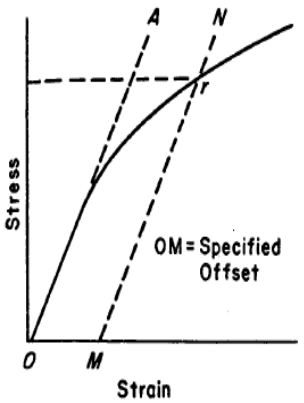


FIG. A2.1 Offset Yield Strength

A2.8.2 *percent elongation at yield*—the percent elongation at the moment the yield point (A2.21) is attained in the test specimen.

A2.9 *percent reduction of area (nominal)*—the difference between the original cross-sectional area measured at the point of rupture after breaking and after all retraction has ceased, expressed as a percent of the original area.

A2.10 *percent reduction of area (true)*—the difference between the original cross-sectional area of the test specimen and the minimum cross-sectional area within the gage boundaries prevailing at the moment of rupture, expressed as a percentage of the original area.

A2.11 *proportional limit*—the greatest stress which a material is capable of sustaining without any deviation from proportionality of stress to strain (Hooke's law). It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch).

A2.12 *rate of loading*—the change in tensile load carried by the specimen per unit time. It is expressed in force per unit time, usually newtons (pounds-force) per minute. The initial rate of loading can be calculated from the initial slope of the load versus time diagram.

A2.13 *rate of straining*—the change in tensile strain per unit time. It is expressed either as strain per unit time, usually metres per metre (inches per inch) per minute, or percent elongation per unit time, usually percent elongation per minute. The initial rate of straining can be calculated from the initial slope of the tensile strain versus time diagram.

NOTE A2.5—The initial rate of straining is synonymous with the rate of crosshead movement divided by the initial distance between crossheads only in a machine with constant rate of crosshead movement and when the specimen has a uniform original cross section, does not "neck down," and does not slip in the jaws.

A2.14 *rate of stressing (nominal)*—the change in tensile stress (nominal) per unit time. It is expressed in force per unit area per unit time, usually megapascals (pounds-force per square inch) per minute. The initial rate of stressing can be calculated from the initial slope of the tensile stress (nominal) versus time diagram.

NOTE A2.6—The initial rate of stressing as determined in this manner has only limited physical significance. It does, however, roughly describe the average rate at which the initial stress (nominal) carried by the test specimen is applied. It is affected by the elasticity and flow characteristics of the materials being tested. At the yield point, the rate of stressing (true) may continue to have a positive value if the cross-sectional area is decreasing.

A2.15 *secant modulus*—the ratio of stress (nominal) to corresponding strain at any specified point on the stress-strain curve. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch), and reported together with the specified stress or strain.

NOTE A2.7—This measurement is usually employed in place of modulus of elasticity in the case of materials whose stress-strain diagram does not demonstrate proportionality of stress to strain.

A2.16 *strain*—the ratio of the elongation to the gage length of the test specimen, that is, the change in length per unit of original length. It is expressed as a dimensionless ratio.

A2.16.1 *nominal strain at break*—the strain at the moment of rupture relative to the original grip separation.

A2.17 *tensile strength (nominal)*—the maximum tensile stress (nominal) sustained by the specimen during a tension test. When the maximum stress occurs at the yield point (A2.21), it shall be designated tensile strength at yield. When the maximum stress occurs at break, it shall be designated tensile strength at break.

A2.18 *tensile stress (nominal)*—the tensile load per unit area of minimum original cross section, within the gage boundaries, carried by the test specimen at any given moment. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (pounds-force per square inch).

NOTE A2.8—The expression of tensile properties in terms of the minimum original cross section is almost universally used in practice. In the case of materials exhibiting high extensibility or necking, or both (A2.15), nominal stress calculations may not be meaningful beyond the yield point (A2.21) due to the extensive reduction in cross-sectional area that ensues. Under some circumstances it may be desirable to express the tensile properties per unit of minimum prevailing cross section. These properties are called true tensile properties (that is, true tensile stress, etc.).

A2.19 *tensile stress-strain curve*—a diagram in which values of tensile stress are plotted as ordinates against corresponding values of tensile strain as abscissas.

A2.20 *true strain* (see Fig. A2.2) is defined by the following equation for ϵ_T:

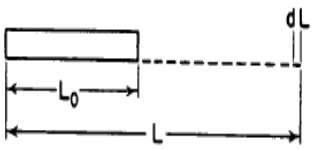


FIG. A2.2 Illustration of True Strain Equation

$$\epsilon_T = \int_{L_o}^{L} dL/L = \ln L/L_o \qquad (A2.1)$$

where:

dL = increment of elongation when the distance between the gage marks is L,
L_o = original distance between gage marks, and
L = distance between gage marks at any time.

A2.21 *yield point*—the first point on the stress-strain curve at which an increase in strain occurs without an increase in stress (Fig. A2.2).

NOTE A2.9—Only materials whose stress-strain curves exhibit a point of zero slope may be considered as having a yield point.

NOTE A2.10—Some materials exhibit a distinct "break" or discontinuity in the stress-strain curve in the elastic region. This break is not a yield point by definition. However, this point may prove useful for material characterization in some cases.

A2.22 *yield strength*—the stress at which a material exhibits a specified limiting deviation from the proportionality of stress to strain. Unless otherwise specified, this stress will be the stress at the yield point and when expressed in relation to the tensile strength shall be designated either tensile strength at yield or tensile stress at yield as required in A2.17 (Fig. A2.3). (See *offset yield strength.*)

A2.23 *Symbols*—The following symbols may be used for the above terms:

Symbol	Term
W	Load
ΔW	Increment of load
L	Distance between gage marks at any time
L_o	Original distance between gage marks
L_u	Distance between gage marks at moment of rupture
ΔL	Increment of distance between gage marks = elongation
A	Minimum cross-sectional area at any time
A_o	Original cross-sectional area
ΔA	Increment of cross-sectional area
A_u	Cross-sectional area at point of rupture measured after breaking specimen
A_T	Cross-sectional area at point of rupture, measured at the moment of rupture
t	Time
Δt	Increment of time
σ	Tensile stress
$\Delta\sigma$	Increment of stress
σ_T	True tensile stress
σ_U	Tensile strength at break (nominal)
σ_{UT}	Tensile strength at break (true)
ϵ	Strain
$\Delta\epsilon$	Increment of strain
ϵ_U	Total strain, at break
ϵ_T	True strain
%El	Percentage elongation
Y.P.	Yield point
E	Modulus of elasticity

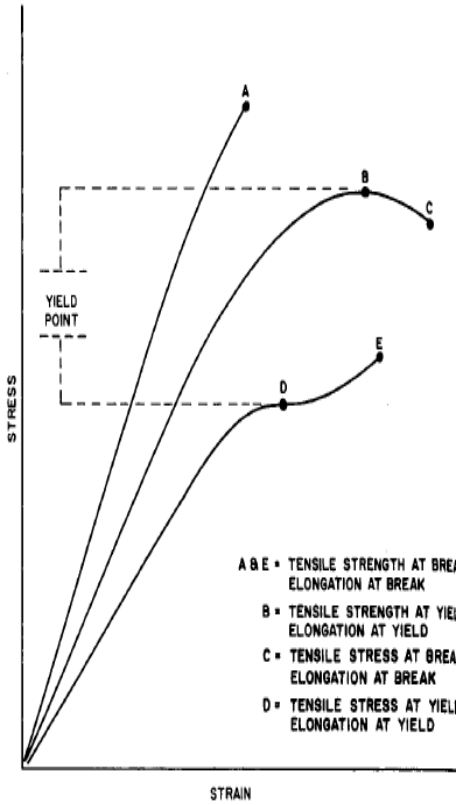


FIG. A2.3 Tensile Designations

A2.24 Relations between these various terms may be defined as follows:

$\sigma = W/A_o$
$\sigma_T = W/A$
$\sigma_U = W/A_o$ (where W is breaking load)
$\sigma_{UT} = W/A_T$ (where W is breaking load)
$\epsilon = \Delta L/L_o = (L - L_o)/L_o$
$\epsilon_U = (L_u - L_o)/L_o$
$\epsilon_T = \int_{L_o}^{L} dL/L = \ln L/L_o$
$\%El = [(L - L_o)/L_o] \times 100 = \epsilon \times 100$

Percent reduction of area (nominal) = $[(A_o - A_u)/A_o] \times 100$
Percent reduction of area (true) = $[(A_o - A_T)/A_o] \times 100$
Rate of loading = $\Delta W/\Delta t$
Rate of stressing (nominal) = $\Delta\sigma/\Delta = (\Delta W)/A_o)/\Delta t$
Rate of straining = $\Delta\epsilon/\Delta t = (\Delta L/L_o)\Delta t$

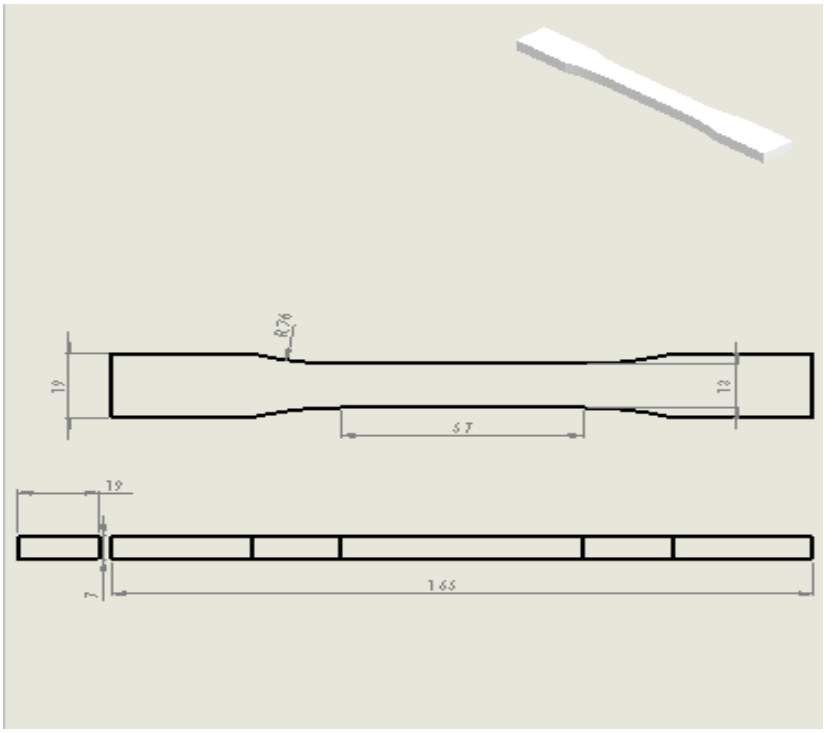
For the case where the volume of the test specimen does not change during the test, the following three relations hold:

$$\sigma_T = \sigma(1 + \epsilon) = \sigma L/L_o \qquad (A2.2)$$

$$\sigma_{UT} = \sigma_U(1 + \epsilon_U) = \sigma_U L_u/L_o$$

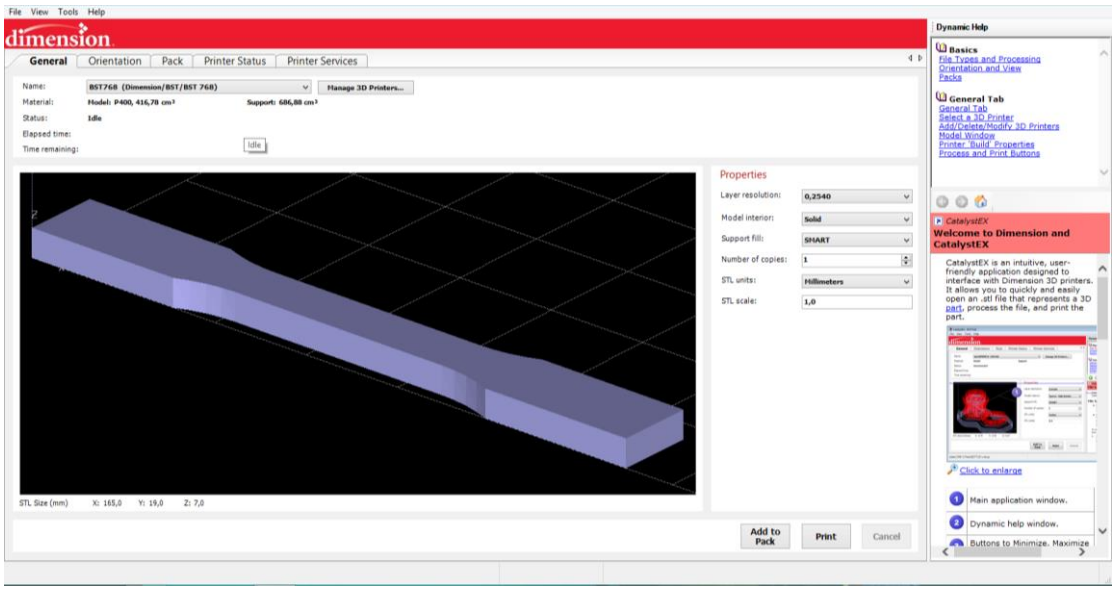
$$A = A_o/(1 + \epsilon)$$

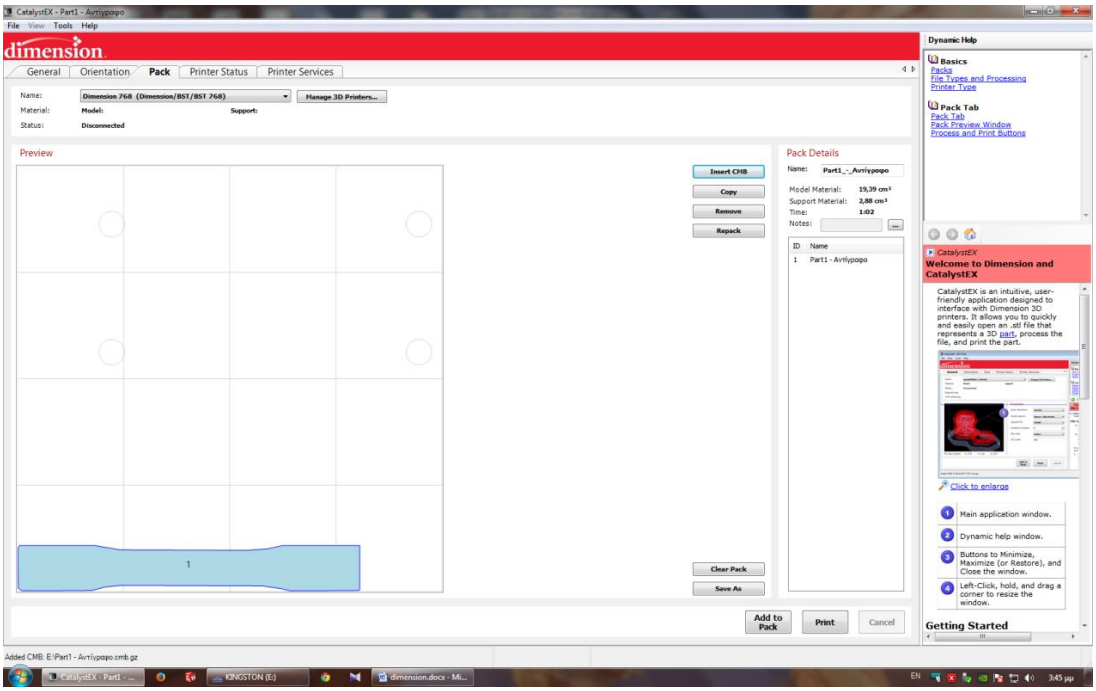
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ



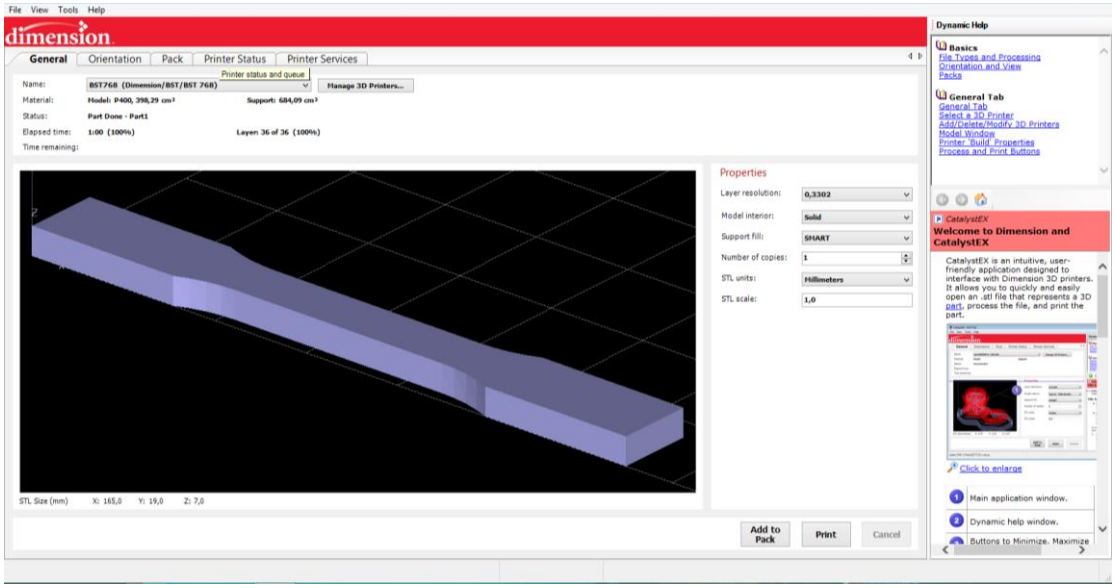
Σχήμα 1:Διαστάσης σχεδίου.

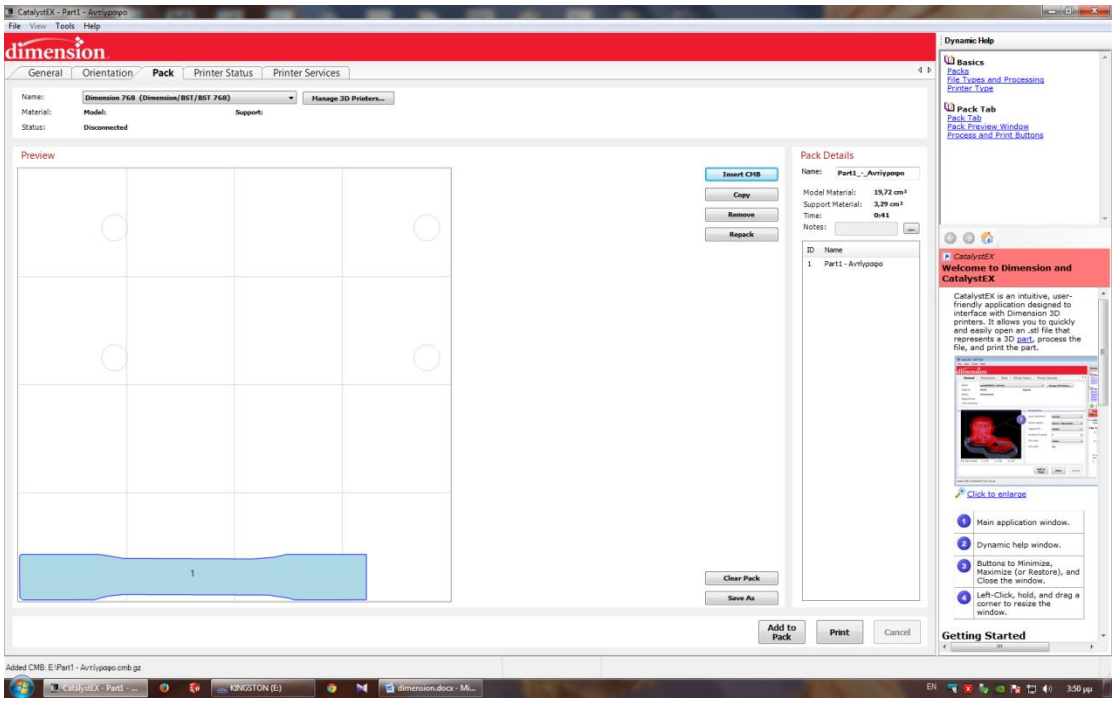
Αρχεία **Catalyst EX** από ABS 0,25.



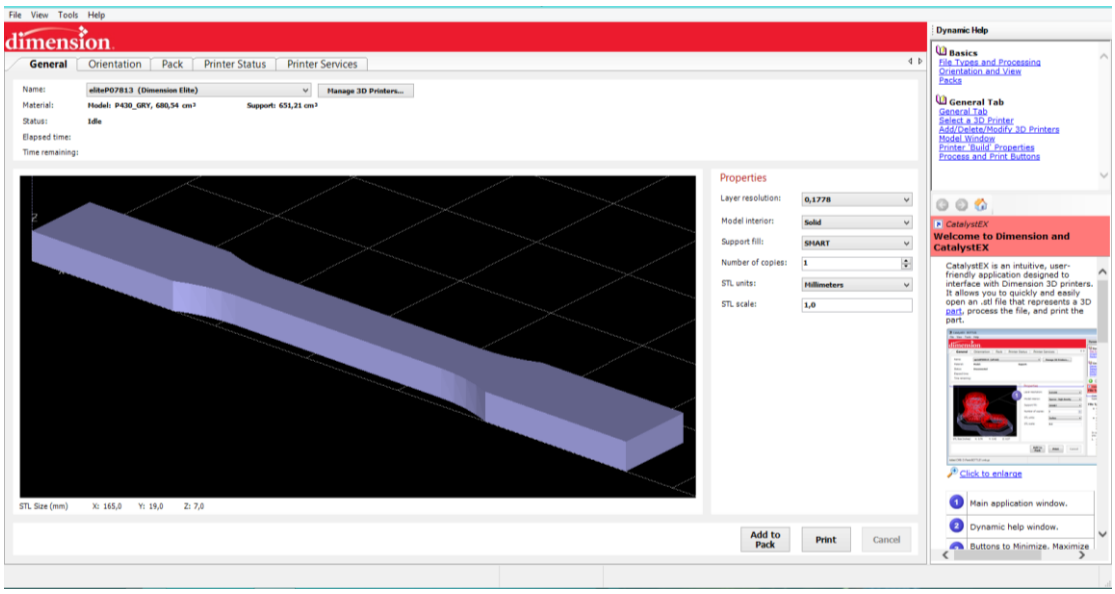


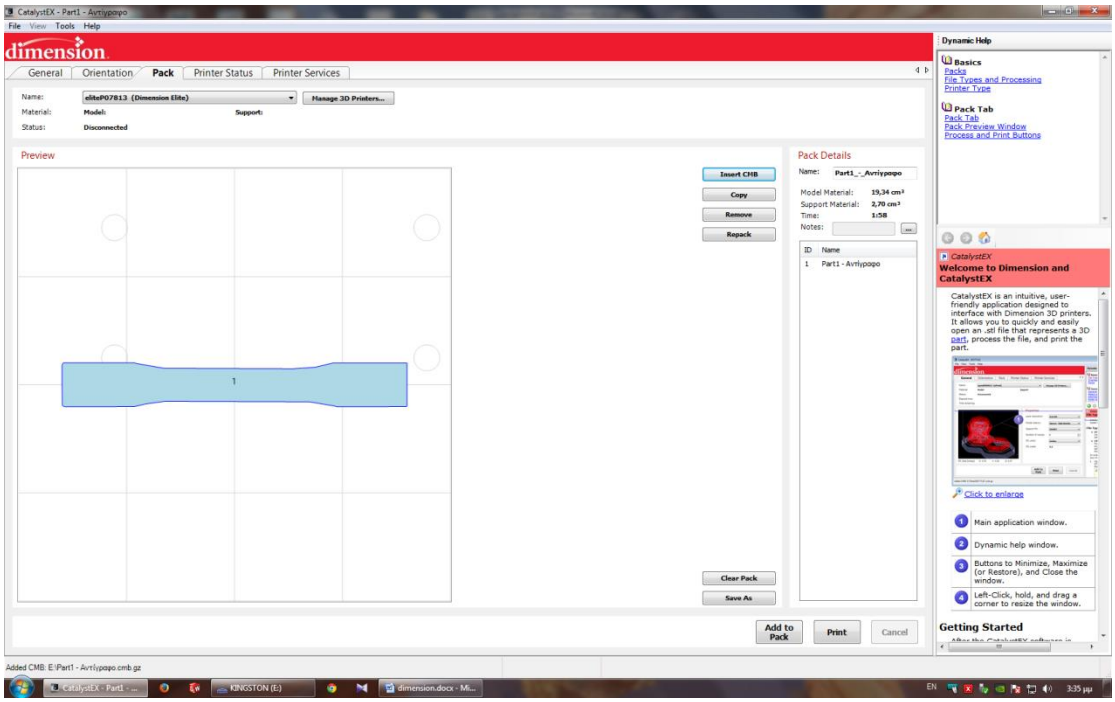
Αρχεία **Catalyst EX** από ABS 0,33.



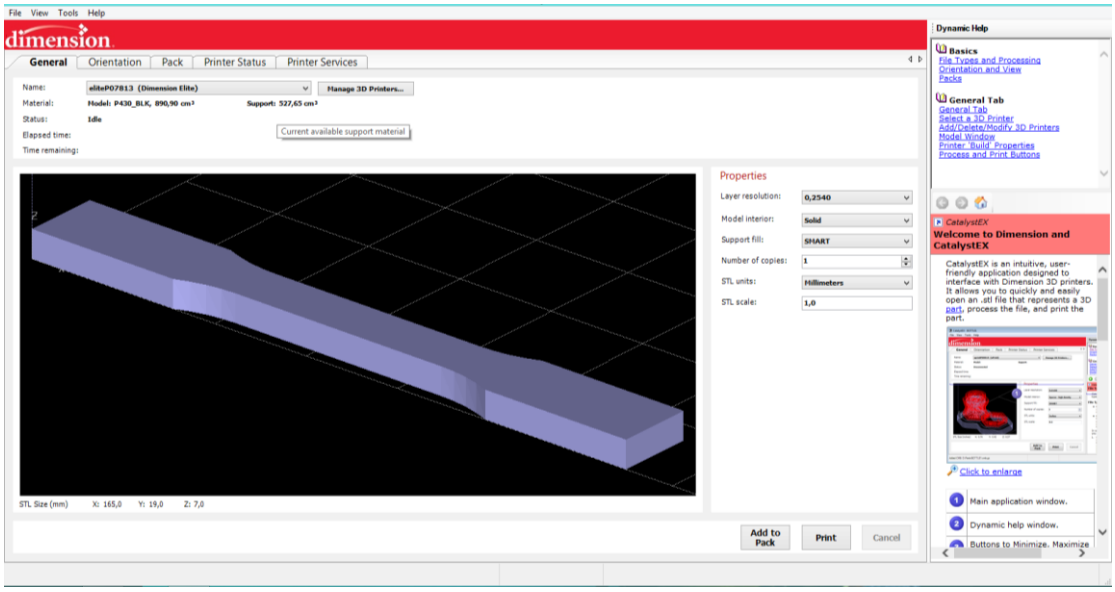


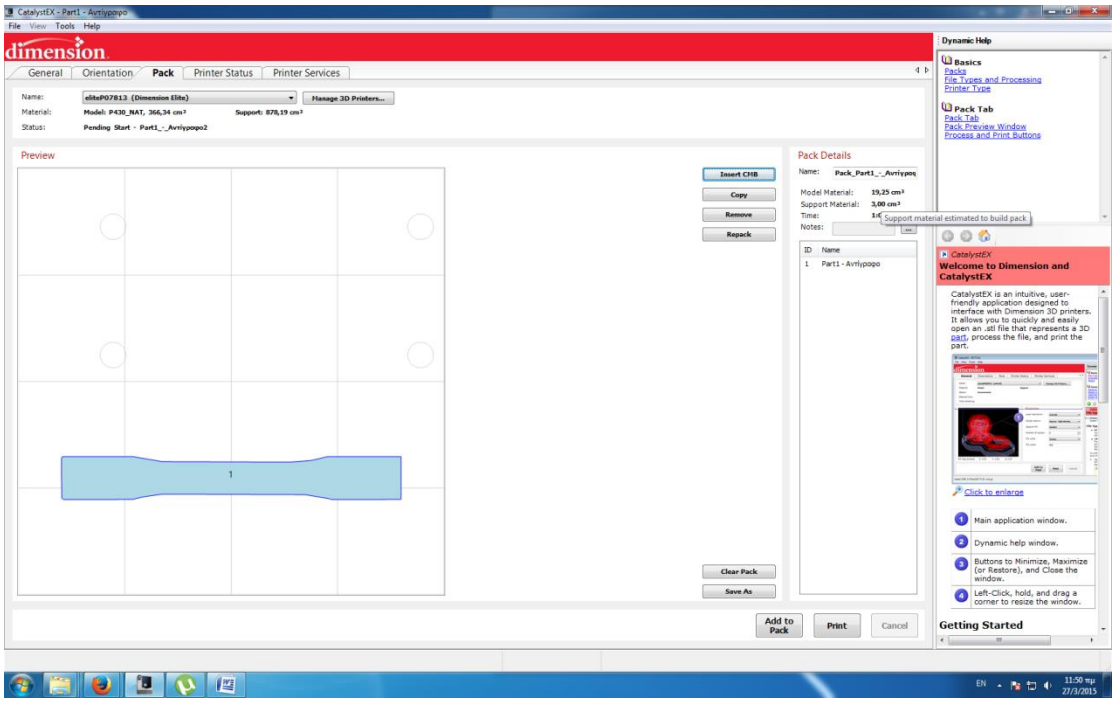
Αρχεία **Catalyst EX** από ABSPLUS 0,17.



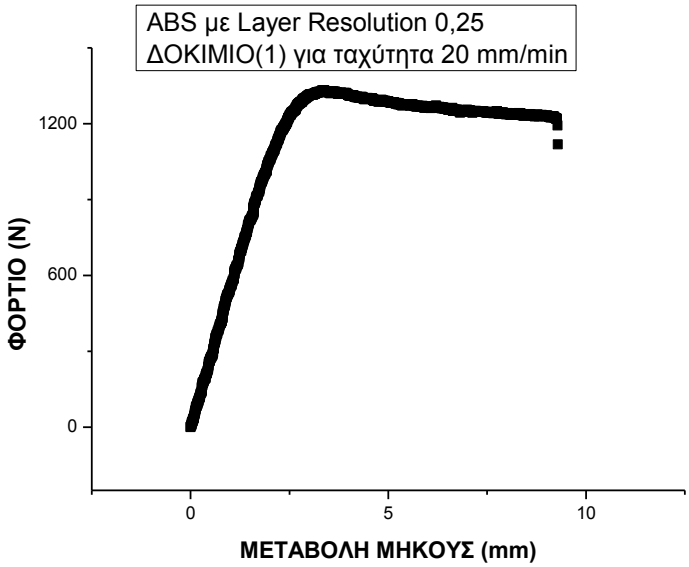


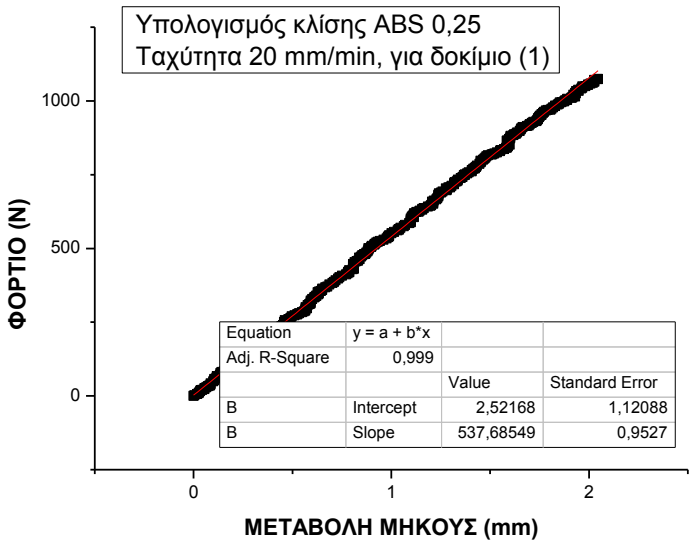
Αρχεία **Catalyst EX** από ABSPLUS 0,25.



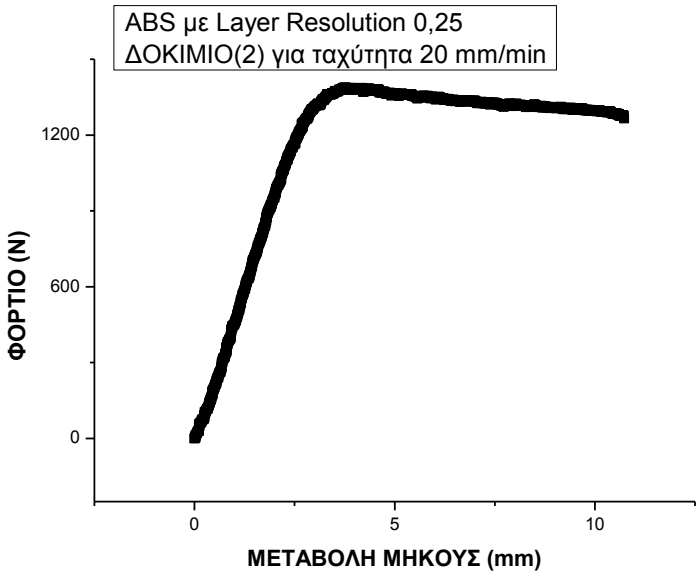

CatalystEX - Part1 - Αντίγραφο
File View Tools Help
dimension
General
Orientation
Pack
Printer Status
Printer Services
Name:
Material:
Status:
Manage 3D Printers...
Preview
Insert CMB
Copy
Remove
Repack
Clear Pack
Save As
Pack Details
Model Material:
Support Material:
Time:
Notes:
Support material estimated to build pack
Add to Pack
Print
Cancel
Dynamic Help
Basics
Pack Tab
Welcome to Dimension and CatalystEX
Click to enlarge
Main application window.
Dynamic help window.
Buttons to Minimize, Maximize (or Restore), and Close the window.
Left-Click, hold, and drag a corner to resize the window.
Getting Started

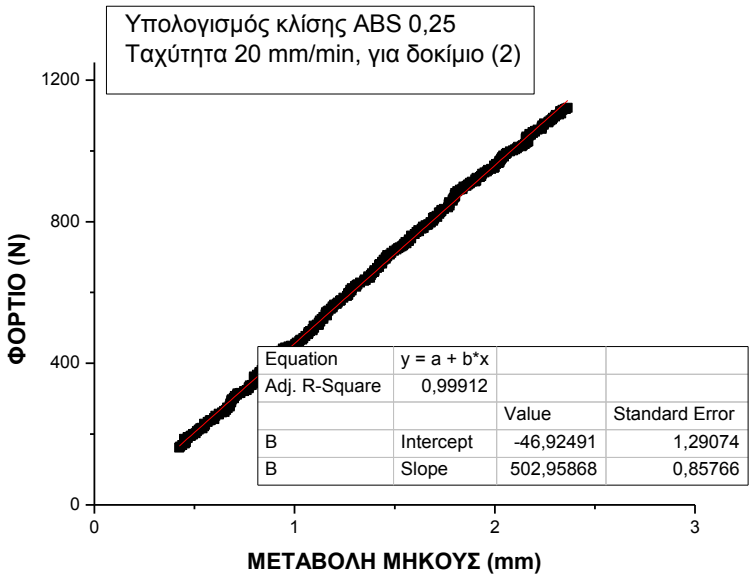
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙΙ

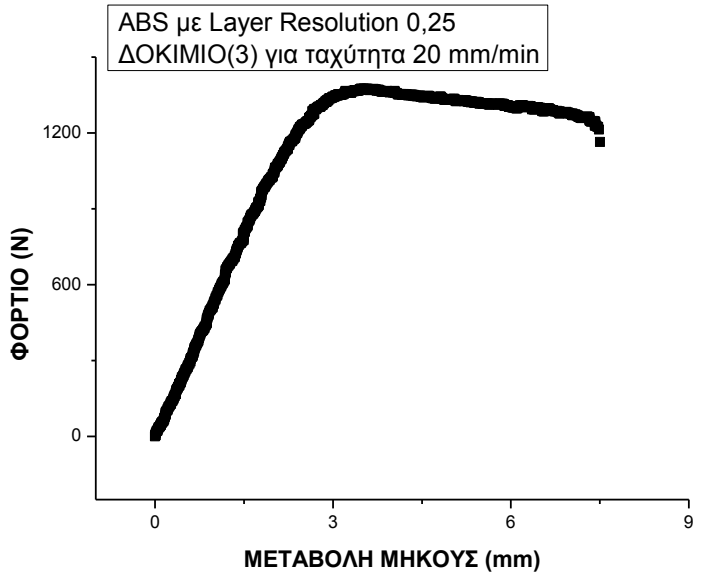


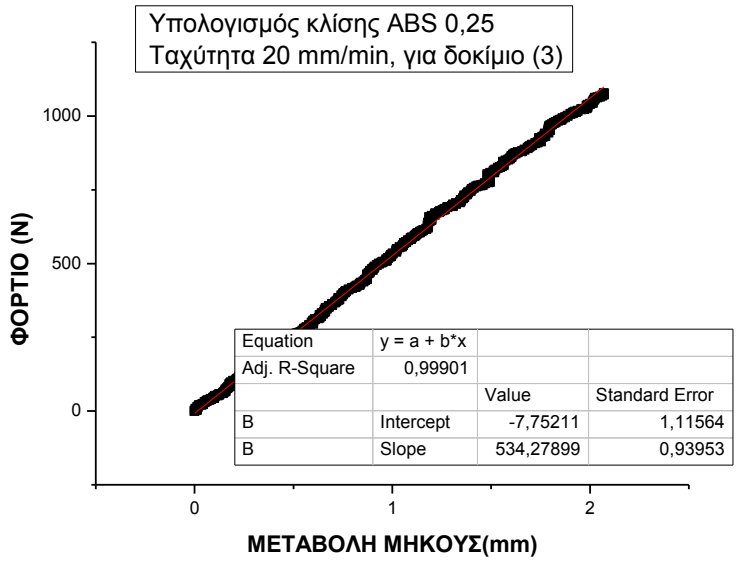


Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,999		
		Value	Standard Error
B	Intercept	2,52168	1,12088
B	Slope	537,68549	0,9527

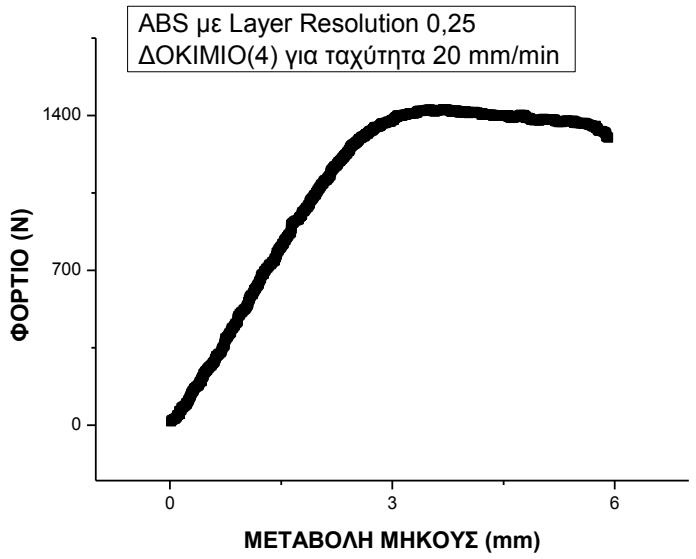

ABS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(2) για ταχύτητα 20 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
600
0
0
5
10
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

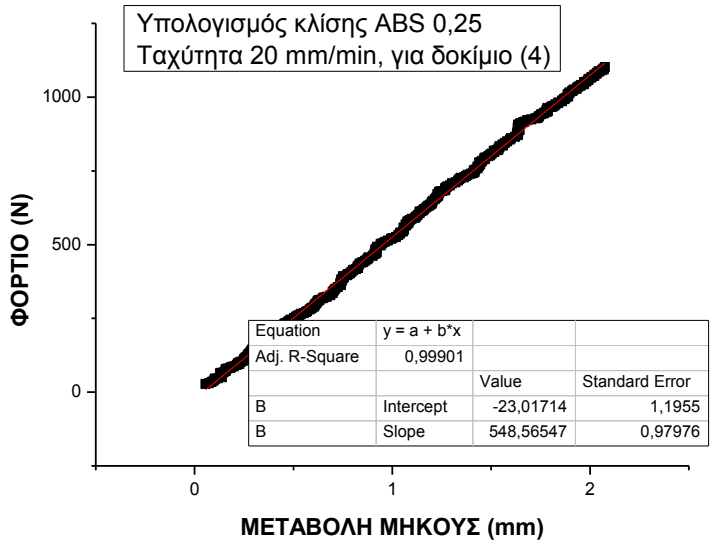

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,25
Ταχύτητα 20 mm/min, για δοκίμιο (2)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
800
400
0
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99912
Value | Standard Error
B | Intercept | -46,92491 | 1,29074
B | Slope | 502,95868 | 0,85766



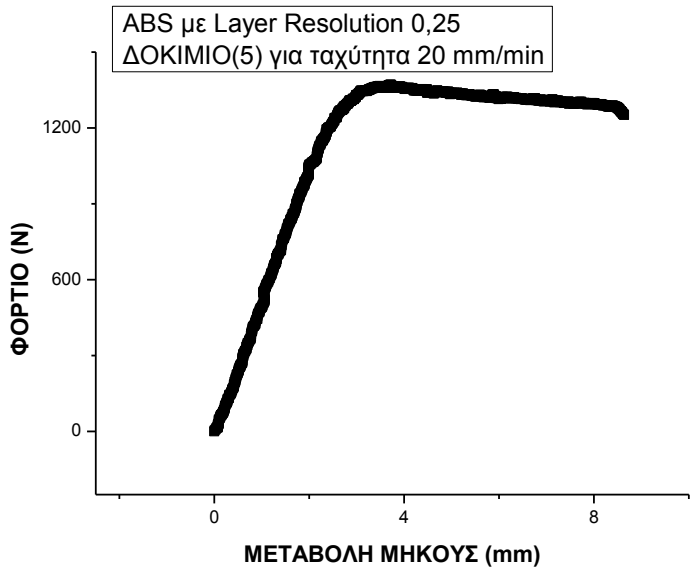


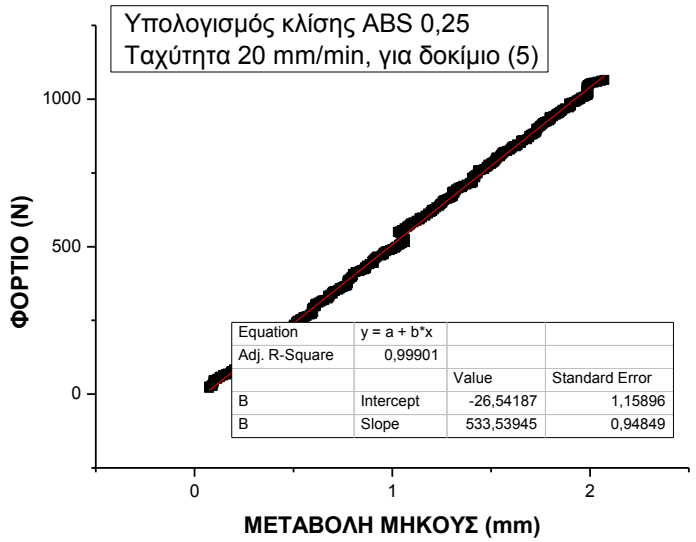
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99901		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-7,75211	1,11564
B	Slope	534,27899	0,93953



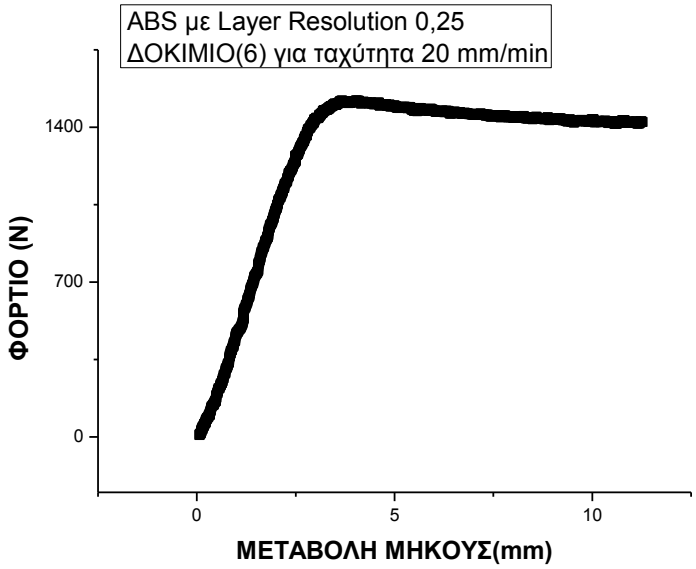


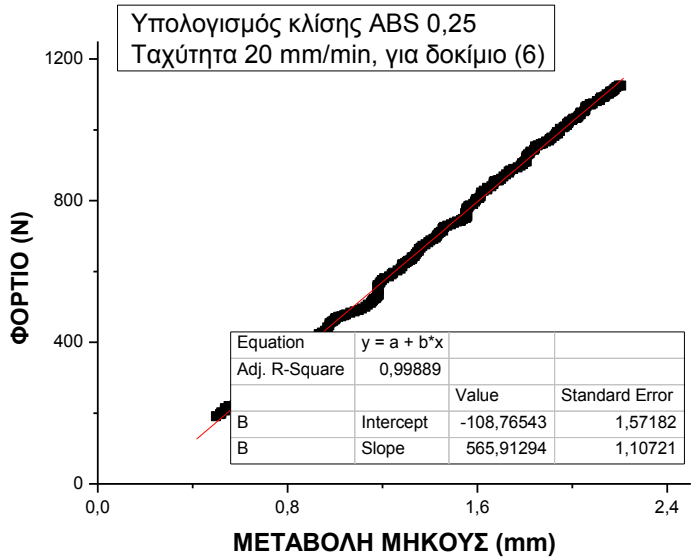
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99901		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-23,01714	1,1955
B	Slope	548,56547	0,97976

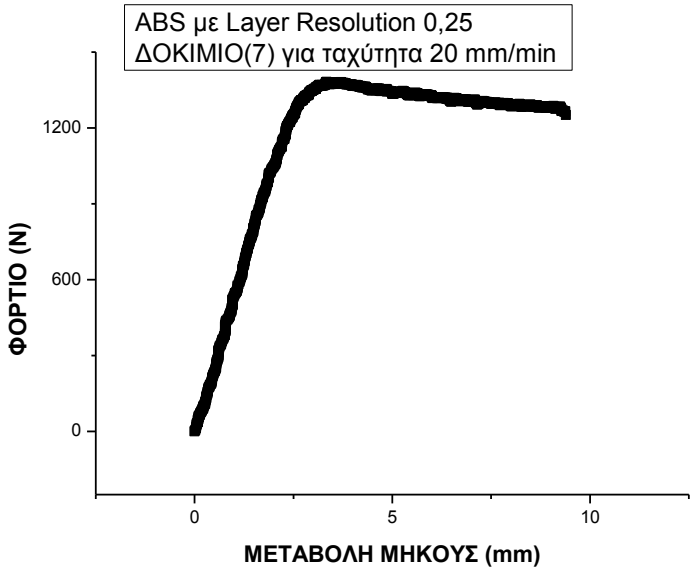


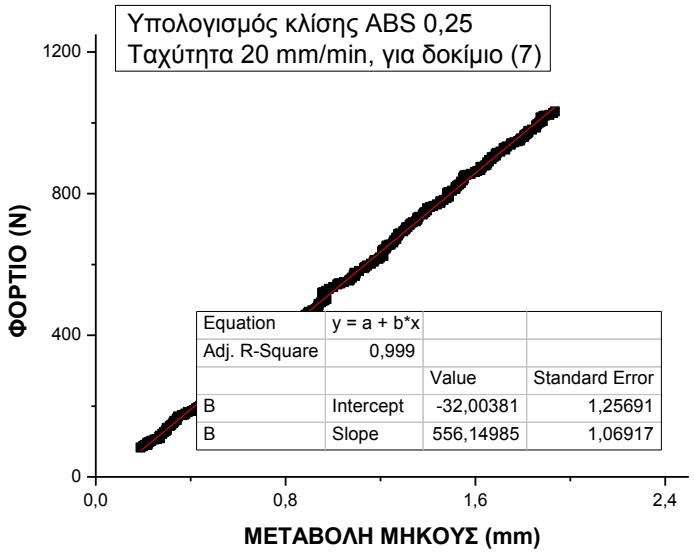


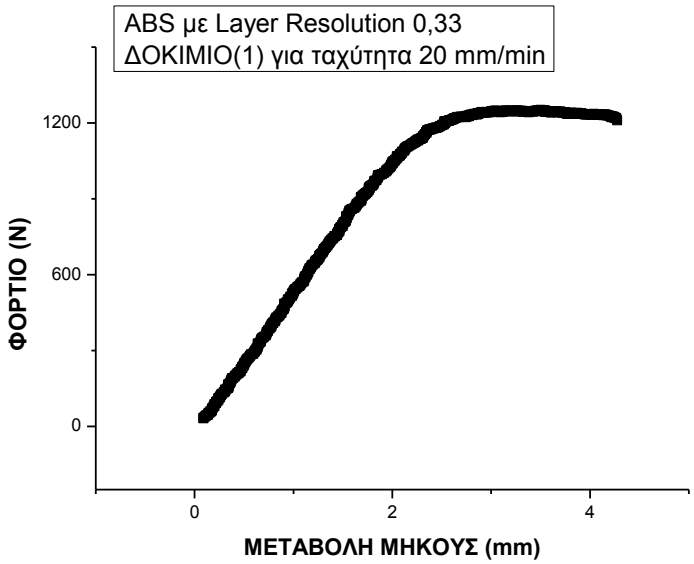
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99901		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-26,54187	1,15896
B	Slope	533,53945	0,94849

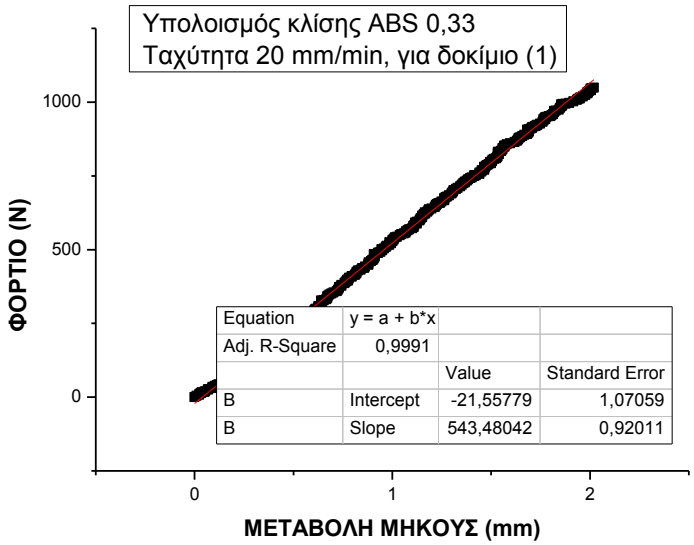

ABS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(6) για ταχύτητα 20 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1400
700
0
0
5
10
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ(mm)


Υπολογισμός κλίσης ABS 0,25
Ταχύτητα 20 mm/min, για δοκίμιο (6)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
800
400
0
0,0
0,8
1,6
2,4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99889
Value | Standard Error
B | Intercept | -108,76543 | 1,57182
B | Slope | 565,91294 | 1,10721

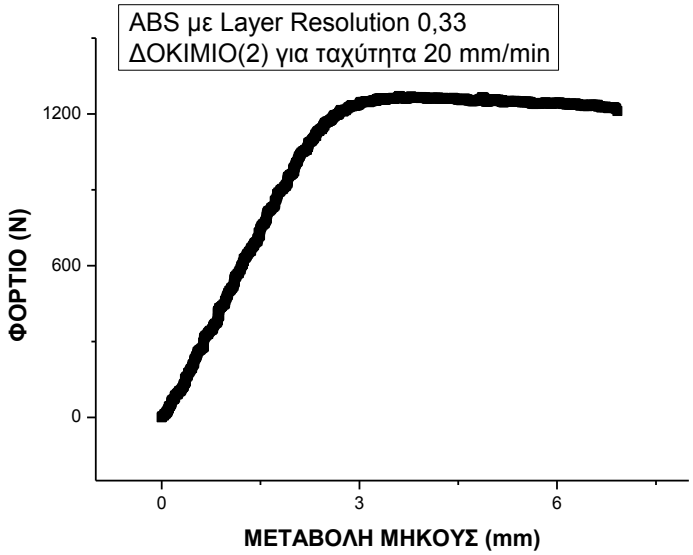

ABS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(7) για ταχύτητα 20 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
600
0
0
5
10
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

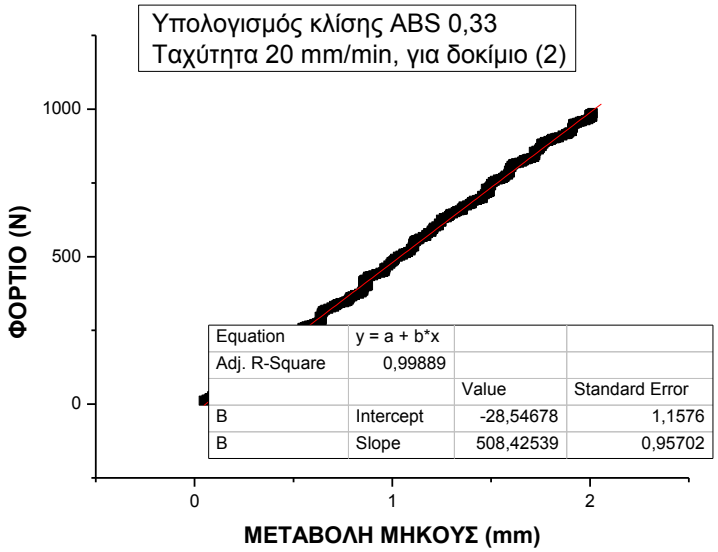

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,25
Ταχύτητα 20 mm/min, για δοκίμιο (7)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
800
400
0
0,0
0,8
1,6
2,4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation y = a + b*x
Adj. R-Square 0,999
Value Standard Error
B Intercept -32,00381 1,25691
B Slope 556,14985 1,06917

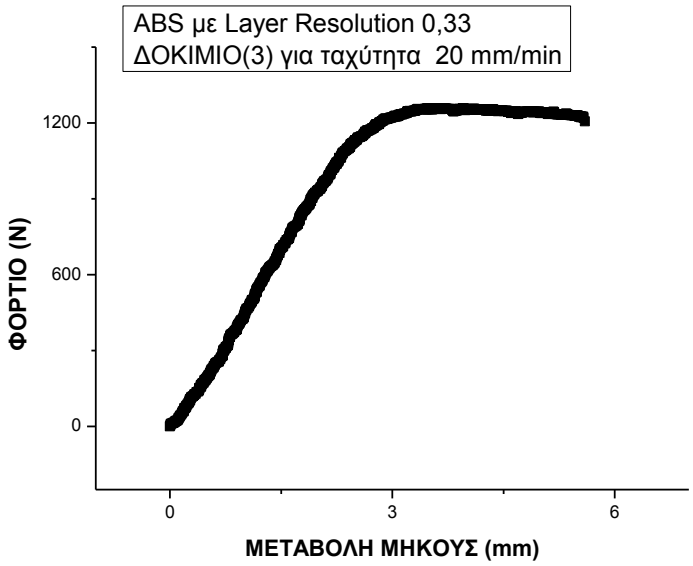


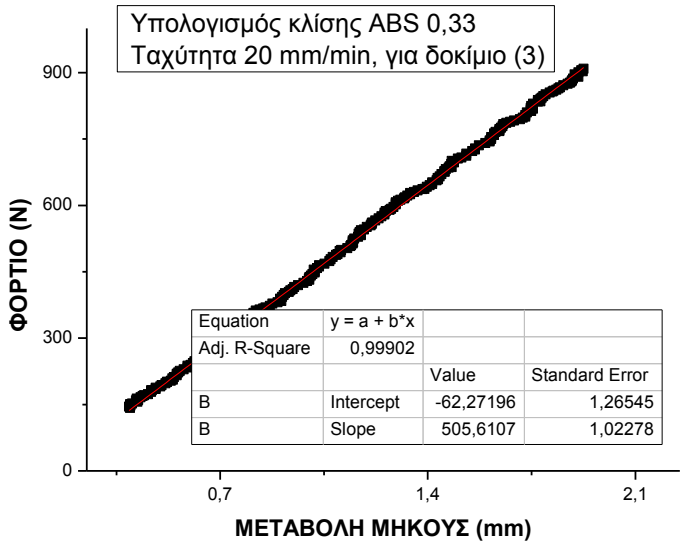


Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,9991		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-21,55779	1,07059
B	Slope	543,48042	0,92011

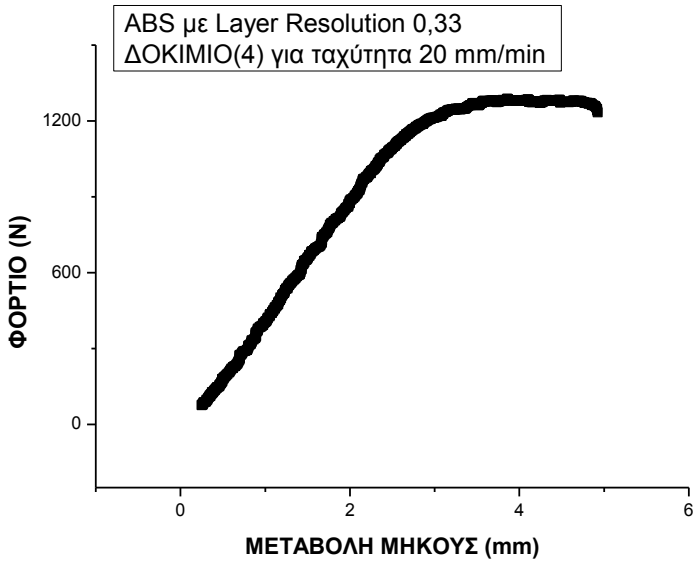

ABS με Layer Resolution 0,33
ΔΟΚΙΜΙΟ(2) για ταχύτητα 20 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
600
0
0
3
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

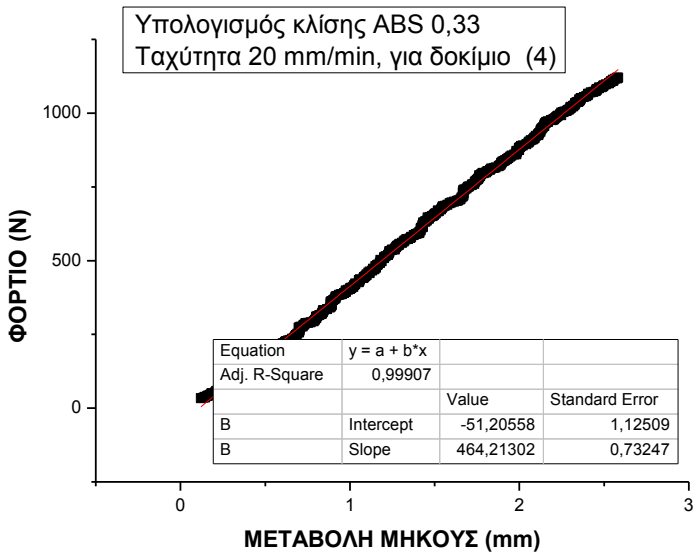

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,33
Ταχύτητα 20 mm/min, για δοκίμιο (2)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1000
500
0
0
1
2
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99889
Value | Standard Error
B | Intercept | -28,54678 | 1,1576
B | Slope | 508,42539 | 0,95702

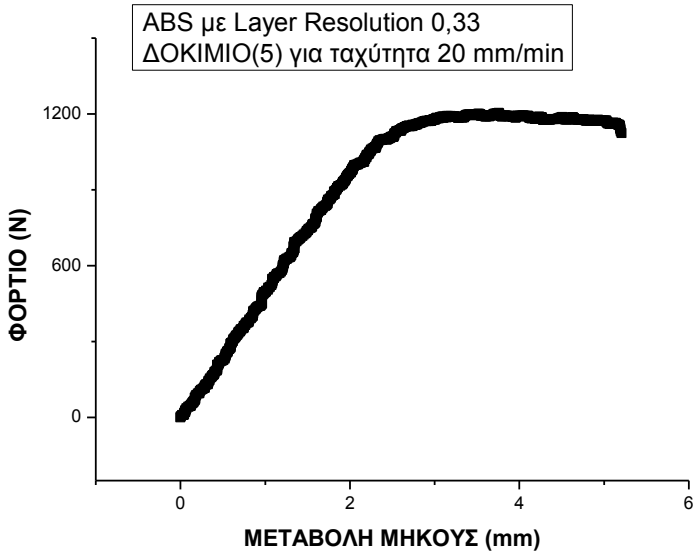


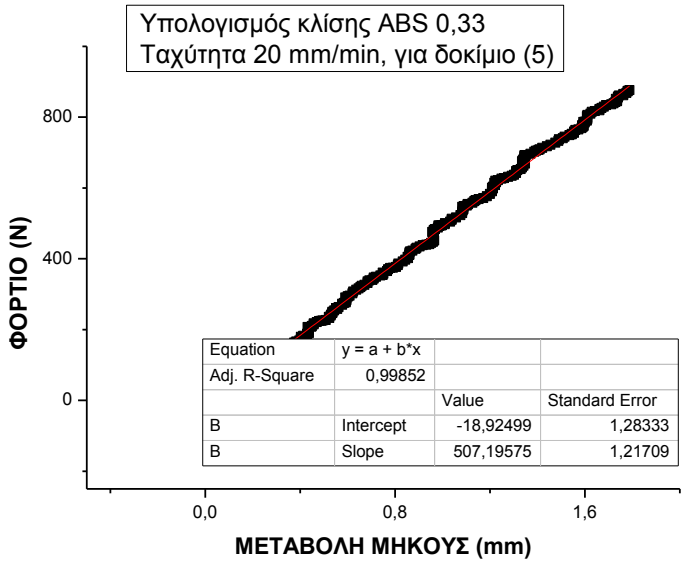


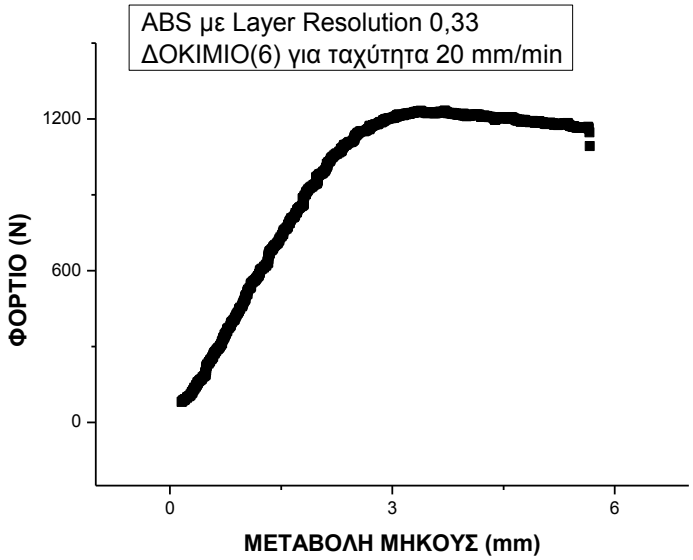
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99902		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-62,27196	1,26545
B	Slope	505,6107	1,02278

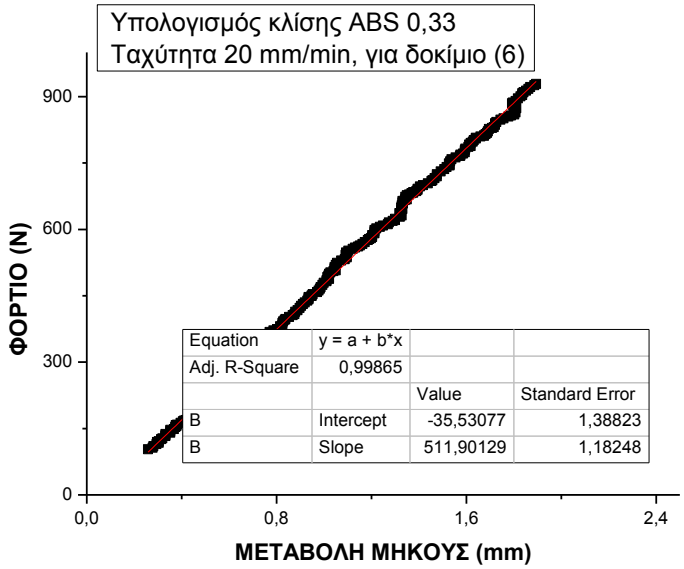

ABS με Layer Resolution 0,33
ΔΟΚΙΜΙΟ(4) για ταχύτητα 20 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
600
0
0
2
4
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

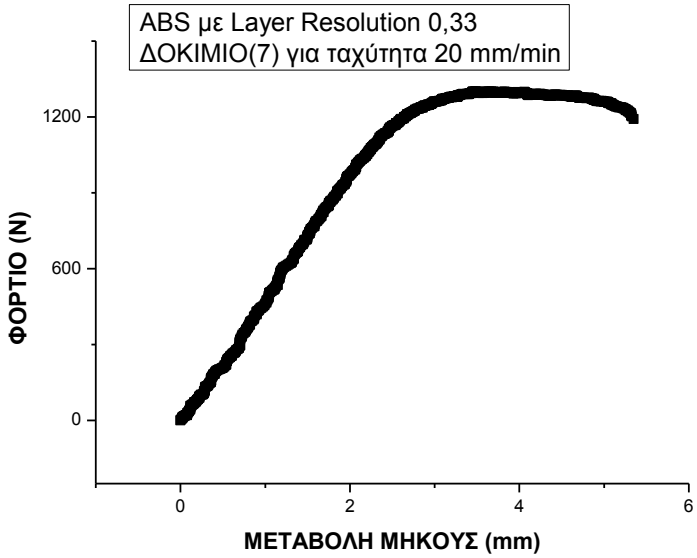

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,33
Ταχύτητα 20 mm/min, για δοκίμιο (4)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1000
500
0
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99907
Value | Standard Error
B | Intercept | -51,20558 | 1,12509
B | Slope | 464,21302 | 0,73247

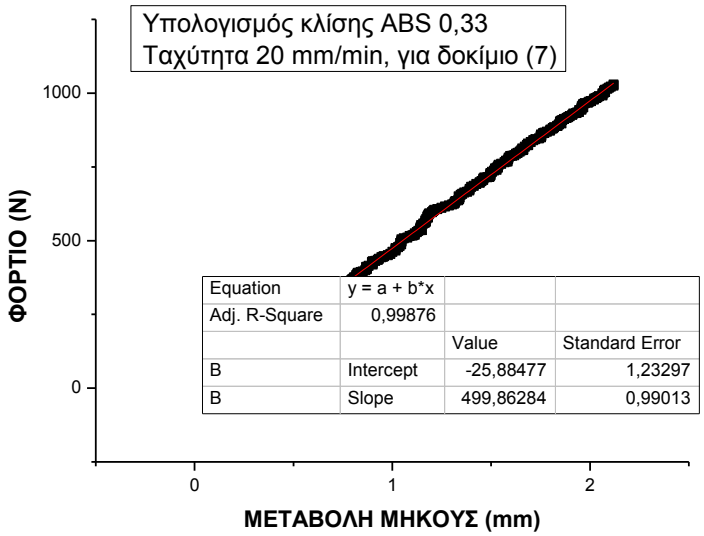

ABS με Layer Resolution 0,33
ΔΟΚΙΜΙΟ(5) για ταχύτητα 20 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
600
0
0
2
4
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)


Υπολογισμός κλίσης ABS 0,33
Ταχύτητα 20 mm/min, για δοκίμιο (5)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
800
400
0
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99852
Value | Standard Error
B | Intercept | -18,92499 | 1,28333
B | Slope | 507,19575 | 1,21709
0,0
0,8
1,6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

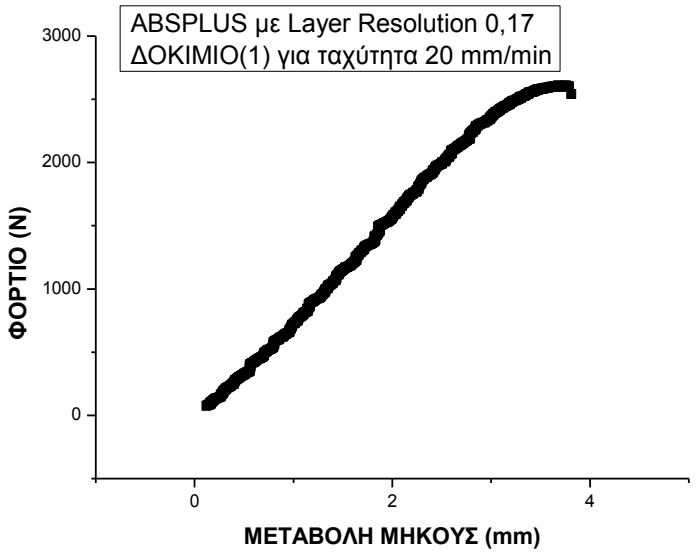

ABS με Layer Resolution 0,33
ΔΟΚΙΜΙΟ(6) για ταχύτητα 20 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
600
0
0
3
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

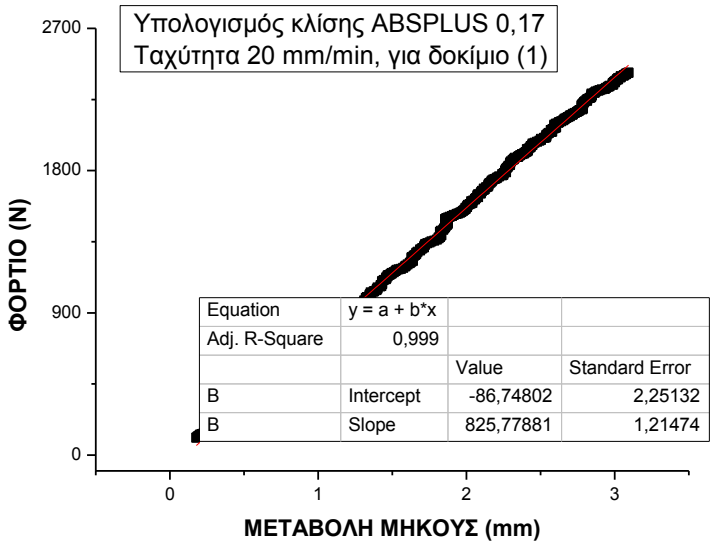

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,33
Ταχύτητα 20 mm/min, για δοκίμιο (6)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
900
600
300
0
0,0
0,8
1,6
2,4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99865
Value | Standard Error
B | Intercept | -35,53077 | 1,38823
B | Slope | 511,90129 | 1,18248

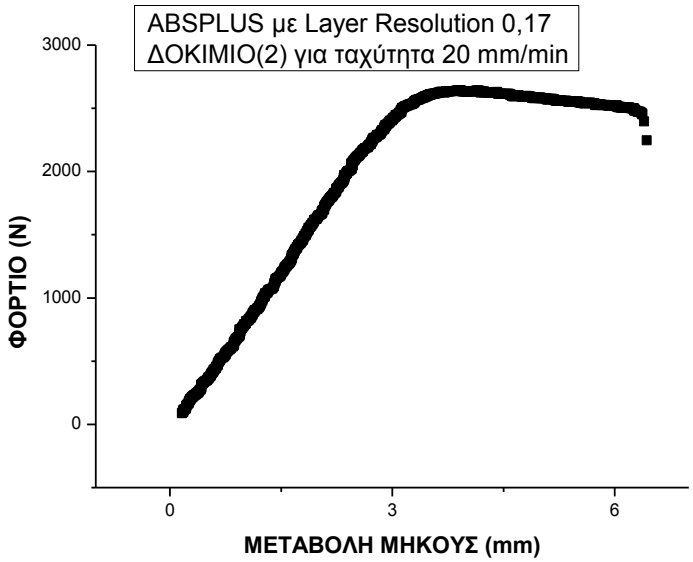


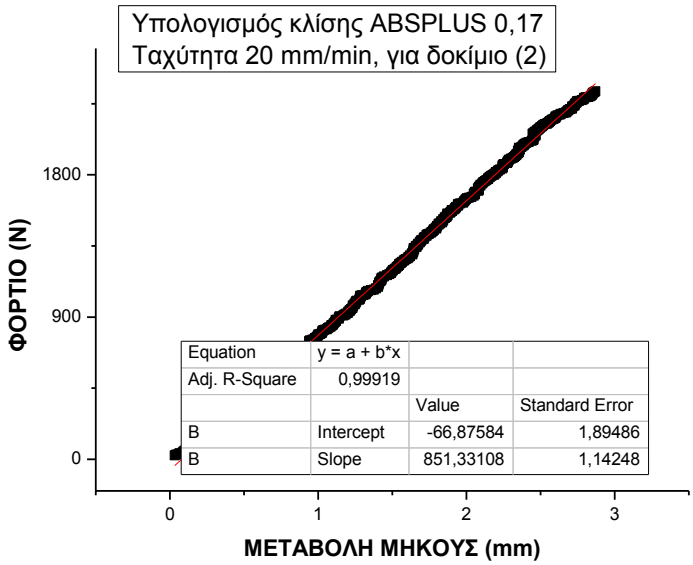


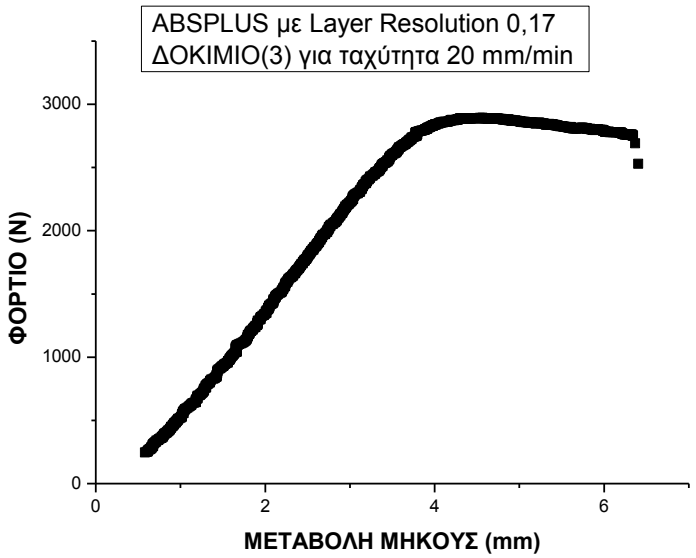
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99876		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-25,88477	1,23297
B	Slope	499,86284	0,99013

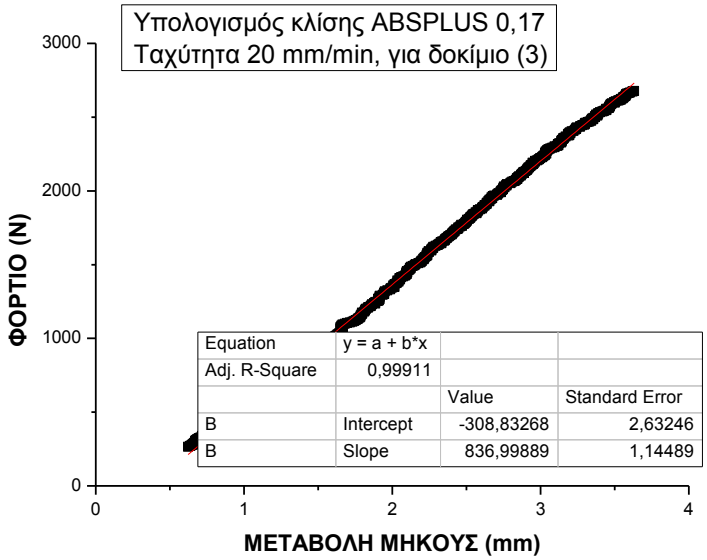

ABSPLUS με Layer Resolution 0,17
ΔΟΚΙΜΙΟ(1) για ταχύτητα 20 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
2
4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

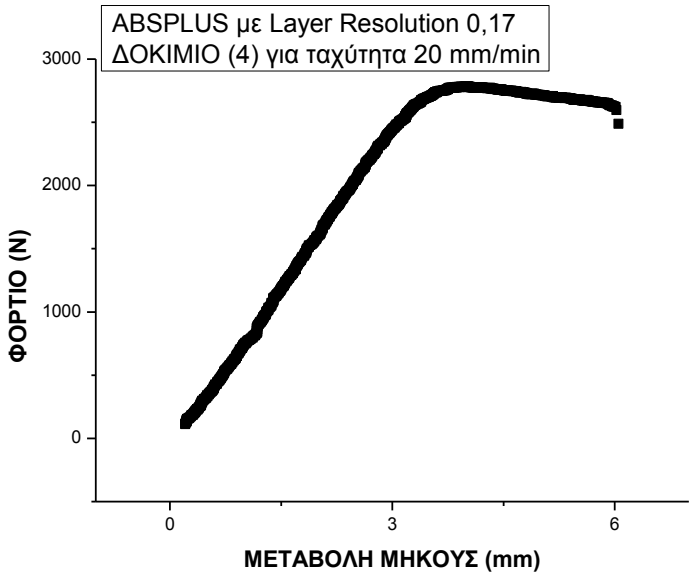

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,17
Ταχύτητα 20 mm/min, για δοκίμιο (1)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2700
1800
900
0
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,999
Value | Standard Error
B | Intercept | -86,74802 | 2,25132
B | Slope | 825,77881 | 1,21474

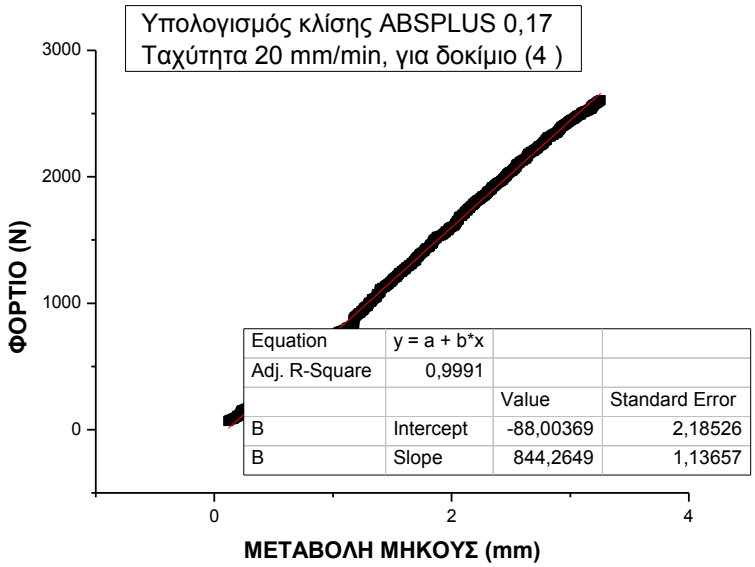

ABSPLUS με Layer Resolution 0,17
ΔΟΚΙΜΙΟ(2) για ταχύτητα 20 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
3
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

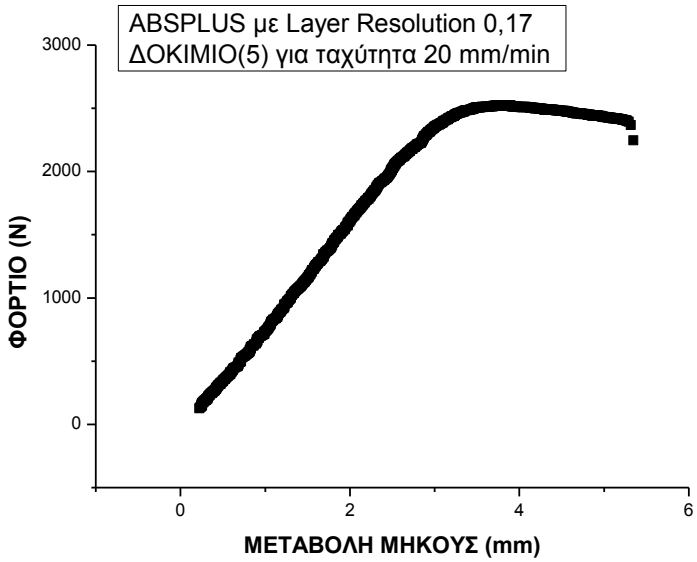

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,17
Ταχύτητα 20 mm/min, για δοκίμιο (2)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1800
900
0
Equation y = a + b*x
Adj. R-Square 0,99919
Value Standard Error
B Intercept -66,87584 1,89486
B Slope 851,33108 1,14248
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

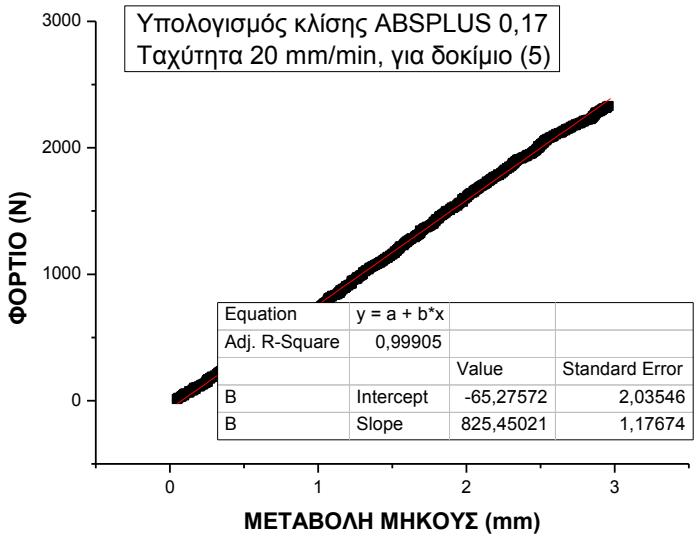

ABSPLUS με Layer Resolution 0,17
ΔΟΚΙΜΙΟ(3) για ταχύτητα 20 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
2
4
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)


Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,17
Ταχύτητα 20 mm/min, για δοκίμιο (3)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
1
2
3
4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99911
Value | Standard Error
B | Intercept | -308,83268 | 2,63246
B | Slope | 836,99889 | 1,14489

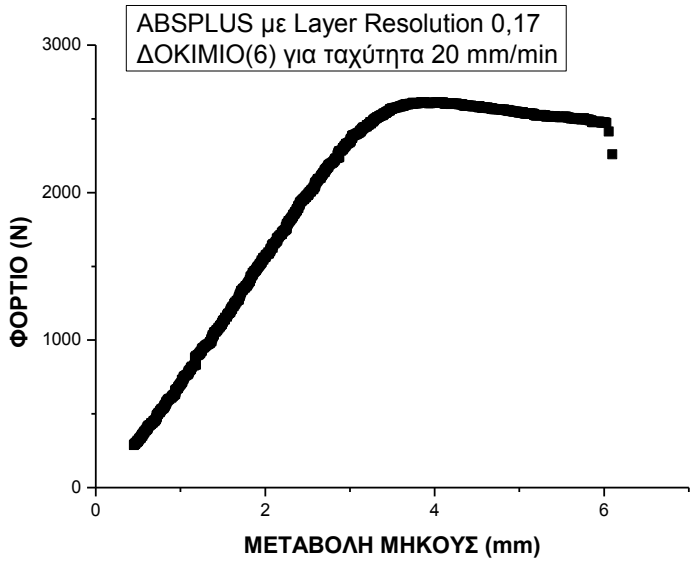

ABSPLUS με Layer Resolution 0,17
ΔΟΚΙΜΙΟ (4) για ταχύτητα 20 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
3
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

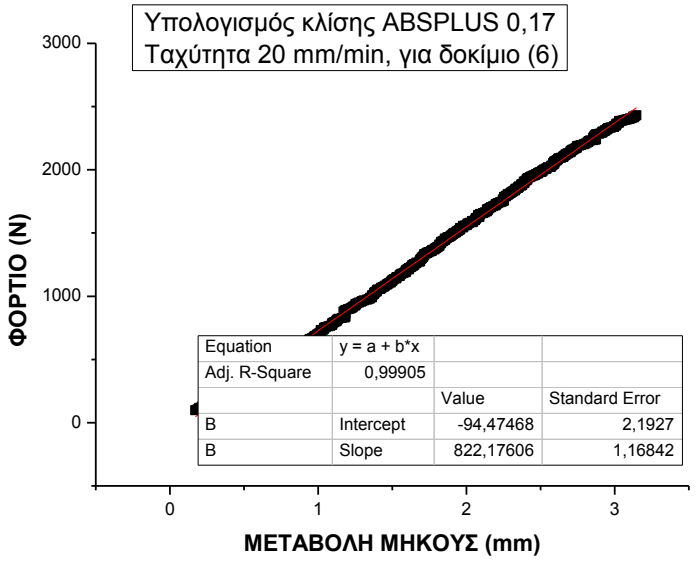

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,17
Ταχύτητα 20 mm/min, για δοκίμιο (4)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
2
4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,9991
Value | Standard Error
B | Intercept | -88,00369 | 2,18526
B | Slope | 844,2649 | 1,13657

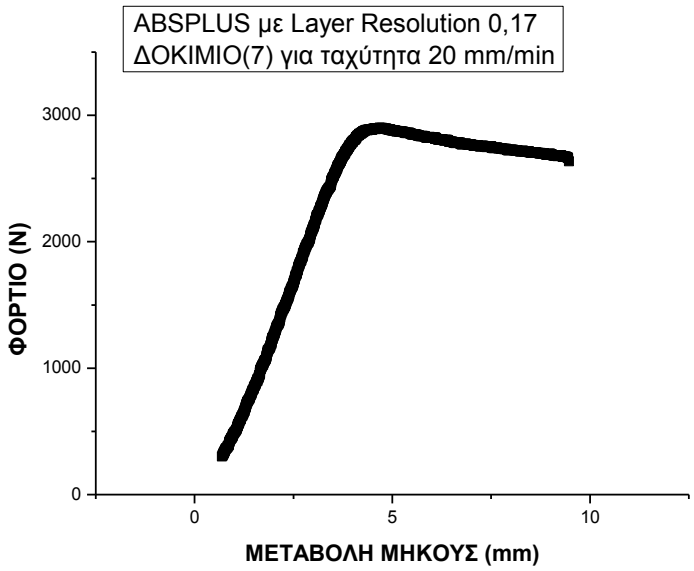


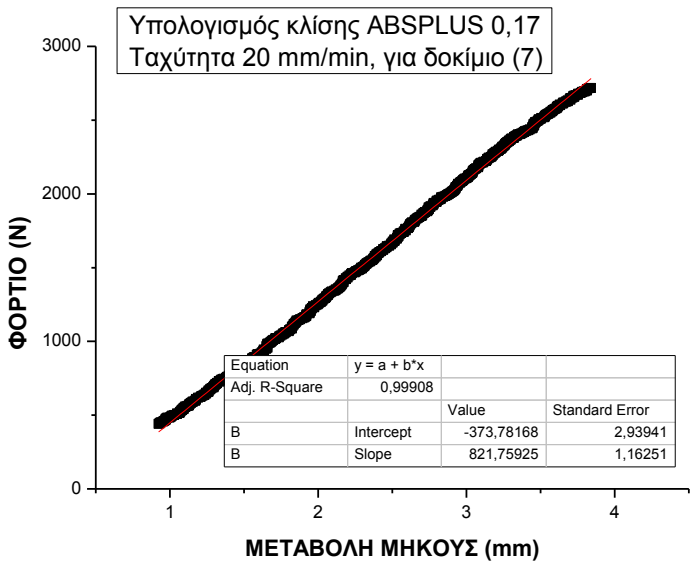


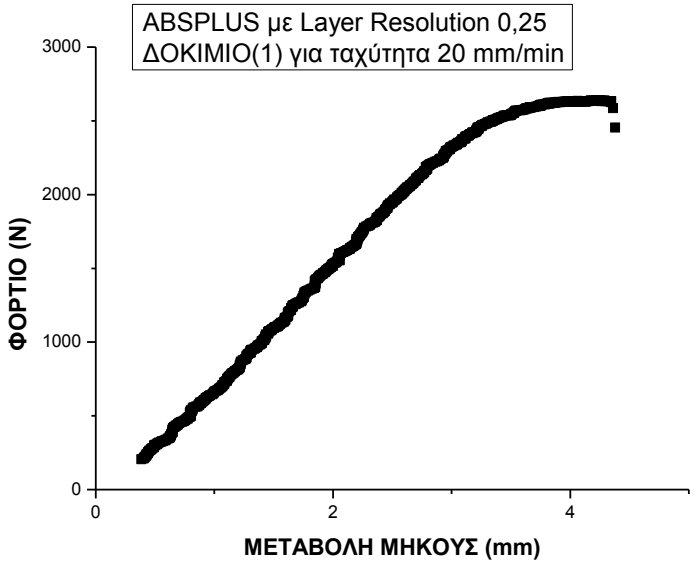
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99905		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-65,27572	2,03546
B	Slope	825,45021	1,17674

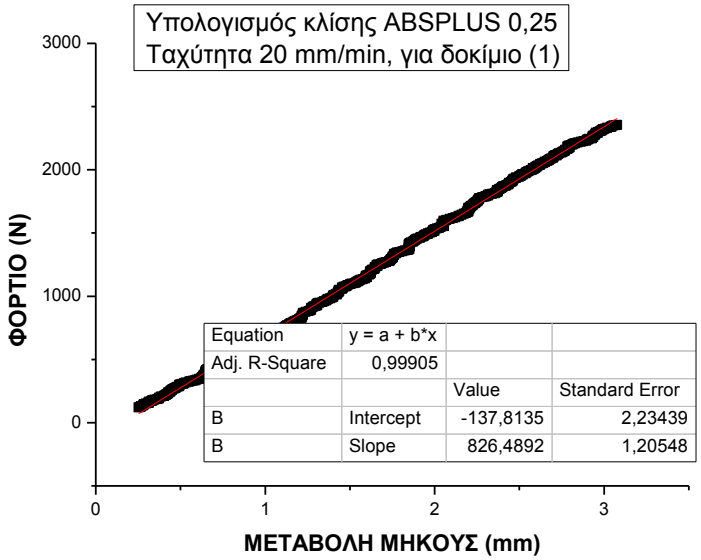

ABSPLUS με Layer Resolution 0,17
ΔΟΚΙΜΙΟ(6) για ταχύτητα 20 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
2
4
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

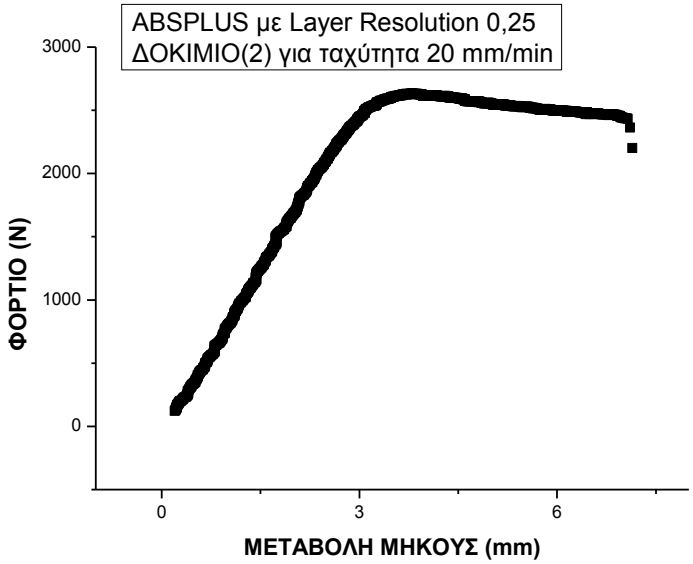

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,17
Ταχύτητα 20 mm/min, για δοκίμιο (6)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99905
Value | Standard Error
B | Intercept | -94,47468 | 2,1927
B | Slope | 822,17606 | 1,16842

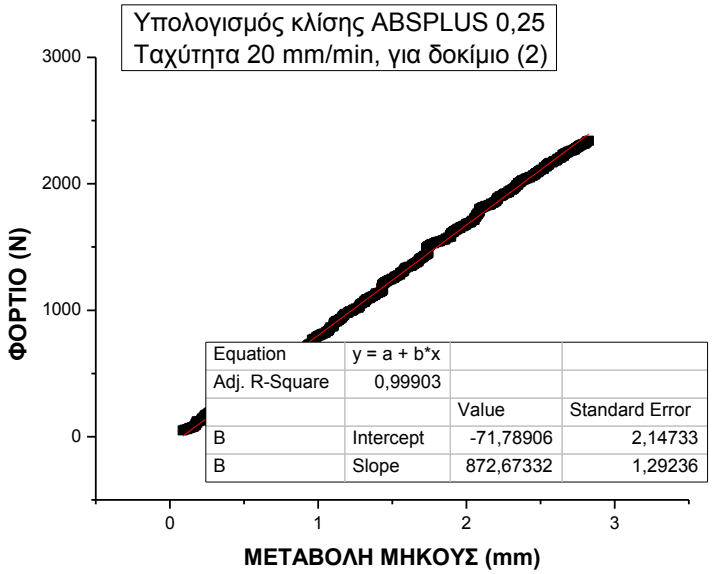

ABSPLUS με Layer Resolution 0,17
ΔΟΚΙΜΙΟ(7) για ταχύτητα 20 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
5
10
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)


Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,17
Ταχύτητα 20 mm/min, για δοκίμιο (7)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
1
2
3
4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation y = a + b*x
Adj. R-Square 0,99908
Value Standard Error
B Intercept -373,78168 2,93941
B Slope 821,75925 1,16251

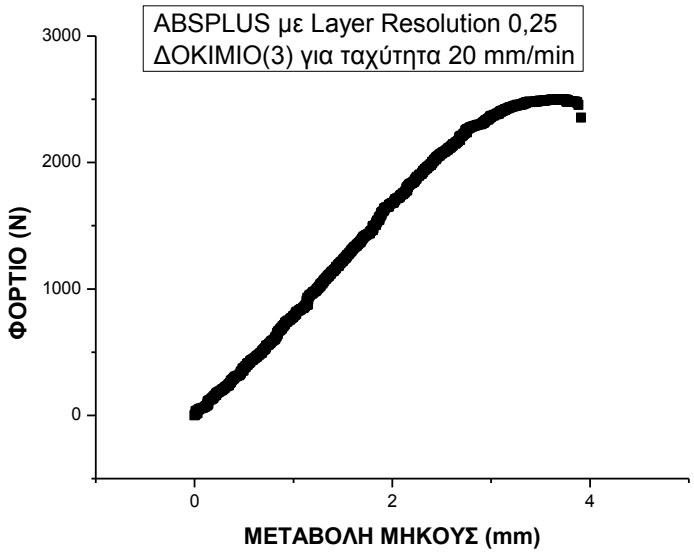

ABSPLUS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(1) για ταχύτητα 20 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
2
4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

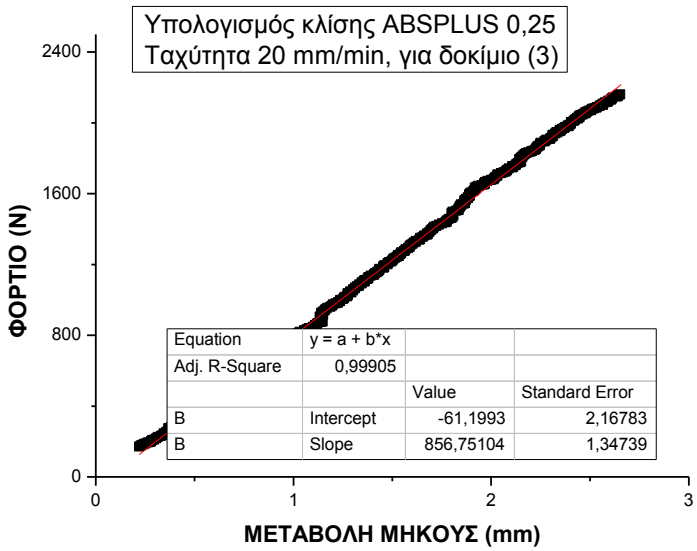

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,25
Ταχύτητα 20 mm/min, για δοκίμιο (1)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99905
Value | Standard Error
B | Intercept | -137,8135 | 2,23439
B | Slope | 826,4892 | 1,20548

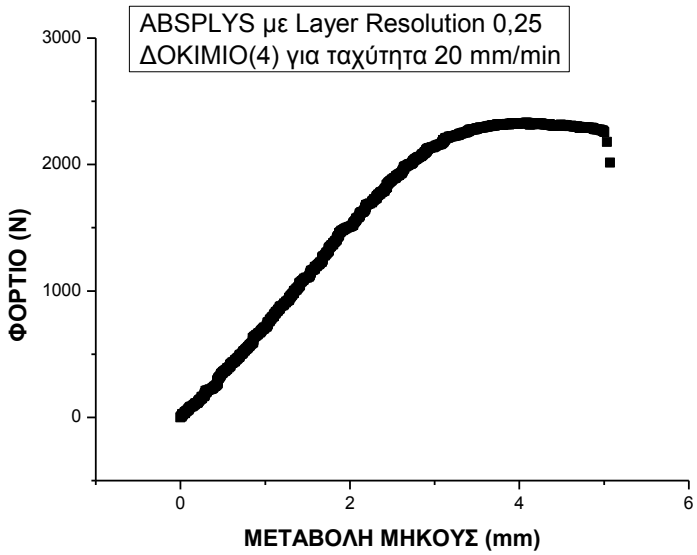


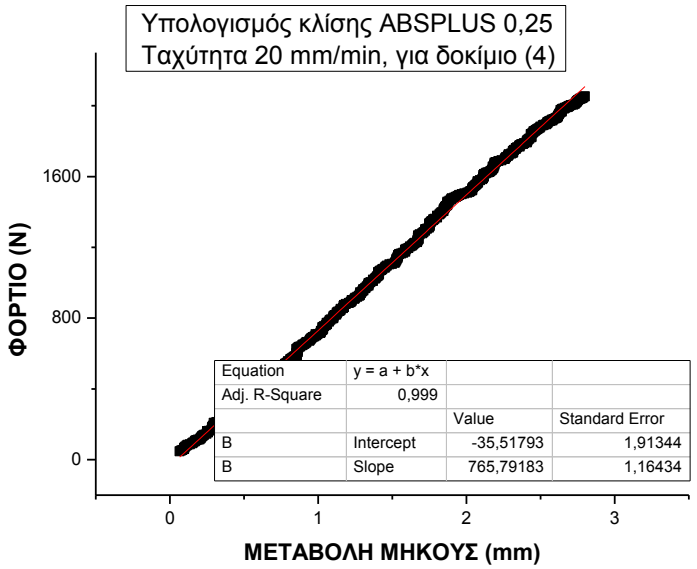


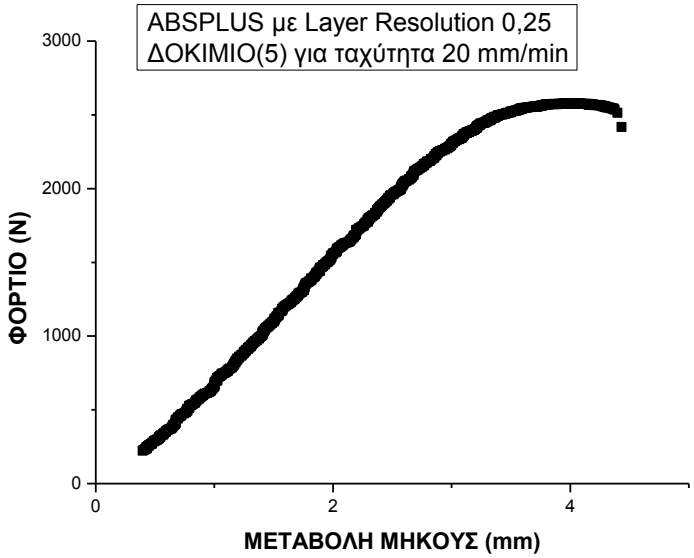
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99903		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-71,78906	2,14733
B	Slope	872,67332	1,29236

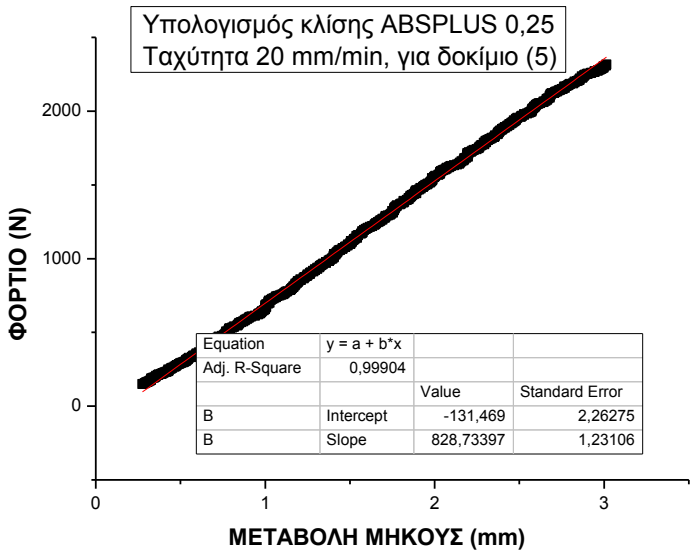

ABSPLUS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(3) για ταχύτητα 20 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
2
4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

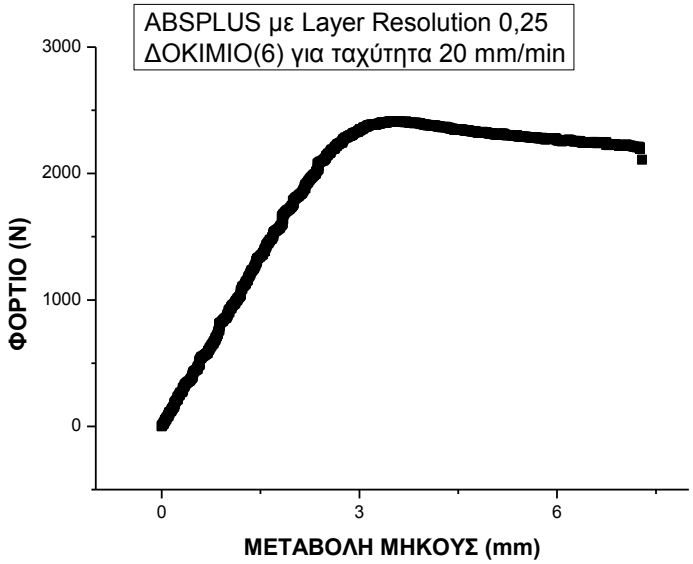

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,25
Ταχύτητα 20 mm/min, για δοκίμιο (3)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2400
1600
800
0
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99905
Value | Standard Error
B | Intercept | -61,1993 | 2,16783
B | Slope | 856,75104 | 1,34739

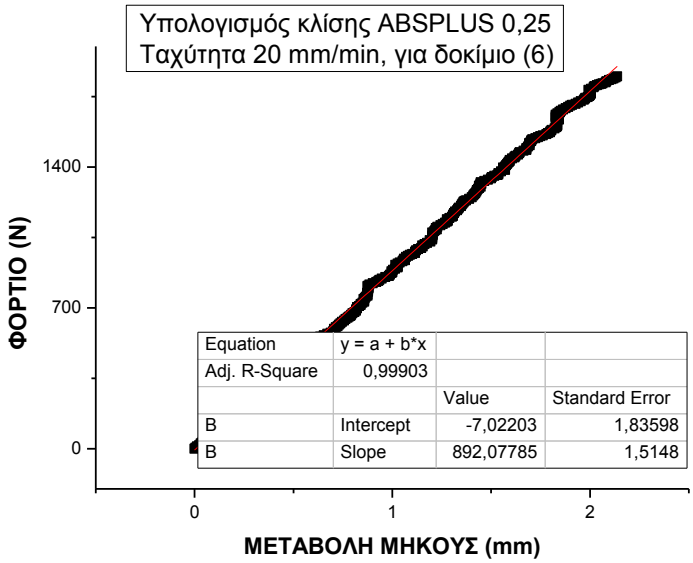

ABSPLYS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(4) για ταχύτητα 20 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
2
4
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)


Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,25
Ταχύτητα 20 mm/min, για δοκίμιο (4)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1600
800
0
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,999
Value | Standard Error
B | Intercept | -35,51793 | 1,91344
B | Slope | 765,79183 | 1,16434

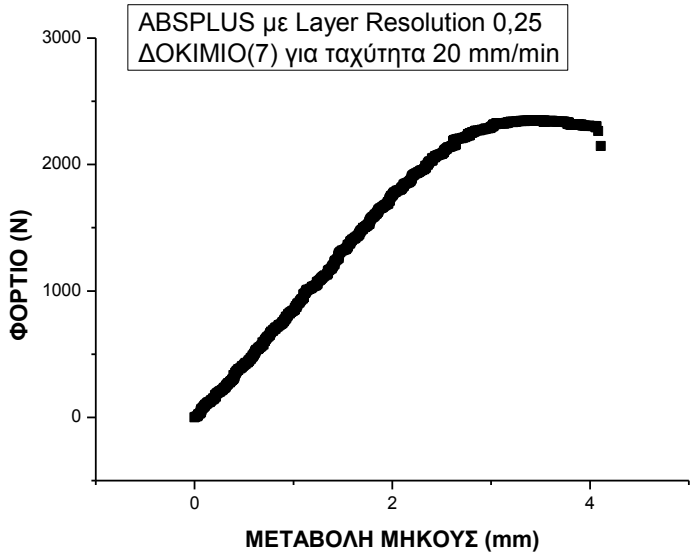

ABSPLUS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(5) για ταχύτητα 20 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
2
4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

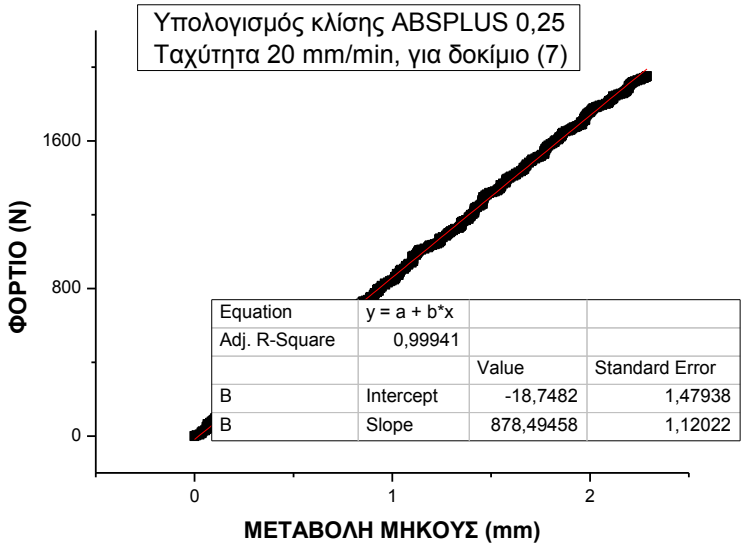

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,25
Ταχύτητα 20 mm/min, για δοκίμιο (5)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2000
1000
0
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99904
Value | Standard Error
B | Intercept | -131,469 | 2,26275
B | Slope | 828,73397 | 1,23106



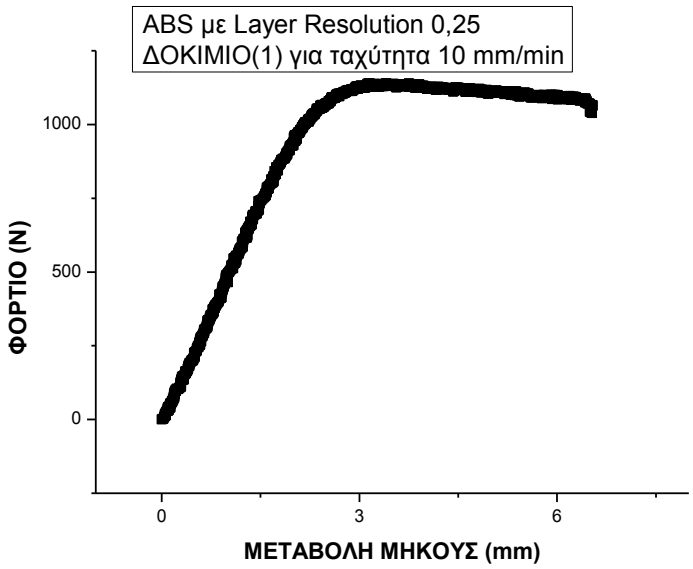


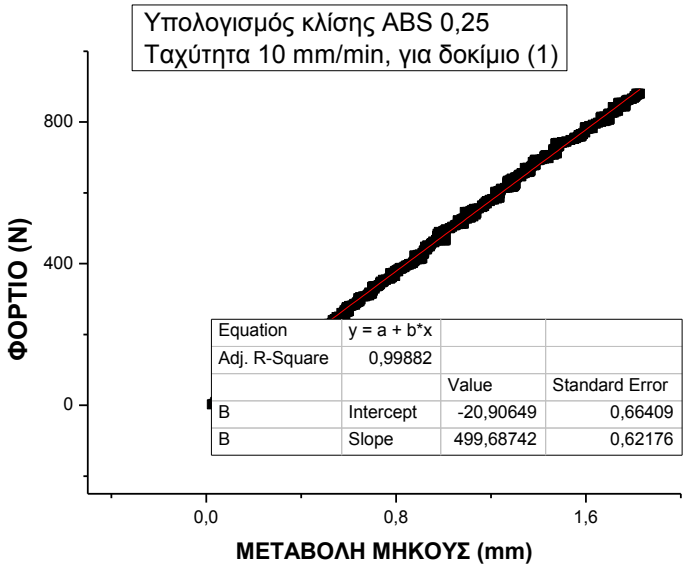
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99903		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-7,02203	1,83598
B	Slope	892,07785	1,5148



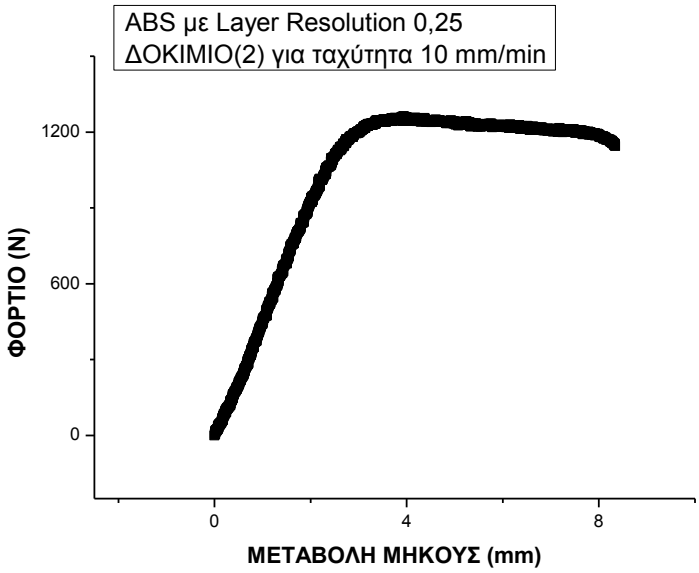


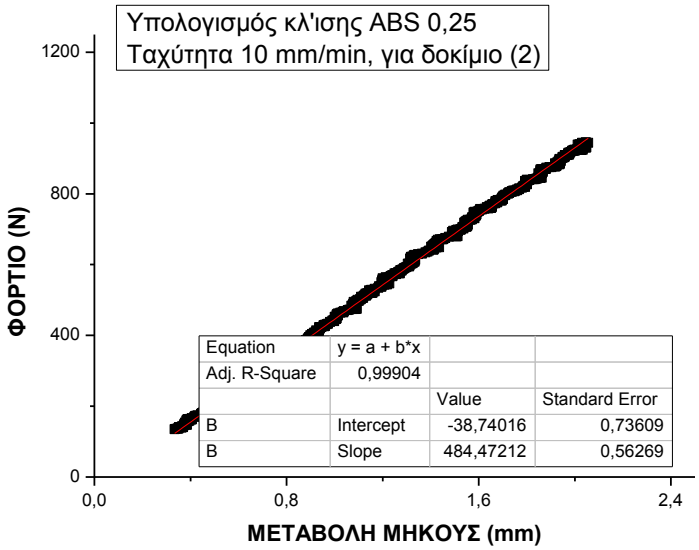
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99941		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-18,7482	1,47938
B	Slope	878,49458	1,12022

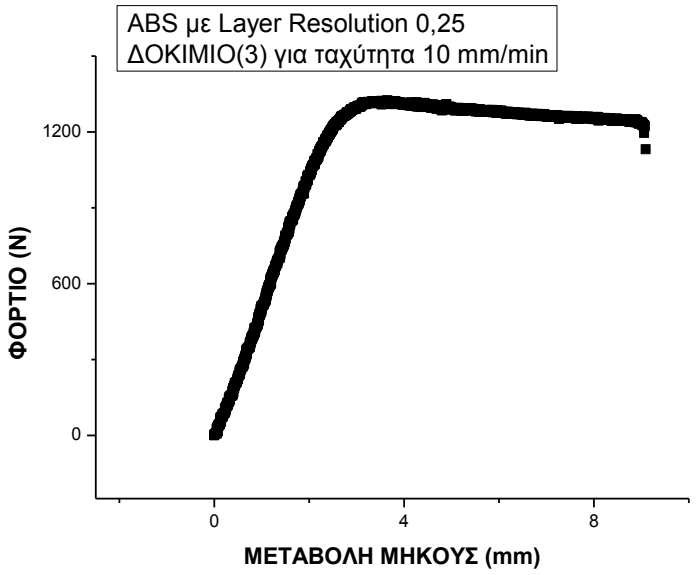


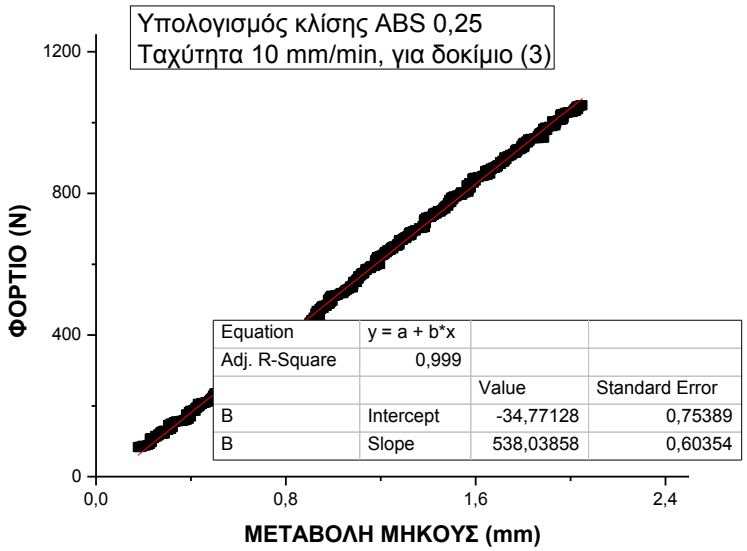


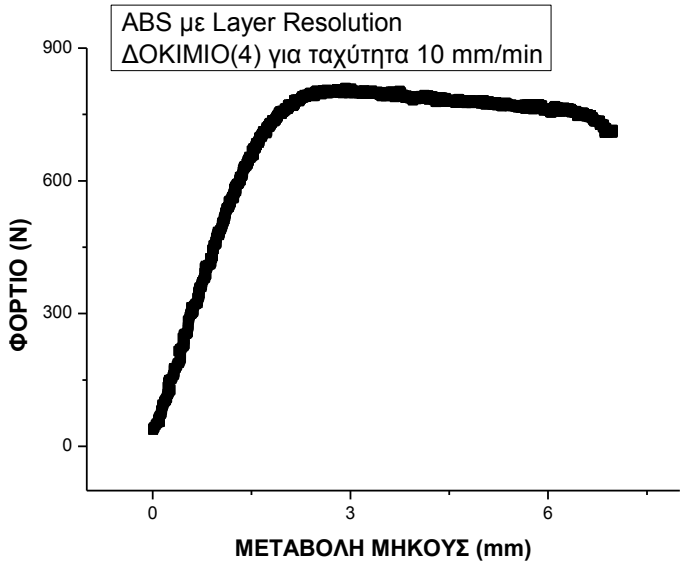
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99882		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-20,90649	0,66409
B	Slope	499,68742	0,62176

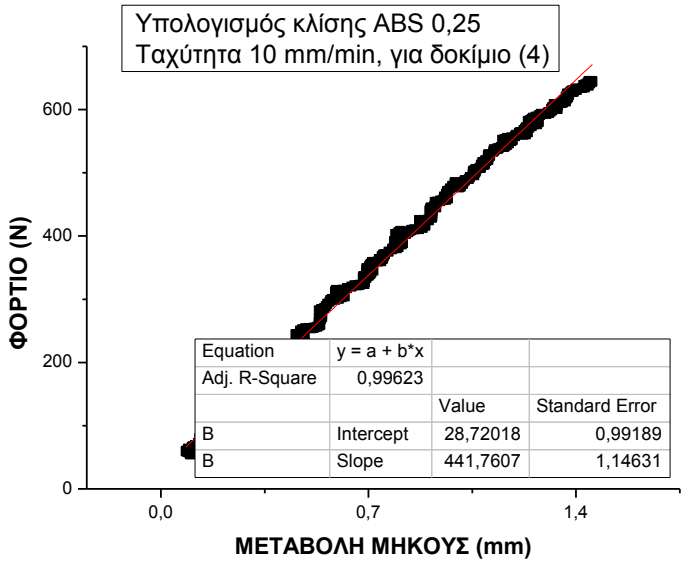

ABS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(2) για ταχύτητα 10 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
600
0
0
4
8
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

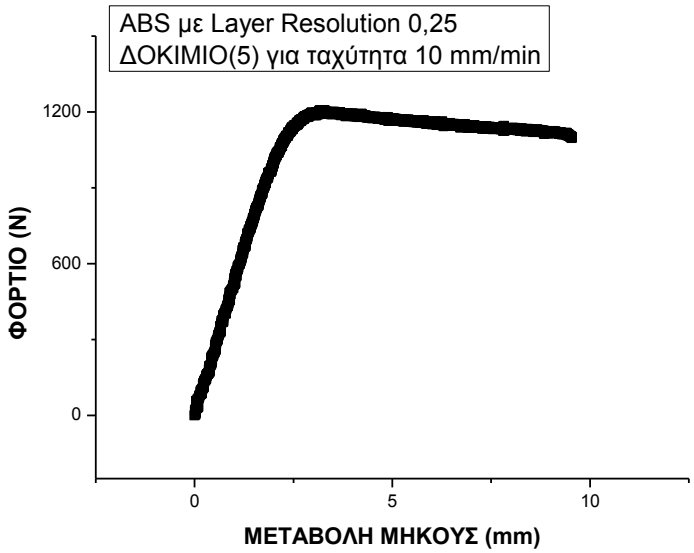

Υπολογισμός κλ'ισης ABS 0,25
Ταχύτητα 10 mm/min, για δοκίμιο (2)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
800
400
0
0,0
0,8
1,6
2,4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99904
Value | Standard Error
B | Intercept | -38,74016 | 0,73609
B | Slope | 484,47212 | 0,56269

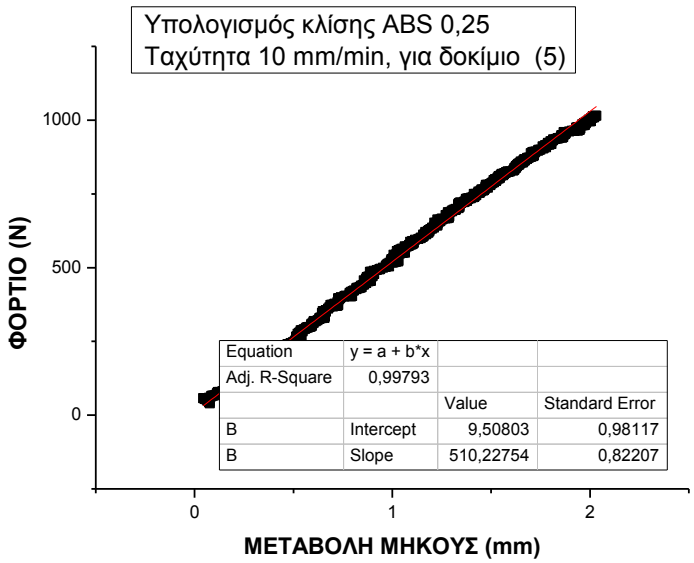

ABS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(3) για ταχύτητα 10 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
600
0
0
4
8
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

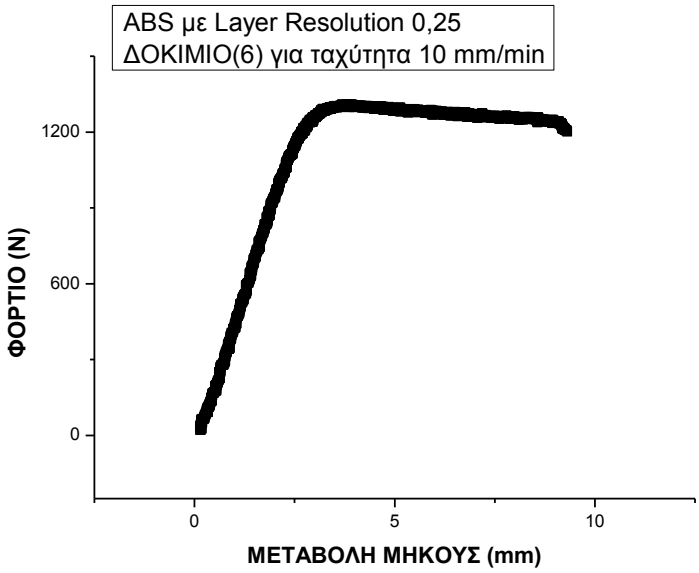

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,25
Ταχύτητα 10 mm/min, για δοκίμιο (3)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
800
400
0
0,0
0,8
1,6
2,4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,999
Value | Standard Error
B | Intercept | -34,77128 | 0,75389
B | Slope | 538,03858 | 0,60354

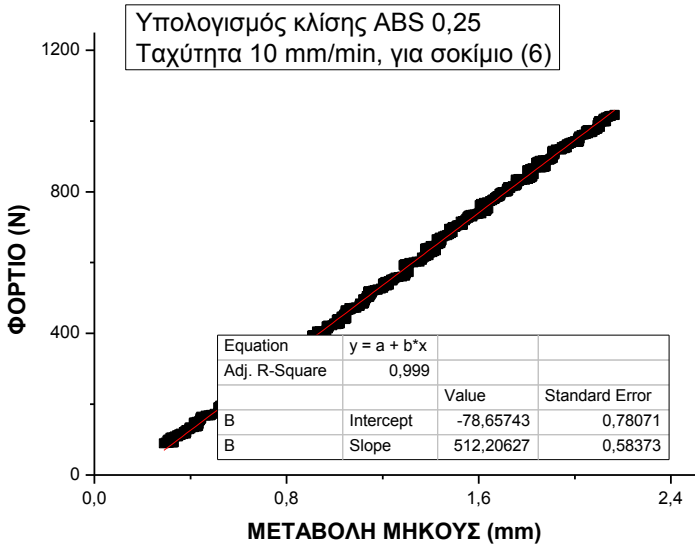

ABS με Layer Resolution
ΔΟΚΙΜΙΟ(4) για ταχύτητα 10 mm/min
900
600
300
0
ΦΟΡΤΙΟ (N)
0
3
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

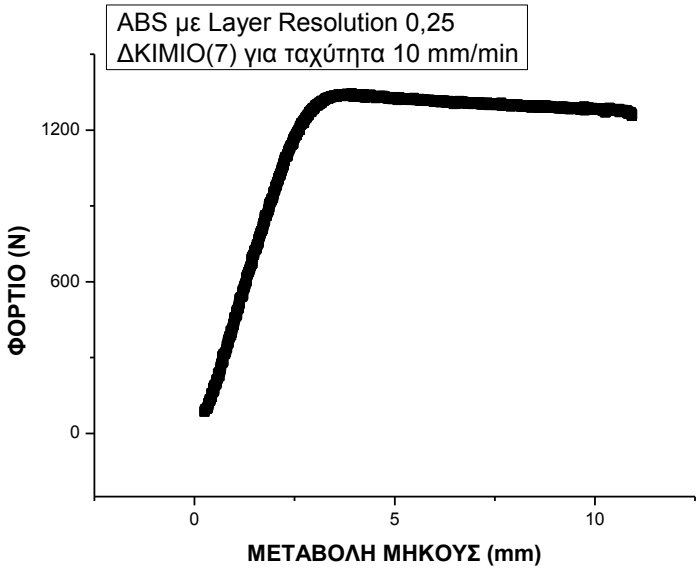

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,25
Ταχύτητα 10 mm/min, για δοκίμιο (4)
600
400
200
0
ΦΟΡΤΙΟ (N)
0,0
0,7
1,4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99623
Value | Standard Error
B | Intercept | 28,72018 | 0,99189
B | Slope | 441,7607 | 1,14631

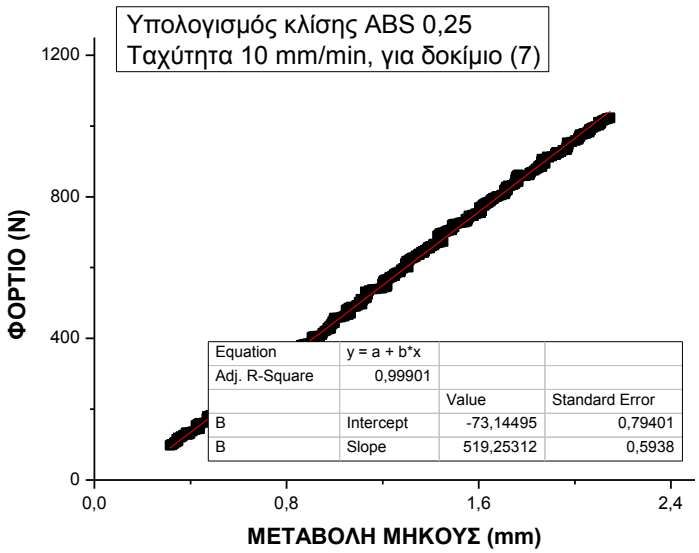

ABS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(5) για ταχύτητα 10 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
600
0
0
5
10
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

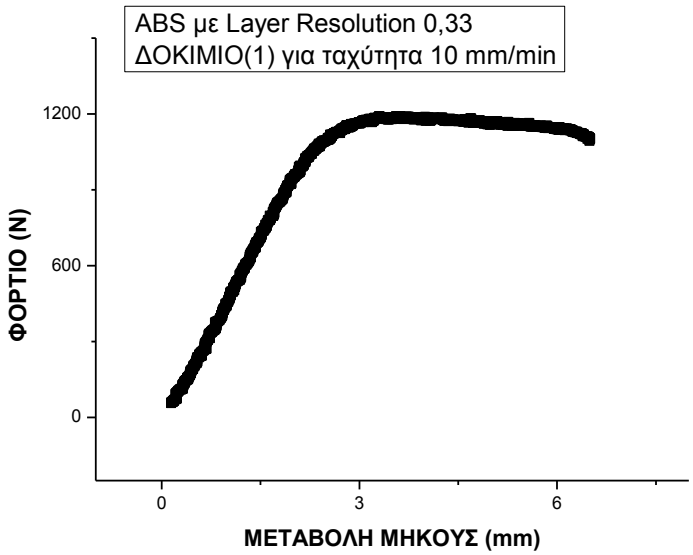

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,25
Ταχύτητα 10 mm/min, για δοκίμιο (5)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1000
500
0
0
1
2
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99793
Value | Standard Error
B | Intercept | 9,50803 | 0,98117
B | Slope | 510,22754 | 0,82207

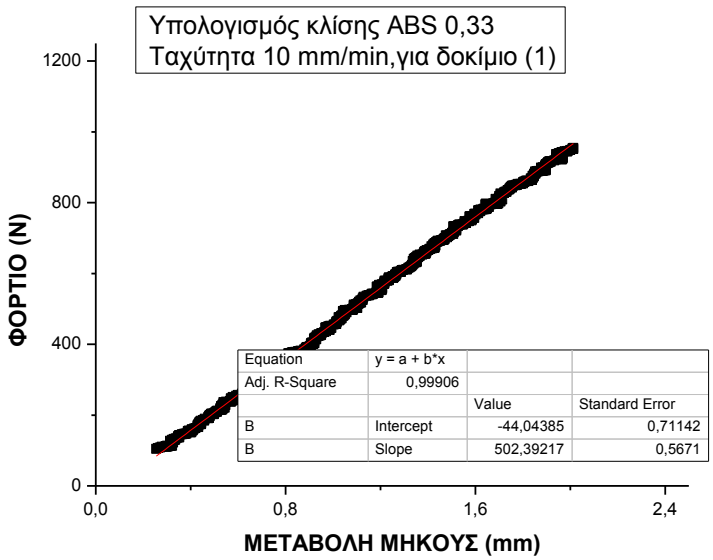

ABS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(6) για ταχύτητα 10 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
600
0
0
5
10
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

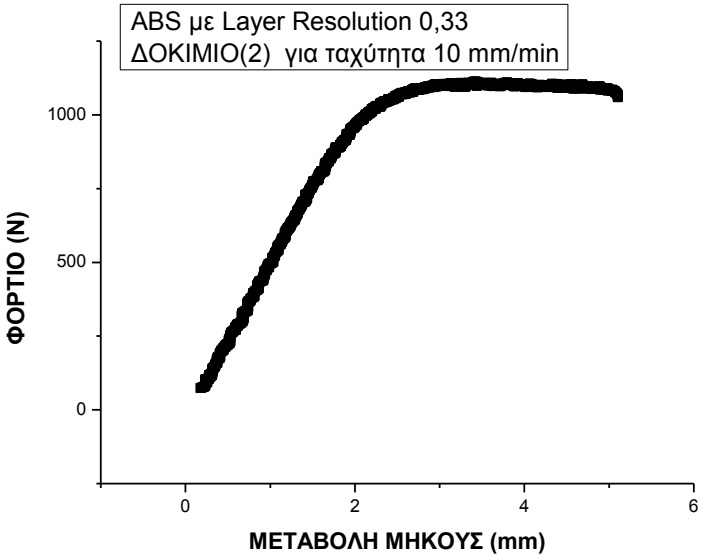

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,25
Ταχύτητα 10 mm/min, για σοκίμιο (6)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
800
400
0
0,0
0,8
1,6
2,4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,999
Value | Standard Error
B | Intercept | -78,65743 | 0,78071
B | Slope | 512,20627 | 0,58373

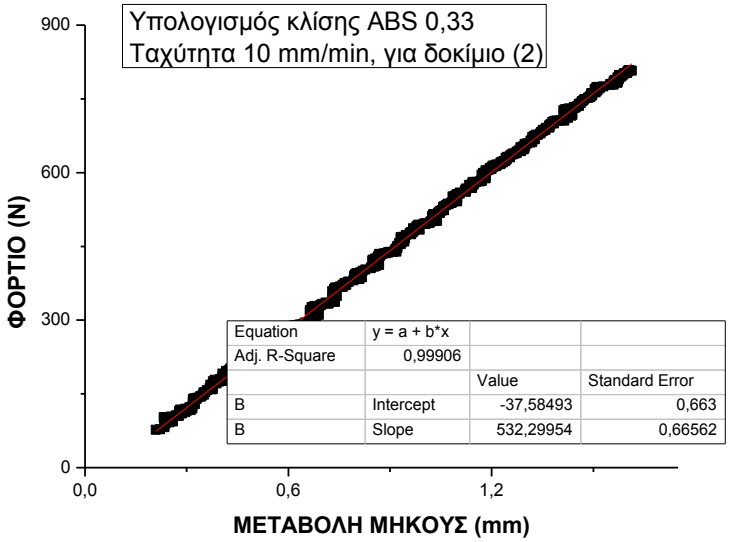

ABS με Layer Resolution 0,25
ΔΚΙΜΙΟ(7) για ταχύτητα 10 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
600
0
0
5
10
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

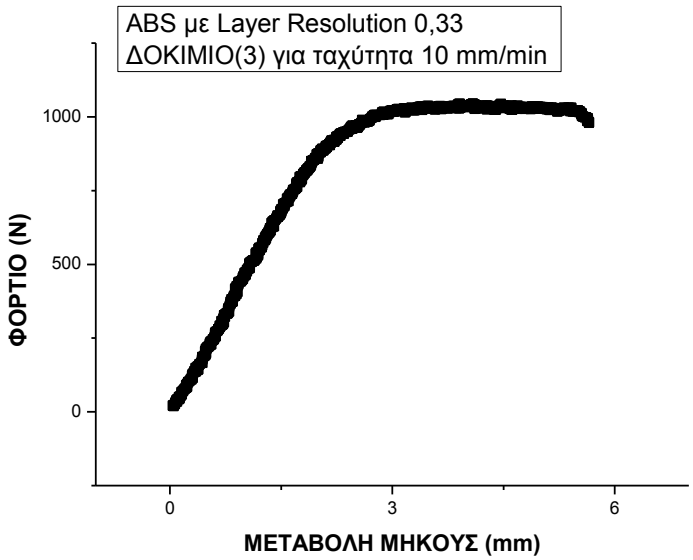

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,25
Ταχύτητα 10 mm/min, για δοκίμιο (7)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
800
400
0
0,0
0,8
1,6
2,4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99901
Value | Standard Error
B | Intercept | -73,14495 | 0,79401
B | Slope | 519,25312 | 0,5938

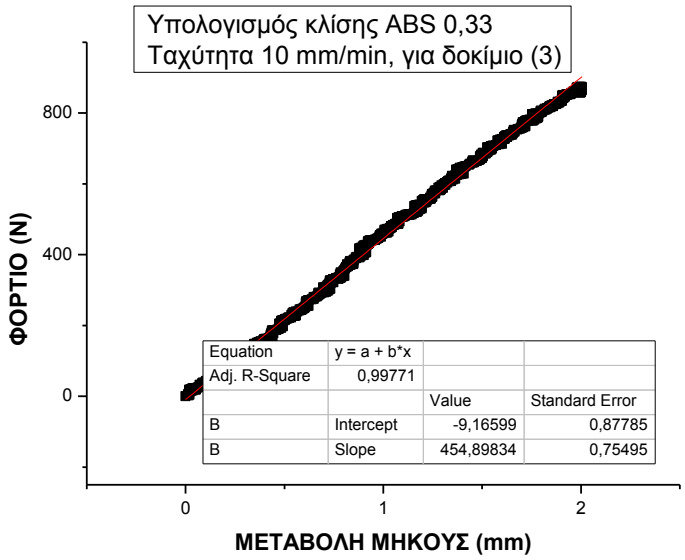

ABS με Layer Resolution 0,33
ΔΟΚΙΜΙΟ(1) για ταχύτητα 10 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
600
0
0
3
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

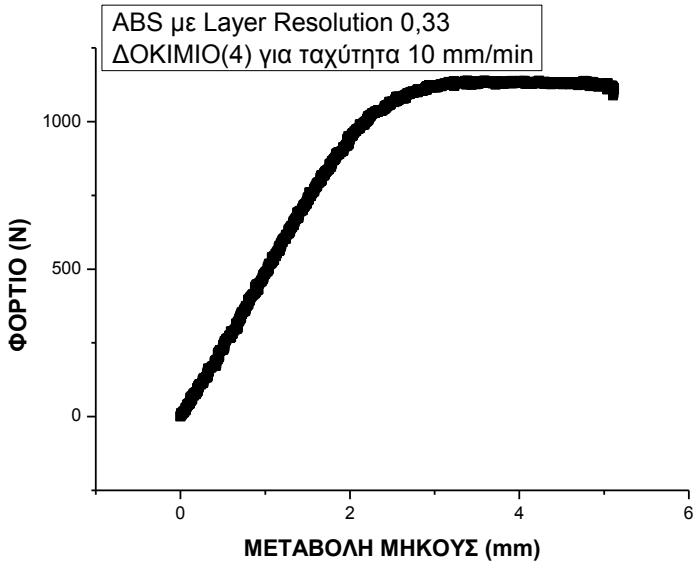

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,33
Ταχύτητα 10 mm/min,για δοκίμιο (1)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
800
400
0
0,0
0,8
1,6
2,4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99906
Value | Standard Error
B | Intercept | -44,04385 | 0,71142
B | Slope | 502,39217 | 0,5671

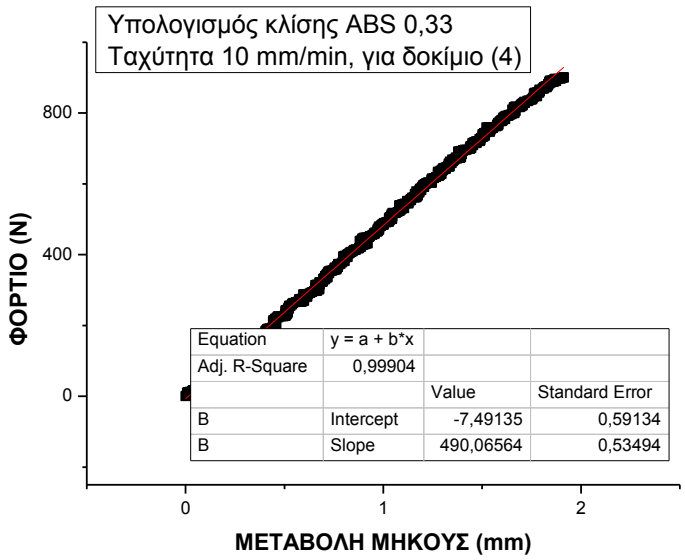

ABS με Layer Resolution 0,33
ΔΟΚΙΜΙΟ(2) για ταχύτητα 10 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1000
500
0
0
2
4
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)


Υπολογισμός κλίσης ABS 0,33
Ταχύτητα 10 mm/min, για δοκίμιο (2)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
900
600
300
0
0,0
0,6
1,2
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99906
Value | Standard Error
B | Intercept | -37,58493 | 0,663
B | Slope | 532,29954 | 0,66562

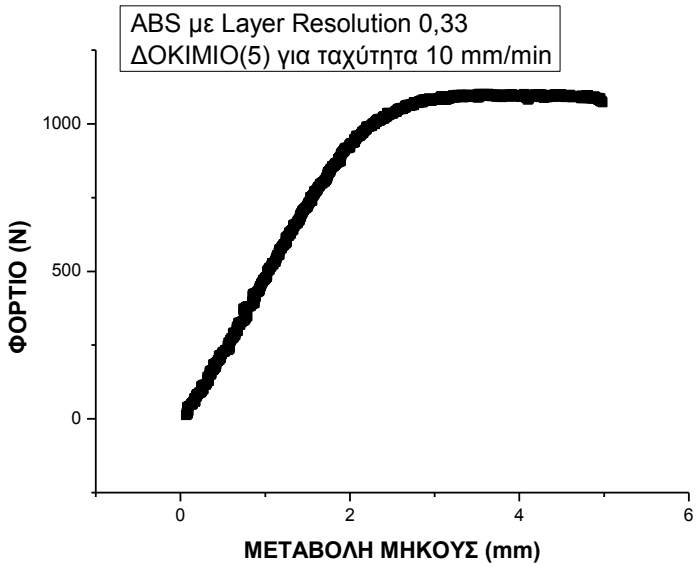

ABS με Layer Resolution 0,33
ΔΟΚΙΜΙΟ(3) για ταχύτητα 10 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1000
500
0
0
3
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

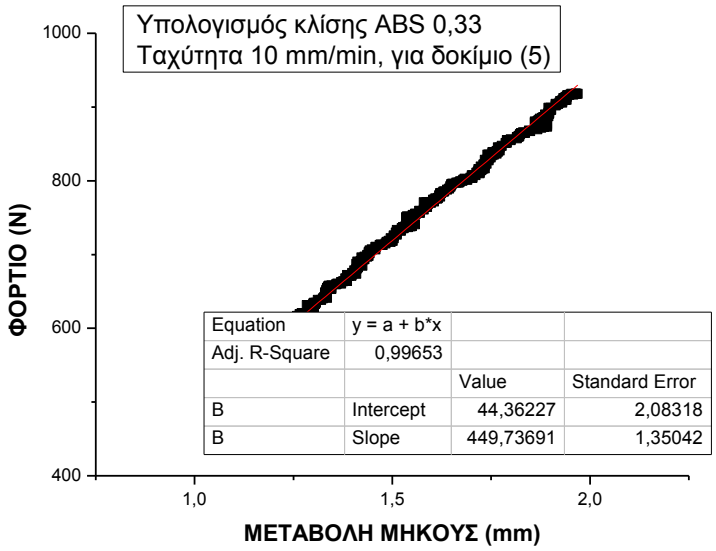

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,33
Ταχύτητα 10 mm/min, για δοκίμιο (3)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
800
400
0
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99771
Value | Standard Error
B | Intercept | -9,16599 | 0,87785
B | Slope | 454,89834 | 0,75495
0
1
2
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)



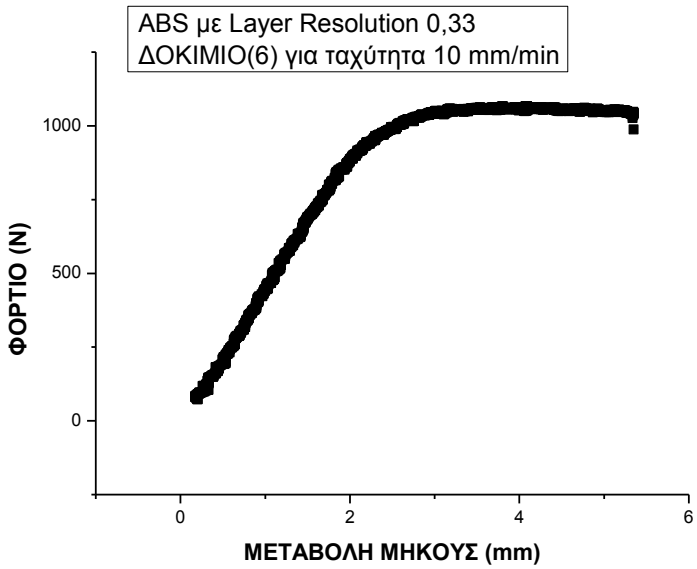


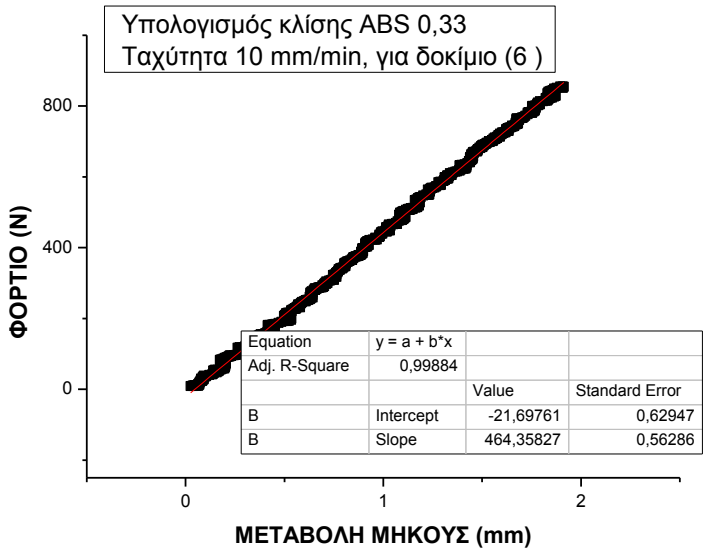
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99904		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-7,49135	0,59134
B	Slope	490,06564	0,53494

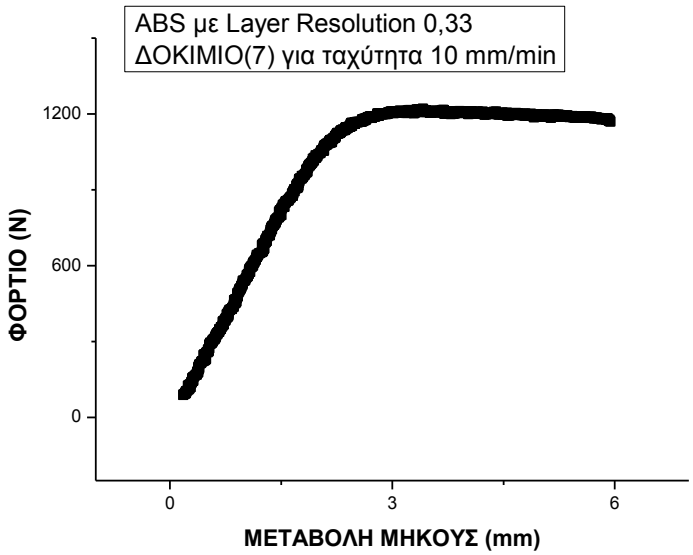


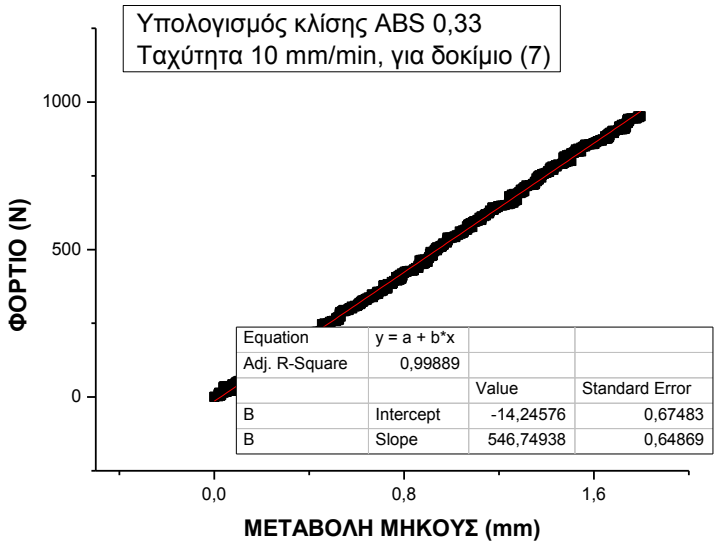


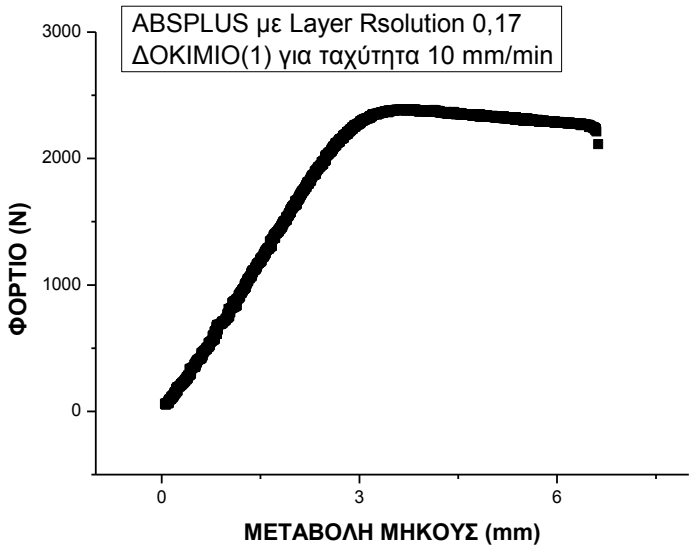
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99653		
		Value	Standard Error
B	Intercept	44,36227	2,08318
B	Slope	449,73691	1,35042

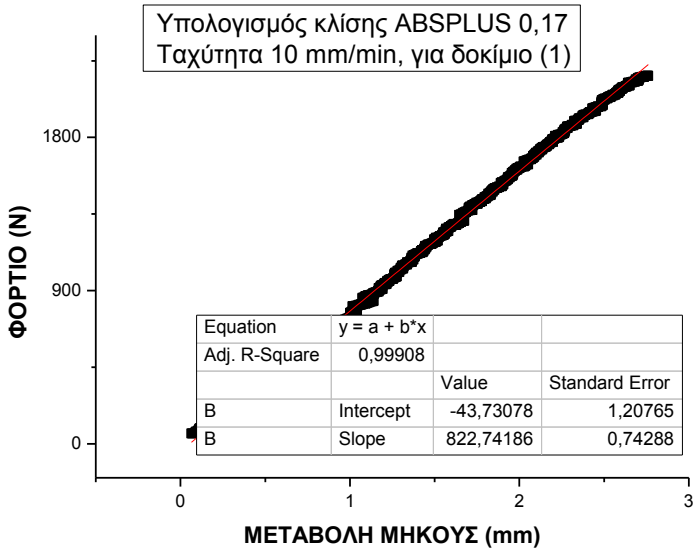

ABS με Layer Resolution 0,33
ΔΟΚΙΜΙΟ(6) για ταχύτητα 10 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1000
500
0
0
2
4
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)


Υπολογισμός κλίσης ABS 0,33
Ταχύτητα 10 mm/min, για δοκίμιο (6)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
800
400
0
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99884
Value | Standard Error
B | Intercept | -21,69761 | 0,62947
B | Slope | 464,35827 | 0,56286
0
1
2
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

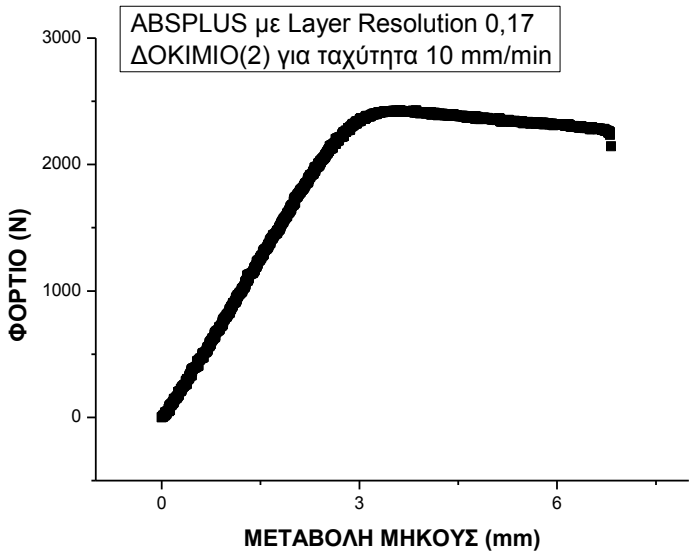

ABS με Layer Resolution 0,33
ΔΟΚΙΜΙΟ(7) για ταχύτητα 10 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
600
0
0
3
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

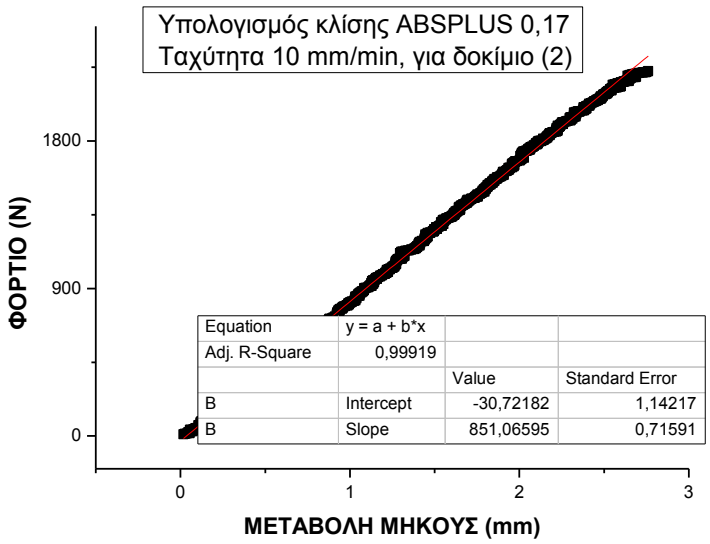

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,33
Ταχύτητα 10 mm/min, για δοκίμιο (7)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1000
500
0
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99889
Value | Standard Error
B | Intercept | -14,24576 | 0,67483
B | Slope | 546,74938 | 0,64869
0,0
0,8
1,6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)



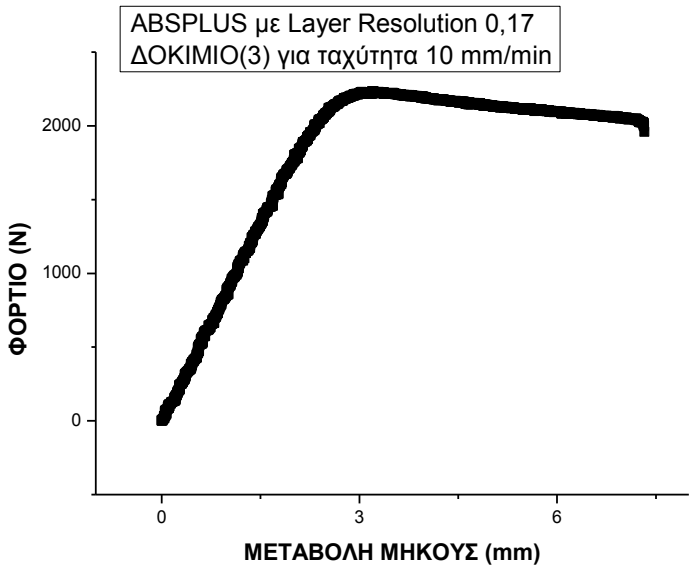


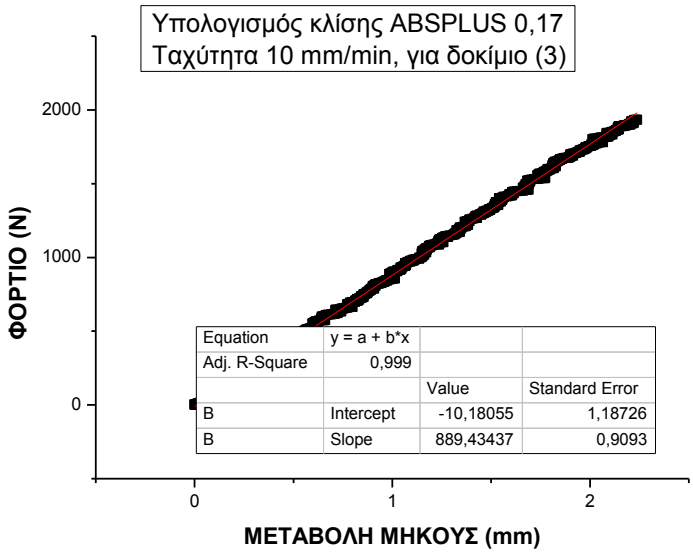
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99908		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-43,73078	1,20765
B	Slope	822,74186	0,74288



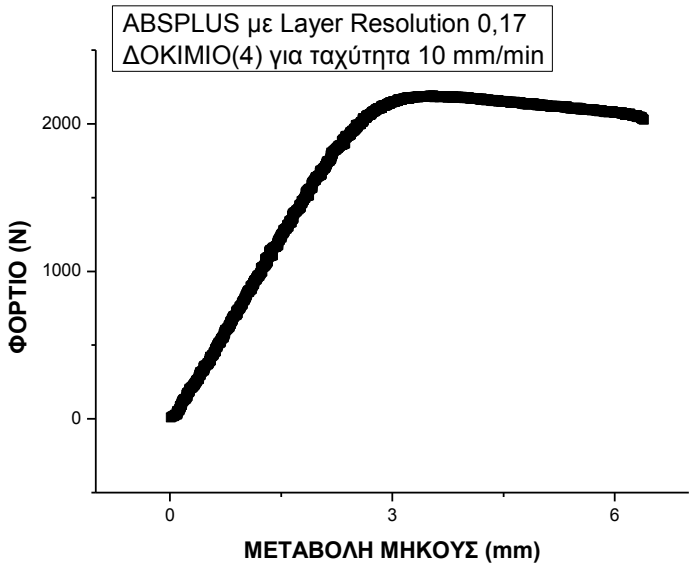


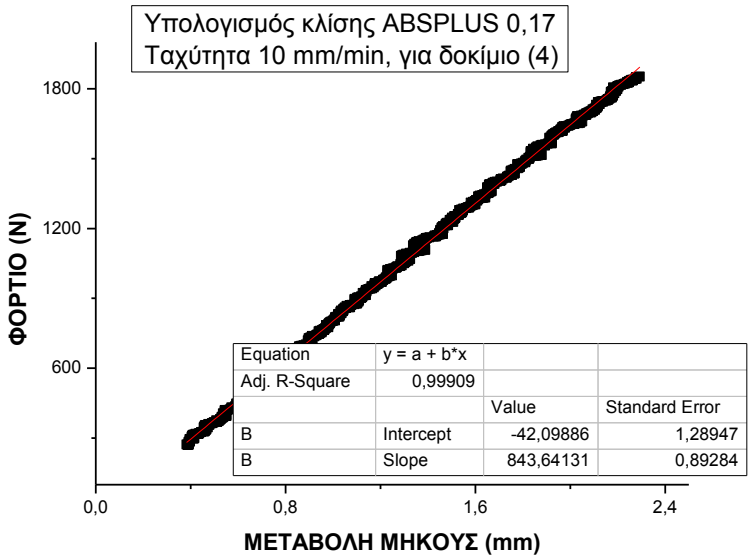
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99919		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-30,72182	1,14217
B	Slope	851,06595	0,71591



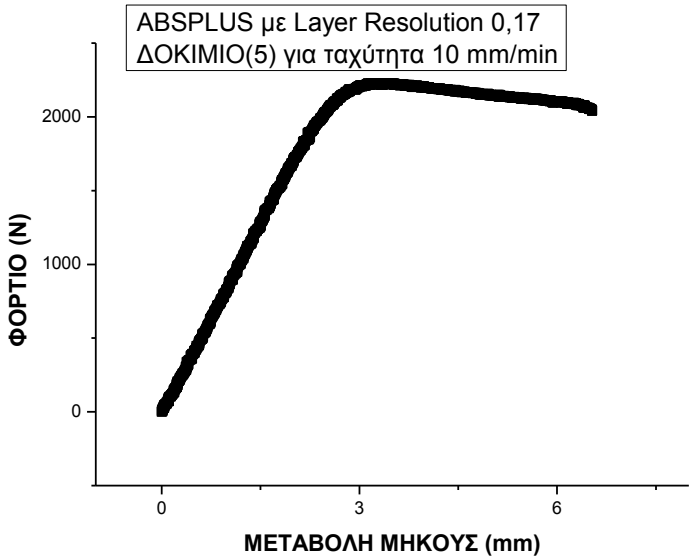


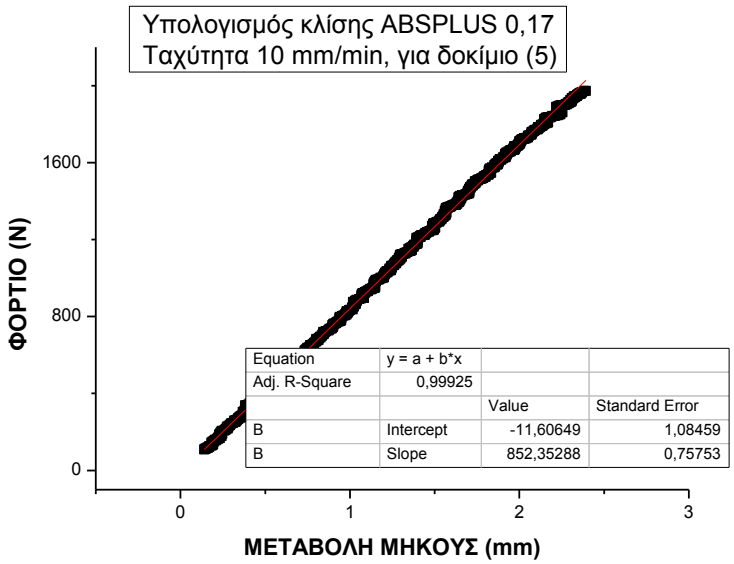
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,999		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-10,18055	1,18726
B	Slope	889,43437	0,9093

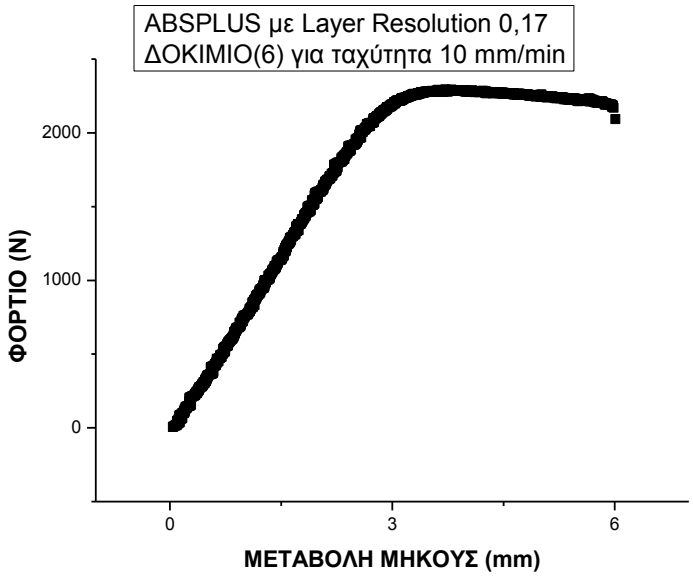


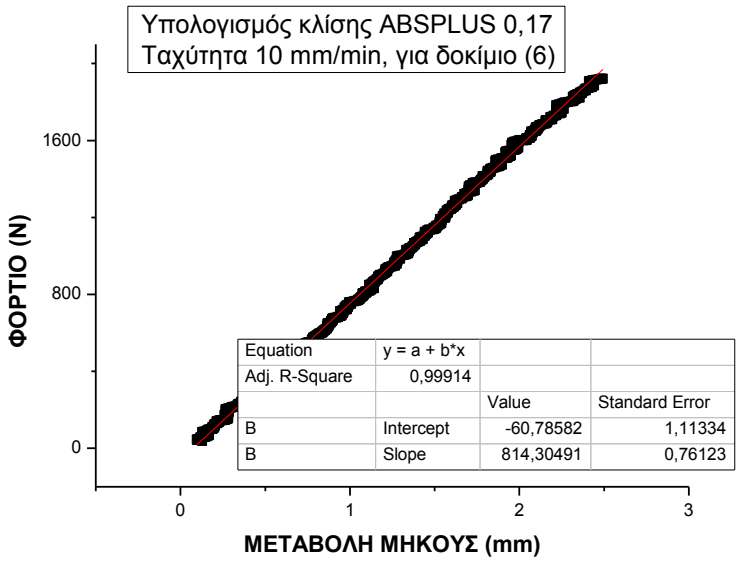


Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99909		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-42,09886	1,28947
B	Slope	843,64131	0,89284

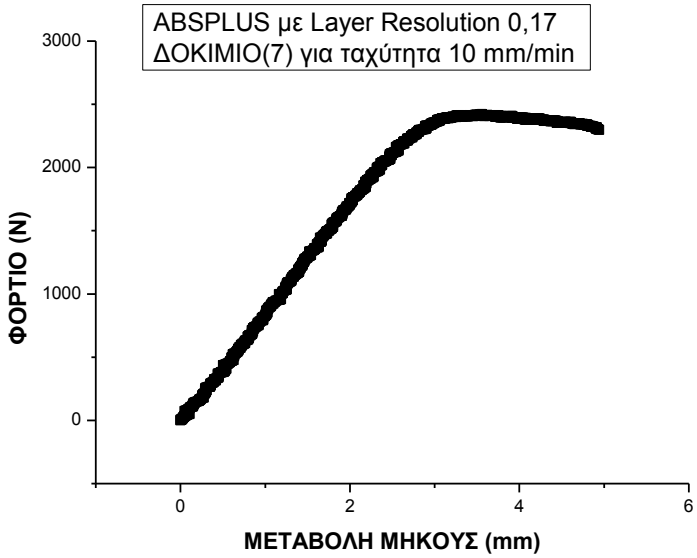

ABSPLUS με Layer Resolution 0,17
ΔΟΚΙΜΙΟ(5) για ταχύτητα 10 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2000
1000
0
0
3
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

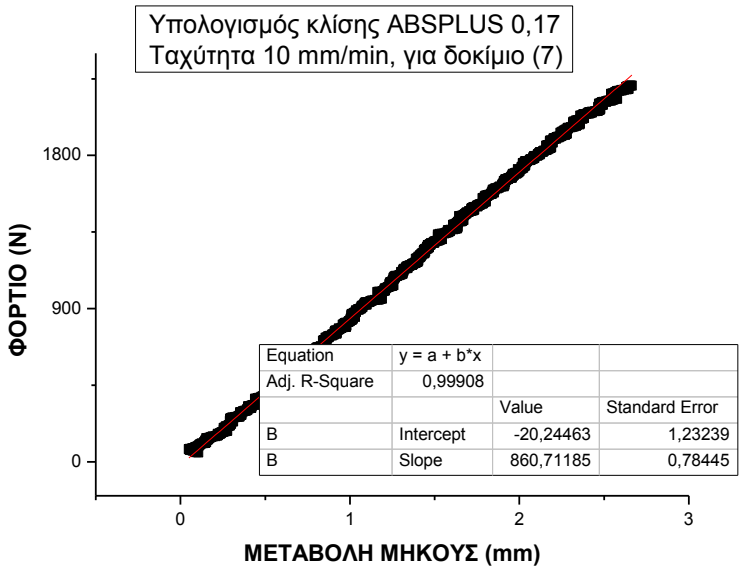

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,17
Ταχύτητα 10 mm/min, για δοκίμιο (5)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1600
800
0
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99925
Value | Standard Error
B | Intercept | -11,60649 | 1,08459
B | Slope | 852,35288 | 0,75753



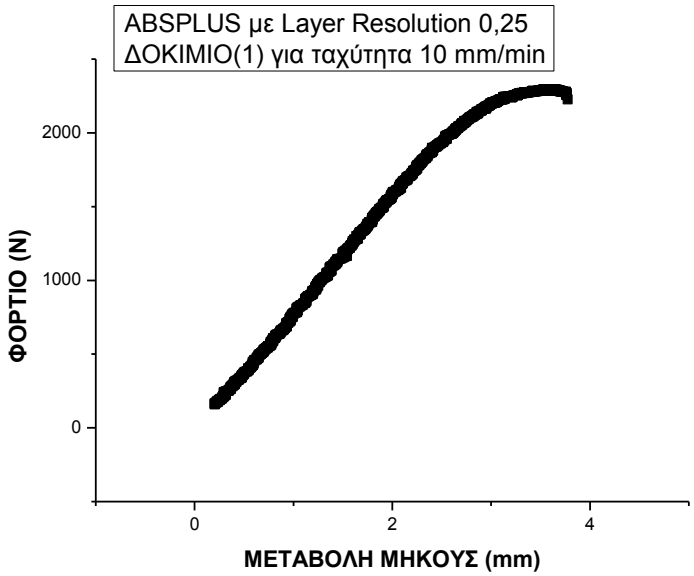


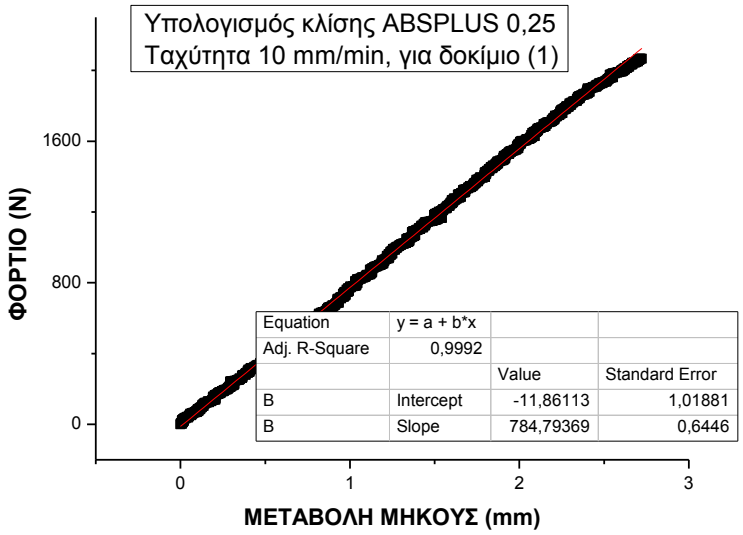
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99914		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-60,78582	1,11334
B	Slope	814,30491	0,76123

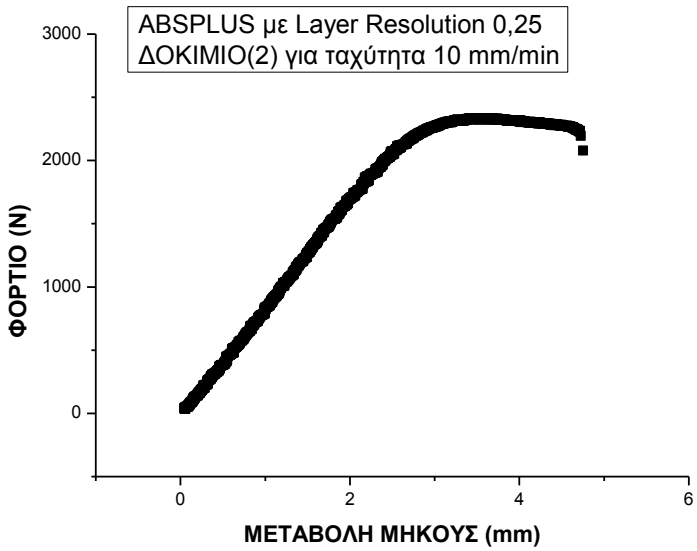


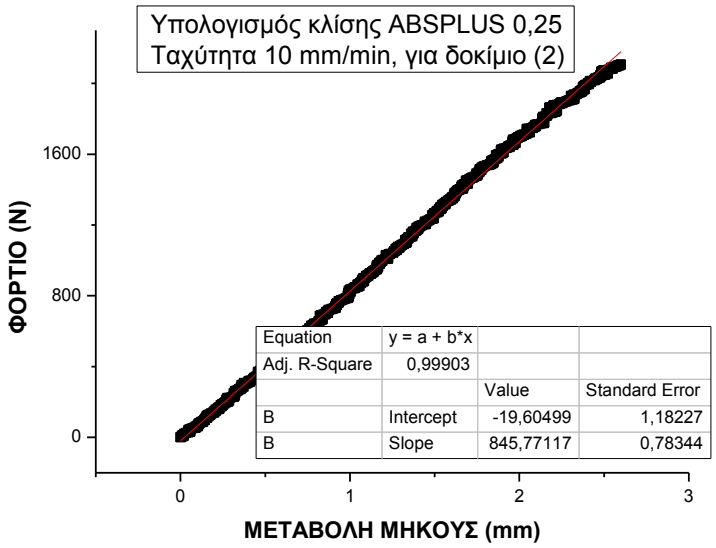


Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99908		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-20,24463	1,23239
B	Slope	860,71185	0,78445

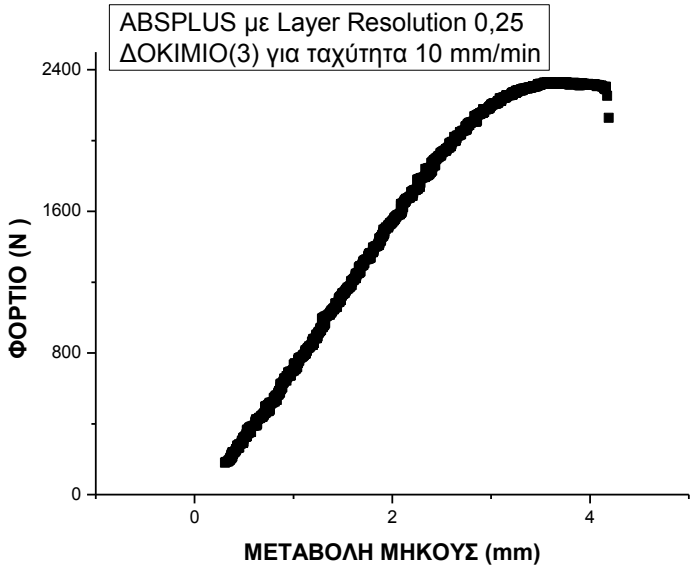

ABSPLUS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(1) για ταχύτητα 10 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2000
1000
0
0
2
4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

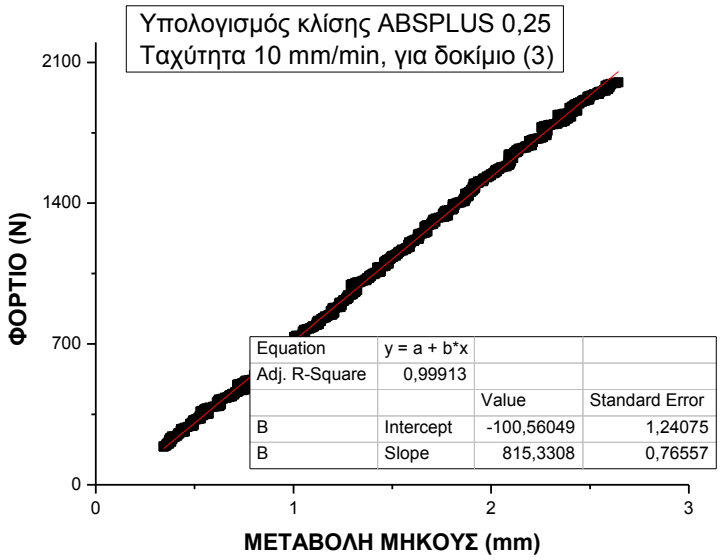

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,25
Ταχύτητα 10 mm/min, για δοκίμιο (1)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1600
800
0
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,9992
Value | Standard Error
B | Intercept | -11,86113 | 1,01881
B | Slope | 784,79369 | 0,6446

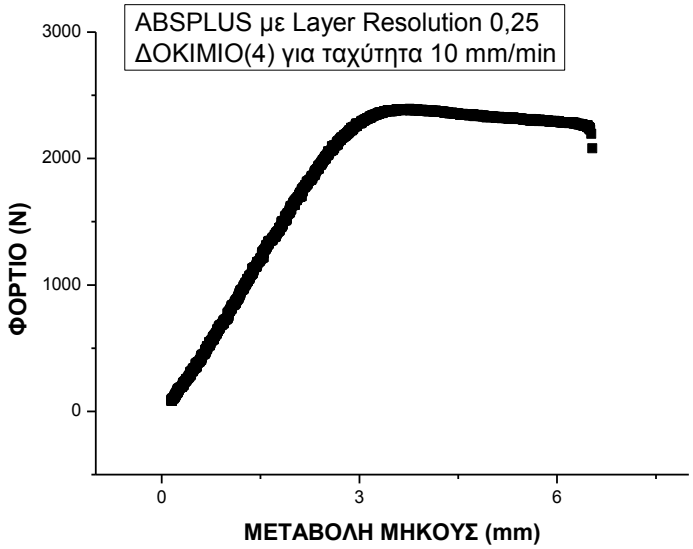


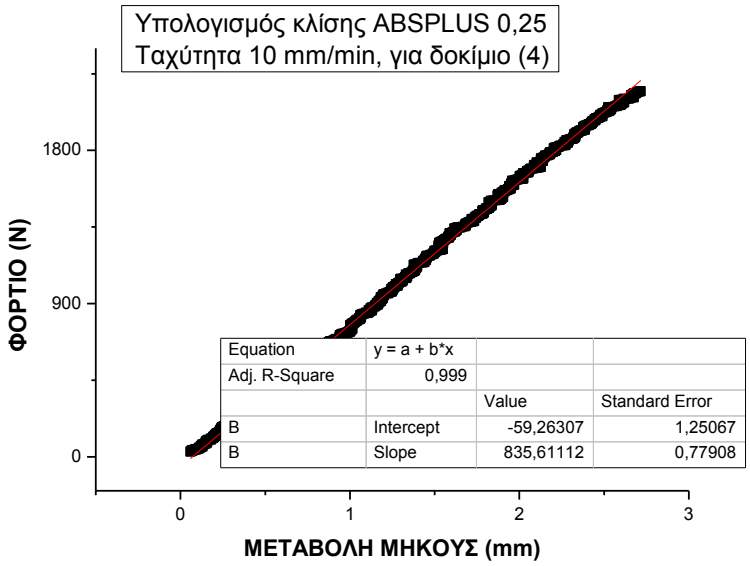


Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99903		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-19,60499	1,18227
B	Slope	845,77117	0,78344

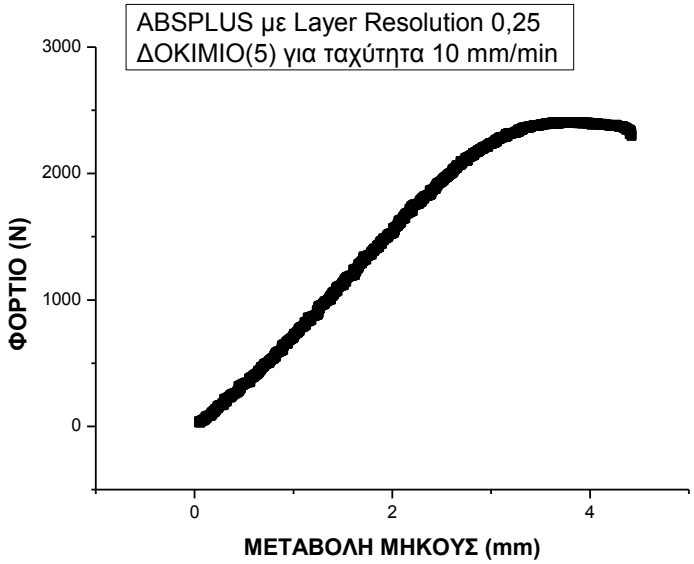

ABSPLUS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(3) για ταχύτητα 10 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
2400
1600
800
0
0
2
4

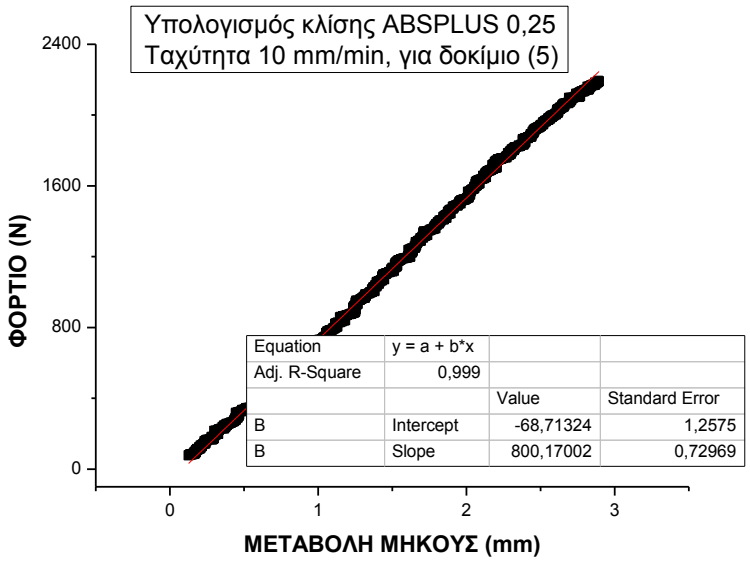

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,25
Ταχύτητα 10 mm/min, για δοκίμιο (3)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
2100
1400
700
0
0
1
2
3
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99913
Value | Standard Error
B | Intercept | -100,56049 | 1,24075
B | Slope | 815,3308 | 0,76557

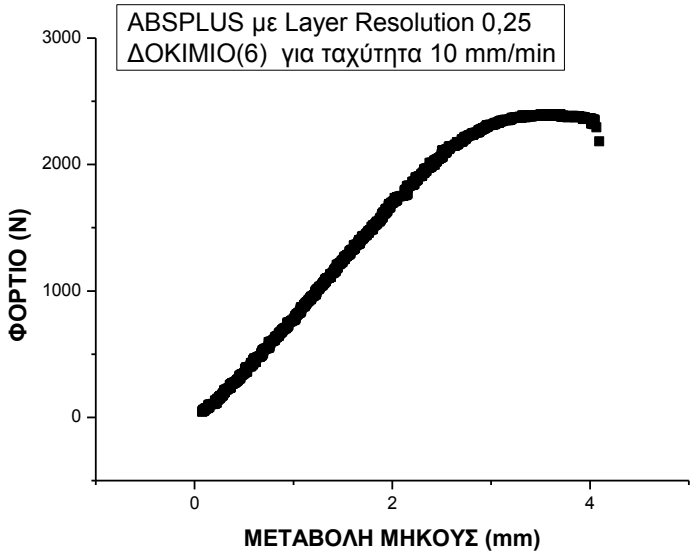


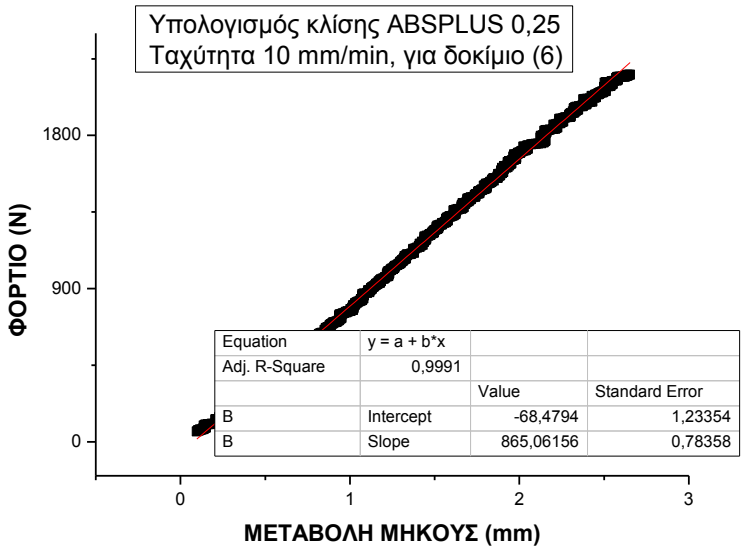


Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,999		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-59,26307	1,25067
B	Slope	835,61112	0,77908

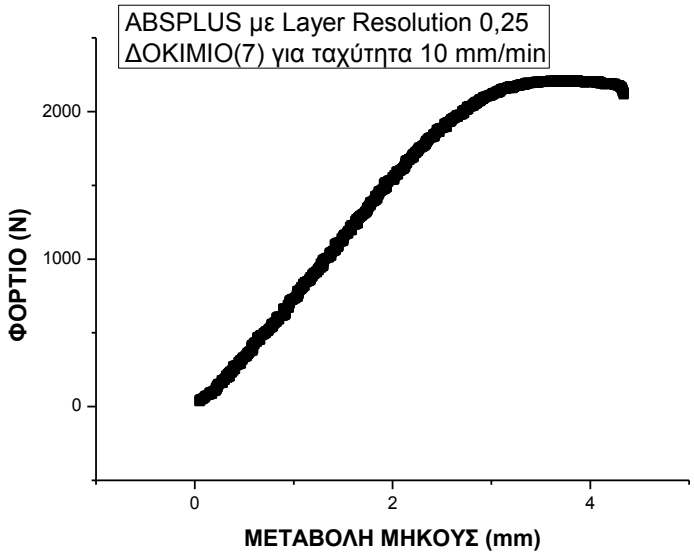

ABSPLUS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(5) για ταχύτητα 10 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
2
4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

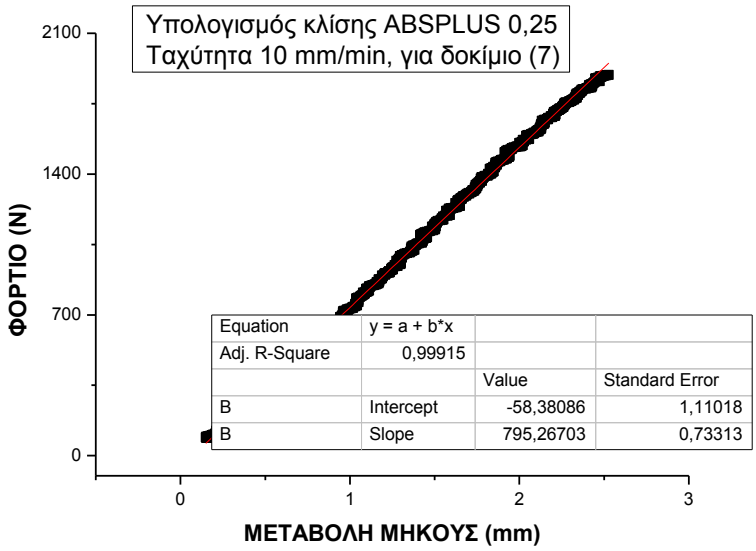

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,25
Ταχύτητα 10 mm/min, για δοκίμιο (5)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2400
1600
800
0
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,999
Value | Standard Error
B | Intercept | -68,71324 | 1,2575
B | Slope | 800,17002 | 0,72969

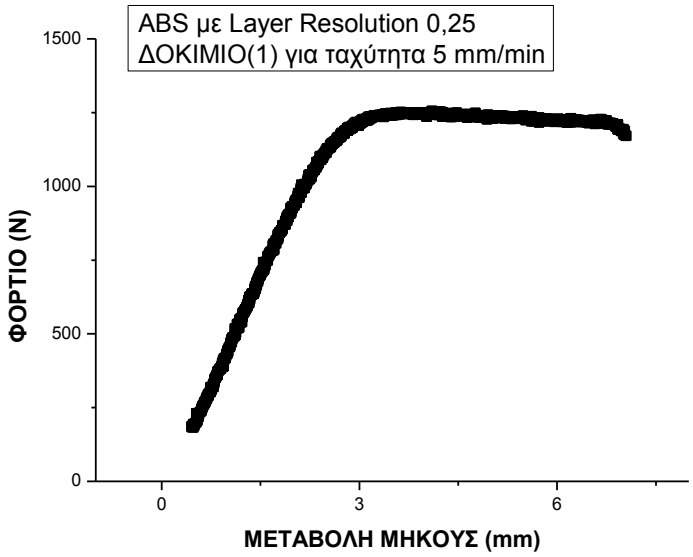


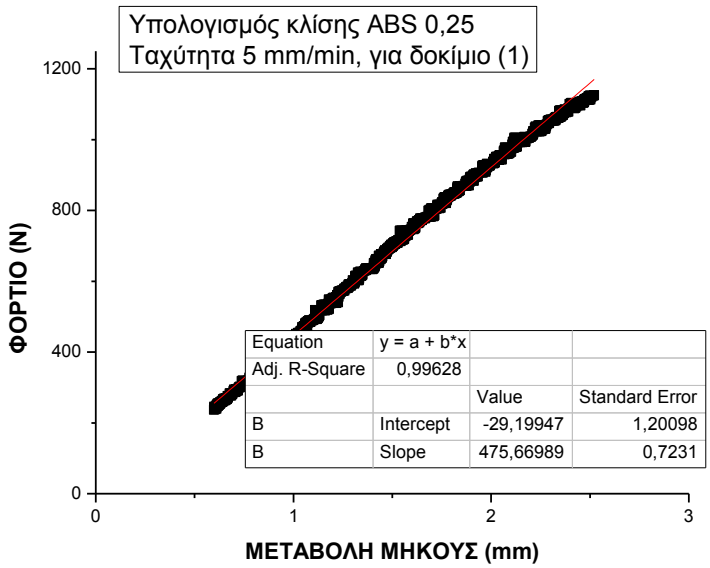


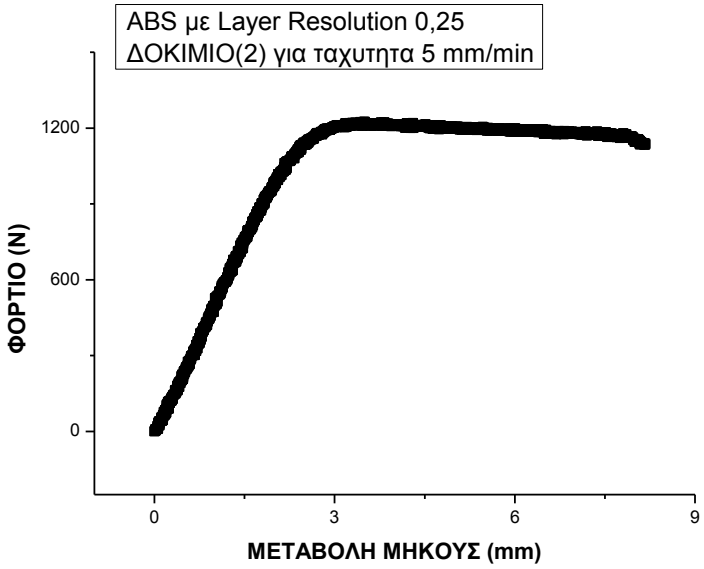
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,9991		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-68,4794	1,23354
B	Slope	865,06156	0,78358

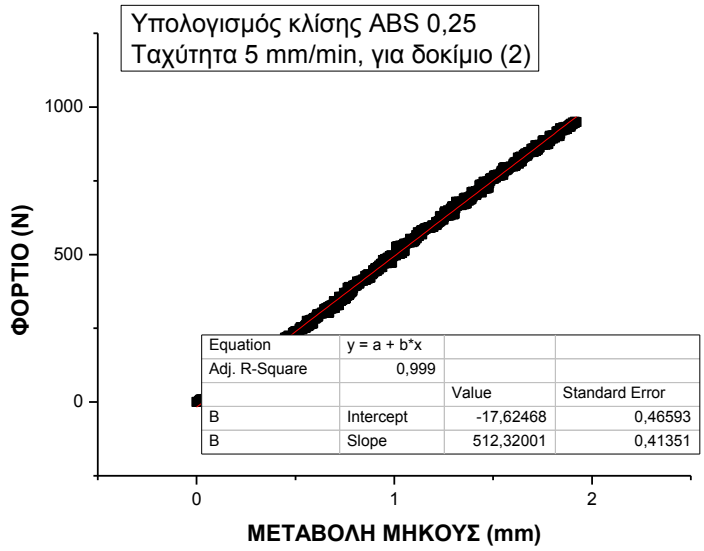

ABSPLUS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(7) για ταχύτητα 10 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2000
1000
0
0
2
4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

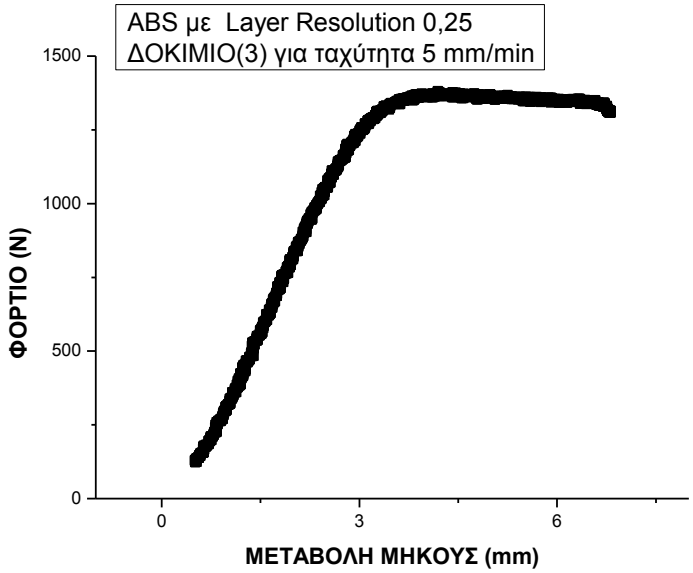

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,25
Ταχύτητα 10 mm/min, για δοκίμιο (7)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2100
1400
700
0
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation y = a + b*x
Adj. R-Square 0,99915
Value Standard Error
B Intercept -58,38086 1,11018
B Slope 795,26703 0,73313

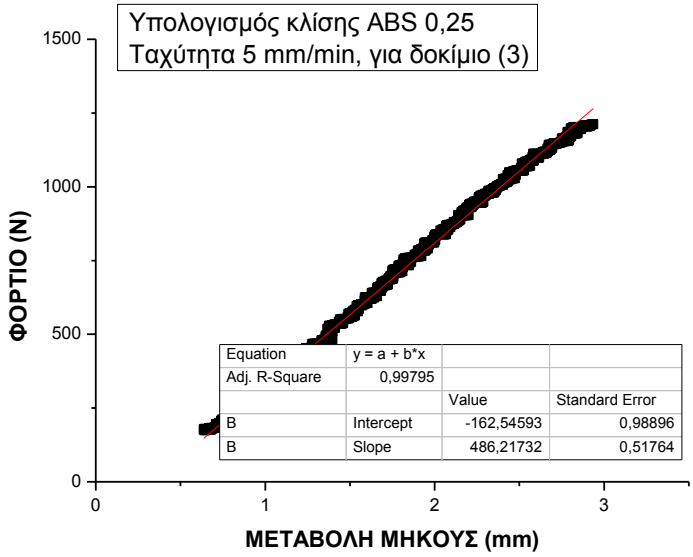

ABS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(1) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
0
500
1000
1500
0
3
6

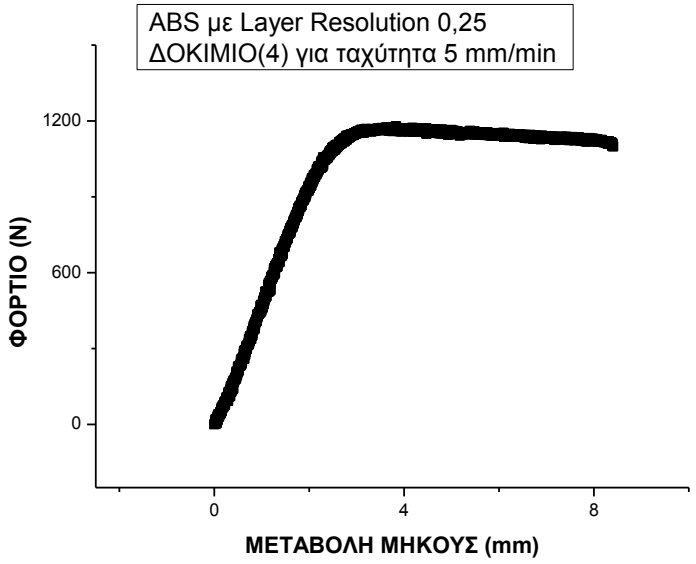

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,25
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (1)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
0
400
800
1200
0
1
2
3
Equation
y = a + b*x
Adj. R-Square
0,99628
Value
Standard Error
B
Intercept
-29,19947
1,20098
B
Slope
475,66989
0,7231

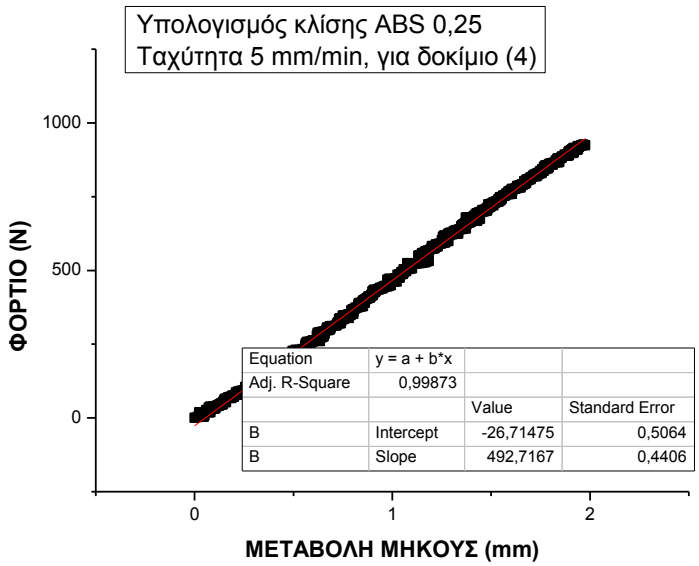

ABS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(2) για ταχυτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
600
0
0
3
6
9
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

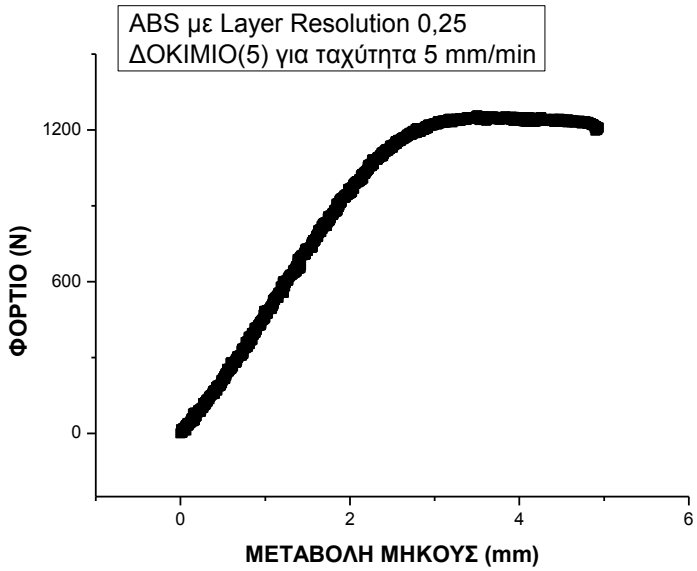

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,25
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (2)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1000
500
0
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,999
Value | Standard Error
B | Intercept | -17,62468 | 0,46593
B | Slope | 512,32001 | 0,41351
0
1
2
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

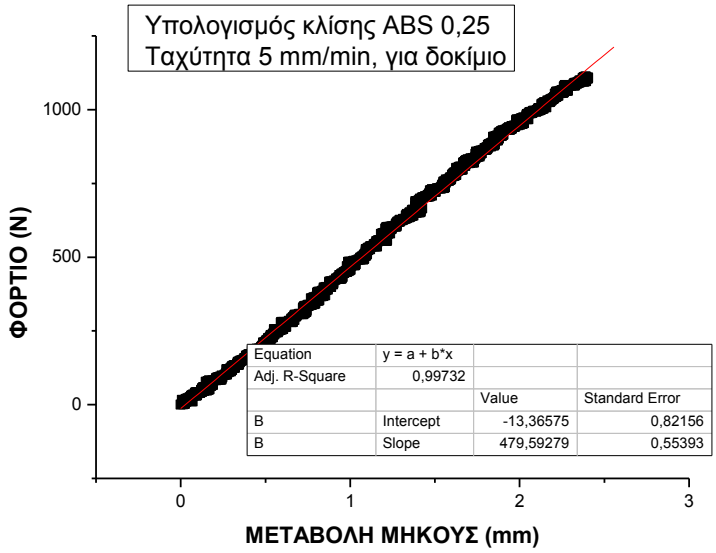

ABS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(3) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1500
1000
500
0
0
3
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

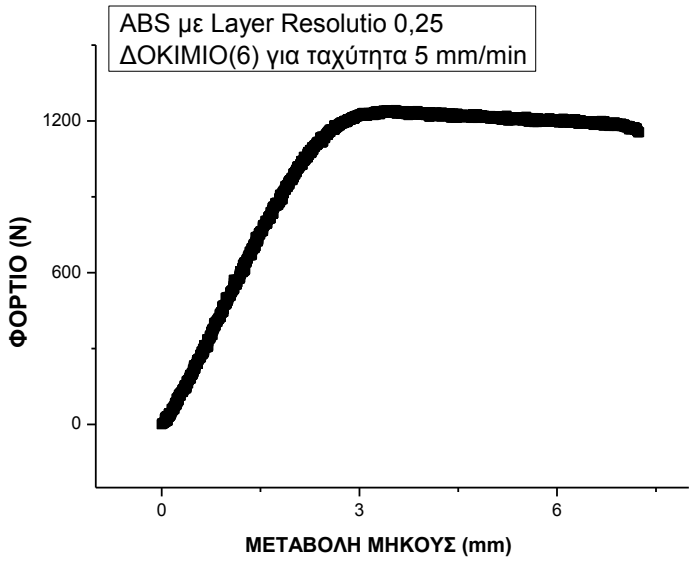

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,25
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (3)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1500
1000
500
0
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation y = a + b*x
Adj. R-Square 0,99795
Value Standard Error
B Intercept -162,54593 0,98896
B Slope 486,21732 0,51764

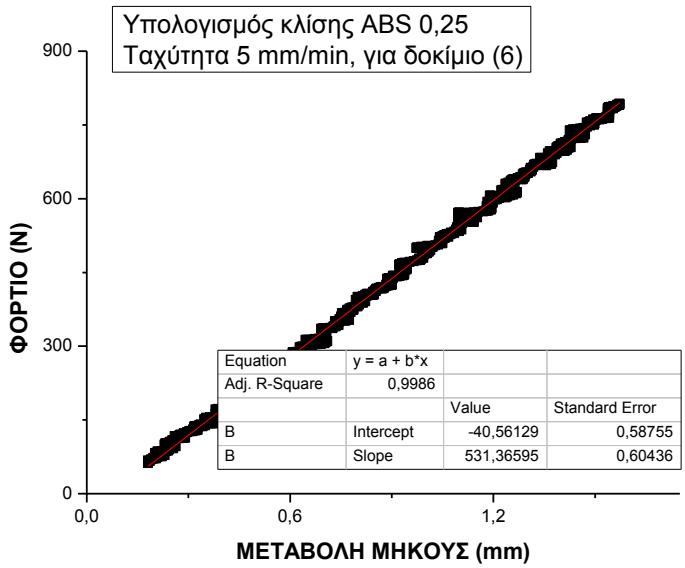

ABS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(4) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
600
0
0
4
8
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

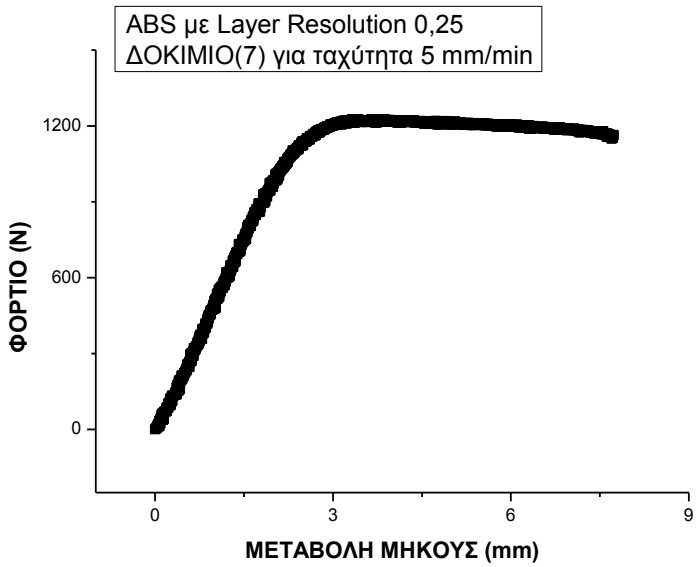

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,25
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (4)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1000
500
0
0
1
2
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation y = a + b*x
Adj. R-Square 0,99873
Value Standard Error
B Intercept -26,71475 0,5064
B Slope 492,7167 0,4406

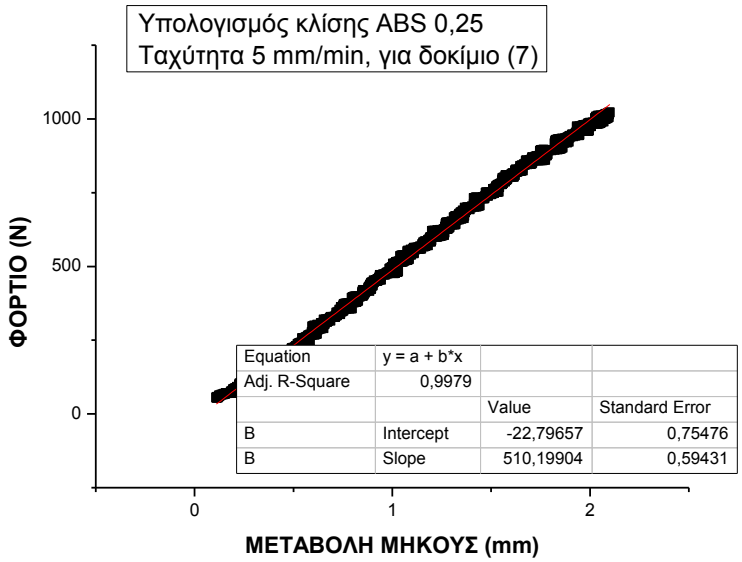

ABS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(5) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
600
0
0
2
4
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)


Υπολογισμός κλίσης ABS 0,25
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1000
500
0
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99732
Value | Standard Error
B | Intercept | -13,36575 | 0,82156
B | Slope | 479,59279 | 0,55393

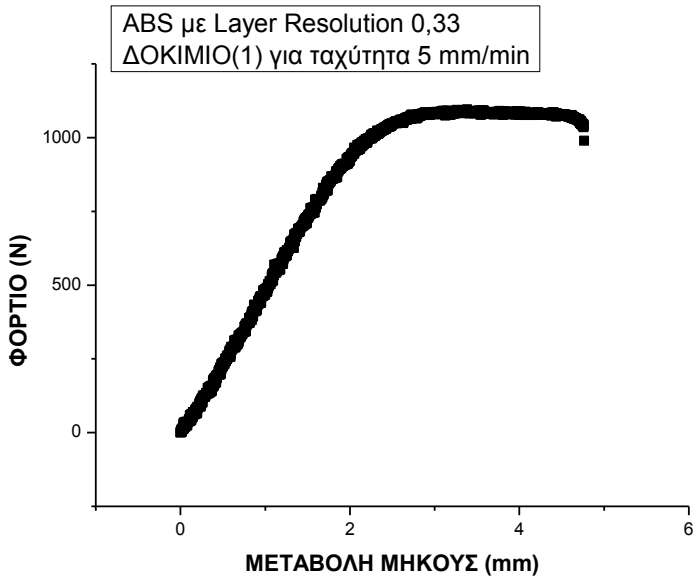

ABS με Layer Resolutio 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(6) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1200
600
0
0
3
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

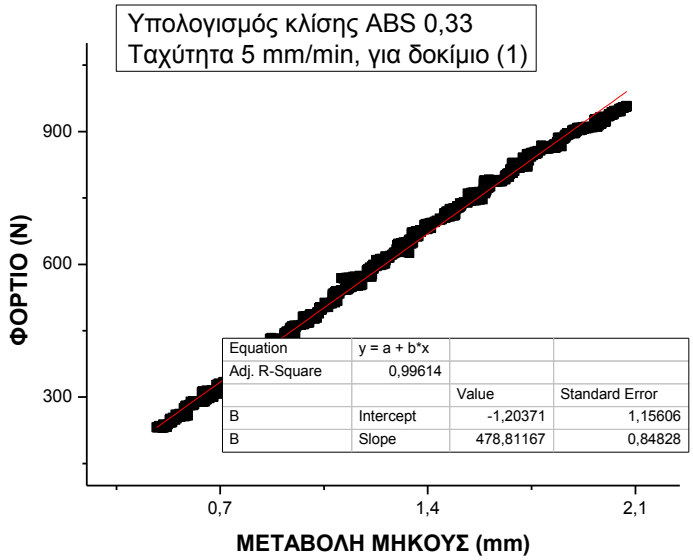

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,25
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (6)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
900
600
300
0
0,0
0,6
1,2
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation y = a + b*x
Adj. R-Square 0,9986
Value Standard Error
B Intercept -40,56129 0,58755
B Slope 531,36595 0,60436

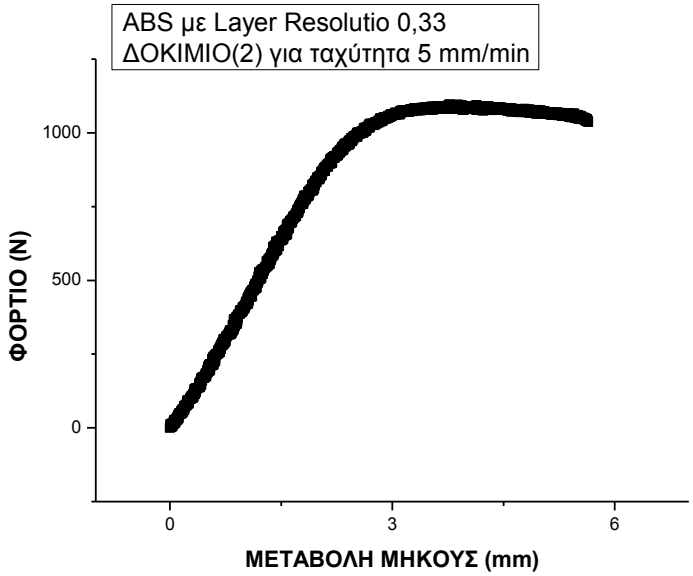


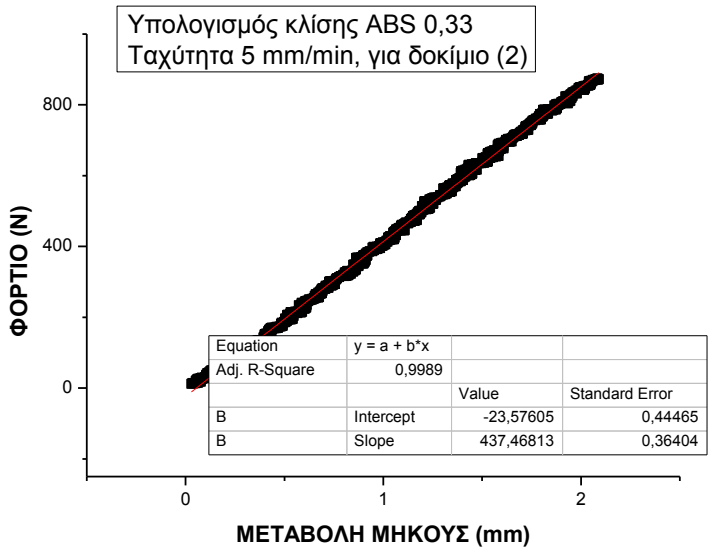


Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,9979		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-22,79657	0,75476
B	Slope	510,19904	0,59431

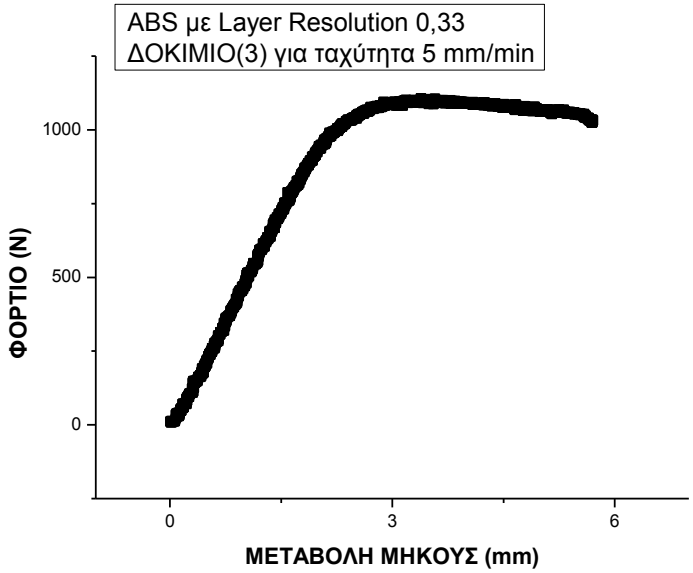

ABS με Layer Resolution 0,33
ΔΟΚΙΜΙΟ(1) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1000
500
0
0
2
4
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

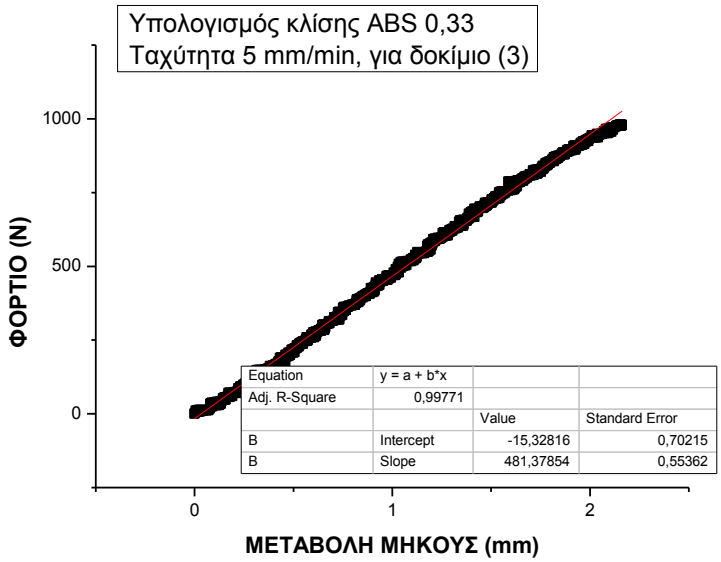

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,33
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (1)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
900
600
300
0,7
1,4
2,1
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99614
Value | Standard Error
B | Intercept | -1,20371 | 1,15606
B | Slope | 478,81167 | 0,84828

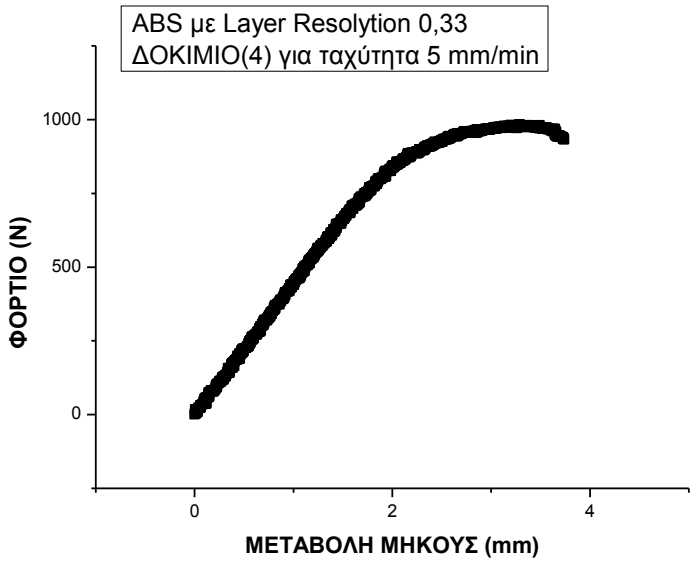


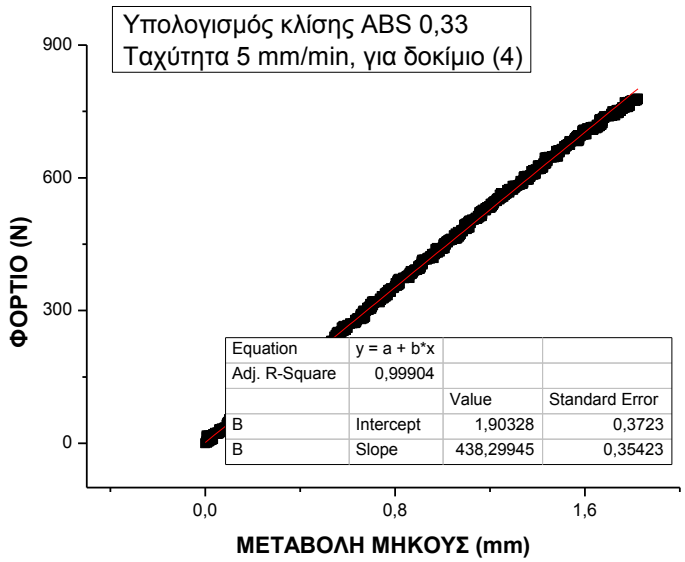


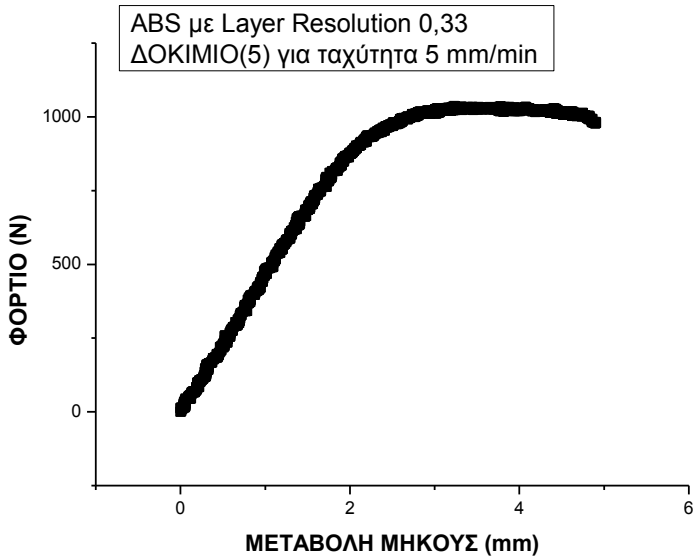
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,9989		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-23,57605	0,44465
B	Slope	437,46813	0,36404

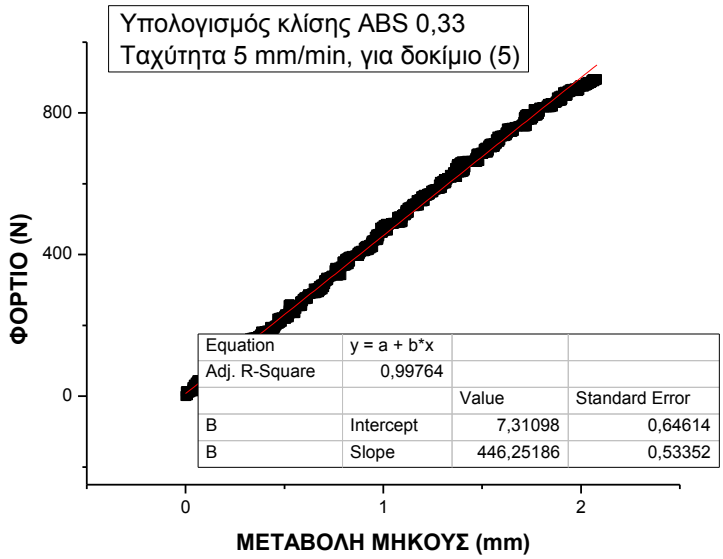

ABS με Layer Resolution 0,33
ΔΟΚΙΜΙΟ(3) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1000
500
0
0
3
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)


Υπολογισμός κλίσης ABS 0,33
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (3)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1000
500
0
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99771
Value | Standard Error
B | Intercept | -15,32816 | 0,70215
B | Slope | 481,37854 | 0,55362
0
1
2
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

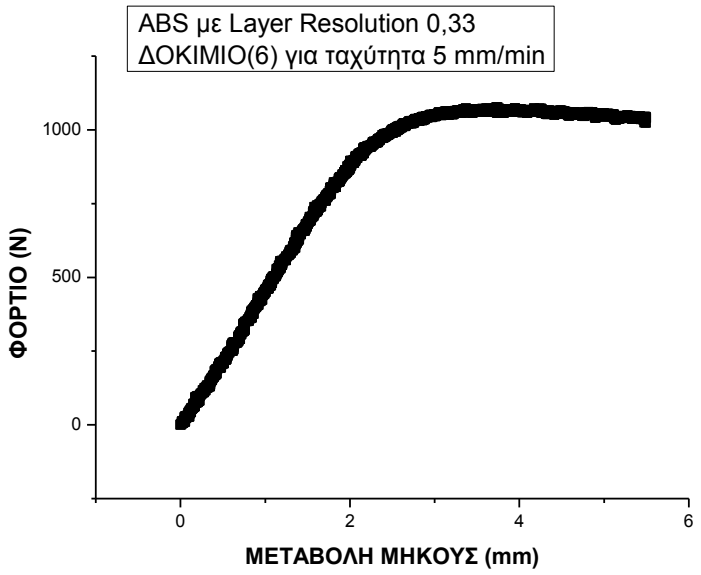

ABS με Layer Resolytion 0,33
ΔΟΚΙΜΙΟ(4) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1000
500
0
0
2
4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

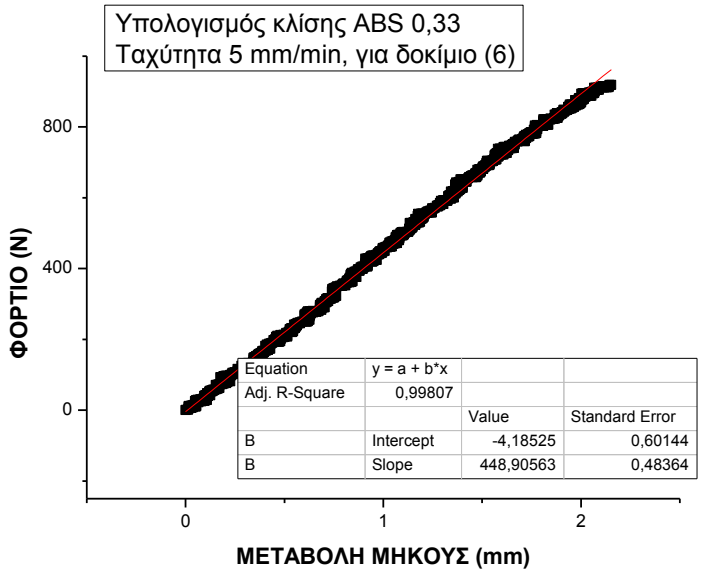

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,33
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (4)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
900
600
300
0
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99904
Value | Standard Error
B | Intercept | 1,90328 | 0,3723
B | Slope | 438,29945 | 0,35423
0,0
0,8
1,6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

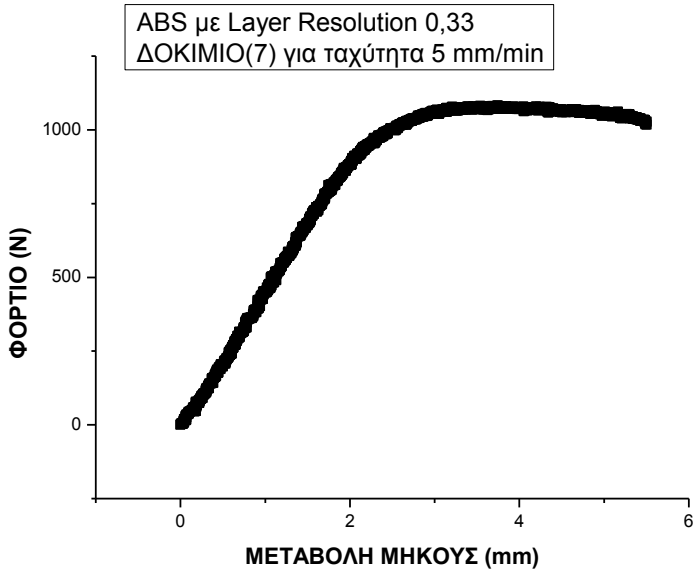


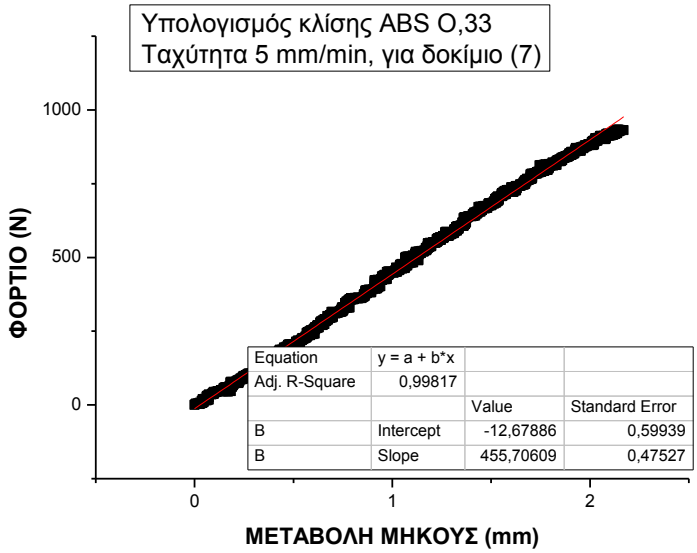


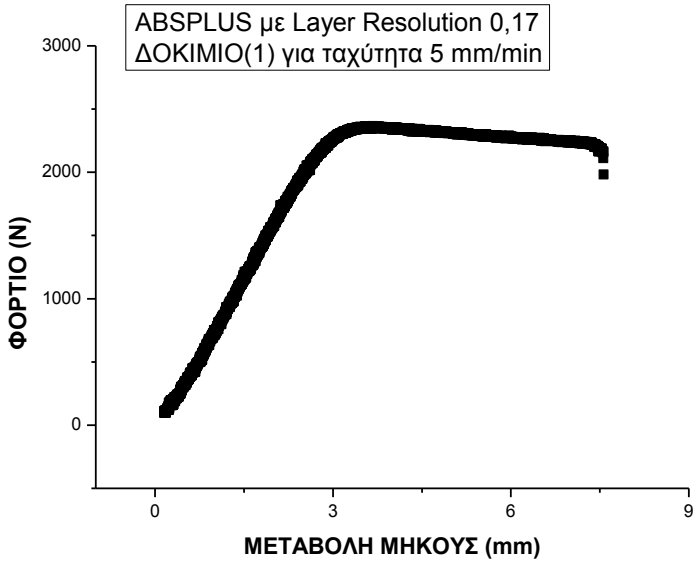
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,99764		
		Value	Standard Error
B	Intercept	7,31098	0,64614
B	Slope	446,25186	0,53352

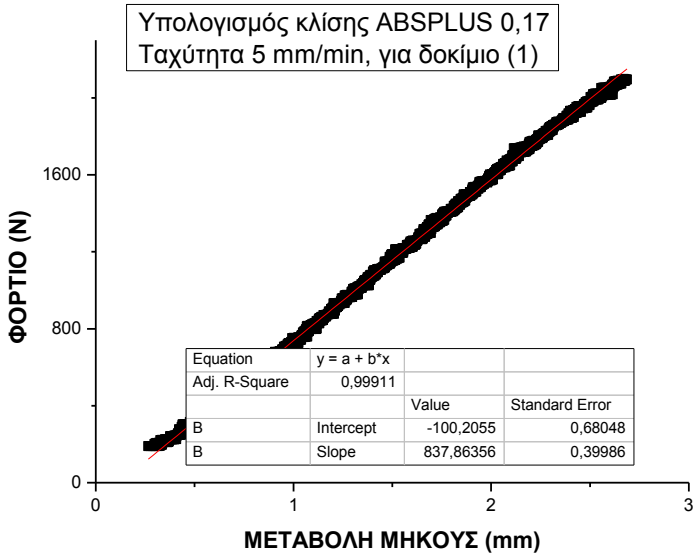

ABS με Layer Resolution 0,33
ΔΟΚΙΜΙΟ(6) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1000
500
0
0
2
4
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

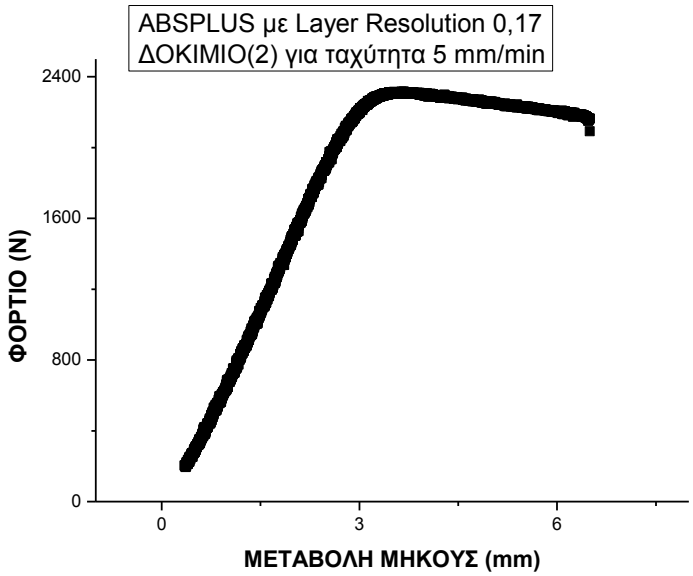

Υπολογισμός κλίσης ABS 0,33
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (6)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
800
400
0
0
1
2
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99807
Value | Standard Error
B | Intercept | -4,18525 | 0,60144
B | Slope | 448,90563 | 0,48364

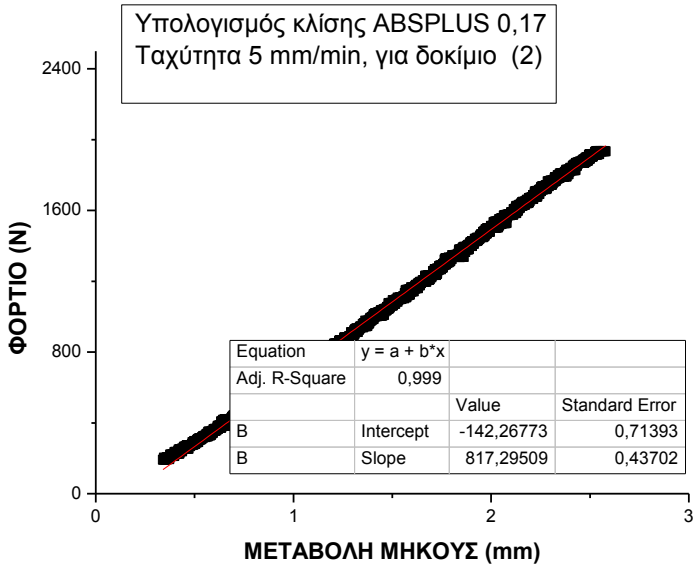

ABS με Layer Resolution 0,33
ΔΟΚΙΜΙΟ(7) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1000
500
0
0
2
4
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

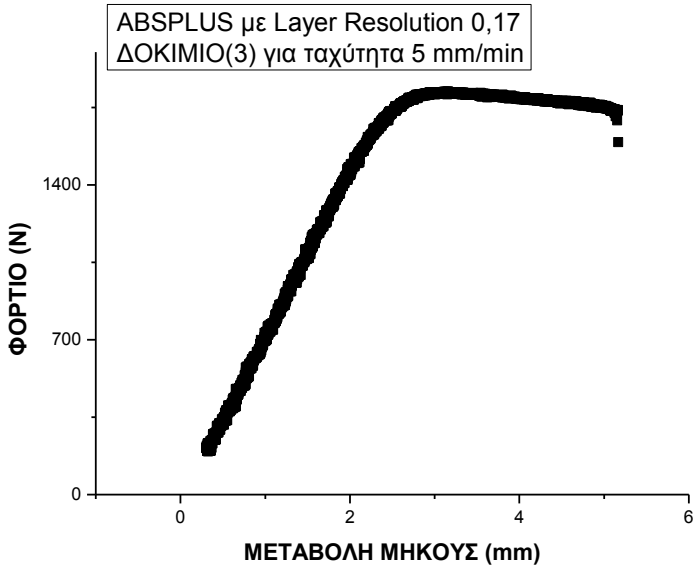

Υπολογισμός κλίσης ABS O,33
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (7)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1000
500
0
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99817
Value | Standard Error
B | Intercept | -12,67886 | 0,59939
B | Slope | 455,70609 | 0,47527
0
1
2
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

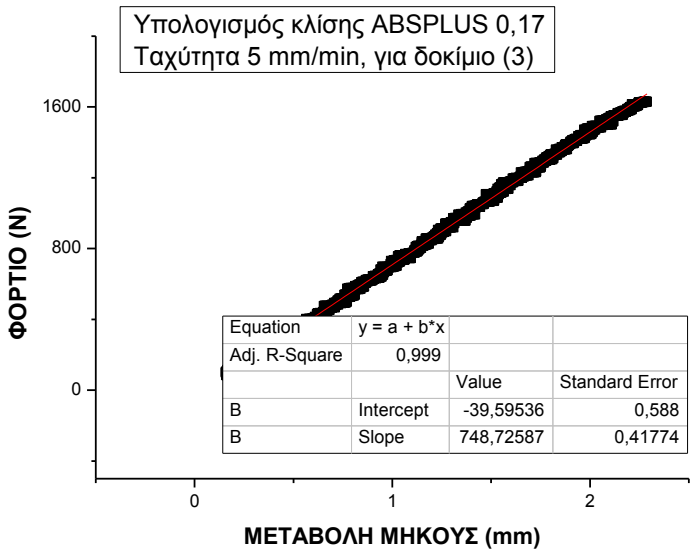

ABSPLUS με Layer Resolution 0,17
ΔΟΚΙΜΙΟ(1) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
3
6
9
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)


Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,17
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (1)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1600
800
0
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99911
Value | Standard Error
B | Intercept | -100,2055 | 0,68048
B | Slope | 837,86356 | 0,39986

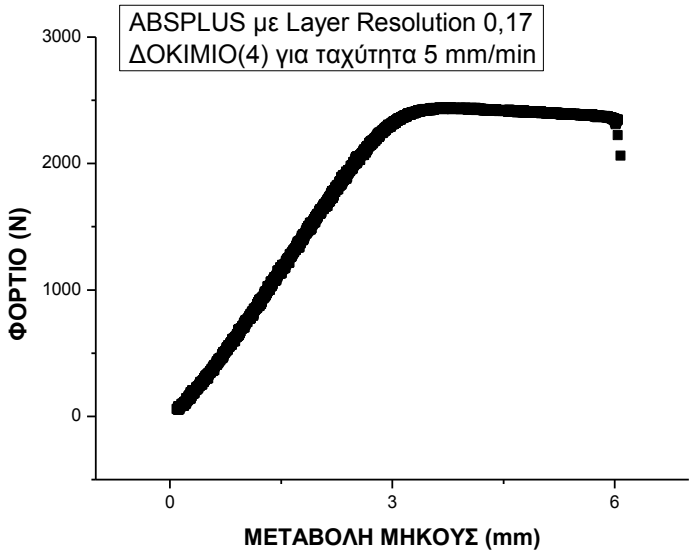

ABSPLUS με Layer Resolution 0,17
ΔΟΚΙΜΙΟ(2) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2400
1600
800
0
0
3
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

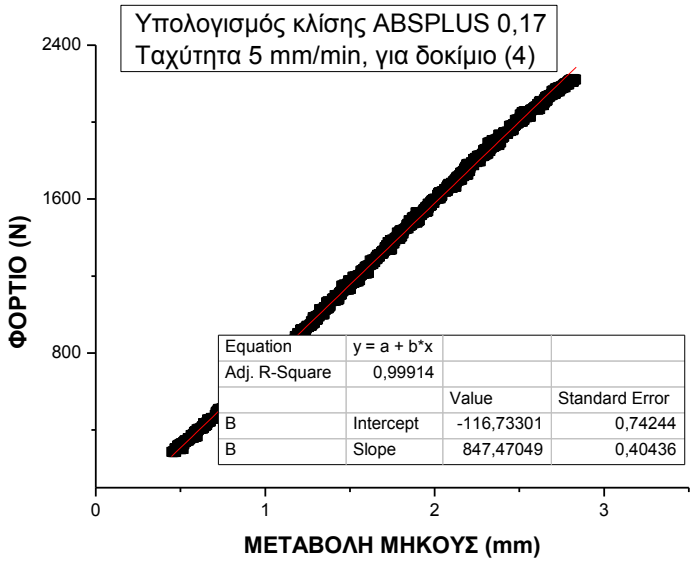

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,17
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (2)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2400
1600
800
0
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,999
Value | Standard Error
B | Intercept | -142,26773 | 0,71393
B | Slope | 817,29509 | 0,43702

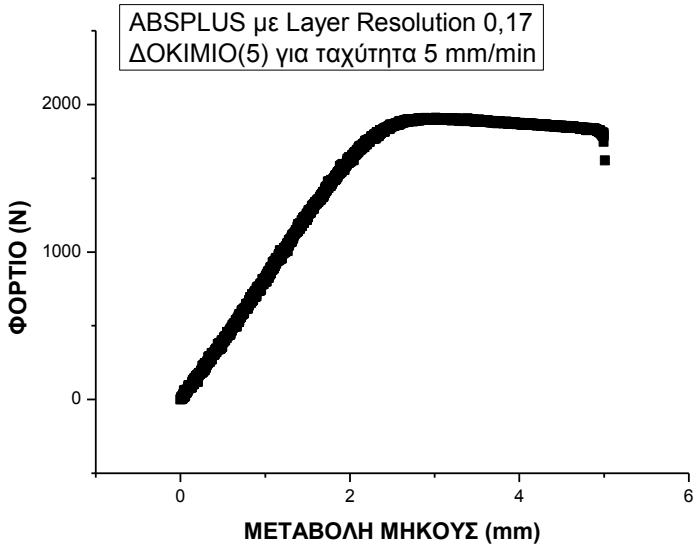


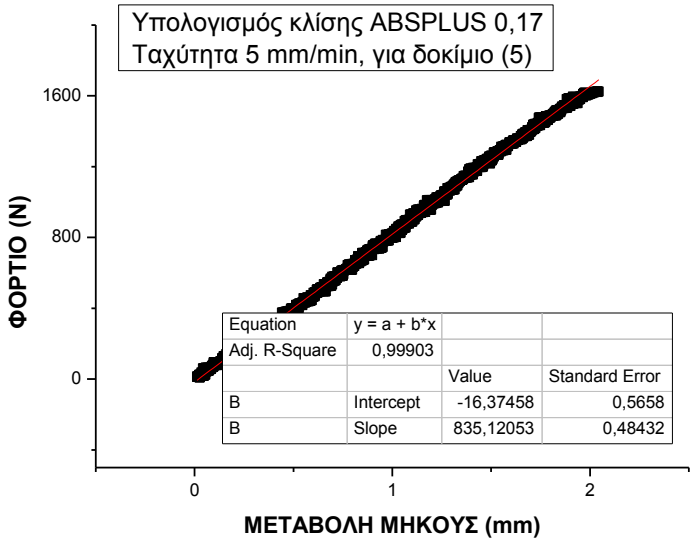


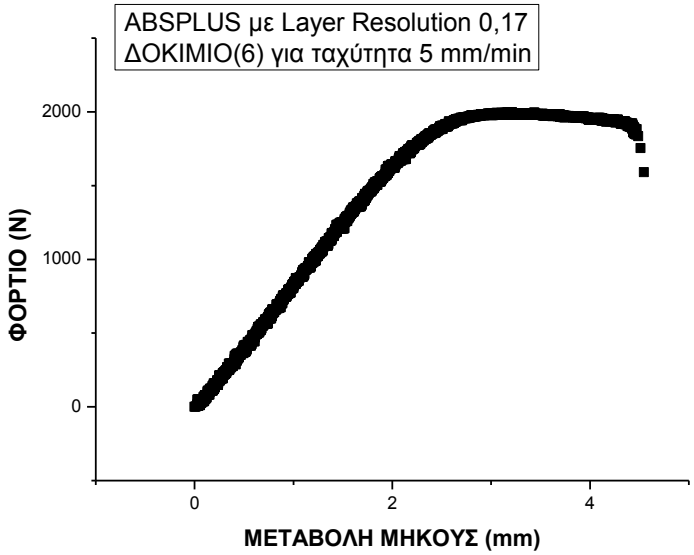
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,999		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-39,59536	0,588
B	Slope	748,72587	0,41774

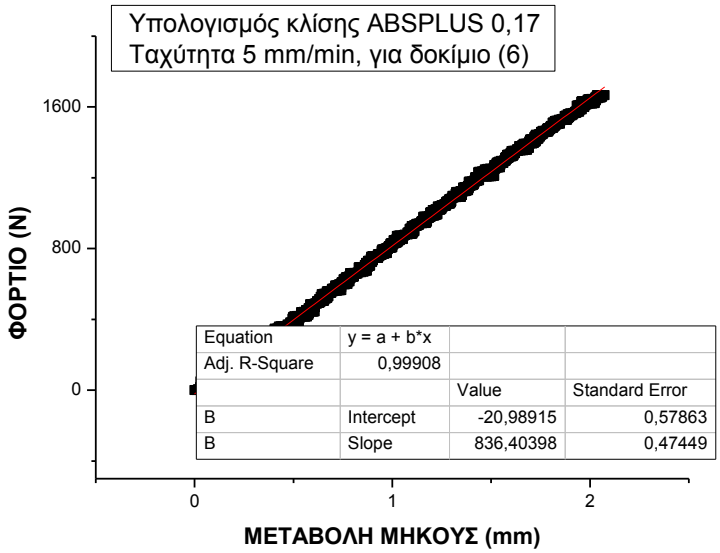

ABSPLUS με Layer Resolution 0,17
ΔΟΚΙΜΙΟ(4) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
3
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

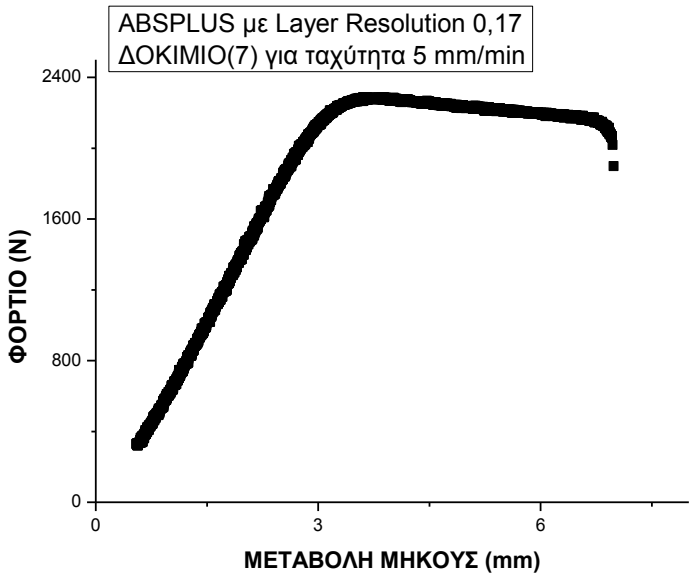

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,17
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (4)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2400
1600
800
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99914
Value | Standard Error
B | Intercept | -116,73301 | 0,74244
B | Slope | 847,47049 | 0,40436

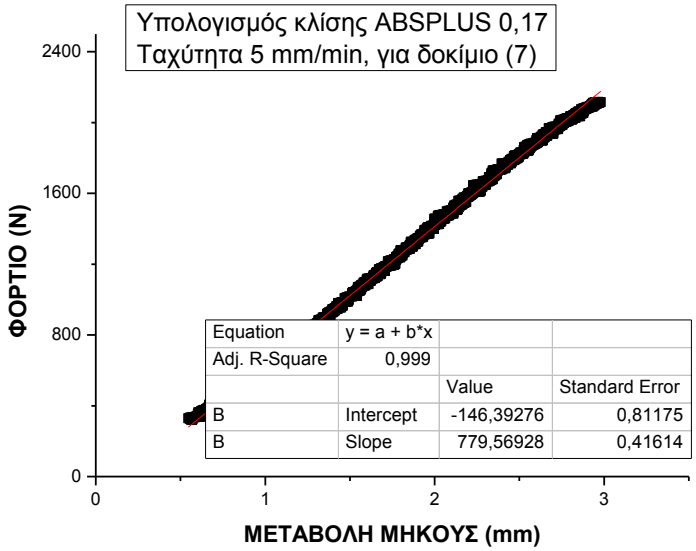

ABSPLUS με Layer Resolution 0,17
ΔΟΚΙΜΙΟ(5) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2000
1000
0
0
2
4
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)


Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,17
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (5)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1600
800
0
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99903
Value | Standard Error
B | Intercept | -16,37458 | 0,5658
B | Slope | 835,12053 | 0,48432
0
1
2
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

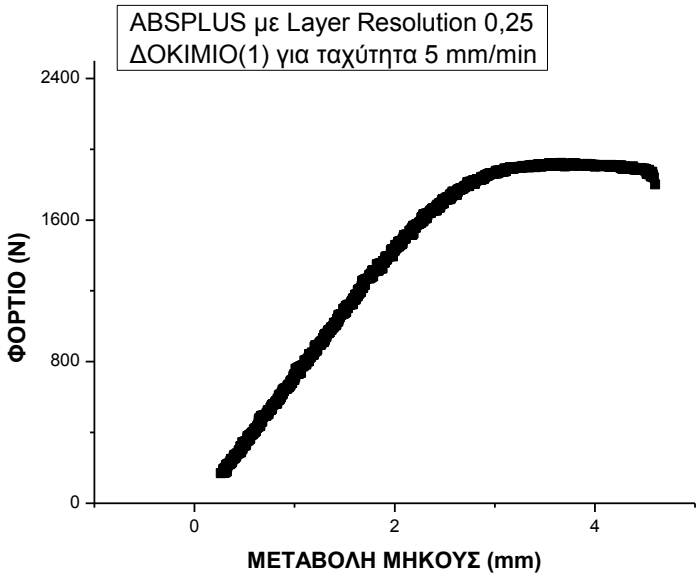

ABSPLUS με Layer Resolution 0,17
ΔΟΚΙΜΙΟ(6) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2000
1000
0
0
2
4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

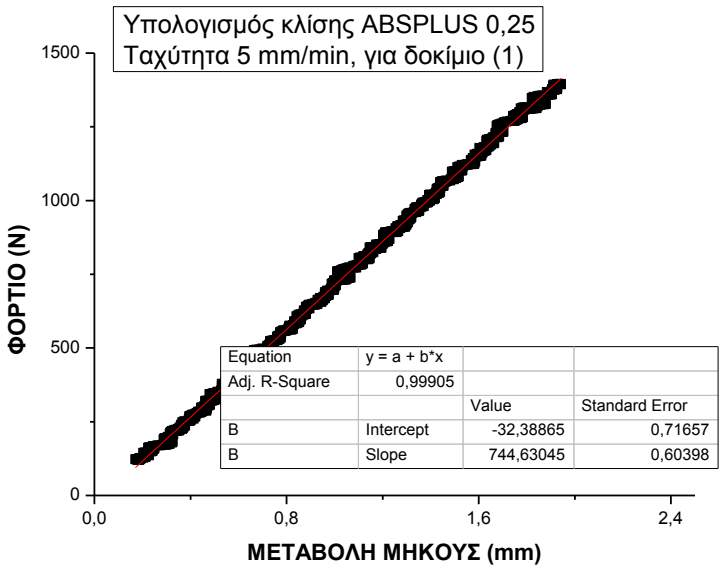

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,17
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (6)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1600
800
0
0
1
2
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99908
Value | Standard Error
B | Intercept | -20,98915 | 0,57863
B | Slope | 836,40398 | 0,47449

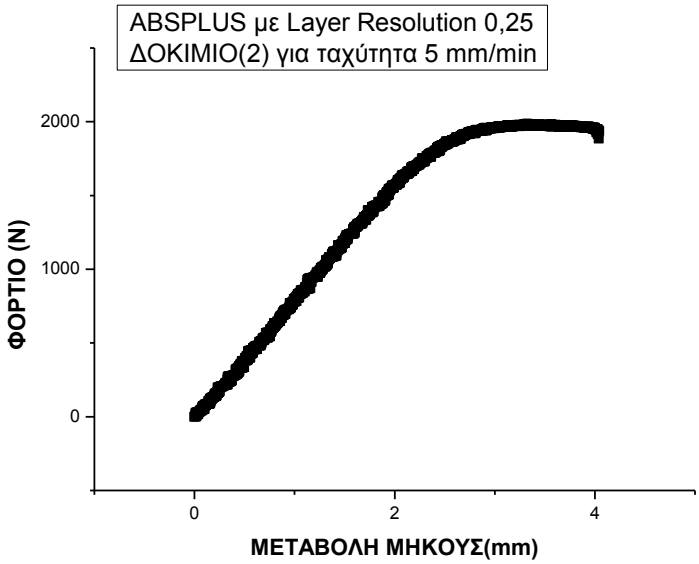


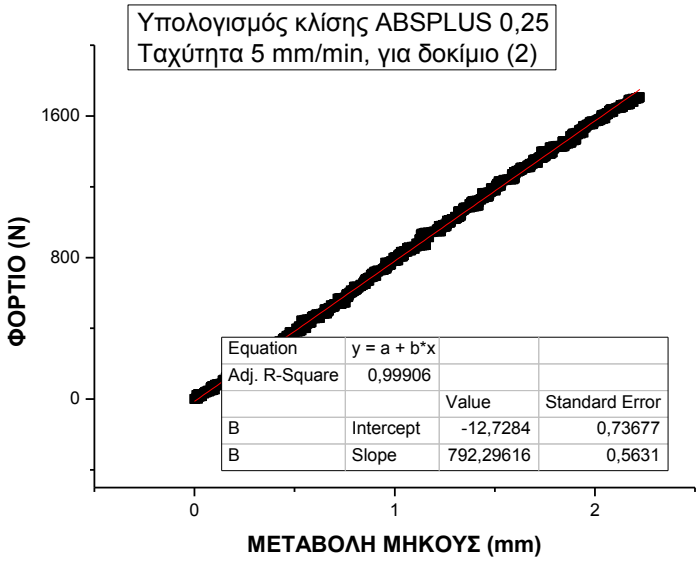


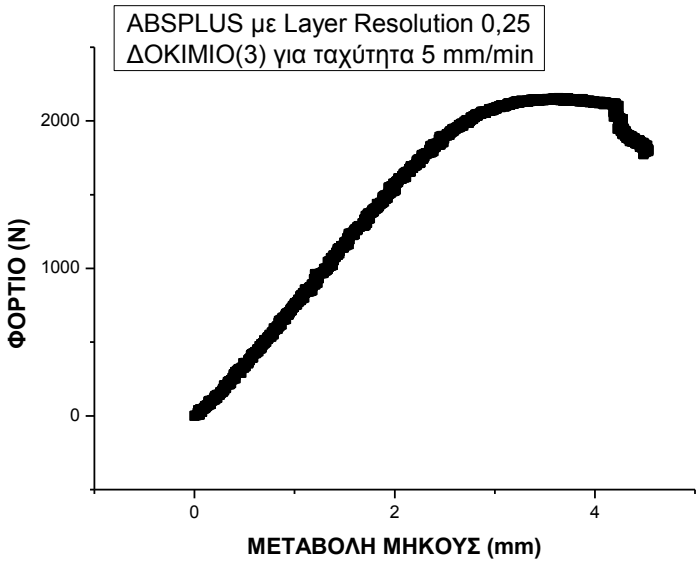
Equation	y = a + b*x		
Adj. R-Square	0,999		
		Value	Standard Error
B	Intercept	-146,39276	0,81175
B	Slope	779,56928	0,41614

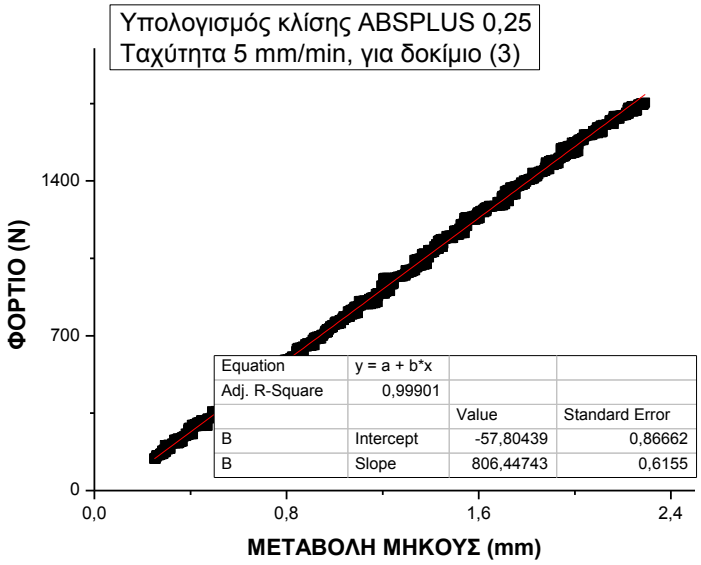

ABSPLUS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(1) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2400
1600
800
0
0
2
4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

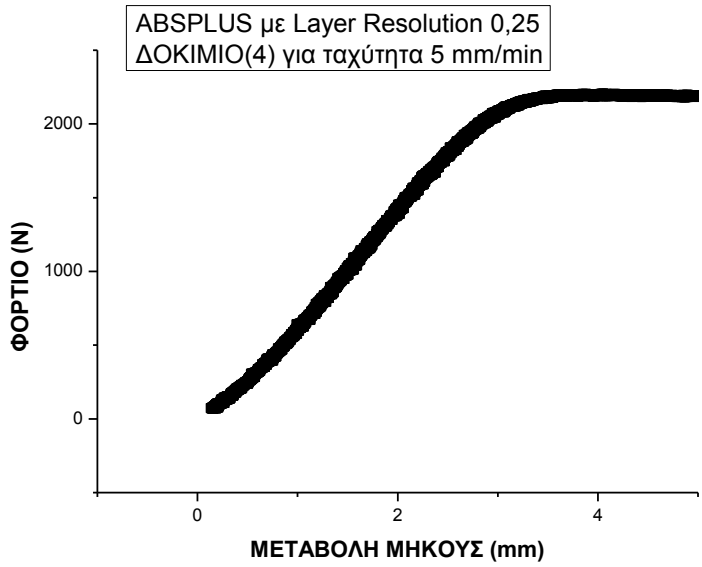

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,25
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (1)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1500
1000
500
0
0,0
0,8
1,6
2,4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99905
Value | Standard Error
B | Intercept | -32,38865 | 0,71657
B | Slope | 744,63045 | 0,60398

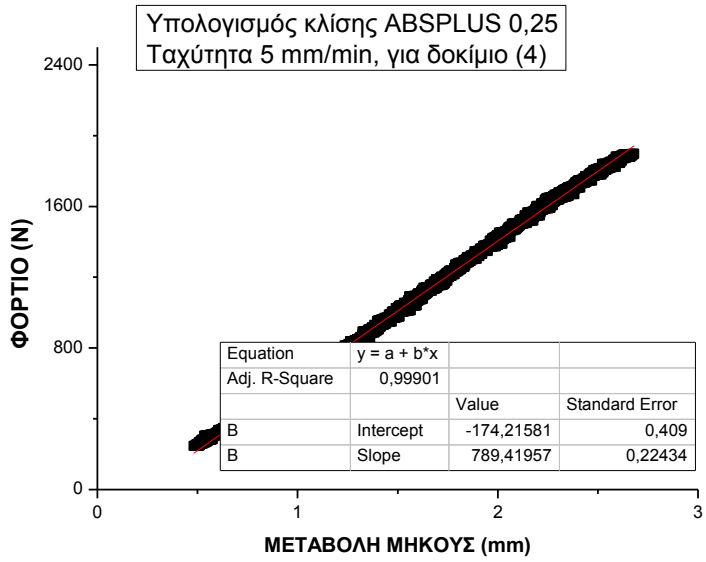

ABSPLUS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(2) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2000
1000
0
0
2
4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ(mm)

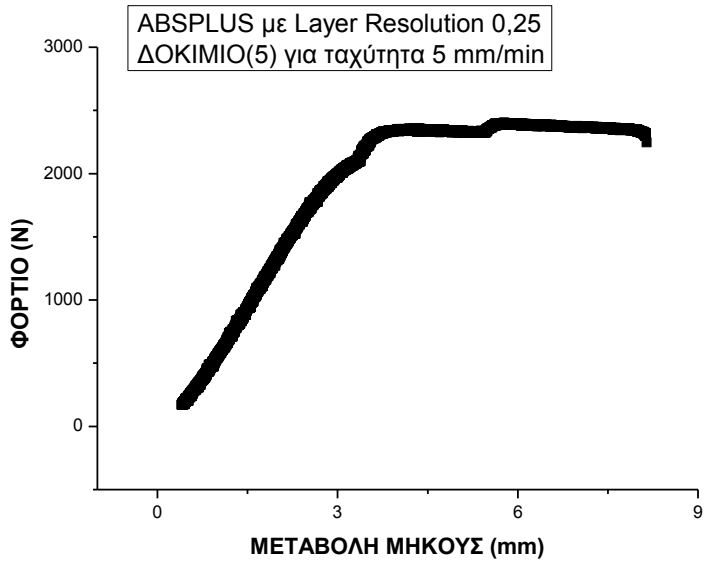

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,25
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (2)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1600
800
0
0
1
2
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99906
Value | Standard Error
B | Intercept | -12,7284 | 0,73677
B | Slope | 792,29616 | 0,5631

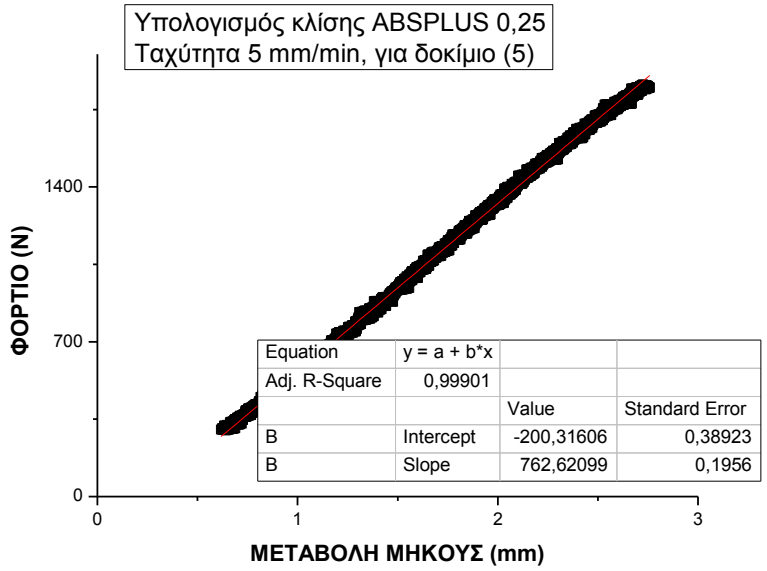

ABSPLUS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(3) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2000
1000
0
0
2
4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

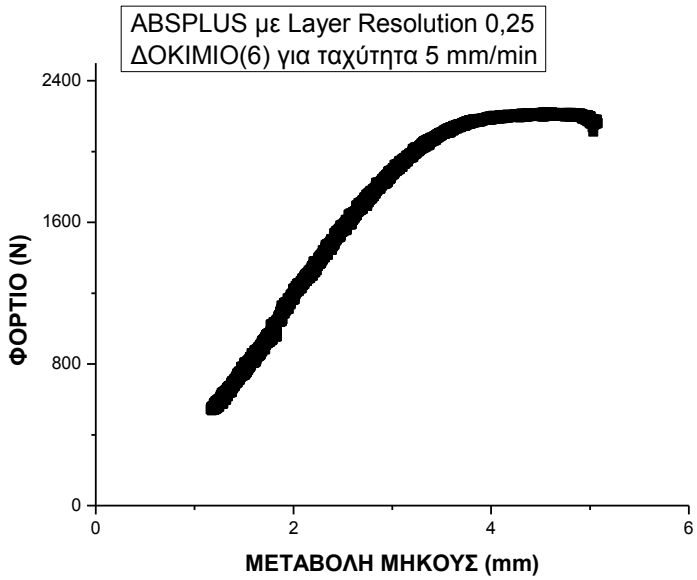

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,25
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (3)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1400
700
0
0,0
0,8
1,6
2,4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99901
Value | Standard Error
B | Intercept | -57,80439 | 0,86662
B | Slope | 806,44743 | 0,6155

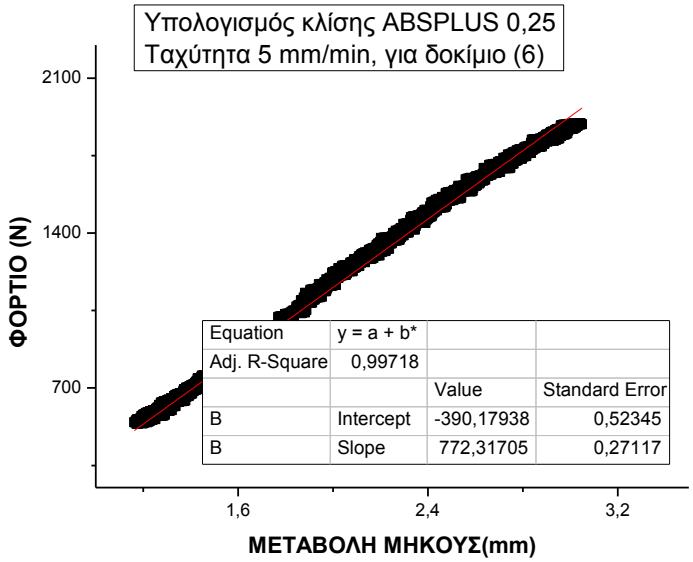

ABSPLUS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(4) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2000
1000
0
0
2
4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)

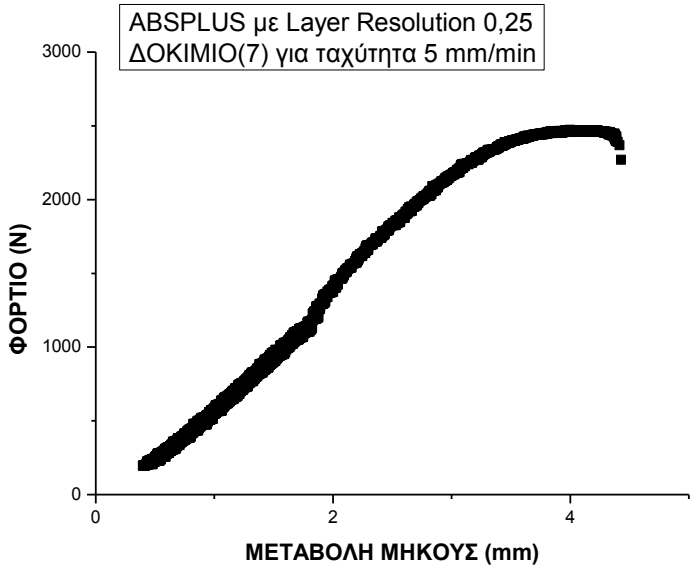

Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,25
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (4)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2400
1600
800
0
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99901
Value | Standard Error
B | Intercept | -174,21581 | 0,409
B | Slope | 789,41957 | 0,22434

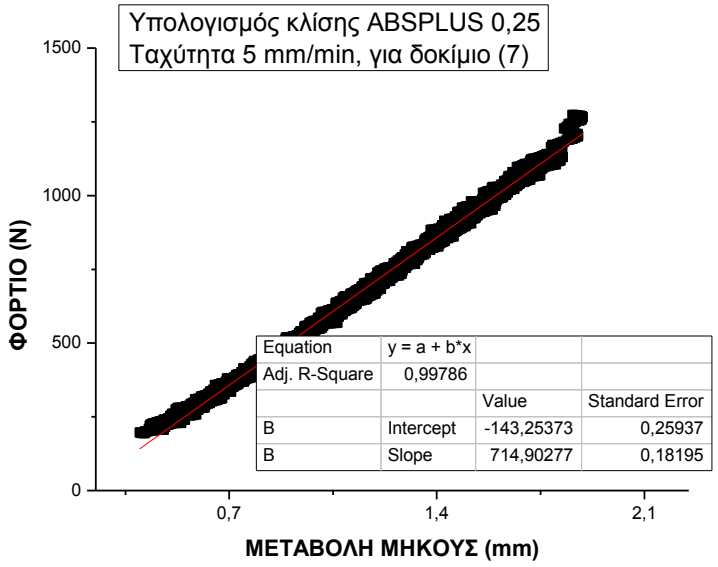

ABSPLUS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(5) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
3
6
9
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)


Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,25
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (5)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1400
700
0
0
1
2
3
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99901
Value | Standard Error
B | Intercept | -200,31606 | 0,38923
B | Slope | 762,62099 | 0,1956


ABSPLUS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(6) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2400
1600
800
0
0
2
4
6
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)


Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,25
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (6)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
2100
1400
700
1,6
2,4
3,2
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ(mm)
Equation y = a + b*
Adj. R-Square 0,99718
Value Standard Error
B Intercept -390,17938 0,52345
B Slope 772,31705 0,27117


ABSPLUS με Layer Resolution 0,25
ΔΟΚΙΜΙΟ(7) για ταχύτητα 5 mm/min
ΦΟΡΤΙΟ (N)
3000
2000
1000
0
0
2
4
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)


Υπολογισμός κλίσης ABSPLUS 0,25
Ταχύτητα 5 mm/min, για δοκίμιο (7)
ΦΟΡΤΙΟ (N)
1500
1000
500
0
0,7
1,4
2,1
ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΜΗΚΟΥΣ (mm)
Equation | y = a + b*x
Adj. R-Square | 0,99786
Value | Standard Error
B | Intercept | -143,25373 | 0,25937
B | Slope | 714,90277 | 0,18195